

dk. 3

Fisken og havet, særnummer 2-2001
ISSN 0802 0620

Havets miljø 2001

Redaktør Jan Helge Fosså

Forord	4
Prognoser for 2001	7
Prognosis for 2001	8
Sammendrag	9
Summary	11
1. Økosystemet i Barentshavet	
1.1 Havklima..... <i>H. Loeng, R. Ingvaldsen og B. Ådlandsvik</i>	13
1.2 Plankton..... <i>A. Hassel</i>	18
1.3 Yngelproduksjon..... <i>P. Fossum</i>	21
2. Økosystemet i Norskehavet	
2.1 Havklima..... <i>K.A. Mork</i>	23
2.2 Plankton og næringssalter..... <i>B. Ellertsen, F. Rey og W. Melle</i>	30
2.3 Yngelproduksjon..... <i>P. Fossum</i>	35
3. Økosystemene i Nordsjøen og Skagerrak	
3.1 Havklima	<i>D. Danielssen og E. Svendsen</i> 38
3.2 Plankton og næringssalter.....	<i>D. Danielssen, E. Dahl, J. Aure og B. Bøhle</i> 45
4. Økosystemene på kysten og i fjordene	
4.1 Kystklima	<i>J. Aure og D. Danielssen</i> 49
4.2 Plankton og næringssalter.....	<i>E. Dahl, D. Danielssen og J. Aure</i> 54
4.3 Skadelige alger	<i>E. Dahl</i> 58
5. Forurensning	
5.1 Organiske miljøgifter.....	<i>J. Klungsøyr</i> 61
5.1 Radioaktivitet.....	<i>L. Føyn</i> 63
6. Aktuelle tema	
1. Klima og klimaendring	
Klima og klimadannelse.....	<i>T. Gytte</i> 69
Fremtidige klimatiske endringer og betydningen for fiskeressursene.....	<i>J. Blindheim, R. Toresen og H. Loeng</i> 73
Nye trekk ved strømmønsteret ut og inn av Barentshavet og effekten på økosystemet.....	<i>H. Loeng og R. Ingvaldsen</i> 79
Fridtjof Nansen – allsidig forsker og menneske.....	<i>R. Sætre</i> 82

II.	Klimaendringer og biologiske konsekvenser	
	Klima, planktonproduksjon og vekst hos sild i Norskehavet.....	<i>W. Melle og J.C. Holst</i> 86
	Produksjonsgrunnlaget i Barentshavet i varme og kalde år.....	<i>H. Loeng og S. Sundby</i> 91
	Tang og tare; vil dei trivast dersom temperaturen i havet stig?.....	<i>K. Sjøtun</i> 94
	Klimaets påvirkning på bunndyrenes utbredelse.....	<i>T. Brattegard</i> 97
	Norske korallrev kan vise oss fortidens havklima.....	<i>P.B. Mortensen</i> 101
III.	Frisk fisk fra rent hav	
	Kursk-ulykken. Hvor vil en eventuell radioaktiv forurensning havne?.....	<i>L. Asplin, L. Føyn og P. Budgell</i> 105
	Reint miljø eller oppdrett – ja takk, begge deler!.....	<i>A. Ervik</i> 109
IV.	Andre aktuelle tema	
	Det ukjente Norge. Ny metodikk oppdager nye korallrev.....	<i>T. Thorsnes, J.H. Fosså og K. Olsen</i> 114

“Havets miljø 2001” består av to hoveddeler. I den første delen som omfatter kapittel 1-5, rapporteres det fra Havforskningsinstituttets faste miljøovervåkningsprogram. I den andre delen, kapittel 6, presenteres noen aktuelle temaer litt mer inngående. Vi vil også henvise til “Havets ressurser 2001” som gir en oversikt over tilstanden i de viktigste bestandene for norske fiskerier.

Om innholdet i kapittel 1-5

Havforskningsinstituttets oppgave er gjennom forskning og overvåkning å fremskaffe kunnskapsgrunnlaget for en bærekraftig forvaltning av det marine miljø og for en økologisk forsvarlig høsting av fiskebestandene og andre ressurser. De lange tidsseriene Havforskningsinstituttet har, viser at det er et nært samspill mellom havmiljøet og fiskebestandene. Variasjoner i havmiljøet virker inn på fiskebestandenes geografiske fordeling, vekst og rekruttering. Miljøtilstanden trekkes nå mer og mer inn når utviklingen i fiskebestandene vurderes. Havområdene tilføres betydelige mengder forurensninger og overvåkning av forurensningsnivået er viktig, både for å kunne varsle om skadevirkninger og som en renhetsgaranti for norske fiskeprodukter. Miljøundersøkelser har derfor alltid hatt en fremtredende plass i Havforskningsinstituttets virksomhet.

Prognosene

Havforskningsinstituttet har i flere år gitt prognoser for vekstforholdene for lodde i Barentshavet. I 1994 startet vi varsler for klimaet i havområdene og på kysten for de nærmeste årene. Varslene blir gitt på bakgrunn av studier av de lange tidsseriene av temperatur og saltholdighet som Havforskningsinstituttet har samlet inn. Disse seriene viser at klimaet varierer mye, og at vi kan snakke om varme og kalde år i havet. Årsakene til variasjonene er vanskelig å fastslå, men de henger sammen med spillet mellom hav og atmosfære over større områder. Prosessene i havet skjer mye langsommere enn i atmosfæren, og åpner mulighetene for å varsle klimaet i havet lenger fram i tid enn det som er mulig i atmosfæren. Varslene fremkommer

ved å bruke forskjellige statistiske metoder på de lange observasjonsseriene, kombinert med erfaringen om utviklingen i tilsvarende klimatiske situasjoner. På bakgrunn av klimaprognosene og observasjoner av plankton, næringssalter og fiskelarver, forsøker vi å forutsi endringer i produksjonsforholdene og fiskefordeling i havet.

På bakgrunn av de hydrografiske forholdene, målinger av primærproduksjon, dyreplankton, næringssalter, silde-larver og loddelarver, forsøker vi også å forutsi både havklima og de biologiske forholdene. Siden 1999 er det også gitt prognose på sildeens kondisjon et år fremover i tid.

Økosystem-tilnærming i overvåkingen

Vi har valgt å dele inn rapportens første del etter en økosystemtenkning. Havklima, produksjonsforhold og rekruttering til fiskebestandene blir vurdert under ett. Følgende økosystemer er definert; Barentshavet, Norskehavet, Skagerrak og Nordsjøen, kysten og fjordene. Disse fire økosystemene har karakteristiske fysiske, kjemiske og biologiske forhold som følges fra år til år.

Overvåkingen

Et omfattende nett av faste snitt og stasjoner er selve ryggraden i Havforskningsinstituttets miljøovervåking (Figur 0.1 og 0.2). I tillegg kommer overflatedekningen i havområdene gjennom toktvirksomhet knyttet til fiskebestandene. Hvert år dekkes også 44 fjorder fra og med Oslofjorden til Øst-Finnmark. Gjennom den såkalte termograftjenesten blir temperatur og saltholdighet på strekningen Aberdeen-Rogaland og opp langs kysten til Varangerfjorden overvåket hele året ved hjelp av rutegående skip, bl.a. Hurtigruten.

I økosystemene i Barentshavet og Norskehavet er hovedvekten lagt på overvåking av havklima, dyreplankton og fiskelarver. Dette gir grunnlag for å vurdere miljøforholdene for vekst, fordeling og rekruttering for bestandene av lodde, torsk og sild. I Barentshavet ble overvåkingen av miljøgifter og radioaktivitet trappet opp etter 1991, og i 1994 ble det utført innledende undersøkelser av miljøgifter i Norskehavet.

Denne rapporten refereres slik: This report should be cited:
Fosså, J.H. (red.), 2001. Havets miljø 2001. *Fisken og havet*, særnr. 2-2001.

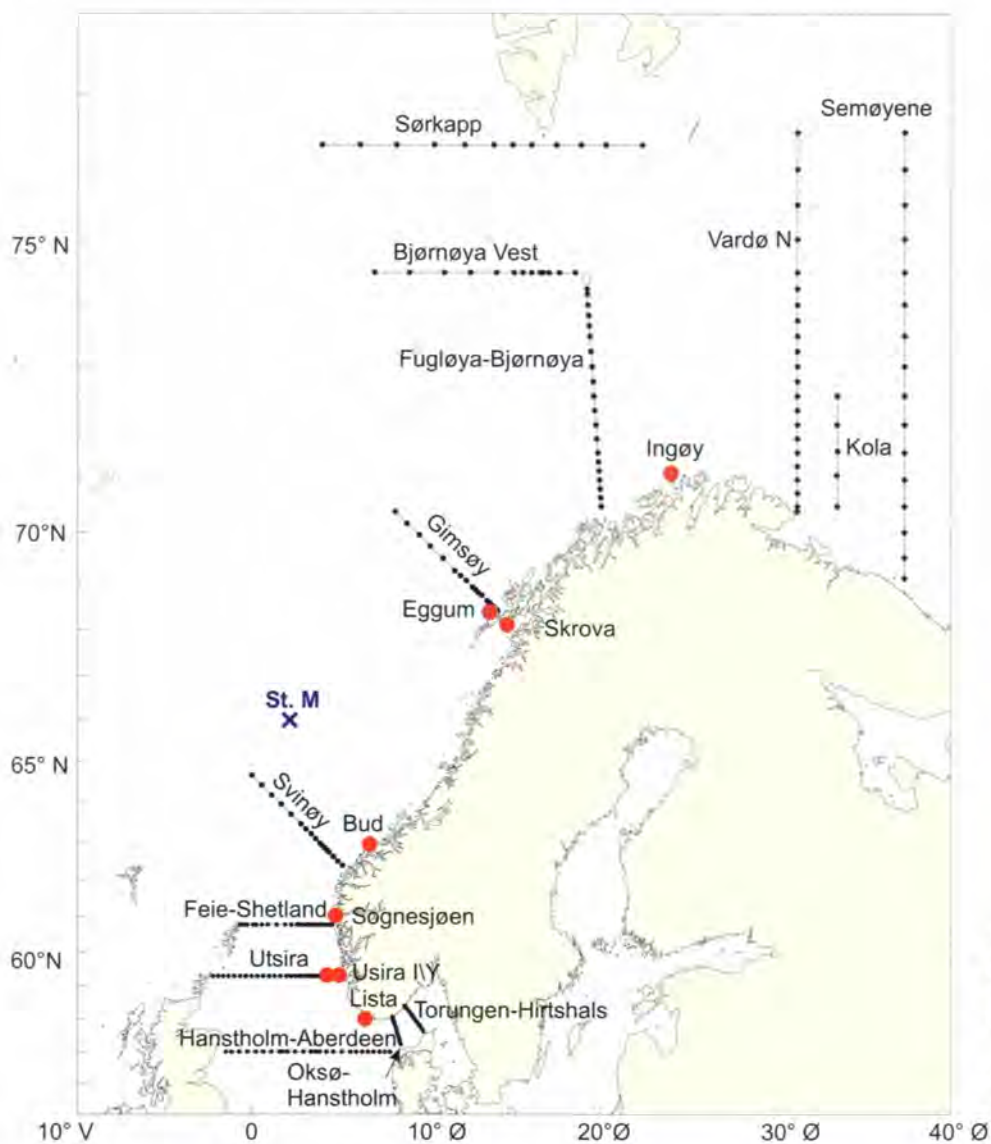
I Skagerrak og Nordsjøen, og økosystemet på kysten og i fjordene er overvåkingen hovedsakelig knyttet til problemstillinger omkring antropogent tilførte nærings-salter, skadelige alger og miljøgifter.

Om innholdet i temadelen, kapittel 6

I "Havets miljø 2001" har vi valgt ut noen aktuelle tema som vi belyser med flere enkeltartikler. Hovedtemaet er "Klima". Dette er valgt på bakgrunn av den store oppmerksomheten og heftige debatten omkring en menneskeskapt klimaendring pga. økt innhold av "klimagasser" i atmosfæren. Om dette emnet pågår det også svært mye forskning, og vi vil på denne måten synliggjøre at Havforskningsinstituttet utfører viktig klimaforskning, og alltid har gjort det. Havklimaets betydning for produksjonsforholdene og fiskebestandene har vært erkjent fra havforskningens spede barndom (se f.eks. artikkelen om Fridtjof Nansen side 82). Det har bl.a. medført at det nå foreligger lange tidsserier fra norske havområder. Dette er et svært viktig grunnlagsmateriale som utgangspunkt for videre forskning og analyser.

I. Klima og klimaendringer. Under denne tittelen presenteres fire bidrag med hovedvekt på fysikken i havet. Den første artikkelen gir en innføring i hva klima er og hva som bestemmer jordens klima. Artikkel nummer to behandler forholdene i det nordlige Atlanterhavet og mulige fremtidige endringer i havklimaet og betydningen for fiskeressursene. Økologiske effekter av nye trekk i strømmønsteret i Barentshavet presenteres i den tredje artikkelen. I den siste artikkelen får vi et innblikk i hva Fridtjof Nansen har betydd for norsk klimaforskning.

II. Klimaendringer og biologiske konsekvenser behandles i fem artikler. En eventuell menneskeskapt klimaendring vil få konsekvenser for dyre- og planteliv. De to første artiklene behandler klimaavhengige produksjonsforhold i våre havområder, og de to neste gir eksempler på hva man kan forvente av endringer i fauna og flora under forutsetning av at sjøtemperaturen stiger. Den siste artikkelen viser at de norske dypvannskorallene kan vise seg å inneholde detaljert informasjon om temperaturforholdene i Atlanterhavet i de siste 8500 år.



Figur 0.1
Faste oseanografiske snitt
og stasjoner.

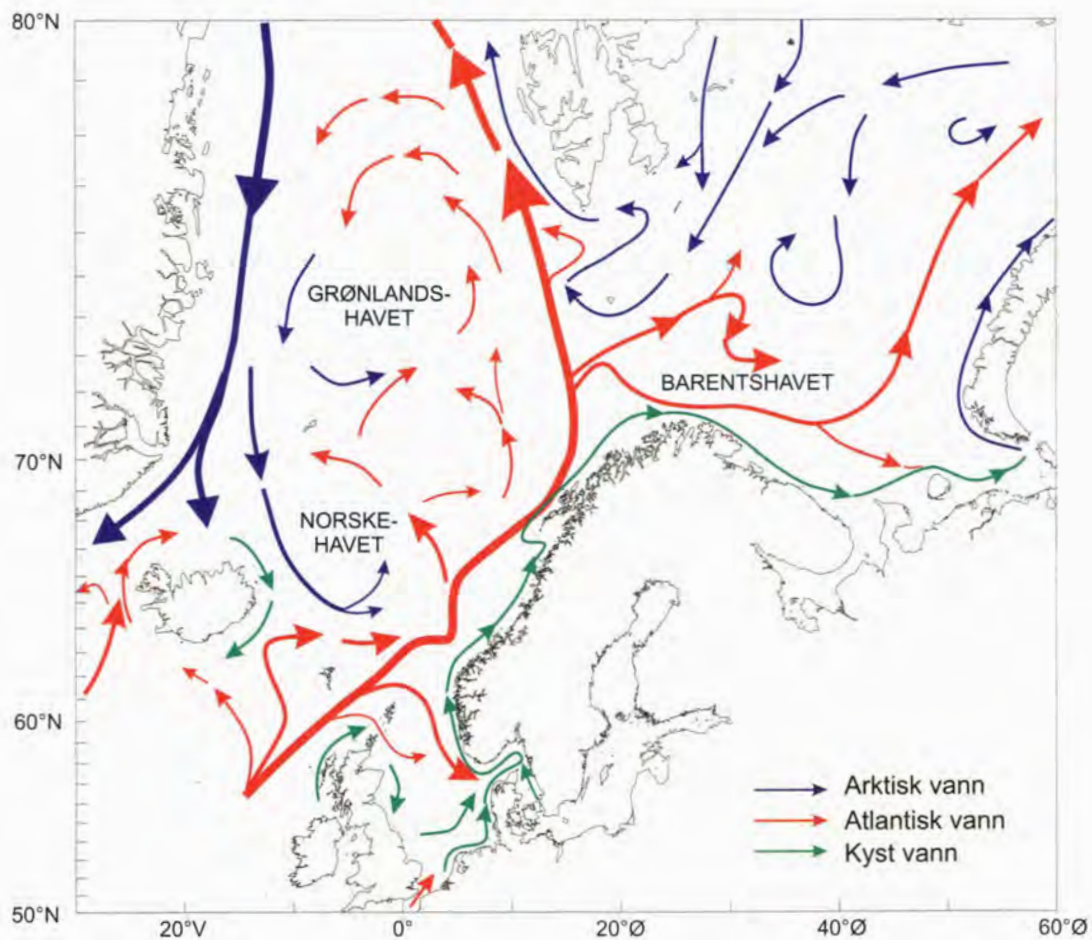
Fixed oceanographic sections
and stations.

III. Frisk fisk fra rent hav. Det er meget viktig for norske myndigheter å kunne dokumentere at fisk og andre produkter som fanges eller dyrkes i norske havområder er fri for skadelige substanser og fanges og dyrkes på en økologisk forsvarlig måte. I den sammenheng presenterer vi en artikkel om våre muligheter til å følge eventuelle radioaktive forurensninger, eksemplifisert med "Kursk"-havariet, og en artikkel om miljøovervåking av matfiskanlegg.

IV. Andre aktuelle emner. Til slutt presenteres kartleggingsmetoder til bruk på dypt vann, med et eksempel på hvordan ukjente korallrev kan finnes med flerstråleekkolodd.

Vi takker for at vi har fått anledning til å benytte data fra Havforskningsinstituttet i Reykjavik, Fiskerilaboratoriet på Færøyene, Geofysisk institutt - Universitetet i Bergen, Marine Laboratory i Aberdeen og Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO), Murmansk. Innenfor algeovervåkingen takker vi for samarbeidet med Fiskeridirektoratet Region Skagerrak, OCEANOR, NIVA, Norges veterinærhøgskole, Næringsmiddelkontrollen i Midt-Rogaland og Statens næringsmiddeltilsyn.

Redaksjonskomité for "Havets miljø 2001" har vært: Jan Helge Fosså (redaktør), Trygve Gytre, Hege Iren Svensen, Karen Gjertsen og Vibeke Kristiansen.



Figur 0.2 Midlere strømforhold i Nordsjøen, Norskehavet, Grønlandshavet og Barentshavet.
The mean current system of the North Sea, Norwegian Sea, Greenland Sea and Barents Sea.

Havklimaet

Det var forholdsvis varmt i Barentshavet i 2000, og vi forventer fortsatt temperaturer nær eller noe over det normale i den vestlige delen i 2001. I den østlige delen av Barentshavet vil temperaturene synke med ca. 0.5 °C og vil dermed nærme seg normalen for området i løpet av 2001.

Tilførselen av varme gjennom innstrømning av atlantisk vann til Norskehavet er fortsatt forholdsvis stor, og kombinert med en forholdsvis varm høst og vinter forventes det temperaturer over det normale i østlige del av Norskehavet og i dypere lag langs norskekysten i 2001.

Den vestlige delen av Norskehavet vil fortsatt være preget av relativt ferskt og kaldt arktisk vann. Det er imidlertid en økt innflytelse av atlantisk vann i øvre lag av det sentrale Norskehavet nord for Lofoten.

Innstrømning av varmt atlantisk vann til Nordsjøen var tilnærmet normal i 2000. I Nordsjøen og dypere lag av Skagerrak forventer vi en forholdsvis mild vinter i 2001.

Produksjonsforhold

Overvintringsbestanden av dyreplankton høsten 2000 synes å gi grunnlag for tilnærmet normale næringsforhold for lodde, norsk vårgytende sild og fiskeyngel i Barentshavet i 2001.

De siste fem års økte innflytelse av atlantisk vann i nordlige del av det sentrale Norskehavet og forholdsvis gode forekomster av dyreplankton om sommeren, vil trolig gi om lag samme produksjonsforhold og individuell vekst hos norsk vårgytende sild som i 2000. Veksten forventes således å bli relativt bra.

Rekrutteringen av sildelarver i 2000 synes å være litt under middels. Yngelproduksjonen av lodde var meget god i 2000, men målinger om høsten viste stor dødelighet, og 2000-årsklassen ser derfor ut til å være middels tallrik. Den videre utvikling av årsklassene for sild og lodde er blant annet avhengig av predasjonstrykket og miljøforholdene vinteren og våren 2001.

Fiskefordeling

I Norskehavet vil den østlige utbredelsen av vann med arktisk opprinnelse fortsatt føre til begrenset vestlig utbredelse av norsk vårgytende sild, særlig i det sørlige Norskehavet. Bedre beiteforhold i det sentrale Norskehavet i de senere årene vil trolig også bidra til en nordligere utbredelse av silda. Vi forventer derfor at silda vil fordele seg omtrent som i de siste årene hvor bare en liten del av bestanden trakk inn i islandsk sone (se for øvrig "Havets ressurser 2001").

Langtidsprognose

Siden 1996 har temperaturen i innstrømmende atlantisk vann til Norskehavet vært høyere enn langtidsmiddelet. Innstrømningen av forholdsvis varmt atlantisk vann førte til høye temperaturer i det østlige Norskehavet og i Barentshavet. Langs norskekysten og i Nordsjøen har i tillegg redusert avkjøling ført til ekstra høye høst- og vintertemperaturer i vannet de siste årene. Erfaringer fra tilsvarende varme perioder viser at det er stor sannsynlighet for en temperaturnedgang de nærmeste årene, men temperaturen vil trolig fortsatt holde seg nær eller noe over normalen fram til årskiftet 2002/2003. Havmiljøet i den vestlige delen av Norskehavet vil trolig også de nærmeste årene være preget av arktiske vannmasser.

Ocean climate

The year 2000 was warm in the Barents Sea, and for 2001 we expect temperatures close to average or just above the average. In the eastern part of the Barents Sea the temperature will decrease by 0.5 °C in 2001 and thus approach the long-term average.

The inflow of warm Atlantic water to the Norwegian Sea is still at a relatively high level. In combination with a warm autumn and winter we expect temperatures above average in the eastern part of the Norwegian Sea, as well as in the deeper water layers along the Norwegian coast in 2001.

The western part of the Norwegian Sea will still be influenced by relatively fresh and cold Arctic water. There is, however, an increased influence of Atlantic water in the upper layer of the central part of the Norwegian Sea north of Lofoten.

The inflow of warm Atlantic water to the North Sea was close to normal in 2000. In the North Sea and the deeper layers of Skagerrak we expect a relatively mild winter in 2001.

Ocean production

In the Barents Sea in the autumn of 2000 the overwintering biomass of zooplankton indicates average feeding conditions for capelin, Norwegian spring spawning herring, and juvenile fish in 2001.

The impact of Atlantic water in the northern Norwegian Sea the last five years combined with relatively high abundances of zooplankton during summer, will probably give the Norwegian spring spawning herring the same individual growth as in 2000, which was quite good.

The recruitment of herring larvae in 2000 seems to be slightly below average. The production of juvenile capelin was very high in 2000. Despite high juvenile production, high mortality was estimated in the fall. Therefore, the 2000 year-class is expected to be average. The future development of this year-class of herring and capelin will depend on the predation and the environmental conditions in the spring 2001.

Fish distribution

In the Norwegian Sea the extension of water of Arctic origin will still limit the western distribution of the Norwegian spring spawning herring, especially in the southern part. Improved feeding conditions in the central Norwegian Sea will also contribute to a more northerly distribution of herring. We expect then that the herring will be distributed as in the previous years, which means that only a minor part of the stock will migrate into the Icelandic zone (see also "Havets ressurser 2001").

Long-term prognosis

Since 1996 the temperature of the inflowing Atlantic water to the Norwegian Sea has been above the long-term average. The inflow has resulted in high temperatures in the eastern part of the Norwegian Sea and in the Barents Sea. Along the Norwegian coast and in the North Sea reduced surface cooling has resulted in higher temperatures during the autumn and winter. Experience from similar warm periods shows that we should expect a decrease in temperature the coming years, although the temperature will stay close to average or just above until 2001/2002. The western part of the Norwegian Sea will also be influenced by Arctic water masses in the years to come.

Rapporten presenterer resultater fra Havforskningsinstituttets miljøovervåkningsprogram i norske kyst- og havområder. Området er delt inn i fire store økosystemer; Barentshavet, Norskehavet, Skagerrak og Nordsjøen, kysten og fjordene. Disse økosystemene har karakteristiske fysiske, kjemiske og biologiske forhold som følges fra år til år. I økosystemene i Barentshavet og Norskehavet er hovedvekten lagt på overvåkning av havklima, dyreplankton og fiskelarver. Dette gir grunnlag for å vurdere miljøforholdene for vekst, fordeling og rekruttering for bestandene av lodde, torsk og sild. I Barentshavet ble overvåkingen av miljøgifter og radioaktivitet trappet opp etter 1991, og i 1994 ble det utført innledende undersøkelser av miljøgifter i Norskehavet. I Skagerrak og Nordsjøen, og økosystemet på kysten og i fjordene, er overvåkingen hovedsakelig knyttet til problemstillinger omkring antropogent tilførte næringssalter, skadelige alger og miljøgifter.

Barentshavet

Havklima. I dypere lag av de vestlige og sentrale deler av Barentshavet har det vært forholdsvis varmt siden 1998. I løpet av 2000 var det en gradvis temperaturnedgang, men ved årskiftet 2000-01 lå temperaturene likevel 0.4 °C over det normale. Øst i Barentshavet har temperaturen vært 0.5-1.0 °C over normalen. Dette førte til mindre is enn normalt i Barentshavet i 2000.

Planktonproduksjon. For hele området sett under ett var den totale biomassen av dyreplankton i 1999 den laveste i perioden 1994-99. Fra 1999 til 2000 økte biomassen av dyreplankton litt, bortsett fra helt i øst.

Loddelarver. Det ble registrert larver fra Malangsrunden i vest til den russiske grensen i øst og helt opp til 74 °N. Larveantallet som ble funnet er det nest høyeste som er registrert, bare målingen i 1999 var høyere. Under 0-gruppetoktet høsten 2000 ble det påvist færre individer av 0-gruppelodde enn i 1999. 2000-årsklassen ser derfor ut til å være middels tallrik.

Fiskefordeling. Temperaturene i det såkalte smutt-hullet i Barentshavet lå noe høyere enn i et middelår, og tilgjengeligheten på fisk i 2000 var om lag som i 1999. En østligere fordeling av fiskeyngel i Barentshavet sommeren 2000 falt sammen med en forholdsvis høy temperatur i øvre lag.

Norskehavet

Havklima. I atlantehavsvannet som strømmer inn i Norskehavet gjennom Færøy-Shetlandsrennen har temperaturene vært forholdsvis høye siden 1995. I 2000 lå temperaturen 0.3 °C over langtidsnormalen. I det atlantiske vannet utenfor Norskekysten lå temperaturene i 2000 over normalen, med noe høyere temperaturer i 2000 enn i 1999 i den sørligste delen. I de nordligste områdene av Norskehavet, sørvest av Svalbard, har temperaturene i atlantisk vann ligget nær det normale siden 1996. I sentrale og vestlige deler av Norskehavet har langtidstrenden pekt mot lavere saltholdighet og temperatur. Dette skyldes økte tilførsler av kaldt, ferskt arktisk vann fra Polhavet via Øst-Islandsstrømmen. Området domineres fortsatt av arktiske vannmasser.

Planktonproduksjon og sild. Økt produksjon av dyreplankton de senere år har medvirket til bedre beiteforhold og økt individuell vekst hos sild i Norskehavet. I mai 2000 var dyreplanktonbiomassen den høyeste siden 1995. Dette førte til at kondisjonen hos sild i overvintringsområdet i Vestfjorden og Ofotfjorden var god. I flere år har silda ikke vandret inn i islandsk sone på grunn av tilførsel av kaldt arktisk vann og sammenbrudd i produksjonen av *Calanus* i området. Som i de senere år, med arktisk vann i den sørlige delen av Norskehavet, har silda også i 2000 hatt en nordlig utbredelse om sommeren.

Sildelarver. Mesteparten av sildegytingen i 2000 foregikk på Mørefeltene, men også ved Karmøy og på Røstbanken. Antallet ser nå ut til å ha stabilisert seg på et noe lavere nivå enn i rekordårene 1997 og 1998. Positivt for gytingen i 2000 er at den var spredt over en stor del av kysten, og at de fleste larvene hadde en god vekst frem til april. Antall larver over plommesekkstadiet var fire ganger så høyt som i 1992, da det ble produsert en god årsklasse. Overlevelsen utover våren og sommeren ble derimot dårlig, slik at 2000-årsklassen ser ut til å bli litt under middels.

Nordsjøen og Skagerrak

Havklima. I de øvre lag av Nordsjøen var det i 2000 varmere enn vanlig, med unntak av sommermånedene. En meget mild høst, sammen med økt tilførsel av vann sørfra, førte til uvanlig høye temperaturer i de øvre 100 m langs norskekysten. Vannet over Nordsjøplataet og det innstrømmende atlantehavsvannet i Norskerennen har vært varmere enn normalt de siste årene, men sank i 2000 ned mot normalen. Innstrømning av atlantisk vann til Nordsjøen var også tilnærmet normal i 2000.

Plankton og næringssalter. Vinteren 2000 var tilførselen av antropogene næringssalter lavere enn de to foregående år. Dette skyldtes vedvarende, sterke nordlige vinder som blokkerte for innstrømmingen fra vestsiden av Danmark. Vinteren og våren 2000 lå næringssaltkonsentrasjonene utenfor norskekysten omkring gjennomsnittet for perioden 1980-95, og på dansk side lå de til dels betydelig under. Langs danskekysten i april var det ekstremt høye klorofyllkonsentrasjoner. Det mest uvanlige i Skagerrak i 2000 var at kiselalgen *Guinardia delicatula* dominerte ved kysten av Danmark i april-mai. Uvanlig høye næringssaltkonsentrasjoner langs vestkysten av Jylland og i sørlige Skagerrak hadde sammenheng med stor ferskvannsavrenning til den sørlige Nordsjøen vinteren og våren 2000.

Skadelige alger. Det ble ikke registrert skadelige algeoppblomstringer i det åpne Skagerrak i 2000. Langs vestkysten av Danmark ble det imidlertid observert meget høye konsentrasjoner av flagellaten *Chattonella aff. verruculosa*.

Kysten og fjordene

Kystklima. I øvre lag langs hele kysten lå temperaturene over det normale i 2000, med unntak av juli og august da oppstrømning av kaldt dypvann førte til forholdsvis lave temperaturer. Fra september og utover høsten var det igjen varmt med temperaturer på 1-2.5 °C over det normale. I dypere lag (150 m) var det varmere enn normalt langs hele kysten fra Rogaland til Finnmark. Skagerrakkysten var preget av innstrømmende atlantisk vann fra mars til oktober 2000, med temperaturer godt over normalen.

Plankton. Våroppblomstringen var svak langs kysten av Skagerrak, men normal langs resten av kysten. Oppblomstringen kom som vanlig tidligst og mest markert i fjordene, og litt senere og svakere i skjærgården. I Indre Oslofjord blomstret kalkflagellaten *Emiliania huxleyi* i oktober. Dette er uvanlig sent for blomstring av denne algen. I 2000 ble det observert langt færre glassmaneter enn de foregående år på Sørlandskysten. 2000 var også uvanlig idet brennmanetene viste seg før glassmanetene, og glassmanetesongen var forholdsvis kort.

Organisk belastning. Forbruk av oksygen under terskeldypet i en fjord forteller noe om den organiske belastningen. I Risørbassenget var oksygenforbruket i 2000 høyt. Dette viser en tydelig påvirkning som vi også

finner i en rekke andre fjorder langs Sørlandskysten. Ytre Oslofjord er også belastet, og konsentrasjonene av næringssaltet nitrat er "mindre god" ifølge SFTs miljøklassifisering.

Skadelige alger. Det mest uvanlige på kysten mellom Oslofjorden og Rogaland i 2000 var forekomsten av *Dinophysis acuta*. Den dukket opp tidligere og mer tallrik enn vanlig allerede fra slutten av juni, og førte til at skjellene langs kysten av Skagerrak akkumulerte diarégift over faregrensen allerede i juli. Diarégivende algegifter i skjell var derved et problem langs kysten av Skagerrak fra juli til desember 2000. Noe av diarégiftproblemene var også knyttet til at gift tatt opp i skjellene høsten 1999 holdt seg der frem til april-mai 2000. Lammende gift ble bare påvist i skjell ved et par anledninger og var ikke noe stort problem ved Skagerrakkysten. Mellom Rogaland og Stad var det mer diarégift enn vanlig i 2000. Fra Møre og Romsdal og nordover til Finnmark var det bare få påvisninger av diarégifter i skjell. Problemer med lammende gifter i skjell var få på Vestlandet i 2000.

Forurensning

Organiske miljøgifter som PCB og DDT konsentreres i de marine næringskjedene. I høye konsentrasjoner kan stoffene gi alvorlige biologiske effekter. Giftnivåene i fisk fra Barentshavet og Skagerrak er sammenlignet med prøver fra Norskehavet (Færøyene). All fisk fra Barentshavet i 1998 inneholdt organiske miljøgifter, men konsentrasjonene var lave sammenlignet med Nordsjøen og Skagerrak. Nivåene i Skagerrak kan likevel betegnes som forholdsvis lave sammenlignet med det man finner nær enkelte punktkilder langs kysten. Konklusjonen er at fisk fra Skagerrak og andre norske fiskeriområder er av god kvalitet, med lavt innhold av organiske miljøgifter.

Radioaktivitet. Nivået av radioaktiv forurensning i norske havområder er meget lavt og innholdet i fisk likeså. Innholdet i fisk ligger langt under tiltaksgrensen. De mest belastede områdene i våre nærområder er Østersjøen og Irskesjøen, med forurensning henholdsvis fra Tsjernobylulykken og Sellafield. Fiskeprøver fra Barentshavet omkring den forliste russiske ubåten "Kursk" viser svært lave verdier av cesium-137. Vi vil opprettholde overvåkingen av både miljøgifter og radioaktivitet for å kunne dokumentere renhetsgraden i fisk fra våre fiskeriområder.

The report presents results from the environmental monitoring programme in Norwegian coastal and ocean areas. The areas are divided into four large ecosystems: (i) the Barents Sea, (ii) the Norwegian Sea, (iii) Skagerrak and the North Sea, and (iv) the coastal zone including the fjords. Physical, chemical and biological properties of all these ecosystems have been monitored. For the Barents Sea and Norwegian Sea emphasis was put on the monitoring of ocean climate, zooplankton and fish larvae. This makes the basis for the consideration of the environmental conditions for growth, distribution and recruitment of capelin, cod and herring. In the Barents Sea the monitoring of organic contaminants and radioactivity was increased after 1991, and in 1994 started the investigations on organic contaminants in the Norwegian Sea. The monitoring of the Skagerrak and the North Sea, the coastal zone and the fjords has focussed on the antropogenic nutrient loads, harmful algae and organic contaminants.

The Barents Sea

Ocean climate. Since 1998 it has been relatively warm in the deep layers of western and central parts of the Barents Sea. During 2000 the temperature decreased, but at the turn of the year 2000-01 the temperature was still 0.4 °C above average. In the eastern part of the Barents Sea the temperature was 0.5-1.0 °C above average, and resulted in ice cover below normal.

Plankton production. In 1999 the zooplankton biomass in the whole Barents Sea was the lowest since 1994. From 1999 to 2000 the biomass increased, except in the easternmost part.

Capelin larvae. In 2000 larvae were registered from west of Malangsrunden to the Russian border in the east and northwards to 74 °N. The density of larvae was the second highest ever (maximum was observed in 1999). During the 0-group survey in the autumn 2000 the registrations were lower than the year before, indicating an average year-class strength.

Distribution of fish. The temperature in the Barents Sea Loophole was slightly higher than average and the availability of fish was at similar levels as in 1999. An easterly distribution of juvenile fish in the Barents Sea was correlated with comparable high temperatures in the surface layers during the summer 2000.

The Norwegian Sea

Ocean climate. Since 1995 the temperature has been relatively high in the Atlantic water flowing into the Norwegian Sea through the Faroe-Shetland channel. In 2000 the temperature was 0.3 °C above average. In the Atlantic water off the Norwegian coast the temperatures in the southern part in 2000 were higher than in 1999. In the northernmost parts, the temperature in the Atlantic water has been close to normal since 1996. The long-term trend in the central and western Norwegian Sea has been towards lower salinity and temperature. This is due to supplies of cold fresh Arctic water through the East-Iceland Current. This area is still dominated by Arctic water.

Plankton production and herring. An increased production of zooplankton in recent years has provided good feeding conditions for the herring, which resulted in high growth rates. In 2000 the zooplankton biomass was the highest since 1995 and the herring overwintering in Vestfjorden and Ofotfjorden exhibited high condition index. For several years the herring has not migrated into the Icelandic zone due to low water temperatures and a collapse in the production of *Calanus* in the area. Also in 2000 the herring had a northerly distribution during summer.

Herring larvae. The herring spawned mainly off Møre, but also off Karmøy further south and at Røst in the Lofoten area. The numbers seem to have stabilised at a level below the strong years of 1997-98. A positive traith in 2000 was that the spawning was spread over a considerable part of the coast and that the larvae showed a good growth until April. The number of larvae beyond the egg yolk stage were four times higher than in 1992, which is considered a good year-class. However, observed survival in spring and summer was low so that the 2000 year-class is expected to be below average.

The North Sea and Skagerrak

Ocean climate. The upper layers of the North Sea were warmer than average in 2000, except for the summer months. A warm autumn, combined with an increased influx of water from the south, resulted in unusually high temperatures in the upper 100 m along the Norwegian coast. The temperature on the North Sea Plateau and of the inflowing Atlantic water in the Norwegian Trench has been above average the last years, but dropped to the average in 2000. The inflow of Atlantic water to the North Sea was close to normal in 2000.

Plankton and nutrients. During winter 2000 the nutrient concentrations in Skagerrak were considerably lower compared to the two foregoing years regarding the anthropogenic nutrient loads. This was due to strong and lasting northerly winds that blocked the inflow of water from the North Sea with the Jutland Current. During winter and spring 2000, the nutrient levels outside the Norwegian coast were at the average compared to the period 1980-95. Off Denmark the levels were even lower. But in April the chlorophyll concentrations along the Danish coast were extremely high. The most conspicuous feature of the situation in Skagerrak 2000 was the domination of *Guinardia delicatula* along the Danish coast in April-May. The unusual high loads of nutrients off Jylland and in the southern Skagerrak can be explained by the high fresh water runoff in the southern North Sea during winter and spring.

Harmful algae blooms were not registered offshore in Skagerrak in 2000. Along the west coast of Denmark very high concentrations of the flagellate *Chattonella aff. verruculosa* were observed.

The coast and fjords

Coastal climate. In the upper layers along the entire coast the temperature in 2000 was above average except in July and August due to upwelling of cold water. From September and on, the temperature was 1-2.5 °C above average. In the deeper layers (150 m) it was warmer than normal from Rogaland to Finnmark. The Norwegian coast of Skagerrak was characterized by inflowing Atlantic water from March through October and exhibited temperatures above average.

Plankton. The spring bloom was weak along the coast of Skagerrak, but quite normal along the rest of the coast. The bloom started in the fjords and later spread to the coast, as expected. *Emiliana huxleyi* showed an unusual late bloom in October in the inner Oslofjord. In 2000 the numbers of jellyfish, *Aurelia aurita* and *Cyanea capillata*, were lower than normal along the south coast of Norway. The occurrence of *Cyanea* was earlier than that of *Aurelia*.

Organic load. The consumption of oxygen below the sill depth in a fjord basin indicates the organic load

in the system. In the Risør basin the consumption of oxygen was high during 2000 and it is a clear indication of high organic loads. This also applies to a number of similar environments on the south coast of Norway. In the outer part of the Oslofjord the nutrient loads are classified as “not good”, e.g. too high.

Harmful algae. Surprisingly, *Dinophysis acuta* appeared on the coast between Oslo and Rogaland earlier than usual and mussels accumulated diarrhetic poison above critical levels already in July. Poison in mussels causing diarrhoea thus became a problem from July to December 2000. Paralytic poison was recorded only a few times and caused few problems. From Rogaland to Stad more diarrhetic poison than usual was detected. From Stad to Finnmark diarrhetic poison was registered only a few places. No serious problems with paralytic poison occurred in 2000 along the coast of western Norway.

Pollution

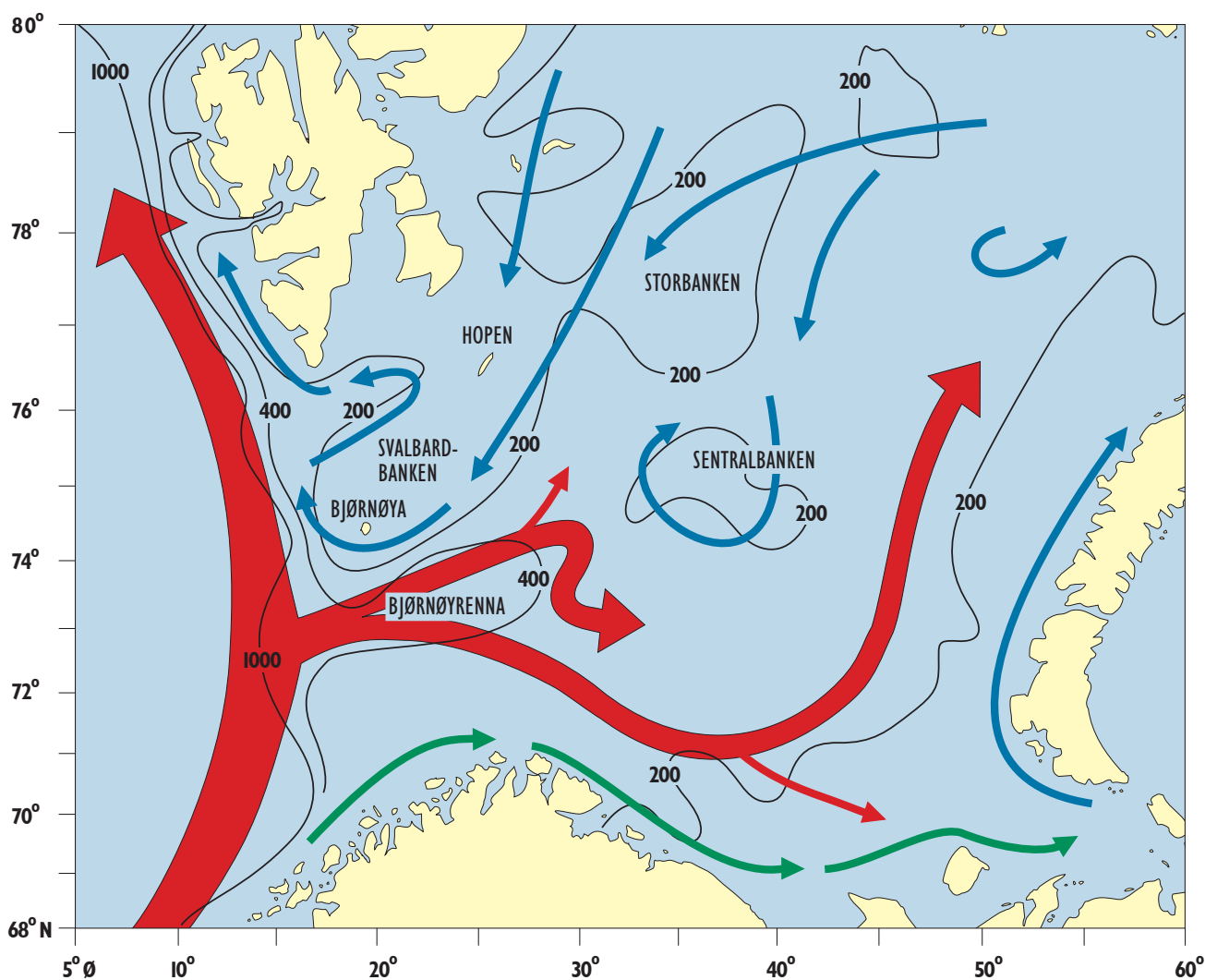
Organic contaminants like PCB and DDT concentrate upward in marine food chains. High concentrations may give severe biological effects. The levels of contamination in fish from the Barents Sea and Skagerrak have been compared with samples from the Norwegian Sea (Faroës). All fish from the Barents Sea contain contaminants, although the levels are very low compared to the Skagerrak and the North Sea. The level of contamination in Skagerrak is, however, not expected to cause any toxicological risk to the consumer. It can be concluded that fish from Skagerrak and other Norwegian fishing areas are clean with very low levels of contaminants.

Radioactivity. The level of radioactive contamination in Norwegian areas is very low, as is the level in fish. The level in fish is far below limits set for human consumption. The Baltic and the Irish Sea have high loads with radioactive nucleids originating from Chernobyl and Sellafield, respectively. Fish from the area near the sunken Russian submarine “Kursk” have low values of Cesium-137. However, despite low levels of organic and radioactive contaminants the monitoring will continue to document the quality of fish in Norwegian fishing areas.

Barentshavet er et sokkelhav på omtrent 1.4 millioner km² hvor størstedelen er grunnere enn 300 m og det midlere dypet er 230 m (Figur 1.1). Bunntopografien har stor innflytelse på fordeling og bevegelse av vannmassene. Innstrømmingen av atlantehavsvann til Barentshavet skjer med Nordkappstrømmen som deler seg i en nordlig og en sørlig gren. Strømmen av kaldt arktisk vann foregår fra nordøst mot sørvest (Figur 1.1). Barentshavet er karakterisert ved store variasjoner fra år til år, både når det gjelder varmeinnhold og isforhold. Den viktigste årsaken til dette er endringer i mengden av

atlantehavsvann som strømmer inn i Barentshavet og temperaturen i dette vannet.

I perioden fra 1989 til 1995 var temperaturene i den vestlige del av Barentshavet høyere enn langtidsnormalen (Figur 1.2). I slutten av 1995 avtok temperaturene i Barentshavet og lå stort sett under langtidsmiddelet fram til 1998, og har deretter vært høyere enn gjennomsnittet. Det spesielle har vært en høy positiv temperaturanomali ved årsskiftene 1998/1999 og 1999/2000. Dette skyldes veldig milde høster, slik at nedkjølingen som vanligvis finner



Figur 1.1 De viktigste trekkene i sirkulasjonsmønsteret og dybdeforhold i Barentshavet. Røde piler: atlantisk vann. Blå piler: arktisk vann. Grønne piler: kystvann.
The most conspicuous features of the circulation and bathymetry of the Barents Sea. Red arrows: Atlantic water. Blue arrows: Arctic water. Green arrows: Coastal water.

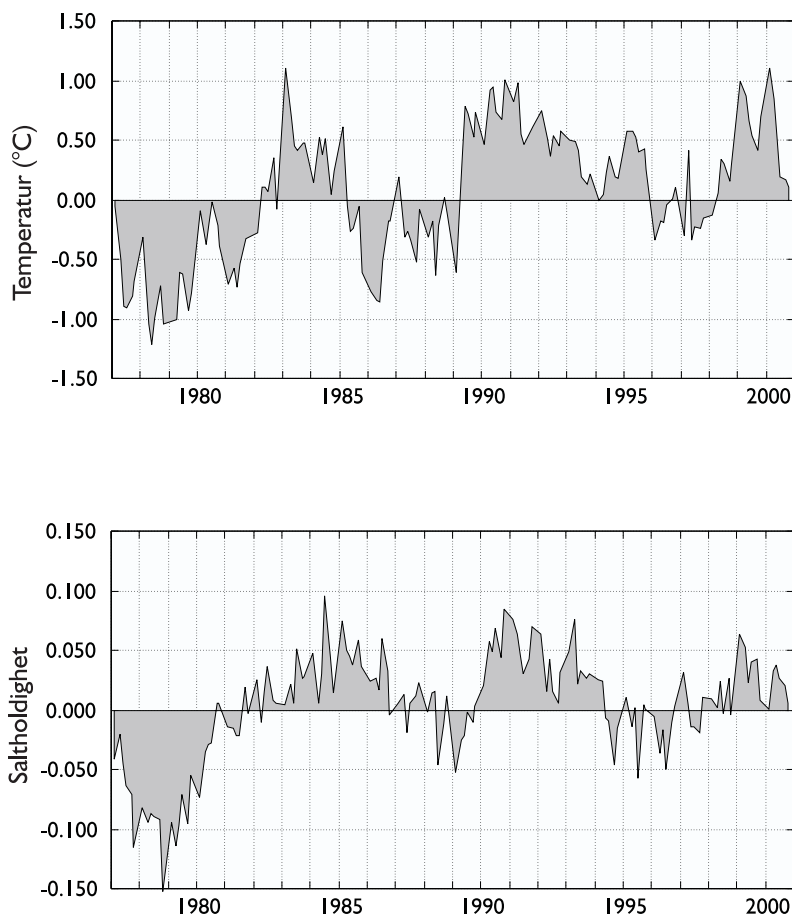
sted senhøstes og tidlig på vinteren ikke fant sted. Således var temperaturen ved årsskiftet 1999/2000 1.1 °C over langtidsmiddelet, noe som er den høyeste temperaturen som er observert siden 1983. I løpet av 2000 har temperaturen i atlantehavsvannet i de vestlige deler av Barentshavet avtatt jevnt slik at temperaturen i oktober bare var 0.1 °C over langtidsmiddelet. Dette var ikke uventet siden målinger lenger sør i Norskehavet hadde gitt signaler om en minkende temperatur. Ved årsskiftet 2000/2001 hadde temperaturen vest i Barentshavet steget til omtrent 0.4 °C over middelet, men dette er vesentlig mindre enn de to foregående årene.

I sentrale deler av Barentshavet lå temperaturene en halv grad over langtidsmiddelet i hele første halvår av 2000, for så å falle til samme nivå som lenger vest. Lengre øst har temperaturen vært høy i hele 2000. Temperaturen har vært 0.5-1.0 °C høyere enn langtidsmiddelet hele året, med størst avvik fra middelet i februar. I de østlige deler har det ikke vært noe tegn til avkjøling av vannmassene i annet halvår av 2000.

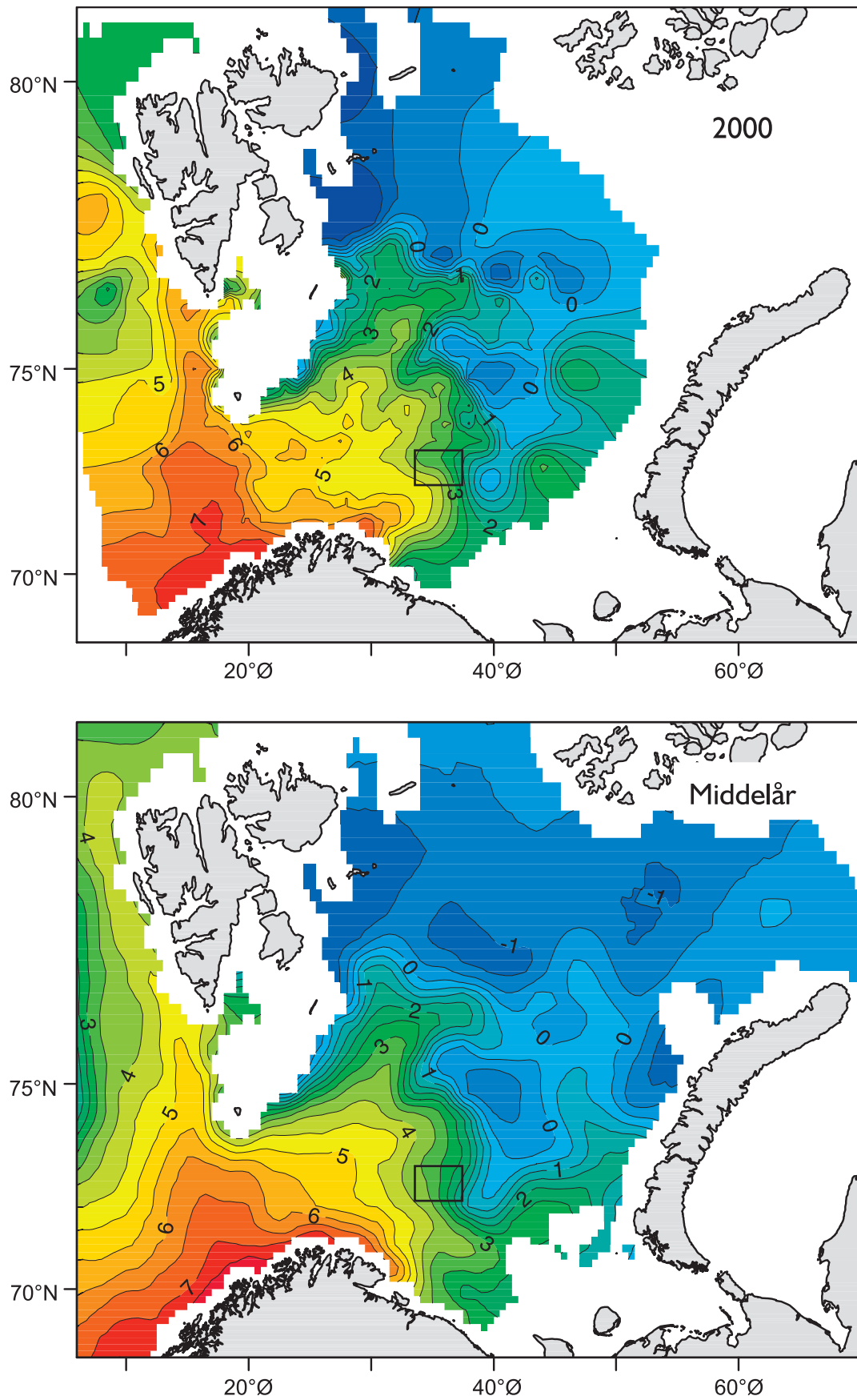
Den avtagende temperaturen i atlantehavsvannet i vestlige og sentrale deler av Barentshavet står i sterk kontrast til hva som er observert i kyststrømmen utenfor Troms og Finmark. I de kystnære områdene har temperaturen vært uvanlig høy høsten 2000 og helt fram til utgangen av året. Dette viser at det ikke nødvendigvis er en sammenheng mellom endringene i atlantehavsvannet og vannet nærmest kysten.

Saltholdigheten i snittet Fugløya-Bjørnøya (Figur 1.2) var, på samme måte som temperaturen, høyere enn langtidsmiddelet i hele 2000. I resten av Barentshavet var saltholdigheten i hele 2000 noe over langtidsmiddelet.

Figur 1.3 viser temperaturfordelingen i 100 m dyp i Barentshavet i august-september 2000 (øverst) og i et middelår (nederst). I 2000 var temperaturen nær middelet i store deler av havet. I Høpendjupet, og spesielt i området mellom Storbanken og Sentralbanken, var temperaturen noe høyere enn middelet, men litt lavere enn i 1999 (se også Figur 1.1). Det



Figur 1.2 Temperatur- og saltholdighetsavvik mellom 50 og 200 m dyp i snittet Fugløya-Bjørnøya i perioden 1977-2000. *Temperature and salinity anomalies between 50 and 200 m in the section Fugløya-Bjørnøya, 1977-2000.*



Figur I.3 Temperaturfordelingen i Barentshavet i 100 m dyp for august-september. Øverst: 2000. Nederst: middelår. Den sørvestlige delen av Smutthullet er markert. *Distribution of temperature at 100 m depth during August-September. Upper: 2000. Lower: mean temperature. The southwestern part of the Loophole is marked.*

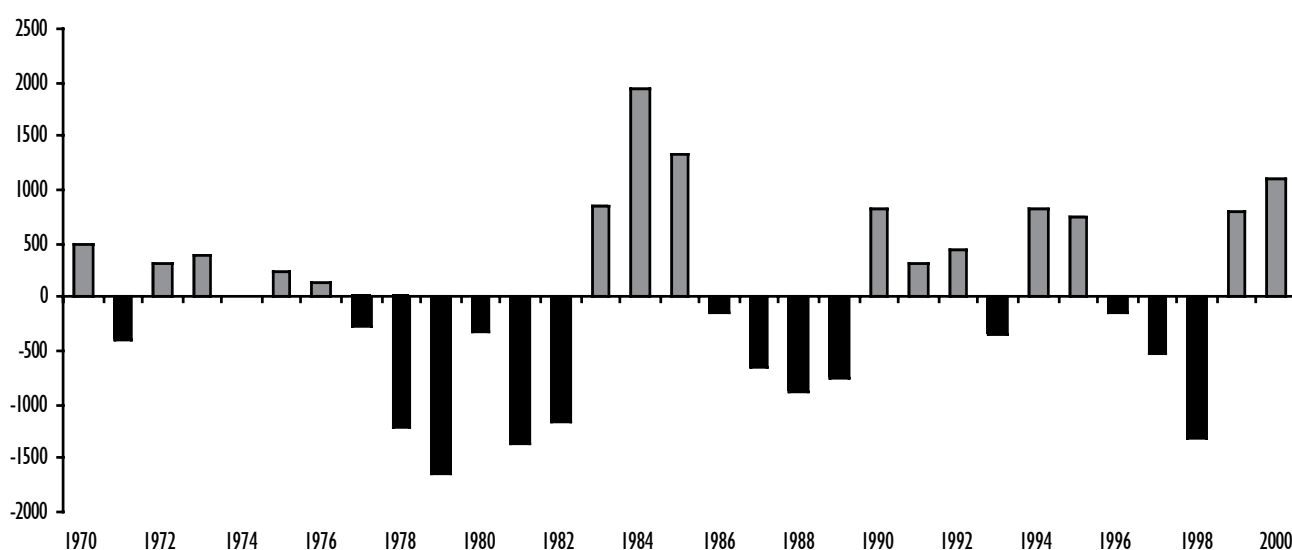
kalde området sørøst for Sentralbanken har blitt større i forhold til 1999, og var svært lik middelet. På figurene har vi markert den sørvestlige delen av Smutthullet, hvor størstedelen av det internasjonale fisket i Barentshavet foregår. I dette området vil en i varme år vanligvis finne fisk av alle størrelser hele året. I kalde år kan imidlertid dette området i perioder være fisketomt fordi fisken trekker lenger sør og vest. Årsaken til dette er at denne delen av Smutthullet ligger i et område med store øst-vestforskjeller i temperatur (polarfronten). Små forflytninger av vannmassene kan derfor gi store temperaturendringer i Smutthullet. Disse vannmasseforflytningene ser vi tydeligst mellom varme og kalde år i Barentshavet, men de kan også inntreffe på kortere tidsskalaer som uker. Temperaturen i Smutthullet var omtrent på samme nivå i 2000 som i 1999, og lå i august-september noe høyere enn i et middelår.

I 2000 var det litt mindre is i løpet av vinteren enn året før. Isgrensen lå store deler av vinteren nord for 75°N, og i enkelte områder også nord for 76°N. I løpet av sommeren 2000 var ismeltingen i Barentshavet stor, og året hadde som helhet mindre is enn i et normalår (Figur 1.4). Det er ingen sammenheng mellom ismengden om vinteren og sommeren, fordi det er forskjellige prosesser som styrer disse forholdene. Om vinteren er det temperaturforholdene og utbredelsen av atlantehavsvann som hovedsakelig bestemmer hvor langt sør og vest isen kommer, mens det er atmosfæriske

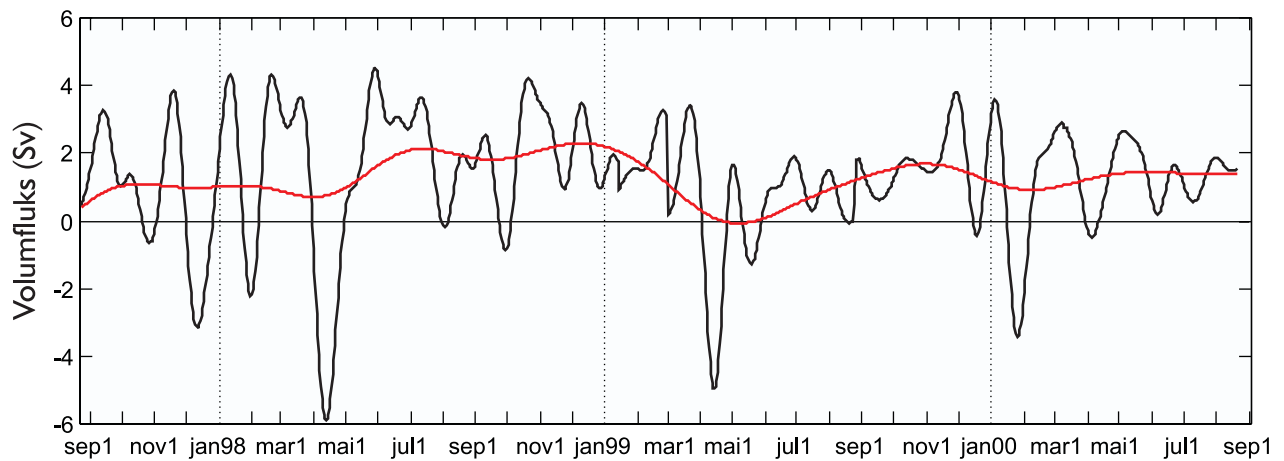
forhold, som lufttemperatur og vind, som bestemmer hvor mye is som smelter i løpet av sommeren. De forholdsvis høye sjøtemperaturene og værforholdene utover høsten 2000 førte til at det var lite is i Barentshavet ved årsskiftet 2000/2001.

I 1997 begynte Havforskningsinstituttet med strømmålinger fra faste rigger i snittet mellom Fugløyra og Bjørnøya. Figur 1.5 viser transport av atlantehavsvann inn i Barentshavet for perioden fra september 1997 og fram til september 2000. Figuren viser at det er store variasjoner i transporten fra måned til måned, og forskjellen er mer enn 10 Sverdrup (1 Sverdrup (Sv) er 1 mill m³s⁻¹, noe som tilsvarer transporten av vann i alle verdens elver til sammen). I gjennomsnitt transporteres det netto 2 Sv inn i Barentshavet, men i enkelte perioder strømmer det også betydelige mengder ut (se temaartikkel av Loeng og Ingvaldsen side 79). Det er vanskelig å finne sesongmessige variasjoner eller andre langtidsendringer i den korte måleperioden vi har hatt hittil. Målsettingen er at disse strømmålingene bør forsette for å bedre overvåkingen av klimaet i området.

Analyser av lange tidsserier av temperaturforholdene i Barentshavet viser periodiske svinginger, med perioder fra to til omkring tjue år. Disse periodiske endringene synes å være viktige bidrag til de temperaturvariasjonene vi observerer. Under forutsetning av at denne tilsynelatende sammenheng fortsetter, kan vi bruke statistiske metoder for å varsle de fremtidige temperaturfluktuasjonene



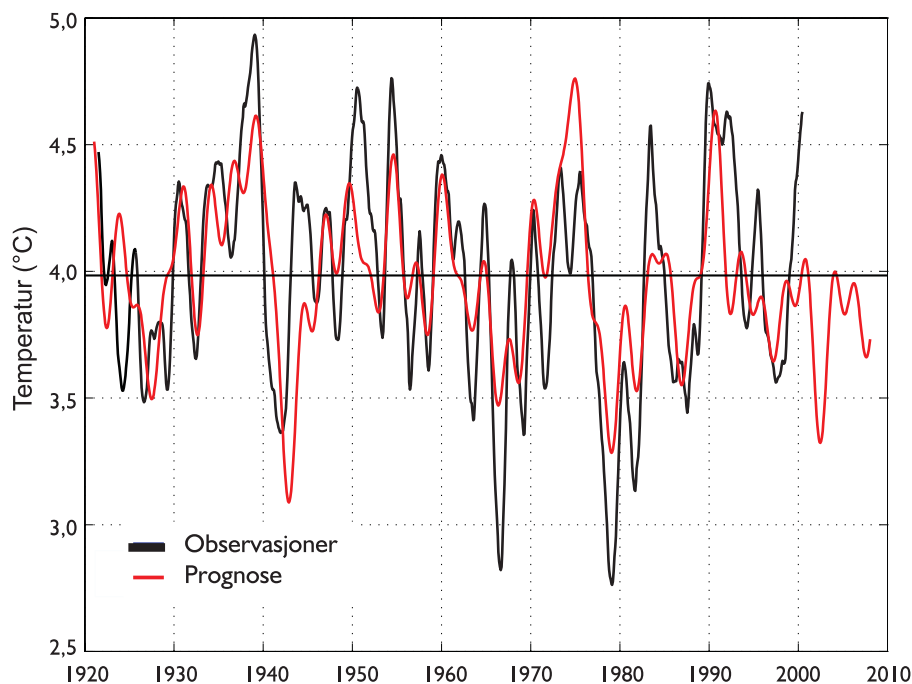
Figur 1.4 Isindeks for Barentshavet i perioden 1970-2000. Positive verdier betyr lite is, negative verdier indikerer mye is.
Ice index for the period 1970-2000. Positive values indicate little ice, while negative values show more severe ice conditions.



Figur 1.5 Tidsserie (1990-1999) av månedsmiddel og årsmiddel (tykk linje) modellert volumfluks inn i Barentshavet mellom Fugløya og Bjørnøya ($1 \text{ Sv} = 1 \text{ mill m}^3\text{s}^{-1}$).
Time series (1990-1999) of monthly mean modelled volume transport into the Barents Sea between Fugløya and Bjørnøya, ($1 \text{ Sv} = 1 \text{ mill m}^3\text{s}^{-1}$).

i Barentshavet. Slike beregninger indikerer at temperaturen i Barentshavet vil avta frem til 2002, etterfulgt av noen år med temperaturer nær eller under middelet (Figur 1.6). Observasjonene både i 1999 og 2000 ga imidlertid høyere temperaturer enn både prognosen og langtidsmiddelet. Observasjonene i det vestlige Barentshavet i løpet av høsten 2000 indikerer at vi vil få avtagende temperaturer også

i det østlige Barentshavet hvor Kola-snittet ligger. Siden prognosemodellen beskriver den nåværende situasjonen såpass dårlig, må man anta at prognosene er enda usikrere. Observasjonene indikerer et temperaturfall i 2001, spesielt i de østlige deler av Barentshavet. Lenger vest er situasjonen mer uklar, men ut fra observasjonene lengre sør er det grunn til å anta at temperaturen i 2001 vil ligge svært nær middelet.



Figur 1.6 Observert og modellert temperaturutvikling i Kolasnittet i Barentshavet sammen med prognose for denne frem til 2005.
Observed and modelled development of the temperature in the Kola-section together with temperature prognosis to 2005.

Barentshavet som økosystem er i stor grad avhengig av innstrømning av atlantisk vann med plankton fra Norskehavet. Raudåta, *Calanus finmarchicus*, er den arten som står for den høyeste biomassen og årsproduksjonen av plankton. Om vinteren står raudåta i Norskehavet på dypt vann og stort sett under terskeldypet inn til Barentshavet. Den nordatlantiske strømmen vil derfor bringe lite raudåte inn i Barentshavet på denne årstiden. Innstrømningsintensiteten og tidspunktet for innstrømning er viktig for mengden av transportert plankton når dette vandrer opp til de øvre lag etter overvintring på dypt vann. En regner med at den advektive transporten av raudåte er flere ganger større enn egenproduksjonen av denne arten i Barentshavet. Ved siden av raudåta og de andre hoppekrepsene, er krill og amfipoder de viktigste bidragsyterne til biomassen, men det er vanskelig å skaffe gode kvantitative mål på de sistnevnte. Store årlige variasjoner i dyreplanktonmengden ble observert på 80-tallet, da biomassen om sommeren falt markert fra 1981 til 1984, målt langs et snitt fra 73 til 78°N i det sentrale Barentshavet.

Siden 1986 har fordeling og sammensetning av dyreplankton i Barentshavet vært undersøkt årlig i august–september med to fartøyer. Hvert år har 100-200 stasjoner blitt tatt gjennom en vid dekning av området i forbindelse med 0-gruppe- og loddeundersøkelsene. September er den måneden da en kan forvente at isutbredelsen i Barentshavet er minst, slik at størst mulig område kan kartlegges. På denne årstiden har også primærproduksjonen og beitepresset fra planktonspisende fisk avtatt, og dyreplanktonets biomasse er en god indikator på størrelsen av overvintringsbestanden. I september har mesteparten av raudåta vandret ned på dypere vann for å overvintre.

Tidsserien fra 1988-2000 (Figur 1.7a) viser biomassen av dyreplankton fra forskjellige områder av Barentshavet. Dataene er basert på hal med en 56 cm diameter WP2-håv fra bunn til overflaten. Planktonet blir sortert etter størrelse ved siling på duk av forskjellig maskevidde, før prøvene blir tørket og veiet. Om høsten inneholder prøvene for det meste overvintrende raudåte, *Calanus finmarchicus*, i stadium IV-V, for det meste i størrelsesgruppen 1000-2000 μm). Krill, amfipoder og pilormer er

vesentlige bestanddeler i den største størrelsesgruppen $>2000 \mu\text{m}$, mens små kopepoder og yngre stadier av *Calanus* dominerer i 180-1000 μm -fraksjonen. Data var delvis mangelfulle de første årene av serien (1986 er ikke tatt med her). Antall stasjoner (N) som inngår i hvert område er vist på toppen av hver søyle. Områder der $N < 5$ er ikke tatt med. Områdene 2 og 3 har den svakeste dekningen og er slått sammen i denne oversikten.

Fra 1991-94 var det en tendens til en økende biomasse, med en topp i 1994 i alle deler av Barentshavet bortsett fra i område 8 hvor toppen kom i 1995. De senere årene har biomassen stort sett gått ned, men det fant sted en ny oppgang fra 1999-2000 (ikke i område 8). Tar en alle områdene under ett og midler verdiene fra alle stasjonene, ser en de store trekkene tydeligere (Figur 1.7 b). Den høyeste biomassen ble registrert i 1994 med 12.8 g m^{-2} . På to år sank den til 7.4 g m^{-2} . I 1997 ble det ikke gitt adgang til russisk sone, og dette førte til en mangelfull dekning i øst. Biomassen i de øverste 100 m er også vist for hele Barentshavet (Figur 1.7 b). Denne serien viser de samme svingningene som fra bunn-0 m, men biomassen er betydelig lavere, og det er en langt høyere andel av små organismer. Dette kan forklares med at nedvandring av de eldre stadiene har funnet sted, og at overflaten nå domineres av yngre stadier av raudåte, eller av andre mindre planktonorganismer.

Fra 1995 ble dekningen utvidet til vest av Svalbard og Bjørnøya over de dype områdene av Norskehavet (i områdene 2, 4 og 6). Her ble håvtrekkene tatt fra 200 m dyp (hovedsakelig 300 m i 1995), og resultatene er vist i Figur 1.7 c. Tidsserien viser en liknende trend som i resten av Barentshavet, men biomassen (særlig for de største organismene) er noe lavere fordi en stor del av planktonet har vandret ned på dypt vann under fangstdypet.

Lodda er en planktonspisende fisk med raudåte, krill og amfipoder på menyen. I 80-årene sank bestanden i Barentshavet dramatisk, for siden å øke og derpå falle igjen på midten av 90-tallet. Selv om det er flere predatorer på dyreplankton, ikke bare fisk, er det naturlig at svingninger i loddebestanden vil influere på dyreplanktonmengden. Dette synes å gå frem i Figur 1.8 der maksima i dyreplankton

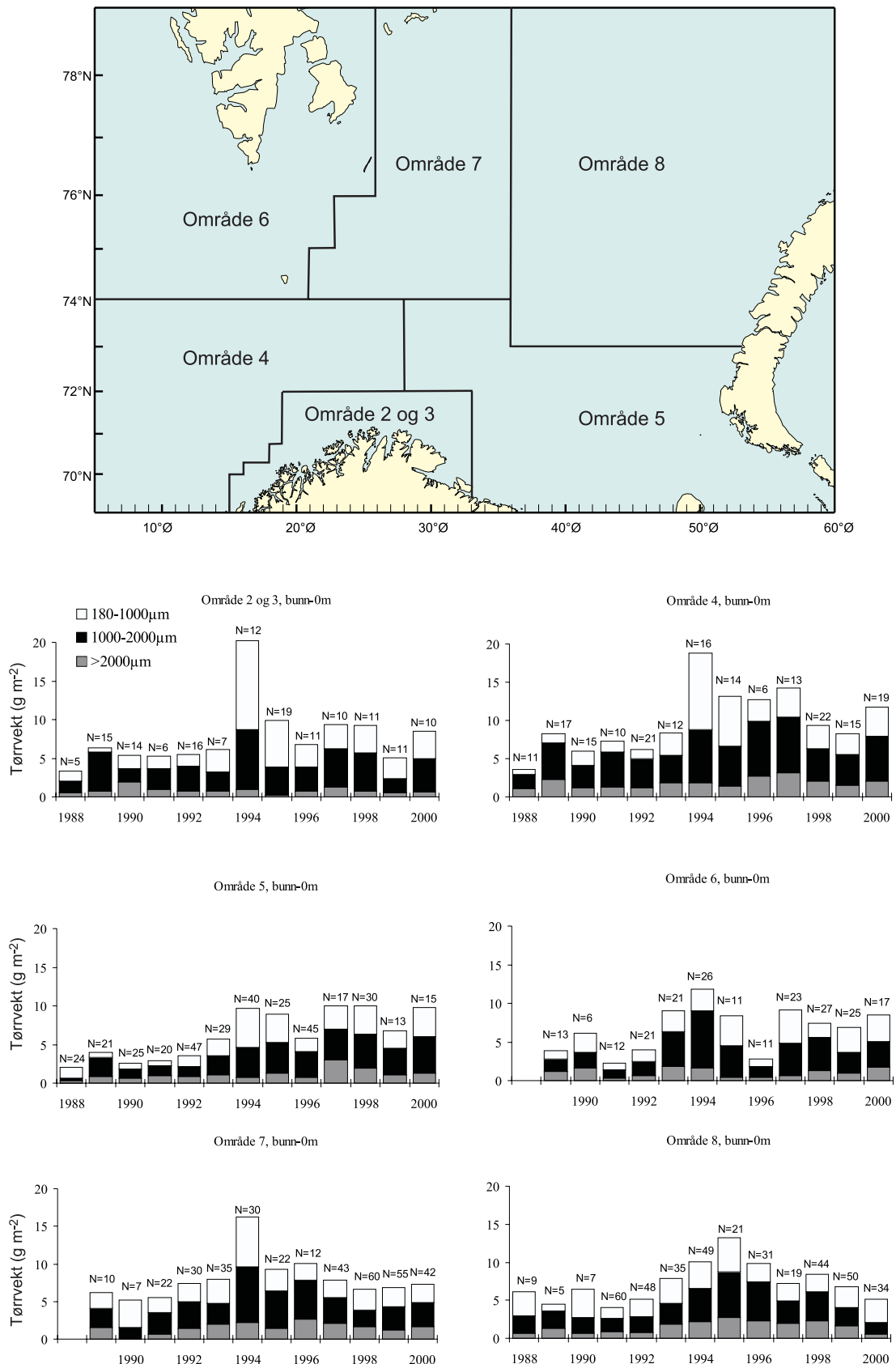


Fig. I.7 a

Middelverdier av størrelsesfraksjonert dyreplanktonbiomasse, g m⁻² (askefri tørrvekt 1988-89 og tørrvekt 1990-2000) fra bunn-0 m i «flerbestandsområdene» 2-8. Askefri tørrvekt tilsvarer ca. 80 % av tørrvekt. N = antall stasjoner.

Mean values of size separated zooplankton biomass, g m⁻² (ash free dry weight 1988-89, dry weight 1990-2000, from bottom - 0 m in the «multispecies» regions 2-8. Ash free dry weight is about 80 % of dry weight. N = number of stations.

fanget med WP2-håv i 1986 og 1994 faller innenfor perioder med lite lodde, mens perioder med mye lodde kan knyttes til perioder med nedgang i dyreplanktonbestanden. Også for de to vanligste krillartene *Thysanoessa inermis* og *T. longicaudata*

(MOCNESS-håv) kan en slik negativ korrelasjon spores. Særlig var *T. inermis* tallrik da loddebestanden var nede i annen halvdel av 80-tallet, mens krillmengden falt kraftig i takt med oppgangen i loddebestanden like etter.

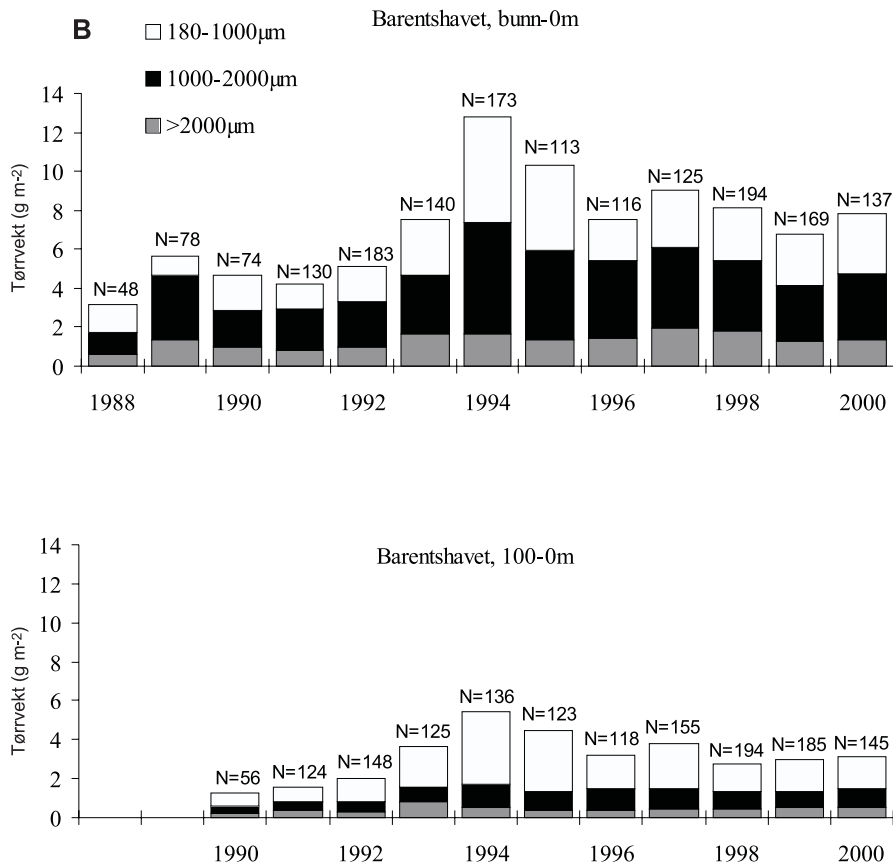


Fig. 1.7 b

Dyreplanktonbiomasse fra bunn - 0m (øverst) og fra 100 - 0 m (nederst), middelerverdier for hele Barentshavet, fra 1988-2000.
Zooplankton biomass from bottom - 0 m (upper) and from 100 - 0 m (lower), mean values for the whole Barents Sea, from 1988-2000.

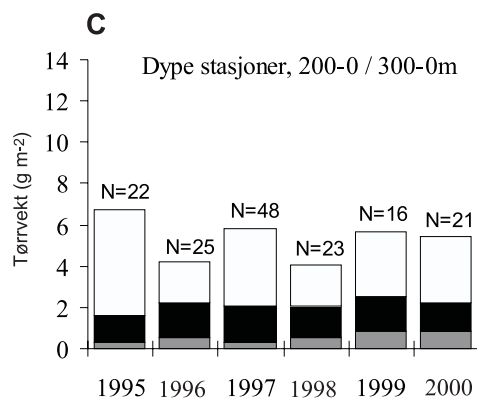


Fig. 1.7 c

Dyreplanktonbiomasse i 200 (300) - 0 m over dype områder, middelerverdier for de vestlige deler av områdene 2, 4 og 6, fra 1995-2000.
Zooplankton biomass from 200 (300) - 0 m at deep stations in the western parts of regions 2, 4 and 6. Mean values for 1995-2000.

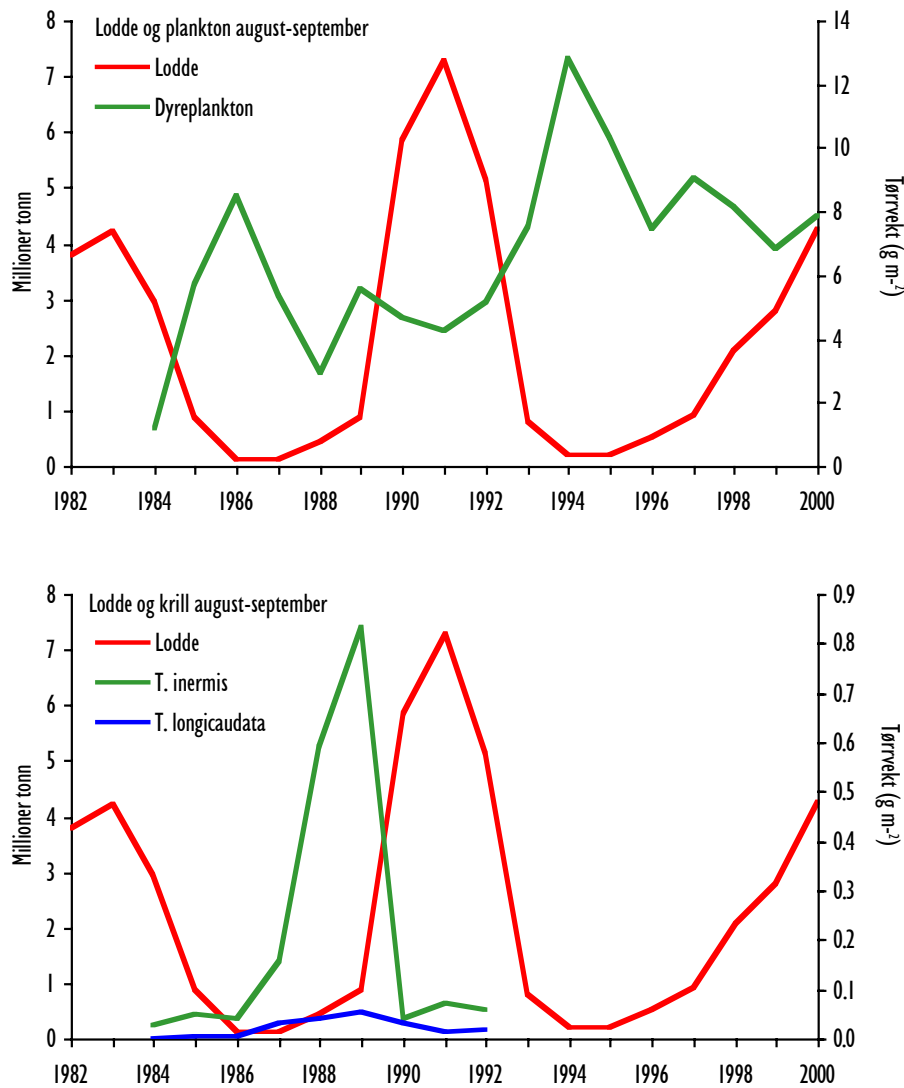


Fig. 1.8

Utvikling av bestandene av lodde og dyreplankton (øvre), og lodde og krill (nedre) i Barentshavet siden 1982. Data er basert på målinger i august-september.

Long term development of capelin and zooplankton (upper), and capelin and krill (lower) in the Barents Sea since 1982. Data collected in August-September.

1.3

Yngelproduksjon

Lodde

Det ble samlet inn loddelarver med F/F "Michael Sars" i norsk sone i Barentshavet i perioden 2.-27. juni 2000 i ressurscenterets regi. Skipet fikk heller ikke i år adgang til russisk sone, så et fullstendig undersøkelsesprogram lot seg ikke gjennomføre. Det totale antallet loddelarver i norsk sone ble beregnet til 19.1×10^{12} (Figur 1.9). Totalestimatet med russisk sone inkludert ville nok ikke bli så mye høyere, da vi erfaringsmessig vet at mengden larver i russisk sone utgjør mindre enn 10 % av hele larveantallet. Det

ble benyttet Gulf III til innsamling (torpedoformet høyhastighets planktonsamler i aluminium), og det ble tatt i alt 230 stasjoner. Det ble registrert loddelarver i store deler av det undersøkte området, fra Malanggrunnen i vest til den russiske grensen i øst. I nord ble det funnet larver helt opp til 74 °N. Høye tettheter på over 50 larver pr m² overflate ble funnet opp til 72°N i området fra Torsvåg til Vardø. Fordelingen minner om den som ble observert ved tilsvarende undersøkelser i perioden 1989-93 og i

1998-99, og som la grunnlag for flere sterke årsklasser. Larveantallet som ble funnet er den nest høyeste som er registrert siden loddelarveundersøkelsene startet i 1981, bare målingen i 1999 er høyere. Men under 0-gruppe-toktet høsten 2000 ble det påvist

færre 0-gruppe-lodde i Barentshavet enn i 1999, og 2000-årsklassen av lodde ser derfor ut til å være middels tallrik. Forklaringen kan være at en del av de store larvemengdene i juni ble beitet ned i løpet av sommermånedene.

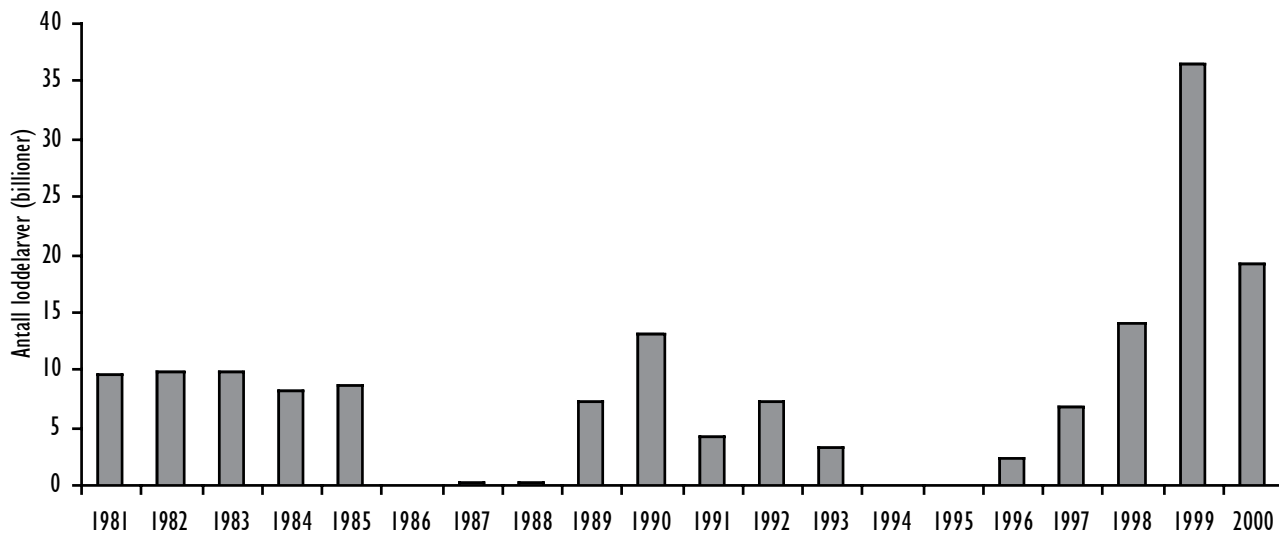


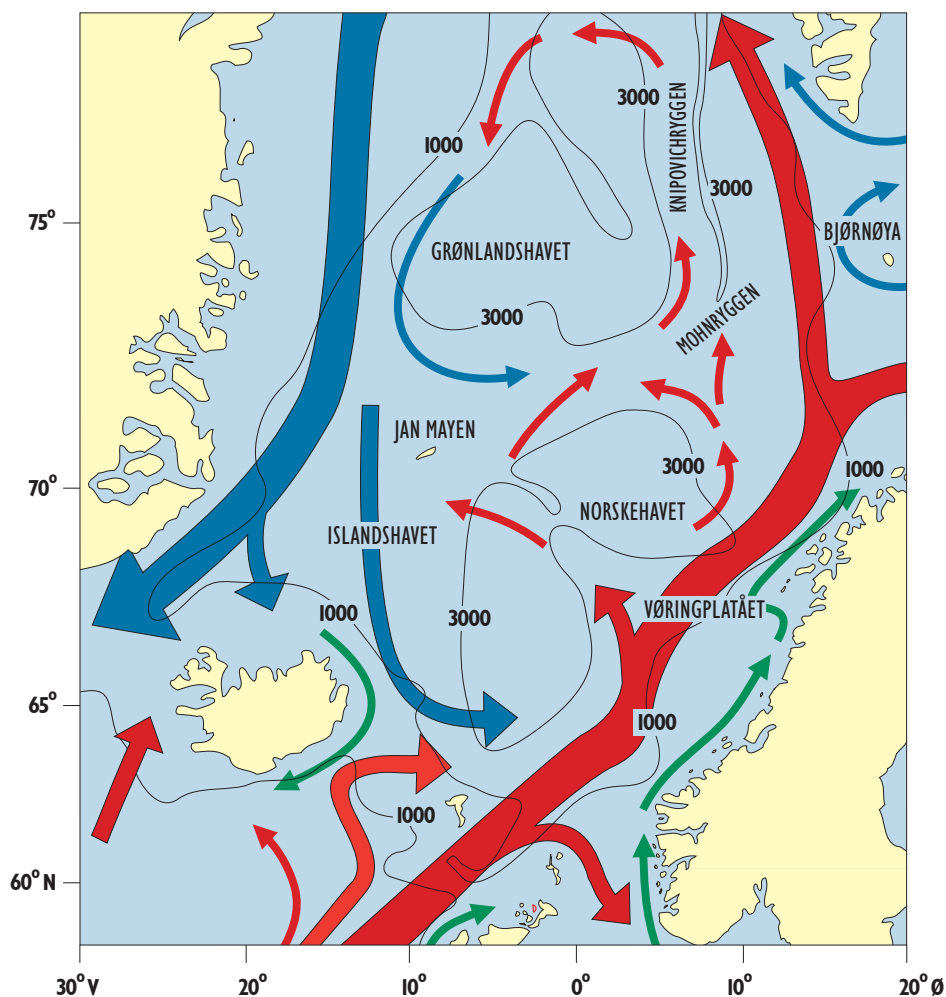
Fig. 1.9 Antall loddelarver for perioden 1981-2000.
The number of capelin larvae during the period 1981-2000.

2.1 Havklima

Det varmeste og salteste vannet som kommer inn i Norskehavet fra Atlanterhavet, går hovedsakelig gjennom Færøy/Shetlandsrennen der det følger eggkanten nord av Skottland (Figur 2.1). En annen strømgren som også fører atlantehavsvann kommer inn nord av Færøyene, etter å ha krysset Grønland/Skottlandsryggen mellom Færøyene og Island. Lenger vest er det innstrømning av atlantehavsvann til nordislandske kystfarvann. Atlanterhavsvannet som strømmer inn i Norskehavet avgir store varmemengder til atmosfæren, slik at det nordvestlige Europa har et meget mildt klima i

forhold til sin geografiske bredde. Dette fører til at hele Norskehavet og store deler av Barentshavet er isfritt og åpent for biologisk produksjon.

Variasjoner i transporten av atlantisk vann og de temperatursvingningene som dette fører til, er en viktig økologisk faktor som virker inn på de biologiske forholdene i havet. Tilstanden i fiskebestandene er som regel best når temperaturen er høy, idet store årsklasser ofte rekrutteres i varme perioder. Temperaturvariasjonene som vi måler er nødvendigvis ikke et mål for varmemengden som



Figur 2.1

De viktigste trekkene i sirkulasjonsmønsteret og dybdeforhold i Norskehavet, Islandshavet og Grønlandshavet. Røde piler: atlantisk vann. Blå piler: arktisk vann. Grønne piler: kystvann.

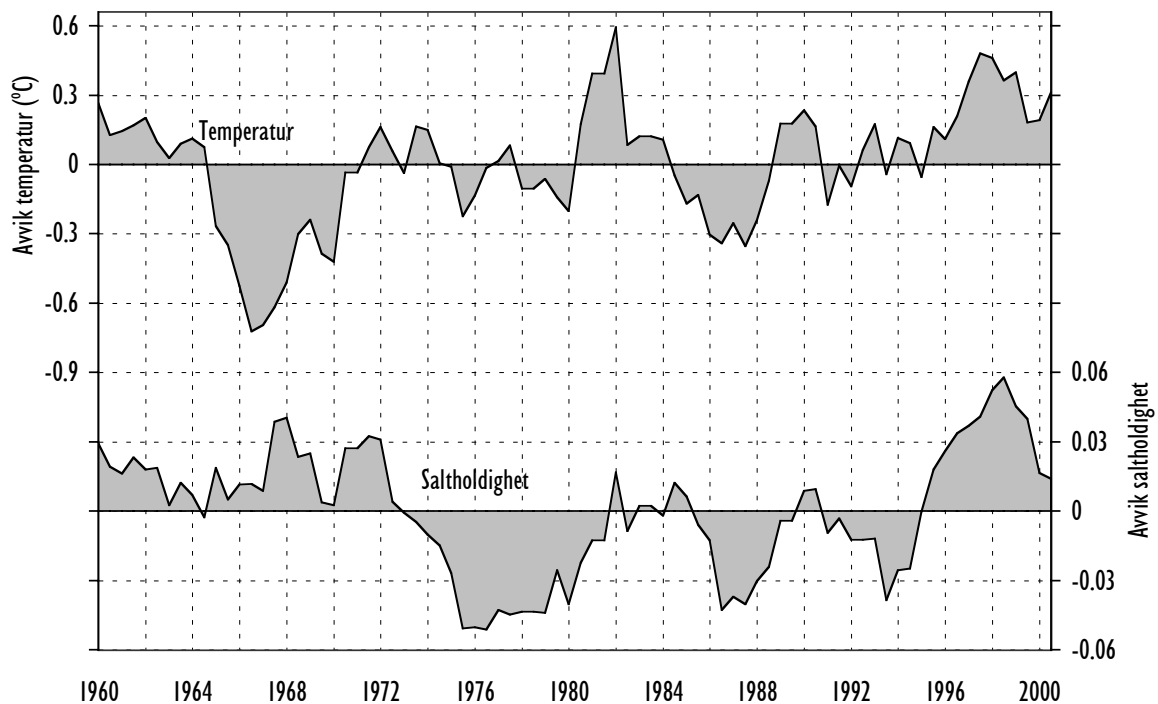
The main circulation pattern and bathymetry of the Iceland Sea, Norwegian Sea and Greenland Sea. Red arrows: Atlantic water. Blue arrows: Arctic water. Green arrows: Coastal water.

kommer inn i Norskehavet, fordi denne også avhenger av volumtransporten. Variasjoner i volumtransporten har vi langt mindre kjennskap til enn temperaturvariasjonene. Grunnen til dette er at transportmålinger er meget kostbare å gjennomføre.

Atlantehavsvannet på den skotske siden av Færøy/Shetlandsrennen kommer i hovedsak inn i området sør av Færøybanken, spesielt langs kontinentalskråningen vest av De britiske øyer (Figur 2.1). Temperaturen og saltholdigheten i dette vannet har vært målt siden 1902. Figur 2.2 viser målingene fra og med 1960. De vanligste variasjonene har tidsskala på noen få år. Disse variasjonene har vanligvis også de største utslagene. Måleserien viser også at det er endringer over flere tiår. Vannet som strømmet inn fra Atlanterhavet på 90-tallet, var i gjennomsnitt ca. 0.3 °C varmere enn på 60-tallet. Korttidssvingningene kan imidlertid være nesten en grad. Temperaturen har økt gradvis fra 1995, og

var i 1998 nesten 0.5 °C over normalen, som er det høyeste siden begynnelsen av 1980-årene. Etter en nedgang fra denne toppen økte temperaturen noe igjen i 2000. Saltholdigheten var i 1976 den laveste siden begynnelsen av 1900-tallet. Siden da har den i gjennomsnitt vært økende, selv om det er observert svingninger med topper i 1982 og 1990, og bunnverdier i 1987 og 1994. Siden 1994 har det vært en bemerkelsesverdig økning i saltholdigheten, og i 1998 var den den høyeste i hele måleserien. Fra 1998 til 2000 har saltholdigheten sunket betydelig, men den lå fortsatt over normalen for perioden 1960-2000.

Figur 2.3 viser variasjonen siden 1978 i temperatur og saltholdighet i snittene Svinøy-NV, Gimsøy-NV og Sørkapp-V (se Figur 0.1 for posisjoner). Snittene viser forholdene i henholdsvis sørlige, sentrale og nordlige deler av østlige Norskehavet. Verdiene representerer sommerforholdene mellom 50 og 200 meters dyp i kjernen av atlantehavsvann like utenfor



Figur 2.2

Tidsserier av temperatur og saltholdighet i atlantehavsvann over eggakanten nord av Skottland. Verdiene er vist som avvik idet sesongvariasjonen er fjernet. Kurven viser 24 måneders glidende midler, beregnet for seks månedersintervaller. Gjengitt med tillatelse fra Marine Laboratory, Aberdeen.

Time series of temperature and salinity in surface waters lying at the shelf edge north of Scotland. Values are presented as anomalies as the seasonal cycle has been removed. The curves are the result of 24 month centered running means, calculated at 6 months intervals. Courtesy of the Marine Laboratory, Aberdeen.

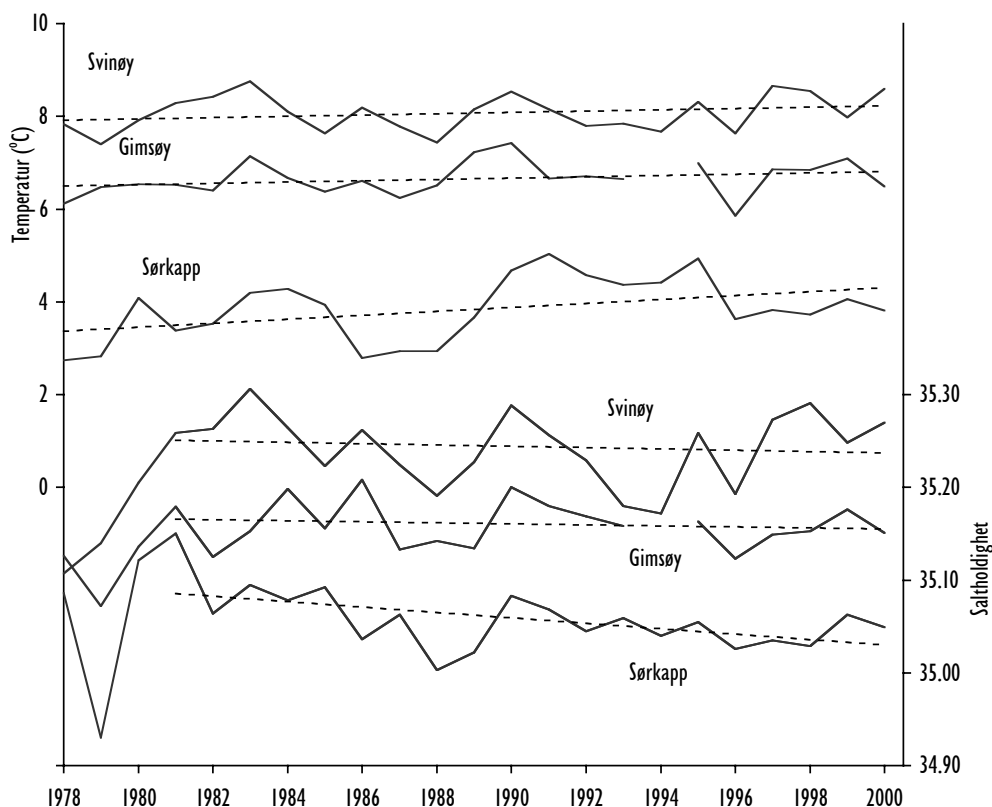
eggakanten, og er basert på målinger tatt i perioden fra slutten av juli til begynnelsen av september. Noen likhetstrekk med forholdene nord av Skottland (Figur 2.2) forekommer også i snittene, som for eksempel de lave saltholdighetene i slutten av 1970-årene og perioden med høye verdier i temperatur og saltholdighet rundt 1990.

I Svinøy- og Gimsøysnittet har temperaturen fra 1996 økt betydelig, selv om det i Gimsøysnittet for år 2000 var en reduksjon i temperaturen til under trendlinjen for 1978-2000. De nordligste områdene i Norskehavet, representert ved Sørkappsnittet, hadde ikke samme temperaturøkning fra 1996 til 2000 som de sørligere snittene. Siden 1996 har temperaturen i Sørkappsnittet dermed ligget nær gjennomsnittsverdien, men under trendlinjen for perioden 1978-2000. Figur 2.3 viser imidlertid at langtidstendensen mot høyere temperatur var større nord i Norskehavet enn i sør. Årsaken til dette har blant annet vært redusert varmetap til atmosfæren

på grunn av økt lagdeling i øvre lag og varmere vintervær.

Langtidsøkningen av temperatur i atlantisk vann i det østlige Norskehavet har vært mindre enn temperaturutviklingen i Færøy/Shetlandsrennen ved innløpet til Norskehavet (Figur 2.2), hvor det har vært en jevnt økende temperatur siden 1960-tallet. I det innstrømmende vannet i Færøy/Shetlandsrennen, har også saltholdigheten vist en økende trend etter 1980, og da spesielt etter 1994. Denne økningen ser vi ikke i Norskehavet hvor alle tre snittene har vist en tendens mot lavere saltholdighet siden 1981. Denne forskjellen skyldes at det sørlige og sentrale Norskehavet er blitt påvirket av arktisk vann fra vest via Øst-Islandsstrømmen. Videre mot nord er det igjen økende innblanding av arktisk vann fra vest, slik at Sørkappsnittet viser en mer nedadgående langtidstrend i saltholdigheten.

Forskjellig fra standardsnittene, viser tidsserier



Figur 2.3

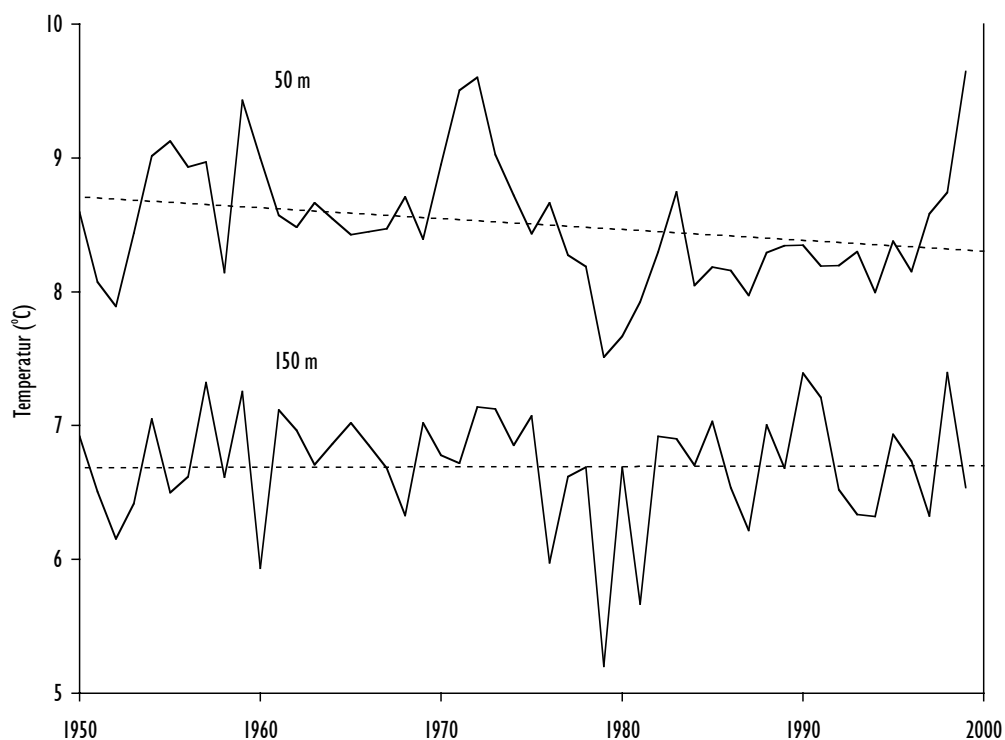
Temperatur og saltholdighet, observert i juli/august, i kjernen av atlantisk vann i snittene Svinøy-NV, Gimsøy-NV og Sørkapp-V, midlet mellom 50 og 200 m dyp (1978-2000) (lokalisering av snittene er vist i Figur 0.1).
 Temperature and salinity, observed in July/August, in the core of Atlantic water in the sections Svinøy-NW, Gimsøy-NW and Sørkapp-W, averaged between 50 and 200 m depth (1978-2000), (positions of the sections are indicated in Figure 0.1).

i sentrale og vestligere deler av Norskehavet ved værskipsstasjon Mike (St. M, Figur 0.1) en langtidstrend, ikke bare mot lavere saltholdighet, men også mot lavere temperatur. Effektene av langtidstrenden varierer imidlertid både med årstid og dyp. Forholdene i august var således mindre preget av denne utviklingen enn andre årstider. Dette fremgår i Figur 2.4 som viser tidsseriene av temperatur i 50 og 150 m dyp i august ved stasjon M. Vi ser at temperaturen i 50 m dyp viste en synkende tendens, mens det i 150 m dyp ikke var en tilsvarende nedgang. Mens temperaturen i 150 m dyp lå litt under gjennomsnittet, viste målingene i 50 meters dyp at det øvre laget i Norskehavet ved stasjon M, sommeren 1999, hadde unormalt høye temperaturer.

Langtidstrenden av temperatur og vannmassefordeling ved Nord-Island har vært noe forskjellig fra Norskehavet. Som det fremgår av Figur 2.5, var det der en markant endring mot kaldere forhold med lavere saltholdighet, altså mot mer arktiske forhold, gjennom siste halvdel av 1960-årene. Siden da har gjennomsnittet for både temperatur og saltholdighet

ligget lavere enn før 1965, og forholdene har vært mye mer variable. I 1994-1995 var "påtrykket" av arktisk vann så stort at det blokkerte for innstrømmingen av atlantisk vann til det nordislandske kystområdet. En oppvarming med større innslag av atlantisk vann gjennom de fem foregående årene ble dermed avbrutt (Figur 2.5). Fra 1998 til 1999 var det igjen en kraftig økning i tilførselen av atlantisk vann, og temperaturen steg med to grader og saltholdigheten økte betydelig. I 2000 sank temperaturen og saltholdigheten litt ned igjen, men de er fortsatt relativt høye i forhold til gjennomsnittene fra 1965 til 2000. Temperaturøkningen ved Nord-Island står i kontrast til de store mengdene av kaldt arktisk vann som kommer inn i Norskehavet via Øst-Islandsstrømmen. Dette viser at forholdene på de nordislandske kystbankene kan være uavhengige av forholdene i Øst-Islandsstrømmen lenger ut fra kysten.

Variasjoner i areal og i middeltemperatur av atlantisk vann i Svinøysnittet om sommeren er vist i Figur 2.6. Atlantisk vann er her definert som alt vann med saltholdighet høyere enn 35. I 1992-95 var



Figur 2.4

Tidsserier av månedsmidler for august av temperatur i 50 og 150 m dyp på værskipsstasjon M i Norskehavet, i posisjon 66°N, 02°Ø. Gjengitt med tillatelse fra Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen.

Time series of monthly mean values for August of temperature at 50 and 150 m depth at Ocean Weather Station M in the Norwegian Sea, in position 66°N, 02°E. Courtesy of the Geophysical Institute, University of Bergen.

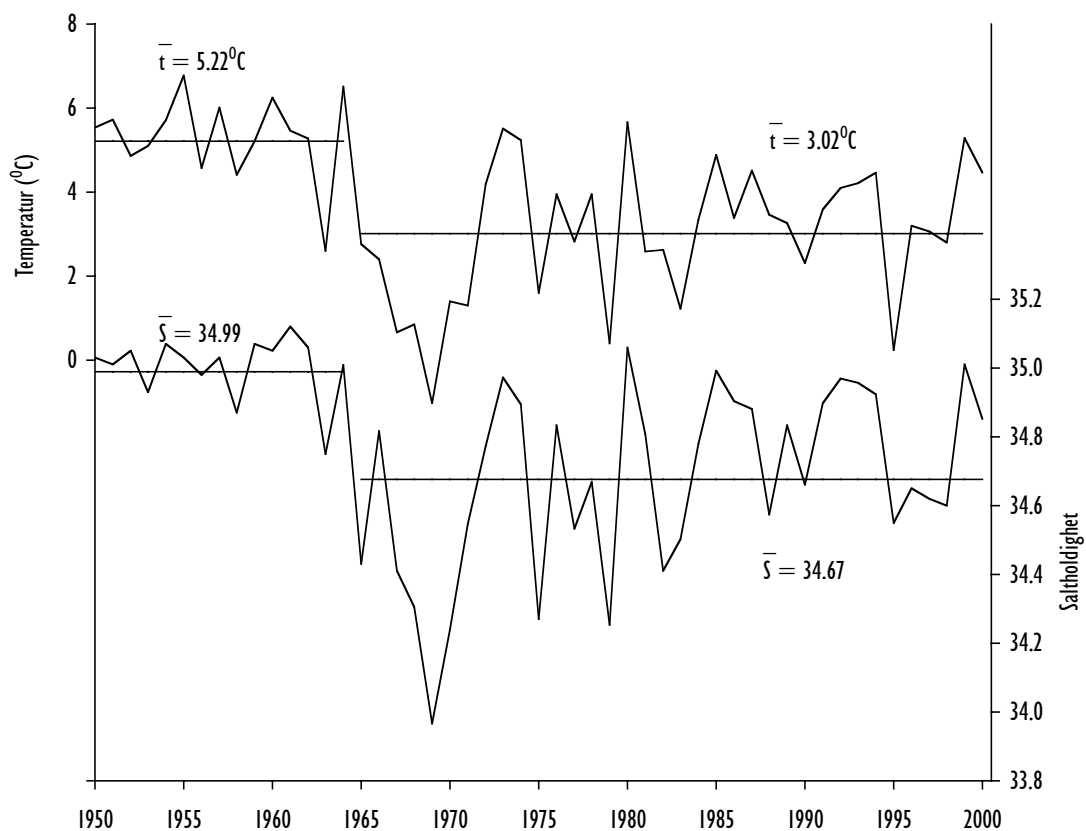
arealet av det atlantiske vannet i snittet langt lavere enn langtidstrenden, og 1993 hadde den laveste verdien siden 1979. Selv om arealet av det atlantiske vannet steg fra 1999 til 2000, er langtidstrenden fra 1981 til 2000 nedadgående. I årene 1997-1999 hadde det atlantiske vannet de høyeste temperaturene i hele tidsserien, mens temperaturen i 2000 falt til under langtidstrenden. Langtidstrenden viser at det atlantiske vannet har blitt 0.5 °C varmere fra 1978 til 2000.

Endringene i havklima og vannmassefordeling som er observert i Norskehavet styres i hovedsak av den storstilte fordeling av atmosfæretrykk i den nordatlantiske sektoren og tilhørende vindforhold. En indeks for variasjon i trykkforskjellen mellom Azorene utenfor Portugal og Island er mye benyttet som et mål for intensiteten i vindsystemet over det nordlige Atlanterhavet. Denne trykkvariasjonen er kjent som "Den nordatlantiske oscillasjon" (NAO) og står i nær sammenheng med vindforholdene i Norskehavet, og dermed med utbredelsen av de ulike vannmassene. Med høy NAO som gir mye vestavind, blir påtrykket av arktiske vannmasser

fra vest også større. Endringene mot mer arktiske og kaldere forhold i vestlige og sentrale deler av Norskehavet siden slutten av 1960-årene står således i forbindelse med en økt NAO-indeks (se også Figur 6.4).

Klimaforhold og utbredelse av vannmasser har stor betydning for produksjon og fiskefordeling i Norskehavet. I flere år har for eksempel silda ikke vandret inn i islandsk sone på grunn av økt østlig utbredelse av kaldt arktisk vann. De siste årene har det vært en stor tilførsel av arktisk vann om våren til det sørlige Norskehavet. Dette er kanskje forklaringen på at silda har hatt en nordlig utbredelse de siste somrene.

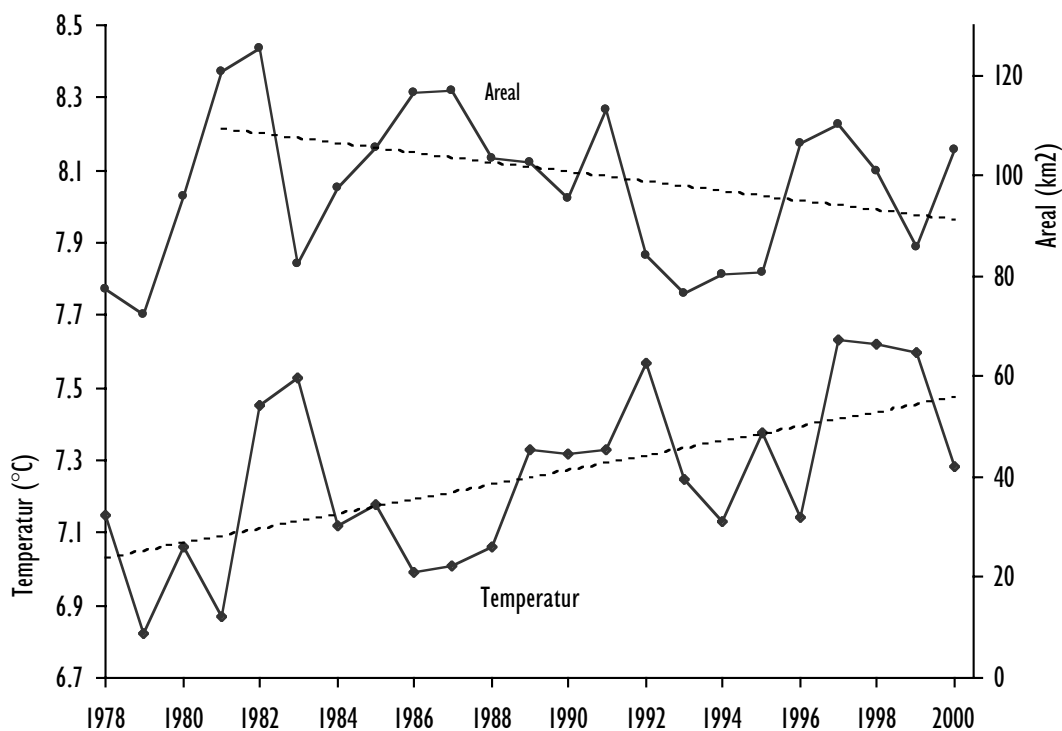
Øverst i Figur 2.7 vises temperaturen på 100 m dyp i mai 2000. Nederst er avviket fra gjennomsnittstemperaturen de ti siste årene fremstilt. Den arktiske fronten kan ses i sør hvor temperaturen varierer fra 4 til 7 °C over relativt kort distanse. I den sørøstlige delen av Norskehavet har det vært en temperaturøkning på opptil 0.5 °C, mens i resten av det sørlige Norskehavet har det vært en



Figur 2.5 Variasjoner i temperatur og saltholdighet i 50 m dyp nord av Siglunes, Nord-Island, i mai/juni 1952-2000. Presentert med tillatelse fra Havforskningsinstituttet i Reykjavik.
Temperature and salinity variations at 50 m depth off Siglunes, northern Iceland, in May/June 1952-2000. Courtesy of the Marine Research Institute, Reykjavik.

temperaturreduksjon. Størst reduksjon har det vært i sørvest hvor tilførsel av arktisk vann fra vest er størst. På det meste er temperaturen blitt redusert med 0.75 °C. I det nordlige Norskehavet derimot er det stort sett blitt varmere. Perioden 1991-2000, som gjennomsnittstemperaturen er beregnet for, er en periode med relativt varmt atlantisk vann sammenlignet med 1978-2000 (se Figur 2.6). En sammenligning mellom år 2000 og perioden 1978-2000 ville da ha vist en varmere anomali i det atlantiske vannet enn det som er vist i Figur 2.7.

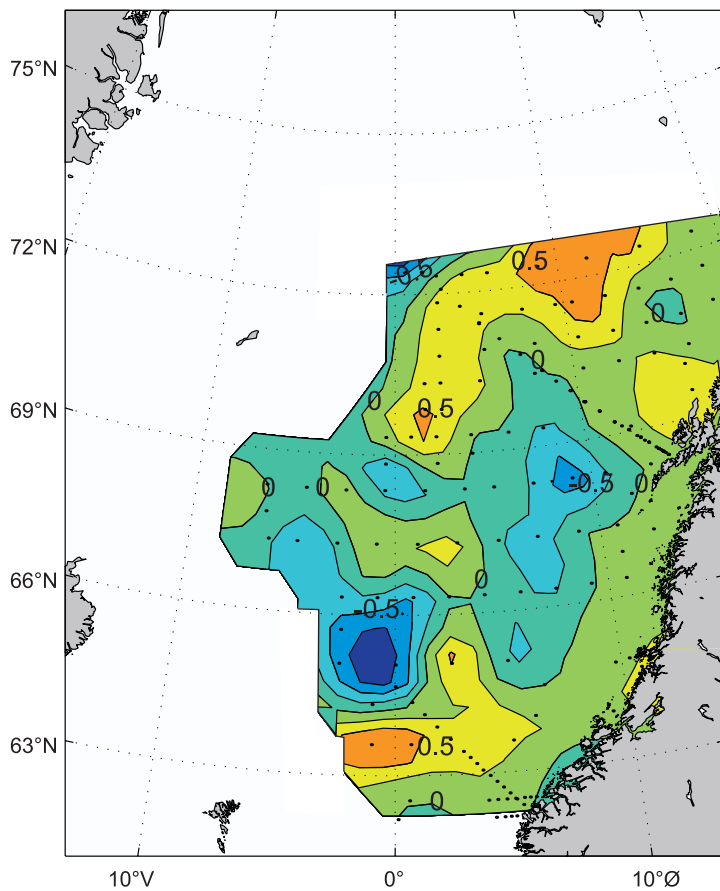
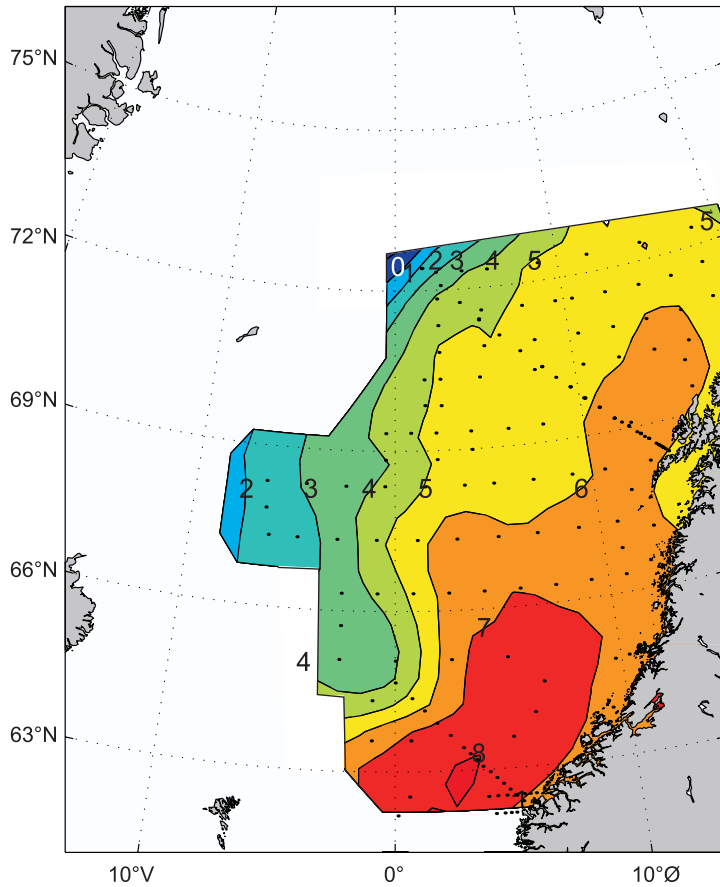
Volumtransporten av atlantisk vann inn i Norskehavet er de siste årene blitt målt med strømmålere i Svinøysnittet. Målerne er plassert slik at de fanger opp variasjoner av strømmen i kjernen av det atlantiske vannet ved eggakanten. Figur 2.8 viser månedlige verdier av transporten fra mai 1995 til mars 2000. Innstrømningen er størst om vinteren og lavest om sommeren og høsten. Den høyeste transportverdien var i februar 2000, mens den laveste var i mai 1996. I slutten av 1997 var det flere måneder med lav innstrømning, og tendensen siden har vært en økt innstrømning.



Figur 2.6

Tidsserier av areal (i km²) og middeltemperatur av atlantisk vann i Svinøysnittet, observert i juli/august 1978-2000. Atlantisk vann er her definert som vann med saltholdighet høyere enn 35.

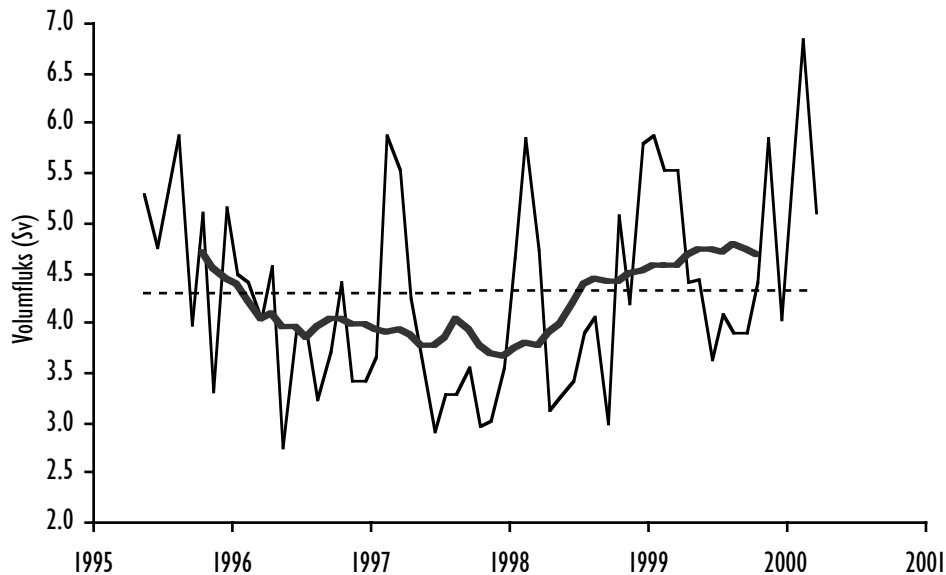
Time series of area (in km²) and averaged temperatur of Atlantic water in the Svinøy section, observed in July/August 1978-2000. Atlantic water is defined as water with salinity above 35.



Figur 2.7

Øverst: temperaturfordeling i Norskehavet i 100 m dyp for mai 2000. Prikkene angir posisjonene til observasjonene. Nederst: temperaturavvik fra middeltemperatur (1991-2000) i 100 m dyp for mai 2000. Blå farge betegner relativt kaldere vann. Intervallet mellom kotelinjene er 0.25°C.

Upper: distribution of temperature in the Norwegian Sea at 100 m depth for May 2000. The dots indicate positions of observations. Lower: temperature anomaly from averaged temperature (1991-2000) at 100 m depth for May 2000. Blue colour indicates relatively colder water. Intervals: 0.25 °C.



Figur 2.8 Tidsserie av månedlig volumtransport av atlantisk vann fra mai 1995 til mars 2000, med ett års glidende middel, ved eggkanten gjennom Svinøysnittet. Verdiene er gitt i Sverdrup (en Sverdrup er $10^6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). Gjengitt med tillatelse fra Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen.
Time series of monthly volume transport of Atlantic water from May 1995 to March 2000, with one year running mean, at the shelf edge through the Svinøy section. The values are in Sverdrup (one Sverdrup is $10^6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). Courtesy of the Geophysical Institute, University of Bergen.

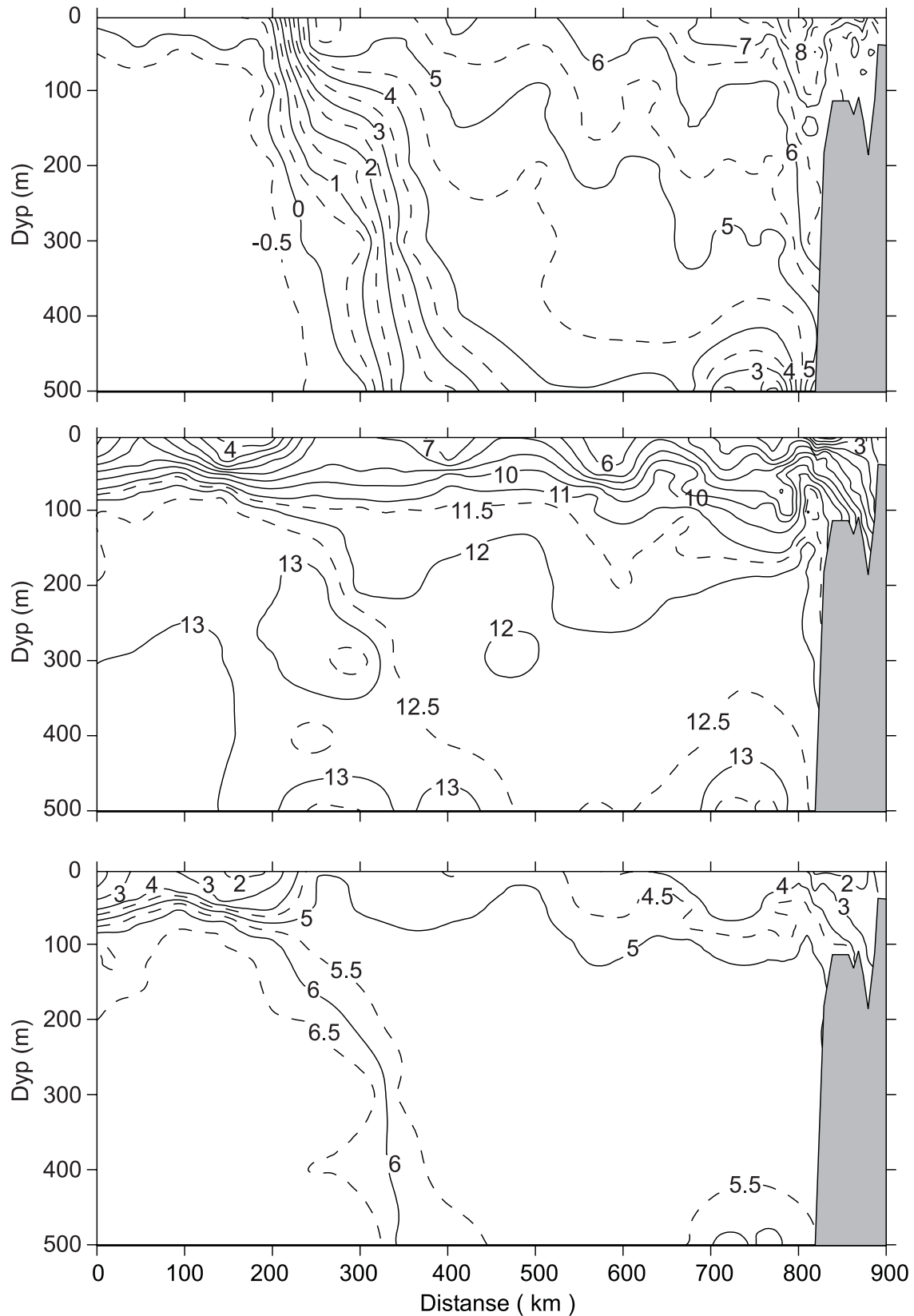
2.2 Plankton og næringsalter

Norskehavet og Grønlandshavet er to viktige områder for instituttets virksomhet. Norskehavet pga sin betydning som beiteområde for viktige fiske slag som sild, kolmule, makrell og laks, og Grønlandshavet som et område for dypvannsdannelse. Dypvannsdannelsen er regnet som en av flere viktige drivkrefter i strømsystemene i de nordiske hav. Havforskningsinstituttet har styrket overvåkingen i disse havområdene i de siste tre årene med et tokt i mai/juni. På disse toktene gjennomføres undersøkelser av fysikk, kjemi og biologi.

Noen av de viktigste faktorene for den biologiske produksjonen i Grønlandshavet er isutbredelsen om vinteren og våren, og ismeltingen om sommeren. Når isen smelter dannes det et lett ferskvannslag som flyter øverst og er så stabilt at det ikke lett blandes med det saltene vannet under. Et slikt stabilt lag er en nødvendig betingelse for oppblomstring av planteplankton tidlig om våren. I områder som ikke blir dekket av is om vinteren, utvikler stabiliteten i overflatelaget seg mye langsommere, og da hovedsakelig som et resultat av oppvarmingen

fra atmosfæren. Undersøkelsene gjennomført i perioden 1993-99 har vist at oppblomstringen begynner ved iskanten og deretter i de sentrale deler av Grønlandshavet. Som regel er oppblomstringen dominert av kiselalger (diatomeer). Utover våren blir kiselalgenes vekst hemmet av silikatmangel, og flagellaten *Phaeocystis pouchetii*, som ikke er avhengig av silikat, overtar. Utover sommeren forbruker denne algen det meste av nitraten i overflatelaget.

Etter mange års undersøkelser av næringsalter og planteplanktonvekst i Grønlandshavet og Norskehavet kan man av erfaring si noe om forløpet av våroppblomstringen ved å betrakte mengden av næringsalter og temperaturforholdene i de forskjellige vannmassene. Figur 2.9 viser (ovenfra og ned) fordeling av temperatur, nitrat og silikat langs et utvidet Gimsøy-NV-snitt fra norskekysten og ut til de sentrale delene av Grønlandshavet. Temperaturfiguren viser tydelig Den arktiske fronten (tette, nesten vertikale temperaturisoliner) som skiller de kalde vannmassene i Grønlandsbassenget



Figur 2.9 Vertikalfordeling av temperatur ($^{\circ}\text{C}$, øverste panel), nitrat ($\mu\text{mol kg}^{-1}$, midtpanel) og silikat ($\mu\text{mol kg}^{-1}$, nederste panel) i de øverste 500 m langs et utvidet Gimsøy-NV-snitt (mai 2000).
 Vertical distribution of temperature ($^{\circ}\text{C}$, upper panel), nitrate ($\mu\text{mol kg}^{-1}$, middle panel) and silicate ($\mu\text{mol kg}^{-1}$, lower panel) in the upper 500 m along an extended Gimsøy-NW section (May 2000).

fra de varme vannmassene i Norskehavet. Man ser også at en vertikal temperaturgradient over den norske kontinentalsokkelen er under utvikling, likeså på vestsiden av Den arktiske fronten. Temperaturgradientene har stor betydning for planteplanktonoppblomstringen. Lave nitrat- og silikatverdier indikerer at næringssalter forbrukes og at oppblomstring er i gang. Lave næringssaltverdier finnes nettopp i områdene med temperaturgradienter (Figur 2.9). Nedgangen i nitrat og silikat er noenlunde lik, noe som tyder på at det er kiselalger som foreløpig har dominert oppblomstringen.

Grønlandshavet er blitt kjent for å være et av de få steder i verden hvor det dannes nytt bunnvann, noe som har stor betydning for fornyelsen av dypvannmassene i Nord-Atlanteren. Dannelsen av nytt bunnvann i Grønlandshavet har imidlertid ikke forekommet siden begynnelsen av 70-årene. De sentrale deler av Grønlandshavet har i de senere år vært karakterisert ved forholdsvis lave saltholdigheter i overflaten, og en gradvis økning av temperatur og saltholdighet over tid i vannmassene dypere enn 1500 m. Denne økningen er mest sannsynlig et resultat av den reduserte bunnvannsdannelsen, kombinert med økt innstrømning av relativt saltene og varmere vann fra Polhavet.

Forholdene i de sentrale deler av Grønlandshavet har blitt overvåket av Havforskningsinstituttet siden 1992. Fra 1992 og frem til 1999 er det blitt observert en reduksjon i oksygen i de dypeste deler av Grønlandshavet fra ca. 315 til 305 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ (tilsvarende henholdsvis 7.05 og 6.83 ml l⁻¹). I 2000 var oksygeninnholdet fortsatt lavt og i tillegg fant man et lag på ca. 2000 m dyp med et oksygeninnhold lavere enn 300 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ (6.72 ml l⁻¹) som strakk seg over hele havet.

Hva er årsaken til at oksygeninnholdet i de dypeste lagene har sunket med ca. 10 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ fra 1992 til 1999? De endrede oksygenforholdene er trolig et resultat av den reduserte dypvannsutskiftingen i Grønlandshavet, noe som betyr at de dypeste delene av havet ikke får tilført nytt oksygenrikt vann. Oksygeninnholdet kan endres på flere måter; oksygenoppløsligheten er avhengig av temperatur og saltholdighet, oksygenet kan forbrukes av biologisk aktivitet og man kan få inn vannmasser med lavere oksygeninnhold. Et regnestykke viser imidlertid at bare 6 % av nedgangen kan skyldes forskjellen i oksygenoppløslighet på grunn av økt temperatur og saltholdighet. Oksygenforbruket i dyphavet ligger

på ca. 0.125 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ per år. I perioden 1992-99 ble det dermed forbrukt ca. 1 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ eller ca. 10 % av den totale nedgang. Da har vi igjen en reduksjon på ca. 8.5 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ oksygen som må forklares på en annen måte. Den mest sannsynlige forklaringen er innstrømning av forholdsvis oksygenfattig vann til dyp under 1200-1500 m, men hvorfra? En mulighet kan være innstrømning fra Norskehavet, mens en annen kan være innstrømning av arktisk dypvann som kommer sørover langs kontinentalskråningen ved Grønland. Hydrografiske data og resultater fra et sporstoffeksperiment i 1996-98 tyder på at den siste forklaringen er den mest sannsynlige.

På Værskipsstasjon M (66°N, 02°Ø) ble det ikke samlet inn data i tiden februar-august 2000, men fra august fortsatte prøvetakingen som vanlig. Det presenteres derfor ikke resultater fra Stasjon M i årets rapport.

Dyreplankton

Innsamling av dyreplankton i Norskehavet er som tidligere år foretatt med en flerpose-planktonhåv (MOCNESS) og med en ordinær loddrett trukket planktonhåv, WP-2. I disse relativt små redskapene fanges hovedsakelig de mindre planktonorganismene, mens store organismer som krill og amfipoder fanges dårlig. Om våren og sommeren ble det derfor i tillegg tatt prøver med en pelagisk trål (Åkratrål med finmasket innernett) for å fange større planktonorganismer.

I tillegg til innsamlingen i Norskehavet ble det også tatt planktonprøver på to snitt fra norskekysten og ut i Norskehavet, det ene ved Svinøy (Møre og Romsdal), det andre ved Gimsøy (Nordland) (Figur 0.1). Begge snittene ble dekket fem ganger i løpet av året.

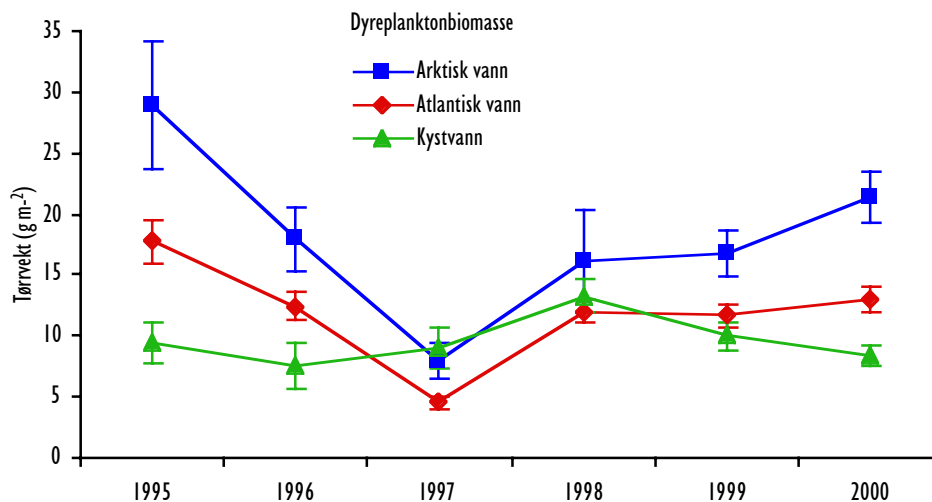
Dyreplanktonbiomassen i store deler av Norskehavet måles i mai med håv i de øvre 200 m. Når dataene presenteres deles Norskehavet inn i tre vannmasser basert på vår kunnskap om hydrografien. Dette er viktig fordi produksjonsforholdene er svært forskjellige i de ulike vannmassene. Vannmassene i øst med en saltholdighet under 35 blir definert som norsk kystvann, vannmassene i det sentrale Norskehavet med en saltholdighet over 35 blir definert som atlantisk vann og vannmassene i vest med en saltholdighet under 35 blir definert som arktisk vann.

Dyreplanktonbiomassen er generelt høyest i arktisk vann, mens varisjonen i biomasse mellom

år er relativt lik i atlantisk og arktisk vann (Figur 2.10a). I begge vannmasser var biomassen høy i 1995, for så å avta til et minimum i 1997. Deretter økte biomassen igjen. I kystvannet var endringene i biomasse forskjellige fra det som ble observert lenger vest i havet. Det synes altså som om prosessene som bestemmer dyreplanktonproduksjonen i de norske sokkelområdene er forskjellig fra prosessene lenger ute i havet. Dyreplanktonbiomassen i 2000 var den høyeste siden 1995 både i arktisk og atlantisk vann. I kystvannet derimot var biomassen i 2000 den laveste siden 1996.

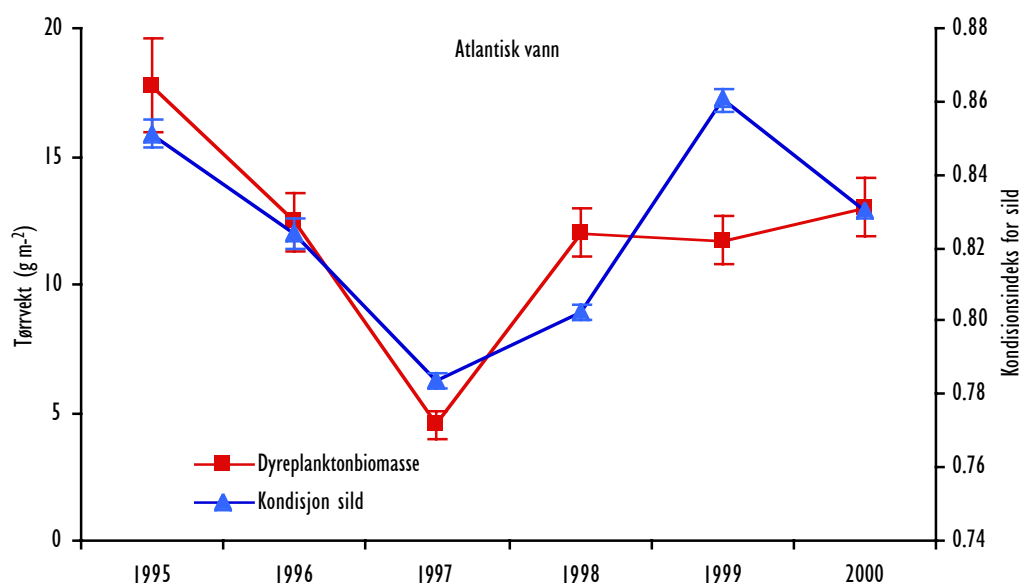
Figur 2.11 viser mengdene av dyreplankton på Svinøysnittet i 1998-2000 som et gjennomsnitt for henholdsvis de østlige og vestlige deler av snittet. Den østlige del omfatter stasjoner over kontinentalsokkelen og noe av kontinentalskråningen og er i hovedsak karakterisert av kystvannmasser, den vestlige del av snittet strekker seg fra kontinentalskråningen og nordvestover mot Den arktiske fronten hovedsakelig i atlantiske vannmasser.

Den reduserte innsatsen i planktonundersøkelsene ved instituttet i 2000 medførte at snittet ble dekket



Figur 2.10a Dyreplanktonbiomasse (tørrvekt g m⁻²) i ulike vannmasser i Norskehavet i mai 1995-2000.

Zooplankton biomass (g dry weight m⁻²) in different water masses in the Norwegian Sea in May 1995-2000.



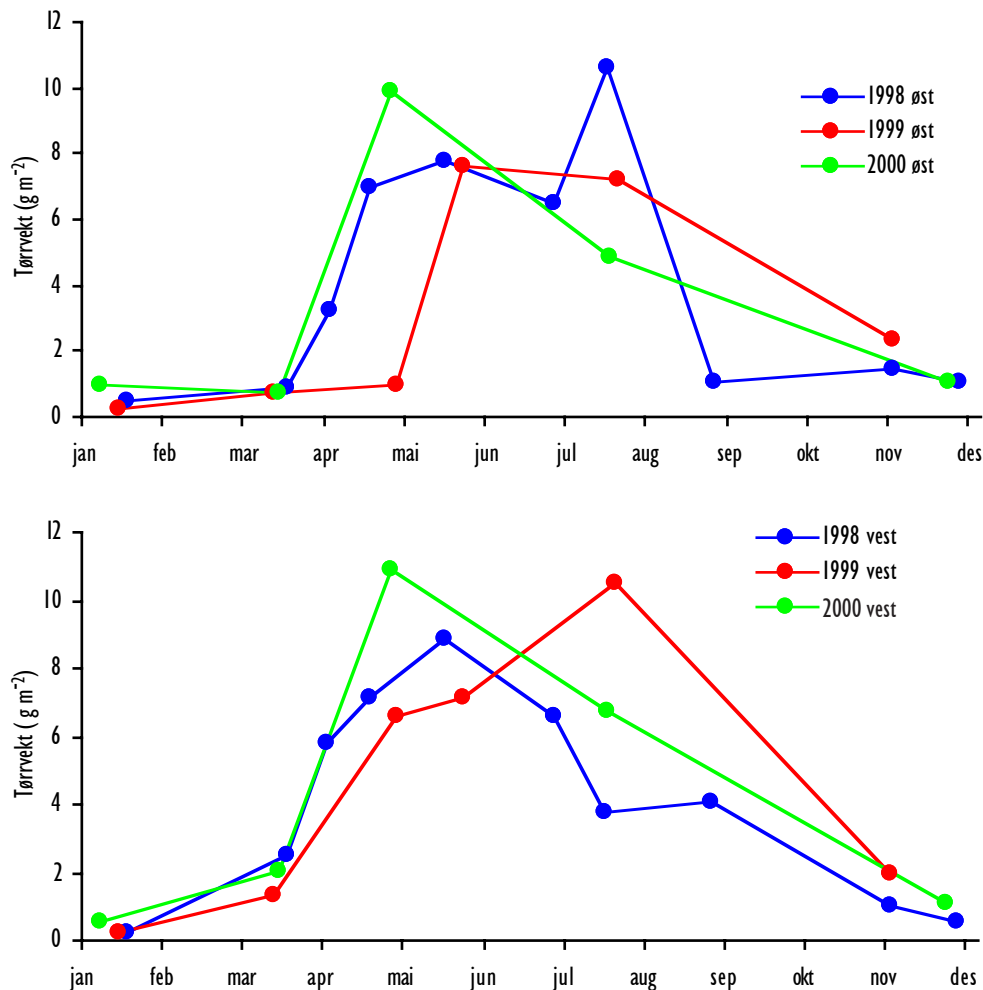
Figur 2.10b Dyreplanktonbiomasse (tørrvekt g m⁻²) i Norskehavet i mai og kondisjonsindeks for sild målt i desember.

Zooplankton biomass (g dry weight m⁻²) in the Norwegian Sea in May and condition factor for herring in december.

kun 5 ganger, og en sammenligning av plankton-dynamikken med tidligere år er derfor vanskelig. På hele snittet var planktonbiomassen lav t.o.m. midten av mars. Økningen innenfor denne perioden var likevel større i den vestre delen av snittet, hvilket var i overensstemmelse med observasjonene gjort tidligere år. Fra ca. 1 g m^{-2} i de øvre 200 m i januar økte biomassen til ca. 10 g m^{-2} ved månedskiftet april-mai. På dette tidspunktet var planktonmengdene større enn de to foregående årene. At planktonbiomassen i mai 2000 var høy, er i samsvar med prognosen gitt i "Havets miljø 2000" hvor man pga. den store dyreplanktonmengden sommeren 1999 forventet en økt bestand i Norskehavet våren 2000. En stor planktonmengde om sommeren og høsten et år vil kunne gi en stor overvintringsbestand som gir opphav til en ny stor generasjon i mai neste år.

Det ble ikke tatt prøver fra snittene fra slutten av april til sent i juli, dermed mangler data fra den viktige sommerperioden da planktonmengdene ofte når et maksimum. I slutten av juli hadde biomassen avtatt til 4.9 og 6.7 g m^{-2} , i henholdsvis østre og vestre del av snittet, dette er lavere enn på samme tidspunkt det foregående år.

Figur 2.12 viser gjennomsnittlig biomasse av dyreplankton i Norskehavet i juli-august fra 1994 til 2000. Planktonmengdene om sommeren varierer relativt mye fra år til år. I 1999 var gjennomsnittsmengden 8.4 g m^{-2} , i 2000 var den redusert til ca. 6.1 g m^{-2} . Planktonmengdene varierer også mye mellom de ulike delene av Norskehavet. I juli-august 2000 varierte planktonmengdene i østlige del av Norskehavet fra mindre enn 1 g m^{-2} til over 10 g m^{-2} . I vest var konsentrasjonene høyere og det ble funnet

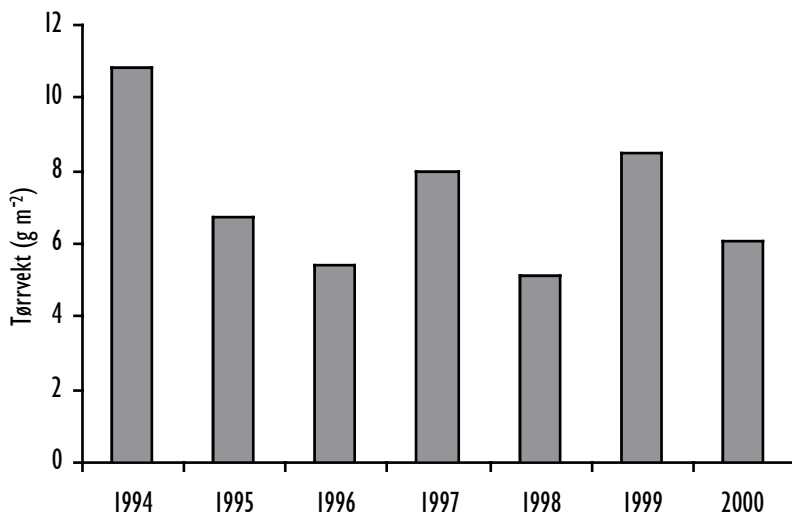


Figur 2.11 Dyreplanktonmengder (g tørrvekt m^{-2}) på Svinøysnittet fra 1998 til 2000. Øverst: Østlige del av snittet; sokkel og kontinentalskråning. Nederst: Vestlige del av snittet, kontinentalskråning og dyphav. Zooplankton biomass ($\text{g dry weight m}^{-2}$) at the Svinøy transect from 1998 to 2000. Upper: Eastern part of the transect. Lower: Western part of the transect.

planktonmengder opptil 22 g m⁻². Fordelingen var ganske lik den som ble observert i 1999; de største mengdene i vestlige deler av dekningsområdet, de laveste tetthetene mot øst og nord.

Silda beiter hovedsakelig i atlantisk vann og i blandingsvannmassene nær Den arktiske fronten vest i Norskehavet. For å studere sildas mattilbud er det derfor naturlig å sammenligne veksten hos sild med dyreplanktonbiomassen i atlantiske vannmasser. Det ble funnet en god sammenheng mellom dyreplankton-

biomasse i atlantisk vann om våren og kondisjonen hos sild ved tilbakekomst til overvintringsområdet i desember (Figur 2.10b). I 1999 så vi en klar endring i vandringsadferden hos sild i og med at silda hadde en mer vestlig fordeling. Det betydde at silda dette året i større grad beitet i arktiske vannmasser der dyreplanktonbiomassen er betydelig høyere. Det kan forklare den høye kondisjonen hos sild i 1999 i forhold til dyreplanktonbiomassen i atlantisk vann (Fig. 2.10b). For flere detaljer om dette henvises det til temaartikkelen "Klima, planktonproduksjon og vekst hos sild" side 86.



Figur 2.12
Midlere biomasse av dyreplankton (tørrvekt g m⁻²) i Norskehavet i juli-august fra 1994 til og med 2000.

Mean zooplankton biomass (g dry weight m⁻²) in the Norwegian Sea in July-August, 1994-2000.

2.3

Yngelproduksjon

Sild

Sildelarvetoktet i 2000 ble gjennomført i april, og store deler av norsk sokkel fra Fugløya til Stavanger ble dekket (Figur 2.13). Det ble funnet sildelarver i tildels store konsentrasjoner fra Fugløya og sørover til Lofotodden. På kystbankene utenfor Senja og Vesterålen og på Røstbanken ble det funnet larvetettheter på over 100 individer m⁻². På de nordligste stasjonene var de fleste larvene kommet til stadium 2a (begynnende utvikling av ryggfinnen). Sørover mot Røstbanken ble innslaget av plommesekklarver større. Mellom Lofotodden og Frøyabanken ble det funnet svært få larver. Et unntak er imidlertid Haltenbanken med larvetettheter over 100 individer m⁻², men dette er lite i forhold til verdiene på over 20 000 individer m⁻² som ble målt i 1997. Fra Frøyabanken og sørover til Stad ble

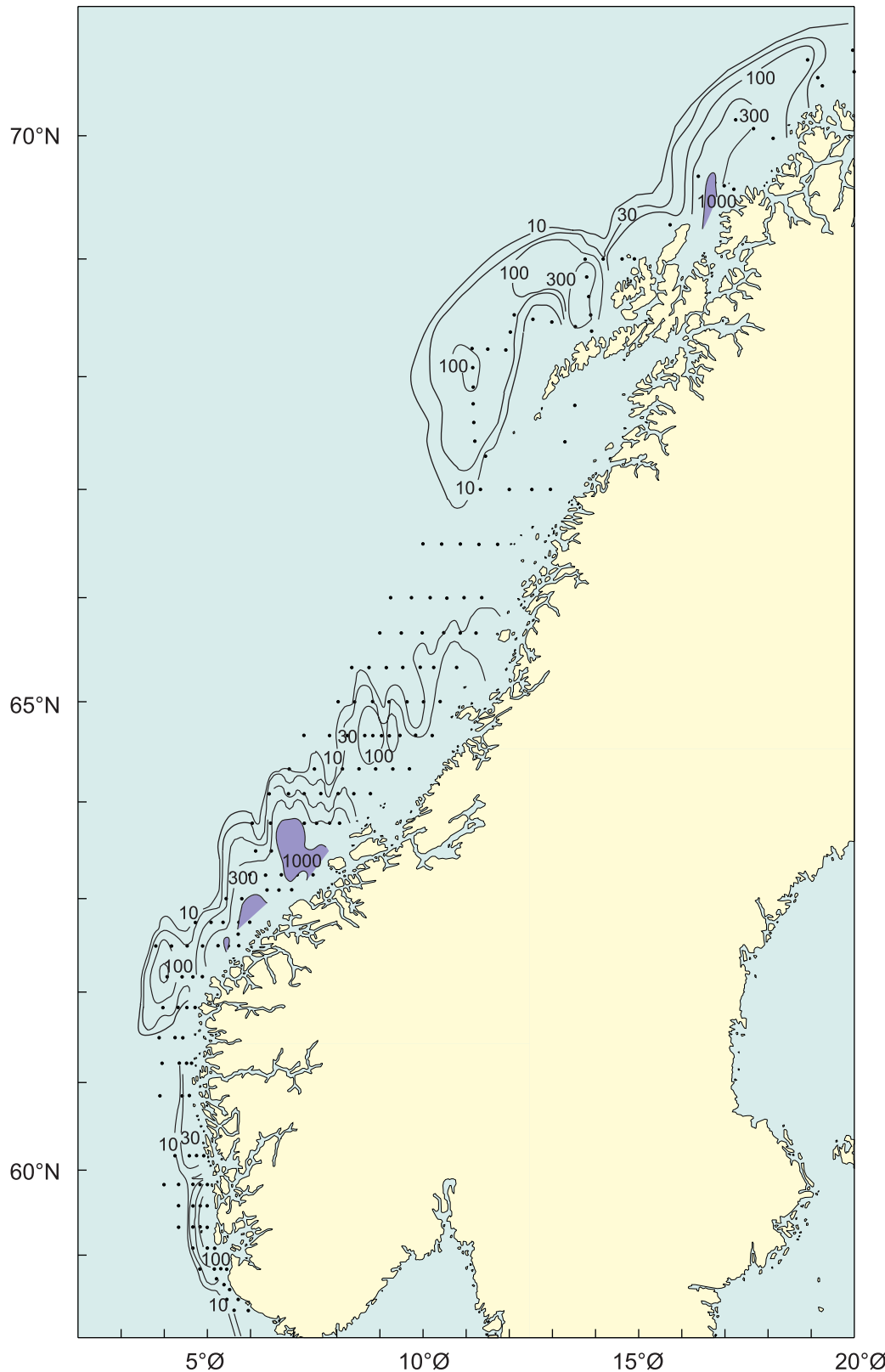
hovedmengden av sildelarvene lokalisert. Larvene hadde en lengde på 14-20 mm og var i god vekst. Lengden tyder på at de var klekket i siste halvdel av mars måned. Lenger sør ble det funnet høye konsentrasjoner av forholdsvis nyklekkede larver ved Karmøy. Det ble også funnet et stort innslag av sei- og øyepållarver i prøvene sør for Stad.

Resultatene tyder på at mesteparten av gytingen i 2000 foregikk på Mørefeltene, men at det også var gyting ved Karmøy og på Røstbanken. Det totale larveantallet for 2000 ble beregnet til 20.8×10^{12} (Figur 2.14). Dette er litt høyere enn i fjor, men langt lavere enn i rekordårene 1997 og 1998. Imidlertid var over tre fjerdedeler av larvene (15.8×10^{12} individer) i stadium 2a. Et høyere estimat for antall

2a-larver er bare beregnet én gang i 1998 (21.9×10^{12} larver). Gjennomsnittslengden på larvene var 13.5 mm, det høyeste som er målt siden disse undersøkelsene ble gjenopptatt i 1985.

Produksjonen av sildelarver ser nå ut til å ha stabilisert seg på et noe lavere nivå enn i rekordårene 1997 og 1998. Positivt for årets gyting er at den

har spredd seg over en stor del av norskekysten, og at larvene i hovedutbredelsesområdet hadde vokst godt fram til undersøkelsen i april. Antall larver i stadium 2a ble beregnet til fire ganger så høyt som det som ble målt i 1992, siste gangen det ble produsert en god årsklasse. Mye må imidlertid klaffe for at årsklassen 2000 skal bli like tallrik. Larvene må finne gode oppvekstforhold på sokkelen utover



Figur 2.13
Utbredelsen
av sildelarver
(alle stadier) på
sokkelen mellom
58° og 71°N,
10.-27. april 2000.

*Distribution of
herring larvae in
April 2000.*

våren og sommeren. Predasjon fra fisk, sjøfugl og pattedyr på sokkelen og i Barentshavet må holde seg på et lavt nivå, og strømforholdene må være gunstige slik at larvene, yngelen og ungsilda blir

ført inn i områder med gode oppvekstbetingelser. Det viste seg imidlertid at overlevelsen utover våren og sommeren ble dårlig slik, at 2000-årsklassen ser ut til å bli litt under middels.

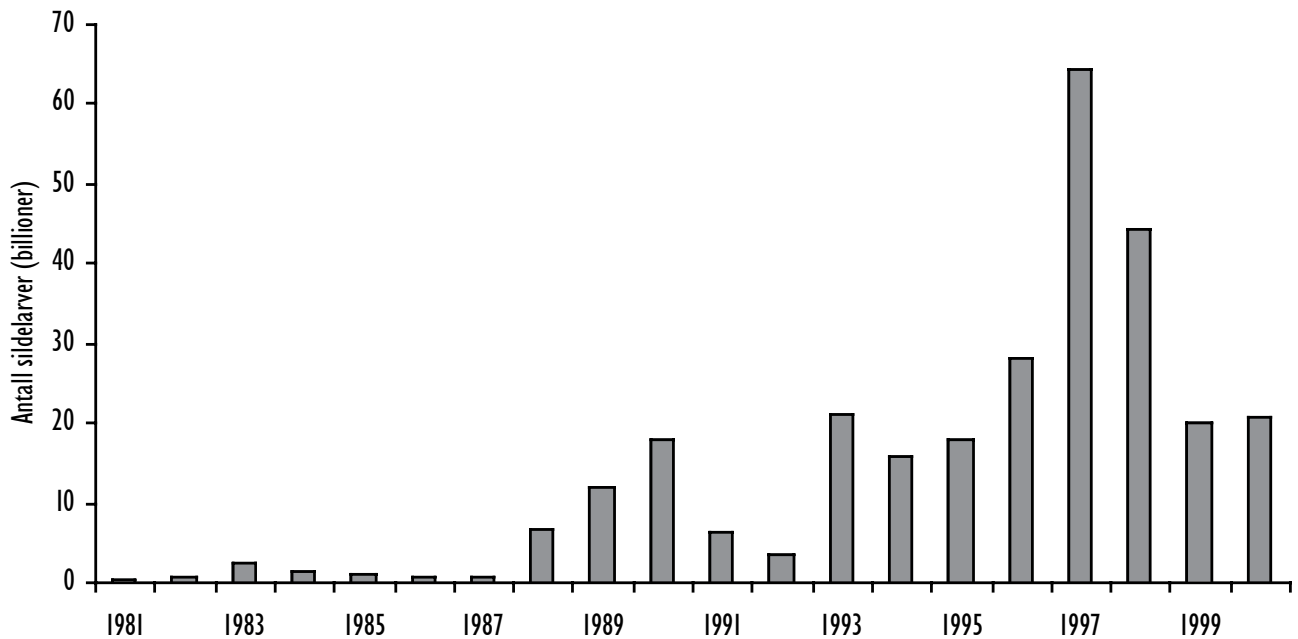


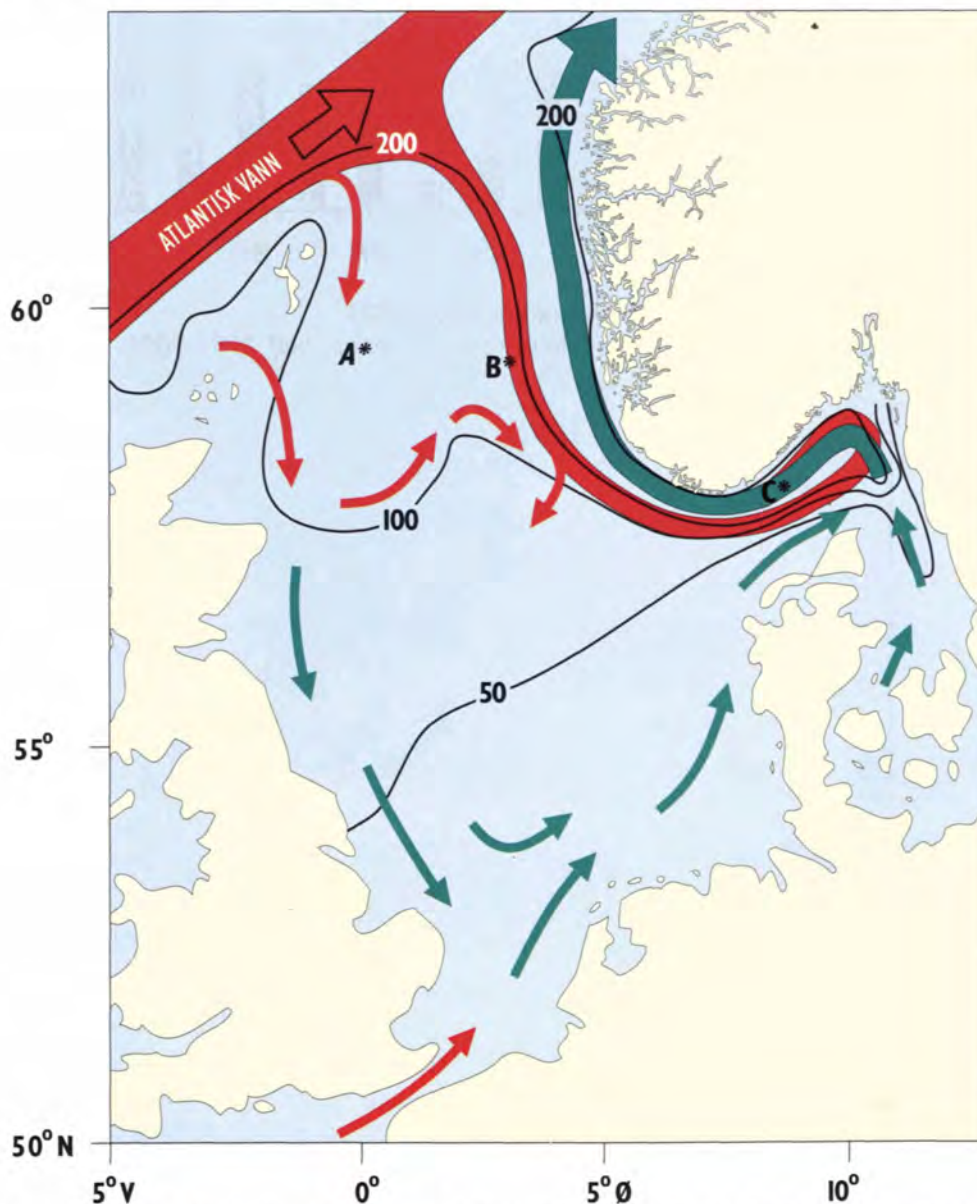
Fig. 2.14 Beregnet antall sildelarver på norsk sokkel, 1981-2000.
The number of herring larvae on the Norwegian continental shelf, 1981-2000.

3.1 Havklima

Nordsjøen

Sammenliknet med Norskehavet og Barentshavet er Nordsjøen et meget grunt hav. To tredjedeler av Nordsjøen er grunnere enn 100 m. Den dypeste delen er nær norskekysten i Norskerenna som har dybder på over 700 m. Dybdeforholdene er viktige for sirkulasjonen, da topografien i stor grad styrer vannmassenes bevegelse. Vannmassene i Nordsjøen

har sin opprinnelse i innstrømningen av atlantisk vann med høy saltholdighet fra Norskehavet og ferskvannstilførsel fra land (Figur 3.1). Om vinteren er vertikalblandingen stor i de grunne områdene, med små temperaturforskjeller mellom overflaten og bunnen. Oppvarmingen om sommeren resulterer i et markert temperatursprang i 20-50 m dyp.



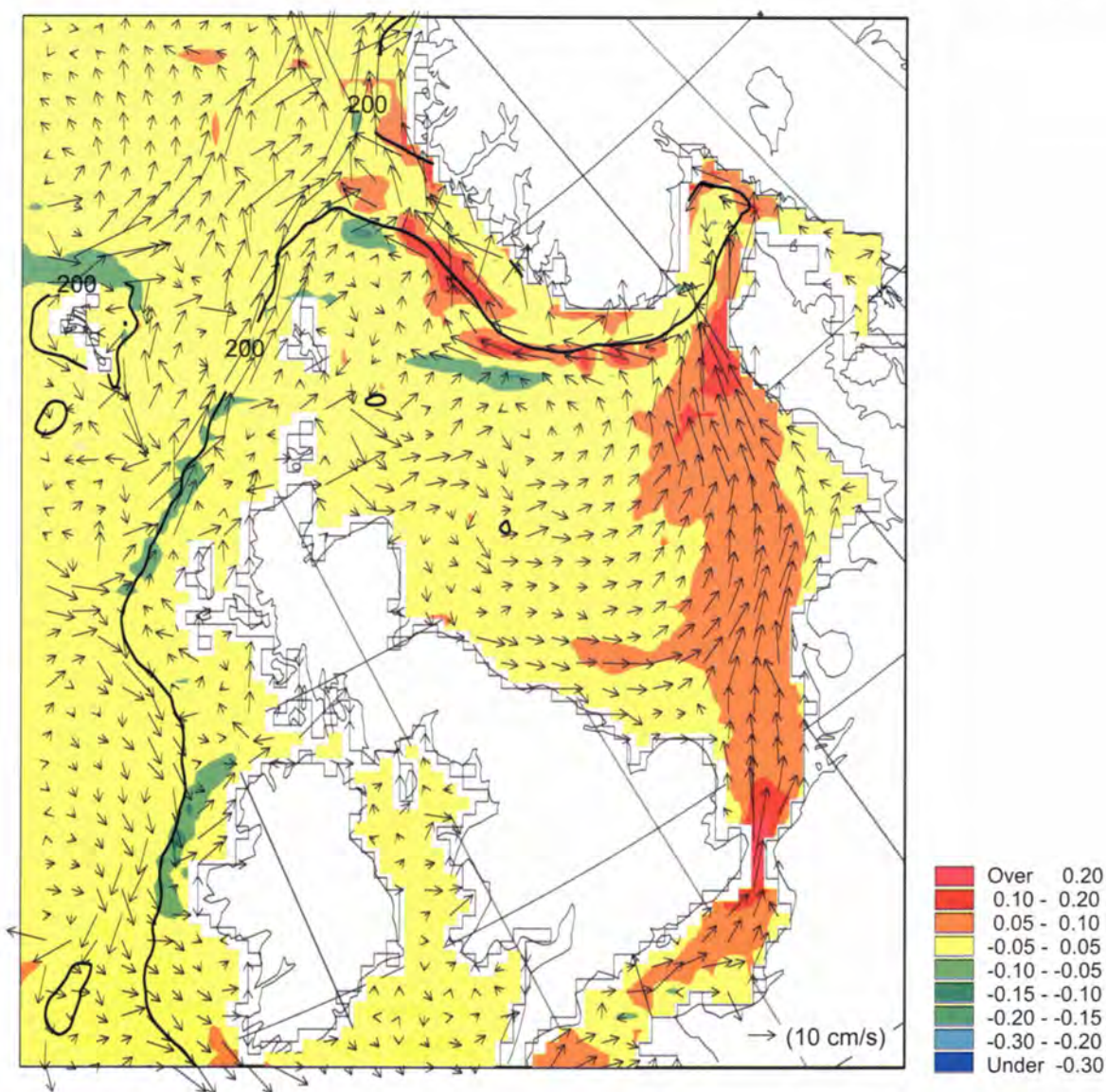
Figur 3.1 De viktigste trekkene i sirkulasjonsmønstre og dybdeforhold i Nordsjøen og Skagerrak. Lokalisering av stasjonene A, B og C. Røde piler: atlantisk vann. Grønne piler: kystvann.
The circulation and bathymetry of the North Sea and Skagerrak. Stations A, B and C. Red arrows: Atlantic water. Green arrows: Coastal water.

Vannmassene i Nordsjøen strømmes hovedsakelig mot klokken (Figur 3.1), og nesten alt vannet må innom Skagerrak før det forlater området nordover som en del av Den norske kyststrømmen. Dette bildet er hva vi kan kalle en klimatisk middelsituasjon. Variasjoner i dette bildet fra et år til et annet, det vi kaller havklimavariasjoner, har stor innflytelse på hele det økologiske systemet i Nordsjøen. De viktigste årsakene til klimavariasjonene er endringer i innstrømming av atlantisk vann, vindforhold, varmeutveksling med atmosfæren og ferskvannstilførselen.

Havsirkulasjon beregnet med en numerisk havmodell viste at strømforholdene var tilnærmet normale

i 2000. I fjerde kvartal var imidlertid innstrømmingen gjennom Den engelske kanal og vanntransporten i sørlige Nordsjøen og langs norskekysten en del høyere enn normalt (Figur 3.2). I de øvre lag av Nordsjøen var det i 2000 varmere enn vanlig, med unntak av sommermånedene. En meget mild høst, sammen med økt tilførsel av vann sørfra, førte til uvanlig høye temperaturer fra 0 til 100 m dyp langs norskekysten.

Figur 3.3 A viser tidsserier av sommermålinger av saltholdighet og temperatur i dypere lag av den nordlige Nordsjøen (posisjon A, Figur 3.1). Målingene er antatt å representere årets "vinter-vann" i den vestlige grenen av innstrømmende atlantisk havsvann, som i løpet av



Figur 3.2 Midlere modellerte strømvektorer (piler) for fjerde kvartal 2000 i 10 m dyp. Fargekoden angir differansen mellom strømfarten i 2000 og farten midlet for alle fjerde kvartal de siste 46 år.
Modelled mean current vectors for the fourth quarter of 2000 at 10 m depth. The colour code represents the difference between the speed in 2000 and the speed averaged for all the fourth quarters for the last 46 years.

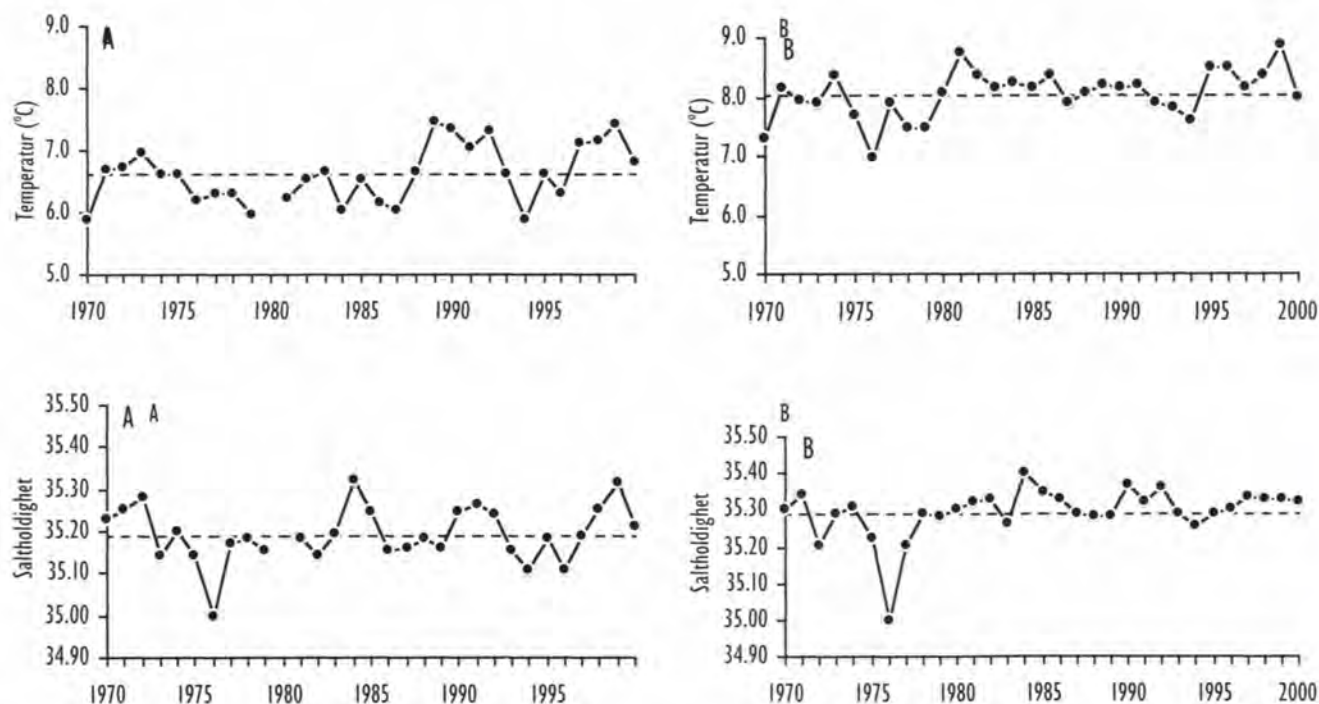
vinteren blir blandet med litt ferskere vann over Nordsjøplatået. Figur 3.3 B viser tilsvarende målinger fra en stasjon på vestskråningen av Norskerenna, i kjernen av innstrømmende atlantisk vann fra Norskehavet til Nordsjøen og Skagerrak (posisjon B, Figur 3.1). Gjennomsnittstemperatur og saltholdighet er vanligvis henholdsvis 1-2 °C og ca 0.1 lavere over Nordsjøplatået enn i innstrømmende atlantisk vann i Norskerenna.

I årene 1989-92 var dypvannet i den nordlige Nordsjøen uvanlig varmt. Vintrene 1989 og 1990 var trolig de varmeste på 130 år (Figur 3.3 A). Etter 1992-93 sank temperaturen, og i 1994 lå både saltholdighet og temperatur under det normale for årstiden. Dette var et resultat av en noe redusert innstrømning av atlantisk vann høsten 1993 og økt lokal avkjøling. Fra 1995 snudde den synkende tendensen i temperatur og saltholdighet i samsvar med økt innstrømning av atlantisk vann. Etter en forbigående nedgang i 1996 har det igjen vært en betydelig økning i temperatur og saltholdighet over Nordsjøplatået. Temperaturen i 1999 var om lag like høy som i 1990, og saltholdigheten var blant

de høyeste siden 1970. I 2000 lå saltholdighet og temperatur nær det normale for årstiden.

I Norskerenna har det vært en tilsvarende utvikling de siste årene som over Nordsjøplatået (Figur 3.3 B), og vi legger spesielt merke til at temperaturene i innstrømmende atlantisk vann i Norskerenna i 1999 var de høyeste siden 1970. I 2000 var temperaturen også her redusert ned mot normalen.

Beregnet innstrømning av atlantisk vann til Nordsjøen om vinteren har vist seg å ha stor sammenheng med fangst av hestemakrell den etterfølgende høst i Nordsjøen. Normal eller svak vinterinnstrømning av atlantisk vann førte til dårlig fiske i perioden 1976-1987 og i de to årene 1991 og 1996. De øvrige år med relativt sterk innstrømning av atlantisk vann samsvarte med godt fiske av hestemakrell. Dette har gitt grunnlag for halvårsprognoser for fisket, som rutinemessig har blitt beregnet siden 1996. I 1999 samsvarte prognosen meget bra med den rapporterte fangsten på 44 000 tonn (Figur 3.4), mens sammenhengen sviktet helt i 2000. Årsaken til dette er trolig at bestanden av hestemakrell er sterkt



Figur 3.3

Temperatur og saltholdighet nær bunnen i den nordvestlige del av Nordsjøen (posisjon A), og i kjernen av atlantisk vann i vestskråningen av Norskerenna (posisjon B) om sommeren i årene 1970-2000. For lokalisering av posisjonene A og B, se Figur 3.1.

Temperature and salinity near bottom in the northwestern part of the North Sea (A), and in the core of Atlantic Water (B) at the western shelf edge of the Norwegian Trench during summers of 1970-2000. Location of A and B in Figure 3.1.

nedfisket, og selv om det ut fra miljøforholdene skulle ligge til rette for et godt fiske blir fangstene små.

Beregnet innstrømning av atlantisk vann til den nordlige og den sentrale Nordsjøen var tilnærmet normal i 2000 og varierte fra en topp på 2.3 Sverdrup (Sv) i januar og ned til 0.8 Sv om våren og sommeren (Figur 3.5). Figuren viser også at de ekstra høye temperaturene over Nordsjøplataet på slutten av 1980-tallet og første del av 1990-årene (Figur 3.3 A) var knyttet til unormalt stor innstrømning av atlantisk vann til Nordsjøen. Da innstrømmingene til Nordsjøen de siste årene har vært tilnærmet normal, må temperaturendringene i større grad enn tidligere være knyttet til temperaturforholdene i det innstrømmende vannet fra Norskehavet. Tilførselen av atlantisk vann gjennom Den engelske kanal til Nordsjøen var normale (0-0.1 Sv) det meste av 2000, med unntak av fjerde kvartal da innstrømningen var i overkant av 0.3 Sv.

Skagerrak og vestkysten av Danmark

Vannmassene i Skagerrak består av tre hovedvann-

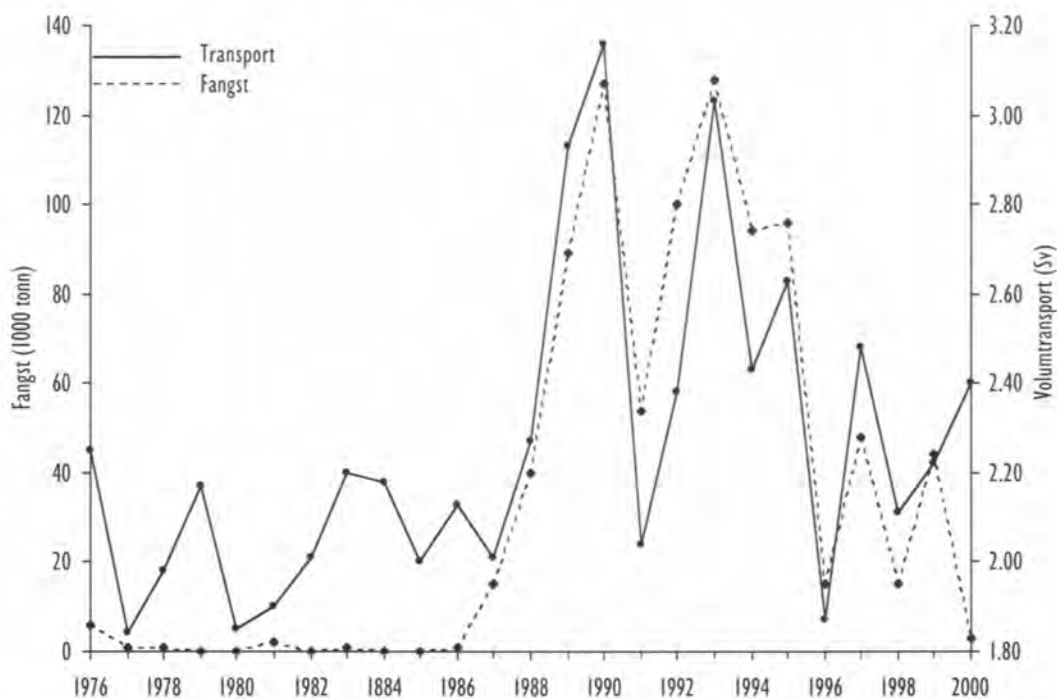
masser:

- Skagerrak-kystvann som har saltholdigheter mellom 25.0 og 32.0 og temperaturer mellom 0 og 20 °C.
- Skagerrakvann med saltholdighet mellom 32.0 og 35.0 og temperaturer vanligvis mellom 3 og 16 °C.
- Atlantisk vann med saltholdighet over 35.0 og temperaturer mellom 5.5 og 7.5 °C.

I tillegg er vann med saltholdighet lavere enn 25.0 definert som brakvann med opprinnelse fra Kattegat og Østersjøen og ferskvannsavrønning.

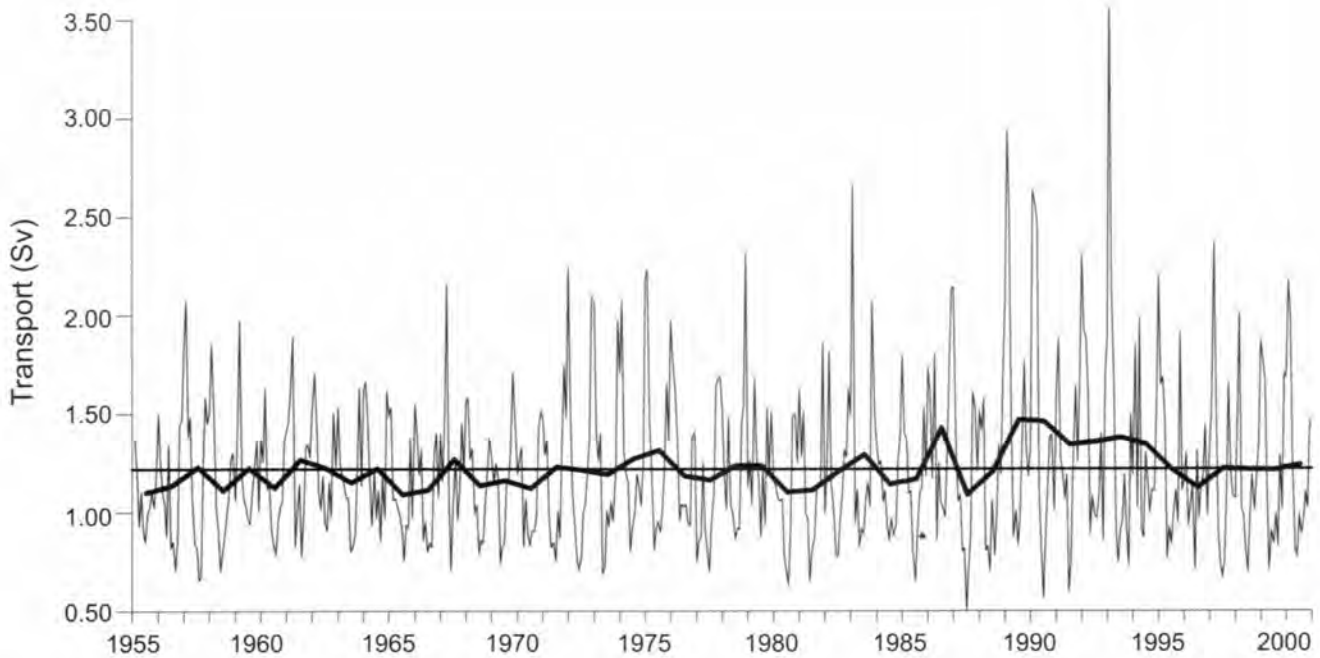
Skagerrak-kystvann er hovedsakelig en blanding mellom vann fra Kattegat og Østersjøen, elvevann og vann fra den sørlige og til dels sentrale Nordsjøen. Skagerrakvann har et større innslag av vannmasser fra den sentrale Nordsjøen. Atlantisk vann tilføres Skagerrak fra Norskehavet via den nordlige Nordsjøen, der det innlagres under det lettere Skagerrakvannet.

Utenfor Sørlandskysten var tykkelsen av Skagerrak-kystvann gjennom størstedelen av året 20-25 m (Figur



Figur 3.4

Modellert total vanntransport (midlet for første kvartal) sørover i Nordsjøen gjennom et snitt fra Utsira til Orkenøyene. Tidsserier for 1976-2000. Fangst av hestemakrell etterfølgende høst i Nordsjøen.
 Modelled transport of Atlantic water into the North Sea between Utsira and Orkney Islands first quarter and capture of Horse mackerel the following autumn.



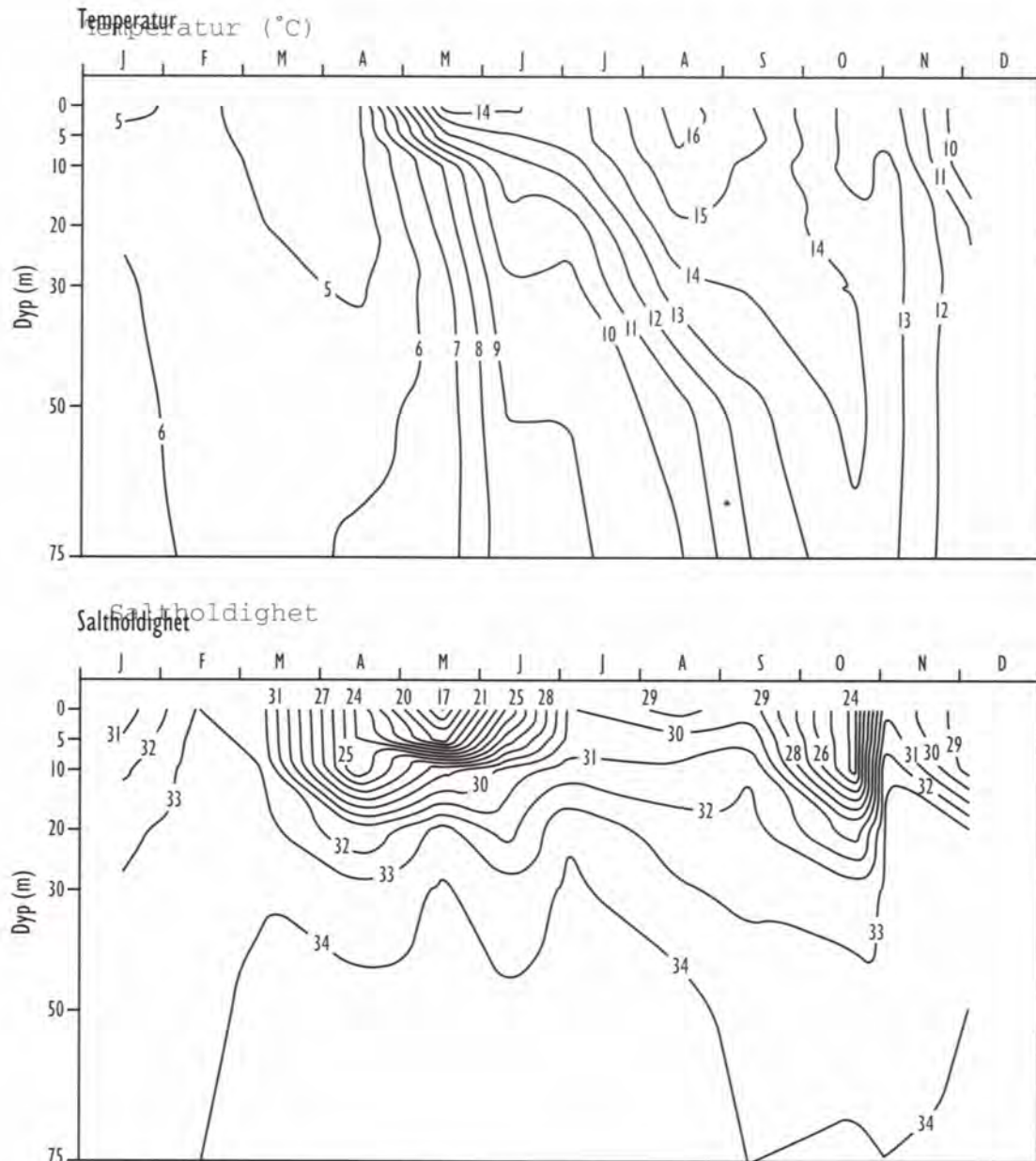
Figur 3.5 Tidsserier (1955-2000) av modellert årsmidlet (tykk strek) og månedsmidlet transport av atlantisk vann til den nordlige og sentrale Nordsjøen sørover mellom Orkenøyene og Utsira. 1 Sv = 1 mill m^3 per sekund.
Time series (1955-2000) of modelled annual mean (bold) and monthly mean volume transport of Atlantic water into the northern and the central North Sea southward between the Orkney Islands and Utsira Norway. 1 Sv = $10^6 m^3 s^{-1}$.

3.6). I likhet med 1999 var det brakkvann i de øverste 5 m fra april til juni. I siste del av oktober var det uvanlig mye brakkvann langs Sørlandskysten. Dette skyldtes storflom over Sørlandet, Østlandet og Sverige pga. uvanlig mye nedbør. Grensen mellom Skagerrakvann og atlantisk vann lå dypere enn 75 m. Vinteren 2000 var uvanlig mild med temperaturer på ca 5 °C i hele vannsøylen ned til 75 m fra januar til midten av april. Det fine sommerværet i mai førte til en rask oppvarming av overflatelaget. Fra sommeren til årsskiftet 2000/2001 lå temperaturen stort sett over det normale for årstiden, med ekstra høye temperaturer i kystvannet i november/desember.

Figur 3.7 viser tidsserier av temperatur, salt-holdighet, tetthet og oksygen på 600 m dyp i Skagerrakbassenget utenfor Sørlandskysten (posisjon C, Figur 3.1). Det fant sted en storstilt utskiftning av vannmassene i Skagerrakbassenget i 1991. Dette inntraff etter en lang stagnasjonsperiode, med de laveste oksygenkonsentrasjonene i bassenget som noen gang er observert (4.8 ml/l). Temperaturene i 1990/91, like før innstrømningen, var de høyeste

siden målingene startet i 1947. De unormalt høye temperaturene i Skagerrakbassenget holdt seg fram til ca. 1994, da innstrømning av kjøligere vann fra Nordsjøplataet medførte et markert temperaturfall. Etter en ny innstrømning av relativt kaldt og oksygenrikt vann fra Nordsjøplataet vinteren 1996, økte temperaturen gradvis igjen til ca. 1.4 °C over normalen. Temperaturøkningen gjorde vannet lettere og la forholdene til rette for en utskiftning av bassengvannet i Skagerrak. Det var en innstrømning til Skagerrakbassenget av noe kaldere og oksygenrikt vann fra Nordsjøplataet tidlig på våren 1999. Også i 2000 var det en viss utskiftning av bunnvannet, men denne gangen med relativt varmt og salt vann fra Norskerenna. Temperaturen i 2000 var om lag like høy som i den varme perioden i begynnelsen av 1990-årene. Tettheten er fortsatt lav, og vi forventer derfor ny innstrømning til Skagerrakbassenget i løpet av 2001.

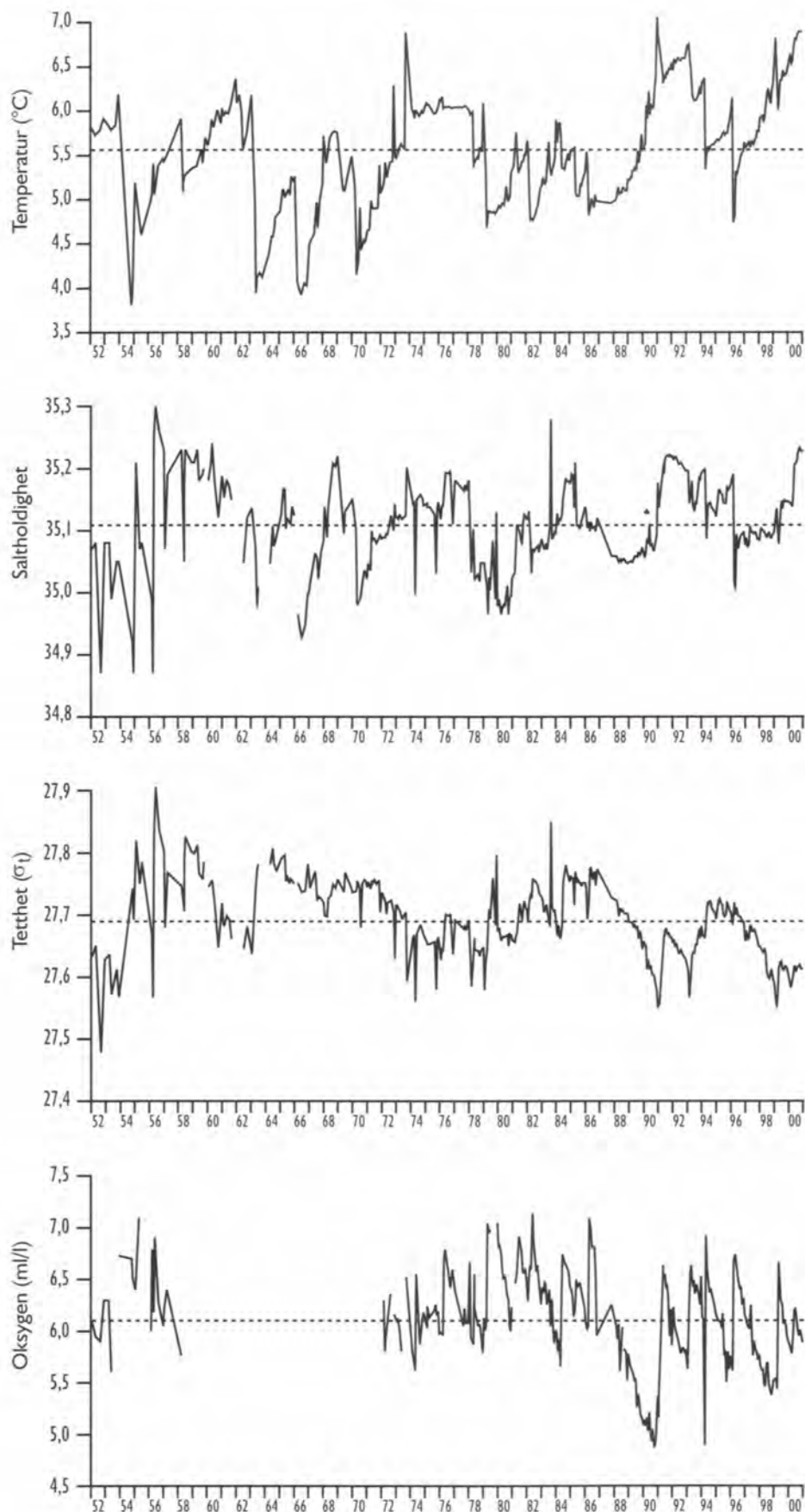
På 90-tallet har det gjennom en rekke år vært observert lave oksygenkonsentrasjoner i innstrømmende nordsjøvann i august/september. Dette tyder på at det er en unormal høy omsetning av organisk materiale i deler av Nordsjøen.



Figur 3.6 Temperatur og saltholdighet i 2000 i de øverste 75 m, ca. 1 sjømil utenfor Torungen fyr ved Arendal (Stasjon 201).
 Temperature and salinity in 2000 in the upper 75 m at a station 1 n.m. outside Torungen lighthouse near Arendal.

Også i 2000 ble det observert innstrømning av oksygenfattig vann fra Nordsjøen til Skagerrak. Utenfor norsk kysten på 30-75 m dyp, ble det målt oksygenverdier helt ned mot 3.5 ml/l i september. En forklaring på de lave oksygenverdiene i 2000

kan være den store oppblomstringen av *Chattonella* utenfor vestkysten av Jylland tidligere på året (Figur 3.10). Årsaken til oppblomstringen er sannsynligvis de store utslippene av menneskeskapte næringsalter i sørlige Nordsjøen.



Figur 3.7

Temperatur, saltholdighet, tetthet og oksygen på 600 m dyp i Skagerrak-bassenget for årene 1952-2000 (Posisjon 58°08'N, 09°11'Ø).
 Temperature, salinity and oxygen of the bottom water (600 m depth) in Skagerrak for the years 1952-2000.

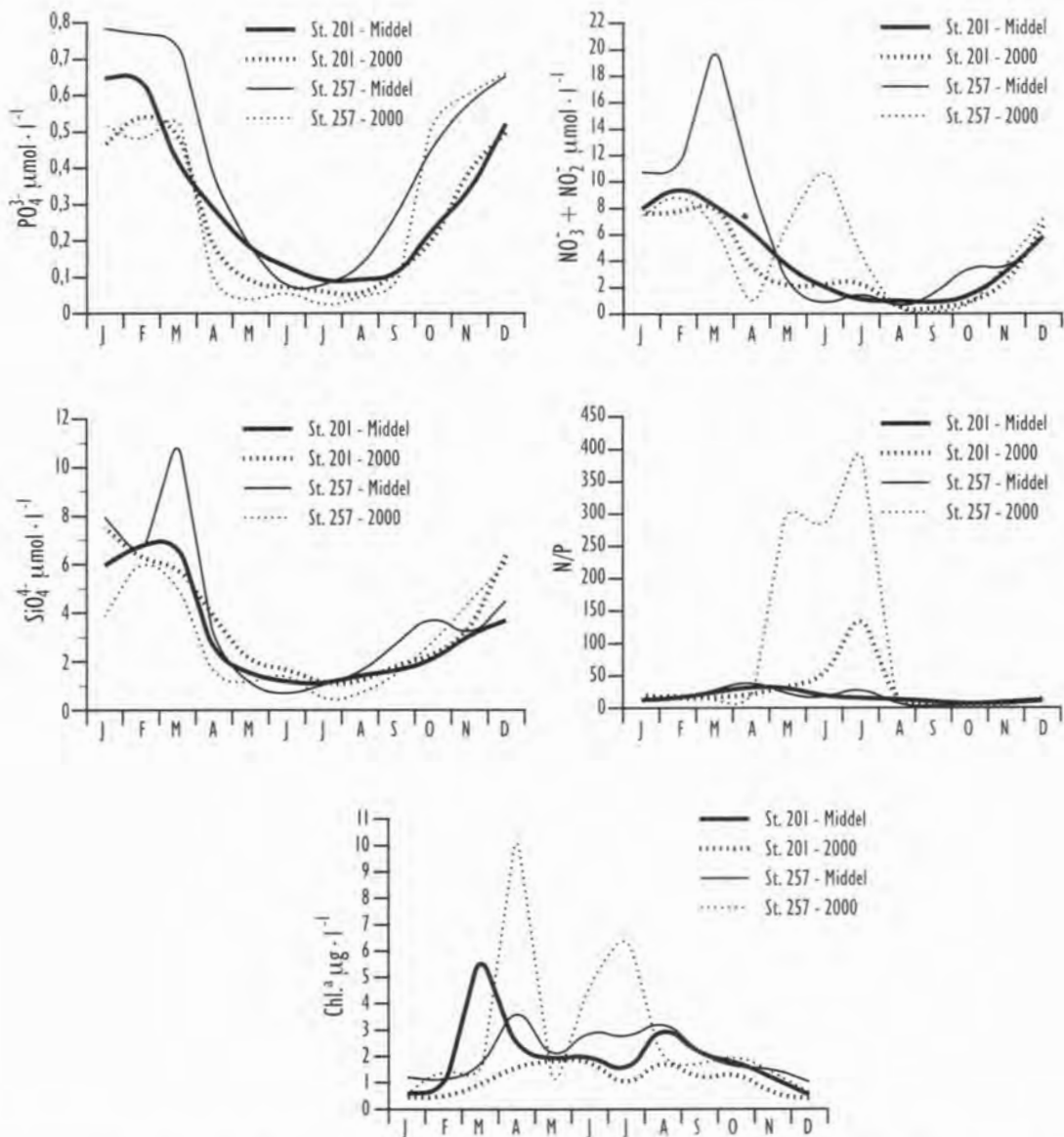
3.2

Plankton og næringsalter

Skagerrak og vestkysten av Danmark

Etter syttiårene har det vært en betydelig økning i tilførselene av menneskeskapt næringsalter, i hovedsak nitrogen, til Skagerrak fra sørlige Nordsjøen og Kattegat. Tilførselene er særlig store i år

med milde vintre og kraftig nedbør over Nord-Europa. Nedbøren i seg selv er nitrogenrik, men viktigere er det at det vaskes ut mye næringsalter fra jordsmonnet. Det meste kommer til kysten via



Figur 3.8

Månedsmidler for de øvre 30 m utenfor Torungen fyr ved Arendal (St. 201) og de øvre 25 m (St. 257) utenfor Hirtshals i 2000 for fosfat, nitrat+nitritt, silikat, forholdet mellom nitrat+nitritt og fosfat (N/P) og klorofyll-a (stiplede linjer). De heltrukne linjene viser langtidsmiddelet for 1980-95 på Stn 201, unntatt for silikat, hvor langtidsmiddelet er for 1988-95, og på St. 257 hvor langtidsmiddelet er for 1988-95 for alle parametre.

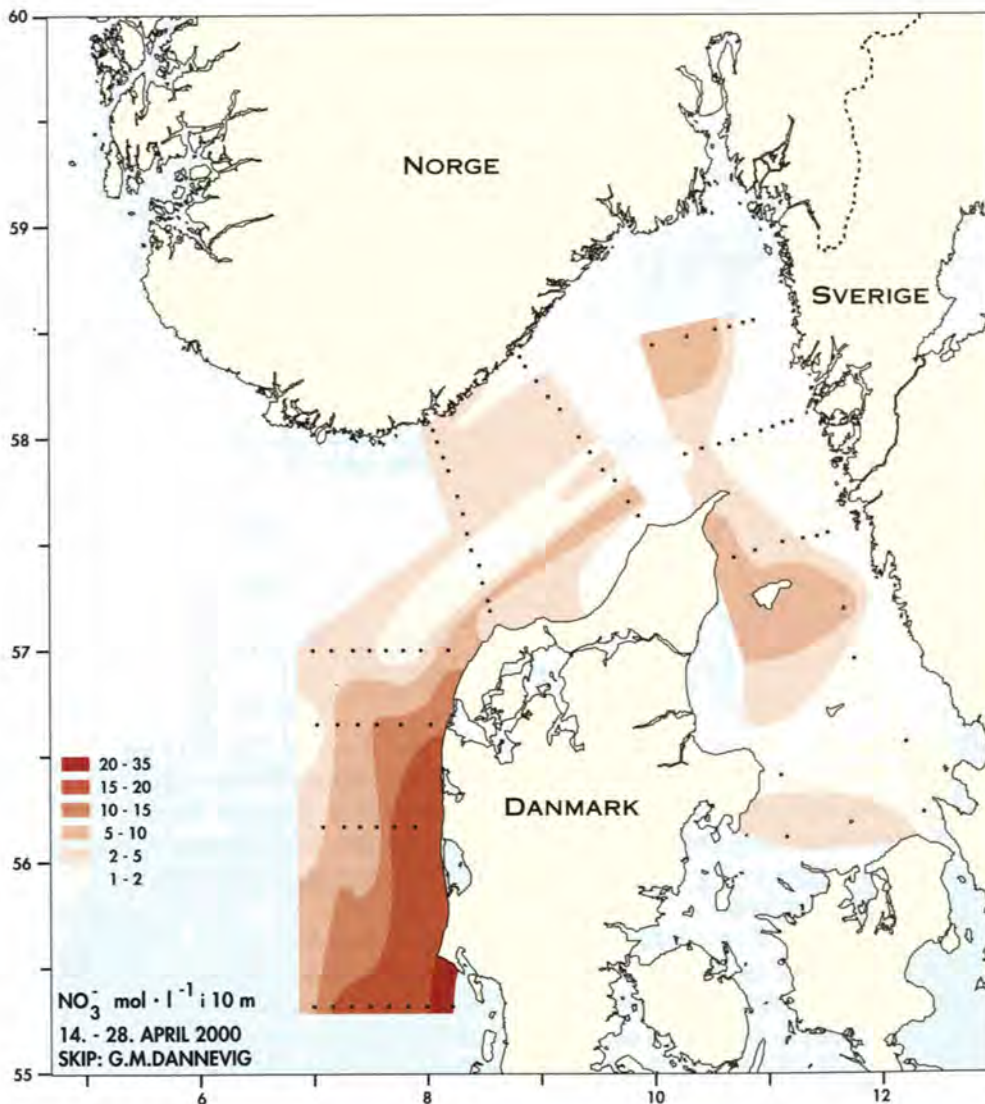
Monthly means in the upper 30 m outside Torungen lighthouse near Arendal (St. 201) and the upper 25 m at St. 257 outside Hirtshals in 1999 for phosphate, nitrate+nitrite, silicate, N:P ratio and chlorophyll-a (dotted lines). The solid lines show the long term mean for the period 1980-95 at St. 201 except for silicate where the mean is for the period 1988-95, and at St. 257 where the long term mean is for the period 1988-95 for all parameters.

store elver som Elbe. I milde vintre med mye nedbør er i tillegg den dominerende vindretningen ofte sørlig, og da føres vannmasser fra sørlige Nordsjøen hurtigere og mer direkte inn i Skagerrak.

Næringssalter og planteplanktonbiomasse i form av klorofyll samt hvilke alger som dominerer, er overvåket i Skagerrak ved månedlige snitt mellom Torungen ved Arendal og Hirtshals i Danmark (Figur 0.1) med 12 stasjoner siden 1981. Næringssalter måles i standarddyp fra overflaten til bunnen, mens klorofyll måles i de øvre 50 m. Algeanalysene baserer seg på en blandingsprøve med like deler vann fra 0, 5, 10, 20 og 30 m (0-30 m prøve), samt et overflatehåvtrekk fra tre stasjoner, en ved kysten av Norge, en midt i Skagerrak og en ved kysten av Danmark. En tidsserie fra 1981 har gitt grunnlag for å beregne middelverdier eller hva vi kan kalle "normale" verdier i Skagerrak (Figur 3.8). Fordi hyppigheten på snittene bare er en gang per måned, og algeoppblomstringer kan komme og gå i løpet av 1-2 uker, kan det foregå oppblomstringer som vår

prøvetaking ikke fanger opp, men de store trekkene i algebildet synes å fremtre også ved månedlige tokt. I tillegg til de månedlige snittene mellom Torungen og Hirtshals har hele Skagerrak, deler av Kattegat og vestkysten av Danmark blitt overvåket hvert år i april siden 1988, for å se på næringssaltsituasjonen og algebildet over et større område etter at våroppblomstringen vanligvis er avsluttet langs vår kyst.

Selv med mye nedbør over kontinentet vinteren 2000 var situasjonen i Skagerrak vesentlig bedre enn de to foregående år med hensyn til tilførsler av antropogene næringssalter. Dette skyldtes vedvarende, sterke nordlige vinder som blokkerte for innstrømming av disse vannmassene. Vinteren og våren 2000 lå næringssaltkonsentrasjonene omkring gjennomsnittet for perioden 1980-95 utenfor norskekysten, og på dansk side lå de tildels betydelig under (Figur 3.8). Sydover langs danskekysten i april var det som vanlig store mengder nitrat (Figur 3.9), og N:P-forholdet var meget skjevt. Vest av Esbjerg ble det registrert



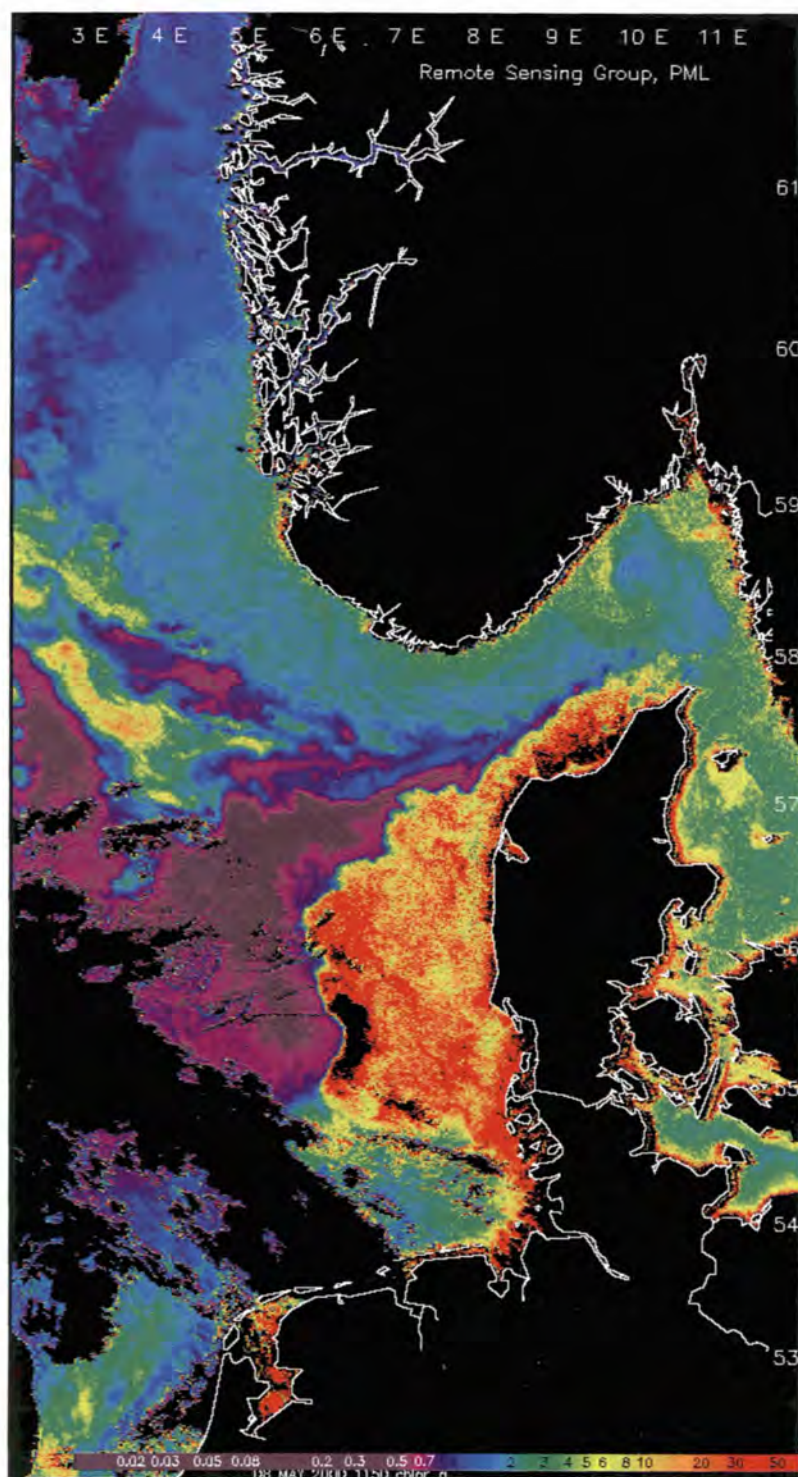
Figur 3.9
Horizontal fordeling av nitrat i 10 m dyp i Nordsjøen og Skagerrak i april 2000.

Horizontal distribution of nitrate in 10 m depth in the North Sea and Skagerrak in April 2000.

ekstremt høye klorofyllkonsentrasjoner (helt opp til 122 $\mu\text{g/l}$) og meget høye konsentrasjoner av den skadelige flagellaten *Chattonella aff. verruculosa* (se mer under avsnittet om skadelige alger), men mye kiselalger i området samtidig bidro også til de høye klorofyllverdiene. I perioden mai til juni ble det på dansk side av Skagerrak registrert store mengder nitrat og et meget skjevt N:P-forhold. Det var på denne tiden også et forholdsvis høyt N:P-forhold utenfor den norske Skagerrakkysten. De ekstreme nedbørsforholdene i siste halvdel av 2000, som førte til en langvarig flomsituasjon om høsten,

ga bare økte konsentrasjoner av silikat i kystvannet i forhold til langtidsmiddelet (Figur 3.8).

I 2000 var det en svak våroppblomstring av kiselalger utenfor kysten av Arendal (St. 201) (Figur 3.8) i mars. Litt lenger ute i Skagerrak og helt over til Danmark var det betydelig mer kiselalger, først og fremst arten *Skeletonema costatum*. Mellom 1 og 2 millioner celler/l av denne arten ble registrert i "0-30 m-prøven" midt i Skagerrak. Også på dansk side var det relativt mye *Skeletonema* i mars, men der toppet våroppblomstringen seg som vanlig



Figur 3.10
Horisontalfordeling av klorofyll-a (mg m^{-3}) 8. mai 2000 ifølge satellittmålinger (SeaWiFS). Gjengitt med tillatelse fra Nansen Senter for Miljø og Fjernmåling.

Horizontal distribution of chlorophyll-a (mg m^{-3}) 8 May 2000 according to satellite estimates (SeaWiFS). Courtesy of Nansen Environmental and Remote Sensing Center.

i april og var dominert av en annen kiselalge, *Guinardia delicatula*. Denne arten har ikke dominert en våroppblomstring tidligere ifølge våre observasjoner. Etter våroppblomstringen var det stort sett normalt med klorofyll utenfor kysten av Arendal, mens det utenfor kysten av Danmark ble registrert en ny topp i juli. Til denne toppen bidro både kiselalger og dinoflagellater. Vanligst var den store kiselalgen *Guinardia flaccida*. Før dette, i mai og deler av juni, var kalkflagellaten *Emiliana huxleyi* dominerende i Skagerrak, med celletall opptil 3.5 millioner/l. Sjøen hadde turkis farve. *E. huxleyi* blomstrer imidlertid årvisst i løpet av mai-august, så forekomsten i 2000 var ikke uvanlig. Det mest uvanlige ved algebildet i Skagerrak i 2000 var at *Guinardia delicatula* var så dominerende og tallrik i mars-april, særlig ved kysten av Danmark i april.

Skadelige alger

Det ble ikke registrert skadelige algeoppblomstringer i det åpne Skagerrak i 2000, men langs kysten var det mer alger enn vanlig av de som inneholder diarégifter (se om dette i Kapittel 4 om kysten og fjordene). Langs vestkysten av Danmark

ble det imidlertid, som så ofte tidligere, observert høye konsentrasjoner av klorofyll (opptil 122 µg/l) i april. Dette er den høyeste klorofyllverdien siden overvåkingen startet i 1988. I dette vannet ble det funnet opptil 14 millioner/l av den skadelige flagellaten *Chattonella aff. verruculosa*, som i 1998 forårsaket noe fiskedød. Ved siden av *Chattonella* bidro også betydelige mengder kiselalger til det høye klorofyllnivået.

De store algeforekomstene kunne også registreres via satellitt, og ble nøye overvåket (Figur 3.10). Observasjoner og beregninger fra en numerisk havmodell ved Havforskningsinstituttet viste at det i blomstringsperioden var redusert tilførsel av vann til Skagerrak fra sørøstlige Nordsjøen. Forekomsten av *Chattonella* løste seg opp utover i mai 2000, og takket være de spesielle strømforholdene var det bare små algemengder som nådde norskekysten. De høye næringssaltkonsentrasjonene og den påfølgende store veksten av alger langs vestkysten av Jylland og i sørlige Skagerrak, har sammenheng med de store tilførslene av menneskeskapt næringssalter til den sørlige Nordsjøen.

4.1 Kystklima

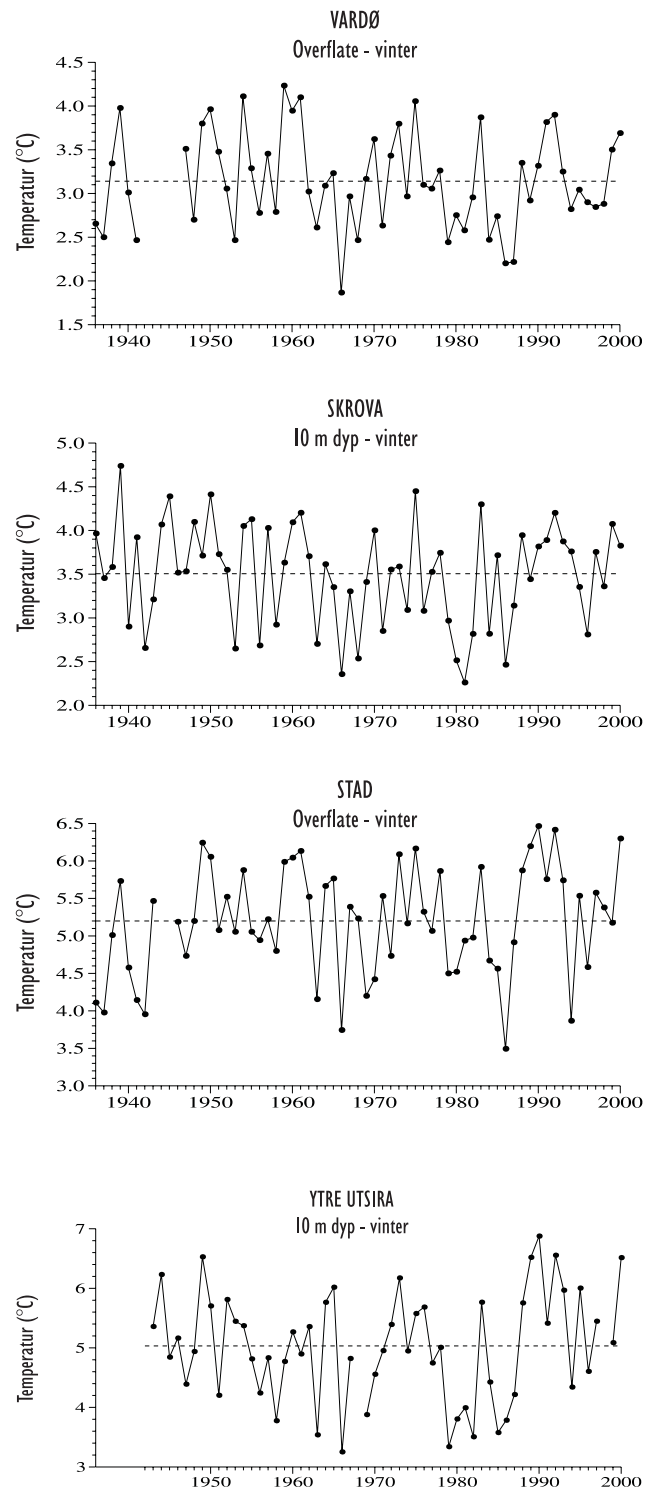
Klimatilstanden i kystfarvannene observeres regelmessig på faste hydrografiske stasjoner fra Lista til Ingøy (to til fire ganger per måned) (Figur 0.1). På disse stasjonene blir temperatur og saltholdighet observert i standarddyp fra overflaten til bunnen. Observasjoner av temperatur og saltholdighet i overflatelaget blir observert fra Hurtigruta ved en rekke lokaliteter mellom Bergen og Kirkenes (termograf-tjenesten).

Langtidsendringer

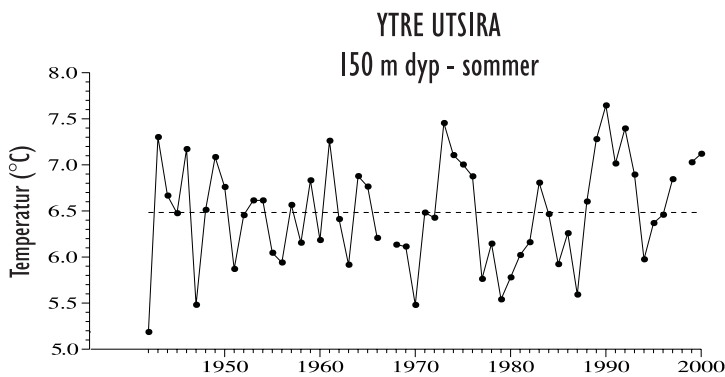
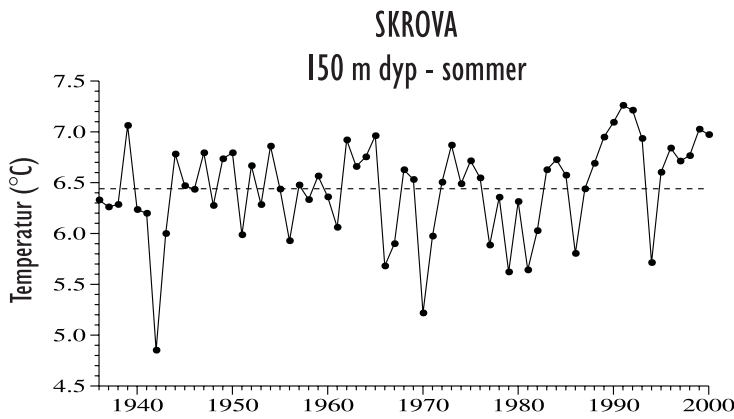
Langtidsendringer i havklimaet i øvre lag av kystvannet oppdages best ved å studere vintertemperaturene. De laveste vintertemperaturene i perioden 1936-99 ble observert i 1966 og i 1986-87, og ved Skrova og Utsira var det også kaldt i 1979-81 (Figur 4.1). Det var varme vintre omkring 1960, i første del av 1970-årene og i 1990-93/94. Temperaturforskjellen mellom kalde og varme vintre i denne perioden var 1.5-3 °C.

I de siste årene har det vært nær normale vintertemperaturer i kystvannet, men i 2000 var det igjen en betydelig temperaturøkning. Midlere vintertemperatur var på nivå med de varme vintrene i begynnelsen av 1990-årene med temperaturer 0.5-1.6 °C over det normale for årstiden.

Temperaturforholdene i 150 m dyp ved Skrova og ytre Utsira på sensommeren (juli-september), viser de mer storstilte variasjonene i tilførsler av atlantisk vann til kystområdene (Figur 4.2). Etter en kald periode i begynnelsen av 1980-årene økte temperaturen i 1990-91 til det høyeste nivået som er målt siden 1935. Dette gjenspeiler de milde vintrene i perioden 1988-93 med økte tilførsler av varmt atlantisk vann til kystområdene. De laveste temperaturene i dypere lag av kyststrømmen ble observert i begynnelsen av 1940-årene og omkring 1970, og lå da om lag 2 °C lavere enn i de varme



Figur 4.1 Overflatetemperaturene om vinteren (januar-mars) ved Vardø, Skrova, Stad og ytre Utsira i årene 1936-2000 (se Figur 0.1). Prikket linje = middelværdi. Surface temperature during winter (January-March) at Vardø, Skrova, Stad and outer Utsira through 1936-2000 (see Figure 0.1). Dotted lines = mean values.

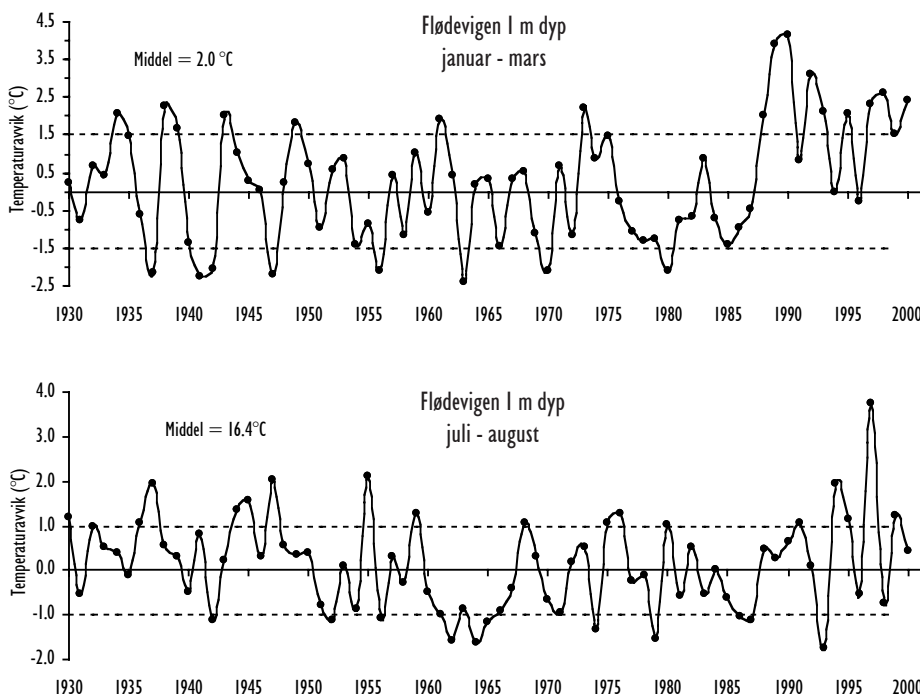


Figur 4.2
Temperatur på 150 m dyp på sensommeren (juli-september) ved Skrova og ytre Utsira i årene 1936-2000. Prikket linje = middelvei.

Temperature at 150 m depth late summer (July-September) at Skrova and outer Utsira through 1936-2000. Dotted lines = mean values.

årene 1990–91. Etter en markert temperaturnedgang i 1994 har temperaturen igjen økt, og i 2000 lå middeltemperaturen for juli-september rundt 0.6 °C over normalen både ved ytre Utsira og ved Skrova.

Figur 4.3 viser at det etter 1988 har vært en rekke varme vintre i Skagerrak, med en uvanlig høy vintertemperatur i 1990, hele 4 °C over normalen. Perioden etter 1988 var også den varmeste siden

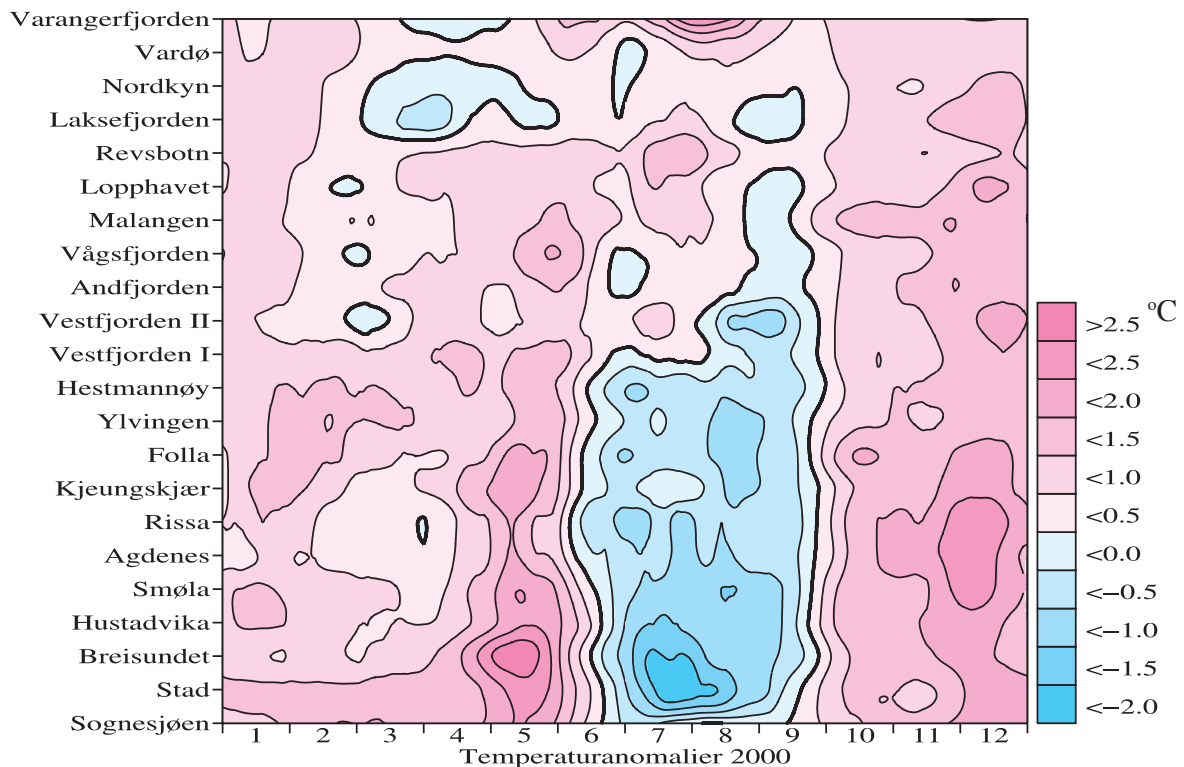
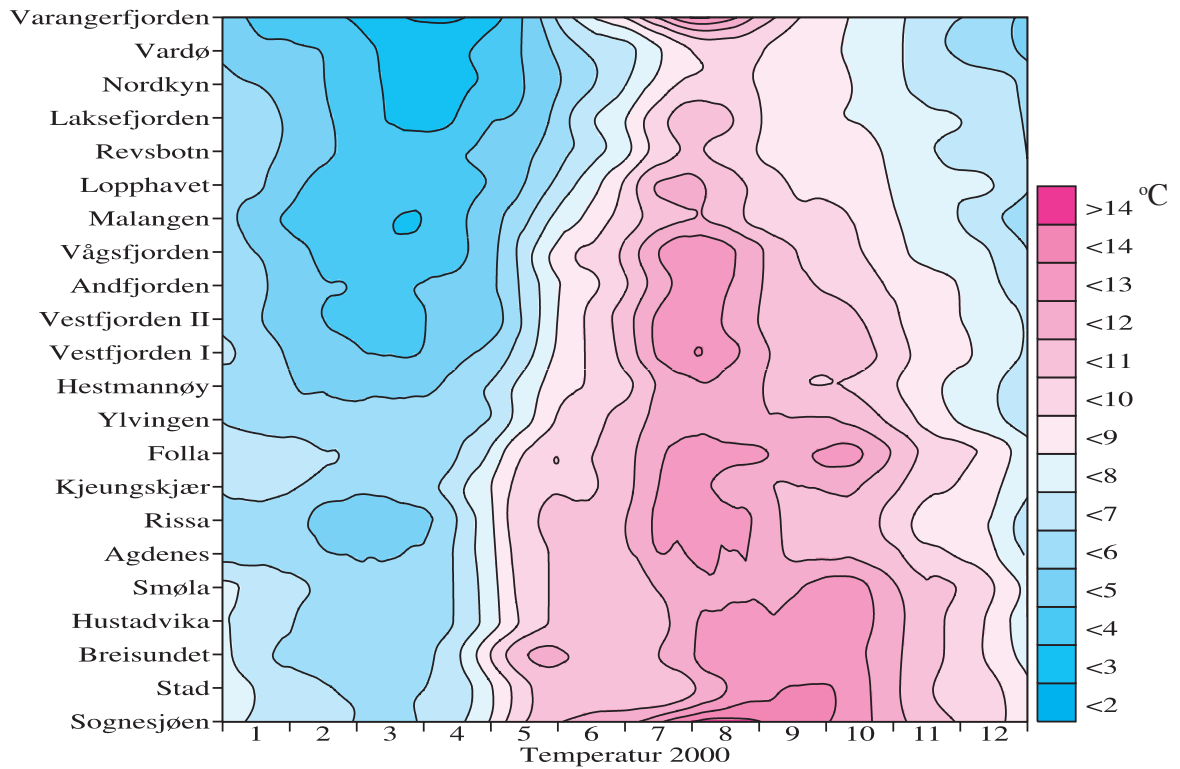


Figur 4.3
Avvik fra midlere vintertemperatur (februar-mars) og sommertemperatur (juni-august) i 1 m dyp ved Havforskningsinstituttet Forskningsstasjonen Flødevigen, Arendal, 1930-99. Heltrukket linje = middelvei. Prikket linje = +/- ett standardavvik.

Winter and summer temperature anomalies in the surface layer at the Flødevigen Marine Research Station, 1930-99. Full line = mean. Dotted lines = +/- 1 standard deviation.

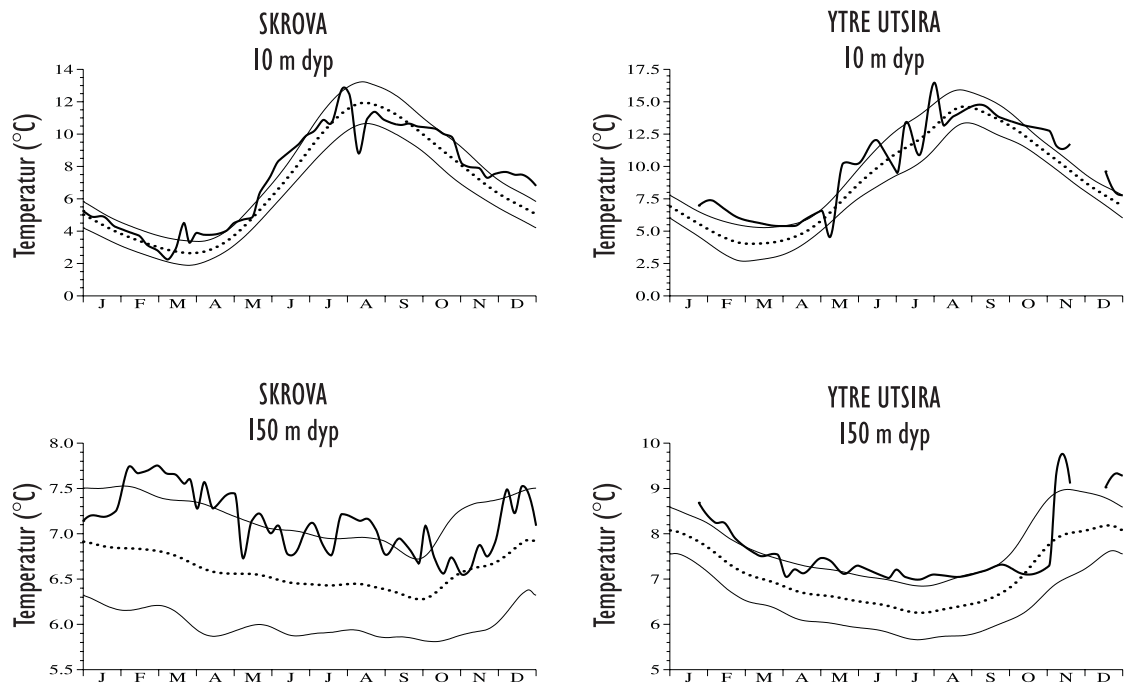
HURTIGRUTEN

Månedsmidler fra termografstasjoner



Figur 4.4 Øverst: Temperaturen i overflatelaget langs kysten mellom Sognesjøen og Varangerfjorden i 2000, målt fra Hurtigruta. Nederst: Temperaturanomalier (avvik) i 2000 i forhold til langtidsnormalen.

Upper: Temperature of the surface layer along the coast between Sognesjøen and Varangerfjorden in 2000 based on observations from the coastal express steamer. Lower: Temperature anomalies in 2000.



Figur 4.5 Skrova og ytre Utsira i 2000. Tykk linje = temperatur i 10 og 150 m dyp, målt ca. hver 10. dag. Prikket linje = midlere årsvariasjon. Tynn linje = standardavvik.
 Skrova and outer Utsira in 2000. Thick line = temperature at 10 and 150 m depth. Measured about every 10th day. Dotted lines = mean annual variation. Thin lines = standard deviation.

målingene startet i 1924 og trolig i de siste 100 år. Etter tilnærmet normale vintre i 1994 og 1996 har det i årene fra 1997 til 2000 igjen vært varmt i Skagerrak, med temperaturer fra 1.5 til 2.5 °C over det normale for årstiden. Vi må tilbake til 1985 sist det var en kald vinter i Skagerrak.

Temperaturforholdene i 2000

Resultatet av temperaturmålingene fra Hurtigruten i 2000, sammen med avviket fra et middelår er vist i Figur 4.4. Her ser vi hvordan temperaturforholdene i overflatelaget langs kysten fra Sognesjøen til Varangerfjorden har variert gjennom årets 12 måneder. Langs hele kysten lå temperaturene over det normale i 2000; med unntak i juli og august da oppstrømning av kaldt dypvann, forårsaket av nordavind, førte til forholdsvis lave temperaturer. Fra september og utover høsten var det varmt langs hele kysten med temperaturer på 1-2.5 °C over det normale for årstiden.

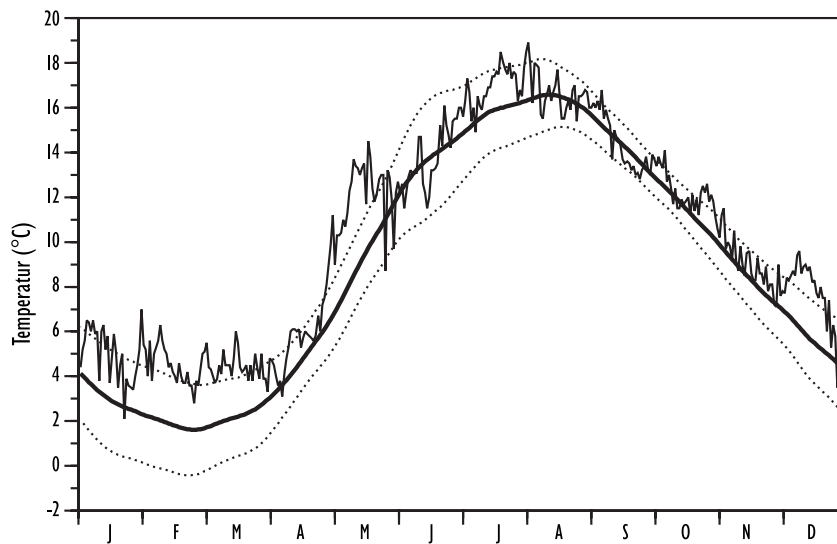
Figur 4.5 viser temperaturvariasjonene i overflatelaget (10 m) og på 150 m dyp ved ytre Utsira og Skrova i 2000. Ved Skrova var det tilnærmet normale temperaturer fram til mars, mens det fra april til august var varmere enn normalt i overflatelaget. Etter en noe kaldere periode i august og september ble det

stadig varmere utover høsten, og i desember 2000 lå temperaturen ca. 2 °C over normalen for årstiden. Ved Utsira var overflatelaget varmt om vinteren og våren, mens sommertemperaturene varierte omkring det normale. Utover høsten ble det igjen forholdsvis varmt for årstiden.

I 150 m dyp var det varmere enn normalt langs hele kysten fra Rogaland til Finnmark. Ved Utsira og Skrova lå f.eks. temperaturene, med unntak for en periode i oktober og november, om lag ett standardavvik over normalen.

Ved Forskningsstasjonen Flødevigen ved Arendal, har det vært utført daglige målinger av temperatur i overflatelaget siden 1924. Selv om de årlige variasjonene og avvikene i temperatur er større i overflatelaget ved Flødevigen enn i åpne kystområder utenfor, er de klimatiske variasjonene representative for øvre vannlag i Skagerrak.

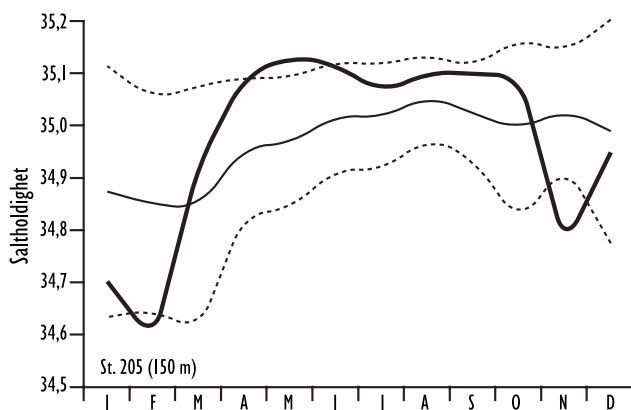
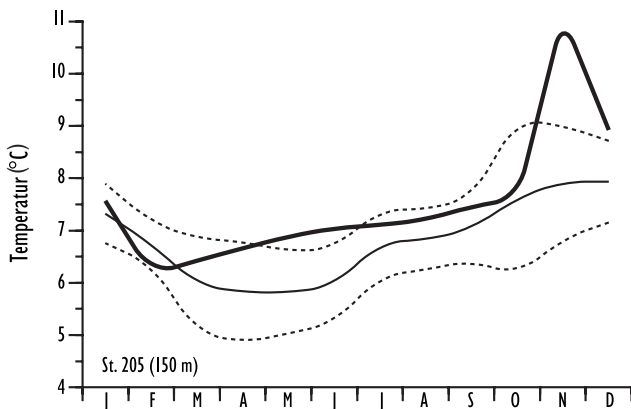
Temperaturene i 1 m dyp i 2000 lå i perioder betydelig over det normale, særlig i januar-mars, mai og desember, og til dels juli-august, noe som var knyttet til unormalt milde værforhold gjennom deler av året (Figur 4.6). Temperaturene var sjelden nede på eller under middeltemperaturen for 1961-90.



Figur 4.6 Daglige temperaturer på 1 m dyp i 2000 ved Forskningsstasjonen Flødevigen. Den tykke linjen viser glattet middeltemperatur, sammen med standardavviket for 30-årsperioden 1961-90 samme sted. *Daily temperature at 1 m depth in 2000 at the Flødevigen Marine Research Station. The bold curve shows the smoothed mean temperature together with the standard deviation for the 30-year period 1961-90.*

Vannmassene i de dypere lag langs Skagerrakkysten (150 m) var preget av innstrømmende atlantisk vann i en meget lang periode fra mars til oktober 2000, med temperaturer mellom et halvt og ett standardavvik over normalen for årstiden (Figur 4.7).

Innstrømningen av atlantiske vannmasser vinteren 2000 førte bl.a. til en fullstendig utskifting av fjordbassengene i Ytre Oslofjord. Sent på høsten ble atlantehavsvannet fortrent av betydelig varmere og mindre salt nordsjøvann med temperatur opp mot 11 °C.



Figur 4.7 Saltholdighet og temperatur i 150 m dyp ca. 10 km utenfor Torungen fyr ved Arendal i 2000, basert på målinger ca. en gang per måned (tykk heltrukken linje). Langtidsmiddel (tynn heltrukken linje) og standardavvik (stiplet linje) 1961-90.

Salinity and temperature at 150 m depth 10 km off Torungen lighthouse close to Arendal in 2000 based on monthly observations (thick solid line). Long term mean (thin solid line) and standard deviation (dotted line) 1961-90.

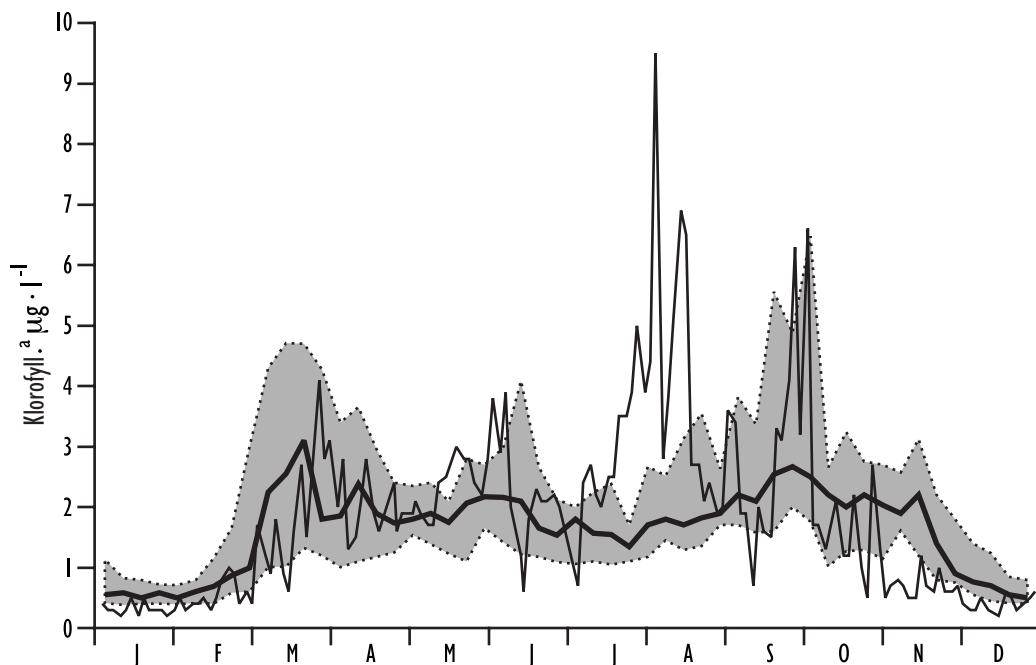
Langs norskekysten utføres det mange undersøkelser av miljøforhold i sjøen. Havforskningsinstituttet står bare for en del av disse. I den foreliggende rapporten legges hovedvekt på hva instituttet gjør og har tilgjengelig av data, men informasjon fra samarbeidspartnere og andre er også trukket inn for å komplettere bildet av miljøforholdene i 2000. Data om alger, med vekt på de skadelige typene, genereres i all hovedsak gjennom et bredt samarbeid mellom Havforskningsinstituttet, Norges veterinærhøgskole, OCEANOR, NIVA, Fiskeridirektoratet og Statens Næringsmiddeltilsyn med underliggende enheter.

Kysten Oslofjorden-Rogaland

På denne delen av kysten utfører Havforskningsinstituttet utstrakt overvåkning. I Flødevigen ved Arendal og like utenfor kysten er det særlig hyppig prøvetaking. Algeprøver tas tre ganger per uke, og etter vår erfaring representerer prøvene herfra situasjonen langs hele kyststrekningen. Det ble ikke registrert spesielt høye konsentrasjoner av

næringsalter i løpet av 2000, men etter våroppblomstringen var det fortsatt relativt mye nitrat igjen i overflatelaget helt frem til juli, og derved et noe høyt N:P-forhold. Vi trodde dette ville øke faren for større skadelige algeoppblomstringer langs kysten av Sør-Norge, men det kom ingen slike. Den store nedbøren gjennom høsten 2000 førte ikke til uvanlige næringsaltforhold i kystvannet, bortsett fra noe mer silikat enn vanlig på slutten av året (Figur 3.8). Algemengden gjennom året i form av klorofyll i Flødevigen (Figur 4.8) var i grove trekk liten til normal, bortsett fra rundt måned skiftet juli-august, da store dinoflagellater, spesielt *Ceratium furca*, bidro mest til biomassen.

Våroppblomstringen av kiselalger var i 2000 liten ($3-4 \mu\text{g}$ klorofyll l^{-1}) og relativt sen, med topp helt i slutten av mars (Figur 4.8). Foruten vanlige vårkiselalger, som *Skeletonema costatum* og *Chaetoceros*, ble det registrert et uvanlig stort innslag av *Guinardia delicatula*. I mai-juni var algesamfunnet



Figur 4.8

Klorofyll-a i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 2000. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989-99. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde).

Chlorophyll-a in Flødevigen Bay, 0-3 m depth. The thin curve is data from 2000. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989-99. Dotted lines are first and third quartiles.

rikt og variert med betydelig innslag av både kiselalgene *Skeletonema costatum* og *Chaetoceros*, og kalkflagellaten *Emiliana huxleyi*. Fra juli-august og ut året preget store dinoflagellater algebildet uten at det ble noen store oppblomstringer. Mindre algeoppnopninger dannet likevel brunlige eller rødlige flak og striper i sjøen enkelte steder. Brunfarven skyldtes særlig *Ceratium furca*, mens rødlige striper var *Polykrikos*. I Indre Oslofjord ble det registrert over 4 millioner celler/l av *Emiliana huxleyi* så sent som i oktober, et uvanlig tidspunkt for blomstring av denne algen.

Kysten Rogaland-Finnmark

På denne lange kyststrekningen deltar mange institusjoner i algeovervåkingen, så kysten er dekket i grove trekk. Gjennom vinteren, fra november til februar, tas få prøver.

Mens kiselalgenes våroppblomstring var svak langs kysten av Skagerrak, var den nokså normal langs resten av kysten. I Rogaland og Hordaland var den godt i gang midt i mars, med *Skeletonema costatum* som den dominerende kiselalgen. Oppblomstringen kom som vanlig tidligst og mest markert i fjordene, og litt forsinket og svakere i skjærgården, men med noe lokale forskjeller. Videre nordover kom våroppblomstringen for fullt i slutten av mars med både kiselalgene *Skeletonema costatum* og *Chaetoceros socialis* og gelealgen *Phaeocystis* i betydelige mengder. Gjennom april og mai var det mange steder mye alger, blant annet ulike kiselalger i flere fjorder. Fra midt i mai ble *Emiliana huxleyi* tallrik, særlig i de ytre fjordstrøk, og i løpet av mai preget den kysten fra svenskegrensen til Trøndelag og forårsaket turkis sjø mange steder. Gjennom juni var det økende forekomst av *Emiliana* i Nordland og i august preget den også Troms og Finnmark som turkisfarvet sjø. I august kom den også delvis tilbake langs Vestlandet. Resten av året var det, som for kysten Oslofjorden-Rogaland, forholdsvis mye store dinoflagellater også fra Rogaland til Trøndelag. Det kom enkelte rapporter om brunlige eller rødlige flak og striper i sjøen. Brunfarven skyldtes særlig *Ceratium furca*, mens rødlige striper var *Polykrikos*.

Fjorder

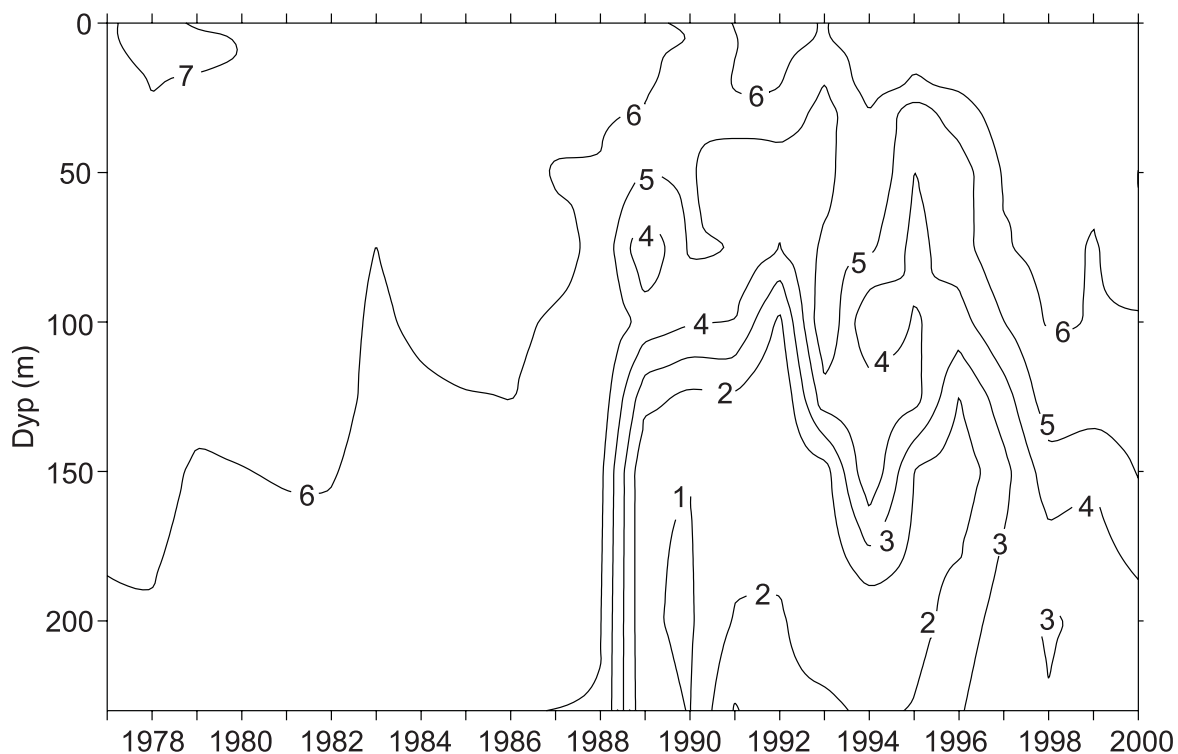
Havforskningsinstituttet har siden 1975 overvåket miljøforholdene i om lag 27 fjordregioner langs

norskekysten i forbindelse med brisling- og sildeundersøkelser sent på høsten. I det følgende beskrives forholdene i Ofotfjorden og Risørbassenget, som begge har meget dårlige oksygenforhold i vannmassene forårsaket av to helt forskjellige forhold, og produksjonsforholdene i Ytre Oslofjorden.

Ofotfjorden

Etter at sommerbeitesesongen er over i Norskehavet, vandrer den norske vårgytende silda til overvintringsområdene hvor den danner tette konsentrasjoner. I disse områdene blir silda inntil gytevandringen begynner igjen tidlig på vinteren. I de siste 40 år har man kunnet identifisere flere overvintringsområder. I løpet av 1950-årene, da bestanden var stor (10 millioner tonn), overvintret silda i et område øst for Island. I 1963-66 var bestanden redusert til 3-4 millioner tonn, og mesteparten av silda overvintret utenfor norskekysten i de nordlige deler av Norskehavet. Etter at bestanden brøt sammen på slutten av sekstitallet, overvintret restene av bestanden i flere fjorder langs norskekysten. Under gjenoppbygging av bestanden i de siste år, hvor 1983-årsklassen var den dominerende, har silda siden 1987 overvintret i indre deler av Vestfjorden, Ofotfjorden og til dels i Tysfjorden. Den store konsentrasjonen av sild har ført til en betydelig reduksjon av oksygeninnholdet i disse fjordområdene om høsten og vinteren.

Havforskningsinstituttet har fulgt utviklingen med prøvetaking hvert år i november. Figur 4.9 viser oksygenforholdene i Ofotfjorden på en stasjon utenfor Narvik. Observasjonene viser en kraftig nedgang i oksygenkonsentrasjonene under ca. 100 m dyp etter 1988, med konsentrasjoner ned til like under 1.0 ml/l i 1990. De lave oksygenkonsentrasjonene har holdt seg de siste årene i de dypere deler av fjorden. Som regel inntreffer de laveste oksygenverdiene i januar måned, når silda begynner sin vandring ut av fjordsystemet. I de siste tre-fire åra har imidlertid en større andel av silda overvintret også i deler av Tysfjorden og indre deler av Vestfjorden, og en svakere reduksjon av oksygeninnholdet er blitt observert der. I november 1996 og 1997 var det for første gang etter 1990 en markert forbedring i de dypeste vannlagene da oksygenkonsentrasjoner steg til omkring 3.0 ml/l. Denne trenden fortsatte også i perioden 1998-2000 og da særlig i de øverste 180 m. Det er verdt å merke



Figur 4.9 Vertikalfordeling av oksygen (ml/l) i Ofotfjorden utenfor Narvik i perioden 1977-2000.
Vertical distribution of oxygen (ml/l) at a station off Narvik in the Ofotfjord during 1977-2000.

seg at for første gang siden 1988 er det blitt observert oksygenkonsentrasjoner høyere enn 5 ml/l på 150 m dyp ved Narvik.

Oksygenøkningen i 1997-2000 kan ha sammenheng med innstrømning av vann fra kysten til Ofotfjorden i kombinasjon med at mengden overvintrende sild har gått ned. En større del av silda oppholder seg nå i Ytre Ofotfjorden, Tysfjorden og indre Vestfjorden.

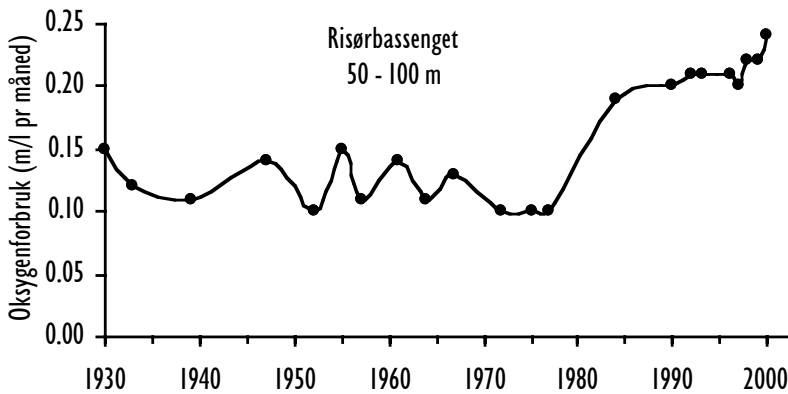
Risørbassenget

Risørbassenget, med terskeldyp på ca 30 m, er benyttet som referansebasseng for overvåking av den organiske belastning fra kystvannet i terskelbasseng i Indre Skagerrak. Figur 4.10 viser at oksygenforbruket (og den organiske belastning) i Risørbassenget i 2000 fortsatt lå rundt 50 % over midlere oksygenforbruk før 1980. Det økte oksygenforbruk i Risørbassenget og andre terskelbasseng i Skagerrak er i hovedsak knyttet til økte tilførsler av menneskeskapt næringsstoff (jordbruk, kloakk og industri) og organisk materiale fra sørlige Nordsjøen, Kattegat og Østersjøen. Vi

vet at den økte organiske belastning har forverret oksygenforholdene i en rekke terskelbasseng langs Sørlandskysten, men vi har fortsatt begrensede kunnskaper om effektene på dyrelivet og økosystemet i terskelbassengene.

Ytre Oslofjord

Ytre Oslofjord har betydelige tilførsler av menneskeskapt næringsstoff og organisk materiale både fra lokale kilder og gjennom langtransportert forurensning fra Østersjøen, Kattegat og sørlige Nordsjøen. Havforskningsinstituttet overvåket eutrofitilstanden i ytre Oslofjord i 1999-2000 i regi av SFT. Resultatene viste at konsentrasjonene av nitrat var "mindre gode" (ifølge SFTs miljøklassifisering) både sommer og vinter. Fosfatkonsentrasjonene var i liten grad påvirket av lokale utslipp. De økte tilførsler av nitrat førte til høy produksjon av planteplankton. Det var også markert høyere klorofyll-a-verdier i Ytre Oslofjord enn i kystvannet i indre Skagerrak (Figur 4.11). Den økte planktonproduksjonen kan bl.a. føre til nedsatt lysgjennomtrengning i vannet, og en effekt av dette kan være at tang og tare ikke kan vokse så dypt som er naturlig.



Figur 4.10
Oksygenforbruk i 50-100 m dyp i Risør-
bassenget fra 1930 til 2000.

Oxygen consumption at 50-100 m depth
in the Risør basin from 1930 to 2000.

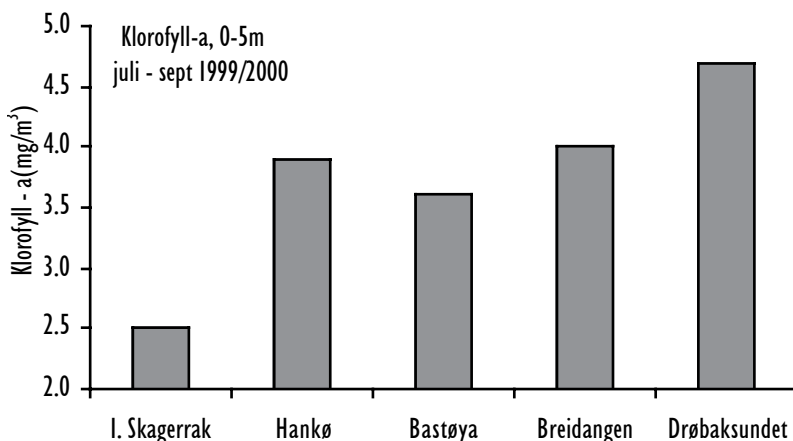
Maneter på Skagerrakkysten

Siden 1992 har det vært daglige registreringer av brennmanet (*Cyanea capillata*) og glassmanet (*Aurelia aurita*) i Flødevigen. Det gjøres ved at observatøren teller hvor mange maneter som kan ses i sjøen under en flate på ca. 10 x 10 m utenfor kaien. I tillegg noteres størrelsen på manetene. Metoden har den åpenbare svakhet at mulighetene til å kunne se ned i vannet varierer med lys, planktonforekomst og bølger.

På Skagerrakkysten opptrer stormaneter nær havflaten så å si bare i sommerhalvåret. De er avhengig av vindretning og strøm og kan derfor variere meget fra dag til dag. I enkelte år har vi registrert små brennmaneter en kort periode om vinteren. Også godt ut på høsten kan små brennmaneter forekomme i korte perioder. Ved fralandsvind kommer gjerne manetene til overflaten, når det senere blir pålandsvind kan maneter samles i store tettheter i bukter og fjorder. Om sommeren kommer glassmanetene gjerne til syne først og kan opptre i store tettheter. Store forekomster av brennmaneter viser seg litt senere, men holder seg i overflatevannet desto lenger utover ettersommeren og høsten.

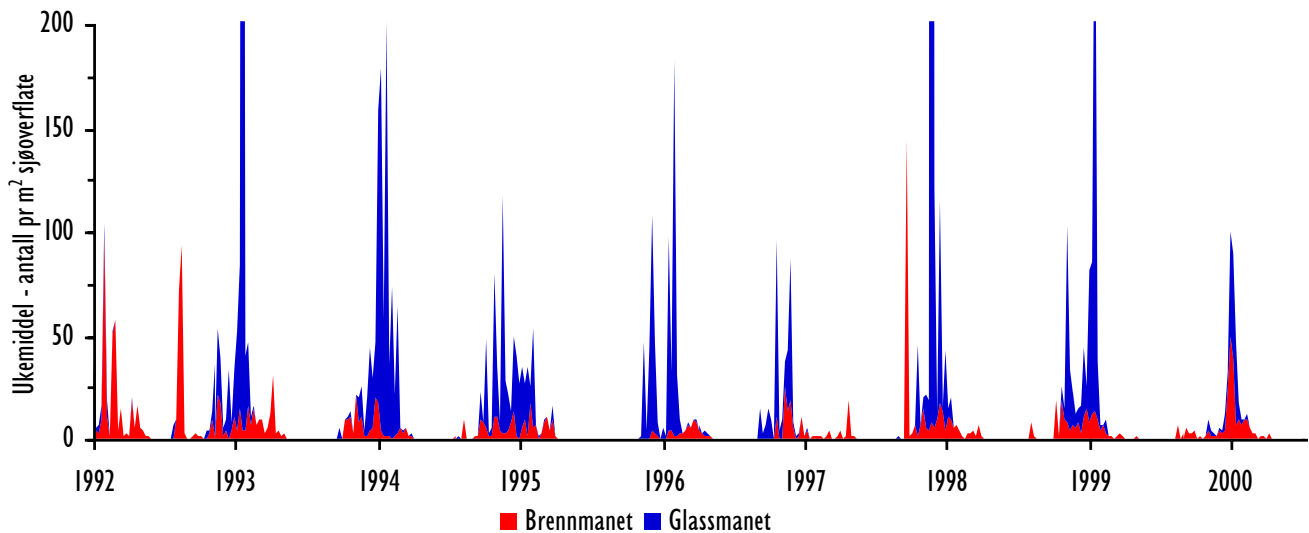
I 1998 ble det registrert flere maneter enn i 1997 (Figur 4.12). Glassmanetene kom i første halvdel av mai og forsvant i første halvdel av juli. I mars ble det et par dager observert en meget høy konsentrasjon av små brennmaneter. Ellers opptrådte brennmanetene meget varierende og spredt utover hele sommeren til og med september. I 1998 var det en voldsom konsentrasjon av glassmaneter 15. mai. I 1999 ble det registrert færre stormaneter enn året før, spesielt gjaldt dette brennmaneter. Glassmanetene kom noe senere i 1999 og holdt seg i de øvre vannmasser lenger ut i juli enn tidligere år. Etter 15. september er det vanligvis ikke registreringer av stormaneter.

2000 var litt uvanlig idet brennmanetene viste seg før glassmanetene. Totalt sett ble det observert langt færre glassmaneter enn de foregående år. Varigheten av den "sesongen" glassmanetene ble observert var også forholdsvis kort. Temperaturen i overflatelagene om vinteren og sommeren var gjennomgående høyere enn normalt, og dette kan ha innvirket på manetforekomstene. Temperaturen i 1997 var også meget høy, og det ble registrert få maneter.



Figur 4.11
Gjennomsnittsverdi er for 1999-2000
av klorofyll-a i juli-september i en
gradient fra det åpne Skagerrak til
Drøbaksundet.

Mean Chlorophyll-a values for 1999-2000
in July-September in a gradient from the
open Skagerrak to the more closed fjord
environment towards the inner Oslofjord
at Drøbak.



Figur 4.12 Forekomst av brennmanet (*Cyanea capillata*) og glassmanet (*Aurelia aurita*) i Flødevigen 1992-2000. Ukemiddel.
Occurrence of *Cyanea capillata* and *Aurelia aurita* in the Flødevigen Bay 1992-2000. Weekly mean.

4.3

Skadelige alger

For å kunne varsle fiskeoppdrettere og skjelldyrkere langs kysten om risiko for skadelige planteplanktonforekomster før problemer oppstår, har Havforskningsinstituttet siden 1981 overvåket *Gyrodinium aureolum*, som kan gi brun sjø og fiske-død, og siden 1984 slekten *Dinophysis*, som regnes som årsaken til problemene med diaréfremkallende gift i skjell. Etter en stor og dramatisk oppblomstring i mai 1988 av *Chrysochromulina polylepis*, som forårsaket dødelighet blant en lang rekke organismer langs kysten, kom også *Chrysochromulina*-slekten med i overvåkningsprogrammet. De siste årene har vi også registrert forekomsten av algeslekten *Alexandrium*. *Alexandrium*-celler kan inneholde farlige, lammende (paralyserende) gifter, og deres forekomst brukes til å vurdere risiko for giftopp-hopping i skjell.

Foruten å være grunnlag for en løpende informasjon om algesituasjonen, har algeovervåkingen over tid generert viktige tidsserier over algeforekomster. Slike er nyttige og interessante både for forvaltnings- og forskningsformål. Man spør seg om oppblomstringer av skadelige alger skjer hyppigere enn tidligere, og om slike oppblomstringer i noen grad kan skyldes påvirkninger av menneskelig

aktivitet. En systematisk overvåking, som går over tid, vil kunne belyse slike spørsmål. Erfaringsmessig har de fleste større, skadelige algeoppblomstringer startet i Skagerrak, for så å bli spredd med kyststrømmen. En overvåking i Skagerrak, hvor kyststrømmen starter, har derfor gitt et grunnlag for også å si noe om mulig opptreden av disse algene på Sørvest- og Vestlandet.

Havforskningsinstituttets eget overvåkningsprogram bygger i dag på følgende prøvesett: 1) vannprøver i et snitt på tvers av Skagerrak ca. hver måned, snittet Torungen-Hirtshals, 2) vannprøver (0-3 m dyp) annenhver dag fra Flødevigen og 3) eventuelt ekstraprøver i perioder med økt risiko for oppblomstring av skadelige alger.

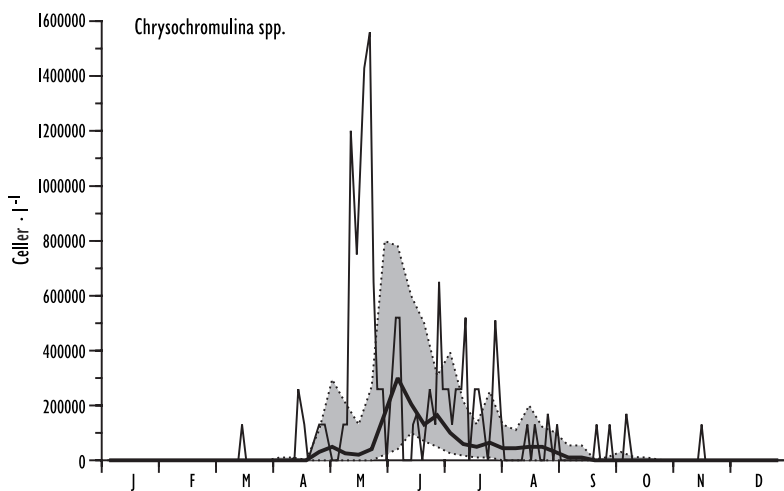
Etter oppblomstringen av *Chrysochromulina polylepis* i 1988 økte etter hvert den nasjonale innsatsen på algeovervåking. I 2000 var foruten Havforskningsinstituttet også Fiskeridirektoratet Region Skagerrak, OCEANOR, NIVA, Norges veterinærhøgskole, Næringsmiddelkontrollen i Midt-Rogaland og Statens næringsmiddeltilsyn (SNT) med i en landsdekkende algeovervåking. Overvåkingen i 2000 foregikk ukentlig på 27 stasjoner

fra svenskegrensen til Finnmark, fra slutten av mars til ut i oktober. Resultatene ble ukentlig oppsummert i en «Algeinfo», som i regi av Havforskningsinstituttet legges ut på Internett med adresse: <http://algeinfo.imr.no/>.

Kysten Oslofjorden-Rogaland

Forekomsten av algeslekten, *Chrysochromulina*, som har ført til fiskedød på kysten av Skagerrak, var ganske normal i 2000 (Figur 4.13), og ingen effekter ble registrert. En annen alge som har gitt brun sjø og fiskedød, *Gyrodinium aureolum*, (som nå foreslås nytt navn: *Karenia mikimotoi*) ble bare registrert i et lite antall (Figur 4.14) og skapte følgelig ingen problemer i 2000. Heller ingen andre skadelige alger skapte betydelige problemer, men helt lokale opphopninger av den store dinoflagellaten *Polykrikos* dannet tidvis røde striper helt i overflaten noen steder i løpet av høsten. Fra Flekkefjord kom det rapporter om at litt oppdrettsfisk døde i kontakt med slikt vann. *Polykrikos* er nokså vanlig hver høst og har vært mer tallrik tidligere år.

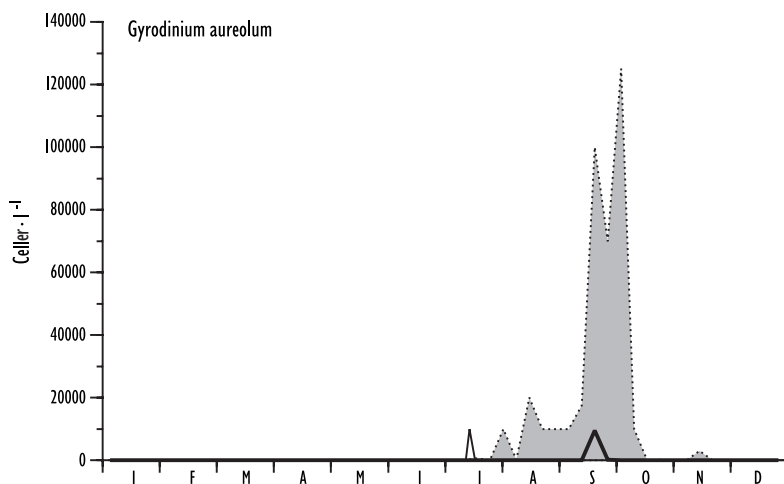
Det mest uvanlige vedrørende skadelige alger i 2000 var forekomsten av *Dinophysis acuta* (Figur 4.15). Den dukket opp tidligere og mer tallrik enn vanlig allerede fra slutten av juni, og førte til at skjellene langs kysten av Skagerrak akkumulerte diarégift over faregrensen allerede i juli, mot normalt i september-oktober. Forekomsten av diarégivende alggifter i skjell var derved et større problem enn vanlig langs kysten av Skagerrak fra juli til desember 2000. Noe av diarégiftproblemene på Skagerrakkysten i 2000 var også knyttet til at gift som hopet seg opp i skjellene utpå høsten 1999 ikke ble redusert til under faregrensen før i april-mai 2000. Normalt går skjellene seg rene i løpet av mars ved å spise ikke-giftige kiselalger, men fordi kiselalgenes våroppblomstring var svak og sen i 2000, tok det lenger tid. Så da den mest giftige *Dinophysis*-arten, *D. acuta*, blomstret allerede fra juni, ble perioden uten diarégift i skjell kort i 2000. Det gjorde ikke situasjonen bedre at yessotoksin, en alggift som også akkumuleres i skjell, slo ut på



Figur 4.13

Chrysochromulina spp. i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 2000. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989-1999. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde).

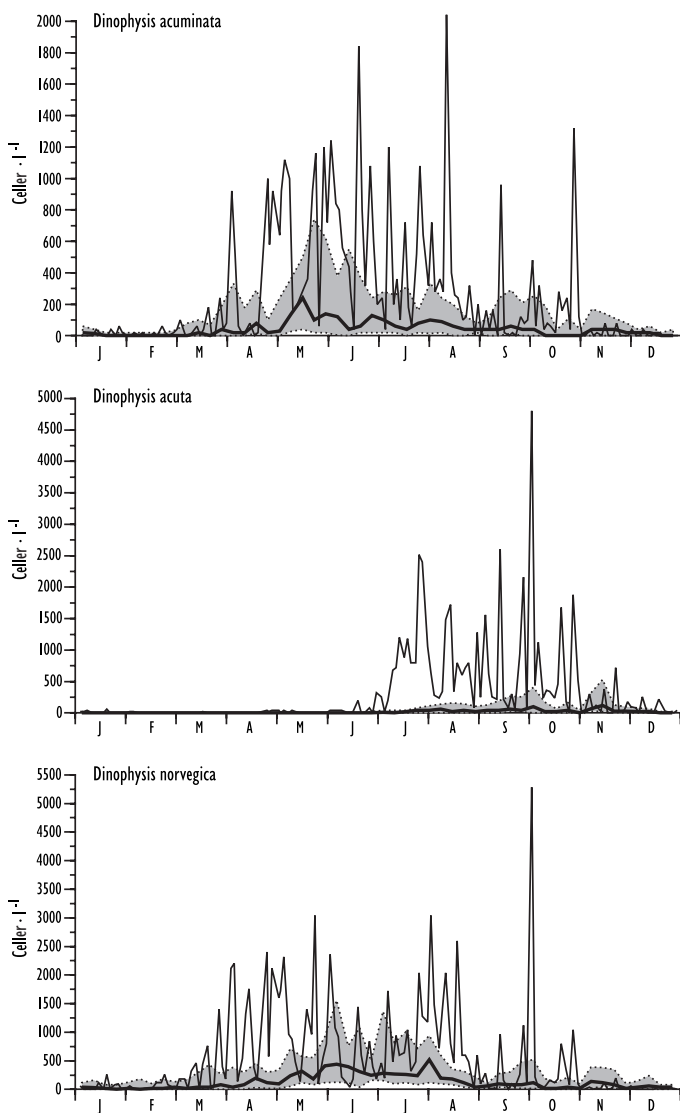
Chrysochromulina spp. in the Flødevigen Bay, 0-3 m depth. The thin curve is data from 2000. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989-99. Dotted lines are first and third quartiles.



Figur 4.14

Gyrodinium aureolum i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 2000. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989-99. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde).

Gyrodinium aureolum in the Flødevigen Bay, 0-3 m depth. The thin curve represents data from 2000. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989-99. Dotted lines are first and third quartiles.



Figur 4.15

Dinophysis acuminata, *D. acuta* og *D. norvegica* i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 2000. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989-99. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde).

Dinophysis acuminata, *D. acuta* and *D. norvegica* in the Flødevigen Bay, 0-3 m depth. The thin curve represents data from 2000. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989-99. Dotted lines are first and third quartiles.

gifttestene (musetestene) i mai-juni slik at publikum også da ble frarådet å spise selvplukkede skjell, og skjelldyrkere måtte avstå fra å høste. Det er foreløpig uklart hva som er kildeorganismene til yessotoksin i våre farvann. Selv om yessotoksin synes like potent som diarégiftene ut fra resultatene av musetestene, så finnes det grunnlag for si at det ikke er tilsvarende giftig for oss mennesker ved konsum av skjell. Denne kunnskapen vil allerede fra 2001 bli innarbeidet i forvaltningen av skjell i Norge.

Lammende gift ble bare påvist i skjell ved et par anledninger på kysten av Skagerrak i 2000, i siste halvdel av april og i begynnelsen av mars. Det var derved, som normalt, ikke noe stort problem for denne kyststrekningen.

Kysten Rogaland-Finnmark

Fra noen få oppdrettsanlegg i Rogaland og Horda-

land kom det rapporter om at litt oppdrettsfisk døde i kontakt med rødlig vann som inneholdt mye *Polykrikos*. Fra Rogaland og nordover var det ikke diarégift av betydning i skjellene frem til juli, bortsett fra noe i Sognefjorden og i Romsdal. Men etter at *Dinophysis acuta* forekom mer enn vanlig gjennom sommeren også på Vestlandet, ble det i august påvist diarégift over faregrensen både i Rogaland og Hordaland, og i oktober helt opp til Stad. I sum var det mer diarégift enn vanlig på denne strekningen i 2000. Fra Møre og Romsdal og nordover til Finnmark var det bare noen ganske få påvisninger av diarégifter i skjell. Lammende gifter i skjell var derimot, som tidligere år, mer vanlig på Vestlandet enn i Skagerrak. Men i 2000 var det bare noen få påvisninger fra Hordaland til Nordland i perioden april-august, og i sum var problemene små. I noen fjorder på Vestlandet var det, som på Skagerrakkysten, en del yessotoksin i skjellene på forsommeren.

Havforskningsinstituttet overvåker forurensnings-tilstanden i norske kyst- og havområder. Hovedformålet med denne overvåkingen er å kunne dokumentere at norsk fisk er fanget i "rent hav", og dersom et område viser seg å være uakseptabelt belastet, gi råd til myndighetene om eventuelle fangstbegrensninger. I årets miljørapport vil vi presentere noen resultater fra studier av organiske miljøgifter i fisk, og gi en oversikt over senere års arbeider knyttet til radioaktiv forurensning.

Utenom disse hovedgruppene av forurensning overvåkes utslipp fra petroleumsvirksomheten på norsk sokkel, tilførsler og virkninger av økte mengder næringssalter og organisk materiale fra menneskelig aktivitet. Innsamling av prøver for spormetallanalyse gjennomføres i enkeltprosjekt hvor Fiskeridirektoratets ernæringsinstitutt (biologiske prøver) eller Norges geologiske undersøkelser (sedimenter) ofte utfører de kjemiske analysene.

5.1 Organiske miljøgifter

Virkning og spredning

Organiske miljøgifter som f.eks. polyklorete bifenyler (PCB) og klororganiske plantevernmidler som DDT, heksaklorsyklusheksaner (HCH) og toksafen (CHB), er menneskeskapt og har ingen kjente naturlige kilder av betydning. Stoffene kjennetegnes ved å være tungt nedbrytbare i miljøet og ved at de konsentreres i marine næringskjeder. Ved høy belastning kan stoffene gi alvorlige negative virkninger på marine organismer f.eks. utviklings- og reproduksjonsskader, kreftvirkning eller skader på organismenes nervesystem (nevrotoksiske skader). Organiske miljøgifter tilføres havområdene via atmosfærisk langtransport, med havstrømmene og med elver. På grunn av omfattende anvendelse og liten nedbrytning er organiske miljøgifter spredt rundt på hele kloden. Organiske miljøgifter er funnet i fisk og andre marine organismer selv i

fjerntliggende områder som Arktis og Antarktis, og derfor er det all grunn til å følge med i forholdene også i våre havområder.

Analysene av de overnevnte stoffene er svært ressurskrevende, og vi har derfor måttet begrense oss til å undersøke et havområde i året.

Barentshavet

I 1998 ble fisk fra Barentshavet analysert for miljøgifter. Det er leveren som undersøkes fordi organiske miljøgifter i særlig grad anrikes i fettriakt vev. Tabell 5.1 gir en oversikt over konsentrasjonene av en del viktige organiske miljøgifter i ulike fiskearter. Hver prøve består av minst 25 fisk. Torsk ble analysert enkeltvis mens de andre fiskeartene ble analysert som samleprøver. En del miljøgifter

Tabell 5.1 Barentshavet i 1998. Konsentrasjoner (ng/g våtvekt) av organiske miljøgifter i fiskelever. Et nanogram per gram (ng/g) tilsvarer et milligram per tonn.
Concentrations of organic contaminants (ng/g wet weight) in liver of fish from the Barents Sea in 1998.

Art	∑PCB	∑DDT	∑HCH	∑CHB	t-nonachlor	HCB
Torsk	32-325	26-206	0.5-8.2	24-144	12-81	1.1-25
Hyse	78-95	34-35	4.6-5.9	36	11-12	6
Uer	12-29	10-18	2.1-2.4	17-26	3.4-5.8	3.4-3.9
Polartorsk	20-21	17-18	7.5-8	26-29	6.5-8.3	4.3-7.9
Gapeflyndre	9.2-26	6.6-15	1.0-1.2	9.6-10	3.1-5.7	1.2-2.5
Sild	3.0-3.3	1.7-3.0	1.2-1.8	1.5-1.9	0.3-0.4	0.4-0.7
Lodde	2.3-5.5	1.9-4.0	1.0-1.9	3.2-5.9	0.5-1.0	1.0-1.2

består av flere komponenter, og disse er i Tabell 5.1 oppgitt som summer: \sum PCB (sum PCB nr. 28, 52, 101, 105, 118, 128, 138, 149, 153, 156, 170, 180, 194), \sum DDT (sum p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT), \sum HCH (sum alfa-HCH, beta-HCH, gamma-HCH), \sum CHB (sum CHB nr. 26, 50, 62, benevnning etter Parler). Resultater er også oppgitt for heksaklorbensen (HCB) og trans-nonaklor som er en av flere klordankomponenter i miljøet.

Lodde, polartorsk og sild er viktige planktonspisere i Barentshavet. Lodde inneholdt svært lave konsentrasjoner av organiske miljøgifter. De høyeste verdiene ble funnet for \sum CHB fulgt av omtrent tilsvarende eller litt lavere verdier for \sum PCB, \sum DDT og \sum HCH (Tabell 5.1). Trans-nonaklor og HCB ble også påvist. Polartorsk inneholdt litt høyere konsentrasjoner av organiske miljøgifter enn lodde, mest sannsynlig på grunn av et noe høyere fettinnhold i leveren. Forholdet mellom de ulike miljøgiftene var omtrent likt i lodde og polartorsk. Sild inneholdt også svært lave konsentrasjoner av organiske miljøgifter, og i denne arten var konsentrasjonene av \sum PCB litt høyere enn \sum CHB (Tabell 5.1). Sammenlignet med nivåene fra 1992-93 var konsentrasjonene omtrent like eller noe lavere i 1998.

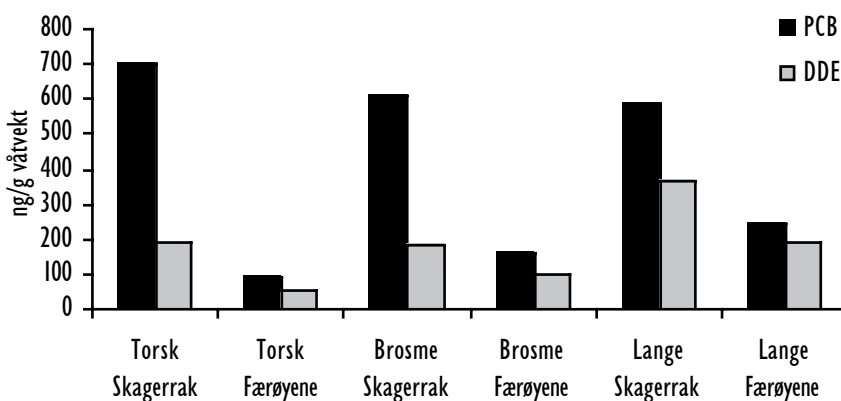
Gapeflyndre er den vanligst forekommende flyndrearten i Barentshavet. Arten lever på eller like over bunnen og beiter på forskjellige bunndyr. \sum PCB ble funnet i høyeste konsentrasjon i lever fulgt av noe lavere mengder \sum DDT og \sum CHB (Tabell 5.1). Nivåene var lave og omtrent lik verdiene i 1992-93.

Torsk, hyse og uer er viktige arter i Barentshavet og står høyere i næringskjeden enn planktonspisende fisk. Siden giftene akkumuleres i næringskjeden,

vil vi forvente mer gift i disse artene enn i planktonspisende arter. Torskelever inneholdt de høyeste nivåene av organiske miljøgifter: \sum PCB (72-325 ng/g våtvekt) > \sum DDT (26-206 ng/g våtvekt) > \sum CHB (24-144 ng/g våtvekt). HCB, trans-nonaklor og \sum HCH ble også funnet. Hyse hadde lavere verdier enn torsk og uer enda lavere. Nivåene fra 1998 lå på 1992-93-nivå. Det bør nevnes at muskel eller filet fra de samme artene inneholder vesentlig lavere mengder gifter enn det som registreres i lever, fordi muskel som oftest inneholder mindre fett. Hovedkonklusjonen fra overvåkingen i 1998 i Barentshavet er at all fisken inneholder organiske miljøgifter, men at konsentrasjonene er lave sammenlignet med mer belastede områder som Nordsjøen og Skagerrak.

Skagerrak

Miljøgiftinnholdet i fisk fra Skagerrak i 1995-96 er sammenlignet med fisk fra antatt uforurensede områder utenfor Færøyene (Figur 5.1). Analysene viser at torsk, brosme og lange fra Færøyene har lavere mengder PCB og DDE enn i Skagerrak. Verdiene i figuren er gjennomsnittsverdier for minst 25 fisk fra hvert av de to områdene. Torskelever inneholdt de høyeste mengdene organiske miljøgifter. Torsk fra Skagerrak hadde \sum PCB 150-4100 ng/g våtvekt, med en snittverdi på 700 ng/g. Ved Færøyene inneholdt torskelever 48-230 ng/g \sum PCB, med et gjennomsnitt på 93 ng/g våtvekt. Dette er nær globale bakgrunnsverdier. DDE-konsentrasjonene var noe lavere og forskjellene mellom områdene var også mindre (Figur 5.1). Noe av årsaken til de høye verdiene i Skagerrak kan skyldes den store mengden organisk og mineralsk materiale som sedimenterer i området og som har sitt opphav fra hele Nordsjøområdet, Kattegat og Østersjøen. Organiske miljøgifter er ofte bundet til forskjellige typer partikulært materiale. Sirkulasjonssystemet gjør at



Figur 5.1
Gjennomsnittlig innhold av PCB og DDE i fisk fra Færøyene og Skagerrak. Leververdiene er oppgitt i ng/g våtvekt.

Mean content of PCB and DDE in fish from the Faeroes and Skagerrak. Concentrations in the liver are given as ng/g wet weight.

mesteparten av vannet som kommer inn i Nordsjøen og Kattegat transporteres inn i Skagerrak før det føres videre nordover i Den norske kyststrømmen. Vannstrømmene fører med seg partikler og partikkelbundet forurensning, og store mengder av dette synker ut og ender opp i bunnsedimentene.

Sammenlignet med de grunne områdene i Nordsjøen har Skagerrak og Norskerenna høye konsentrasjoner av PCB og polyaromatiske hydrokarboner (PAH) i sedimentene på sjøbunnen. Høye nivåer av organiske miljøgifter er også funnet i dypvannsfisken skolest, som i stor grad beiter på bunndyr. I 1995-96 inneholdt skolestlever i gjennomsnitt 580 ng/g Σ PCB, 220 ng/g DDE, 9 ng/g våtvekt Σ HCH, 11 ng/g våtvekt HCB og 8 ng/g våtvekt trans-nonaklor.

Konklusjon

Nivåene av organiske miljøgifter i fiskelever fra Skagerrak ligger generelt noe høyere enn i fisk fra Norskehavet, men kan allikevel betegnes som forholdsvis lave sammenliknet med det en finner nær enkelte punktkilder langs kysten. Miljøgiftinnholdet i fiskefilet er vesentlig lavere enn i lever. Helsemyndighetene har foreløpig ikke sett det som aktuelt å innføre kostholdsråd på fisk fra åpne deler av Skagerrak. Vi kan derfor konkludere med at fisk fra Skagerrak og andre norske fiskeriområder er av god kvalitet med lavt innhold av organiske miljøgifter. Imidlertid er det uønsket at en finner rester av disse fremmedstoffene i fisk, og det bør fortsatt arbeides med nasjonale og internasjonale tiltak for å begrense tilførslene av miljøgifter til marine områder.

5.2

Radioaktivitet

Prøvesprengningene i 50- og 60-årene

Havforskningsinstituttet drev en meget aktiv overvåkning av radioaktivitet i fisk, særlig fra Barentshavet, fra slutten av 50-årene og til og med 1968. Denne overvåkingen ble satt i gang som følge av de sovjetiske prøvesprengningene av atombomber over det østlige Barentshavet, noe som medførte et betydelig direkte nedfall av radioaktive komponenter over viktige fiskeriområder. De høyeste gjennomsnittsverdiene i fisk ble målt i 1963 med opp mot 100 bequerel (Bq) pr. kg fisk (ferskvekt). Som følge av en inngått prøvestansavtale mellom stormaktene i 1963, opphørte de atmosfæriske prøvesprengningene. I 1968 var nivået i fisk nede på det som dengang ble ansett som et "naturlig" bakgrunnsnivå, og overvåkingen ble avsluttet. Det er verd å tilføye at ikke bare Havforskningsinstituttet, men omtrent alle institusjoner, både nasjonalt og internasjonalt, som hadde overvåket radioaktivitetsnivåene som følge av bombesprengningene, avsluttet sine måleprogrammer i slutten av sekstiårene.

Tsjernobyl

Tsjernobyl-ulykken i 1986 medførte en betydelig forurensning som fortsatt gjør seg gjeldende. Enkelte områder i Norge ble utsatt for et vesentlig nedfall, med følger spesielt for landbruket. Denne ulykken demonstrerte med all tydelighet den dårlige beredskapen, men også at det meste av måleinstrumentene var blitt foreldet og ikke lengre var brukbare, samt

at mye av målekompetansen også var blitt borte. Som følge av denne ulykken ble det etterhvert bevilget midler til måleutstyr, og det er nå bygget opp en effektiv beredskap under ledelse av Statens strålevern. Havforskningsinstituttet ble også tildelt midler, og det ble bestemt at vi skulle etablere en "havgående" målekapasitet for overvåkning av marin radioaktivitet. I 1990 begynte vi våre målinger og oppbygging av vår målekompetanse.

"Komsomolets"

Våren 1989 havarerte den sovjetiske atomubåten "Komsomolets" og sank på ca. 1700 m dyp sydvest for Bjørnøya. Havariet ble viet betydelig oppmerksomhet i media, og i en del år etterpå ble trusselen om radioaktiv forurensning fra denne ubåten, som også har kjernevåpen om bord, en betydelig belastning for fiskeriene. Vi kom relativt raskt i gang med en overvåkning av området rundt havaristedet. De første årene ble prøver innsamlet fire ganger i året. Nå besøkes havaristedet en gang hvert år. Våre målinger viser bare en nærmest ubetydelig økning av radioaktivitetsnivåene i bunnsedimentene i nærheten av vraket. Selv om det ikke er noen forurensning fra dette ubåtvraket, så er det likevel viktig å følge med og kunne dokumentere tilstanden.

Novaja Semlja og Sellafield

Dumping av store mengder radioaktivt materiale

foretatt av det tidligere Sovjetunionen øst i Barentshavet og i Karahavet har satt fokus på radioaktiv forurensning i våre havområder. Den store ansamlingen av til dels utrangerte atomubåter i dårlig forfatning i havner på Kolakysten bidrar også til økt oppmerksomhet omkring radioaktiv forurensning i noen av våre viktigste fiskeområder. I tre felles norsk-russiske ekspedisjoner, i 1992, 1993 og 1994, til dumpeområdene på østkysten av Novaja Semlja, hvor Havforskningsinstituttet var ansvarlig for toktene fra norsk side, ble det dokumentert at det er lite forurensning fra det dumpede radioaktive materialet (Figur 5.2).



Figur 5.2

Abrosimovfjorden på østkysten av Novaja Semlja i 1994. Havforskningsinstituttet brukte garn for å fange fisk til analyser av radioaktivitet.

Abrosimov fjord on the east coast of Novaja Zemlya in 1994. Gill nets were used to catch fish for analyses of radioactivity.

Vi har gjennomført en betydelig undersøkelse av radioaktivitetsinnholdet i hele Barentshavet i løpet av 90-årene. Resultatene viser at det er utslipp fra europeisk kjernekraftindustri, spesielt anleggene i Sellafield ved Irsesjøen, som er den største bidragsyteren til forekomst av radioaktivitet i våre fiskeområder. Britiske myndigheter ga i begynnelsen av 90-årene tillatelse til et årlig utslipp av 200 TBq ($T = \text{tera} = 10^{12}$) technetium-99 fra Sellafield, og våren 94 foregikk det første utslippet. Technetium-99 har en halveringstid på 213 000 år og kan nærmest betraktes som evigvarende i miljøet. Technetium-99 er et spaltingsprodukt karakteristisk for reprosesseringsanlegg. Det er en lav-energi beta-emitter, og når det slippes ut i sjøen forekommer det som perotechnetat (TcO_4^-). Allerede senhøstes 1996 kunne utslippet spores i tangprøver samlet fra Skagerrakkysten. Utslippene av technetium fortsetter på tross av protester fra de nordiske landene, og kan nå spores helt oppe ved Svalbard. Riktignok er det snakk om meget små verdier, men det faktum at det er målbart gir en klar beskjed om at havet ikke må oppfattes som en endeløs søppelbøtte.

I 1999 startet Havforskningsinstituttet med en utvidet overvåkning av radioaktivitet i marine områder. Overvåkningsprogrammet ble initiert av Miljøverndepartementet som også bidrar med midler

til gjennomføringen. Statens strålevern har det koordinerende ansvar for overvåkingsprogrammet, mens Havforskningsinstituttet er ansvarlig for prøvetaking, bearbeiding av prøvene før måling, og måling av gammaemittere, dvs. måling av radiocesium. Det er først og fremst cesium-137, med en halveringstid på 30 år, vi måler. Kildene til radioaktivt cesium i våre farvann er i hovedsak utslipp fra spesielt Sellafield og nedfall etter Tsjernobylulykken. Østersjøen er det havområdet som har fått størst belastning som følge av nedfall fra Tsjernobyl. Mens utslippene av cesium fra Sellafield er blitt redusert, fortsetter utslippene av technetium.

“Kursk”

I august 2000 havarte den russiske atomubåten “Kursk” og sank på 110 m dyp utenfor Kolakysten. De dramatiske og forgyves forsøkene på å redde mannskapet på 118

medførte en enorm mediaoppmerksomhet. Faren for en større radioaktiv forurensning var også til stede. Heldigvis ble det ganske fort klart at ubåtens to reaktorer var nedstengt og at ubåten heller ikke medbrakte atomvåpen. Kriseberedskapen i regi av Statens strålevern virket som den skulle, og takket være data fra tidligere overvåkinger og kunnskap om strøm og hydrografiske forhold i ulykkesområdet, var det mulig for Havforskningsinstituttet å bidra vesentlig i vurderingene med hensyn til mulige forurensninger. Dette er beskrevet i temaartikkelen om “Kursk” side 105.

Havariet av “Kursk” har synliggjort hvor viktig det er både å ha en oppegående velkvalifisert målekompetanse og tilstrekkelig målekapasitet. Rykter om transport av radioaktivt materiale langs vår kyst og fortsatt atomubåttaktivitet i våre nærmeste havområder tilsier en vesentlig beredskap. Det vil også være nødvendig å følge opp en overvåkning av området rundt “Kursk”, særlig i forbindelse med en eventuell heving av vraket eller deler av vraket. En nærmere overvåkning må skje i nært samarbeid med russiske myndigheter, og det er allerede lagt planer for en slik felles norsk-russisk overvåkning.

Det er gjennomført en del målinger av fisk fra Barentshavet fanget etter "Kursk"-forliset. Målingene er foretatt på forskjellig fisk fanget øst og vest for havaristedet. Cesium-137 innholdet i fiskemuskel varierer fra 0.7–1.6 Bq/kg (tørrvekt) eller 0.15–0.31 Bq/kg (ferskvekt). Målingene er foretatt på 16 fiskeprøver, og det ble målt på torsk, hyse og gapeflyndre. Til sammenligning er gjennomsnittsverdiene for fisk fra Østersjøen 21 Bq/kg, utenfor Sellafield 19 Bq/kg, i Skagerrak 1.1 Bq/kg og utenfor Midt-Norge 0.5 Bq/kg. Alle verdiene er ferskvekt-verdier.

Verdiene viser meget lavt innhold i fisk fra "Kursk"-området. Det er verd å minne om at det etter

Tsjernobyl-ulykken ble etablert en tiltaksgrense på matvarer på 600 Bq/kg. Overstiger innholdet i en matvare denne grensen, skal det innføres kostholdsrestriksjoner. I denne forbindelse må vi minne om at våre målinger fra Barentshavet i sekstiårene ikke viste gjennomsnittsverdier i fisk over 100 Bq/kg ferskvekt. På bakgrunn av de lave verdiene vi måler, kan det kanskje stilles spørsmål om det er nødvendig med overvåkning når nivåene generelt er så lave. Erfaringene har imidlertid vist at det for Norge som fiskerinasjon er nødvendig til enhver tid å kunne dokumentere renheten i de områdene fisken blir fanget i. Vår fisk fanges i noen av verdens reneste havområder, og det er viktig å stadig kunne dokumentere dette.



Tegning: Fridtjof Nansen

Trygve Gytre

Sett fra menneskets synspunkt er universet generelt preget av ekstreme klimaforhold. De fleste himmellegemers overflate er enten særdeles varme (tusenvís av varmegrader) eller isende kalde. Planeten Jorda er så heldig at den har en passe stor stjerne i passe avstand, samtidig som den beskyttes av en klimaregulierende atmosfære. Sammen med Sola sørger vår atmosfære for at størstedelen av planetens livgivende vann hverken koker eller fryser. Gjennomsnittstemperaturen for hele Jordas overflate er ca. +15 °C. Uten atmosfære ville Jordas gjennomsnittstemperatur vært omtrent som Månens, dvs. rundt -18 °C.

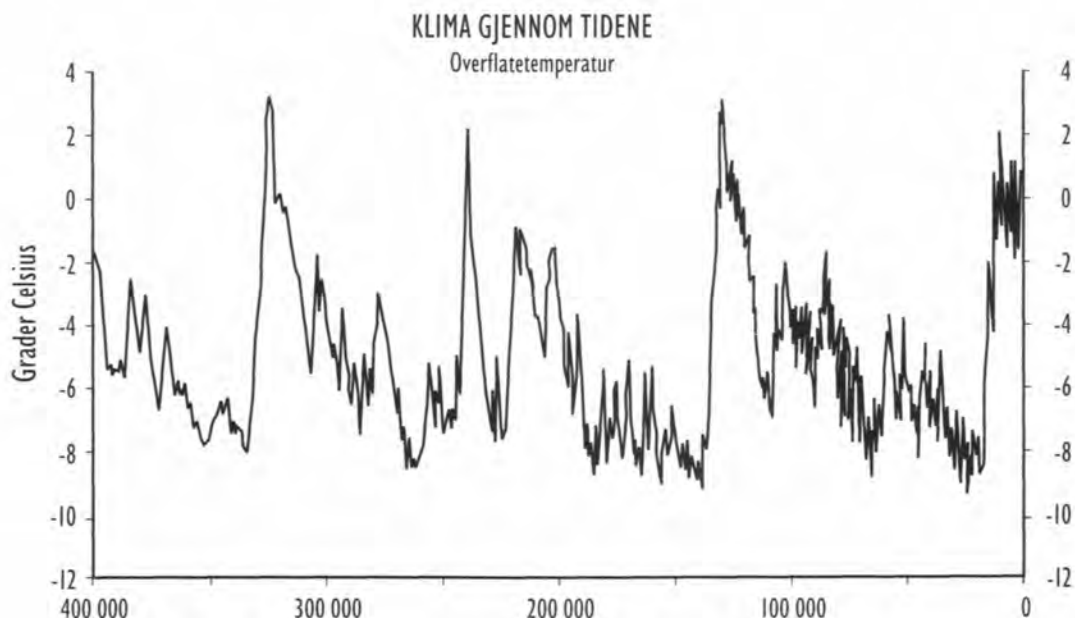
Hva bestemmer Jordas klima?

Planetens Jordas midlere temperatur bestemmes av balansen mellom innkommende og utgående stråling. Planeten varmes opp av innkommende solstråling og kjøles ned ved å stråle varmeenergi tilbake til det kalde verdensrommet utenfor. Siden

Solas overflate er hvitglødende, kommer utstrålingen fra Sola hovedsakelig i form av synlig lys og annen kortbølget stråling. Etter som Jordas overflatetemperatur i gjennomsnitt bare er rundt 15 °C, skjer returstrålingen fra Jorda via langbølget infrarød varme-stråling. Skal Jordas gjennomsnittstemperatur være stabil over tid, må Jorda stråle ut like mye energi som den mottar.

Klimaendringer

Begrepet klima brukes om det gjennomsnittlige været på et gitt sted, i en gitt region eller på en gitt planet. Når vi snakker om globalt klima, er det vanlig å bruke Jordas overflatetemperatur som indikator. Klimaendringer betegner tilsvarende forandringer i overflatens temperaturtilstand. Ser vi på Jorda under ett skyldes en global klimaforandring at Jorda over tid mottar mer eller mindre varme enn den avgir. Dette kan skyldes både endringer i innstrålt varmeenergi og endring i atmosfærens isolerende



Figur 6.1 Temperaturutviklingen ved Sydpolen i de siste 400 000 år. (Kilde CICERO senter for klimaforskning).
Antarctic temperature during the last 400 000 years.

egenskaper. Siden Jordas hav og landområder er ujevnt fordelt og mottar ulik innstråling, vil det i praksis oppstå regionale klimaendringer som ikke nødvendigvis følger Jordas gjennomsnittsverdier.

Jordas geologiske historie vitner om betydelige klimaforandringer gjennom tidene. Figur 6.1 viser temperaturutviklingen ved Sydpolen i de siste 400 000 år. I denne tiden gjennomgikk jordklimaet fire lange istider som ble avbrutt av like mange relativt korte mellomistider. For tiden befinner vi oss midt mellom to istider.

Forandringer i innstrålt energi

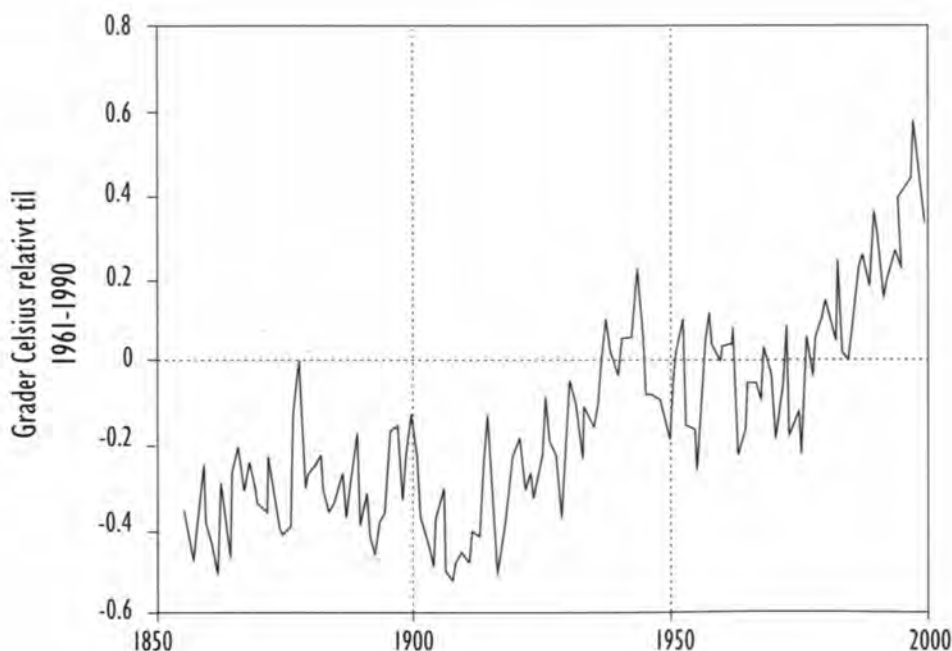
Det er flere mekanismer som kan forandre innstrålingens intensitet. Mange av disse opptrer periodisk. På soloverflaten dukker det opp og forsvinner lyse og mørke flekker som påvirker utstrålingen. Denne solflekktiviteten når et maksimum hvert 11. år. Mange jordiske tidsserier for temperaturen på land og i hav inneholder derfor 11-årsperioder eller perioder med relasjon til disse 11-årsperiodene. Andre temperaturforandringer knytter seg til svært langsomme variasjoner i Jordas geometri i forhold til Sola. Både forandringer i Jordas midlere avstand fra Sola eller små forandringer i sollysets innstrålingsvinkel kan gi store klimaeffekter. Slike

forandringer er i sin natur svært langsiktige med periodetider fra ca. 20 000 år til mer enn 400 000 år.

Forandringer i Jordas atmosfære

Drivhuseffekten

Raske endringer i klimaet skyldes først og fremst forandringer av atmosfærens egenskaper. I dag er vi vitne til en rekordaktig temperaturstigning som vi først og fremst knytter til atmosfæriske forandringer. Vi snakker om "drivhuseffekten". Etter starten på den industrielle revolusjon har atmosfæren i økende grad blitt tilført forbrenningsgasser fra ved, kull og olje. Gjennom intensivt landbruk og generell industriell virksomhet frigjøres det også metan, nitrogenoksider og fluorforbindelser. Disse gassene sammen med naturlig vanndamp, betegnes som "klimagasser". Et fellestrekk for klimagassene er at de stort sett lar kortbølget elektromagnetisk stråling fra Sola passere uhindret, mens de absorberer deler av Jordas infrarøde tilbakestråling. Derved blir atmosfæren tilleggsoppvarmet. Klimagassenes temperaturdrivende virkninger kalles "drivhuseffekten" fordi klimagassene til en viss grad oppfører seg som glassveggene i et drivhus. De slipper varmen fra Sola inn, men ikke ut.



Figur 6.2 Forandringer i Jordas middeltemperatur, 1860-1999.
Changes in the Earth's mean temperature, 1860-1999.

Målinger og beregnede tidsserier for atmosfærens sammensetning viser at konsentrasjonen av drivhusgasser har økt med økende fart siden den industrielle revolusjon skjøt fart på 1800-tallet. I dag frigjør vår samlede maskinpark enorme mengder karbondioksid til atmosfæren. Menneskene har i praksis startet et drastisk globalt eksperiment ved å føre karbondioksidet som urtidens planter fjernet fra urtidens atmosfære i løpet av millioner av år, tilbake til nåtidens atmosfære i en engang. Sluttresultatet av dette eksperimentet er på langt nær klart, men vi ser tendensene. Figur 6.2 viser observerte forandringer i Jordas middeltemperatur fra 1860 til 1999. Som vi ser er en dramatisk oppvarming på gang.

Den kosmiske effekt

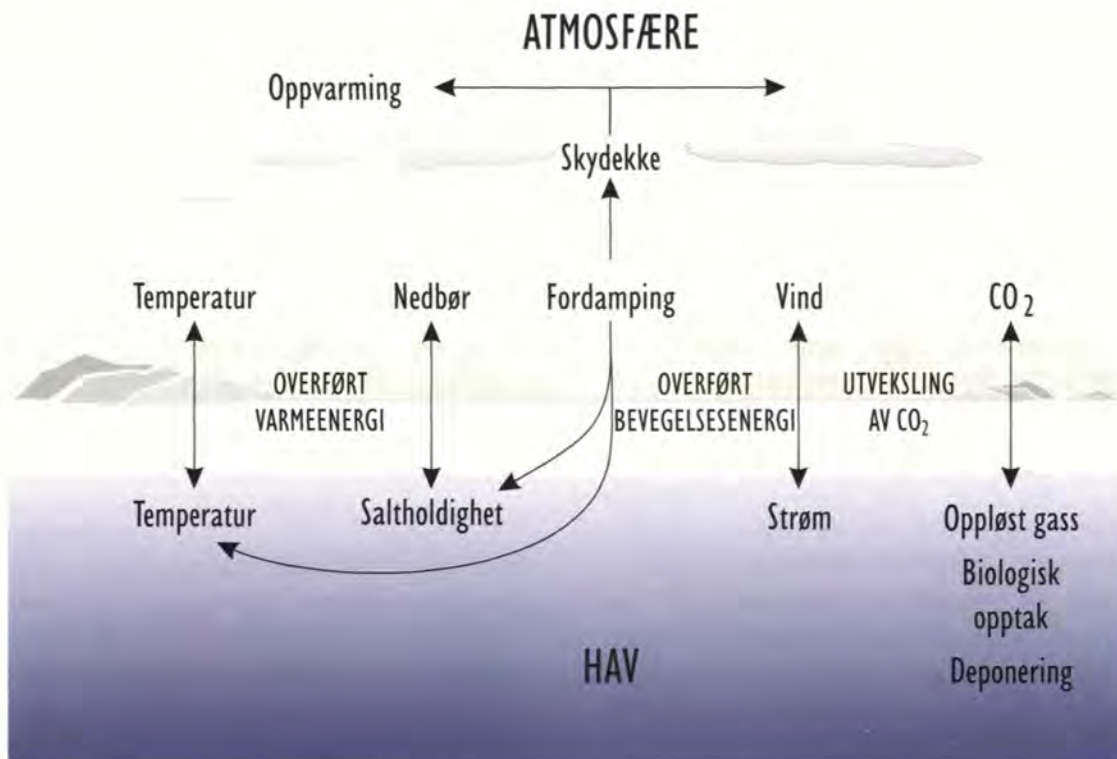
Det foreligger også en forklaringsmodell som hevder at drivhusgassenes betydning er overvurdert. Ifølge denne modellen vil en periode med sterk partikkelutstråling fra Sola, som vi nå er inne i, bidra til å forsterke magnetfeltet rundt Jorda. Et forsterket magnetfelt reduserer den innkommende kosmiske stråling og derved også de kosmiske strålenes evne til å kondensere vanddamp og danne skydekke. Derfor er vi nå inne i en periode med økende netto solinnstråling og varmere

klima. Majoriteten av verdens klimaforskere avviser ikke helt denne forklaringen, men mener likevel at menneskenes utslipp av klimagasser har hovedskylden for vår tids globale temperaturstigning.

Naturlovene gjelder

Kompliserte vekselvirkninger mellom land, hav, atmosfære og biologisk produksjon gjør sammenhengen mellom økt netto innstråling og resulterende klimaendring svært komplisert. Eksempelvis vil enhver økning av Jordas overflatetemperatur øke fordampingen både fra verdenshavene og fra land. Den økte vanddampmengden vil forsterke drivhuseffekten og føre til økt skydannelse. Økt skydannelse vil deretter svekke netto innstråling og derved motvirke drivhuseffekten. Havets overflatetemperatur spiller også en viktig rolle. Havvannet absorberer store mengder karbondioksid, men jo varmere havet blir, dess dårligere blir havets absorpsjonsevne.

Selv om prosessene som styrer Jordas klimautvikling både er kompliserte og sammensatte, opptrer de ikke tilfeldig. Samtlige fysiske, kjemiske og biologiske prosesser som skjer på Jorda og i atmosfæren er underlagt naturlover.



Figur 6.3 Typiske prosesser og faktorer som inngår i en koplet numerisk klimamodell.
Typical elements used in a numeric climatic model.

Numeriske klimamodeller

Med tilstrekkelig empirisk datagrunnlag og tilstrekkelig kunnskap om naturlovene, kan dagens naturforskere formulere klimautviklingens viktigste sammenhenger gjennom et sett med matematiske likninger. Dette kalles en numerisk klimamodell. Grunnlaget for dagens klimamodellering ble faktisk lagt av den norske forskeren Vilhelm Bjerknes i 1904.

Dersom en modell er realistisk, startdataene er nøyaktige og nok regnekraft er tilgjengelig, kan en klimamodell i prinsippet beregne effekten av alle definerte ytre påvirkninger på klimasystemet både i fortid, nåtid og fremtid. Modellenes pålitelighet avhenger av hvilke prosesser som inngår i likningene, hvor realistiske likningene og startdatene er og hvor finmasket modellen gjøres. Jo finere masker, dess større regneressurser må til. En typisk grovmasket modell for jord og atmosfære kan f.eks. dele Jordas overflate opp i kvadratiske ruter på 250 x 250 km og deretter legge 15-30 slike rutenett oppå hverandre slik at det dannes tusenvis av imaginære celler i flere lag. Figur 6.3 viser et blokkskjema for en typisk klimamodell. En realistisk modell må ta hensyn til alle de viste prosessene. Selv om

datamaskinen som blir satt på en slik jobb kan utføre flere millioner regneoperasjoner i sekundet, kan kjøring av en komplisert klimamodell ta både uker og måneder.

Hva sier modellene?

FNs panel for klimaforandringer (IPCC, The Intergovernmental Panel on Climate Change) har gjennom modeller som tar hensyn til samspillet mellom hav og atmosfære beregnet klodens mest sannsynlige klimatiske fremtid. IPCCs modellresultater regnes som meget representative for verdens klimamodeller. Av IPCCs siste rapporter fremgår det at klimagassene kan få Jordas gjennomsnittstemperatur til å øke med mellom 1,4 og 5,8 °C innen neste århundreskifte. Havnivået vil som følge av temperaturøkningen stige med flere dm. Der vil nok oppstå store regionale klimaforskjeller, men siden gjennomsnittstemperaturen generelt er stigende, vil planeten som helhet oppleve en økning i antall ekstremt varme dager og en gradvis reduksjon i antall ekstremt kalde dager. I særlig grad vil den forventede temperaturstigning påvirke miljøet i nordområdene.

Periodiske klimasvingninger er en naturlig prosess. Effekter av menneskelig påvirkning som adderer seg til de naturlige klimasvingningene, vil ventelig gi en betydelig temperaturstigning i de kommende år. Dette kan påvirke våre ville fiskebestander både positivt og negativt. For norsk havbruk kan en moderat temperaturstigning være gunstig. Temperaturstigninger på flere °C vil imidlertid kunne skape økende sykdoms- og parasittproblemer. En temperaturstigning vil øke hyppigheten av ekstreme værtilstander, og sannsynligheten for miljøskadelige ulykker til havs vil øke.

Klimaet i de norske fiskeriområder er i stadig endring. De siste hundre års klimautvikling gir et godt eksempel på naturlige svingninger i havklimaet. Ved forrige århundreskifte hadde vi et ganske kjølig klima. Temperaturen økte utover 1910- og 20-tallet, og rundt 1930 var klimaet mildt. På 40- og 50-tallet sank temperaturen mot et lavnivå som ble nådd i 60-årene. I 70-årene så vi en tydelig tendens til økende temperaturer, og på 90-tallet var vi tilbake til det samme milde klimaet som vi hadde i slutten av 1930-årene. Hvis vi analyserer registrerte og beregnede klimasvingninger over tid, finner vi at tidsseriene inneholder både periodiske (repeterende) og ikke-periodiske komponenter. Siden 1970-årene er vi blitt mer og mer opptatt av ikke-periodiske komponenter i klimasvingningene som mest sannsynlig skyldes menneskelig aktivitet. Kanskje ser vi en sammenheng mellom klimaforandringer og menneskenes utslipp av klimagasser. Disse utslippene kan gi oss et varig varmere klima (se innledningsartikkelen om klima og klimaprosesser side 69).

Golfstrømmen

De høye temperaturene i forhold til breddegraden i våre nordlige havområder skyldes transport av varmt vann fra Atlanterhavet inn i Norskehavet. Strømmen som fører dette vannet mot Norskehavet bærer navnet "Den nordatlantiske strøm", men i Norskehavet der den strømmer nordover langs eggakanten, er den kjent som "Den norske atlantehavsstrøm". Fordi kildene til dette varme vannet kan spores helt tilbake til Golfstrømmen ved sørøstkysten av USA, der den strømmer øst gjennom

Floridastredet fra Mexicogolfen, blir Den norske atlantehavsstrømmen ofte kalt "Golfstrømmen".

Underveis blir det varme vannet fra Mexicogolfen avkjølt både gjennom varmetap til atmosfæren og ved at det blandes med kaldere vann fra nord. Blandingen med kaldt vann skjer spesielt langs Den arktiske fronten i den nordvestlige delen av Atlanterhavet, som omfatter området øst av Newfoundland, Labradorhavet og vestlige deler av Irmingerhavet ved Sørøst-Grønland (Figur 6.4). Selv om møtet med det kalde og relativt ferske vannet fra Østgrønlands- og Labradorstrømmen skaper en betydelig nedkjøling av atlantehavsvannet før det når Norskehavet, er det likevel varmt nok til å avgi store varmemengder til atmosfæren også over De nordiske havene og Barentshavet.

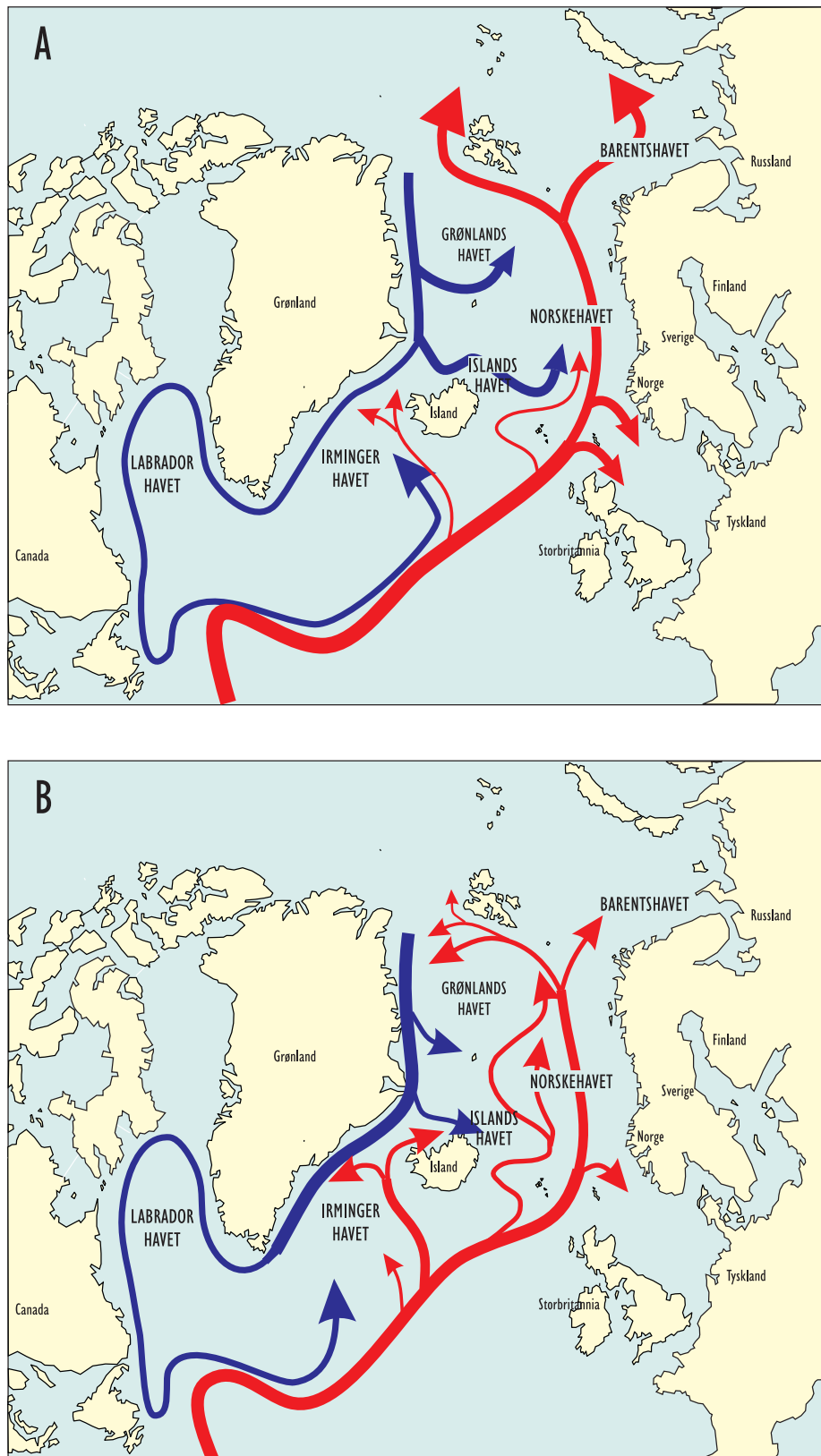
Hva driver havstrømmene?

Drivkreftene til strømsystemet i det nordlige Atlanterhavet og De nordiske hav (Islandshavet, Norskehavet og Grønlandshavet) har to hovedledd, den såkalte termohaline sirkulasjonen og vinddriften.

Den termohaline sirkulasjon

Den termohaline sirkulasjonen skyldes at vannet som avkjøles på vei nordover blir tyngre og derved synker ned mot større dyp. I Grønlandshavet er slik nedsynking betydelig i den kalde årstid. Der kan det avkjølte vannet synke helt til bunns og danne nytt såkalt "bunnvann". Selv om det ikke har vært påvist vesentlig bunnvannsdannelse siden 1970-årene, dannes det likevel mye vann som er vesentlig tyngre enn det innstrømmende vannet, slik at de dypere lagene i De nordiske hav fremdeles domineres av kaldt, tungt vann (ca. -1°C). Dette vannet er isolert fra de dype lagene i det nordlige Atlanterhavet av en undersjøisk rygg som strekker seg fra Grønland, via Island og Færøyene til Skottland. De dypeste passasjene over denne ryggen finner vi i en smal, 850 m dyp renne sør av Færøyene, og i Danmarkstredet der sadeldypet er 620 m.

Drivkraften i den termohaline sirkulasjonen er at det kalde vannet i de dypere lag av De nordiske havene er mye tyngre enn vannmassene på tilsvarende dyp sør av Grønland-Skottlandryggen.



Figur 6.4

Hovedtrekk i sirkulasjonsmønsteret i nordlige deler av Atlanterhavet og i De nordiske hav. Blå farge representerer arktiske vannmasser mens atlantisk vann er rødt. A: strømbildet ved høy NAO-indeks. B: strømbildet ved lav NAO-indeks (se teksten for forklaring).

Main features of the circulation in the northern North Atlantic and the Nordic Seas. Blue colour represents Arctic water masses while Atlantic water is shown in red. A: the main currents when the NAO-index is high. B: the main currents when the NAO-index is low.

Derfor renner dypvannet fra De nordiske havene gjennom de dypeste passasjene i ryggen og derfra ned langs bunnen til de store dyp i Atlanterhavet. Det tunge vannet som renner ut i Atlanterhavet blir erstattet med en tilsvarende innstrømning av varmt atlantehavsvann fra sør. Det er rett og slett tyngdeforskjellen mellom vannet som er avkjølt i nordlige havområder og det varme atlantehavsvannet som er drivkraften til den termohaline sirkulasjon, og dermed til Golfstrømmen.

Vinddriften og NAO-indeksen

Endringer i vindsystemet nord i Atlanterhavet kan gi store klimaeffekter. Den viktigste drivkraften for vindene i Nord-Atlanteren er de fremherskende trykkdifferanser mellom nord og sør. Området rundt Island er stort sett preget av vedvarende lavtrykkdannelser. Lenger sør, over Azorene, er der et stabilt høytrykksområde. Den langsomt pulserende trykkforskjellen mellom Azorerhøytrykket og Islandslavtrykket kalles Den Nordatlantiske Oscillasjonen, eller NAO-indeksen. NAO-indeksen er en viktig indikator for klimautviklingen i det nordatlantiske området. Når indeksen er høy, dannes det vedvarende kraftige sørvestlige vinder over Nordvest-Europa. Når indeksen er lav, avtar de sørvestlige vindene. Sammenhengen mellom vinddrift og strøm er komplisert. Vinden virker nemlig både på transportvolumet og på utbredelsen av vannmassene.

Høy NAO-indeks (Figur 6.4A)

I grove trekk gjør en høy NAO-indeks Den norske atlantehavsstrømmen smal, men sterk. Forholdsvis mye varmt vann strømmer inn i Barentshavet og Polhavet. Idet atlantehavsstrømmen blir smalere og atlantehavsvannet trykkes østover, blir det erstattet av kaldere vann fra vest. Dette skyldes at Øst-Grønlandsstrømmen som fører kaldt og ferskt vann sørover fra Polhavet, på grunn av de samme vindforholdene blir bredere. Spesielt øker transporten i Jan Mayenstrømmen og Øst-Islandsstrømmen, som begge er avgreninger mot øst, henholdsvis nord av Jan Mayen og nord av Island. Vindforholdene driver således arktisk vann tilbake til de nordlige havområdene, og transporten ut gjennom Danmarkstredet blir tilsvarende mindre. Derved øker både temperaturen og saltholdigheten i det nordvestlige Atlanterhavet. Også atlantehavsvannet som kommer inn i Norskehavet blir varmere og saltere.

Lav NAO-indeks (Figur 6.4B)

I perioder med lav NAO-indeks avtar de sør-

vestlige vindene. Da blir Den norske atlantehavsstrømmen forholdsvis bred og sprer seg mer vestover. Tilsvarende blir Østgrønlandsstrømmen smalere, og forgreningene inn i De nordiske havene blir svakere. Derimot vil det strømme mer arktisk vann ut gjennom Danmarkstredet slik at det nordvestlige Atlanterhavet langsomt blir kaldere og mindre salt.

NAO-indeksen svinger mellom høye og lave verdier med periodetider opp til flere tiår. Siden 1960-årene har indeksen vært økende, og økningen har vært den kraftigste siden regelmessige observasjoner av lufttrykk tok til for knappe 150 år siden. En del av denne økningen antas å henge sammen med den menneskeskapte drivhuseffekten, men vi vet ikke hvor mye. Selv om økningen av NAO-indeksen siden 1960-årene er den sterkeste som er observert, er det likevel sannsynlig at naturlige reguleringsmekanismer etter hvert bringer den til å synke igjen, slik at klimaet igjen styres mot en tilstand med mindre sørvestlige vinder. I så fall vil Den norske atlantehavsstrømmen på ny bli bredere og Øst-Islandsstrømmen igjen bli svakere. De vestlige delene av Norskehavet og nord-islandske farvann vil igjen bli varmere. Transporten av atlantehavsvann til Polhavet og Barentshavet vil avta og skape en tendens til lavere temperaturer i disse nordlige områdene.

Hva om NAO-indeksen ikke avtar?

Dersom NAO-indeksen forblir permanent høy vil det skapes et vedvarende sørvestlig vindmønster i det nordlige Atlanterhavet slik at påtrykket av arktisk vann fra vest vil øke. Effekten av en eventuell vedvarende høy NAO-indeks kan vi allerede nå studere i Grønlandshavet, der dannelse av bunnvann har uteblitt i de siste 30 år. Denne manglende bunnvannsdannelse skyldes at vindforholdene i en årrekke har spredt ferskt, og derfor lett arktisk vann utover hele havoverflaten. Dette ferske vannet virker som et isolerende lokk. Selv om vannet i lokket avkjøles til frysepunktet, blir det likevel ikke så tungt at det synker ned til de underliggende, saltere vannmassene.

Svekket Golfstrøm?

Dersom det innstiller seg et mønster med vedvarende kraftige sørvestlige vinder, kan vi risikere at det arktiske overflatevannet som kommer vestfra kan bli lettere enn det innstrømmende atlantehavsvannet og derved danne et lignende isolerende lokk i Norskehavet. En slik lokkdannelse vil også her hindre varmeutveksling til atmosfæren og følgelig

skape betraktelig lavere vintertemperaturer. Det vindblandede overflatelaget i Norskehavet vil bli vesentlig kaldere om vinteren fordi det ikke blander seg med de underliggende atlantiske vannmassene slik det gjør nå. I så fall oppstår en situasjon som vi aldri tidligere har erfart. På kort sikt vil nok fremdeles mye varme nå Barentshavet og Polhavet, men skulle NAO-indeksen forbli høy over en lengre tidskala, vil innstrømningen av vann fra Atlanterhavet måtte avta fordi den termohaline sirkulasjonen – Golfstrømmens viktigste drivkraft – vil bli svekket.

Et varmere fremtidsklima?

Den høye kompleksiteten i de klimaskapende prosessene gjør det vanskelig å trekke sikre konklusjoner om fremtidens klima. Vi kan ennå ikke si om menneskelige påvirkninger kommer til å gi en vedvarende temperaturøkning, eller om de naturlige klimasvingningene vil få størst effekt. Vi konstaterer imidlertid at vi nå er inne i en periode med ekstremt rask oppvarming både på land og i hav. Det er overveiende sannsynlig at denne oppvarmingen vil vedvare i de nærmeste ti år.

Klimaets påvirkning på fiskebestandene

De forventede endringer i miljøforholdene som er skissert over kan få store konsekvenser for flere av våre store fiskebestander. Generelt kan det sies at høye temperaturer favoriserer god rekruttering og god individuell vekst hos de fleste fiskebestander. Historiske data har bekreftet en slik sammenheng. På kort sikt vil derfor flere bestander kunne rekruttere bedre ved en økning i temperaturen. På den annen side kan økt fisketetthet føre til en redusert vekst og dårligere kondisjon, som igjen vil svekke rekruttering på litt lengre sikt. Videre vet vi at de ulike fiskebestandene har egne temperaturpreferanser. Endringer i temperaturen i havet kan derfor føre til at fiskebestandene får en annen utbredelse enn de har i dag, og at tradisjonelt gode fiskeområder kanskje vil bli mindre gode i fremtiden. Figur 6.5 viser hvordan vi tror en endring mot varmere klima vil påvirke utbredelsen av noen viktige fiskebestander.

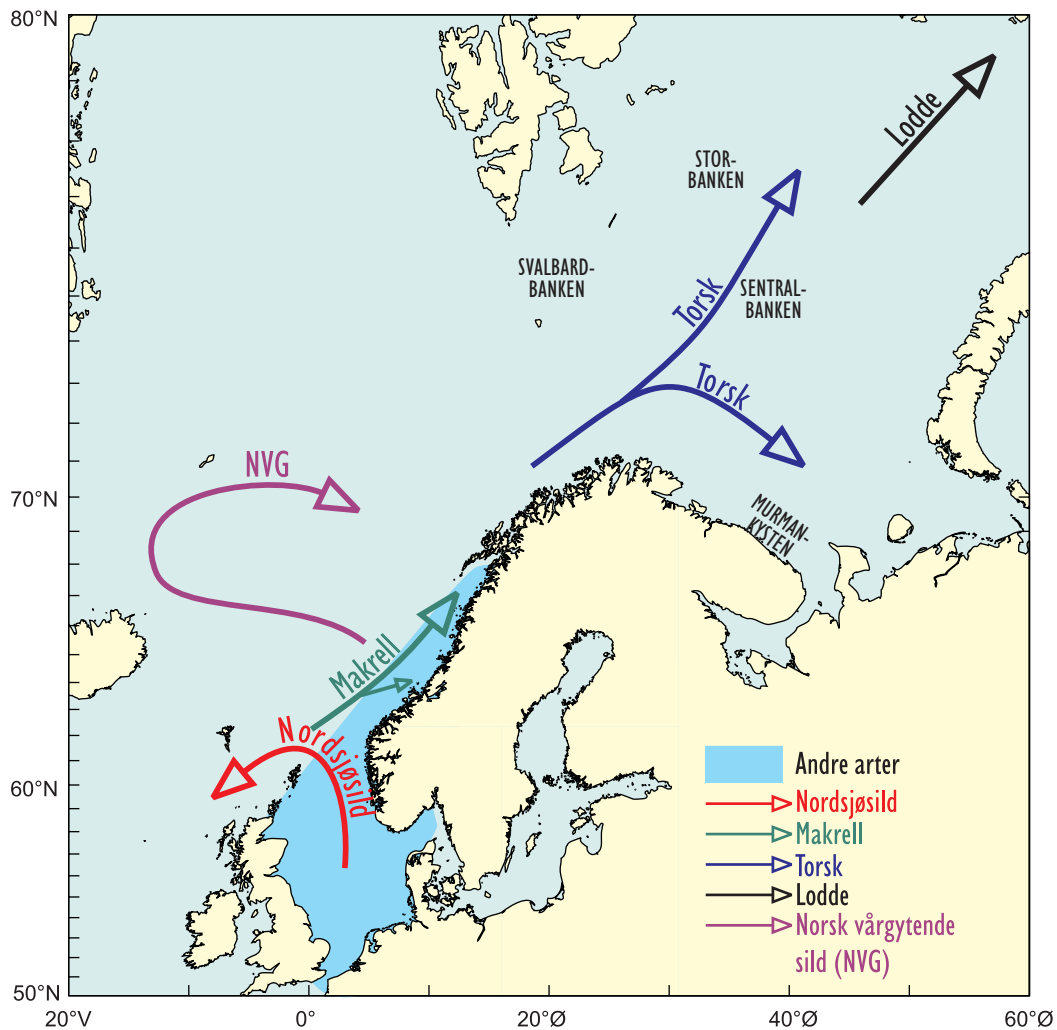
Nordsjøen

I Nordsjøen kan vi vente en temperaturøkning på 1-2°C i hele området. En generell økning i temperaturen vil føre til at vi får en innvandring av mer sydlige arter. Sardin og ansjos vil bli vanligere å finne, og disse vil konkurrere med de pelagiske artene sild og makrell som vi nå finner her. Sild og

makrell vil trolig vandre nordover siden det kan bli for varmt i Nordsjøen. Silden i Nordsjøen har nå en nordligere utbredelse enn tidligere, og vi finner stadig større mengder sild rundt Shetland. Makrellen vil også få en nordligere fordeling, og den vil vandre stadig lenger nord langs kysten om sommeren. Dette har vi allerede sett tendenser til. Nå er det ikke lenger uvanlig å få gode fangster av makrell utenfor Nordland. For ti år siden var dette nesten utenkelig. For noen arter av bunnfisk, først og fremst torsk, vil høyere temperaturer virke ugunstig slik at disse bestandene kommer til å avta. Selv om den totale mengden av fisk nok ikke vil minske, vil arts-mønsteret kunne føre til at fangstverdien går ned.

Norskehavet og norskekysten

En fortsettelse av den tendensen vi nå ser til temperaturøkning i østlige deler av Norskehavet og langs norskekysten, kan også her føre til økt innvandring av mer sydlige arter. Makrell vil bli vanligere nordover langs kysten om sommeren og høsten. Makrellstørje kan bli utbredt i Norskehavet igjen. En temperaturøkning vil også kunne virke positivt for rekrutteringen av flere viktige fiskebestander. Dette gjelder i første rekke sild og torsk. Historiske data viser at høy temperatur favoriserer god rekruttering hos disse bestandene, og bestandene vil derfor kunne øke i mengde dersom beskatningen ikke er for høy. Dersom den nåværende situasjonen med fremherskende sørvestlige vinder avbrytes, vil temperaturen i vestlige deler av Norskehavet og havet mot Island igjen stige. På sin sommervandring vil silda derfor trolig oppholde seg i lengre perioder i den vestlige delen av havet. Videre er det sannsynlig at silda gjenopptar sitt gamle vandringsmønster med sommerbeiting ved Island og overvintring i Norskehavet. Dette var vanlig i mellomkrigstiden og fram til de første årene på 1960-tallet da vi jo hadde en periode med mildt klima. Økte sildemengder kan også føre til en generell økning av mengde bunnfisk langs kysten, fordi silda trolig vil fortsette å gyte på de tradisjonelle gyteplassene og berike kystområdene med egg og yngel. Dersom vi får en ekstrem situasjon med fortsatt økende sørvestlig vindmønster, vil forholdene for fiskebestandene bli langt vanskeligere å forutsi. Den kjønnsmodne delen av torskebestanden vil sannsynligvis ikke få store problemer, men innvirkningen på produksjonen av plantep plankton og forholdene for yngelpopulasjoner kan derimot bli betydelige, sannsynligvis til det verre.



Figur 6.5 Endringer i utbredelse av noen viktige fiskebestander, basert på antagelsen om en økning i temperaturen i det kommende tiår.
Changes in the geographical distribution of some common fish stocks, based on the assumption of a general increase in temperature in the coming years.

Barentshavet

I dag dominerer varmt atlantehavsvann i de sørlige deler av Barentshavet og kaldt arktisk vann i nord. Polarfronten, som er grensen mellom disse vannmassene, følger bunntopografien i de vestlige deler av Barentshavet (mellom Svalbardbanken og Sentralbanken) og vil flytte seg minimalt som følge av de naturlige klimasvingningene. Derimot er grensen mellom de kalde og varme vannmassene mye mer diffus øst for Sentralbanken. En økt transport av atlantehavsvann vil derfor få ulike konsekvenser i forskjellige deler av Barentshavet. I området rundt Svalbardbanken og opp til Storbanken vil det trolig bli liten endring i vannmassenes fordeling. I de sørlige deler vil temperaturen øke, kanskje opp mot et par grader. Denne økte varmestrommen vil bre seg østover i Barentshavet helt mot kysten av Novaja Semlja. Dette betyr at i områder hvor vi i dag bare observerer

plussgrader i spesielt varme år, sannsynligvis vil måle temperaturer over 0 °C hvert eneste år. Dette vil også gjelde for Murmankysten. Som en konsekvens av oppvarmingen vil også isgrensen flytte seg lengre nord om vinteren. Dette medfører at den planktonproduksjonen som er knyttet til isens tilbaketreking om sommeren vil få dårligere vilkår. Oppvarmingen vil sannsynligvis også føre til at torsk, hyse, sild og lodde får en mer østlig utbredelse enn i dag. Fiskefelt som tradisjonelt sett har vært rike, kan få redusert betydning som følge av en temperaturøkning. En større del av torsken vil oppholde seg i russisk økonomisk sone, og lodda vil fordele seg i nordøstlige deler av havet, - særlig om høsten. Lodda vil fremdeles gyte langs Finnmarkskysten. Det er ikke påvist at lodda rekrutterer bedre ved økt temperatur, men veksten kan bli bedre. Dette kan paradoksalt nok

føre til en lavere bestand fordi raskere vekst fører til tidligere gyting hvoretter mesteparten av lodda dør. Dersom temperaturøkningen medfører en økt hyppighet av gode sildeårsklasser, vil også sildens fremgang kunne hemme lodderekutteringen. I så fall kan resultatet bli en langvarig reduksjon av loddebestanden.

Effekter på havbruksnæringen

For havbruksnæringen kan varmere klima i første omgang være en fordel. Fisken vil f.eks. vokse omtrent 10 % raskere for hver °C som temperaturen øker (hvis den ikke blir for høy). Økt temperatur gir også økte muligheter for oppdrett av varmekjære arter som f.eks. piggvar, men mulighetene til økonomisk gevinst må avveies mot muligheten for nye sykdommer, mer hyppige oppblomstringer av giftige alger og nye parasitter. Samlet sett er det liten grunn til å tro at temperaturøkninger opp til 1°C vil gi uønskede effekter, men skulle oppvarmingen bli på flere grader, er det imidlertid grunn til uro.

Ekstreme værforhold

En overgang mot varmere klima vil etter alt å dømme skape mer ekstreme værforhold. Med en planlagt økt transport av olje og radioaktivt avfall langs norskekysten, vil hyppigere stormer høyst sannsynlig øke faren for miljøskadende ulykker til sjøs. Tre skipsforlis langs norskekysten ved årsskiftet 2000/01 i relativt rolig vær, bare antyder hva følgene kan bli. Et forlis med påfølgende utslipp av olje i et område med store forekomster av fiskelarver kan virke negativt inn på larvenes overlevelse. Oppdrettsanleggene langs kysten vil også bli sterkt skadelidende av et slikt oljespill. Verst vil det imidlertid være dersom et fartøy med dårlig sikret radioaktivt avfall skulle forlise langs norskekysten. Radioaktive komponenter vil da kunne spre seg nordover langs kysten, inn i Barentshavet og opp langs kysten av Spitsbergen. Markedsverdien for norske fiskeprodukter av både vill fisk og oppdrettsfisk fra de berørte områder vil i så fall kunne synke dramatisk.

Den vanlige oppfatningen fram til nå har vært at innstrømningen av atlantehavsvannet foregår i størstedelen av området mellom Norge og Bjørnøya, og at denne transporten har vært relativt stabil. Det er blant annet transporten av atlantehavsvann til Barentshavet som gjør at dette området er fiskerikt. Regelmessige strømmålinger over tre år har vist at forholdene ikke er så stabile som vi trodde. I lange perioder kan det foregå en netto transport ut av Barentshavet. Denne artikkelen gir en kort beskrivelse av variasjoner i strømforholdene og diskuterer deretter kort hvilke konsekvenser dette kan ha for Barentshavets fiske- og planktonressurser.

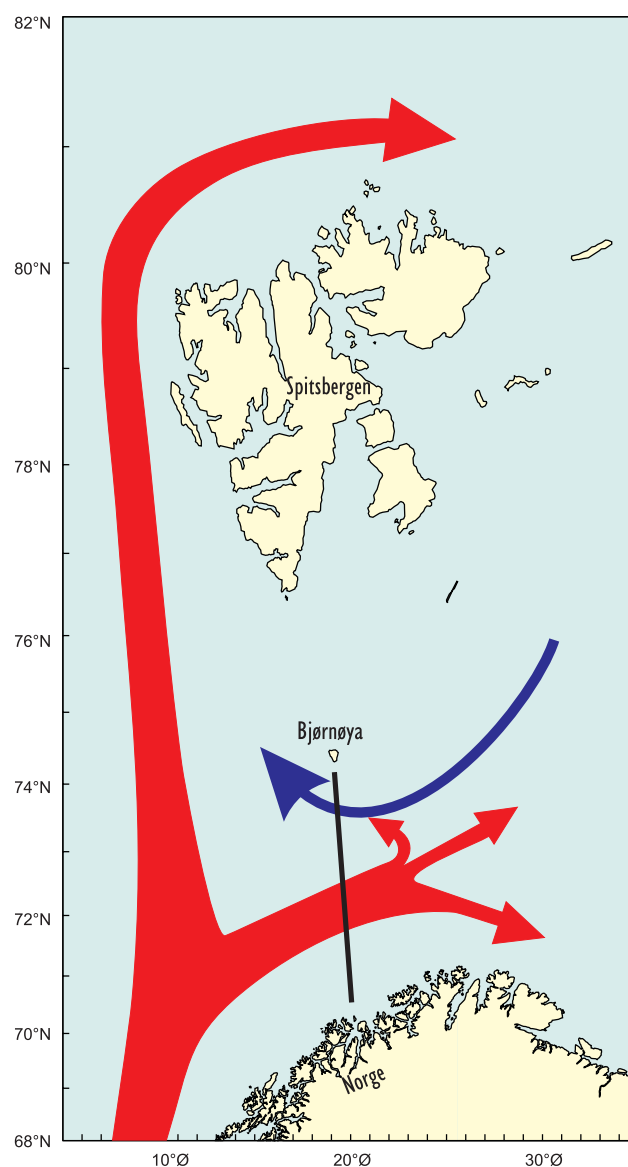
Sammenlignet med andre land- og sjøområder er lufttemperaturen i våre områder 5-10 °C over gjennomsnittet for samme breddegrad. Dette skyldes hovedsakelig transporten av varmt atlantehavsvann nordover. I Barentshavet betyr denne strømmen at vi har rike fiskerier langt nord for områder hvor det vanligvis kan drives fiske. Vi har lært at variasjoner i denne strømmen er av stor betydning for rekruttering, vekst, vandring og fordeling hos de kommersielt viktigste artene våre.

Strømforholdene mellom Norge og Bjørnøya

På grunnlag av hydrografiske observasjoner (temperatur og saltholdighet) har man i årevis fulgt endringer i denne strømmen. Man har registrert at det har vært store variasjoner i disse to miljøfaktorene, men man har ikke visst hvor mye vann som transporteres inn i området. Det har vært en ganske utbredt oppfatning at høye temperaturer er knyttet til stor innstrømning av atlantehavsvann, mens lave temperaturer er relatert til liten transport av atlantehavsvann.

Havforskningsinstituttet har studert sammenhengen mellom temperatur og transport inn i Barentshavet gjennom deltagelse i EU-prosjektet VEINS (Variability of Exchanges in the Northern Seas). Fra august 1997 har vi målt strøm i hovedinnstrømningsområdet til Barentshavet, altså mellom Norge og Bjørnøya (Figur 6.6). Mesteparten av atlantehavsvannet som tilføres dette området, forsvinner ut av Barentshavet mellom Novaja Semlja og Frans Josef land. Hvordan innstrømningen til Barentshavet foregår, varierer mye mer enn tidligere

antatt. Det vanligste strømsystemet er vist i Figur 6.7a. Atlantehavsvann som renner inn i Barentshavet fyller vanligvis størstedelen av snittet, mens arktisk vann strømmer ut fra Barentshavet langs skråningen sør for Bjørnøya. Mengden atlantehavsvann som



Figur 6.6 Forenklet bilde av strømmønsteret i området mellom Norge og Spitsbergen. De røde pilene viser atlantehavsvann og den blå viser arktisk vann. Den svarte linjen mellom Norge og Bjørnøya viser snittet hvor observasjonene er foretatt.

Simplified circulation pattern between Norway and Spitsbergen. Red arrows indicate flow of Atlantic water while the blue arrow indicates outflow of Arctic water from the Barents Sea. The black line between Norway and Bjørnøya shows the section were observations are carried out.

strømmer inn i Barentshavet i den sørlige delen er 3 Sv (Sverdrup). 1 Sv er 1 mill m^3s^{-1} . Dette tilsvarer vannmengden som renner i all verdens elver til sammen. I gjennomsnitt er innstrømningen tre ganger så stor som det som strømmer ut i nord.

I perioder har imidlertid strømsystemet i området et annet mønster (Figur 6.7B). Her er det utstrømning av vann fra Barentshavet til Norskehavet i store deler av snittet, mens innstrømningen bare forgår tett inne ved norskekysten. I disse tilfellene er det en netto utstrømning fra Barentshavet, og den kan være av samme størrelsesorden som den netto innstrømningen som er beskrevet i tilfelle 6.7A. Disse store utstrømningene kan pågå over en hel måned, og ble blant annet observert i april 1998 og 1999. Det har også vært observert kortere perioder (1-2 uker) med utstrømning. I 2000 var det bare en mindre utstrømning i januar. I tillegg fremkommer det flere andre strømmønstre som opptrer i kortere perioder i snittet, men de skal ikke berøres i denne sammenheng. Det som er verdt å merke seg er at alle perioder med netto utstrømning fra Barentshavet med varighet utover 2-3 dager, skjer i vinterhalvåret og tidlig om våren, men aldri om sommeren.

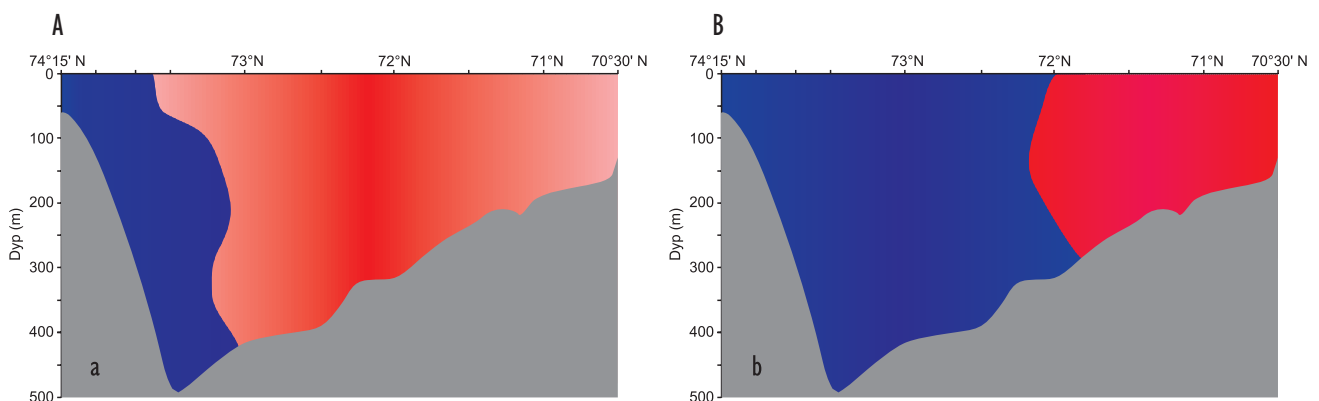
Hvorfor er det en netto utstrømning fra Barentshavet?

Minst to spørsmål kan stilles i relasjon til de store utstrømningene som er vist i Figur 6.7B. Det ene er hvor dette utstrømmende vannet kommer fra, og det andre er hva disse utstrømningene har å si for

økosystemet i Barentshavet. Når det er en netto utstrømning fra Barentshavet i en hel måned, må vann komme inn andre steder, ellers vil vannstanden i Barentshavet synke med opptil fem meter. Målinger av salt og temperatur antyder at vannet som strømmer ut, ikke er produsert i Polhavet. Andre målinger foretatt vest av Spitsbergen under VEINS-prosjektet viser en økt innstrømning til Polhavet av atlantehavsvann både i mars 1998 og 1999, altså måneden før de store utstrømningene. Dette vannet strømmer østover nord for Spitsbergen (Figur 6.6), og noe av det strømmer trolig inn i den nordlige delen av Barentshavet. Foreløpig vet vi for lite om denne sammenhengen til å trekke noen endelige konklusjoner. Dette er imidlertid et sentralt forsknings-tema som vil bli tatt opp i samarbeid med tyske kollegaer. Vi vet at for kortere tidsskalaer er lavtrykksaktivitet og det storskala vindfeltet viktige drivkrefter for volumfluksen inn i Barentshavet. Disse fenomenene er nok også viktige på de tidsskalaer vi snakker om her. En medvirkende årsak til de store utstrømningene er derfor sannsynligvis knyttet til fordelingen av lavtrykk og høytrykk over området. Trykkforskjellene kan danne sterke gradienter som forårsaker disse store utstrømningene.

Økologiske konsekvenser

Hvilke konsekvenser får så perioder med netto utstrømning for økosystemet? Her er det få undersøkelser å bygge på, men man kan spekulere litt ut fra nåværende kunnskaper. Dyreplanktonet er



Figur 6.7

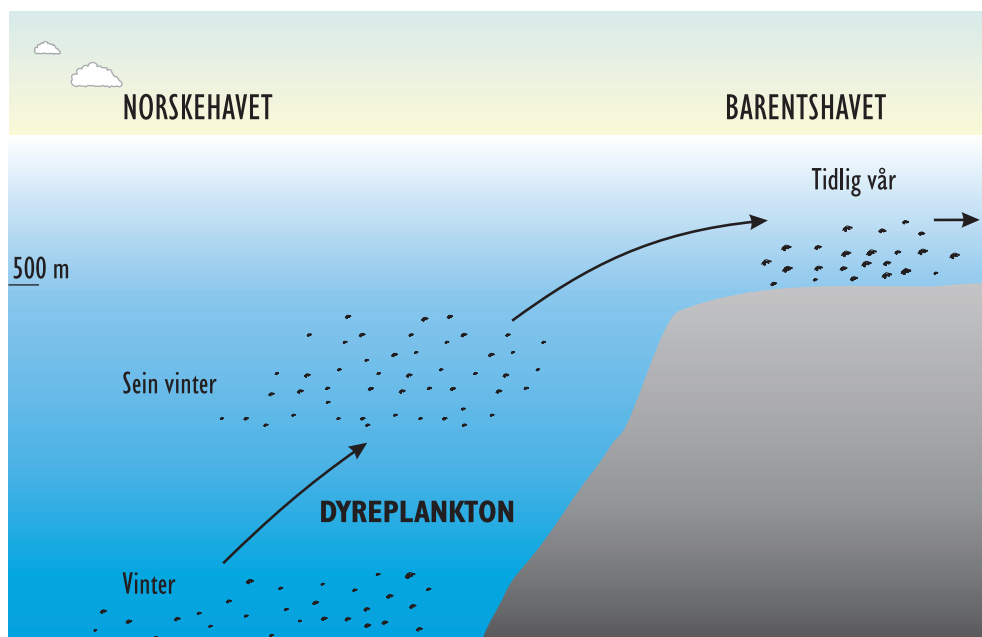
Skjematisk framstilling av strømforholdene mellom Bjørnøya og fastlandet. Det blå viser utstrømning fra Barentshavet og den røde fargen viser områder hvor atlantehavsvann strømmer inn i Barentshavet. A) viser "normalsituasjonen" med netto transport inn i Barentshavet, mens B) viser forholdene når det er en netto transport ut fra Barentshavet. *Illustration of the two different flow patterns between Bear Island and Norway. The blue colour indicates outflow from the Barents Sea while the red colour represents inflow. A) shows the "normal" situation with a net transport into the Barents Sea, while B) shows the conditions when there is a net transport out from the Barents Sea.*

den viktigste matkilden for lodde, sild og fiskelarver av alle arter. Er det lite dyreplankton, vil dette særlig gå ut over mattilbudet til fiskeyngelen av viktige kommersielle arter som torsk, hyse, sild og lodde. Den viktigste dyreplanktonarten er raudåta, *Calanus finmarchicus*. For å få nok raudåte i Barentshavet trengs det transport av raudåte fra Norskehavet. Raudåta overvintrer i dypet av Norskehavet og stiger mot overflaten i løpet av senvinteren for å gyte (Figur 6.8). En stor import av raudåte til Barentshavet er avhengig av innstrømning av atlantehavsvann. Hovedtransporten antas å foregå i tidsrommet mars-april. Den store utstrømningen som er registrert i april både i 1998 og 1999, vil være en effektiv bremse for netto transport av dyreplankton. I tillegg vil raudåte som allerede har blitt transportert inn i mars, kanskje i betydelig grad bli transportert ut igjen i april. Dette betyr at gytebestanden av raudåte kan ha vært betydelig mindre disse to årene i forhold til hva den kunne vært uten denne utstrømningen. Dermed kan også produksjon av en ny generasjon raudåte i Barentshavet ha blitt mindre enn det den kunne vært. Som antydnet innledningsvis i dette

avsnittet, kan dette virke negativt på rekrutteringen av flere viktige arter ved at oppvekstvilkårene blir dårligere i år med store utstrømninger fra Barentshavet. Dette kan være en forklaring på de svake årsklassene av de fleste arter i 1998 og 1999. I 2000 da utstrømningen var mindre og foregikk tidligere, lå forholdene bedre til rette for gode årsklasser.

Konklusjon

Vi kan slå fast at målinger av transporten av atlantehavsvann i innløpet til Barentshavet har gitt nyttig informasjon om variasjoner i strømmønsteret. Disse variasjonene er langt større enn tidligere antatt. Framover bør det fokuseres mer på hvilken betydning disse utstrømningsepisodene har på økosystemet. Årsakssammenhengen mellom svake årsklasser av fisk og sterk utstrømning er en hypotese som bør undersøkes nærmere. En avklaring av hvilken betydning variasjoner i atlantehavsstrømmen har for transport av raudåte, og dermed oppvekstvilkårene for fisk i Barentshavet, bør bli en prioritert forskningsoppgave i de nærmeste årene.



Figur 6.8

Dyreplanktonet overvintrer i dypet av Norskehavet, vandrer opp mot overflaten senvinters for så å bli transportert inn i Barentshavet med Atlanterhavsvannet.
Zooplankton overwinters in the deep Norwegian Sea and ascends to the upper layer during late winter, and is transported into the Barents Sea during early spring.

Fridtjof Nansen (1861–1930) var natur- og havforsker, diplomat, filantrop, sportsmann og kunstner (Figur 6.9). Han giftet seg med Eva Sars, datter av presten og havforskeren Michael Sars og ble derved svoger til havforskeren Georg Ossian Sars. Han gikk på ski over Grønland i 1888 og drev over Polhavet med “Fram” 1893-96. Nansen må regnes som en av grunnleggerne av moderne fysisk oseanografi. Spesielt bidro han til å forbedre instrumenteringen og det metodiske grunnlaget for denne nye forskningsgrenen. Nansen tok initiativet til norsk havklimaforskning som vi nå kan feire 100-års jubileum for. Data innsamlet med forskningsfartøyet “Michael Sars” i perioden 1900–1904 dannet grunnlaget for storverket “The Norwegian Sea” av Bjørn Helland-Hansen og Fridtjof Nansen. Nansen var også en drivende kraft for å få til et bedre internasjonalt samarbeid innen havforskning, og sto sentralt da Det internasjonale råd for havforskning (ICES) ble etablert i København i 1902.

Hvorfor ble Nansen havforsker?

Nansens akademiske karriere begynte med zoologistudier ved Universitetet i Oslo i 1880. Hans lærer, professor Robert Collet, gav ham det råd å studere selfangsten i Ishavet. I 1882 fikk han så den sjansen som skulle avgjøre hans senere vitenskapelige karriere; han ble med selfangstskuta “Viking” av Arendal på fangst i Vestisen fra mars til juli. I tillegg til zoologiske studier av selen skulle Nansen ta en del målinger av forholdene i havet. Han hadde derfor med seg det nødvendige utstyret for dette. Den unge forskeren fikk på turen stadig ny inspirasjon i studiene av dyreliv, temperaturforhold, lysforhold, strømretninger, isdannelse, luftspeilinger og nordlys. Det er ingen tvil om at denne turen var sterkt medvirkende til Nansens senere livsvalg.

Datidens største sprang fremover for norsk havforskning var sannsynligvis Den norske Nordhavsekspedisjonen 1876-78 med Henrik Mohn og Georg Ossian Sars som initiativtakere. Dette var en serie av tre tokt med “D/S Vøringen”. Disse toktene representerte starten på norsk havgående marin forskning. Opparbeidelsen av materialet fra disse toktene ble hovedsakelig gjort av medarbeidere ved Bergen Museum. Her arbeidet Nansen som konservator i tiden 1882-87, og alle Nansens kolleger



Figur 6.9
Fridtjof Nansen
(1861-1930). En
genial generalist.

*Fridtjof Nansen
(1861-1930).
A gifted all
round scientist.*

var sterkt engasjert i opparbeidelsen. Nansen kunne umulig ferdes i flere år i dette miljøet uten å bli påvirket. Deltakerne i Nordhavsekspedisjonen og resultatene derfra har ubetinget gitt Nansen verdifulle impulser og inspirasjon.

Sann oppdagerglede, eventyrlyst eller forfenglighet?

Driften med “Fram” over Polhavet står som en av de mest bemerkelsesverdige ekspedisjoner i nyere europeisk historie. Kunne denne ferden vært gjennomført i dag? I minst tre år skulle tretten mann drive over Polhavet uten noen mulighet for kontakt med omverden for om mulig å nå Nordpolen. Dette skulle skje i en skute som mest sannsynlig ville bli skrudd ned av isen. Sjansene for at deltakerne skulle slippe levende fra det ble av internasjonale eksperter på polare strøk, ansett som liten. En slik ekspedisjon, som dessuten bygget på et heller tynt vitenskapelig grunnlag og hadde stor risiko for fiasko og tap av menneskeliv, ville neppe bli støttet verken av Norges forskningsråd eller norske myndigheter i dag.

Hvilke krefter var det som drev Nansen i hans arbeid? For å forstå hvordan han kunne få norske myndigheter med på et slikt risikoprojekt, er det nødvendig å trekke inn den historisk/politiske situasjonen i siste halvdel av 1800-tallet. Den økende nasjonale selvfølelse og kampen for et selvstendig Norge som karakteriserer denne perioden, var sannsynligvis en helt nødvendig betingelse. Tiden var altså moden for et norsk storverk. I tillegg



Figur 6.10

Feltarbeid i Arktis. Fridtjof Nansen regnes som en av grunnleggerne av moderne fysisk oseanografi. Spesielt bidro han til å forbedre oseanografiens metodiske grunnlag. Oseanografisk instrumenteringsteknikk ble en viktig del av hans arbeid.

Field work in the Arctic. Fridtjof Nansen is regarded as a founding person for modern physical oceanography. In particular he improved scientific methods and instrumentation.

kommer Nansens personlighet og den autoritet og popularitet han hadde opparbeidet seg blant annet ved Grønlandsferden. Planene om “Fram”-ferden møtte stor motstand, spesielt utenfor landet hvor de fleste ekspertene mente den var for farefull. Nansen spilte nok på den nasjonalstolthet som lå i tiden for å sikre finansieringen av prosjektet. Han ville at nordmenn skulle delta i det internasjonale kappløpet mot Nordpolen. I sin argumentasjon sier han: “Måtte det blive nordmændene, som her viser veien! Måtte det blive det norske flag, som første gang vaier over vor pol”. Det var vel slike argumenter, heller enn de rene vitenskapelige, som gjorde at Stortinget sikret finansieringen og Colin Archer kunne starte byggingen av “Fram” etter Nansens utkast. Riktig mann til rett tid er nok ettertidens konklusjon (Figur 6.10).

Det karaktertrekk som kanskje mer enn noe annet preget Fridtjof Nansen var ærgjerrighet i ordets mest positive betydning. Hans viktigste drivkraft var hele tiden å erobre nye muligheter for rikere livsutfoldelse, mer kunnskap og bredere innsikt. Hans store selvtillit og deterministiske livssyn kom tidlig til uttrykk. I et brev da han var 24 år gammel skriver Nansen: “Skulde nogen bli fristet til å tro på en for sig utkåret skjebnens genius, da måtte det være mig -” Genius var, etter romersk tro, et guddommelig, usynlig vesen som er nøye knyttet til det enkelte menneske, påvirker dets handlinger og har bestemmende innflytelse over menneskets skjebne. Gang på gang grep tilfeldighetene inn i

Nansens liv og virket inn på hans videre valg. Han forsto å utnytte mulighetene når de oppsto. Han skriver videre i samme brevet “- det er så ofte nettop ved krisepunktene i mitt liv inntruffet slike merkelige tilfeller der likesom har utpekt veien -”.

Det er likevel grunn til å stille spørsmålet om i hvilken grad hans forfenglighet var styrende for hans valg. Var “Fram”-ferden egentlig en kjempestor egotrip? Kunne han virkelig elske sin Eva slik han påsto og likevel reise vekk så lenge og derved påføre henne stor sorg og engstelse? Nansen var selv klar over at Eva hadde all grunn til å stille et slikt spørsmål – han hadde selv stilt det samme. I et brev til Eva sier han: “Var det forfenglighet eller ærgjerrighet? Jeg tror det ikke, men du kjender mig, og du vil bedre kunne svare på det. For mig står det mest som det var en del av mit liv, som ikke blev helt, om det ikke blev gjort, som der blev noget forfusket om jeg ikke kom afsted, og som vor lykke da ikke lenger kunne bli så fuld og sand, som den er nu eller vil bli”.

Etter “Fram”-ferden ble vel ikke ekteskapet helt det som begge hadde håpet på. Mer enn tre års adskillelse hadde satt sine spor hos begge. Selv om det neppe er tvil om de dype og inderlige følelsene de hadde for hverandre, så gjorde Nansens ærgjerrighet, omverdens krav om hans oppmerksomhet og hans erotiske sidesprang samlivet vanskelig. Nansens planer for en ekspedisjon til Sydpolen var også en belastning for forholdet mellom dem. Hensynet til

Eva var nok den viktigste årsaken til at Nansen nølte med denne reisen og derved gav Roald Amundsen sjansen. Nansens livsverk lå utenfor hjemmet og prisen for dette var et noe skrantende forhold både til ektefelle og til barn.

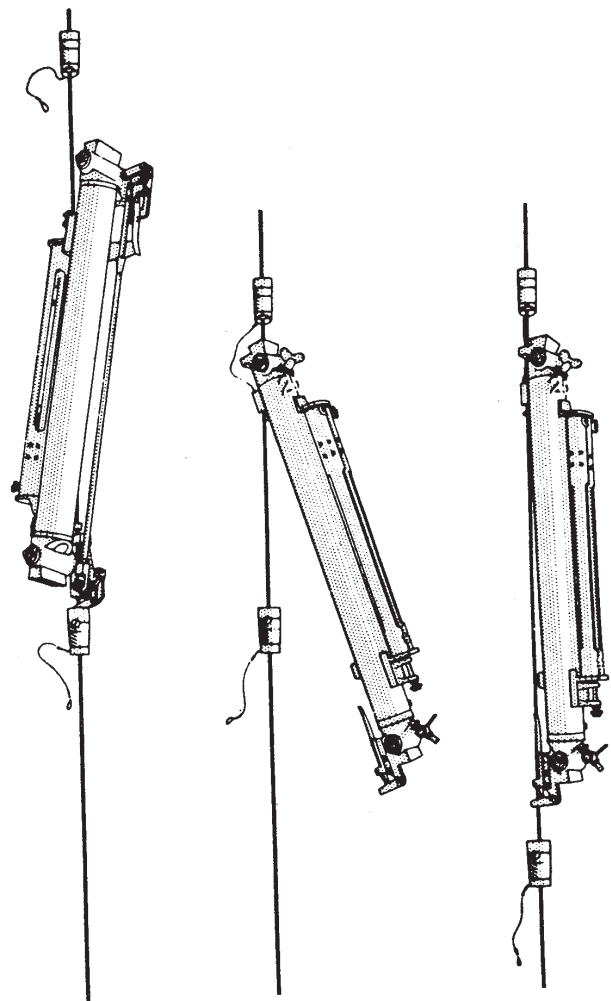
Drivkraften – motivene for våre handlinger er som regel sammensatte. Det er sjelden det er enten-eller men oftere både-og. I Nansens tilfelle har nok alle de tre drivkreftene som er nevnt vært viktige elementer.

Nansen som pådriver for nasjonalt og internasjonalt samarbeid i havforskningen

“Fram”-ekspedisjonens vitenskapelige materiale ble publisert i *The Norwegian North Pole Expedition 1893-96* (6 bind 1900-06). Kanskje et av de viktigste resultater var at den førte Nansen helt over i den fysiske oseanografien hvor han ble en organisator og nyskaper. “Fram”-ferden gav ny informasjon om dybdene i Polbassenget som var mye dypere enn det man tidligere hadde trodd. Ekspedisjonen gav et vesentlig bidrag til kartleggingen de arktiske strøk samt en rekke interessante observasjoner om dyre- og planteliv i arktiske strøk. Nansen gjorde også mange observasjoner som fikk betydning både for studier av geologien, kontinentalsokkelen og jordskorpen. Størst betydning fikk likevel “Fram”-ferden for den fysiske oseanografien. Denne del av vitenskapen ble nå hans sentrale innsatsområde. De mange målinger av temperatur og saltholdighet fra “Fram”-ferden gav verdifulle data selv om Nansen var klar over at metodene han brukte ikke var nøyaktige nok (Figur 6.11). På grunnlag av temperaturmålinger fra ferden konkluderte Nansen at det måtte være en undersjøisk rygg mellom Polhavet og Norskehavet, noe som senere målinger har bekreftet.

I 1897 ble Nansen utnevnt til professor ved Universitetet i Oslo. Flere land arbeidet med å få i stand et internasjonalt samarbeid innen havforskning, og Nansen var en drivende kraft i dette arbeidet. Han gikk inn for at Norge skulle spille en ledende rolle. Han var i høyeste grad oppmerksom på verdien av fysisk oseanografi for fiskeriene. Her har nok hans svoger, G.O. Sars, stimulert ham. Nansen arbeidet for at sekretariatet for den nye organisasjonen, Det internasjonale havforskningsråd (ICES), skulle legges til Kristiania, men det ble København. Det ble imidlertid opprettet et Centrallaboratorium i Kristiania med Nansen som leder (1902-08) og med ansvar for de praktiske fiskeriundersøkelser.

I 1900 ble dampskipet “Michael Sars”, som var oppkalt etter Nansens svigerfar, sjøsatt. Dette var et av de første skip i verden som var konstruert for oseanografiske formål. Samme året flyttet “Fiskeristyrelsen” til Bergen, og Bjørn Helland-Hansen ble ansatt som hydrograf. Nansen planla de fysiske-oseanografiske undersøkelser for “Fiskeristyrelsen” i 1900, og disse ble ført videre av Helland-Hansen. Det er data fra disse undersøkelser som utgjør grunnlaget for det klassiske storverket “The



Figur 6.11 Nansens vendevannhenter med vendetermometer ble et revolusjonerende og særdeles viktig hydrografisk måleinstrument som ble brukt verden over helt frem til 1960-årene da moderne CTD-instrumentering overtok.

The Nansen tilting water sampler became an important hydrographic instrument which was used worldwide until gradually replaced by modern CTD profilers from around 1960.

Norwegian Sea” av Helland-Hansen og Nansen i 1909.

Det som kanskje imponerer mest i “The Norwegian Sea” er den kreativitet og intuisjon som forfatterne utviser i tolkingen av sine data. Jeg tror neppe moderne oseanografer ville våge å trekke like dristige konklusjoner ut fra et så spinkelt datamateriale. Det meste av den forskningen som er blitt utført i Norskehavet i tiden etter, har enten bekreftet eller bare nyansert Helland-Hansens og Nansens oppfatninger. De var de første som koblet variasjonene i innstrømningen av atlantehavsvann til våre farvann med klimavariasjoner i atmosfæren og is i Barentshavet. Ved flere senere anledninger tok Helland-Hansen og Nansen for seg sammenhengen mellom temperaturvariasjonene i havet og i atmosfæren. Forfatterne mente at “et fortsatt studium av disse forhold forhåpentlig vil gi slike resultater at man senere vil kunne forutsi væretts karakter, ikke bare for de nærmeste døgn, men også for en temmelig lang tid, - uker og måneder fremover” Fortsatt har vi et stykke igjen før vi er kommet så langt.

I “The Norwegian Sea” tar Helland-Hansen og Nansen også opp de biologiske konsekvensene av de storskala klimavariasjonene som fluktuasjonene i den atlantiske innstrømningen representerer. I boken sier de at “It is to be expected that variations in the physical conditions of the sea have great influence upon the biological conditions of the various species of fishes living in the sea, and it might therefore also be expected that such variations are the primary cause of the great and hitherto unaccountable fluctuations in the fisheries. It is therefore obvious that it would be of very great importance, not only scientifically but also practically, if the relation between the variations in the physical conditions of the sea and the variations in the biological conditions of the various food-fishes could be discovered”.

Forfatterne oppdager sammenhenger mellom varmemengden i det atlantiske vannet utenfor norskekysten og størrelsen på forskjellige typer avlinger, samt vekst og rekruttering til flere fiskebestander. Videre viste de sammenhenger mellom nedbør over Norge og fangstene av sild og brisling langs kysten.

De var altså pionerer for moderne fiskerioseanografi hvor man bl.a. analyserer hvorledes storskala klimavariasjoner virker inn på vekst, rekruttering og fordeling av fiskebestandene.

I 1926, da Nansen var 65 år, holdt han en tale til studentene ved St. Andrew universitetet i Skottland. Det budskapet han der gir videre til ungdommen er i praksis hans åndelige testamente. Denne talen ble også trykket på norsk under tittelen “Eventyrlyst”. Tidligere talere til studentene hadde snakket om “mot” og “uavhengighet”. Nansen sier så: ”Men det trengs en tredje genius for å gjøre denne gruppen av gudinner fullstendig, det er eventyrlysten, dådstrangen”. Han utdypet så dette med eksempler både fra historien og sitt eget liv. “Jeg er sikker på at de store hendelser i verden avhenger av den eventyrlyst og dådstrang som visse individer har, idet de griper leilighetene når de byr sig”.

Helt fra han var ganske ung hadde Nansen betraktet de oppgavene han for øyeblikket holdt på med som noe midlertidig. Disse måtte ryddes av veien før han kom til det egentlige; den ene store oppgaven han ville sette alle sine evner inn på å løse. “Og slik vil det vel holde på til jeg en dag stuper, jeg som de andre. Det egentlige blev aldri nådd...” Og slik ble det. Oppgavene var rett og slett for mange.

I sin minnetale over Fridtjof Nansen i Videnskaps-Akademiet sa hans gode venn og forskerkollega Bjørn Helland-Hansen:

“Fridtjof Nansen var et av de sjeldne geniale mennesker, om ikke i en enkelt retning hvad anlegg og prestasjoner angår, så i alle fall i samlet sum. Han minner i mangt og meget om renessansens store skikkelser, de som står for oss som veldige trær i menneskenes store skog, som skapte en ny tid og større innhold i tilværelsen, og som vil sees i klart relieff gjennom lange historiske tidsrum”.

Fridtjof Nansens storverk inspirerte både sin samtid og senere generasjoner. Måtte hans liv og gjerninger også makte å inspirere dagens forskere og bevilgende myndigheter til å ta flere sjanser og “gripe leilighetene når de byr sig”.

Klima, planktonproduksjon og vekst hos sild i Norskehavet

Webjørn Melle og Jens Christian Holst

Varmt klima i Nord-atlanteren viser sterk korrelasjon med høy produksjon av planteplankton og sterk vekst hos sild i Norskehavet. Det er også påvist en klar sammenheng mellom mengden dyreplankton og individuell vekst hos sild. Dette tyder på at "gunstig klima" øker planktonproduksjonen som i sin tur gjør silda feitere. Selv om vi ennå ikke helt forstår mekanismene som styrer sammenhengene mellom planktonproduksjon og sild, så utnytter vi nå likevel denne empiriske erfaringen til å gi tidlige prognoser for fremtidens sildevekst. Dette har vist seg å være et nyttig verktøy for forvalterne av sildebestanden.

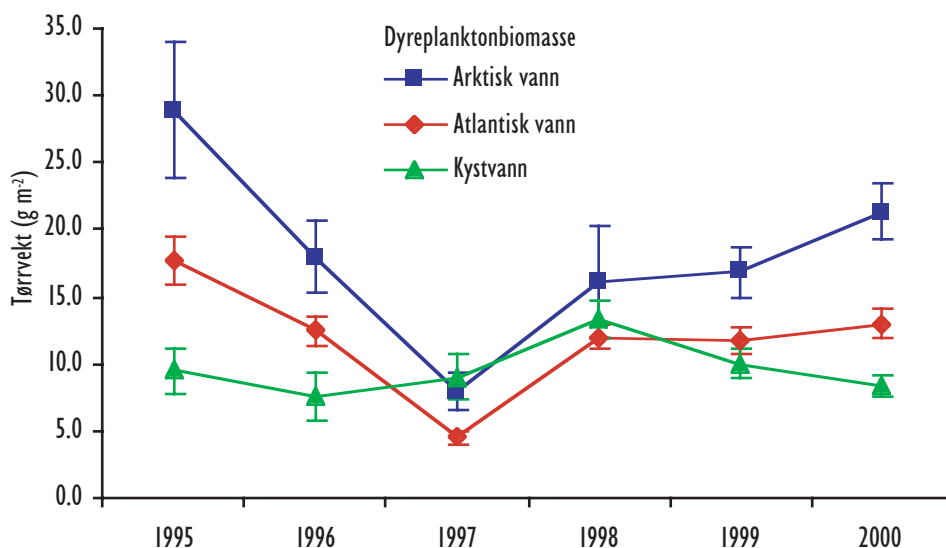
Vi er nå inne i en periode der klimaet blir varmere. Effektene av klimaendringen på økosystemene har imidlertid fått mindre oppmerksomhet. Det gjelder fysiske og i særlig grad biologiske effekter. En viktig grunn til at resultater som påviser biologiske effekter av klimaendringer i stor grad uteblir, er at de lange biologiske tidsseriene er få. Våre institusjoner har ikke vært bevisste nok på å opprettholde overvåkingen av det biologiske miljø i det århundret vi har bak oss. Innenfor de korte tidsrom der gode biologiske tidsserier foreligger kan det likevel være mulig å påvise effekter av klima. Dette kan for eksempel gjøres ved at en kortsiktig klimavariasjon

sammenlignes med biologiske endringer på samme tidsskala. Basert på kunnskap om biologiske effekter av korttids klimavariasjon, kan vi så ekstrapolere de mer langsiktige biologiske effekter av klimaendringer.

Den Nord Atlantiske Oscillasjonen (NAO) (se artikkelen på side 73) er et godt eksempel på en klimafaktor som viser korttidsvariasjoner som i betydelig grad er korrelert med biologiske faktorer. En viktig del av Norskehavsprogrammet har som mål å beskrive og kvantifisere effekter av klimaendringer på hydrografi, planktonproduksjon og vandring og vekst hos fisk. I denne sammenheng har særlig vinter-NAO, som er den midlere trykkforskjellen i vintermånedene fra desember til mars, vist seg å være en nyttig indikator.

Dyreplanktonproduksjon og klima

Siden 1995 har Havforskningsinstituttet gjennomført årlige tokt i Norskehavet i mai som innbefatter forskning på hydrografi, dyreplanktonbiomasse og utbredelse og fødeopptak hos sild. Norskehavet domineres av tre typer vannmasser med svært forskjellige produksjonsforhold. Det er kystvann, som hovedsakelig finnes over den norske kontinental-sokkelen, atlantisk vann sentralt i Norskehavet og



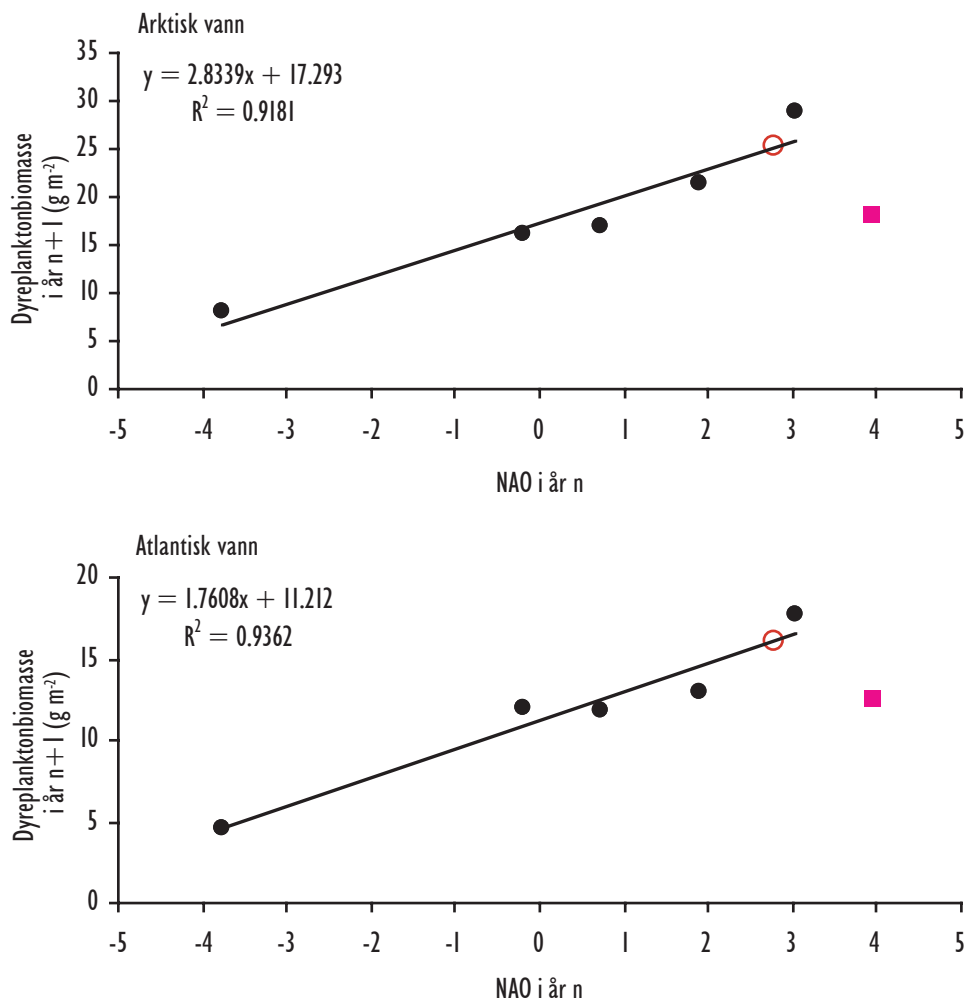
Figur 6.12
Dyreplanktonbiomasse i 0-200 m i Norskehavet i mai.
Zooplankton biomass in 0-200 m in the Norwegian Sea in May.

arktisk vann i vest. Vår relativt korte tidsserie viser at dyreplanktonbiomassen er høyest i arktisk vann, og at tidsutviklingen fra 1995 til 2000 er lik i atlantisk og arktisk vann (Figur 6.12). I begge vannmasser var biomassen høy i 1995, for så å avta til et minimum i 1997. Deretter økte biomassen igjen. I kystvannet er endringene i biomasse forskjellige fra det som ble observert lenger vest i havet. Det synes altså som om prosessene som bestemmer dyreplanktonproduksjonen over de norske sokkelområdene er forskjellige fra prosessene over dyphavet.

I mai er det en sterk korrelasjon mellom NAO-indeksen og dyreplanktonbiomasse det påfølgende året i både atlantisk og arktisk vann (Figur 6.13). Legg spesielt merke til dyreplanktonbiomassen i mai 1996 som faller utenfor den generelle sammenhengen

mellom biomasse og NAO-indeksen året før. 1996 var et spesielt år i vår korte tidsserie med en meget lav NAO-indeks som etterfulgte en høy NAO-indeks i 1995. Det ser ut til å være en viss treghet i økosystemet som gjør at dette brå skiftet i de atmosfæriske forhold ikke straks gjenspeilet seg i den biologiske produksjonen.

Som vist i Figur 6.4 gir en høy NAO-indeks mye og sterk sørvestlig vind i Norskehavet. Under slike forhold øker transporten av kaldt og ferskt arktisk vann inn i det vestlige Norskehavet, mens transportruten for atlantisk vann fra sør blir presset mot den norske kontinentalskråningen. Sannsynligvis øker transporten av atlantisk vann inn i Norskehavet under disse forholdene, noe strømmålinger så langt har vist. Selv om store endringer i de hydrografiske



Figur 6.13 Forholdet mellom NAO-indeksen og dyreplanktonbiomasse i mai det påfølgende år. 1996 er markert med firkant og er ikke med i regresjonen. Sirkelen markerer prognosen for 2001 basert på en NAO-indeks på 2.8 i 2000.
NAO-index vs. zooplankton biomass in May the following year. The year 1996 (square) is not included in the regression. Prognosis for 2001 (circle) based on the winter-NAO (2.8) for 2000.

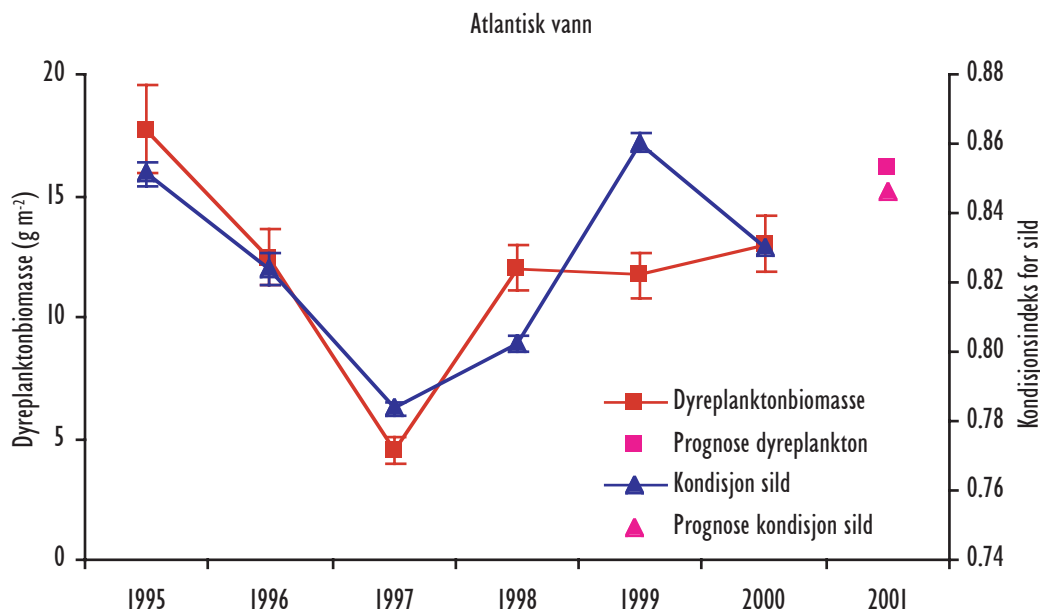
forholdene i Norskehavet sammenfaller i tid med endringer i NAO-indeksen, så kjenner vi ennå ikke årsakssammenhengene mellom de atmosfæriske endringene, de fysiske prosesser i havet og dyreplanktonproduksjonen. Det som gjør sammenhengene ekstra komplisert, er at disse koblingene vil virke gjennom planteplanktonleddet. Det er svært viktig å få en bedre kunnskap om sammenhengene mellom klima og dyreplanktonproduksjonen, ikke minst for å kunne utvikle modeller som kan forutsi dyreplanktonproduksjonen på grunnlag av klimaprognoser.

Vandring og vekst hos sild

Silda beiter hovedsakelig i atlantisk vann, men også i arktisk vann, nær Den arktiske fronten vest i Norskehavet. For å studere silda sitt mattilbud var det derfor naturlig å sammenligne veksten hos sild med dyreplanktonbiomasse i atlantiske vannmasser. Det ble funnet en relativt god sammenheng mellom dyreplanktonbiomasse i atlantisk vann og kondisjonen hos sild etter endt beiting (ved tilbakekomsten til overvintringsområdet i desember) (Figur 6.14).

Vi ser at den store dynamikken i den midlere individuelle kondisjonen hos sild ikke alene kan

forklares ut fra de observerte variasjonene i dyreplanktonbiomassen i atlantiske vannmasser. I fremtiden har vi imidlertid håp om at vi skal bli i stand til å gi en enda bedre forklaring på hva som bestemmer silda sin kondisjon. Dette kan vi oppnå ved å kombinere vår kunnskap om hvor silda beiter, beitevandringens lengde og bestandens størrelse og alderssammensetning. Som et eksempel kan vi vise hvordan forholdet mellom dyreplanktonbiomassen i mai og sildekondisjonen i desember endres når vi tar hensyn til de observerte variasjonene i silda sitt vandringsmønster. I de første årene fra 1995 til 1997 beitet silda hovedsakelig i atlantisk vann sentralt i Norskehavet. Fra og med 1998 så vi imidlertid en endring i vandringsadferden og silda fulgte en mer nordlig fordeling. I 1999 var vandringsmønsteret spesielt ved at silda vandret uvanlig langt vest før den vendte tilbake til overvintringsområdet. Dette året ble det faktisk observert sild nord for Island. Det betydde sannsynligvis at silda i større grad beitet i arktiske vannmasser, med høyere dyreplanktonforekomster (Figur 6.12). Dersom vi tar hensyn til vandringsmønsteret hos sild og plotter silda sin kondisjon mot dyreplanktonbiomassen i de områder der vi antar at den faktisk beitet, ser en at dyreplanktonbiomassen langt på vei kan forklare silda sin kondisjon (Figur 6.15). Fordi



Figur 6.14

Gjennomsnittlig kondisjonsindeks for sild målt i desember og dyreplanktonbiomasse i Norskehavet i mai. Prognose for dyreplanktonbiomasse i atlantisk vann i 2001 basert på NAO-indeksen, og prognose for kondisjonsindeks (0.85) basert på sammenhengen mellom dyreplanktonbiomasse og kondisjon. *Mean herring condition index in December vs. zooplankton biomass in May. Prognosis for zooplankton biomass in Atlantic water in May based on the NAO-index (see Figure 6.13), and prognosis for condition (0.85) based on zooplankton biomass.*

en ikke kjenner årsakene til at silda endrer sitt vandringsmønster kan imidlertid denne sammenhengen ennå ikke brukes til å gi prognoser for vekst i sildebestanden. Foreløpig benyttes derfor den noe svakere sammenhengen vi har påvist mellom sildeveksten og dyreplanktonbiomassen i atlantisk vann.

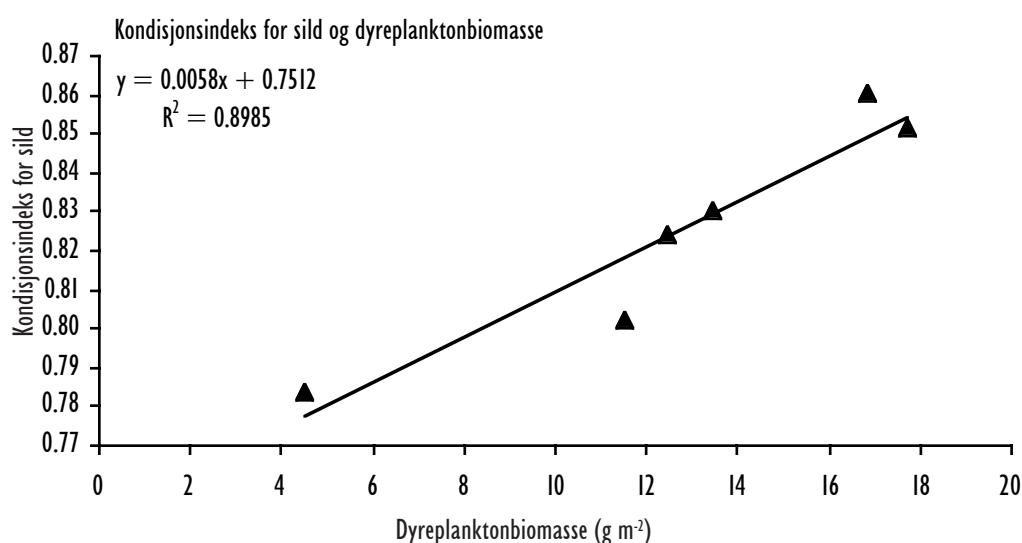
Prognosegenerering

Det er en av Senter for marint miljø's hovedoppgaver å skaffe kunnskaper om økosystemet som kan forbedre forvaltningen av fiskebestandene. Særlig viktig er det å kunne gi gode prognoser for vekst og rekruttering i fiskebestandene. Sammenhengen mellom dyreplanktonbiomassen og sildekondisjonen kan brukes til å framskrive silda sin kondisjon fra begynnelsen av beitesesongen til silda er tilbake i overvintringsområdet. Dette gir en varslings tid på ca. 8 måneder. Fordi det i tillegg er en sammenheng mellom NAO-indeksen og dyreplanktonbiomassen i mai året etter, kan vi faktisk gi en ca. 14 måneders prognose for dyreplanktonbiomassen. Så snart NAO-indeksen er kjent, er det dermed mulig å gi en prognose for silda sin kondisjon nærmere to år fram i tid.

Denne måten å gi prognose på er interessant fordi en utnytter sammenhengen mellom byttedyrstilbud og vekst, som antas å være en årsakssammenheng som kan gi oss økt forståelse for mer grunnleggende sammenhenger i økosystemet. Det bør også være

en direkte kopling mellom NAO-indeksen og silda sin kondisjon. For å undersøke dette har vi studert data fra en lenger tidsserie, der sildekondisjonen er kjent tilbake til 1930-tallet og NAO enda lenger. Ved å plote NAO-indeksen mot sildekondisjonen i desember i det påfølgende år, ser vi at det også er en god sammenheng mellom NAO-indeksen og sildevekst (Fig. 6.16). Legg også her merke til at 1996 skiller seg ut med en lavere kondisjon enn forventet basert på NAO-indeksen. At både dyreplanktonbiomasse og sildekondisjonen dette året er lavere enn forventet ut fra NAO-indeksen, tyder på at vi her er på sporet av en svært generell reaksjon i næringskjeden. I arbeidsgruppen under ICES (Working Group on Northern Pelagic and Blue Whiting) brukes nå allerede sammenhengene mellom NAO-indeksen, byttedyrstilbud og kondisjon hos sild i framskrivningen av sildebestanden.

Prognosen for sildekondisjonen i 2001 basert på NAO-indeksen og prognosen basert på dyreplanktonbiomassen er henholdsvis 0.88 og 0.85. Så kan vi alle leve i spenning fram til desember i år - når silda vender tilbake fra Norskehavet. Da får vi se hvor nær vi kommer. En av våre viktigste fremtidige forskningsoppgaver når det gjelder sild i Norskehavet vil bli å forklare hva som bestemmer silda sitt vandringsmønster, om silda vil velge en nordlig eller sørlig vandringsrute, og i hvilken grad silda vil beite i arktisk vann. I dette arbeidet vil vi



Figur 6.15 Forholdet mellom kondisjonsindeks for sild og dyreplanktonbiomasse justert for vandringsmønsteret hos sild.
Herring condition index vs. zooplankton biomass adjusted for herring migration pattern.

trekke inn både det fysiske og biologiske miljøet for silda, og vi vil også gi høy prioritet til utviklingen av vandringsmodeller for sild.

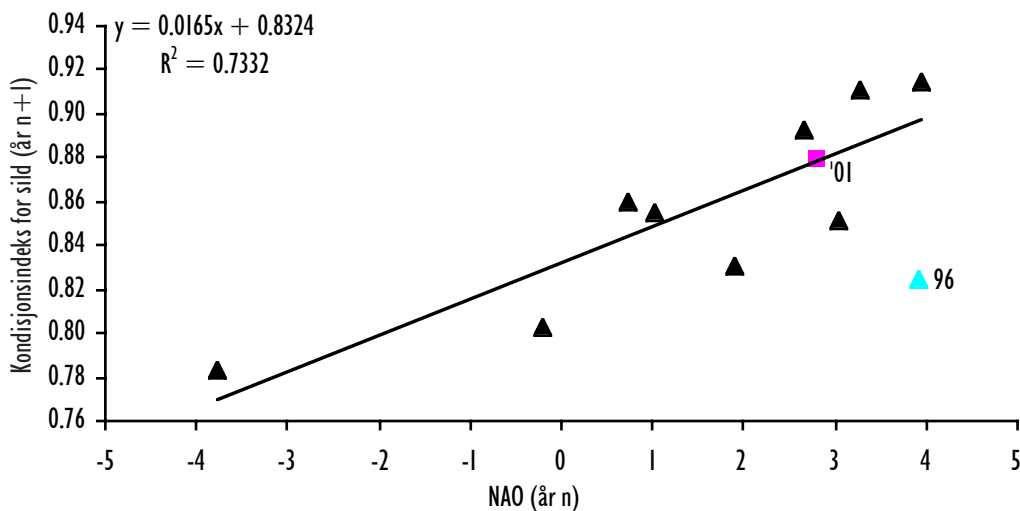
Ved Senter for marint miljø arbeides det også med å finne relasjoner mellom silda sin kondisjon og realisert eggproduksjon for bestanden. Havforskningsinstituttets forskning har vist at dersom fiskens kondisjon er dårlig, vil et relativt høyere antall av egganleggene i rognen bli tilbakedannet, og ikke gytt. Det vil si at kondisjonen i bestanden er avgjørende for antall egg som faktisk blir gytt. Antall gyttede egg er en meget viktig faktor i rekrutteringen. Dette betyr at det kanskje er en lovmessig sammenheng mellom NAO-indeksen, dyreplanktonbiomasse, sildas kondisjon og sildas rekruttering. Fra NAO-indeksen beregnes og til silda rekrutterer til fisket ved tre-årsalderen, snakker vi faktisk om en treårsperiode. Dersom vår fremtidige forskning bekrefter en slik sammenheng, kan prognosetiden for sildebestanden forlenges vesentlig.

Langtidsprognoser og klimaeffekter

FNs klimapanel har nylig konkludert at vi er inne i en global klimaendring som vil gi betydelig økte temperaturer og store endringer i vind og nedbørsmønstre. Våre påviste relasjoner mellom

NAO-indeksen og den biologiske produksjonen i Norskehavet kan brukes til å antyde hva fremtiden vil bringe. Vi har vist at det er en positiv korrelasjon mellom NAO og dyreplanktonbiomasse. Ved en fortsatt økning i NAO-indeksen kan en derfor vente en økt dyreplanktonproduksjon i Norskehavet.

Når det gjelder sild har vi først og fremst sett på den individuelle kondisjonen. Under forutsetning av at antall fisk i bestanden er uendret, vil en høy individuell vekst bety at veksten i bestanden som hele også er god. Det er imidlertid grenser for hvor høy den individuelle kondisjonen kan bli. Ved fortsatt bedring i vekstforholdene kan man tenke seg at kondisjonen vil gå mot en øvre grense. Videre vekst i bestanden må da skje ved forhøyet rekruttering og en økning i antall individer i bestanden. Det er altså sannsynlig at en klimaendring i Norskehavet vil bety økt produksjon av dyreplankton og sild, men ved endrede fysiske forutsetninger for biologisk produksjon kan andre arter både av plankton og fisk overta. Dermed er det ikke sikkert at sild lenger vil være den viktigste pelagiske bestanden i Norskehavet. Den totale produksjon i økosystemet som eventuelle nye inntrengende arter står for, trenger ikke bli høyere enn den vi har i dag.



Figur 6.16

Forholdet mellom NAO-indeksen og kondisjonsindeksen for sild i desember det påfølgende år, 1990-2000. 1996 er ikke med i datagrunnlaget for den lineære regresjonen. Firkanten markerer prognose for kondisjonen i desember 2001 (0.88) basert på lineær regresjon.

NAO-index vs. herring condition index in December the following year, 1990-2000. 1996 is not included in the regression. Prognosis for herring condition (square) in December 2001 (0.88) based on the NAO-index for 2000.

Diskusjonen om vi er inne i en periode med gode eller dårlige produksjonsforhold i Barentshavet, og hvilken betydning dette har for norske fiskerier, har vært gjenstand for flere oppslag i massemedia. Vurderingen av produksjonsforholdene har gjerne vært knyttet til om sjøtemperaturen er over eller under det normale. I denne artikkelen belyser vi normalbegrepet og hva som er over og under det normale. Videre diskuterer vi hvilke andre faktorer enn sjøtemperaturen som er med på å styre produksjonsforholdene i Barentshavet.

Temperatur og produksjonsforhold

Det har i løpet av de siste årene, og spesielt i 2000, vært mye diskutert om vi er inne i en kald eller varm periode i Barentshavet. Interessen for dette skyldes sammenhengen mellom temperatur og produksjonsforholdene for fisk. Varme perioder i Barentshavet knyttes til høy planktonproduksjon, god rekruttering til fiskebestandene og høy individuell vekst for fisken, mens kalde perioder knyttes til det motsatte. Denne enkle sammenhengen har gitt grunnlag for Senter for marint miljøes langtidsprognoser for produksjonen av fisk i Barentshavet de siste årene. For at denne sammenhengen skal kunne tolkes på riktig måte, er det viktig å være klar over den funksjonelle sammenhengen mellom temperatursignalet og produktiviteten i fiskebestandene. Den positive effekten av høy temperatur på fiskeproduksjonen er nemlig knyttet til flere fysiske og biologiske faktorer som til sammen gir det gunstige resultatet. Når alle disse faktorene opptrer samtidig, blir resultatet spesielt gunstig. Hvis bare en eller noen av faktorene er til stede, er sannsynligheten for en vellykket fiskeproduksjon betydelig svekket.

La oss se litt nærmere på hvilke faktorer det er snakk om. Sjøtemperaturen har en direkte effekt på fiskebestandene, idet den virker direkte på omsetningsratene på de ulike leddene i den marine næringskjeden. F.eks. vil en økning i middeltemperaturen på 1 °C i Barentshavet gjøre den norsk-arktiske torskestammen i stand til å konsumere opp mot 1 mill tonn mer lodde i løpet av et år, noe som igjen vil bidra til økt individuell vekst og muligheten for økt eggproduksjon og rekruttering. Forutsetningen for en slik gunstig vekst er imidlertid at det finnes tilstrekkelige mengder lodde eller, at det finnes alternative byttedyr dersom loddebestanden er lav.

En indirekte effekt av høy sjøtemperatur er knyttet til innstrømningen av atlantisk vann fra Norskehavet inn i Barentshavet. I perioder med sterk innstrømning vil sjøtemperaturen øke fordi varmeinnholdet er større i det atlantiske vannet. Men det atlantiske vannet er ikke bare varmere, det er også vanligvis rikere på dyreplankton. Når innstrømningen til Barentshavet øker, vil følgelig importen av dyreplankton også øke. Dette vil igjen bidra til gode vekstbetingelser for larver og yngel så vel som for planktonspisende fiskearter som sild og lodde. Dette vil igjen føre til høyere produktivitet på høyere nivåer i næringskjeden, eksempelvis for torskebestanden. Hvis derimot innstrømningen av varmt atlantisk vann i hovedsak skjer tidlig på vinteren når dyreplankton befinner seg i overvintringsstadiet på store dyp i Norskehavet, vil økt innstrømning ikke ledsages av høy import av dyreplankton, og følgelig vil det ikke være noen sammenheng mellom mye dyreplankton og høy temperatur.

Følgelig er det flere forutsetninger som må oppfylles for at en høy temperatur skal gi god rekruttering og vekst i fiskebestandene. Helst burde man derfor ikke bare måle sjøtemperaturen rutinemessig men også innstrømningsaktiviteten. Dessuten bør dyreplanktonmengden i Norskehavet, som er kildeområdet for raudåte, i Barentshavet og på den norske kontinentalsokkelen, hvor fiskelarvene finnes, måles. Dette krever imidlertid større ressurser enn det vi har i dag. Vi kan imidlertid utnytte vår kunnskap om sammenhengene til å gjøre usikkerheten i prognosene for produksjonsgrunnlaget lavest mulig.

Klimavariasjoner og klimaendringer

Når man bruker temperaturen som et mål for innstrømningsaktiviteten til Barentshavet, er det ikke det absolutte temperaturnivå som er viktigst, men avviket fra en midlet temperatur. Hvilken middeltemperatur skal vi så bruke som grunnlag for å anslå avviket i innstrømningsaktivitet og avviket i transport av dyreplankton inn i Barentshavet? Bør det være et 100-årsmiddel, et 30-årsmiddel, et 10-årsmiddel eller et kortere middel? Temperatursvingningene i Barentshavet er sammensatt av flere komponenter med ulike frekvenser. Figur 6.17 viser årsmiddeltemperaturen i Kolasnittet i løpet av de siste 100 år. For å kunne se nærmere på de mer langperiodiske svingningene er dataserien

også behandlet med et 30-årsfilter (rød kurve i figuren under) og et 10-årsfilter (grønn kurve under). Kurven med 30-årsfilter viser klart at det har vært langperiodiske svingninger i det forrige århundret og at vi var gjennom en varm periode fra 1930 til 1960, men at den langperiodiske temperaturstigningen de siste 15 årene har vært større enn noen gang tidligere de siste 100 år.

Det synes å være en del forvirring rundt begrepene klimavariasjoner og klimaendring og hva som er naturlige og menneskeskapte svingninger i temperaturen. Derfor er det på sin plass å forklare disse to begrepene:

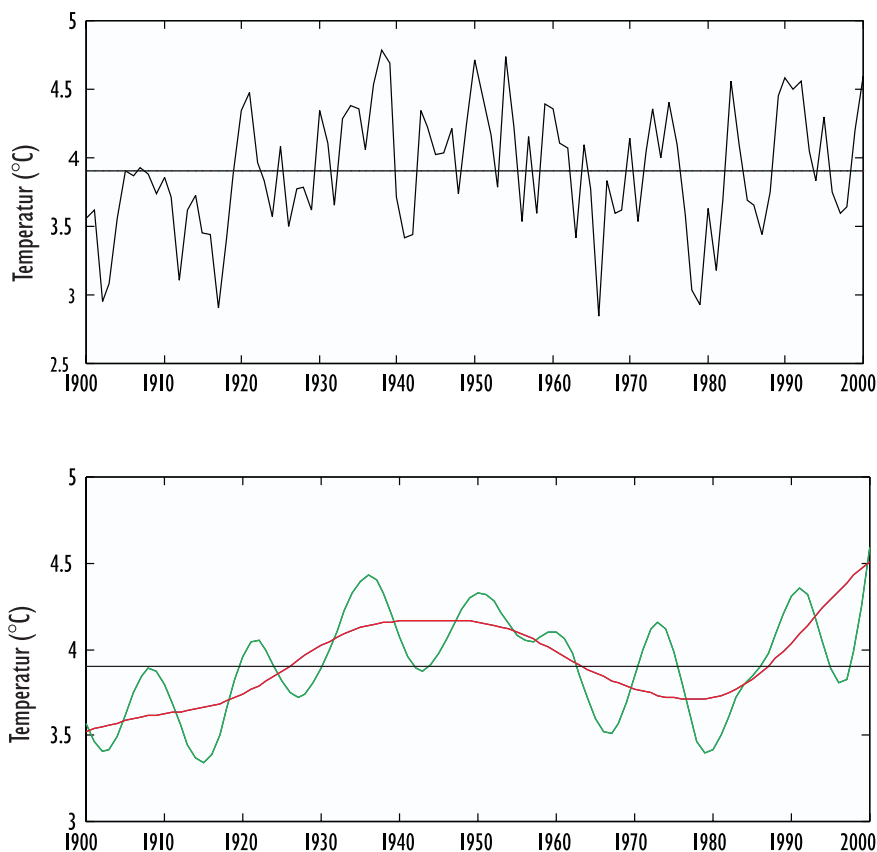
- Klimavariasjoner (climate variability) er naturlige fluktuasjoner, periodiske og ikke-periodiske svingninger.
- Klimaendring (climate change) blir tolket som

langtidstrender eller et permanent skifte i klimaregimet. Klimaendringer er knyttet til drivhus-effekten.

De naturlige klimavariasjonene er sammensatt av to hovedelementer: periodiske og ikke-periodiske svingninger. De første kan vi identifisere og bruke til å lage prognoser under forutsetning av at svingningene også vil fortsette i framtiden. De ikke-periodiske svingningene er å betrakte som uforutsigbar støy (i alle fall med dagens kunnskaper). Problemet er at denne støyen kan bli så kraftig at den i perioder dominerer de svingningene som observeres i klimasammenheng, f.eks. årsmiddelvariasjonene i øverste delen av Figur 6.17.

Er havet "varmt" eller "kaldt"?

Som nevnt over gir den røde kurven i Figur 6.17 en enkel og grei beskrivelse av hovedtrekkene i forrige århundrets temperatur. Fra lave verdier i begynnelsen



Figur 6.17 Den øverste delen viser årsmidler av temperaturen i Kolasnittet (se Figur 0.1) i perioden 1900-2000. I den nederste delen er temperaturen glattet over 30 år (rød kurve) og 10 år (grønn kurve). Den horisontale linjen i begge boksene viser middelet for hele perioden.
The upper panel shows the annual mean temperature in the Kola-section (see Figure 0.1). The lower panel shows the temperature after using 30 years filter (red curve) and 10 years filter (green curve). The horizontal line in both panels represents the long term average.

steg temperaturen til slutten av 30-årene, for så senere å falle til et minimum i midten av 60-årene. Senere har temperaturen steget jevnt på samme måte som i begynnelsen av det 20. århundre. Ut fra denne kurven kan det se ut som om vi er inne i en naturlig klimasvingning, og at det ikke er noen klimaendring på gang. Innen de neste 10-15 årene bør vi kunne dra en mye sikrere slutning. Fortsetter temperaturen å stige på samme måte, er nok klimaendringen et faktum. Flater kurven ut som den gjorde for 60 år siden, så er det tegn på at vi er inne i en naturlig klimasvingning.

Den svingende grønne kurven som representerer 10-årskomponenten følger alltid den langsiktige trenden som angis av den røde 30-årskomponenten. Samspillet mellom 10- og 30-årskomponentene demonstrerer på en utmerket måte hvordan temperatursvingningene knytter seg til gode og dårlige produksjonsforhold i Barentshavet.

Når temperaturen er økende, vet vi at der skjer

en forsterket innstrømning av varmt og planktonrikt vann fra Norskehavet til Barentshavet. Dette legger forholdene til rette for økt produksjon i Barentshavet. Våre observasjoner bekrefter også at de fleste arter i Barentshavet rekrutterer best i perioder der en raskt økende temperaturkurve nærmer seg en topp - altså når innstrømningen er på sitt høyeste.

Når temperaturkurven er synkende, spesielt når vi nærmer oss et temperaturminimum, vet vi at innstrømningen av varmt og næringsrikt vann går mot en lav verdi. Da er det liten sjanse for at det rekrutteres gode årsklasser.

Så tilbake til spørsmålet om vannet er varmt eller kaldt? Temperaturen er en særdeles viktig tilstandsstørrelse for havets biologi og fysikk. Denne artikkelen viser at det ikke bare er temperaturens absolutte verdi, altså hvor varmt eller kaldt vannet er, som gir oss viktig informasjon. Når det gjelder rekrutteringen i Barentshavet er det faktisk vel så viktig å vite hvordan temperaturen varierer.

I eit smalt belte langs kysten frå fjøra og ned til 20-30 m djup veks dei om lag 360 marine makroalgeartane i Noreg. Dei store brunalgene (tang og tare) dominerer. Nord- og sørgrensar for utbreiinga av makroalgene avheng av sjøtemperaturen, og langvarige endringar i sjøtemperaturen vil difor ha stor innverknad på artssamansetnad og mengde av makroalger. Ein auke i sjøtemperaturen til 18-20 °C om sommaren i dei ytre kystområda på Vestlandet vil t.d. bety at tareskogen kan bli kraftig redusert.

Brunalger, raudalger og grønalger utgjer til saman dei marine makroalgene. Langs kysten i tempererte havområde dominerer dei store brunalgene (tang- og tareartar) frå fjøra og ned til 20–30 m djup. I våre farvatn utgjer stortare, sukkertare og fingertare dei viktigaste og mest dominerande artane i sjøsona. I eigenskap av å vera store planter gir desse artane ein levestad for mange andre artar i kystsona, med skjuleplass til ei mengd med små dyr. Tareartane er også viktige som primærprodusentar i kystsona. Biomasseproduksjonen i øvre delen av tareskogen ligg på anslagsvis 1-2 kg tørrvekt per m² per år, og om lag 25 % av denne produksjonen består av karbon. Gjennom primærproduksjonen bind dermed tareskogen om lag 0.2-0.5 kg karbon per m² per år, medan primærproduksjonen til planteplankton i produktive kystområde normalt vil liggja på 0.1-0.2 kg karbon per m² per år.

Nordatlantiske tareartar

Stortare, fingertare og sukkertare er ved hjelp av molekylærbiologiske metodar datert til å vera om lag 15–19 mill. år gamle artar. Tare (familien Laminariales) har sannsynlegvis utvikla seg i den nordlege delen av Stillehavet. Sidan Beringsstredet framleis var stengt for 15 mill år sidan, er det sannsynleg at dei tre artane utvikla seg i det nordlege Stillehavet saman med andre tareartar, og først vandra inn i det nordlege Atlanterhavet då landbrua over Beringsstredet gradvis forsvann for 3.5 mill år sidan. I Stillehavet er stortare og fingertare no utdøydd, men ein finn framleis såkalla søsterartar, dvs. artar som liknar sterkt på dei nordatlantiske.

I Nord-Atlanteren har både stortare, fingertare og sukkertare klart seg bra. Imidlertid har det i lange periodar vore ulevelig både for alger og dyr

i dei nordlegaste områda. Frå om lag 2 mill til om lag 18 000 år sidan var desse områda dekkja av is i fleire periodar. Ein del marine artar døydde ut under istidene, men mange overlevde ved å migrera sørover. Under den siste nedisinga strekte isdekket seg lengst mot sør på den amerikanske sida av Atlanterhavet, og ein reknar med at mange fleire marine artar døydde ut her enn på den europeiske sida. Stortare veks no utelukkande på den europeiske sida av Atlanterhavet, truleg fordi stortare berre overlevde her under istidene og sidan ikkje har klart å rekolonisera den vestlege sida av Nord-Atlanteren.

Sjøtemperaturen bestemmer utbreiinga av tang og tare

Endringar i sjøtemperaturen under istidene førte altså med seg store endringar i utbreiinga til dei nordatlantiske makroalgene. Sjøtemperaturen er den viktigaste faktoren som bestemmer nord-sør utbreiinga til ulike artar av makroalger langs kontinenta. Artane er genetisk tilpassa ulike temperatur-regimer. Sjøtemperaturen set øvre og nedre grenser for kvar dei ulike artane kan overleva eller veksa, eller for reproduksjonen. Ein ser difor ofte at utbreiingsgrenser til artar fell saman med isolinjer for temperaturar i øvre del av sjøsona. Oftast representerer den gjennomsnittlege maksimumstemperaturen om sommaren eller minimumstemperaturen om vinteren ei temperaturgrense for utbreiinga av ulike makroalger.

I løpet av 90-talet har ein målt spesielt høge sjøtemperaturar i den austlege Nordatlanteren. Kva betyr slike temperatursvingingar i kystsona for tang og tare og andre makroalger? Små variasjonar i vinter- eller sommartemperaturar frå eitt år til eit anna vil normalt ikkje bety noko, medan meir langvarige periodar med varmare eller kaldare sjøvatn vil resultera i forflytningar av mange artar sine nord- eller sørgrensar langs kontinenta. Rundt midten av det forrige århundre var det ein periode med oppvarming av luft- og sjøtemperaturen i Nord-Atlanteren. Det vart då rapportert om ein del artar frå varm-tempererte strok som enten migrerte nordover eller vart meir vanlege i nordlegare område. I Noreg er artane tvebendel, flatt kjerringhår (Figur 6.18) og pollris nemnt spesielt som artar som migrerte nordover i denne perioden. Under den kaldare perioden etter 1950 vart det observert at ein del

nordlege tangartar trekte sørover langs kysten i Europa, deriblant gjelvtang (Figur 6.18).

Kva vil skje med utbreiinga til tang og tare og andre makroalger dersom vi no går inn i ein meir langvarig periode med høg sjøtemperatur? For algene avheng det av kor høg temperaturen blir, og om temperaturauken vil gje størst utslag på vinter- eller sommartemperaturane.

Effektar av høgare vintertemperatur

Nordgrensa til mange makroalger langs kysten av Europa skuldast at artane ikkje tolerer låge vintertemperaturar. Ein vesentleg auke i snitttemperaturen om vinteren langs kystane vil difor medføra at ei rekkje artar vil flytta sine nordgrenser vidare nordover. Dersom vi langs kysten av Vestlandet t.d. får ein auke i snitttemperaturen om vinteren på 3-4 °C, vil vi her kunna få innslag av ein del artar som no har nordgrensa si i Sør-England. Det er svært få artar (om nokon) som må ha svært låg

vintertemperatur for å overleva eller reprodusera, og høgare sjøtemperatur om vinteren vil dermed sannsynlegvis bety ein nettoimport av makroalgartar til Noreg.

Langs norskekysten fraktar Atlanterhavsstraumen relativt varmt vatn langt nordover, og vi finn difor eit stort innslag av sørlege makroalger langt mot nord. Det finn stad ei viss reduksjon i talet på artar langs kysten av Nordland, og nord for Vesterålen forsvinn så å seie alle makroalger som har nordgrensa si i Noreg. Dette fell saman med eit markert temperaturfall her. Høgare sjøtemperaturar i Nord-Noreg vil dermed resultera i at utbreiingsgrensa til nokre sørlege artar vil flytta seg endå lenger mot nord.

Effektar av høgare sommartemperatur

Dersom ein auke i sjøtemperaturen gjev seg utslag i høgare sommartemperaturar langs kysten av Europa, vil den sørlege utbreiingsgrensa til ei rekkje nordlege artar flytta seg lenger nordover langs kysten



Figur 6.18

Flatt kjerringhår er ein sørleg brunalge som kan bli meir utbreidd i Noreg hvis sjøtemperaturen stig. Gjelvtang er ein nordleg tangart som kan bli mindre utbreidd i Noreg hvis sjøtemperaturen stig.

Right: *Desmarestia ligulata*. A warm temperate species (Phaeophyta) which may become more abundant in Norway if the temperature rises in the sea. Left: *Fucus evanescens*. A cold temperate species (Phaeophyta) which may become less abundant in Norway if the temperature rises in the sea.

av Noreg. Det vil t.d. gjelda butare, som ikkje finst i Skagerrak fordi sommartemperaturen her overstig den fysiologiske tolegrensa til denne tarearten.

Ein svært høg auke i sommartemperaturar vil kunna ha konsekvensar også for førekkomsten av dei andre tareartane våre. Laboratorieforsøk har vist at stortare, fingertare og sukkertare kan overleva (i alle fall i ein periode) i 20 °C, men ikkje i 23 °C. Den øvre fysiologiske tolegrensa for desse artane går altså ved ein temperatur på mellom 20 og 23 °C. Ein trur at tolegrensar for temperaturar er svært konservative genetiske artstrekk hos dei fleste makroalger. Det betyr at tolegrensene til ein art ikkje kan endra seg stort gjennom genetisk tilpassing. Den sørlege grensa for både stortare, sukkertare og fingertare vil dermed til ei kvar tid gå om lag der den maksimale sommartemperaturen gjennomsnittleg er om lag 20 °C. Likevel vil sommartemperaturar på 18–20

°C ganske sikkert kunna påføra desse tareartane fysiologisk stress, og ein må rekna med at tettleiken deira vil bli redusert under slike temperaturvilkår. Dette var moglegvis tilfelle sommaren 1997. Då var det svært høge sjøtemperaturar i Sør-Noreg, og i august vart det på 8 m djup i dei ytre kystområda målt temperaturar på opp i 18 °C heilt nord til Bergen. Om hausten vart det meldt om uvanleg store mengder med ilanddriven stortare langs Jæren, og det er ikkje usannsynleg at den høge sommartemperaturen dette året resulterte i stor dødeligheit av tare. Dersom ei eventuell klimaendring skulle visa seg å medføra ein auka frekvens av somrar med høg sjøtemperatur langs kysten, vil det sannsynlegvis resultera i periodar med reduserte førekomstar av tare i Sør-Noreg. Det vil igjen ha konsekvensar for primærproduksjonen i tareskogen, for artsmangfaldet av assosierte fylgjeartar, og sjølvsagt også for taretrålinga som næring.

Ifølge klimamodellene er vi på vei mot en fremtid med endret klima. Havets temperatur forventes å stige. De som er interessert i kystens planter og dyr vil gjerne vite hvordan den marine flora og fauna vil endres når sjøklimate endrer seg. Før vi kan svare på dette må vi se litt på hvilke og hvor mange marine arter som finnes langs kysten, hvordan disse artene kan grupperes basert på deres utbredelse, og hvordan endringer i plante- og dyrelivet kan oppdages.

Hvor mange arter marine planter og dyr finnes i norske farvann?

Vi kjenner ikke svaret. Vi har ingen landsomfattende oversikt over de planktoniske arter. For en del av de bunnlevende arter har vi imidlertid gode tall. De artene vi kjenner best er de større bunnlevende arter som det finnes ca. 4000 av i våre farvann. De vi kjenner dårligst er de virkelig små bunnlevende artene (mindre enn 1 mm) og de fleste parasittiske artene. Det finnes muligens mellom 4000 og 6000 små bunnlevende arter i norske farvann, og vi antar at antallet parasittiske arter er minst dobbelt så stort som antallet av de øvrige arter. Det totale antall marine arter ved norskekysten er da kanskje mer enn 30 000.

Litt biogeografi

Verdens hav er delt i en rekke biogeografiske områder. Hvert område er karakterisert ved sjøområdets temperaturforhold og de karakteristiske artene som lever der – oftest store alger, bunndyr og fisk. Biogeografisk sett er de norske farvann inndelt i den arktiske region (Svalbard) og den boreale (kaldtempererte) region (Norge). Regionene er store og i praksis deles de derfor videre inn i underregioner som igjen deles i provinser.

Endring i arters utbredelse

En viktig forutsetning for å kunne påvise endringer i løpet av en valgt tidsperiode er at man kjenner artenes utbredelse ved periodens start. Slik kunnskap har vi ikke for Norge. Det finnes en oversikt over utbredelsen til marine bunnlevende makroorganismer som brun-, grønn- og rødalger, sjøgress, virvelløse dyr og fisk i Norge, til sammen 3950 arter (Brattegard og Holthe fra 1997). Brattegard og Holthes oversikt er basert på registreringer av arters

forekomst langs norskekysten i over mer enn 150 år. En bieffekt av oversikten er at den avslører at store deler av kysten er svært dårlig undersøkt. De best undersøkte områdene ligger nær våre universiteter, dvs. i Oslofjorden, rundt Bergen, Trondheimsfjorden og i nærheten av Tromsø.

Fire utbredelsesgrupper og tre faunaområder

I den nevnte oversikten ble alle undersøkte arter klassifisert slik at man senere kan studere hvordan arter forflytter seg ut av og inn i valgte områder på kysten. Hver art ble gruppert i en av fire utbredelsesgrupper basert på det man visste om artens utbredelse i 1997. Gruppene er som følger:

- 1) Sørlege arter som også finnes sør for Norge og som har sin nordgrense et sted på norskekysten.
- 2) Vidt utbredte arter som finnes langs hele norskekysten og også sør og nord for norskekysten.
- 3) Nordlige arter som finnes nord for Norge (f.eks. Barentshavet, Svalbard) og som har sørlig utbredelsesgrense et sted på norskekysten.
- 4) Arter med ukjent utbredelse, ofte arter som bare er funnet ett eller få steder slik at vi ikke kjenner deres egentlige utbredelse.

På grunnlag av utbredelsen til et utvalg av vel 2000 av de best kjente artene, kan norskekysten deles inn i tre faunaområder:

- 1) Subprovins Skagerrak fra svenskegrensen til Egersundområdet.
- 2) Subprovins Vest-Norge fra Egersund til Lopp-havet/Sørøya i Vest-Finnmark.
- 3) Subprovins Finnmark til den norsk-russiske grense.

Effekten av historiske klimavariasjoner

Den gang den store iskappen dekket Fennoskandia fantes det knapt noe liv langs vår kyst. Da iskappkanten begynte å trekke seg tilbake, kom det først kaldtvannsarter inn mot kysten og senere, da sjøen ble varmere, kom arter til fra sør. De aller fleste av de

nåværende artene langs norskekysten har antagelig levd her i tusener av år selv om sjøtemperaturen har variert. Faktisk må sjøen periodevis ha vært behagelig varm langt mot nord, for vi vet at det har levd østers så langt mot nord som ved Bjarkøy nær Harstad.

Mulige endringer i norskekystens marine fauna som følge av klimaendringer

Dersom sjøtemperaturen stiger, kan følgende endringer skje:

- 1) Fremmede arter fra sør kommer nordover til oss og blir "norske" sørlige arter.
- 2) Sørlige arter ved norskekysten trenger lenger nordover norskekysten og kanskje nordover mot Svalbard og østover i Barentshavet.
- 3) Nordlige arter ved norskekysten forsvinner ved at sydgrensene forflyttes til områder nord for Norge.
- 4) Relative mengdeforhold mellom arter i områder kan endres.
- 5) Økosystem, begrenset f.eks. til en fjord, endres ved at arter som tidligere bare hadde biroller i økosystemet overtar hovedroller.

Vi kan si noe om de to første mulighetene, mens vi mangler data for å kunne si noe konkret om de tre siste mulighetene.

Nye arter

Minst 75 nye arter fra forskjellige grupper er registrert siden 1997. Mangebørstemark og svamper dominerer. For begge gruppene har det skjedd revisjoner av slekter og arter (nye beskrivelser basert på nye metoder), og noen "gamle" arter er blitt delt i to eller flere arter. Det er en av grunnene til at vi ikke kjenner det nøyaktige antallet arter. De nye funnene ble gjort langs hele kysten unntatt områdene ved Kristiansand, i Sør-Troms, i Porsangerfjorden og nordlige Varangerhalvøya. Flest funn er gjort i Rogaland/Hordaland, Møre og Romsdal/Sør-Trøndelag og Nord-Troms/Vest-Finnmark. En ubeskrevet rødalge som også er kjent fra sørligere strøk, holder på å etablere seg langs Sør-Norge. Den synes å overta for flere eksisterende rødalger og er allerede blitt dominerende flere steder.

Nye grenser

Blant artene med sørlig utbredelse har 126 arter

fått ny nordgrense på norskekysten, mens ni av disse også har fått sin grense flyttet østover langs Sørlandskysten. Ca. 70 sørlige arter er blitt påvist for første gang ved Svalbard de siste fem årene. Siden vi ikke har noen systematisk nasjonal overvåkning av faunaen i Norge, vet vi ikke om noen av de nordlige artene fra oversikten i 1997 har trukket seg nordover og bort fra norskekysten, dvs. forsvunnet ut av vår fauna.

Endret artssammensetning?

Spørsmål om det relative mengdeforhold mellom artene er i endring har vi ikke gode nok data for å besvare. Vi må forenkle spørsmålet og spørre om det er registrert endringer i de relative forhold mellom sørlige arter, vidt utbredte arter, og nordlige arter i forskjellige områder på kysten. Vi har brukbare data for mangebørsteormer (*Polychaeta*) og muslinger (*Bivalvia*). Mangebørsteormer er en artsrik gruppe med over 600 arter i Norge, men artenes utbredelse er relativt dårlig kjent. Muslingene er en gruppe med ca. 200 arter i Norge, og deres utbredelse er bedre kjent enn polychaetenes utbredelse. Forutsatt at det ikke har foregått en endring i artssammensetningen av disse gruppene i forhold til vår valgte standard fra 1997, kan vi anta at sørlige arter vil bli funnet i samme relative forhold som de andre utbredelsestypene.

Tallene i Tabell 6.1 tyder på at det er i ferd med å bli relativt flere sørlige arter blant polychaeter og muslinger i disse områdene. Det kan tolkes som at en faunaendring kanskje er på gang.

Artsidentifisering

Hvis vi konsenterer oss om enkeltarter, er det lettere å registrere forandringer i utbredelse. Da er det viktig at man kan identifisere dyrene riktig. Noen av de artene som kan endre sin utbredelse er kjent av de fleste, men for å identifisere de mindre kjente artene trengs god litteratur med bilder eller figurer og beskrivelser.

Eksempler på lettkjennelige arter

Vi skal gi noen eksempler på lett gjenkjennelige arter som snart kan ventes å bli observert lenger nord.

Strandkrabbe og albuskjell

I tidevannssonen lever strandkrabbe (*Carcinus maenas*) og albuskjell (*Patella vulgata*). Begge arter kjemper mot lave sommertemperaturer i Troms og Vest-Finnmark. Blir sjøens overflatelag varmere, vil

Tabell 6.1 Mangebørsteormer og muslinger fra Arendal-området (Ar), Hordaland (Ho), Tromsø-området (Tø) og Varanger (Va). De beskrevne endringene har skjedd frem til og med 2000 i forhold til utbredelsen beskrevet av Brattegard og Holthe (1997).
Polychaeta and Bivalvia from Arendal (Ar), Hordaland (Ho), Tromsø (Tø) and Varanger (Va). Changes in the composition of Polychaeta and Bivalvia since Brattegard and Holthe (1997) until and including 2000.

	Ar	Ho	Tø	Va
Mangebørsteormer				
økning i antall sørlige arter	16	24	51	13
% økning i antall sørlige arter	8.8	12.4	92.7	216.7
% økning av sørlige arter i forhold til alle polychaeter i sektoren	1.7	13.3	11.7	5.1
Muslinger				
økning i antall sørlige arter	2	5	6	2
% økning i antall sørlige arter	1.9	4.5	12.5	100
% økning av sørlige arter i forhold til alle muslinger i sektoren	0.4	0.9	2.9	2.5

disse sannsynligvis forflytte sin grense mot Øst-Finnmark.

Taskekrabbe og hummer

På relativt grunt vann er taskekrabbe (*Cancer pagurus*) og hummer (*Homarus gammarus*) (Figur 6.19) godt kjent fra Sør-Norge. Det er gjort enkelte funn av begge arter så langt nord som til Troms, men de kan bli vanligere og trekke lenger nordover dersom minimums bunnvannstemperatur blir over 5-6 °C.

Eremittkreps og sjørose

Eremittkrepsen (*Pagurus prideaux*) lever i symbiose med en sjørose (*Adamsia palliata*) på grunt vann (Figur 6.19). Disse to artene er kjent fra strekningen Kristiansand til nordlige Nordland. De kan ventes å utvide sitt område dels østover langs Sørlandskysten og dels nordover.

Gruntvannsfisk

Noen gruntvannsfiskearter er i ferd med å utvide sin utbredelse langs norskekysten. Tangkvabbe (*Lipophrys pholis*) er nå kjent fra strekningen Rogaland–Agdenes (Trondheimsfjorden), liten fløyfisk (*Callionymus reticulatus*) er påvist mellom Sogn og Trondheimsfjorden, brungylt (*Acantholabrus palloni*) er foreløpig kjent nord til Nordmøre, berggylt (*Labrus bergylta*) går nord til Trondheimsfjorden, og blåstål og rødnebb (*Labrus bimaculatus*) til Helgeland. Opplysninger om funn av disse artene lenger nord mottas med takk.

Dyr på større dyp

Fra større dyp skal vi bare nevne en art. Sjøfjæren *Funiculina quadrangularis*, også kalt stor piperenser etter utseendet, er et bløtkoralldyr med en opptil 1.7 m lang skjelettstav med firkantet tverrsnitt. Den fanges vanligvis i rekestrål fra Sør-Trøndelag og sydover. Det kan godt tenkes at arten nå finnes lenger nord, og vi håper at rekefiskere som fisker lenger nord kan se etter den og melde fra om funn.

Ikke bare temperatur

Ikke alle funn av fremmede arter kan forklares som følge av endring i sjøtemperatur. Vi har nevnt tidligere at deler av kysten er relativt dårlig undersøkt. Det betyr at mange arter som vi tror er nye for landet kan ha vært her tidligere, men er blitt oversett.

Arter kan komme til Norge med skip som påvekst på skipsbunn eller i ballastvann.

Bevisst import til landet for oppdrett ved utsetting i sjøen (f.eks. muslingen *Ruditapes philippinarum*) forekommer. Vi har også eksempel på at levende individer av amerikansk hummer som var tenkt som restaurantmat, er blitt dumpet i sjøen og ser nå ut til å ha etablert seg i Oslofjorden (se Havets miljø 2000).

Arter som er avhengige av helt spesielle miljø vil først kunne etablere seg når slike miljøer er etablert. Et eksempel er miljøet rundt oppdrettsanlegg. I år

vil det bli publisert en beskrivelse av en ny art snegl funnet ved to oppdrettsanlegg på Vestlandet. Disse sneglenes nærmeste slektninger finnes på dypt vann i Middelhavet.

Konklusjonen blir at de mange funn og registreringer av arter som er gjort etter 1997 tyder på at en rekke fremmede bunnlevende arter nå har kommet inn i vår fauna, og at det sannsynligvis skjer en

utvidelse av mange arters utbredelse nordover. Slike endringer i den marine flora og fauna vil kunne influere på forekomst, utbredelse og mengder av de arter som hittil har vært direkte eller indirekte viktige for fiske, fangst og oppdrett. Dette kan på sikt skape uønskede effekter. Det er derfor gode grunner til å sette i gang en systematisk overvåkning av flora og fauna på særskilt utvalgte steder langs norskekysten.



Foto hummer: Eva Farestveit



Foto erimittkreps: Vidar Wennevik

Figur 6.19

Hummer og erimittkrepsen *Pagurus prideaux* er begge arter som kan komme til å utvide sitt leveområde nordover hvis det blir varmere. Erimittkrepsen, som nå lever mellom Kristiansand og Nordland, ventes også å vandre østover langs Sørlandskysten.

*A rise in temperature may expand the distribution range of both the lobster (*Homarus gammarus*) and the hermit crab *Pagurus prideaux*. The hermit crab, whose present habitat extends between Kristiansand and Nordland, can also move eastwards along the southern coast of Norway under milder climatic conditions.*

***Lophelia*-korallrev kan vise seg å inneholde svært detaljert informasjon om temperaturforholdene i Atlanterhavet i de siste 8500 år. Analyser av mengdeforholdet mellom to bestemte oksygenisotoper i *Lophelia pertusas* vekstsoner kan i prinsippet bestemme temperaturen den gangen skjelettet ble dannet, med en nøyaktighet på 0.5 °C. Problemet er at mengdeforholdet mellom de to isotopene ikke utelukkende bestemmes av havtemperaturen. Variasjoner i korallens veksthastighet spiller også inn. Mer forskning må til for å skille mellom effekten av vekstrate og temperatur.**

Temperaturindikatorer

For å dokumentere klimaendringer er det viktig å kjenne klimaets forhistorie. Detaljerte temperaturdata basert på direkte temperaturmålinger finnes bare for de siste 100 år. For å finne ut hvordan temperaturen varierte i tidligere tider må det benyttes indirekte metoder. Det eksisterer en rekke indirekte metoder som kan angi forhistoriske temperaturer. På land har f.eks. årringsanalyser av trær vist seg å kunne beskrive temperaturen og dens variasjoner 11 000 år tilbake i tid.

I havet er man på leting etter bedre metoder som kan spore temperaturvariasjonene langt bakover i tid. Bruk av isotopforholdet i korallskjeletter er en ny interessant mulighet. En isotop er en spesialutgave av et grunnstoff. Alle atomkjerner i et gitt grunnstoff inneholder et bestemt antall positivt ladde protoner. Men i kjernen finnes også neutroner som har samme masse som protonene, men ingen elektrisk ladning. De fleste grunnstoffer kan forekomme i flere varianter med ulikt antall neutroner i kjernen. Variantene kalles isotoper. Neutronallet har vanligvis minimal virkning på grunnstoffets kjemiske egenskaper, men det finnes enkelte prosesser der neutronallet gir sporbare utslag. Dette kan utnyttes i klimaforskningen.

Gjennom undersøkelser av kiselalger, foraminiferer (encellede dyr), steinkoraller og muslinger, er det kommet frem at mengdeforholdet mellom to stabile oksygenisotoper i kalkskallet avhenger av temperaturen i vannet den gang skallet ble dannet. Spesielt er det gode muligheter til å studere klimavariasjoner ved

hjelp av havorganismer som danner årlige vekstbånd. Her er funnet signifikant samghørende variasjoner i temperatur, isotopsammensetning og vekstbånd i koraller og muslinger. Analyser av korallskjelett kan derved brukes til å rekonstruere temperaturvariasjoner og geologiske prosesser som skjedde i havet for mer enn 100 000 år siden.

I de norske havområder er data om tidligere klimavariasjoner en mangelvare. Ved å kombinere isotopdateringer med studier av vekstlinjer og stabile oksygenisotoper kan kanskje de nyoppdagede *Lophelia*-korallene (Figur 6.20) gi oss mulighet til å analysere detaljerte temperaturserier fra forhistorisk tid. Foruten å fortelle oss hvordan temperaturen varierte på korallenes voksested for tusener av år siden, kan korallene kanskje også gi oss informasjon om fortidens havstrømmer.

Vekst og revstruktur hos *Lophelia pertusa*

Lophelia pertusa finnes over store deler av verden, men det ser ut til at dens hovedutbredelse er i Nordøst-Atlanteren. I våre farvann lever *Lophelia* hovedsakelig på dyp mellom 100 og 400 m i vann med en temperatur mellom 4 og 9 °C og en saltholdighet over 32. Korallen danner rev som er opptil 32 m høye og flere hundre meter lange. På Sularyggen er det funnet et revkompleks som er ca. 15 km langt.

Skjelettveksten foregår ved knoppskyting fra korallbegerets kant. Etter hvert som korallene dør, danner de døde skjelettrestene underlag for nye individer. Over tid blir mengden døde koraller så stor at det dannes et korallrev med levende koraller øverst. Ekkolodd viser at revene består av et lag døde koraller som dekker naturlige forhøyninger på havbunnen. Dette laget synes å være opptil 15 m tykt i våre farvann. De eldste *Lophelia*-skjelettene i Norge er ca. 8600 år gamle og er funnet 2 m ned i bunnen ved foten av et rev på Sularyggen.

På overflaten av et slikt rev finner vi levende kolonier som kan bli opptil ca. 2 m høye og ca. 4 m brede. Polyppene lever bare i de ytterste 10-20 cm av koloniene. Resten består av nakent og dødt korallskjelett. *Lophelia*-revene vokser svært sakte. Den gjennomsnittlige lengdevæksten av korallgrenene



Figur 6.20 Skjelett og polypper av *Lophelia pertusa* fotografert i akvarium.
Skeleton and polyps of *Lophelia pertusa* photographed in aquarium.

ser ut til å ligge på rundt 6 mm pr år. Med denne voksehastigheten vil en 2 m høy koloni være rundt 300 år gammel.

Boresvamper huler ut og svekker de døde korallgrenene. Derfor vil skjelettene etter hvert sige sammen og bli kraftig komprimert. Høyden på et rev er derfor mye lavere enn hva veksten av grenene skulle tilsi. Et rev som er 8000 år gammelt og 10 m tykt har gjennomsnittlig økt høyden med 1.3 mm per år. Når en korallkoloni blir stor og tung, kan den revne og ramle nedover langs revsiden. Derfor finner man ofte bruddstykker av levende kolonier helt ned til foten av revet. Slike biter dør etter en stund, men etter hvert som området bygges opp fra slike døde korallblokker dannes det underlag for nye, levende kolonier. Slik vokser også revene horisontalt.

Som følge av den naturlige oppbrekkingen av korallkolonier, er det vanskelig å finne gamle skjelettbitar som dekker en periode lengre enn ca. 30 år. Hver enkelt korallbit representerer derfor bare et lite "vindu" til fortidens havklima, der informasjon om fortidens sesongmessige temperaturvariasjoner ligger lagret innenfor årlige vekstbånd.

Skjellettdannelse og isotopfraksjonering

Korallskjelettet består av kalsiumkarbonat. Det

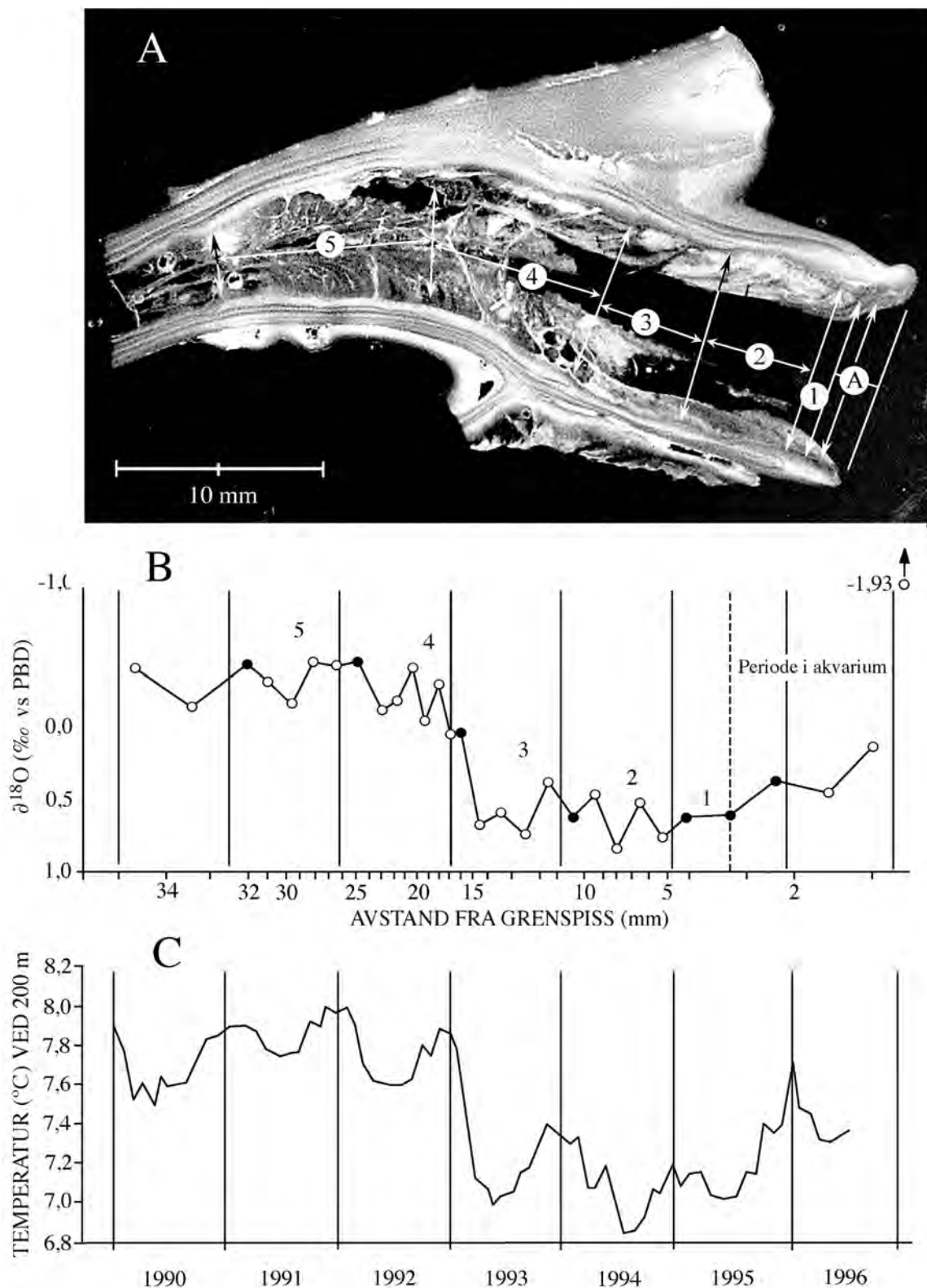
dannes av kalsium som finnes i vannet og karbondioksyd som finnes både i vannet og i maten den spiser. Oksygenet i karbondioksidet inneholder flere ulike isotoper. Når det dannes et skjelett tas ikke oksygenisotopene ^{18}O og ^{16}O opp i like store mengder. Mengdeforholdet i skjelettet avhenger både av temperaturen og reaksjonshastigheten (voksehastigheten).

Sammensetningen av oksygenisotoper i marine karbonater avgjøres av utvekslingshastigheten av ^{18}O og ^{16}O mellom vann og karbonat. Denne reaksjonen er temperaturavhengig. Økt temperatur gir økt andel av ^{16}O . $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -forholdet betegnes som standard δ notasjon ($\delta^{18}\text{O}$), hvor positive verdier indikerer anrikning av den tyngre isotopen (^{16}O).

Beskrivelse av vekstbånd

For å kunne avgjøre hvorvidt vekstbåndene i et gitt korallskjelett representerte årringer, ble forholdet mellom oksygenisotopene ^{18}O og ^{16}O sammenliknet med vekstbåndmønstre langs transekter gjennom skjelettet. Analysene ble gjort på koraller fra Rødberg i Trondheimsfjorden. Korallene ble holdt i akvarium i 18 måneder før analysene.

Soner, eller bånd, er synlige som parallelle linjer selv ved lav forstørrelsesgrad (Figur 6.21). I meget tynne snitt ble det funnet tydelige mønstre med tykke og tynne linjer i både tverrsnitt og lengdesnitt



Figur 6.21

A) Fotografi av en lengdesnittet *Lophelia pertusa*-korallgren fra Trondheimsfjorden. B) Sammensetningen av oksygenisotoper ($\delta^{18}\text{O}$) på langs av skelettet. Prøver fra markerte vekstlinjer er angitt med fylte sirkler. C) Temperatur målt på 200 m dyp (data fra Trondhjem Marinbiologiske Stasjon).

A) Photography of a longitudinal section of a *Lophelia pertusa* corallite from Trondheimsfjorden. B) Composition of oxygen isotopes ($\delta^{18}\text{O}$) along a longitudinal section of the corallite. The samples of pronounced growth lines are indicated with a filled circle. C) Measured temperatures at 200 m depth.

av skjelettgrenene. Mellom de tykke linjene ble det observert 9-15 tynne linjer. Et sett med mange tynne linjer og en tykk kalles et vekstbånd. I lengdesnittene fremsto sonene som tunger mot enden av korallbegrene, adskilt med gjennomsnittlig 5.5 mm fra tungespiss til tungespiss. Hva som forårsaker de fine linjene er ikke klarlagt. En mulighet er at de dannes som følge av variasjoner i tidevannet.

Oksygenisotopsammensetning og temperatur

Oksygenisotopanalyser kan oppdage temperaturforskjeller ned til ca. 0.5 °C. Resultatene indikerte at sonene i skjelettet er korrelert med temperatursvingninger. Mønsteret på kurven over oksygenisotopsammensetning tilsvarte tydelig mønsteret for temperaturvariasjoner i de siste seks årene. Det tilsvarte helt presist antallet kraftige linjer i skjelettet (Figur 6.21). Et sterkt temperaturfall i vannet, som ga et lett synlig utslag i isotopsammensetningen, ble brukt som "tidsmarkør". Plasseringen av markerte vekstlinjer i forhold til isotopverdier og sjøtemperatur indikerte at disse spesielle linjene dannes en gang mellom januar og mars. Avstanden mellom endene av de fortløpende vekstbånd er et indirekte mål for årlig lengdevekst. I dette studiet var avstandene i gjennomsnitt 5.5 mm per år.

Sammenhengen mellom oksygenisotopforholdet og temperatur var ikke helt entydig. Variasjonen i $\delta^{18}\text{O}$ var 3.5 ganger høyere enn hva man kunne forvente ut ifra temperaturvariasjonene på voksestedet. Likevel viste $\delta^{18}\text{O}$ kurven et mønster som var svært likt temperaturkurven. Dette sammenfallet kan skyldes at det enten eksisterer en direkte sammenheng mellom vekstrate og temperatur, eller at det foreligger andre vekstfaktorer som også varierer med temperaturen. $\delta^{18}\text{O}$ ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) var positivt og lineært korrelert med $\delta^{13}\text{C}$ ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$). Ifølge andre forskere indikerer et positivt forholdstall at veksthastigheten er viktigere

enn temperaturen for sammensetningen av oksygenisotoper. Denne antakelsen understøttes ved at også $\delta^{18}\text{O}$ var positivt og lineært korrelert med lengden mellom endene av vekstbånd (Figur 6.22).

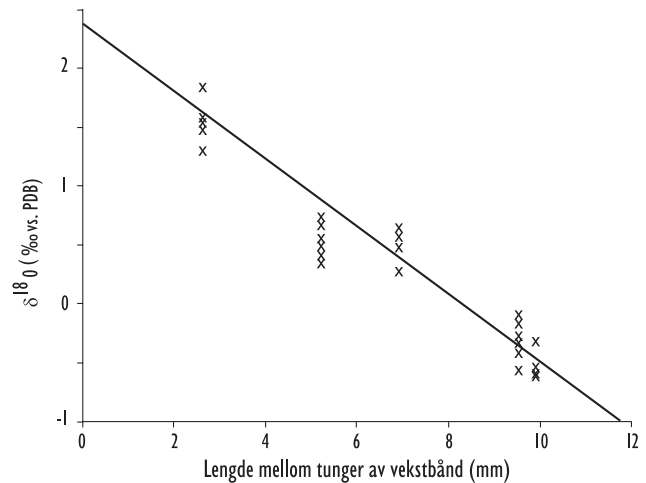


Fig. 6.22

Forholdet mellom $\delta^{18}\text{O}$ og avstand mellom vekstbåndtunger.

The relationship between $\delta^{18}\text{O}$ and the length of linear extension intervals.

Studier av isotopforholdet hos tropiske koraller har vist at der eksisterer en god korrelasjon mellom $\delta^{18}\text{O}$ og temperatur. Hos kaldtvannskorallene derimot, er $\delta^{18}\text{O}$ i større grad bestemt av veksthastigheten. Korrelasjonen er derfor svakere. Det arbeides nå med å utvikle metodikk som kan rendyrke den temperavhengige komponenten i $\delta^{18}\text{O}$. Ved å justere $\delta^{18}\text{O}$ -verdiene etter lengdevekst målt i skjelettet, kan *Lophelia* vise seg å inneholde svært detaljert informasjon over temperaturforholdene i Atlanterhavet for de siste 8500 år.

Kursk-ulykken. Hvor vil en eventuell radioaktiv forurensning havne?

Lars Asplin, Lars Føyn og Paul Budgell

Havariet av atomubåten "Kursk" aktualiserte problemstillingene om radioaktiv forurensning og mulig virkninger i det marine miljø og på fiskeressursene. Undersøkelser av cesium-137-nivået i fisk fra Barentshavet etter havariet viser meget lave verdier sammenlignet med innholdet i fisk under atombombesprenningene på begynnelsen av 60-tallet. Modellberegninger av hvor et eventuelt kontaminert vann fra den havarerte ubåten vil havne, viser at transporten er nord og østover i Barentshavet og dermed ut av viktige fiskeriområder.

Den 12. august 2000 sank den russiske atomdrevne undervannsbåten "Kursk" øst i Barentshavet som

følge av en eksplosjon om bord. Trass i iherdige redningsforsøk der blant annet norske fartøy deltok, omkom hele mannskapet på 118 russiske sjøfolk. Vraket av "Kursk" ligger nå på 108 m dyp ca. 250 km fra Norge. I ettertid knytter oppmerksomheten seg først og fremst til mulighetene for radioaktiv lekkasje og spredning av radioaktive komponenter til fiskerike havområder. Et typisk trusselbilde er at all fisk i Barentshavet kan bli forurenset av radioaktivitet fra "Kursk".

Norske myndigheter er i dag svært opptatt av at alle forhold rundt havariet blir tilstrekkelig dokumentert og at alle mulige konsekvenser blir analysert. I denne sammenhengen er Havforsknings-

SKIPET SOM SANK



"Kursk" er en såkalt Oscar klasse II angrepsubåt. Den er 154 m lang og veier 14 000 tonn.

To trykkvannsreaktorer som utvikler rundt 90 000 hestekrefter, gir ubåten en fart på mellom 30-35 knop under vann.

Ubåter av Oscar klassen kan bringe med seg opp til 24 kjernefysiske raketter. Den russiske marine har opplyst at alle atomreaktorene i "Kursk" ble nedstengt som følge av havariet og at "Kursk" ikke hadde atomvåpen ombord.



Bildene er gjengitt med tillatelse fra Kursk Foundation.

instituttets kompetanse på radioaktivitet og radioaktiv spredning i vann trukket inn. I særlig grad har Havforskningsinstituttets transportmodeller vist seg egnet til å beskrive hvordan eventuelt forurenset vann fra “Kursk” vil spre seg i Barentshavet.

Muligheten for radioaktiv lekkasje fra “Kursk”

De fryktede radioaktive spaltingsproduktene befinner seg i skipets trykkvannsreaktorer. Trykkvannsreaktorerne ligger imidlertid i en godt skjermet seksjon av ubåten som er konstruert for både å beskytte mannskapet mot stråling og for å kunne stå imot angrep på ubåten. Kjølssystemet for reaktorene består av en indre lukket kjølekrets og en ytre åpen kjølekrets. Det er bare brudd på den indre kjølekretsen som kan føre til at radioaktivt materiale fra reaktorene kan slippe ut i havet. Den umiddelbare fare for lekkasje er derfor liten. Skulle det likevel oppstå et brudd i den indre kjølekretsen frykter man særlig spaltningsproduktene radioaktivt cesium og strontium fordi disse kan tas opp av organismer i havet.

Cesium tas opp i fiskens muskelvev og strontium i fiskens beinvev. I denne forbindelse er det viktig å understreke at i det marine miljø vil opptak av disse elementene være vesentlig mindre enn for eksempel i ferskvannsfisk og i dyr på land som sau og reinsdyr. Målinger i fisk foretatt av Havforskningsinstituttet på sekstitallet under atombombesprenningene over det østlige Barentshav, viste gjennomsnittsverdier (< 100 Bq/kg) langt under tiltaksgrensen på 600 Bq/kg for matvarer satt for kostholdsrestriksjoner som følge av Tsjernobyl-ulykken. Målinger av cesium-137 i fisk fra Barentshavet i dag viser at innholdet er under 1 Bq/kg (se Figur 6.23).

Under alle redningsoperasjoner der norske bergingskip var med, deltok personell fra Statens strålevern. Ved hjelp av måleutstyr fra Havforskningsinstituttet samlet Statens strålevern inn prøver av vann og sedimenter helt inntil ubåten. Dykkere tok i tillegg vannprøver fra ubåtens indre. Analyser av de innsamlete prøvene viste at det ikke hadde lekket radioaktivt materiale fra “Kursk” som følge av havariet.

Radioaktiv spredning

Både cesium og strontium foreligger i ioneform og vil derfor spres med vannmassene som et vanlig salt. Imidlertid vil disse komponentene også binde seg til fine partikler i vannet slik at de etter hvert vil sedimentere. Plutonium er en annen viktig kompo-

nent som kan tilføres sjøen fra reaktorene dersom disse kommer i direkte kontakt med vannet omkring ubåten. Plutoniumet vil ikke spres på samme måten som cesium og strontium, men vil i hovedsak kunne finnes i sedimentene i en viss omkrets av ubåten, fortrinnsvis i strømrretningen.

Hvordan vil eventuelt forurenset vann fra “Kursk” spre seg?

Oppløste forurensninger følger strømmen. Hovedtrekkene for strømmen i Barentshavet fremgår av Figur 0.2. Grovt sett sender strømsystemet varmt og salt atlantehavsvann inn i Barentshavet mellom Fugløya og Bjørnøya. Det innkommende vannet passerer “Kursk” i østlig retning og dreier deretter mot nordøst ved Novaja Semlja. Siden driver atlantehavsvannet videre mot Polhavet.

Lav middelhastighet

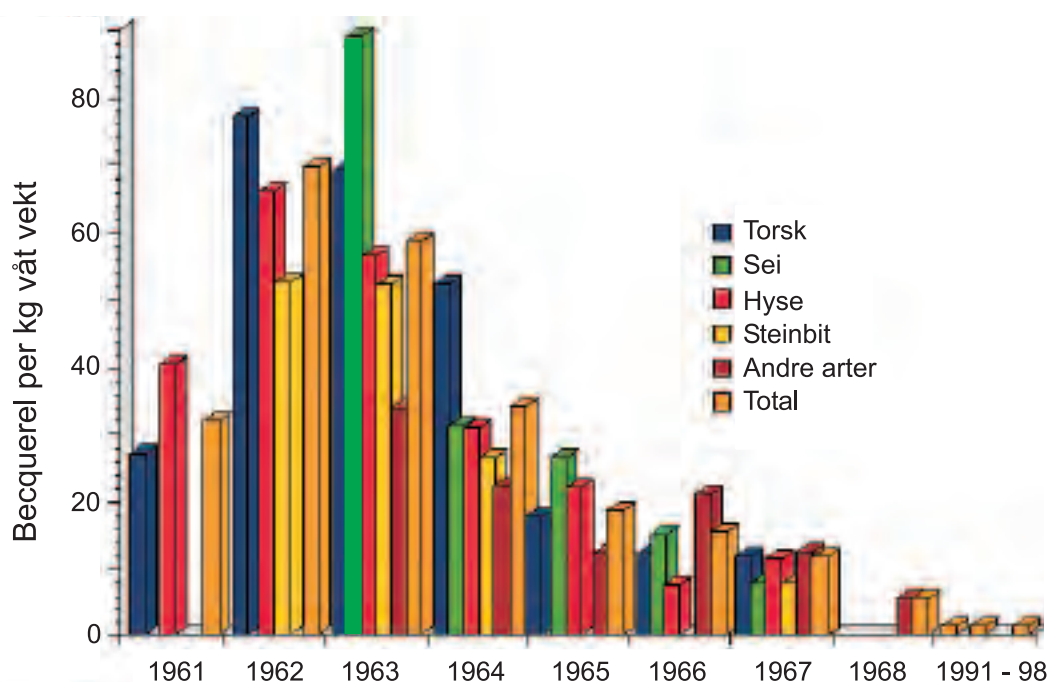
I gjennomsnitt forflytter atlantehavsvannet seg svært langsomt gjennom Barentshavet. Nettohastigheten er ikke mer enn noen få cm/s – dvs. rundt 10-20 km/uke. Det oppstår imidlertid store lokale strømhastigheter med virveldannelser på grunn av vind og tidevann. Disse lokale omrøringene øker spredningen vesentlig. For å beskrive spredningen er det derfor nødvendig å analysere effekten av de viktige drivkreftene vind og tidevann.

Sterk og varierende vind

Vinden i Barentshavet er preget av stor variabilitet både i styrke og retning. I løpet av få timer kan vinden skifte fra bris til orkan og tilbake til bris igjen. Neste gang det blåser opp kan vindretningen være helt forskjellig fra forrige gang. De skiftende vindkreftene medfører at vannet drives fram og tilbake i tilfeldige retninger med stor hastighet.

Kraftig tidevann

På grunn av lokale forhold vil tidevannsbølgene som følger jordrotasjonen gi varierende vannstandsforandring fra sted til sted. I Barentshavet oppstår de høyeste tidevannsbølgene langs kysten av Norge og Russland. I området der “Kursk” sank varierer vannstanden med 2-3 m. De tilhørende tidevannsstrømmene vil typisk oppnå hastigheter rundt 25-30 cm per sekund. Siden tidevannsstrømmene er langt sterkere enn barentshavsvannets middelhastighet, vil strømmen i Barentshavet stort sett skifte retning hver 12. time. Det betyr at vannmassene vil forflytte seg noen få kilometer fram og tilbake for hver tidevannsperiode. Tidevannet vil ikke bidra vesentlig til havets netto vanntransport. Først og fremst bidrar



Figur 6.23 Radioaktivitetsinnholdet i fisk fra Barentshavet, målt som total beta minus kalium-40 frem til 1968 og som cesium-137 fra 1991 og til i dag.
Total mean beta-activity minus potassium-40 measured in various fish species from the Barents Sea. Data from 1991 until today given as cesium-137.

tidevannet i Barentshavet til å blande vannmassene, og i vår sammenheng også til å fortynne konsentrasjonen av eventuelle forurensningskomponenter i vannet.

Strømmåling gjennom modellkjøring

Havforskningsinstituttet benytter i stigende grad tre-dimensjonale numeriske, matematiske beregningsmodeller. Slike modeller kan brukes til å simulere sirkulasjon av vannmasser i havet i et tenkt matematisk hav som er gjort mest mulig "identisk" til det virkelige havet. Modellene har en oppløsning i rom på 20 x 20 km horisontalt og 20 nivåer vertikalt. Kjøring av modellene forutsetter ekstremt tunge beregninger som kun kan utføres på såkalte super-datamaskiner. For å finne drift og spredning av et eventuelt utslipp fra "Kursk" har Havforskningsinstituttets modellgruppe gjennomført en simulering av driften til de aktuelle vannmassene.

En troverdig modell må alltid initialiseres med realistiske startdata og mest mulig oppdaterte drivende krefter. I drivkreftene for den aktuelle beregningsmodellen inngår først og fremst vind, tidevann og elveavrenning. For å gjøre vindfeltet realistisk blir det satt inn nye vinddata fra Meteorologisk Institutt hver 6. time. Kjøringen skjedde på delvis HI-eid super-datamaskin som fysisk befinner seg på Parallab ved Universitetet i Bergen.

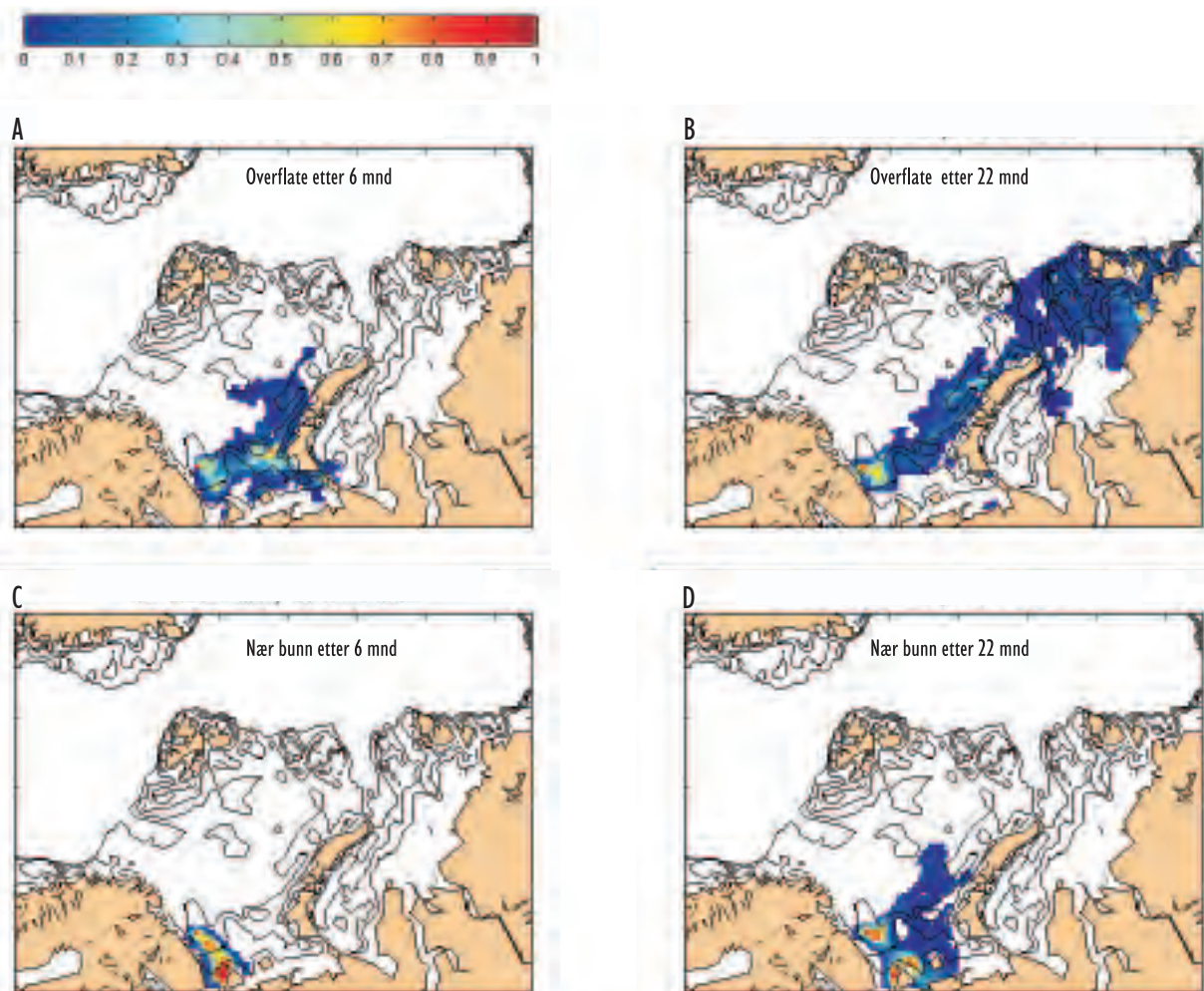
Modellen i arbeid

Modellens første oppgave var å simulere hvilke vannmasser som har vært i umiddelbar kontakt med "Kursk" (dvs. innenfor den 20 x 20 km ruten i modellgitteret der "Kursk" ligger) heretter kalt "Kurskvann". Spredningen av "Kurskvannet" er basert på et simulert strømfelt fra begynnelsen av august 1997. Beregningen vil derfor bare representere et generelt, men likevel sannsynlig spredningsmønster.

Resultatene er vist i Figur 6.24. Fortynningsgraden er rangert på en skala fra 0 til 1. "0" betegner vannmasser som aldri har vært i kontakt med "Kursk", mens verdien "1" angir at alt vannet i den aktuelle vannmassen har vært i kontakt med "Kursk" minst en gang (men ikke nødvendigvis samtidig).

I overflaten, seks måneder etter et tenkt utslipp, er "Kurskvannet" både blitt fortynnet og spredt i østlig og nordlig retning. De høyeste konsentrasjonene finner vi nær "Kursk", men det er også høye konsentrasjoner nær den sørvestlige delen av Novaja Semlja. "Kurskvannet" nærmest bunnen har etter 6 måneder spredt seg litt østover.

Etter 22 måneder har "Kurskvannet" i overflaten nådd inn i Karahavet og delvis i Polhavet. Generelt blir de opprinnelige vannmassene kraftig fortynnet



Figur 6.24 A og B. Konsentrasjon av "Kurskvann" i overflaten 6 og 22 måneder etter utslipp. C og D. Konsentrasjon av "Kurskvann" nær bunnen 6 og 22 måneder etter utslipp. A and B. The distribution of surface water from the "Kursk"-location after 6 and 22 months. C and D. The distribution of bottom water from the "Kursk"-location after 6 and 22 months.

etter hvert som de spres lenger og lenger vekk fra "Kursk". En del av "Kurskvannet" nærmest bunnen har nå spredt seg mot nord. Størstedelen av vannet ligger imidlertid fortsatt inn mot den sørøstre delen av Barentshavet.

Konklusjon

Resultatene fra den matematiske modelleringen viser at "Kurskvannet" (dvs. vannmasser som minst en gang har vært i kontakt med "Kursk") generelt vil bli spredt mot den østre delen av Barentshavet og samtidig bli fortennet. Litt av overflatevannet vil trenge inn inn i Karahavet og Polhavet. Disse resultatene samsvarer med det vi ellers vet om sirkulasjonen i Barentshavet. Det er derfor grunn til å anta at den faktiske spredningen av forurenset vann fra "Kursk" etter et reelt utslipp vil stemme

bra med denne beregnede spredningen.

Data fra våre modellberegninger, sammen med Havforskningsinstituttets alltid oppdaterte kunnskap om fiskebestandenes konsentrasjoner og bevegelser, gjør det mulig å beregne hvor stor del av et radioaktivt utslipp som vil bli tatt opp av en aktuell fiskebestand i et gitt område. I samarbeid med Statens strålevern som disponerer en modell for doseberegninger, vil det være mulig å beregne hvor store stråledoser konsum av en gitt mengde fisk fra et gitt fiskefelt vil tilføre konsumenten. Dersom utslipp av radioaktivitet fra "Kursk" noen gang blir en realitet, vil slike beregninger bli gjennomført for både å informere befolkning og media og samtidig sikre at ingen potensielt skadelige fiskefangster slipper ut på markedet.

Fiskeoppdrett blir ofte omtalt som framtidens næring, men dersom vi ønsker ei stor oppdrettsnæring må vi også godta at næringen påvirker miljøet. Kunsten er å finne ut hvilke og hvor store miljøbelastninger næringen representerer og enes om hva samfunnet kan tillate.

Oppdrettsnæringen tok for alvor av i begynnelsen av 80-årene. Til tross for mange tilbakeslag har produksjonen økt jevnt og trutt siden starten. Nå er fiskeoppdrett en effektiv og industrialisert næring som i fjor produserte omkring 460 000 tonn laks og regnbueørret. Startperioden var vanskelig med mye prøving og feiling. Smittsomme sykdommer skapte problemer, og medisinerbruken ble til tider svært høy. Anleggene var underdimensjonerte, mye fisk rømte, og mange anlegg ble plassert i grunne, strømsvake bukter som ble forurenset.

Det er derfor ikke rart at fiskeoppdrett opprinnelig ble oppfattet som miljøskadelig. Dette er en oppfatning som næringen fremdeles sliter med. Oppdrettsnæringen var i det hele tatt inne i en kritisk periode på 80-tallet. Dette inspirerte til stor innsats innen offentlig forskning og forvaltning og innen næringen selv. I dag ser vi resultatet av ny kunnskap, effektive helsetiltak, påkrevde reguleringer, forbedret føring og forbedret drift. Vi har fått en bedre og mer moderne næring som i økende grad tar miljøet på alvor. Det betyr ikke at alle miljøproblemer er løst, men nå arbeides det i alle fall systematisk og målrettet med sikte på å løse miljøproblemene etter hvert som de defineres.

Miljømål for norsk havbruk

I 1993 tok SFT sammen med fiskeri-, veterinær- og helsemyndighetene initiativ til å utarbeide miljømål for havbruksnæringen. Det ble definert langsiktige miljømål og kortsiktige resultatmål for fem problemområder: rømming, sykdom, legemidler, kjemikalier og organisk stoff. Myndighetene har fortløpende vurdert framgangen i forhold til disse miljømålene, og resultatene publiseres i egne rapporter. Etter hvert som målene ble nådd oppsto det behov for revisjoner, og nye miljømål kom i 1999.

Miljømålene representerer milepæler, ikke bare for arbeidet med å styre miljøvirkningene fra fiskeoppdrett, men også for norsk miljøforvaltning generelt. Miljø-

målene konkretiserte oppgavene som måtte løses, ga arbeidet legitimitet og lettet innføringen av reguleringer.

Et av områdene der man har nådd langt gjelder virkninger av organisk stoff. Et kortsiktig miljømål i 1993 var at grenseverdiene for maksimalt tillatt miljøpåvirkning fra organisk stoff skulle låses i 1994. Det langsiktige var at resipientpåvirkningen skulle ligge under disse verdiene. I 1999 definerte man som et langsiktig mål at tilførsler av organisk stoff fra oppdrettsanlegg ikke skal forårsake uakseptable miljøeffekter verken lokalt eller regionalt. De kortsiktige mål ble definert som følgende:

- Systemet MOM skal sammen med nasjonale standarder for miljøundersøkelser danne grunnlaget for miljøovervåking av matfiskanlegg.
- Alle godkjente lokaliteter for oppdrett av laks og ørret skal innen år 2000 være klassifisert på bakgrunn av nasjonale standarder.
- Ingen matfiskanlegg kan drives på lokaliteter som er uakseptable.
- Hensynet til miljøvirkninger og resipientkapasitet skal tillegges stor vekt ved lokalitet godkjenning av nye anlegg.

MOM-prosjektet

MOM er allerede nevnt i forbindelse med miljømålene. MOM står for Matfiskanlegg – Overvåking – Modellering, og betegner et samarbeidsprosjekt mellom flere institusjoner som Havforskningsinstituttet initierte den gang de kortsiktige miljømålene ble utarbeidet. Hovedmålet for MOM var å utvikle et styringssystem som kunne beregne maksimal produksjon i oppdrettsanlegg ut fra lokalitetens bæreevne. Bæreevnen er definert som den største belastningen en lokalitet kan utsettes for over lang tid uten at bunndyrene forsvinner.

For å regulere påvirkningen effektivt må vi kunne kontrollere påvirkningen og samtidig forutsi virkningene av det vi gjør. MOM består derfor både av et overvåkningsprogram som avpasser overvåkingen etter hvor påvirket området er, og av en matematisk modell som kan beregne hvor mye fisk som kan

produseres på en lokalitet. Systemet er bygd opp av selvstendige av moduler som kan skiftes ut uavhengig av hverandre dersom nye kunnskaper, nye bestemmelser eller en ny situasjon gjør det nødvendig. Utskiftninger av moduler kan f.eks. bli nødvendig dersom utslipp av næringsstoffer blir så stort at hovedoppgaven blir å forebygge algeoppblomstring.

To begreper er sentrale i MOM: utnyttelsesgrad og overvåkningsnivå. Utnyttelsesgraden angir størrelsen av påvirkningen fra et gitt anlegg i forhold til lokalitetens bæreevne. Overvåkningsnivået er et mål for hvor omfattende overvåkning som må til for å sikre at grenseverdiene for påvirkning ikke overskrides.

MOM skiller mellom fire utnyttelsesgrader. Grad 1 betyr at påvirkningen er liten i forhold til bæreevnen, og grad 4 betyr at lokaliteten er overbelastet. For de tre laveste utnyttelsesgradene finnes det et tilsvarende påbudt overvåkningsnivå (Tabell 6.2). Dersom en lokalitet viser seg å være overbelastet, må belastningen reduseres.

Overvåkningsprogrammet

Et oppdrettsanlegg påvirker omgivelsene på mange forskjellige måter. Noen av disse påvirkningene er viktige, mens andre har mindre betydning. For å kunne avgjøre hva som skal overvåkes, bruker MOM disse kriteriene:

- Summen av parametrene (måledataene) som inngår i modellen skal være relevante både for miljøet utenfor og for fisken inne i anleggene.
- Parametrene skal kunne måles med standard analysemetoder. De skal kunne skilles fra bakgrunnsverdiene. Dataene skal være representative for påvirkningen over lengre tid, og ikke bare i det øyeblikket prøvene blir tatt.

- Parametrene skal danne grunnlag for objektive, kunnskapsbaserte miljøstandarder.
- Parametrene skal kunne overvåkes på en kosteffektiv måte.

Overvåkningsprogrammet legger hovedvekten på forholdene i sedimentene under og omkring oppdrettsanleggene (Figur 6.25). Det er satt sammen av tre undersøkelser, A, B og C.

A-undersøkelsen er en enkel måling av sedimentasjonsraten ved bunnen under anleggene, og avslører først og fremst høye belastninger. A-undersøkelsen er særlig nyttig i kombinasjon med B-undersøkelsen. Den er frivillig og kan utføres av oppdretteren selv.

B-undersøkelsen er en trendovervåkning av bunnforholdene under og nær et oppdrettsanlegg. Undersøkelsesfrekvensen skal økes med økende belastning (Tabell 6.2) slik at utviklingen kan følges nøye og utløse regulerende tiltak dersom forholdene utvikler seg utilfredsstillende. Skillet mellom akseptabel og uakseptabel påvirkning går som tidligere nevnt der bunndyrene forsvinner. B-undersøkelsen omfatter tre grupper av sedimentparametre:

- Gruppe 1 Forekomst eller fravær av fauna.
- Gruppe 2 pH og redokspotensial.
- Gruppe 3 Sensoriske sedimentparametre som gassbobler, lukt, konsistens, farge, volum av prøve og tykkelse av avsatt slam fra anlegget.

Verdiene for hver enkelt parameter gir poeng avhengig av hvor påvirket sedimentet er. Jo mer påvirkning, jo høyere poengsum. Miljøtilstanden på anleggets lokalitet beregnes på grunnlag av data fra disse tre gruppene. Det er Fiskeridirektoratet som

Tabell 6.2 Frekvens for A- og B-undersøkelser for ulike lokalitetstilstander. Lokalitetstilstand 4 betyr at forholdene er uakseptable. *Frequency of A- and B-investigations at different degree of exploitations. Condition 4 means that the site is overexploited.*

Lokalitetstilstand	Overvåkningsnivå	
	A-undersøkelse	B-undersøkelse
1 Lite påvirket	hver 3. måned	hvert 2. år
2 Middels påvirket	hver 2. måned	hvert år
3 Mye påvirket	hver måned	hver 6. måned
4 Overbelastet		evt. utvidet B-undersøkelse



Figur 6.25

Prøvene fra oppdrettsanlegg tas med lett utstyr og analyseres på stedet. Resultatene fra overvåkningen er derfor klare med det samme.

The samples from the fish farms are collected by light equipment and analysed immediately. The results of the monitoring are therefore available at once.

fastsetter kvalifikasjonskravene for personell med myndighet til å gjennomføre en B-undersøkelse.

C-undersøkelsen kartlegger bunntilstanden fra anlegget og utover i resipienten. Den viktigste del av *C-undersøkelsen* er en kvantitativ undersøkelse av bunndyrsamfunnet. I tillegg kommer målinger som kan brukes til å fastslå om en gitt belastning skrives seg fra oppdrettsanlegget. *C-undersøkelsen* kan bare utføres av spesialister i bunndyrundersøkelser, og gjennomføres normalt etter pålegg fra Fylkesmannen.

Basert på overvåkingsprogrammet i MOM har Norsk Allmennstandardisering utarbeidet en norsk standard for overvåking av oppdrettsanlegg, (NS 9410, "Miljøovervåking av marine matfiskanlegg"). Denne følges nå frivillig av mange oppdrettere.

Ulike påvirkningsområder

Utslippene fra oppdrettsanlegg består av store partikler som synker raskt (spillfôr og hele ekskrementer), svevepartikler (fôrstøv og knuste ekskrementer) og oppløste stoffer (næringsalter, organiske forbindelser osv.). Disse utslippstypene har forskjellig spredningsevne, og vil følgelig påvirke vannmassene og bunnen ulikt. I nærområdet rundt et oppdrettsanlegg danner det seg derfor områder med karakteristiske påvirkninger. Disse områdene kaller vi soner. Det benyttes forskjellige miljøstandarder i de ulike sonene (Tabell 6.3).

Beregning av miljøpåvirkning

For å kunne forutsi miljøpåvirkningen av et gitt oppdrettsanlegg på en gitt lokalitet, har MOM utviklet en matematisk beregningsmodell. Arbeidet er gjort av

Tabell 6.3 Oversikt over soneinndeling i NS 9410. Tabellen beskriver påvirkningskilde og potensiell påvirkning, samt hvilke undersøkelser som inngår i overvåkingen og hvilke miljøstandarder som brukes. The zonation used in NS 9410. The table describes the source and the potential of each impact as well as the investigations included in the monitoring programme and the types of environmental quality standards employed.

	Nærsonen	Overgangssonen	Fjernsonen
Definisjon	Område under og nær et anlegg der det meste av spillfôret sedimenterer. Denne strekker seg normalt ikke mer enn 15 m fra anlegget.	Området mellom nærsone og fjernsone der mindre partikler sedimenterer.	Området utenfor overgangssonen.
Påvirkningskilde	Oppdrettsanlegget.	Oppdrettsanlegget er hovedpåvirker, men andre kilder kan ha betydning.	Oppdrettsanlegg er en av flere kilder.
Potensiell påvirkning	Store endringer i bunndyrsamfunn og kjemiske forhold i bunnen. Begroing av installasjoner, redusert oksygeninnhold i merdene.	Gradvis mindre påvirkning.	Økt næringssaltinnhold, økt primærproduksjon og økt oksygenforbruk i dypvannet.
Overvåkningsundersøkelse	Primært A og B	Primært C	Primært C
Miljøstandard	Grenseverdier gitt i NS 9410.	SFT: "Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann".	SFT: "Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann".

Anders Stigebrandt, Universitetet i Göteborg. Modellen kan kjøres på en vanlig Windows-basert PC.

Modellen består av flere delmodeller (Figur 6.26) og har i hovedsak tre anvendelsesområder:

- 1) Beregning av utslipp av organisk materiale, næringssalter og oksygenforbruk i et oppdrettsanlegg.
- 2) Beregning av miljøpåvirkningen i nærsonen og i resipienten rundt et gitt oppdrettsanlegg.
- 3) Beregning av hvordan et oppdrettsanlegg kan drives uten at lokaliteten og resipienten overbelastes.

Fiskemodellen kan beregne utslipp av fosfor, nitrogen, organisk materiale og oksygenforbruk ut fra fiskebestanden i et anlegg med utgangspunkt i fôrets

sammensetning og fiskens omsetning av organisk materiale og energi. Tilvekst for laks og ørret kan også beregnes.

Vannkvalitetsmodellen beregner konsentrasjonen av oksygen og ammonium inne i merdene. Den kan også brukes til å optimalisere driften og å gi fisken gode vekstvilkår.

Spredningsmodellen beregner spredning og sedimentering av fôrspill og fekalier fra anlegget som funksjon av dybde, strøm, synkehastighet og anleggets utforming.

Sedimentmodellen beregner bunnens bæreevne med hensyn til organisk belastning som funksjon av bunnstrøm og oksygeninnhold i bunnvannet.

Fjordmodellen beregner miljøeffekten av matfiskanlegg i fjorder og terskelbasseng.

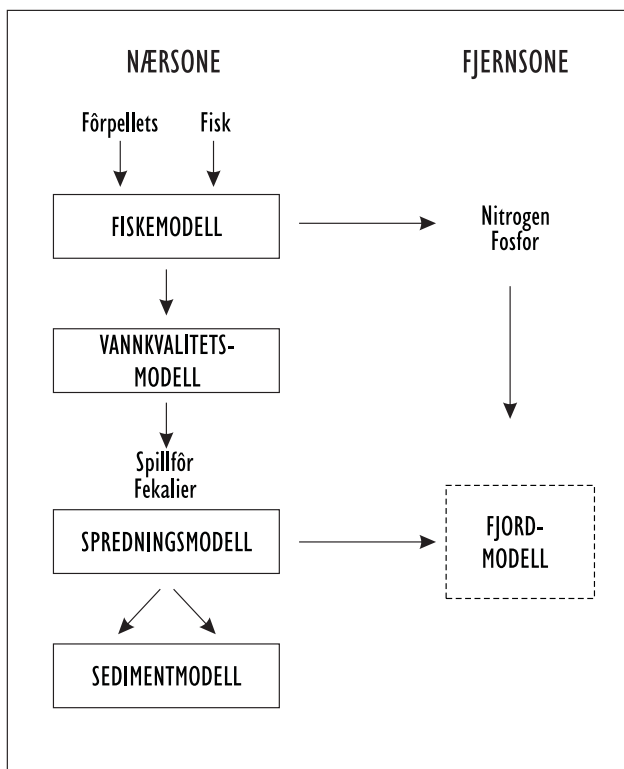
Samlet kan disse modellene bestemme hvor mye fisk det er mulig å produsere på en lokalitet uten at lokaliteten blir overbelastet, og vise hvordan anlegget vil påvirke nærområdenes miljøforhold. Modellen er også egnet til å sammenligne alternative lokaliteter.

Hvordan MOM kan brukes

På anlegg som er i drift gjennomføres det først en B-undersøkelse. Resultatene vurderes i forhold til miljøstandardene. Utnyttelsesgrad og overvåkningsnivået fastsettes (Figur 6.27). Anlegget forblir i dette fastsatte overvåkningsnivået inntil seinere undersøkelser eventuelt medfører overføring til et annet

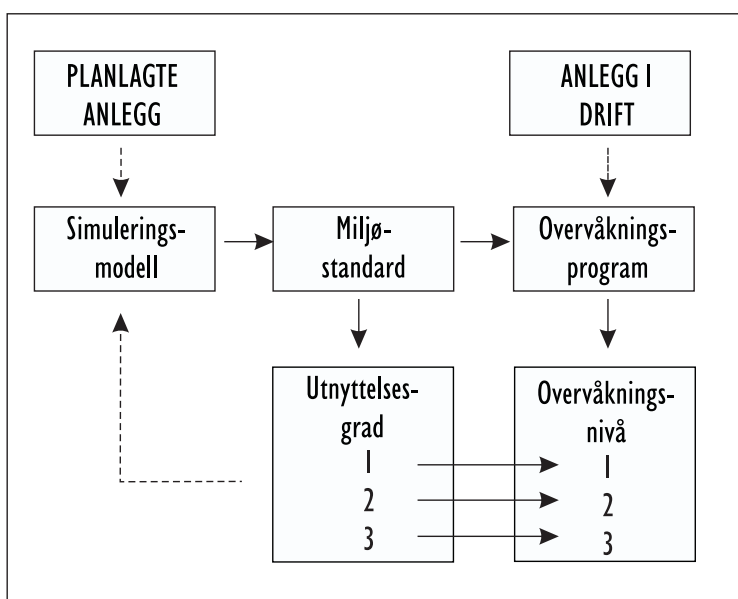
nivå. Vekslingen mellom undersøkelse, vurdering og fastsettelse av videre undersøkelse er selve ryggraden i MOM.

Dersom oppdretteren ønsker å endre sitt driftsopplegg eller sin produksjon, kan han bruke MOM-modellen til å beregne hvordan de planlagte endringene vil virke på miljøet. For nye anlegg kan modellen også beregne hvor stor produksjon lokaliteten maksimalt vil tåle. Et foreløpig overvåkningsnivå kan så fastsettes. Seinere vurderes overvåkningsnivået fortløpende slik som forklart ovenfor.



Figur 6.26
Skjematisk oversikt over delmodeller og oppbygging av den lokale MOM-modellen.

Schematic overview of the modules and the structure of the local MOM-model.



Figur 6.27
Oversikt over virkemåten av MOM. Utnyttelsesgraden fastsettes først på grunnlag av innledende undersøkelser eller simulering, og justeres seinere på grunnlag av resultatene av overvåkingen.

Flow diagram showing the application of MOM. The degree of exploitation is first determined on the basis of a preliminary survey or simulation. This is later adjusted according to the results of the monitoring.

Det ukjente Norge. Ny metodikk oppdager nye korallrev

Terje Thorsnes*, Jan Helge Fosså og Kjell Olsen*, *NGU •Sjøkartverket

Bruk av multistråle-ekkolodd er en meget god metodikk til kartlegging av havbunnen. Vi viser her hvordan man kan bruke dette hjelpemiddelet til å oppdage ukjente korallrev. Metoden har et stort potensial til å effektivisere kartleggingen av både topografi og naturressurser på den norske kontinentalsokkelen. Behovet for kartlegging er stort. Norske kyst- og havområder er blant de dårligst kartlagte i Europa.

April 1999 – kartleggingsfartøyet “Sjømåleren” går ut fra Sandnessjøen etter å ha fått installert nytt flerstråle-ekkolodd. Planen er å gjennomføre et 5-dagers testtokt. Statens kartverk Sjøkartverket, som eier fartøyet, har invitert Norges geologiske undersøkelser (NGU) til å delta under toktet, slik at det kan samles inn data av vitenskapelig interesse samtidig som det nye loddet testes (Figur 6.28). På tross av dårlig vær settes kursen rett vestover, ut Trænadjupet og ut mot Vøringplatået inntil signalene blir for svake ved 800 m vanddyb. Deretter settes kursen innover igjen, og kjente korallrev og rasstrukturer i Trænadjupet kartlegges med detaljerte dybde data og seismikk. Siste etappe av toktet utføres i et område 100 km rett vest av Sandnessjøen. Geologene ønsker å få mer opplysning om en svær hesteskoformet rygg som ble dannet av isbreer som krysset sokkelen for mer enn 10 000 år siden (Figur 6.29). Ryggen, som fiskerne kaller Hesteskoen på grunn av formen, er opptil 100 meter høy og mer enn 10 km bred. Kartleggingen går raskt, og området, som er på over 100 kvadratkilometer, dekkes av detaljerte dybde målinger på mindre enn ett døgn.

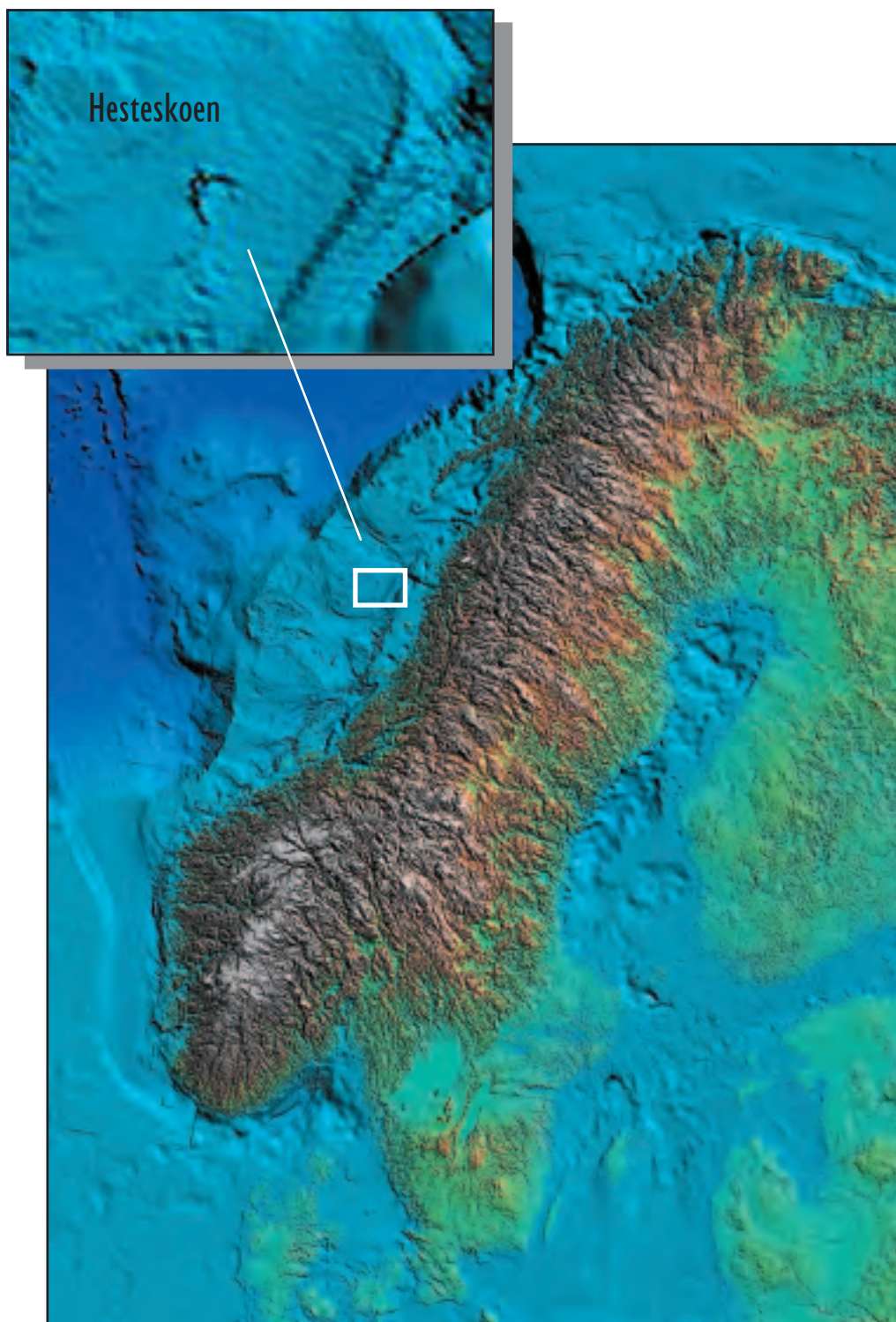
August 1999 – geologene ved NGU har fått de prosesserte dybde dataene fra Sjøkartverket, og studerer ryggen. Sett rett ovenfra er hesteskoformen tydelig, og i de grunneste partiene ser man tydelig dype furer i overflaten der gigantiske isfjell skurte bunnen for 10 000 år siden (Figur 6.30). Disse isfjellene drev rundt i Norskehavet etter at isen hadde trukket seg tilbake fra sokkelen. Geologene blir lei av å se alt rett ovenfra, og lager tredimensjonale modeller av ryggen. Modellene overdrives i høyderetningen,



Figur 6.28 Kartleggingen ble foretatt av Sjøkartverkets “Sjømåleren”. Det ble brukt et flerstråle-ekkolodd som sender ut mer enn 100 stråler samtidig. Dette gir et meget detaljert og flatedekkende bilde av havbunnen. Et vanlig “fiskelodd” bruker bare en stråle.

Mapping of the Horseshoe was undertaken by “Sjømåleren” of the Hydrographical Survey of Norway using a multibeam echosounder. The echosounder uses more than 100 beams simultaneously. The result is a very detailed map of the sea floor.

og snurres rundt i alle himmelretninger. Plutselig oppdager geologene noen høyst uvanlige strukturer. Strukturene er søyleformede og høye som 10-etasjers boligblokker (Figur 6.31). Noe slikt har ingen sett før, og de kan ikke ha blitt dannet av isbreer. Søylene opptrer på flankene av ryggen. På toppen og på de omgivende, flate mudderslettene fins ingen tilsvarende strukturer. Lett forvirring inntil man begynner å tenke på Sularyggen og korallrevformasjonene der. Også på Sularyggen har Sjøkartverket samlet inn detaljerte dybde data i løpet av våren. Likheten mellom søylestrukturene på Sularyggen som er bekreftet som korallrev, og strukturene på



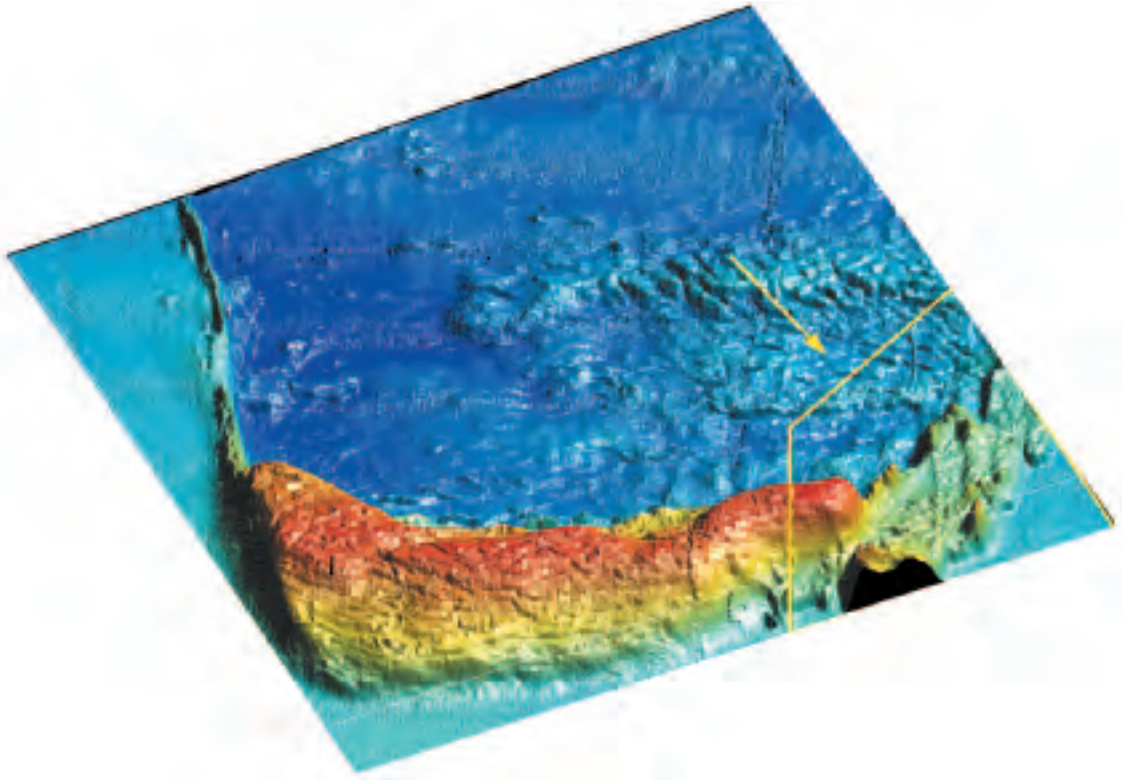
Figur 6.29
Hestesko-formasjonen ligger på den norske kontinentalsokkelen vest for Sandnessjøen på 300 m dyp.

The Horseshoe is situated on the Norwegian continental shelf at 300 m depth.

Hesteskoen er slående. Men – ingen har noensinne rapportert om korallrev på Hesteskoen. Fiskerne har tross alt kjennskap til svært mye i Norskehavet, og har tidligere meldt om flere hundre korallrev fra andre steder. Havforskningsinstituttet synes dette er interessant og vil på sitt neste tokt bruke kamera for å undersøke strukturene.

Juli 2000 – Havforskningsinstituttet er på tokt i Norskehavet med forskningsfartøyet F/F “Johan

Hjort”. Formålet med toktet er å kartlegge forekomsten av korallrev og å undersøke tilstanden til revene. Derfor passer det meget bra å studere de gåtefulle strukturene på Hesteskoen. En rigg med videokamera senkes ned på flere av de søyleformede strukturene, og man finner dypvannskoraller av typen *Lophelia pertusa* og forskjellige sjøtrær på nesten alle stedene man går ned med kamera (Figur 6.32). Det er foreløpig usikkert hvor stor del av toppene som er bygget opp av koraller og hvor mye som er morenemateriale.



Figur 6.30

Oversiktsbilde av Hesteskoen som er en 10 km lang og 100 m høy morenerygg skjøvet opp av isen for mer enn 10 000 år siden. De blå områdene er havbunnen rundt Hesteskoen som er gul og rød. Furene på toppen (det røde området) er pløyemerker etter gigantiske isfjell som drev omkring i havet på den tiden iskappen som dekket Skandinavia hadde trukket seg tilbake fra midtnorsk sokkel. Det avmerkede området er forstørret i Figur 6.31 og sett fra pilens retning.

Map of the 10 km long and 100 m high Horseshoe. This morainic feature was dug up by the ice more than 10 000 years ago. The sea floor surrounding the yellow and red Horse-shoe is blue. The furrows at the top (the red area) are plough marks from gigantic icebergs which were drifting around when the ice cover had retreated from the shelf area. The marked area is blown up in Figure 6.31 and viewed from the direction indicated by the arrow.

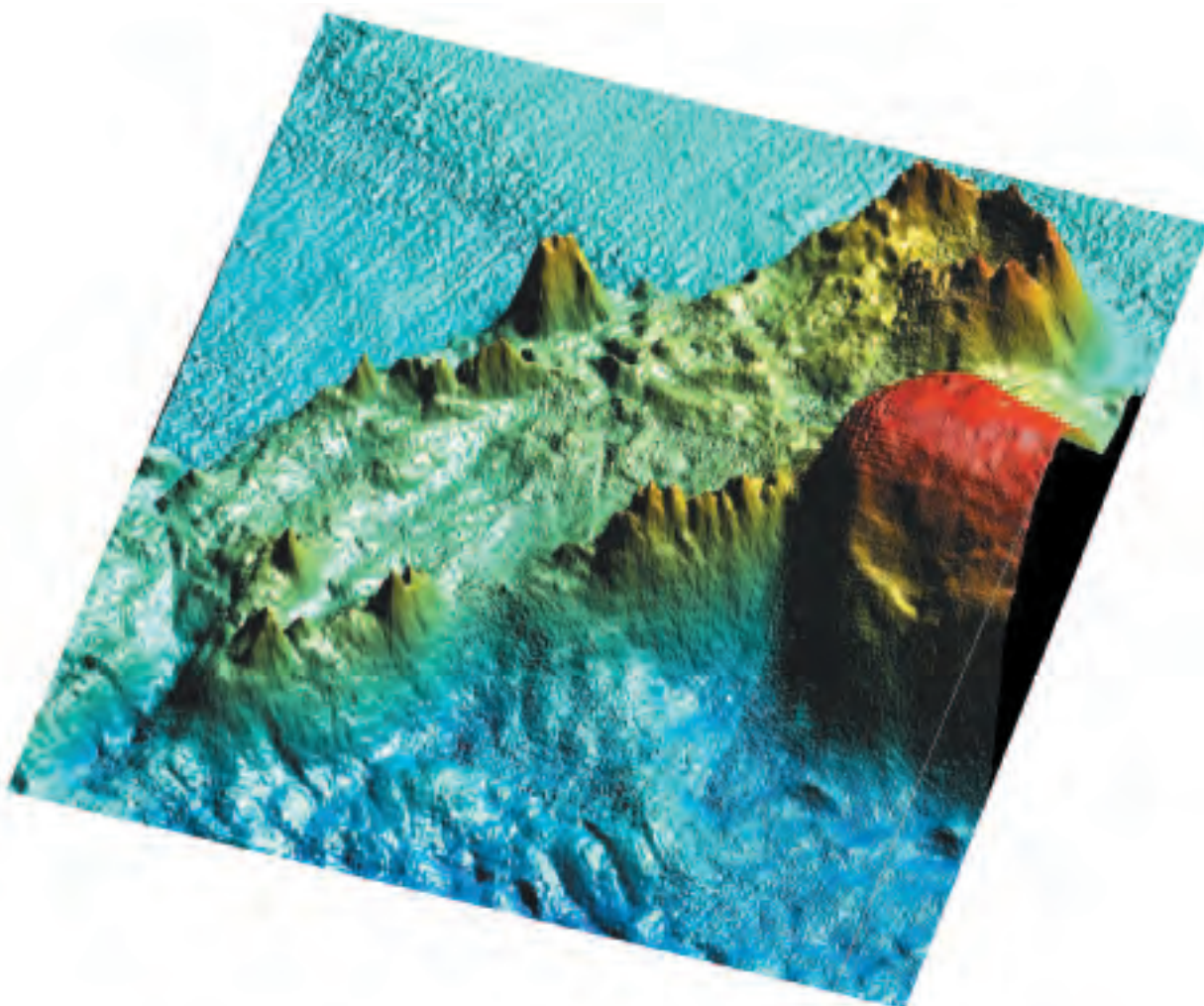
Kartlegging av havbunnen

Oppdagelsen av de nye korallrevene på Hesteskoen er et godt eksempel på betydningen og effektiviteten av at flere institusjoner samarbeider og tar i bruk siste generasjons teknologi i sine undersøkelser. Dokumentasjonen av de store korallrevene på norsk sokkel de siste ti-år demonstrerer også hvor lite vi vet om f.eks. hvilke habitater og naturressurser som finnes på sokkelen.

Norge har til nå satset lite på å fremskaffe grunnleggende kunnskap om "landskapet" som havbunnen utgjør, kunnskap som vi tar som en selvfølge på land: Hvordan ser landskapet ut? Hva består

havbunnen av? Hvor havner forurensningene til slutt? Hvor ligger korallrevene? Hva vet vi om det biologiske mangfoldet, og om sammenhengen mellom havbunnens landskap, artsrikdom og biologiske ressurser?

Fordi norske kyst- og havområder er blant de dårligst kartlagte i Europa, kan vi i dag bare gi vage svar på slike spørsmål. Til sammenlikning kan nevnes at Irland nå satser 220 millioner kroner på en sjuårsplan for havbunnskartlegging. Canada starter i disse dager planleggingen av et ambisiøst program for kartlegging av landets hele sokkelområde, en satsing på mange milliarder kroner.



Figur 6.31 Forstørrelse av Hesteskoens søndre flanke (avmerket område i Figur 6.30). De spisse toppene ble antatt å være korallrev og ble undersøkt med kamera.
Close-up of the southern flank of the Horseshoe (see Figure 6.30). The peaks were anticipated to be coral reefs and were studied by a video-camera.

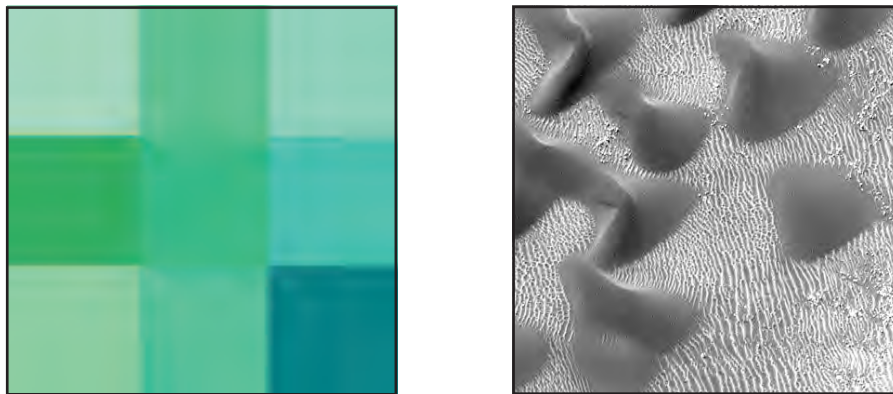


Figur 6.32 Det ble funnet korallrev av *Lophelia pertusa* og sjøtrær på de fleste toppene som ble undersøkt med kamera. Det er foreløpig usikkert hvor stor del av toppene som er bygget opp av koraller og hvor mye som er morenemateriale.
Lophelia pertusa corals and gorgonians were found on most peaks. It is not known to what extent the peaks consist of corals or morainic material.

I de kommende 10-20 år vil det i Norge bli stort behov for økt verdiskaping i kystnære og marine områder. Norge er i dag ikke kunnskapsmessig rustet til å møte denne utfordringen. Hvis vi ikke nå tar et krafttak for å avbøte denne kunnskapsmangelen, kan vi være sikre på at fremtidige beslutninger vil bli fattet på mangelfullt grunnlag. Vi trenger derfor snarest mulig en nasjonal plan for kartlegging av områdene fra fjordene til grensen for Norges økonomiske sone. Skal dette lykkes trengs det kunnskaper og atter kunnskaper. Vi må satse på tverrfaglig samarbeid mellom eksperter og bruk av det ypperste som kan skaffes av ny teknologi. Det haster med å komme i gang!

Vi har i dag bedre datagrunnlag for næringsmessig utnyttelse av planeten Mars enn av den norske kontinentalsokkelen (Figur 6.33).

Som en begynnelse har Havforskningsinstituttet, Norges geologiske undersøkelser og Statens kartverk Sjøkartverket levert en felles søknad til Regjeringen om ekstraordinære midler til kartlegging av havbunnen i Norskehavet ved hjelp av flerstråleakustikk, undervannsfotografering, biologisk og geologisk prøvetaking og bruk av topografiske modeller. Resultatene skal danne grunnstammen i en kommende marin arealdatabase for norske kyst- og havområder, MAREANO (Figur 6.34).



Figur 6.33

Utsnitt på 1.5 x 1.5 km fra norsk kontinentalsokkel og fra planeten Mars. Bildet fra norsk kontinentalsokkel viser oppløsningen på dagens regionale dybdedata. Bildet med samme målestokk fra Proctor-krateret på Mars viser sanddyner som ser ut som haitenner. Fotoet fra Mars er fra NASA/JPL/Malin Space Science Systems.

Area of 1.5 x 1.5 km from the Norwegian continental shelf (left) and the equivalent area on the planet Mars (right). The picture from the shelf illustrates the resolution of current data available. The picture from Mars shows the "Shark Teeth" - sand dunes located in the Proctor Crater. Picture from Mars is courtesy of NASA/JPL/Malin Space Science Systems.



Figur 6.34

Konseptskisse for MAREANO 2002-2006.

The MAREANO concept; an areal database for Norwegian sea areas.