

Fisken og havet, særnummer 2-2002
ISSN 0802 0620

Havets miljø 2002

Redaktør Jan Helge Fosså

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET, februar 2002

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>	29
2.3 Yngelproduksjon <i>P. Fossum</i>	35
3. Økosystemene i Nordsjøen og Skagerrak	
3.1 Havklima <i>E. Svendsen og D. Danielssen</i>	38
3.2 Plankton og næringssalter <i>J. Aure, D. Danielssen og E. Dahl</i>	45
4. Økosystemene på kysten og i fjordene	
4.1 Kystklima <i>J. Aure og D. Danielssen</i>	48
4.2 Plankton og næringssalter..... <i>E. Dahl, D. Danielssen, J. Aure og B. Bøhle</i>	52
4.3 Skadelige alger <i>E. Dahl</i>	58
5. Forurensning	
5.1 Oljeforurensning i fisk <i>J. Klungøy</i>	61
5.1 Radioaktivitet <i>L. Føyn</i>	62
6. Aktuelle tema	
1. Marinbiologi og økologi	
Spesielle økologiske forhold i Barentshavet høsten 2001 – hva hendte?..... <i>P. Fossum, H. Gjøsæter og R. Ingvaldsen</i>	69
 Hvorfor blir tareskogen beitet ned av kråkeboller? Kan vi gjøre noe med det? <i>K. Sjøtun og K. Sivertsen</i>	73
 Kråkebollen, en pest og en plage eller en verdifull ressurs?..... <i>T. Dale</i>	77
 Ballastvann – en fare for det norske havmiljøet? <i>H. Botnen og A. Jelmert</i>	80
 Hvorfor er det blitt så lite torsk i Ytre Oslofjord?..... <i>J. Gjøsæter, K. Enersen, S.E. Enersen, J.A. Knutsen, Aa. Sollie og S. Tveite</i>	84

	MAR-ECO. Internasjonal undersøkelse av dyrelivet langs Den midtatlantiske rygg	<i>O.A. Bergstad</i>	88
	MAREANO. Marin arealdatabase for norske kyst- og havområder.....	<i>J.H. Fosså, T. Thorsnes og K. Olsen</i>	91
II.	Havklima		
	Er det en klimaendring på gang i havet?.....	<i>H. Loeng og R. Ingvaldsen</i>	96
	Klimaendring – har temperaturen i kystvannet økt?.....	<i>J. Aure, R. Sætre og D. Danielssen</i>	99
	Hvor gode var Havforskningsinstituttets klimaprognoser 1994–2001?.....	<i>R. Sætre og J. Aure</i>	102
III.	Havforurensning		
	Er utslippene av technetium-99 fra Sellafield farlige?.....	<i>H.E. Heldal og L. Asplin</i>	105
	Næringssalter og overgjødning i Nordsjøen – 20 års overvåkning.....	<i>L. Føyn og M. Hagebø</i>	109
	Effekter av produsert vann på reproduksjonsevnen til torsk.....	<i>A. Svardal</i>	115
IV.	Havmiljø og havbruk		
	Hvor mye oppdrett tåler norske kyst- og fjordområder?.....	<i>J. Aure og A. Ervik</i>	119
	Fôrmangel truer veksten i fiskeoppdrett. Kan høsting av plankton løse problemet?.....	<i>W. Melle og R.E. Olsen</i>	123
	<i>Chattonella</i> i Skagerrak – en ny trussel for oppdrettsnæringen?.....	<i>L.J. Naustvoll, E. Dahl, D. Danielssen, J. Aure, M. Skogen og P. Budgell</i>	128
	Kolonimaneten <i>Apoemia</i> dreper laks langs kysten.....	<i>J.H. Fosså og L. Asplin</i>	132
	Stort kamskjell som miljøindikator.....	<i>Ø. Strand</i>	137
	Miljø, havbruk og risiko.....	<i>T. Gytte</i>	141
	Lakselus – en trussel for villaksen.....	<i>L. Asplin, K. Boxaspen og A.D. Sandvik</i>	146

Havets miljø 2002 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 2002 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 det er viktig å overvåke forurensningsnivået, 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 samspillet 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. I temaartikkelen på side 102 evalueres varslene som ble gitt i perioden 1994-2001.

På bakgrunn av de hydrografiske forholdene, målinger av primærproduksjon, dyreplankton, næringssalter, sildelarver og loddeelarver, forsøker vi også å forutsi både havklima og de biologiske forholdene. Siden 1999 er det også gitt prognose på sildas 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 miljøovervåkning (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 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.

Denne rapporten refereres slik: This report should be cited:
Fosså, J.H. (red.), 2002. Havets miljø 2002. *Fisken og havet*, særnr. 2-2002.

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.

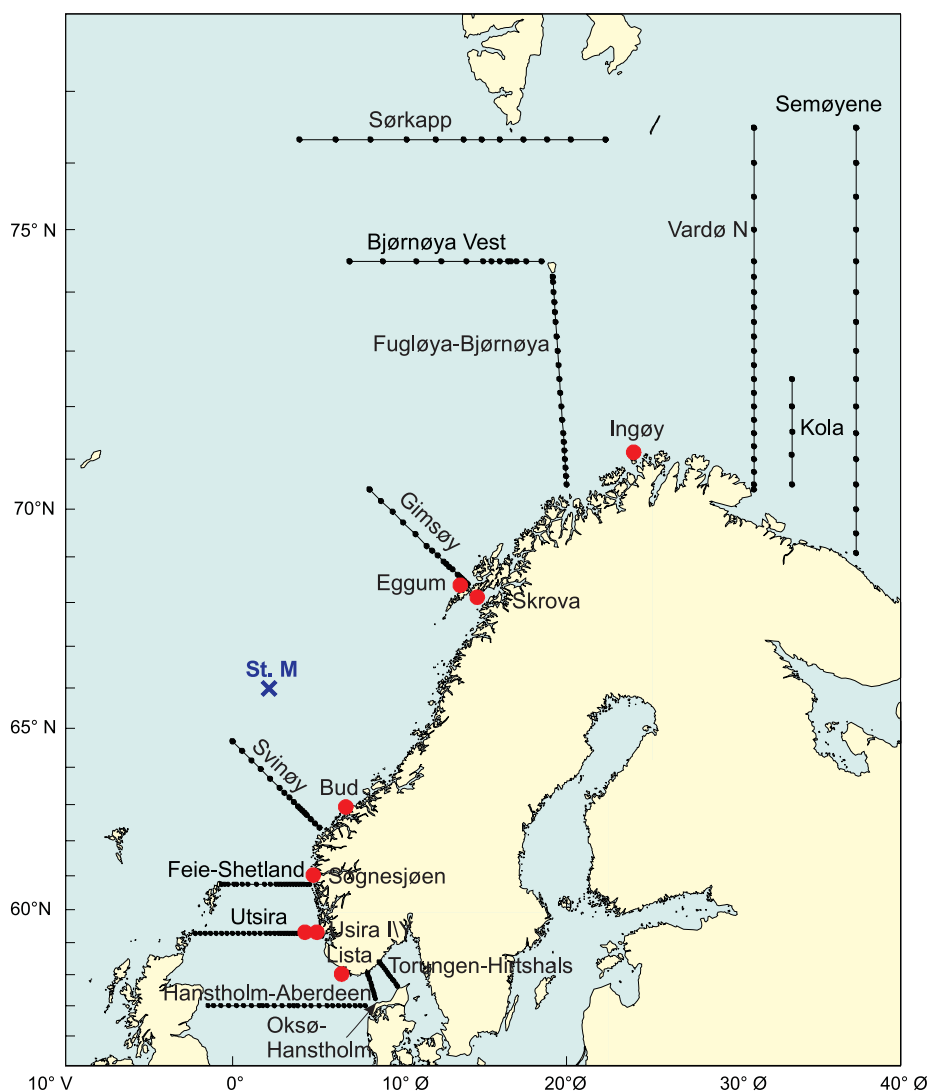
Innholdet i instituttets overvåkningsvirksomhet er for øvrig under evaluering, og det er mulig at vi i fremtiden vil endre noe på hva som skal vektlegges.

Om innholdet i temadelen, kapittel 6

I *Havets miljø 2002* har vi valgt ut noen aktuelle tema som vi belyser med flere enkeltartikler. Vi har valgt å presentere noen av de mest aktuelle sakene innenfor områdene marinbiologi og økologi, havklima og havforurensning. Her vil man finne viktige temaer som også har vært mye oppe i mediene i året som gikk. Et annet hovedtema er havmiljø og havbruk. Samfunnet har store vyer når det gjelder videre utvikling av norsk havbruk, og man ser for seg en stor vekst bl.a. med nye arter i oppdrett. Hav- og kystøkosystemene gir muligheter til å utvikle havbruket, men setter også grenser for veksten. Laksenæringen kjemper mot sykdom og lakselus. Det er

også begrensninger på lokalitetenes bæreevne med hensyn til utslipp av næringssalter og organisk materiale. Mangel på høyverdig fôr er også et problem som ikke er langt borte. I temaartiklene har vi tatt for oss noen av de problemene eller begrensningene som havbruket opplever. Det er Havforskningsinstituttets oppgave å påpeke negative miljøeffekter av næringsvirksomhet i havet, men ikke bare det, vi presenterer også mulige løsninger på noen av problemene og er med på å utarbeide miljøstandarder.

I. Marinbiologi og økologi. I dette kapitlet presenteres seks artikler. I den første gjennomgår forfatterne en noe spesiell situasjon i økosystemet i Barentshavet i 2001. Tareskogen har vært nedbeitet i Nord-Norge i ca. 30 år nå. En artikkel prøver å svare på hvorfor kråkebollene beiter ned taren, og en annen tar for seg mulighetene til å utnytte kråkebollene til noe fornuftig. Mengden ballastvann som tømmes i norske farvann har økt i takt med oljeeksporten, og er en av de største miljøutfordringene i det marine miljø. De to siste artiklene tar for seg et par store planlagte prosjekter hvor Havforskningsinstituttet har en sentral rolle. Det ene er MAR-



Figur 0.1
Faste oseanografiske snitt og stasjoner.
Fixed oceanographic sections and stations.

ECO som skal undersøke dyrelivet langs den midtatlantiske rygg, og det andre er MAREANO som er et storstilt kartleggingsprosjekt på midtnorsk sokkel.

II. Havklima. Klima og klimaendringer er høyaktuelle temaer. Forfatterne av den første artikkelen har kikket i glasskula og svarer på spørsmålet om det er en klimaendring på gang. Kystklimaet, eller temperaturforholdene langs kysten de siste 60 årene, blir analysert i artikkel nr to. Miljørapporten har varslet havklimaet minst et år fremover siden 1994. I den siste artikkelen innenfor dette temaområdet blir varslene i perioden 1994-2001 evaluert.

III. Havforurensning. Det er mye tro og tvil om utslippene fra Sellafield. I den første artikkelen får vi en grundig innføring i hva som slippes ut og hva dette betyr i det marine miljø. I artikkel nr. 2 vises hvordan næringssaltene fordeler seg i Nordsjøen. Etter forfatterens mening er det nødvendig å overvåke hele Nordsjøen for å kunne vurdere om næringssaltene i havområdet stammer fra naturlige eller antropogene kilder. Oljeindustrien slipper ut store mengder prosessvann som bl.a. inneholder såkalte hormonhermere. Forfatteren av den siste artikkelen i denne bolken viser at ørsmå mengder av disse stoffene i sjøvann har en betydelig negativ effekt på torskens reproduksjonsevne.

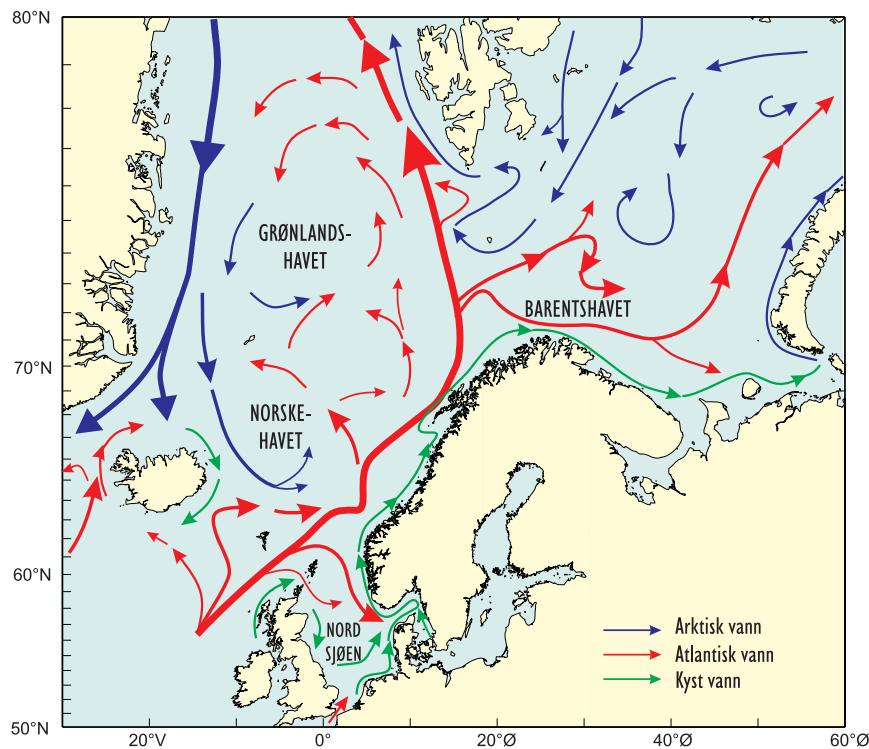
IV. Havmiljø og havbruk. Naturens bæreevne bør ikke overskrides. Den første artikkelen behandler nettopp dette temaet og viser hvordan bæreevnen for lakseoppdrett med

hensyn til organisk belastning kan beregnes. Fiskeoppdrett krever mye for av høy kvalitet. I neste artikkel blir mulighetene for å utnytte plankton som fôrressurs diskutert. Algeoppblomstringer og masseforekomster av maneter som tidligere gikk relativt ubemerket hen skaper nå problemer for fisk som står fanget i merder. Denne type fenomener blir behandlet i de to neste artiklene. Deretter følger en beskrivelse av hvordan stort kamskjell kan brukes som miljøindikator. I den nest siste artikkelen får vi en innføring i hvordan risikoberegninger kan hjelpe oss til å skille mellom vesentlige og uvesentlige trusler. Forfatteren mener også at ordtakene "en ulykke kommer sjelden alene" bør omskrives til "en ulykke kommer alltid alene". I den siste artikkelen viser forfatterne hvordan strømmodellering kan brukes til å vise hvordan lakselus sprer seg i fjord- og kystområder.

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

Følgende personer har vært med i redaksjonen for "Havets miljø 2002":

Ingunn Bakketeig, Bjørnar Ellertsen, Jan Helge Fosså (redaktør), Karen Gjertsen, Berit M. Gullestad, Trygve Gytre og Hege Iren Svensen.



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

Havklimaet

Det var forholdsvis varmt i Barentshavet i første halvdel av 2001, og vi forventer at temperaturnedgangen høsten 2001 vil fortsette i 2002. I den østlige delen av Barentshavet vil temperaturene synke mest og vil ligge rundt eller under middelet i 2002. I de sentrale og østlige delene av området venter en at et temperaturminimum inntre i løpet av 2003.

I Norskehavet ventes det ikke noe vesentlig omlegging av varmetransporter og sirkulasjon i 2002 og 2003. Den atlantiske innstrømningen av varmt og salt vann til det østlige Norskehavet forventes å ligge lavere enn det som har vært tilfelle de siste årene. I den sentrale og nordlige delen forventes derimot økt atlantisk innflytelse. Den vestlige delen vil fortsatt være preget av sterk innflytelse av arktiske vannmasser.

Langs norskekysten og i Nordsjøen har høst- og vinter-temperaturene ligget over normalen i flere år. Dette ser nå ut til å normaliseres, og vi forventer relativt normale havklimaforhold i de nærmeste år.

Produksjonsforhold

Bestanden av dyreplankton inklusive raudåte i Barentshavet høsten 2001 (overvintringsbestanden) var tydelig lavere enn året før, og den laveste siden 1992. Dette antyder et noe dårligere utgangspunkt for produksjon av lodde, sild og fiskeyngel i 2002.

En av de viktigste klimaindikatorer i Nord-Atlanteren er den midlere nord-sørforskjell i lufttrykket mellom Island og Azorene. Denne indeksen er kjent som "Den nordatlantiske oscillasjon" (NAO), og den midlere NAO-indeksen for vintermånedene er knyttet til utbredelsen av vannmasser i Norskehavet. Tidligere undersøkelser (se *Havets miljø 2001*) har vist at biomassen av dyreplankton i Norskehavet er positivt relatert til NAO-indeksen om vinteren samme år og året før. Vinteren 2000-2001 var NAO-indeksen lav. Derfor forventes det en lav biomasse av dyreplankton sentralt og sør i Norskehavet i 2002, under forutsetning av at NAO-indeksen for vinteren 2001-2002 ikke blir uvanlig høy. Foreløpig synes ikke det å bli tilfelle.

Kondisjonen hos sild som beiter på dyreplanktonet i Norskehavet, har vist samme type korrelasjon med NAO-indeksene for inneværende og foregående år. Det forventes derfor en lav kondisjon hos norsk vårgytende sild etter beitesesongen 2002, dersom ikke NAO-indeksen for vinteren 2001-2002 blir uvanlig høy. Skulle NAO-indeksen for vinteren 2001-2002 bli lav, for eksempel rundt -1 , forventes en planktonproduksjon og kondisjon hos sild godt under gjennomsnittet for 1990-årene. Mer nøyaktige prognoser vil

være tilgjengelige i løpet av april, når NAO-indeksen for sist vinter kan beregnes.

Gytebestandene av lodde og sild produserte i 2001 store eggmengder, som igjen ga opphav til gode forekomster av larver. Dette forventes å gjenta seg i 2002. Larver og yngel av lodde og i enda sterkere grad sild hadde imidlertid lav overleving sommeren 2001. Årsklassen av lodde ble høsten 2001 beskrevet som noe under middels, mens den for sild ble beskrevet som svak. Den videre utviklingen av loddeårsklassen 2001 er avhengig av beitetrykket og miljøforholdene vinteren og våren 2002. Sildeårsklassen 2001 var så svak at den ikke vil få betydning for sildebestanden selv om forholdene skulle ligge til rette for god vekst og overleving.

Fiskefordeling

Norsk vårgytende sild gyter på norskekysten med hovedvekt på området Møre-Halten og lite gytesild på de tradisjonelle gyteområder sør for 61°N . Miljøforholdene indikerer ikke at det skal skje store endringer med hensyn til gytefelt.

Selv om vi har indikasjoner på at NAO er i ferd med å svekkes, venter vi fortsatt sterk arktisk innflytelse i det vestlige Norskehavet via Øst-Islandsstrømmen i de neste to årene. I de senere år har det vist seg at før beiteforholdene for sild i de arktiske vannmassene i Øst-Islandsstrømmen blir gunstige ut på sommeren, har silda allerede vandret langt nord i Norskehavet. De senere års innflytelse av atlantehavsvann i det nordlige Norskehavet vil fortsette og vil tilsi en høy produksjon av sildas viktigste byttedyr, raudåte, i det nordlige området. Dette gjør at det fremdeles er lite sannsynlig at silda vil oppsøke området utenfor Nord-Island på sin beitevandring, selv om det nå er høyere temperatur og bedre produksjonsforhold på kystbankene ved Nord-Island. Vi forventer noenlunde samme beitevandring i Norskehavet i 2002 som i 2001.

Makrell. Etter sammenbruddet av nordsjømakrellen på 70-tallet har sørlig og vestlig makrell vandret nordover fra gyteområdene og inn i Nordsjøen-Norskehavet. Dette vandringmønsteret ser ut til å være svært vellykket, da makrellen har produsert relativt gode årsklasser over lang tid. Trolig må det forholdsvis store klimatiske endringer til for å forandre dette vandringmønsteret.

Kolmule. I 2002 forventer vi fremdeles en betydelig utbredelse av kolmule i østlige og nordlige deler av Norskehavet. På grunn av nedkjøling i Barentshavet er det mulig at utbredelsen i Barentshavet blir redusert. Dette er imidlertid også avhengig av hvor store årsklasser som blir produsert i de kommende år.

Ocean climate

It was relatively warm in the Barents Sea the first half of 2001 and we expect the observed decrease in temperature during autumn to continue in 2002. The temperature will decrease the most in the eastern part of the Barents Sea and will stay around or just below the mean in 2002. In the central and eastern areas we expect a temperature minimum during 2003.

In the Norwegian Sea no major changes in the main circulation or transport of heat are expected in 2002 and 2003. The inflow of Atlantic water to the eastern part is expected to be lower than in the preceding years. In the central and northern Norwegian Sea the influence of Atlantic water will increase. The western part will continue to be dominated by Arctic water.

After many years of above average temperatures in the North Sea and along the Norwegian coast, the temperature is expected to stabilize around the mean in 2002.

Ocean production

The biomass of zooplankton in the Barents Sea, including overwintering *Calanus finmarchicus*, during autumn 2001 was lower than the year before and the lowest since 1992. This may indicate less favourable conditions for production of capelin, herring and juvenile fish in 2002.

One of the most important climate indexes in the North Atlantic is the average north-south difference in air pressure between Iceland and the Azores, known as the "North Atlantic Oscillation" (NAO). The distribution of water masses in the Norwegian Sea is related to the mean NAO index for the winter months. It is shown that the biomass of zooplankton in the Norwegian Sea is directly correlated to the NAO index the same winter and the preceding year (see *Havets miljø 2001*). Since the index was negative during the winter 2000/2001, we expect a low biomass of zooplankton in the central and southern part of the Norwegian Sea in 2002, unless the NAO for 2001/2002 turns positive which at present, seems unlikely.

The condition of the herring feeding on zooplankton in the Norwegian Sea has also shown a direct correlation with the NAO index for the present and preceding year. If the NAO

index for 2001/2002 also turns negative, we therefore expect a low condition for the Norwegian spring spawning herring after the feeding season 2002.

Capelin and herring produced large amounts of eggs and larvae in 2001. This pattern is also expected for 2002. However, the mortality was high during summer and the 2001 year-class of capelin is now below average and the herring is considered as weak. The 2001 year-class of herring is so weak that it will not have any significant contribution to the herring stock.

Fish distribution

The Norwegian spring spawning herring spawn along the Norwegian coast, mainly between Møre and Halten. Changes in the preferred spawning grounds of the herring are not expected in the near future.

Even with indications that the NAO index will be lower, we still expect a high degree of arctic influence in the western Norwegian Sea the next two years. The past years the herring has migrated to feed in the northern areas of the Norwegian Sea. As the influence of Atlantic water in the northern areas is expected to continue, it predicts a relatively high production of *Calanus*. These conditions make it less likely that the herring will take advantage of the increasingly favourable conditions for production on the coastal banks north of Iceland by migrating to these areas. We therefore expect the herring to show the same feeding migration to the northern Norwegian Sea in 2002 as in 2001.

Mackerel. After the collapse of the North Sea mackerel in the 70s the southern and western mackerel have migrated northwards from the spawning grounds and into the North Sea and the Norwegian Sea. This migration pattern seems to have been very successful, as good year-classes have been produced for years. We expect this migration pattern to continue.

Blue whiting. In 2002 we expect a considerable part of the stock to distribute in the eastern and northern parts of the Norwegian Sea. Due to the cooling of the Barents Sea it is possible that the distribution in this sea area will be reduced. This is, however, also dependent upon the strength of the year-classes to come.

Rapporten presenterer resultater fra Havforskningsinstituttets miljøovervåkingsprogram 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 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. I Skagerrak og Nordsjøen, og økosystemet på kysten og i fjordene, er overvåkingen hovedsakelig knyttet til problemstillinger omkring antropogent tilførte næringsalter, skadelige alger og miljøgifter.

Barentshavet

Havklima. I de vestlige og sentrale deler av Barentshavet har det vært forholdsvis varmt siden 1998. I løpet av høsten 2001 var det en gradvis temperaturnedgang, og ved årskiftet 2001-2002 lå temperaturene $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ over det normale første halvår, men på slutten av året avtok temperaturen også her. Øst i Barentshavet har temperaturen vært $0.5\text{-}1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ over normalen. 2001 var det året med minst is siden satellitt-observasjonene begynte i 1970.

Planktonproduksjon. De største planktonmengdene i 2001 ble observert sør og sørvest for Bjørnøya ved inngangen til Barentshavet. Etter toppåret i 1994 (12.8 g m^{-2}) har biomassen av dyreplankton minket jevnt og trutt, og i 2001 var den sunket til det laveste siden 1992 (5.9 g m^{-2}). I 2001 ble det observert store mengder maneter som livnærer seg på dyreplankton. Dette kan ha vært med på å redusere mengdene med dyreplankton.

Loddelarver. Larvene hadde en vid utbredelse fra 18 til 40°Ø og så langt nord som 74°N . De høyeste forekomstene ble registrert nær kysten, og det totale antallet larver ble beregnet til 10.7×10^{12} . Dette er et underestimat siden man ikke kunne registrere larver i den russiske sonen. Estimater ligger rundt gjennomsnittet, men lavere enn for de tre foregående årene.

Norskehavet

Havklima. I atlantehavsvannet som strømmer inn i Norskehavet har temperaturene vært forholdsvis høye siden 1995. Temperaturen i det atlantiske vannet utenfor norskekysten har også økt de siste fem årene, og i 2001 lå sommertemperaturen 0.2°C over langtidnormalen. Innstrømning av atlantisk vann

til Norskehavet utenfor norskekysten i 2001, var den laveste siden 1997. I den sørligste delen var sommertemperaturen i 2001 0.4°C lavere enn i 2000. I både de sentrale og nordlige områdene var den derimot 0.4°C høyere i 2001 enn i 2000. I sentrale og vestlige områder av Norskehavet har det vært en langtidstrend mot lavere saltholdighet. Dette skyldes økte tilførsler av kaldt, ferskt arktisk vann fra Polhavet via Øst-Islandsstrømmen. Området domineres fortsatt av arktiske vannmasser, men i 2001 var det en økt innflytelse av atlantisk vann inn i området, sammenlignet med 2000.

Planktonproduksjon og sild. Økt produksjon av dyreplankton i de senere årene har medvirket til gode beiteforhold og økt individuell vekst hos sild i Norskehavet. I mai 2000 var dyreplanktonbiomassen den høyeste siden 1995. Dette førte til at kondisjonen hos overvintrende sild i Vestfjorden og Ofotfjorden var god. Kondisjonen hos sild i 2001 var lavere enn i de forutgående år. Dette var å forvente siden planktonbiomassen i mai 2001 var langt lavere enn i 2000. Gjennomsnittlig var planktonbiomassen i Norskehavet omtrent den samme i 2000 og 2001. Som i de senere år, med arktisk vann i den sørlige delen av Norskehavet, har silda også i 2001 hatt en nordlig utbredelse om sommeren.

Sildelarver. Det ble ikke funnet sildelarver sør for Stad i april 2001. Dette kan forklares med at klekkingen vanligvis skjer senere på de sørlige feltene. Store tettheter av larver ble funnet fra Buagrunden til Træna. De største tetthetene ble registrert ved Haltenbanken. Også på Røstbanken og nord til Tromsøflaket ble det funnet gode forekomster. Resultatene tyder på at hovedgytingen foregikk på Mørefeltene og Haltenbanken i februar/mars og ca. fjorten dager senere på Røstbanken. Antallet larver ble beregnet til 40.7×10^{12} . Dette er betydelig mer enn i 2000. Imidlertid ble overlevelsen utover sommeren dårlig, slik at årsklassen nå må betegnes som svak.

Nordsjøen og Skagerrak

Havklima. Sirkulasjonen i Nordsjøen var noe svakere i 2001 enn normalt. Spesielt var innstrømningen av atlantisk vann i nord meget svak i første halvdel av året. Siden atlantehavsvannet har høye næringsalkonsentrasjoner, betyr svak innstrømning liten innførsel av næringsalter. Beregninger viser at dette høyst sannsynlig betyr en lavere primærproduksjon enn normalt. Overflatetemperaturen i store deler av Nordsjøen varierte rundt det normale. På Nordsjøplatået og i Norskerenna var saltholdighet og temperatur omtrent som normalt i 2001.

Plankton og næringsalter. De norske kystvannmassene spredte seg langt over mot danskekysten, og de jyllandske kystvannmasser ble dette året presset mer inn mot kysten på grunn av vedvarende nordvestlige vinder. Av den grunn ble innstrømningen til Skagerrak blokkert og hindret at området ble påvirket av de høye nitratkonsentrasjonene som fantes i

de jyllandske kystvannmasser sørover mot Tyskebukta. Dette varte hele vinteren og våren. I mars 2001 var det betydelige mengder kiselalger fra kysten av Norge til mer enn midt ut i Skagerrak. Samtidig var det lite alger ved kysten av Danmark. Kiselalgene som dominerte var *Chaetoceros* spp., *Pseudonitzschia* sp. og *Skeletonema costatum*. Etter kiselalgens våroppblomstring og oppblomstringen av *Chattonella*, var det normale algemengder i Skagerrak fram til sommeren. I sum var algeforekomstene i Skagerrak i 2001 normale, bortsett fra den skadelige oppblomstringen av *Chattonella*.

Skadelige alger. Rett etter våroppblomstringen midt i mars fulgte en oppblomstring av den skadelige algen *Chattonella*. Denne oppblomstringen rammet vestkysten av Sverige, de østlige deler av Skagerrak og kysten av Norge vestover til Flekkefjord.

Kysten og fjordene

Kystklima. Langs hele kysten lå temperaturen i overflaten stort sett over det normale i 2001. Unntaket var juli/august da dårlig sommervær og oppstrømning av kaldt dypvann førte til forholdsvis lave sjøtemperaturer. I 150 m dyp var det stort sett varmere enn normalt langs hele kysten fra Rogaland til Finnmark. Innstrømning av tungt atlantehavsvann langs Skagerrakkysten førte til vannutskifting i fjordbassengene, særlig i de østlige fjordene. Temperaturen i dypereliggende vannlag langs Skagerrakkysten lå nær det normale gjennom hele 2001.

Plankton. Våroppblomstringen av kiselalger på Sørlandet var relativt liten i 2001, med en topp midt i mars. Rett etter kiselalgens våroppblomstring dukket uventet også skadelige algen *Chattonella* opp. Klorofylltoppen bestod derfor av en blanding av kiselalger og *Chattonella*. Utviklingen resten av året forløp relativt normalt. På kysten mellom Rogaland og Finnmark startet våroppblomstringen av kiselalger i mars i Rogaland. Deretter kom den i grove trekk suksessivt senere på året jo lenger nord man kommer. Mot slutten av sommeren i 2001 ble det registrert betydelige mengder *Emiliania huxleyi* helt oppe i Finnmark, og det var uvanlig langt nord for større forekomster av denne algen.

Organisk belastning. Forbruk av oksygen under terskeldypet i en fjord forteller noe om den organiske belastningen. I Risørbassenget var oksygenforbruket fortsatt høyt i 2001, som det også var i en rekke andre fjorder på Skagerrakkysten. Ytre

Oslofjord og fjordene i Grenlandsområdet er også belastet og konsentrasjonen av næringssaltet nitrat er "mindre god" ifølge SFTs miljøklassifisering. Våren 2001 var det en total utskifting av vannmassene i bassengene i Ytre Oslofjord og i fjordene i Langesundsområdet.

Skadelige alger. Arter i slektene *Chattonella* og *Heterosigma* førte til betydelig fiskedød blant oppdrettsfisk på Skagerrakkysten i mars 2001. Forekomsten av de vanligste *Dinophysis*-artene, som er kilde til diaregivende algegifter, var ganske normal i 2001. Lammende gifter ble påvist i Indre Oslofjord, men var ikke noe større problem. Det var ikke problemer med fiskedød pga. alger på kyststrekningen Rogaland-Finnmark i 2001. I Rogaland ble det funnet en del *Prymnesium*, men det ble ikke registrert fiskedød. *Dinophysis*-arter ble registrert langs hele kysten fra Rogaland til Finnmark, men de skapte få problemer. PSP-faren var størst i Romsdal og ble også påvist i Trøndelag, Brønnøysund og Vadsø, men samlet sett var ikke problemene store i 2001.

Forurensning

Oljeforurensning i fisk. I 2000-2001 ble hyse fra totalt ti områder fra Nordsjøen i sør til Finnmark i nord samlet inn. Målet var å undersøke om hyse inneholdt oljekomponenter som kan tilbakeføres til utslipp fra olje- og gassindustrien offshore. Analysene omfattet utvalgte aromatiske hydrokarboner og C₀-C₅ alkylerte dekaliner. Hysemuskel inneholdt helt ubetydelige mengder av aromatiske hydrokarboner og av C₀-C₅ alkylerte dekaliner. En prøve fra Sleipnerområdet var imidlertid tydelig forurenset og viste et klart mønster av C₀-C₅ alkylerte dekaliner. Samlet viser resultatene av overvåkingen i 2000-2001 at hyse på norsk sokkel i svært liten grad er forurenset av oljekomponenter.

Radioaktivitet. I 2001 ble det samlet inn prøver i hele Nordsjøen og i et betydelig antall fjorder. Det ble tatt prøver av bunnsediment, vann og fisk. I tillegg overvåkes den sunkne atomubåten "Komsomolets" som ligger sørvest av Bjørnøya. Resultater fra 2001 er hovedsakelig fra prøver tatt i forbindelse med havariet av den russiske atomubåten "Kursk". Målingene viste at det ikke var tilført radioaktivitet til det marine miljø, hverken i forbindelse med forliset eller hevingen. Utslippene av technetium-99 fra Sellafeld ved Irskesjøen har medført økning av dette radioaktive stoffet i våre kyst- og havområder, men nivåene ligger under tiltaks-grensene.

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 anthropogenic nutrient loads, harmful algae and organic contaminants.

The Barents Sea

Ocean climate. The western and central areas of the Barents Sea have been relatively warm since 1998. A decrease in temperature was observed during the autumn 2001, and at the end of 2001 and the beginning of 2002 the temperature was about 0.1 °C above the mean. In the eastern Barents Sea the temperature was 0.5-1.0 °C above the mean in the first half of 2001, but at the end of the year the temperature decreased also here. In 2001 the ice cover was at its lowest since satellite observations started in 1970.

Plankton production. The highest biomass of zooplankton (mostly copepods, krill and amphipods) were observed south and southwest of Bjørnøya at the entrance to the Barents Sea. After a peak in 1994 the biomass has decreased steadily. In 2001 large quantities of jellyfish were observed and may partly explain the reduced zooplankton biomass.

Capelin larvae. In 2001 the larvae showed a wide distribution in the Barents Sea. The highest densities were, however, observed in coastal areas. The estimated number of larvae was around average, but lower than the three preceding years.

The Norwegian Sea

Ocean climate. Since 1995 temperature has been relatively high in the Atlantic water flowing into the Norwegian Sea. The temperature in the Atlantic water off the coast of Norway has increased during the last five years and in 2001 the summer temperature was 0.2 °C above the mean. The inflow of Atlantic water to the Norwegian Sea off Norway in 2001 was the lowest since 1997. In the southern area the temperature in summer was 0.4 °C lower in 2001 than in

2000. In central and northern areas the salinity has been low for some years due to the strong influence of cold and fresh Arctic water through the East-Iceland current. Arctic water masses still dominate, but the influence of Atlantic water is increasing.

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 May 2000 the zooplankton biomass was the highest since 1995, and the herring had a high condition factor this year. In 2001 the condition factor was lower. This was expected since the zooplankton biomass was much lower in May 2001 than in 2000. However, the mean biomass of zooplankton in the Norwegian Sea in 2001 was about the same as in 2000. Due to the influence of Arctic water in the southern Norwegian Sea the herring migrated to the feeding grounds in the northern parts.

Herring larvae. Larvae were not registered south of Stad in April 2001 because the eggs hatch later in southern Norway. The highest densities were found between Buagrunnen and Træna, while considerable amounts also were recorded in the Lofoten area and off Tromsø. The total number of larvae was estimated to 40.7×10^{12} . This is considerably more than in 2000. However, there was a high mortality during summer and the year-class is now considered as weak.

The North Sea and Skagerrak

Ocean climate. The circulation in the North Sea was a little weaker in 2001 than normal. The inflow of Atlantic water in the north was especially low in the first half of the year. The Atlantic water is rich in nutrients and a weak inflow results in a low import of nutrients. Modelled production in the North Sea indicates that the primary production was lower than average in 2001 due to the low inflow of Atlantic water. The surface temperature was around the mean in 2001.

Plankton and nutrients. The hydrographical conditions in 2001 hindered the inflow of water masses with high concentrations of nitrate from off Jutland and the German Bight. In March 2001 high concentrations of diatoms were recorded on the Norwegian coast and far out in Skagerrak. At the same time the concentration of algae along the coast of Denmark was low. The dominating diatoms were *Chaetoceros* spp., *Pseudo-nitzschia* sp. and *Skeletonema costatum*. After the diatom bloom and the bloom of *Chattonella* the situation was quite normal in Skagerrak. To sum up, the occurrence of algae in Skagerrak in 2001 was normal except for the bloom of *Chattonella*.

Harmful algae. Right after the spring bloom in March a bloom of the harmful *Chattonella* followed. The bloom hit the Swedish west coast and the eastern part of Skagerrak and the coast of southern Norway.

The coast and fjords

Coastal climate. Along the whole coast the temperature was above average in 2001, except in July/August when bad summer weather and upwelling resulted in cold water. In 150 m depth the temperature along the whole coast was higher than normal. Inflow of dense Atlantic water in Skagerrak renewed the basin water in the easternmost fjords. The temperature in the deeper water layers along the coast of Skagerrak was close to normal in 2001.

Plankton. The spring bloom of diatoms in southern Norway was quite modest in 2001 with a peak in March. Right after the spring bloom *Chattonella* bloomed and thus the peak in chlorophyll consisted of a mixture of diatoms and *Chattonella*. On the coast between Rogaland and Finnmark the spring bloom started in March in Rogaland and then spread northwards. At the end of the summer a bloom by *Emiliania huxleyi* occurred in Finnmark, which is quite unusual that far north.

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 in southern Norway the consumption of oxygen was still high during 2001. 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. During 2001 the basin water in the Oslofjord and other fjords in the region were completely renewed by inflowing Atlantic water.

Harmful algae. Species of *Chattonella* and *Heterosigma* caused considerable death among farmed salmon on the

Skagerrak coast in 2001. The occurrence of *Dinophysis* species, which cause diarrhetic poison, was normal in 2001. Paralytic poison was recorded in the inner Oslofjord, but caused no problem. No fish were killed by algae on the coast between Rogaland and Finnmark. Species of *Dinophysis* were recorded along the whole coast, but they caused no problems. No serious problems with paralytic poison occurred in 2001 along the coast of western Norway although it was detected several places.

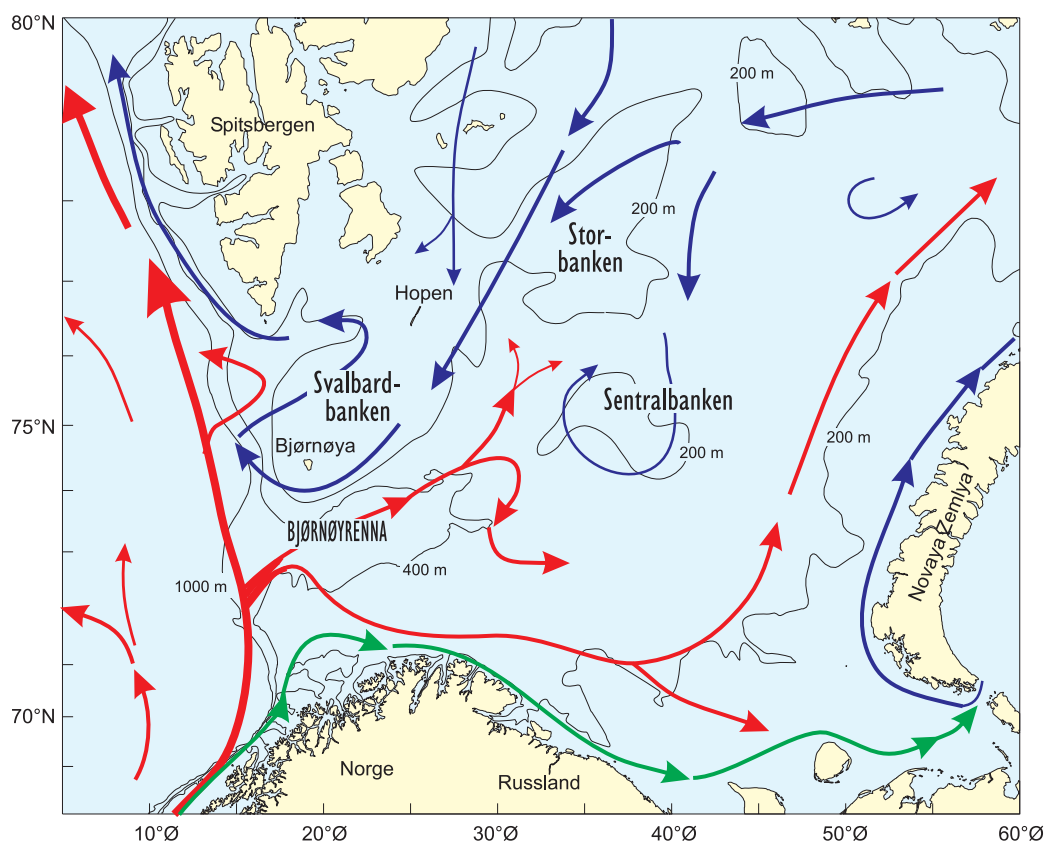
Pollution

Oil contamination in fish. Muscles of haddock were analyzed from ten areas along the coast. The goal was to investigate if haddock contained components of oil originating from the offshore oil industry. The fish were tested for selected hydrocarbons and C₀-C₅ alkylated decalines. Only insignificant amounts of these substances were found in the fish, except for one sample from Sleipner oil field which contained C₀-C₅ alkylated decalines.

Radioactivity. In 2001 radioactivity was monitored in the North Sea and a considerable number of fjords. Samples were taken from the bottom sediment, water and fish. In addition the sunken Russian submarine “Komsomolets” southwest of Bjørnøya was monitored. The results from 2001 derive mainly from the monitoring of another Russian submarine “Kursk”. These show that the marine environment was not contaminated by radioactivity neither when the ship went down nor in connection with the rescue. The discharges of technetium-99 from Sellafield in UK have raised the levels of this radioactive contaminant in Norwegian waters and accumulated in algae and invertebrates. However, the levels in the organisms are below levels of concern.

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. Innstrømningen 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. Barentshavet er karakterisert ved store variasjoner fra et år til et annet, både når det gjelder varmeinnhold og isforhold. Den viktigste årsaken til dette, er endringer i mengden 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 langtidsmiddelet for perioden 1977-2000 (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. I løpet av første halvdel av 2001 avtok temperaturen i atlantehavsvannet i de vestlige deler av Barentshavet slik at temperaturen i juni var helt lik middelverdien for hele perioden. Dette endret seg lite utover sommeren, men fra august steg temperaturen igjen, slik at temperaturen var 0.6 °C over middelet i oktober. I januar 2002 var temperaturen igjen bare 0.2 °C over langtidsmiddelet.



Figur 1.1

De viktigste trekkene i sirkulasjonsmønsteret og dybdeforhold i Barentshavet. Røde piler: atlantisk vann. Blå piler: arktisk vann. Grønne piler: kystvann.

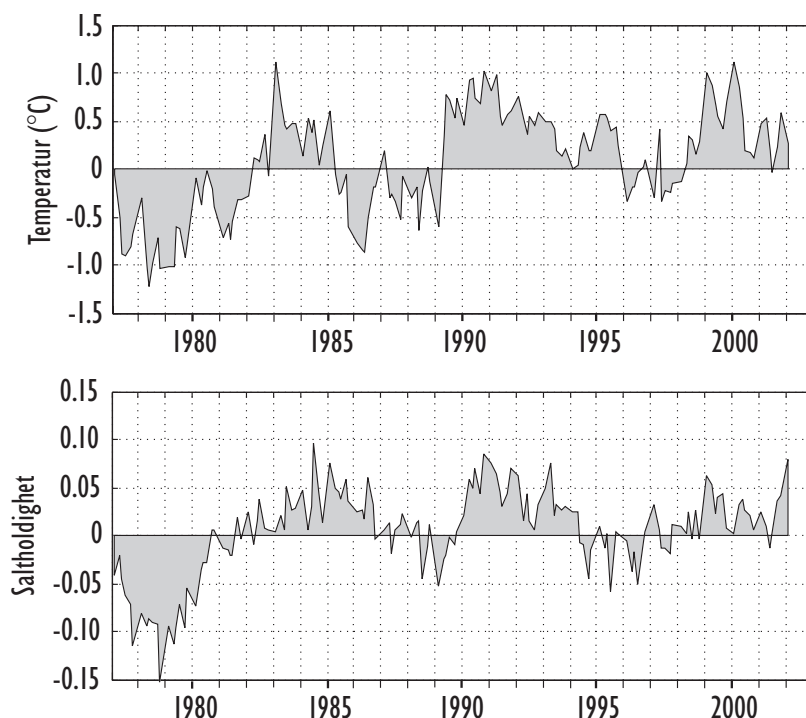
The most conspicuous features of the circulation and bathymetry of the Barents Sea.

I sentrale deler av Barentshavet lå temperaturene 0.6-0.8 °C over langtidsmiddelet i hele første halvår av 2001, og det var noe høyere enn året før. Utover sommeren falt temperaturen til samme nivå som året før og lå i august bare 0.1°C over middelet, og forholdene var akkurat de samme ved årsskiftet 2001/2002. Lengre øst i Barentshavet var temperaturen hele 0.7-0.9 °C høyere enn langtidsmiddelet i første halvår, for så å avta til bare 0.2 °C over middelet ved årsskiftet 2001/2002. En avtagende temperatur i øst var ventet etter at temperaturen i de vestlige deler av havet hadde vist en fallende tendens året før og tidlig i 2001. Dette er en avkjøling som ventes å fortsette i alle fall ut første halvdel av 2003, og særlig i den aller østligste delen av Barentshavet. Temperaturutviklingen i Barentshavet sett i et lenger perspektiv er beskrevet i en temaartikkel av Loeng og Ingvaldsen i temadelen.

Figur 1.2 viser at saltholdigheten i snittet Fugløya-Bjørnøya i stor grad svinger i takt med variasjoner i temperaturen. Dette gjelder også resten av Barentshavet som er influert av atlantehavsvann.

Figur 1.3 viser temperaturfordelingen i 100 m dyp i Barentshavet i august-september 2001 (øverst) og i et middelår (nederst). Den dårlige deknningen i sørlige

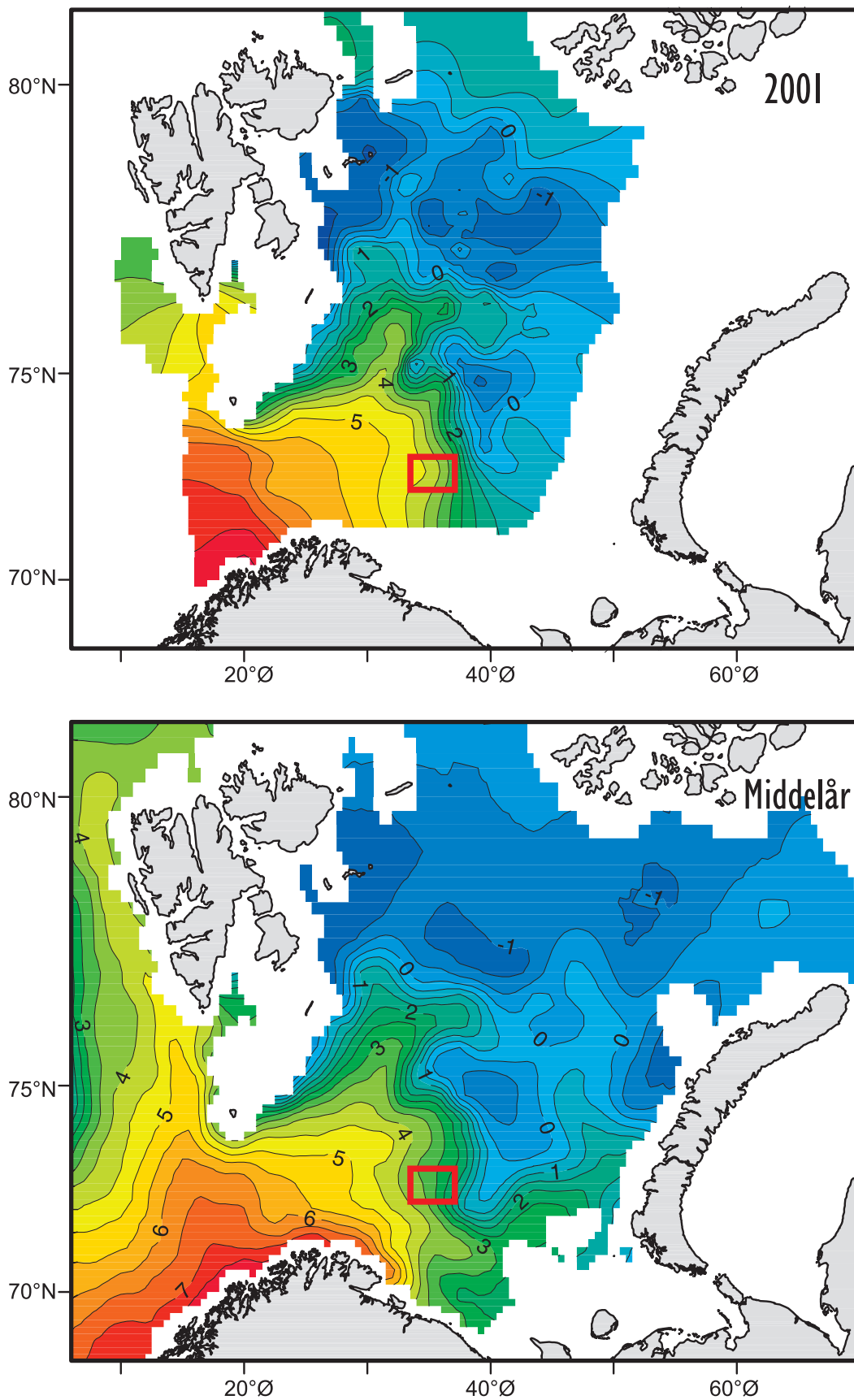
og østlige deler skyldes at Havforskningsinstituttet ikke fikk tillatelse til å ta observasjoner i dette området. I 2001 var temperaturen i august-september nær middelet i store deler av havet og var ikke vesentlig forskjellig fra året før. I Hopendjupet, og spesielt i området mellom Storbanken og Sentralbanken, var temperaturen noe høyere enn middelet, men svært lik forholdene i 2000. Det kalde området sørøst for Sentralbanken hadde ikke endret seg i forhold til 2000, og var svært lik middelet. Den eneste forskjellen fra middelåret og 2000 var en noe høyere temperatur akkurat i innstrømningsområdet til Barentshavet. 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 være fisketomt i perioder. Da vil fisken trekke lengre sør og vest. Årsaken til dette er at denne delen av Smutthullet ligger i et område med store øst-vestforskjeller i temperatur (polarfronten). Små øst-vest-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.



Figur 1.2

Temperatur- og saltholdighetsavvik mellom 50 og 200 m dyp i snittet Fugløya-Bjørnøya i perioden 1977-2001.

Temperature and salinity anomalies between 50 and 200 m.



Figur 1.3

Temperaturfordelingen i Barentshavet i 100 m dyp for august-september. Øverst: 2001. Nederst: middelår. Den sørvestlige delen av Smuthullet er markert med rød firkant.

Distribution of temperature at 100 m depth during August-September. Upper: 2001. Lower: mean temperature. The southwestern part of the Loophole is marked in red.

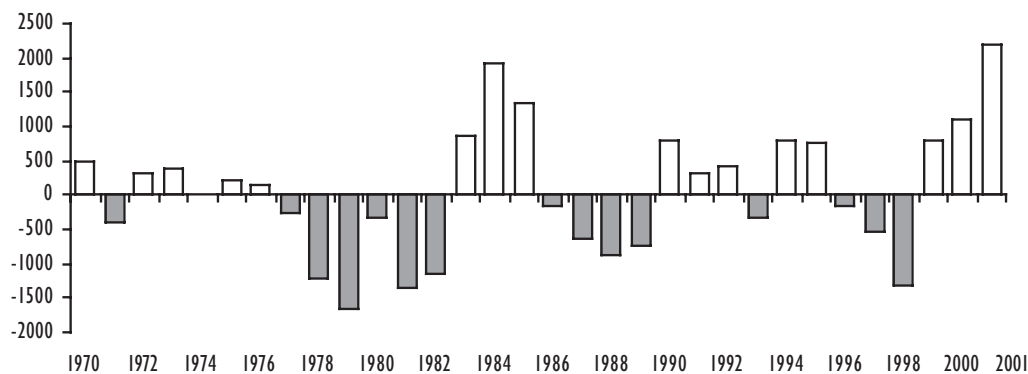
Temperaturen i Smutthullet var omtrent på samme nivå i 2001 som i 2000, og lå i august-september noe høyere enn i et middellår.

I 2001 var det ubetydelig mer is om vinteren enn året før. Isgrensen lå store deler av vinteren nord for 76°N, og i enkelte områder også nord for 77°N, og tilsvarer forholdene i begynnelsen av 1990-årene. I løpet av sommeren 2001 var ismeltingen i Barentshavet den største som er registrert etter at isindeksen ble etablert i 1970. Vi må tilbake til sommeren 1984 for å finne et år som hadde nesten like stor avsmelting om sommeren. Totalt sett er også 2001 det året som har hatt minst is (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 stor avsmeltingen blir i løpet av sommeren. Siden sjøtemperaturene ved årsskiftet 2001/2002 var høyere enn middelet, var det også ved dette årsskiftet relativt lite is i Barentshavet. Siden det har vært et fall i temperaturen sammenlignet med året før i de østlige deler av havet, forventes det imidlertid noe mer is i løpet av vinteren 2002 enn i 2001.

I 1997 begynte Havforskningsinstituttet med strømmålinger fra faste rigger i snittet mellom Fugløya og Bjørnøya. Figur 1.5 viser transport av atlantehavsvann inn i Barentshavet for perioden fra september 1997 og fram til september 2001. Figuren viser at det

er store variasjoner i transporten fra måned til måned, og forskjellen er mer enn 10 Sverdrup (1 Sverdrup (Sv) er $1 \text{ mill m}^3 \text{ s}^{-1}$, 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. Resultatene fra første halvdel av 2001 viser at det var en noe svakere innstrømning av atlantehavsvann i denne perioden sammenlignet med tidligere år. Figur 1.6 viser modellert innstrømning til Barentshavet i 2001 framstilt som avvik fra et middel for perioden 1955-2001. Denne figuren viser klart at innstrømningen i første tertial var sterkere enn vanlig, men avvikene i mars og april var ubetydelige. I månedene mai-august var det mindre innstrømning enn vanlig, og tre av disse månedene hadde en vesentlig mindre innstrømning enn normalt. Resultatene både fra målingene og modellering viser altså en svak innstrømning i den perioden hvor det vanligvis er stor transport av dyreplankton og fiskelarver inn i Barentshavet. Den lave innstrømningen kan derfor være en god forklaring på både fordeling og mengde av 0-gruppefisk i Barentshavet høsten 2001. Se tema-artikkel side 69.

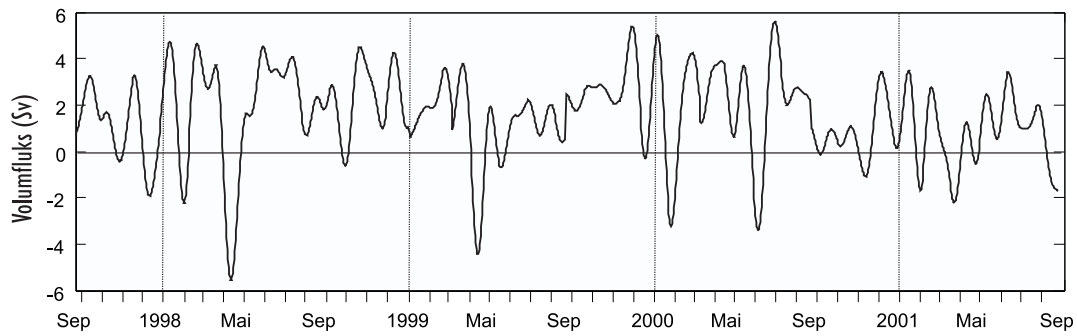
Analyser av lange tidsserier av temperaturforholdene i Barentshavet viser periodiske svinginger, med perioder fra to til omkring tjue år. Mye av den observerte variabiliteten kommer fra disse periodiske endringene, og vi kan derfor bruke statistiske metoder for å varsle de fremtidige temperaturfluktuasjonene i Barentshavet. Beregningene indikerer at temperaturen i Barentshavet vil avta til et minimum i 2002-2003, etterfulgt av noen år med temperaturer rundt eller



Figur 1.4

Isindeks for Barentshavet i perioden 1970-2001. Positive verdier betyr lite is, negative verdier indikerer mye is.

Ice index for the period 1970-2001. Positive values indicate little ice, while negative values show more severe ice conditions.



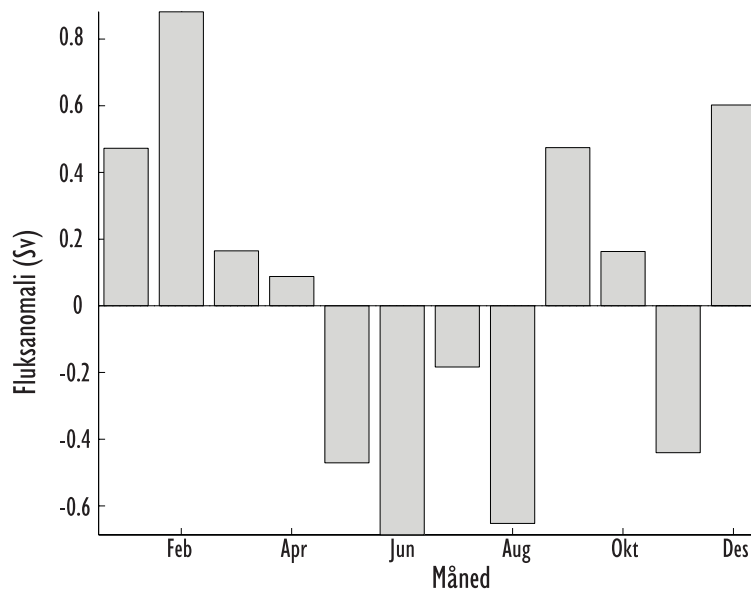
Figur 1.5

Månedsmiddel av observert transport av atlantehavsvann inn i Barentshavet for perioden september 1997 - september 2001.

Monthly mean of measured transport of Atlantic water into the Barents Sea.

under middelet (Figur 1.7). Observasjonene de siste tre årene har imidlertid gitt til dels mye høyere temperaturer enn prognosen. Ser man tilbake i tid, vil man legge merke til at observasjonene har større utslag enn prognosene, men stort sett har variasjonsmønsteret vært noenlunde likt. De observasjonene vi har tatt i løpet av 2001 indikerer at vi vil kunne få avtagende temperaturer i deler av Barentshavet, spesielt i de østlige deler hvor Kolasnittet ligger. Dette vil i så fall være i tråd med den statistiske prognosen. Forskerne ved havforskningsinstituttet i Murmansk (PINRO) har også laget en

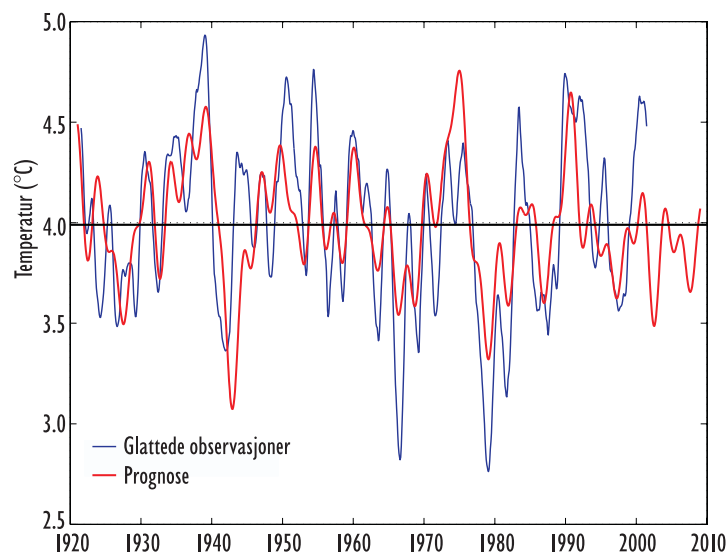
prognose fram til 2006. Denne følger i store trekk den utviklingen som er vist i Fig. 1.7, med den forskjellen at de har et minimum i 2003, ett år senere enn våre egne prognoser. Basert på observasjoner og nevnte prognoser vil vi forvente en temperaturnedgang i Barentshavet i 2002 sammenlignet med 2001, spesielt i de østlige deler. Det vil ha som konsekvens dårligere vekstforhold for de kommersielt viktigste fiskeartene samtidig med at sjansen for å få nye sterke årsklasser i 2002 er liten. Mest sannsynlig vil rekrutteringen bli et sted mellom svak og middels, med størst sjanse for førstnevnte.



Figur 1.6

Modellert innstrømning til Barentshavet for hver måned i 2001, vist som avvik fra langtidsmiddelet 1955-2001.

Monthly anomalies of Atlantic inflow to the Barents Sea in 2001.



Figur 1.7

Observert og modellert temperaturutvikling i Kolasnittet i Barentshavet sammen med prognose for denne frem til 2010.

Observed and modelled development of the temperature in the Kola section together with temperature prognosis to 2010.

1.2

Plankton

Barentshavet er et viktig oppvekstområde for lodde, torsk og sild, og den antatt tette koblingen mellom plankton og fisk gjør at området har vært overvåket i en årrekke.

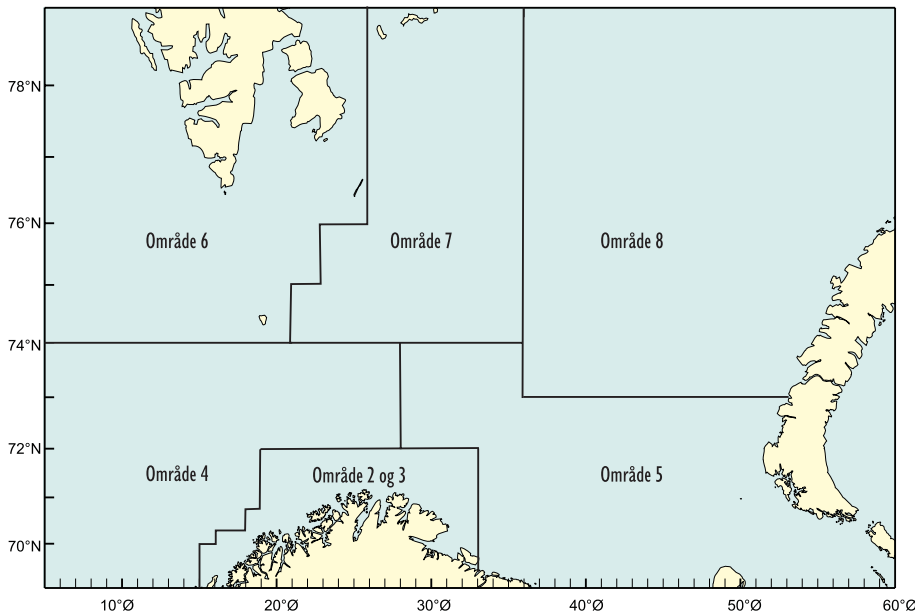
En rik planktonproduksjon opprettholdes ved innstrømming av atlantisk vann med plankton fra Norskehavet. Raudåta, *Calanus finmarchicus*, er den arten som står for den høyeste biomassen og årsproduksjonen av plankton. Om vinteren står raudåta i Norskehavet på dypt vann, og Den nordatlantiske strømmen bringer lite plankton inn i Barentshavet. Innstrømmingsintensiteten og tidspunktet for innstrømming er viktig for mengden av transportert plankton når dette vandrer opp om våren. Fysiske forhold kan således bidra til årlige variasjoner i planktonet. Andre viktige mekanismer som regulerer planktonmengden er predasjon fra pelagisk fisk, men også fra evertebrater som maneter og kammaneter.

Ved siden av kopepodene, er krill og amfipoder de viktigste bidragsyterne til biomassen. Store årlige variasjoner i dyreplanktonet ble observert først på 80-tallet, da biomassen om sommeren falt markert fra 1981 til 1984. Siden 1986 har fordeling og sammensetning av dyreplankton i Barentshavet blitt undersøkt årlig i august–september. Hvert år har 100-200 stasjoner blitt tatt gjennom en vid dekning av området i forbindelse med Havforskningsinstituttets

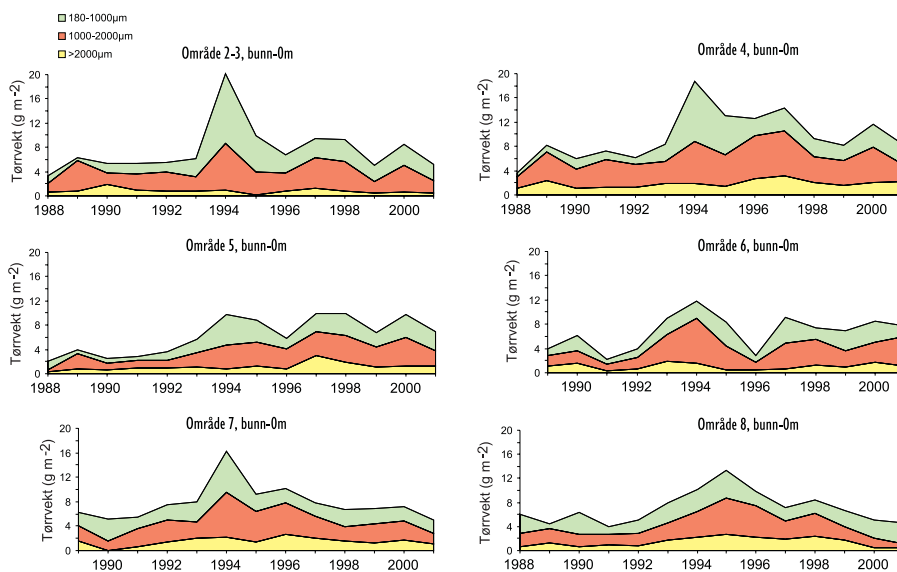
0-gruppe- og loddeundersøkelser. I september kan en forvente at isutbredelsen i Barentshavet er minst, slik at et størst mulig område kan kartlegges. På denne tiden har også primærproduksjonen og beitepresset fra planktonspisende fisk avtatt, og dyreplanktonets biomasse er en god indikator på størrelsen av overvintringsbestanden. Raudåta utgjør den største andelen av dyreplanktonet og er det viktigste byttedyret for pelagisk fisk som sild og lodde.

Tidsserien fra 1988-2001 viser biomassen av dyreplankton fra bunn til 0 m i forskjellige områder av Barentshavet (Figur 1.8-1.10). Områdene 2 og 3 er slått sammen på grunn av lav dekningsgrad. Data er basert på hal med WP2-håv som fanger raudåte og mindre plankton bra, men som underestimerer større og hurtigsvømmende former. Planktonet blir sortert etter størrelse ved siling på duk av forskjellig maskevidde før prøvene blir tørket og veid. Om høsten inneholder prøvene for det meste overvintrende raudåte, *Calanus finmarchicus*, i stadium IV-V, og disse dominerer i størrelsesgruppen 1000-2000 µm. Krill, amfipoder og pilormer er vesentlige bestanddeler i den største størrelsesgruppen > 2000 µm, mens små kopepoder og yngre stadier av *Calanus* dominerer i 180-1000 µm-fraksjonen.

Fra 1991-94 var det en tydelig tendens til en økende biomasse i vannsøylen i alle deler av Barentshavet, og for område 8 fortsatte økningen videre til 1995. De



Figur 1.8
Områdeinndeling av Barentshavet (tidligere "flerbestandsområder").
Division of the Barents Sea into subregions ("multispecies regions").



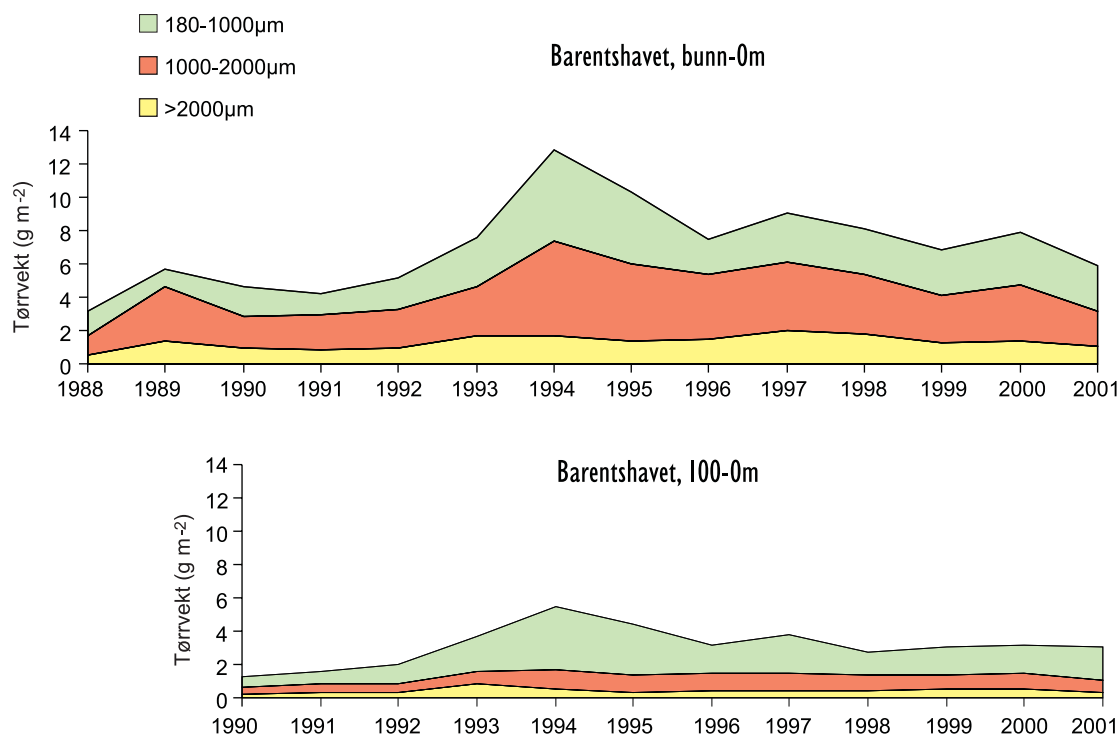
Figur 1.9
Middelverdier av størrelsesfraksjonert dyreplanktonbiomasse, $g\ m^{-2}$ (askefri tørrvekt 1988-89 og tørrvekt 1990-2001) fra bunn-0 m i "flerbestandsområdene" 2-8. Askefri tørrvekt tilsvarer ca. 80 % av tørrvekt. Mean values of size separated zooplankton biomass, $g\ m^{-2}$ (ash free dry weight 1988-89, dry weight 1990-2001), from bottom-0 m in the "multispecies" regions 2-8. Ash free dry weight is about 80 % of dry weight.

senere årene har biomassen ligget på et lavere nivå. I de nordlige og nordøstlige delene av Barentshavet (områdene 7 og 8) har variasjonene vært minst, og hovedinntrykket er en gradvis reduksjon. Fra 2000 til 2001 falt planktonmengden i samtlige områder. Det var tydelig minst biomasse nordøst i område 8 med $4.62\ g\ tørrvekt\ per\ m^2$. En vesentlig del av denne var små kopepodarter og yngel av raudåte. I løpet av de siste tre årene steg andelen av små former (180-1000 μm) fra under 40 til over 70 % i område 8. Større former som raudåte stadium IV-VI og andre store arter var sterkt underrepresentert, og dette kan ha en

viss betydning for mattilbudet for planktonspisende fisk.

De største planktonmengdene i 2001 ble observert i område 4 sør og sørvest av Bjørnøya ($8.37\ g\ per\ m^2$).

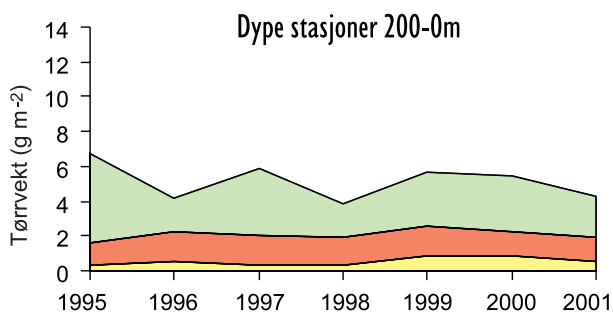
I Figur 1.10 er alle stasjonene behandlet under ett, slik at langtidstendringene i Barentshavet kommer tydeligere frem. Den høyeste biomassen fra bunn-0 m ble registrert i 1994 med $12.8\ g\ m^{-2}$. Etter dette har planktonmengden stort sett minket, og i 2001 hadde den sunket til $5.85\ g\ m^{-2}$ som er den laveste siden 1992.



Figur 1.10

Dyreplanktonbiomasse fra bunn-0 m (øverst) og fra 100-0 m (nederst), middelverdier for hele Barentshavet, fra 1988-2001.

Mean zooplankton biomass from bottom-0 m (top) and from 100-0 m (bottom), for the whole Barents Sea, from 1988-2001.



Figur 1.11

Dyreplanktonbiomasse i 200 (300)-0 m, middelverdier fra dype stasjoner i de vestlige deler av områdene 2, 4 og 6, fra 1995-2001. Se figur 1.10 for tegnforklaring.

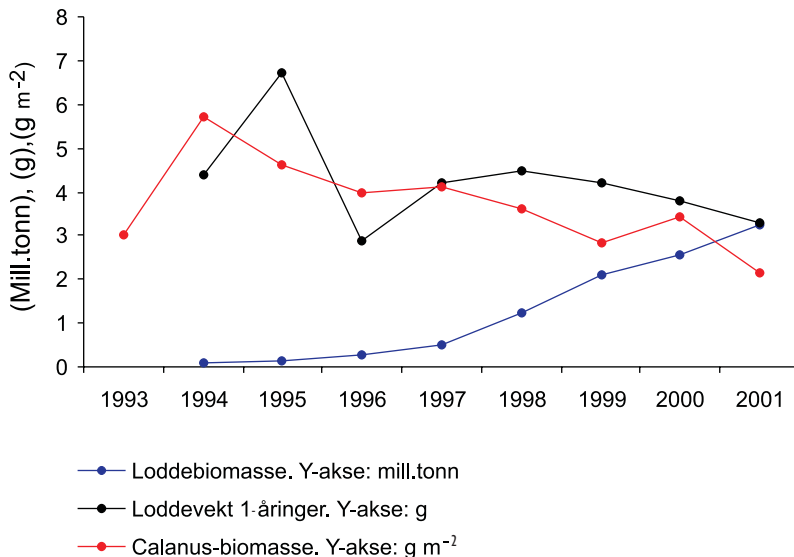
Mean zooplankton biomass from 200 (300)-0 m, deep stations in the western parts of region 2, 4 and 6, from 1995-2001.

Biomassen i de øverste 100 m viser de samme svingningene som i bunn-0 m, men mengden er i snitt under halvparten av biomassen i hele vannsøylen. Planktonet i 100-0 m skiller seg ut med en langt høyere andel av små organismer. Dette kan forklares med at nedvandring av de eldre kopepodittstadiene har funnet sted, og at overflaten nå domineres av yngre stadier av raudåte, eller av andre mindre planktonorganismer.

Fra 1995 ble dekkningen utvidet til vest av Svalbard og Bjørnøya over de dype områdene av Norskehavet

i områdene 2, 4 og 6 (Figur 1.11). Her ble trekkene tatt fra 200 m dyp (hovedsakelig 300 m i 1995). 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 fangsttypet.

Lodda er en planktonspisende fisk, med raudåte, krill og amfipoder på menyen. Totalbestanden varierte sterkt i 80- og 90-årene, og fra et lavmål midt på 90-tallet har den økt frem til 2000. Figur 1.12 viser

**Figur 1.12**

Utvikling av loddebestanden (2 år eller eldre) i Barentshavet (mill. tonn), gjennomsnittsvekt hos 1-åringer av lodde (g), og tørrvekt av dyreplankton i størrelsesgruppen 1000-2000 μm (g m^{-2}).

Development in the capelin stock (2 years and older) in the Barents Sea (mill. tonnes), mean individual weight of 1-year group capelin (g), and dry weight of 1000-2000 μm size group zooplankton (g m^{-2}).

utviklingen av loddas biomasse (to år og eldre) og gjennomsnittsvekten til 1-åringene, sammen med mengden av dyreplankton i størrelsesfraksjonen 1000-2000 μm , altså den delen som i hovedsak representerer raudåte. Biomassen av lodde har økt jevnt siden 1994, men samtidig har tendensen vært avtagende individvekt, i hvert fall hos 1-åringene, noe en naturlig kan sette i forbindelse med knappere

matressurser. Etter toppåret i 1994 har biomassen av raudåte minnet jevnt og trutt.

Det foreligger ikke noen samlet statistikk over forekomster av maneter og kammaneter. Imidlertid ble det observert store mengder og store individer av brennmaneter under årets tokt, og det er naturlig å anta at disse har hatt en negativ effekt på dyreplanktonet.

1.3

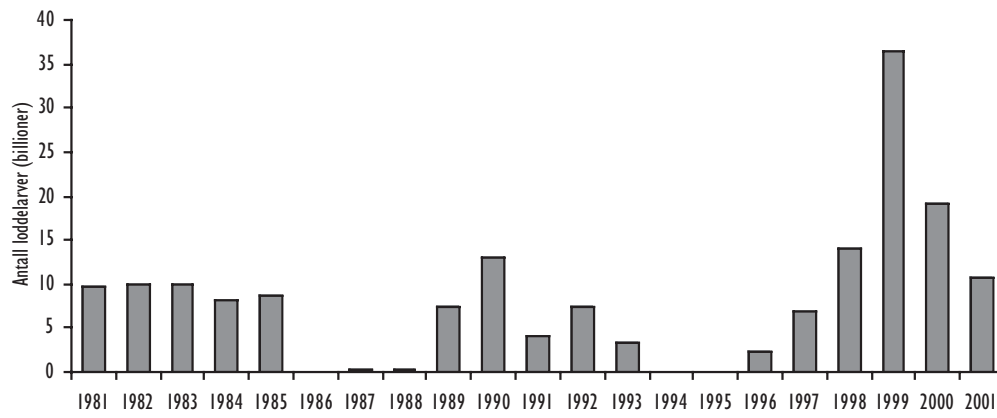
Yngelproduksjon

Lodde

Det ble samlet inn loddelarver med F/F "Michael Sars" i norsk sone i Barentshavet i perioden 4.-25. juni 2001 i ressurscenterets regi. Skipet fikk heller ikke i 2001 adgang til russisk sone, så et fullstendig undersøkelsesprogram lot seg ikke gjennomføre. Det ble tatt 296 stasjoner og gode værforhold under toktet gjorde at man dekket et større område enn tidligere år. Larvene hadde en vid utbredelse fra 18 til 40°Ø, og loddelarvene ble funnet så langt nord som 74°N. Et så stort utbredelsesområde tyder på at gytingen og larveproduksjonen har vært vellykket. De høyeste konsentrasjonene og de minste larvene ble funnet nær kysten. Det totale antallet loddelarver ble beregnet til 10.7×10^{12} (Figur 1.13). Larveforekomstene fortsatte inn i russisk sone, så det beregnede antall larver er

et underestimat. Selv om larveestimatet for 2001 er betydelig lavere enn i de foregående tre årene, ligger det omtrent på langtidsgjennomsnittet.

Under 0-gruppetoktet høsten 2001 ble det påvist færre 0-gruppelodde i Barentshavet enn i 1999 og 2000. Årsklassen av lodde kan karakteriseres som litt under middels. Forholdet mellom larveestimatet og 0-gruppeindeksen har i de tre siste årene vært relativt konstant, men overlevelsen mellom disse stadiene er redusert i forhold til de forutgående årene. Dette kan skyldes et høyere beitepress på larvene de siste årene. Prognoser for utviklingen i loddebestanden er nærmere beskrevet i *Havets ressurser*.



Figur I.13

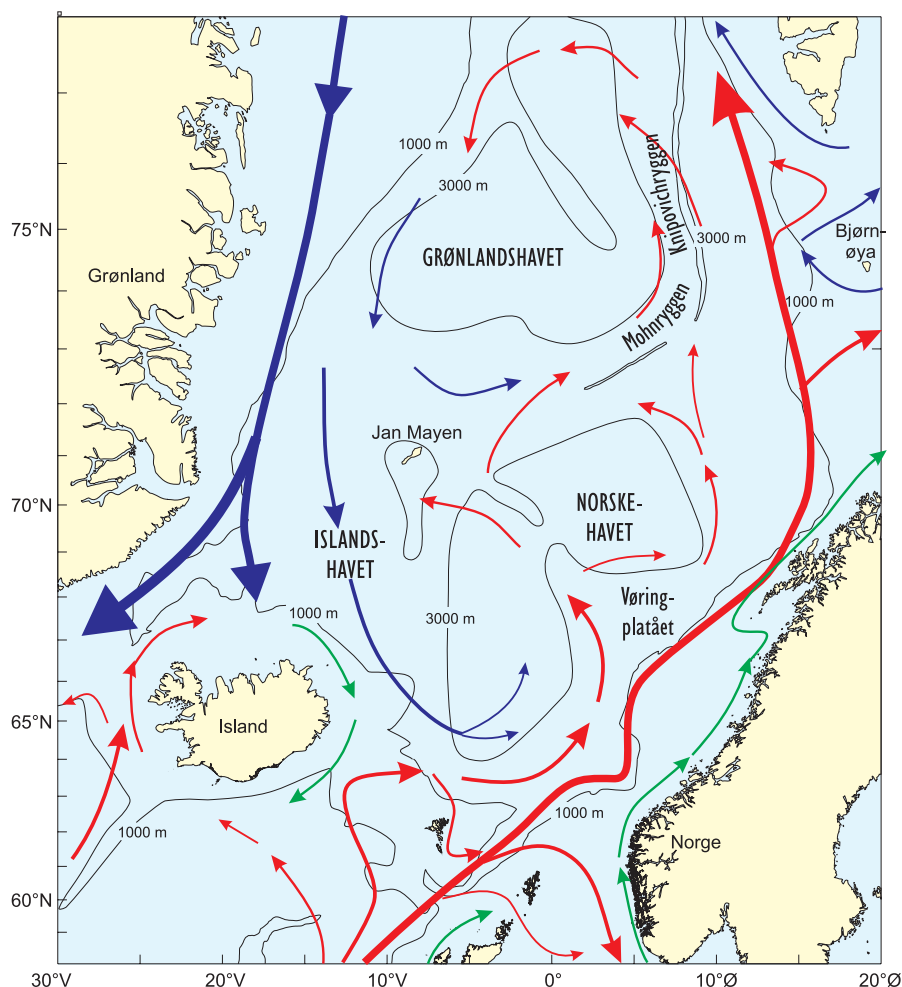
Antall loddelarver for perioden 1981-2001.

The number of capelin larvae during the period 1981-2001.

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 atlanterhavsvann kommer inn nord av Færøyene, etter å ha krysset Grønland-Skottlandsryggen mellom Færøyene og Island. Lenger vest er det innstrømming av atlanterhavsvann 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



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.

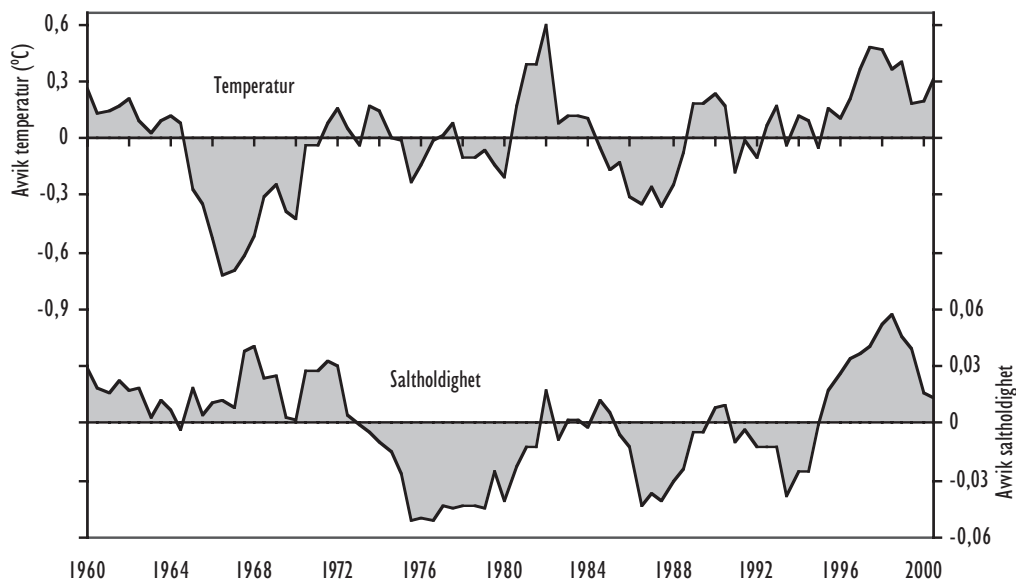
viktig økologisk faktor som virker inn på de biologiske forholdene i havet. Ofte rekrutteres store årsklasser av fiskebestandene i varme perioder. Temperaturvariasjonene er nødvendigvis ikke et mål for varmemengden som kommer inn i Norskehavet, fordi denne også avhenger av volumtransporten. Variasjoner i volumtransporten har vi langt mindre kjennskap til enn temperaturvariasjonene. Grunnen til dette er at transportmålinger er meget kostbare å gjennomføre.

Langtidstrender

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 igjen noe 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 m dyp i kjernen av atlantehavsvann like utenfor eggkanten, og er basert på målinger tatt i perioden fra slutten av juli til begynnelsen av september.



Figur 2.2

Tidsserier av temperatur og saltholdighet i atlantehavsvann over eggkanten 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 since 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.*

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 alle tre snittene har det vært en langtidstrend mot høyere temperatur. Figur 2.3 viser at temperaturøkningen har vært 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. I 2001 har det vært en nedgang i både temperatur og saltholdighet i det sørlige Norskehavet sammenlignet med 2000. I det sentrale og nordlige Norskehavet har det derimot vært en økning i 2001 i både temperatur og saltholdighet.

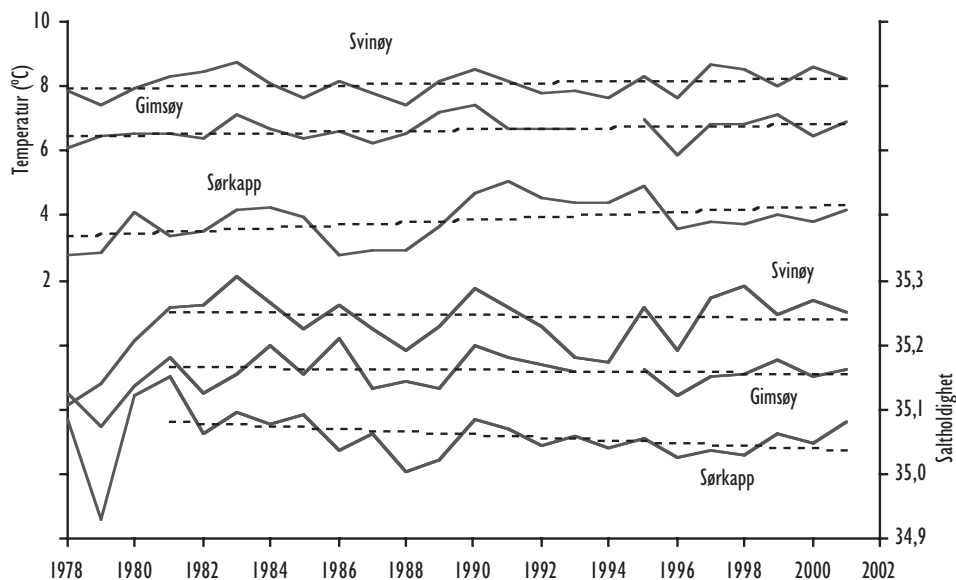
I det innstrømmende vannet i Færøy-Shetlandsrennen har saltholdigheten vist en økende trend etter 1980, og da spesielt etter 1994 (Figur 2.2). Denne økningen ser vi ikke i Norskehavet, hvor alle tre snittene har vist en tendens mot lavere saltholdighet siden 1981. Forskjellen skyldes at det sørlige og 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. Siden 1996 har det derimot vært en saltholdighetsøkning for alle de tre snittene i Norskehavet.

Tidsserier i sentrale og vestligere deler av Norskehavet ved værskipsstasjon Mike (St. M, Figur 0.1) viser også en langtidstrend, beregnet fra 1950 til 1999, mot lavere saltholdighet. Dette fremgår i Figur 2.4 som viser tidsseriene av temperatur og saltholdighet i 150 m dyp for august måned ved stasjon M. Vi ser at det har vært en beskjeden langtidstrend mot lavere temperatur, men denne trenden er veldig svak. Etter at temperaturen og saltholdigheten hadde relative høye verdier i 1998, sank de igjen og lå i 1999 nær langtidstrenden.

Variasjoner i vannmassefordeling

Variasjoner i areal og i middeltemperatur av atlantisk vann i Svinøysnittet om sommeren er vist i Figur 2.5. Atlantisk vann er her definert som alt vann med saltholdighet høyere enn 35. Høye verdier av areal



Figur 2.3

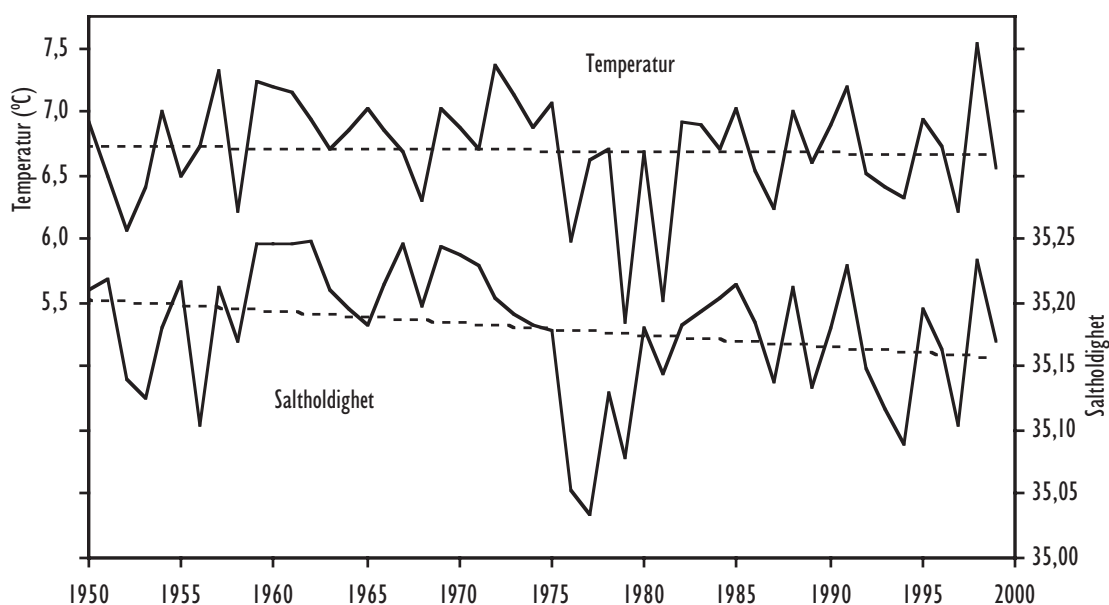
Temperatur og saltholdighet, juli/august i kjernen av atlantisk vann i snittene Svinøy-NV, Gimsøy-NV og Sørkapp-V, midlet mellom 50 og 200 m dyp (1978-2001). (Lokalisering av snittene er vist i Figur 0.1).
Temperature and salinity, July/August in the core of Atlantic water in the sections Svinøy-NW, Gimsøy-NW and Sørkapp-W, averaged between 50 and 200 m depth (1978-2001). (Positions of the sections are indicated in Figure 0.1).

er et resultat av en større utbredelse av atlantisk vann i snittet. En større utbredelse kan forekomme ved at det atlantiske vannet har en mer vestlig utbredelse, eller ved at det har en dypere utstrekning i et eller flere områder. Mye vestavind vil føre til at det atlantiske vannet blir presset østover, dvs. mindre vestlig utbredelse som gir et lavere areal i snittet. I 1992-95 var arealet av det atlantiske vannet i snittet langt lavere enn langtidstrenden fra 1981 til 2001, og 1993 hadde den laveste verdien siden 1979. Selv om arealet av det atlantiske vannet har steget de to siste årene, er langtidstrenden nedadgående. I årene 1997-1999 hadde det atlantiske vannet de høyeste temperaturene i hele tidsserien, mens temperaturen i 2000 falt til under langtidstrenden. I 2001 var temperaturen omtrent den samme som i 2000. Langtidstrenden viser at det atlantiske vannet har blitt ca. 0.5 °C varmere fra 1978 til 2001.

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.

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 om våren vært en stor tilførsel av arktisk vann til det sørlige Norskehavet. Dette er kanskje



Figur 2.4

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

Monthly mean values for August of temperature and salinity at 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.

forklaringen på at silda har hatt en nordøstlig utbredelse de siste somrene.

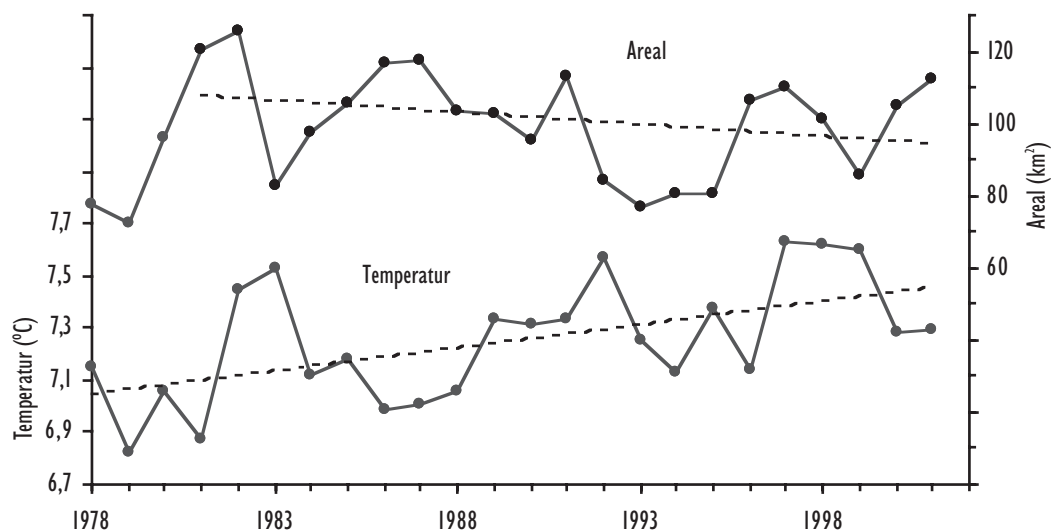
Horisontal fordeling av overflatetemperatur

Ved hjelp av satellitter kan man måle temperaturen ved havoverflaten for store havområder samtidig. Øverst til venstre i Figur 2.6 vises temperaturen ved havoverflaten i mars 2001 målt ved hjelp av satellitter. Tidlig på våren er de øvre vannmassene fortsatt godt gjennomblandet, slik at temperaturen ved havoverflaten også gjenspeiler temperaturen dypere ned i vannkolonnen. Fra figuren kan man tydelig se tungen av relativt varmt vann som strømmer gjennom Færøy-Shetlandsrennen og inn i det østlige Norskehavet. Arktisk vann som kommer fra Øst-Islandsstrømmen kan også ses øst for Island. Området hvor temperaturen øker relativt mye, fra vest mot øst over en relativt kort distanse, er Den arktiske fronten. Temperaturavviket for mars 2001, fra et gjennomsnitt for mars måned, vises i figuren øverst til høyre. Gjennomsnittstemperaturen er beregnet ved hjelp av både hydrografiske observasjoner og satellittdata over de siste 30 årene. I store deler av Norskehavet har det vært en temperaturøkning på over 0.5 °C og i enkelte områder også over 1 °C.

Nederst i Figur 2.6 vises temperaturen ved havoverflaten i desember 2001 til venstre, mens avviket fra gjennomsnittet for desember vises til høyre. Generelt har det vært en liten temperaturøkning i mesteparten av Norskehavet. Den største økningen har vært sør for Spitsbergen med over 0.5 °C og maksimum 1 °C. I Grønlandshavet har det derimot vært en temperaturnedgang.

Volumtransport

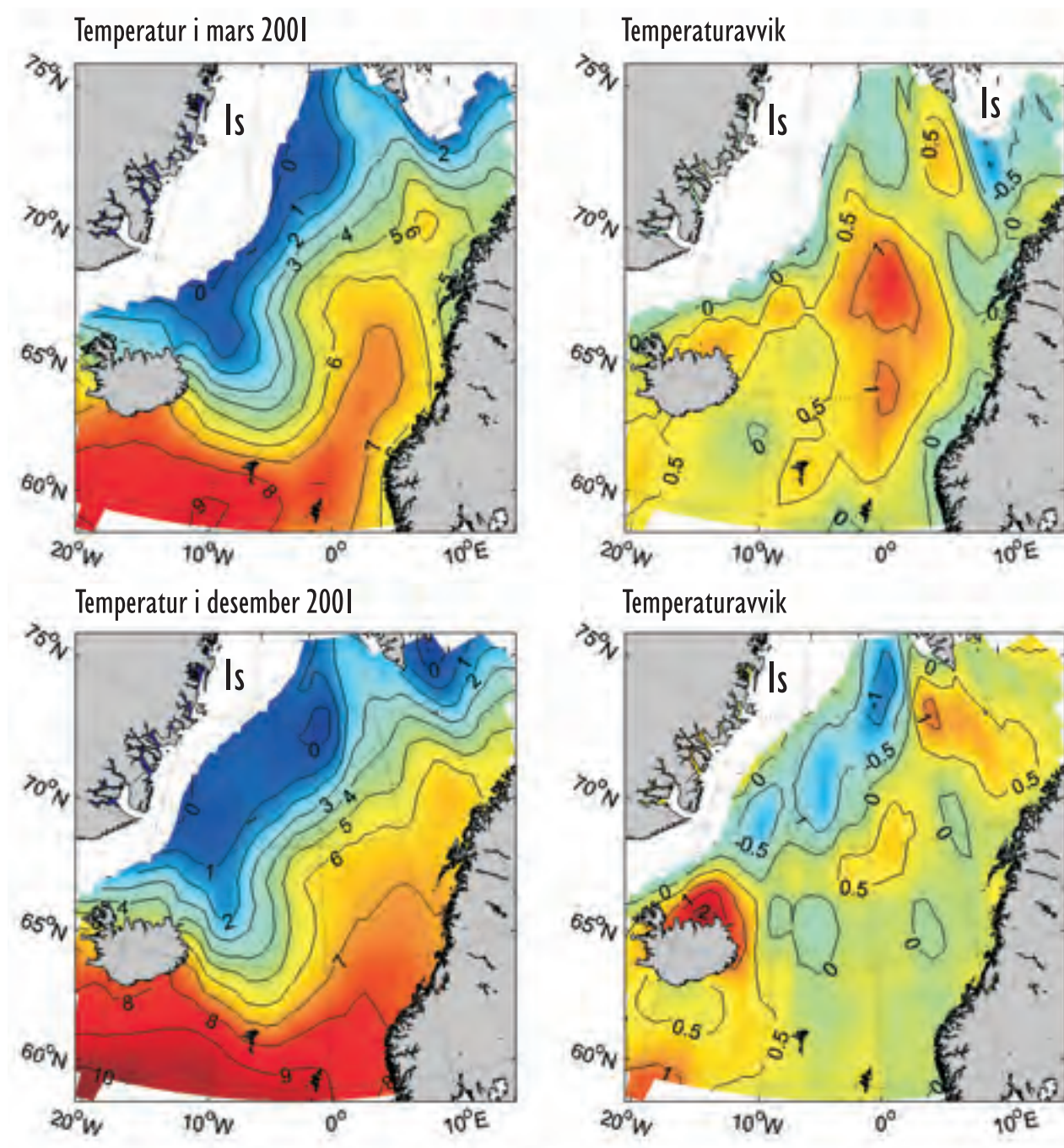
Volumtransporten av atlantisk vann inn i Norskehavet er de siste årene blitt målt med strømmålere i Svinøysnittet. Målerne er plassert slik at de fanger opp variasjoner av strømmen i kjernen av det atlantiske vannet ved eggakanten. Målerne fanger derimot ikke opp strøm lengre ute i snittet. Figur 2.7 viser tre måneders og et års glidende midler av transporten fra mai 1995 til august 2001. Innstrømningen er størst om vinteren og lavest om sommeren og høsten. Selv om tidsserien viser mange og raske svingninger, eksisterer det også langperiodiske svingninger. Siden 1999 har det vært en nedadgående trend, og i 2001 hadde årsmiddelet av transporten, sammen med 1997, de laveste verdiene i hele tidsserien.



Figur 2.5

Areal (i km²) og middeltemperatur av atlantisk vann i Svinøysnittet, observert i juli/august 1978-2001. Atlantisk vann er her definert som vann med saltholdighet høyere enn 35. Høye verdier av areal er et resultat av en større utbredelse av atlantisk vann i snittet.

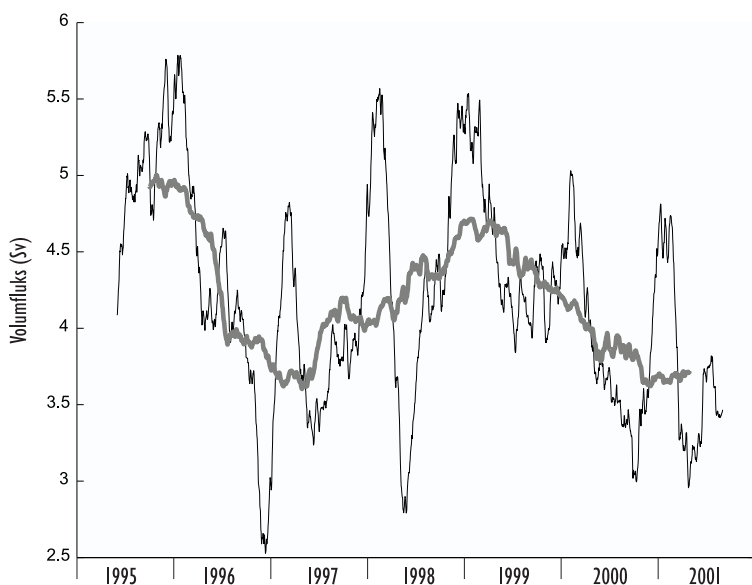
Area (in km²) and averaged temperature of Atlantic water in the Svinøy section, observed in July/August 1978-2001. Atlantic water is defined as water with salinity above 35. High values of area are results of a larger distribution of Atlantic water in the section.



Figur 2.6

Overflatetemperatur og temperaturavvik i Norskehavet målt fra satellitt. Hvitt felt angir et isdekke på over 50 %. Øverst og nederst til venstre: overflatetemperatur i mars og desember 2001. Øverst og nederst til høyre: temperaturavvik i overflaten i mars og desember 2001 fra et gjennomsnitt i årene 1970-2000. Blå farge betegner relativt kaldere vann. Intervallet mellom kotelinjene er 0.5 °C. Satellittdata er fra National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), USA.

Sea surface temperature and anomalies in the Norwegian Sea measured with satellite. White area indicates an ice cover of more than 50 %. Upper and lower left: sea surface temperature in the Norwegian Sea in March and December 2001. Upper and lower right: temperature anomaly of sea surface temperature in March and December 2001 from mean temperatures in the years 1970-2000. Blue colour indicates relatively colder water. Intervals: 0.5 °C. Satellite data are from National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), USA.

**Figur 2.7**

Volumtransporter av atlantisk vann fra mai 1995 til august 2001 ved eggakanten gjennom Svinøysnittet. Tidsseriene er 3 måneders og 1 års glidende midler av dataene. 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.

Volume transports of Atlantic water from May 1995 to August 2001 at the shelf edge through the Svinøy section. The time series are 3 months and one year running means of the data. 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

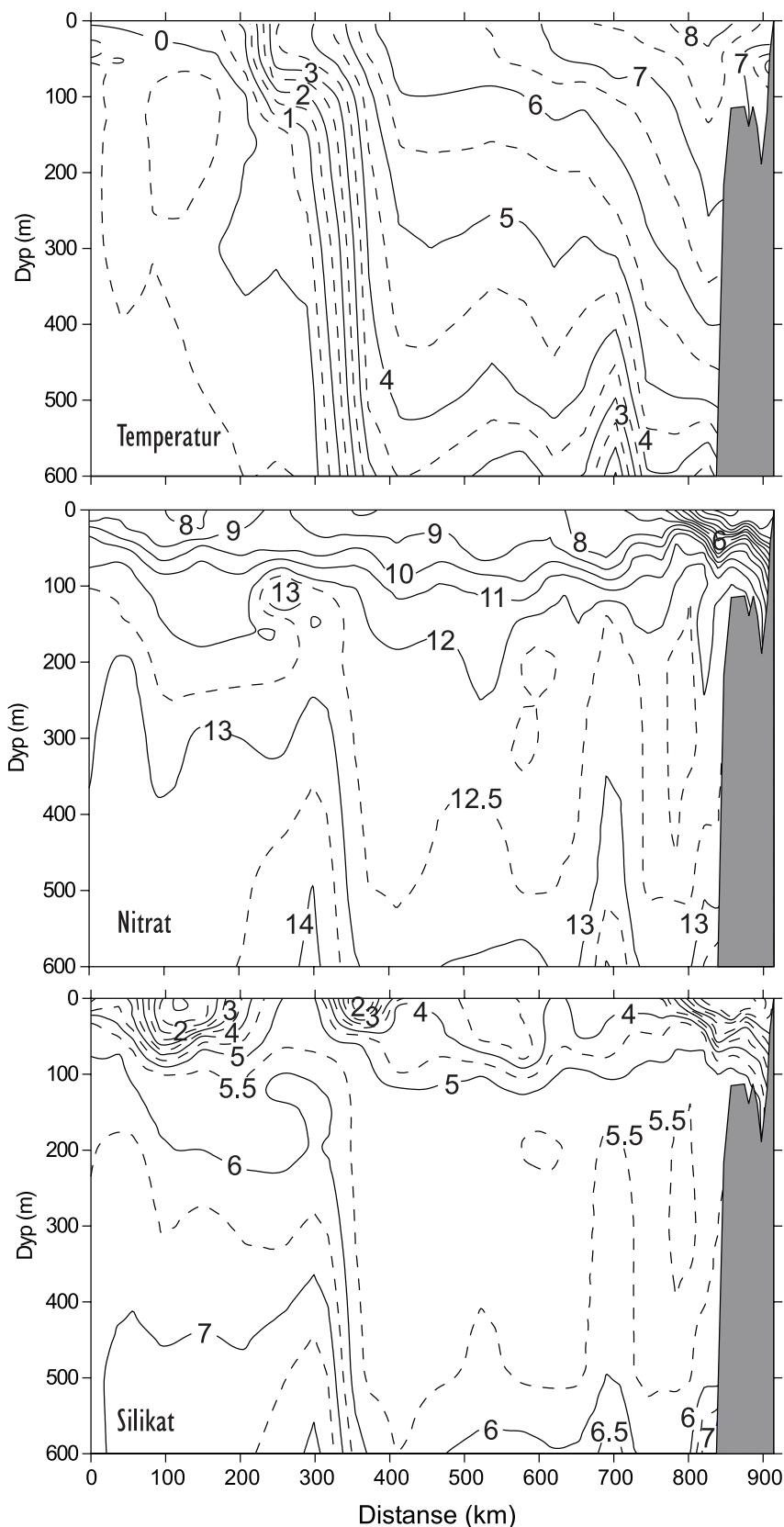
Plantep plankton og næringsalter

Norskehavet og Grønlandshavet er to viktige områder for instituttets virksomhet. Norskehavet pga. sin betydning som beiteområde for viktige fiskeslag 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 plantep plankton 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 plantep planktonvekst 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 2.8 viser (ovenfra og ned) fordeling av temperatur, nitrat og silikat i juni 2001 langs et utvidet Gimsøy-NV-snitt fra norskekysten og ut til de sentrale delene av Grønlandshavet. Den arktiske fronten ses som tette, nesten vertikale temperaturisolinjer som skiller de kalde vannmassene i Grønlandsbassenget fra de varme vannmassene i Norskehavet. Man ser også at en horisontal temperaturgradient forårsaket av oppvarmingen av overflatelaget er under utvikling over den norske kontinentalsokkelen og på vestsiden av Den arktiske fronten. Disse temperaturgradientene har stor betydning for plantep planktonoppblomstringen. Lave nitrat- og silikatverdier indikerer at næringsalter forbrukes og at oppblomstring er i gang. Nedgangen i nitrat og



Figur 2.8
 Vertikalfordeling av temperatur ($^{\circ}\text{C}$, øverst), nitrat ($\mu\text{mol kg}^{-1}$, midten) og silikat ($\mu\text{mol kg}^{-1}$, nederst) i de øverste 600 m langs Gimsøy-NV-snittet i juni 2001.
 Vertical distribution of temperature ($^{\circ}\text{C}$, upper), nitrate ($\mu\text{mol kg}^{-1}$, middle) and silicate ($\mu\text{mol kg}^{-1}$, lower) in the upper 600 m along the Gimsøy-NW section in June 2001.

silikat er som regel noenlunde lik når planteplankton-samfunnet består av en blanding av diatomeer og andre mikroalger. I juni 2001 derimot (Figur 2.8) ble det observert tre områder langs Gimsøysnittet hvor silikat var nesten uttømt, mens det fortsatt var betydelige mengder nitrat igjen. Disse områder var nesten fullstendig dominert av diatomeer.

Dypvannsdannelse

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 dypere enn 1 500 m. Denne økningen er mest sannsynlig et resultat av den reduserte bunnvannsdannelsen, kombinert med økt innstrømming av relativt saltere og varmere vann fra Polhavet.

Forholdene i de sentrale deler av Grønlandshavet har blitt overvåket av Havforskningsinstituttet siden 1992. Fra 1992 og frem til 2000 er oksygenet i de dypeste deler av Grønlandshavet fra ca. 315 til 305 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ (tilsvarer henholdsvis 7.05 og 6.83 ml l^{-1}). I 2001 var oksygeninnholdet fortsatt lavt, og i tillegg fant man et lag ved ca. 2 000 m dyp med et oksygeninnhold lavere enn 300 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ (6.72 ml l^{-1}) som strakte 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 2001? 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; oksygenoppløseligheten 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 oksygenoppløselighet på grunn av økt temperatur og saltholdighet. Oksygenforbruket i dyphavet ligger på ca. 0.125 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ per år. I perioden 1992-2001 ble det dermed forbrukt ca. 1 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ eller ca. 10 % av den totale nedgangen. 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 innstrømming av forholdsvis oksygenfattig vann til dyp under 1200-1500 m, men hvorfra? En mulighet kan være innstrømming fra Norskehavet, mens en annen kan være innstrømming av arktisk dypvann som kommer sørover langs kontinentalskråningen ved Grønland. Hydrografiske data og resultater fra et sporstoffeksperiment i 1996-99 tyder på at den siste forklaringen er den mest sannsynlige.

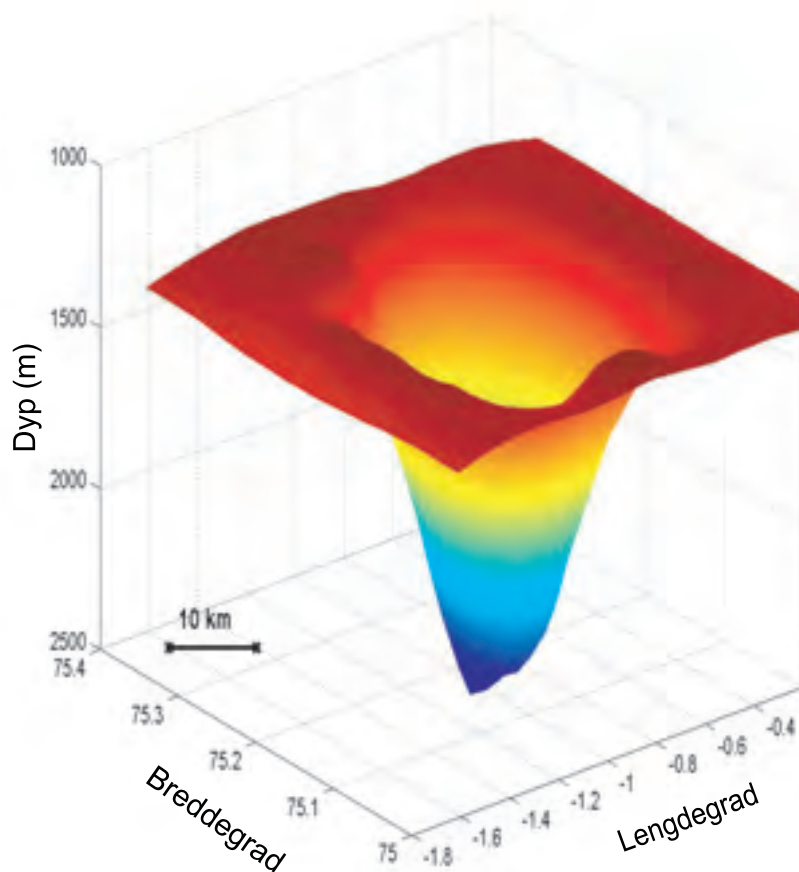
Kaldtvannsvirvler

Selv om storstilt dypvannsdannelse har uteblitt de siste årene i Grønlandshavet, er flere mindre kaldtvannsvirvler observert siden 1997. En slik virvel ble studert av Havforskningsinstituttet i 2001 (Figur 2.9). Slike virvler kan bli dannet i vintersesongen når avkjølingen av de øvre vannlagene fører til at de avkjølte vannmassene synker ned til dyphavet. Den sterke vertikale blandingen medfører at virvlene har konstant temperatur og saltholdighet i hele vannkolonnen fra overflaten og ned til dens nedre grense. Etter hvert vil egenskapene til virvelen i de øverste metre bli blandet ut med omgivende vannmasser, mens de i det indre vil være bevart. Virvelen som Havforskningsinstituttet studerte i juni 2001 strakte seg fra ca. 200 til 2000 m dyp. Størrelsen til slike virvler er typisk noen få kilometer i diameter. Man antar at virvlene kan ha en levetid på minst et år. Virvlenes betydning for dypvannsdannelsen er ennå ikke klarlagt, men noen få slike virvler er ikke nok til å kompensere for den manglende klassiske dypvannsdannelsen.

Værskipsstasjon M

Som nevnt ovenfor har de fysiske forholdene i overflatelaget stor betydning for utviklingen av primærproduksjonen i Norskehavet. Viktigste i denne sammenheng er faktorer som lysforhold og vertikal lagdeling i vannmassene. Oseanografiske undersøkelser foretatt siden 1948 på Værskipsstasjon M i Norskehavet (se Figur 0.1), har bidratt til utforming av teorien om hvordan fysiske forhold påvirker utviklingen av planteplanktonets vekst om våren. Havforskningsinstituttet har siden 1990 utført fysiske og biologiske observasjoner på Stasjon M i Norskehavet. Observasjonene tas fra værskipet MS "Polarfront". Innsamlingshyppigheten er avhengig av type undersøkelse, og har variert fra daglige til ukentlige målinger.

Konsentrasjonen av klorofyll *a* (et mål på algemengde) brukes for å beskrive utviklingen i planteplankton-samfunnet. Tidligere (jf. *Havets Miljø 2000*) har vi vist at utviklingen av planteplanktonvekst kan



Figur 2.9

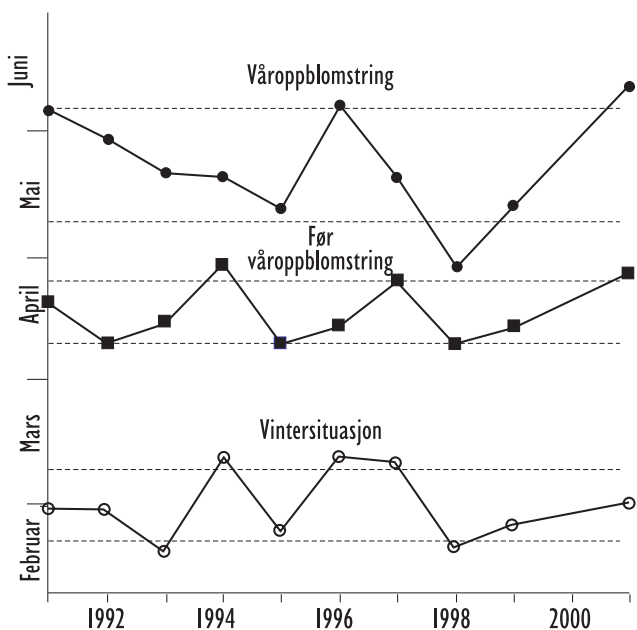
Utbredelsen til en kaldtvannsvirvel i den sentrale del av Grønlandshavet i juni 2001. Virvelsenteret lå ved $75^{\circ}10.01'N$ og $01^{\circ}00.96'W$.
A coldwater eddy in the central Greenland Sea in June 2001. The center of the eddy was situated at $75^{\circ}10.01'N$ and $01^{\circ}00.96'W$.

deles i tre faser; en vintersituasjon med meget lave klorofyllverdier, en føroppblomstringsperiode med en betydelig økning i klorofyll, men fortsatt uten de store konsentrasjonene og våroppblomstringen hvor algemengden i en kort periode vokser meget raskt.

Den nå elleve år lange tidsserien av målinger ved Stasjon M (1991-2001) viser hvordan tidspunktet for våroppblomstringen varierer fra år til år (Figur 2.10). Vinterperioden varer fram til begynnelsen av mars. I 1991-2000 lå varigheten av vinterperioden innenfor ett standardavvik fra normalen. Føroppblomstringsperioden strekker seg i gjennomsnitt fra begynnelsen av mars til midten av april. Også her lå de årlige variasjonene som regel innenfor ett standardavvik. Våroppblomstringen starter vanligvis i midten av april og kulminerer i slutten av mai, men her har de årlige variasjonene vært langt større og da særlig i de siste årene. I perioden 1991-1998, med unntak av 1996, ser det ut som

om våroppblomstringen har begynt tidligere og vart kortere for hvert år. Men fra 1998 til 2001 har oppblomstringen vart lenger og kulminert senere.

Årsaken til den stadig tidligere våroppblomstringen i perioden 1991-1998 er uklar, men mye tyder på at økt transport av arktisk vann til Norskehavet via Øst-Islandsstrømmen kan ha vært en viktig faktor. Disse vannmassene har større vertikal stabilitet og kan ha redusert dybden på blandingslaget om vinteren. Dette kan medføre en raskere oppvarming om våren og en tidligere lagdeling i overflatelaget, med en tilsvarende tidligere våroppblomstring. Volumtransporten av atlantisk vann ved Svinøysnittet (se Figur 2.5) ser ut til å bekrefte dette. Her ble det observert en reduksjon i transporten siden 1995 med et minimum i 1998, det året da oppblomstringen på St. M inntraff tidligst. Siden 1998 har transporten økt jevnt med årene, og således har oppblomstringen tatt til på et senere tidspunkt.



Figur 2.10

Utviklingen av planteplanktonproduksjonen ved Stasjon M kan deles inn i tre faser; vintersituasjon (åpne sirkler); før våroppblomstring (firkanter); våroppblomstring (fylte sirkler). De tre fasene starter og slutter på forskjellig tidspunkt i forskjellige år. Prikket linje viser ett standardavvik fra gjennomsnitt i perioden 1991-2001.

Year to year variations in the different phases of the development of phytoplankton at Ocean Weather Station Mike in the period 1991 to 2001. Open circles: winter phase; squares: pre-bloom phase; filled circles: spring bloom. Continuous lines represent the average for each period. Stippled lines represent one standard deviation for each period.

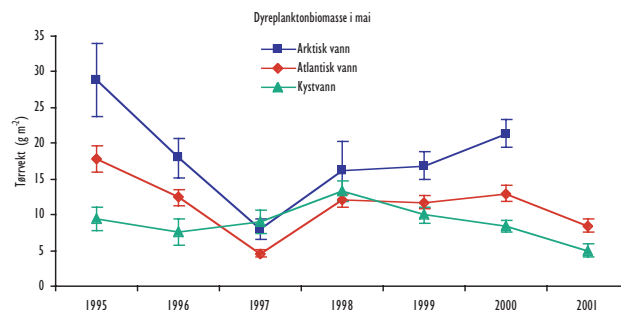
Dyreplankton

Innsamling av dyreplankton i Norskehavet er som tidligere år foretatt med en flerpose-planktonhåv (MOCNESS) og med en ordinær loddrett trukket planktonhåv, WP-2. 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 variasjonen i biomasse mellom år er relativt lik i atlantisk og arktisk vann (Figur 2.11). 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 forskjellige fra prosessene lenger ute i havet. Dyreplanktonbiomassen i atlantisk vann i 2001 viste en klar nedgang sammenlignet med 2000. I kystvann fortsatte den nedadgående trenden som har vært tydelig siden 1998. På grunn av redusert toktid kunne dyreplanktonbiomassen i arktisk vann ikke måles i 2001.

I tillegg til innsamlingen i Norskehavet i mai 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). Svinøysnittet ble dekket kun fire ganger, Gimsøysnittet seks ganger i løpet av året.

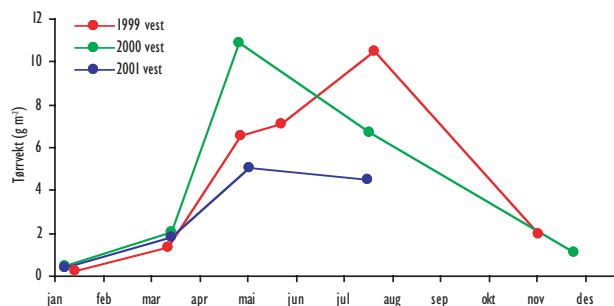
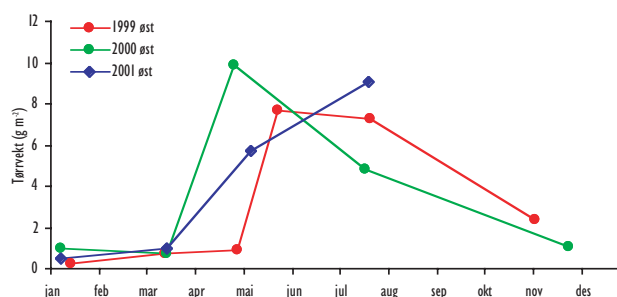
Figur 2.12 viser mengdene av dyreplankton i de øvre 200 meter på Svinøysnittet i 1999-2001 som et gjennomsnitt for henholdsvis de østlige og vestlige deler av snittet. Den østlige delen omfatter stasjoner over kontinentalsokkelen og noe av kontinentalskråningen, og er i hovedsak karakterisert av kystvannmasser. Den vestlige delen av snittet strekker seg fra kontinentalskråningen og nordvestover mot den arktiske fronten, hovedsakelig i atlantiske vannmasser.



Figur 2.11

Dyreplanktonbiomasse (tørrvekt g m^{-2}) i ulike vannmasser i Norskehavet i mai 1995-2001.

Zooplankton biomass ($\text{g dry weight m}^{-2}$) in different water masses in the Norwegian Sea in May 1995-2001.



Figur 2.12

Dyreplanktonmengder (g tørrvekt m^{-2}) på Svinøysnittet fra 1999 til 2001. Venstre: østlige del av snittet; sokkel og kontinentalskråning. Høyre: vestlige del av snittet; kontinental skråning og dyphav. Zooplankton biomass ($\text{g dry weight m}^{-2}$) at the Svinøy transect from 1999 to 2001. Left: Eastern part of the transect. Right: Western part of the transect.

Miljøundersøkelser av denne typen har de senere årene vært gjenstand for en redusert prioritering ved Havforskningsinstituttet. Snittet ble dekket 10 ganger i 1998, dette ga et godt innblikk i plankton dynamikken og de sesongmessige variasjonene i planktonmengde og -sammensetning. Totalantallet dekninger de påfølgende årene har vært seks (1999), fem (2000), og siste året kun fire. Den siste deknings i 2001 ble gjennomført i juli. Denne frekvensen medfører at en sammenlikning av plankton dynamikken med tidligere år er vanskelig.

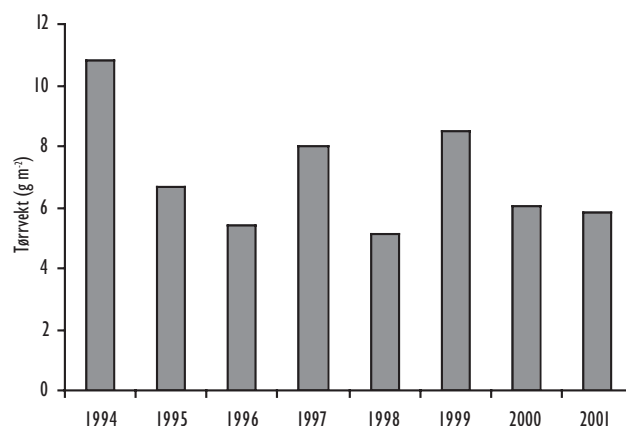
På hele snittet var planktonmengden lav fram til og med midten av mars. Økningen innenfor denne perioden var større i vestre del av snittet, dvs. hovedsakelig i atlantiske vannmasser, hvilket var i overensstemmelse med observasjonene gjort tidligere år. Fra knapt 0.5 g m^{-2} i de øvre 200 m i januar økte biomassen til ca. 5 g m^{-2} tidlig i mai, både i øst og vest. Biomassen var betydelig lavere enn på samme tidspunkt i 2000.

Den neste og siste deknings av snittet ble foretatt 20.-21. juli. I den østlige del av snittet var biomassen vel 9 g m^{-2} , dvs. noe høyere enn i 1999 og mye høyere enn i 2000 (4.8 g m^{-2}). Lengre til havs, i den vestlige del av snittet, var utviklingen fra mai til juli forskjellig fra den en observerte lengre inne, da det ble funnet en reduksjon i planktonbiomassen til 4.5 g m^{-2} .

Planktonmengden på dette tidspunkt er langt lavere enn på samme tidspunkt de to foregående årene som viste 10.5 g m^{-2} (1999) og 6.7 g m^{-2} (2000), men omtrent i samme størrelse som årene 1997

og 1998. En relativt stor årlig variasjon mellom planktonbiomassene i overflatelaget om sommeren må forventes, siden stadiet utviklingen hos de viktigste planktonorganismene varierer noe i tid mellom årene. Det samme er tilfelle for tidspunktet når store deler av planktonmengden søker mot større dyp for overvintring.

Figur 2.13 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



Figur 2.13

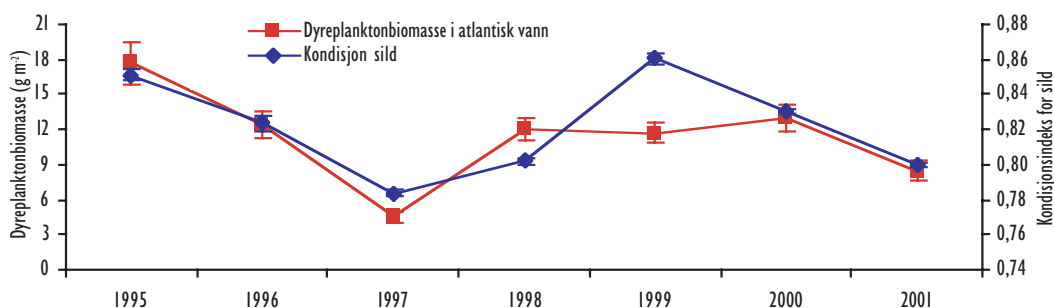
Midlere biomasse av dyreplankton ($\text{g tørrvekt g m}^{-2}$) i Norskehavet i juli-august fra 1994 til og med 2001. Mean zooplankton biomass ($\text{g dry weight m}^{-2}$) in the Norwegian Sea in July-August, 1994-2001.

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 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.

Beiteforhold for sild

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 sammenlikne veksten

hos sild med dyreplanktonbiomassen i atlantiske vannmasser. Det ble funnet en god sammenheng mellom dyreplanktonbiomasse i atlantisk vann om våren og kondisjonen hos sild ved tilbakekomst til overvintringsområdet i desember (Figur 2.14). I 1999 så vi en klar endring i vandringsadferden hos sild, i og med at silda hadde en mer vestlig fordeling. Det året beitet derfor silda i større grad 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 (Figur 2.11). Kondisjonen hos sild i 2001 var lavere enn de foregående år, som ventet ut fra den lave dyreplanktonbiomassen i mai samme år.



Lineær regresjon av kondisjon hos sild på dyreplanktonbiomasse:

$$y = 0.0053x + 0.7614$$

$$R^2 = 0.5896$$

Figur 2.14

Dyreplanktonbiomasse (tørrvekt g m^{-2}) i Norskehavet i mai og kondisjonsindeks for sild målt i desember.

Zooplankton biomass ($\text{g dry weight m}^{-2}$) in the Norwegian Sea in May and condition factor for herring in December.

2.3

Yngelproduksjon

Sild

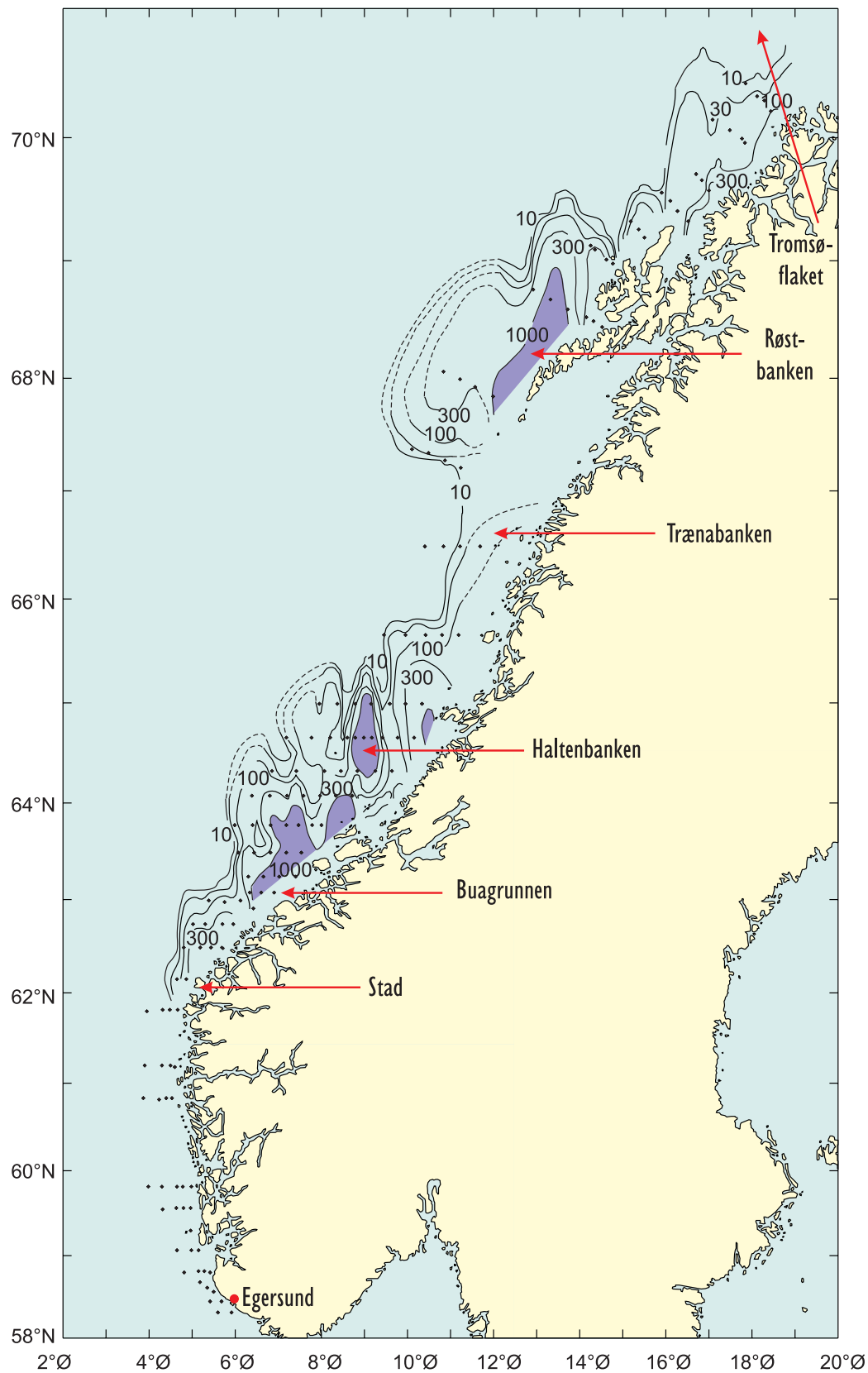
Årets sildelarvetokt startet fra Bergen 4. april og ble avsluttet i Tromsø 19. april. Store deler av norsk sokkel fra Egersund til Fugløybanken ble dekket med i alt 148 stasjoner. Det ble som Figur 2.15 viser nesten ikke funnet sildelarver sør for Stad. Årsaken til dette kan være at klekkingen ikke hadde kommet i gang på de sørligste gytefeltene ennå. Disse feltene er tradisjonelt seint ute med

klekkingen. Store mengder sildelarver ble derimot funnet nord for Stad, og et felt med høye tettheter av larver strakte seg nordover til Træna. En ytre rute avsnørte seg ved Buagrunden, mens hovedvekten av larvene fulgte kyststrømmen nordover langs land. Et maksimumsområde ble lokalisert over Haltenbanken, der det ble registrert mer enn 12 000 larver pr m^2 overflate. I området rundt Trænabanken

var det lite larver. På Røstbanken og videre nordover på kystbankene til Tromsøflaket ble det funnet larver i til dels høye konsentrasjoner.

Resultatene fra årets undersøkelse tyder på at hovedgytingen fant sted på Mørefeltene og Halten-

banken i månedskiftet februar/mars, med påfølgende klekking rundt 20. mars. Det har også vært en utstrakt gyting på Røstbanken. Denne fant sted fjorten dager senere enn på Møre. Antallet sildelarver ble under årets dekning beregnet til å være 40.7×10^{12} (Figur 2.16). Dette er en kraftig oppgang fra 2000,



Figur 2.15
 Utbredelsen av sildelarver (alle stadier) på sokkelen mellom 58 og 71 °N, i april 2001.
 Distribution of herring larvae in April 2001.

og det er bare rekordårene 1997 og 1998 som er sterkere. Dette er likevel et underestimat da en eventuell larveproduksjon sør for Stad ikke ble fanget opp. Det er imidlertid ikke mer enn 2-3 % av gytebestanden som tradisjonelt gyter sør for Stad, så det antas ikke å bety så mye for totalestimatet.

Rundt halvparten av larvene som ble funnet i april var i stadium 2a (begynnende utvikling av ryggfinner) og totalantallet i dette stadiet var 19.3×10^{12} , det nest høyeste antallet i dette stadiet vi har funnet. Bare 1998-estimatet var høyere (21.9×10^{12}).

Fangsten av fiskelarver er totalt dominert av silde- larver. Vi finner allikevel noen andre arter på sokkelen i april, og av dem er seilarver mest tallrike. Bankene utenfor Møre og Trøndelag er viktige områder for seilarver, og av disse er det Haltenbanken som peker seg ut som det viktigste funnstedet. Ellers er Røstbanken av varierende betydning, og det samme er andelen seilarver sør for 62 °N. I tillegg til silde- larver og seilarver ble det i april 2001 funnet ti andre arter fiskelarver. Det ble funnet flest øyepållarver, så følger tobis- og torskelarver i hyppighet. I tillegg til disse artene ble det observert sandflyndre, steinbit, uer,

kutling, kystringbuk, langebarn og ulke.

Under årets undersøkelse ble det funnet et høyt antall silde- larver som var i god vekst. Mange faktorer må imidlertid falle på plass for at disse larvene kan skape en tallrik årsklasse. Larvene må finne gode oppvekstforhold på sokkelen utover 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. I år ser det ut til at det første næringsopptaket gikk fint, og at overlevingen utover våren og sommeren var god. Dette bygger på observasjoner av lundene på Røst som hadde god hekkesuksess i år. Situasjonen utover sommeren må imidlertid ha forverret seg radikalt. Innstrømmingen til Barentshavet var liten, beiteforholdene var dårlige og utstrakt predasjon fra kolmule, voksen sild og sjøpattedyr kan være forklaring på at silde- årsklassen 2001 ble sterkt redusert utover sommeren, slik at den på 0-gruppenivå ble karakterisert som svak. Se for øvrig flere detaljer om dette i temaartikkelen "Spesielle økologiske forhold i Barentshavet høsten 2001 - hva hendte?" på side 69.

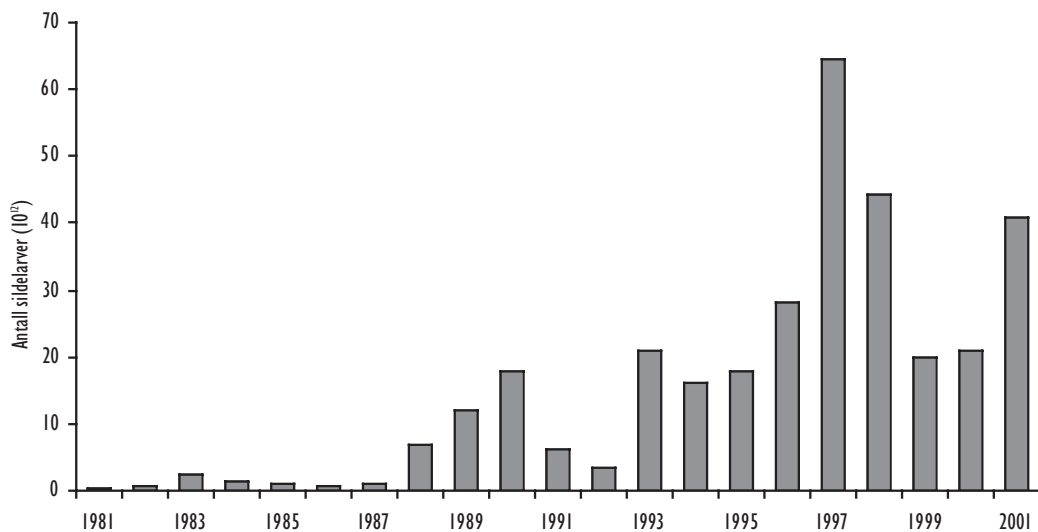


Fig. 2.16

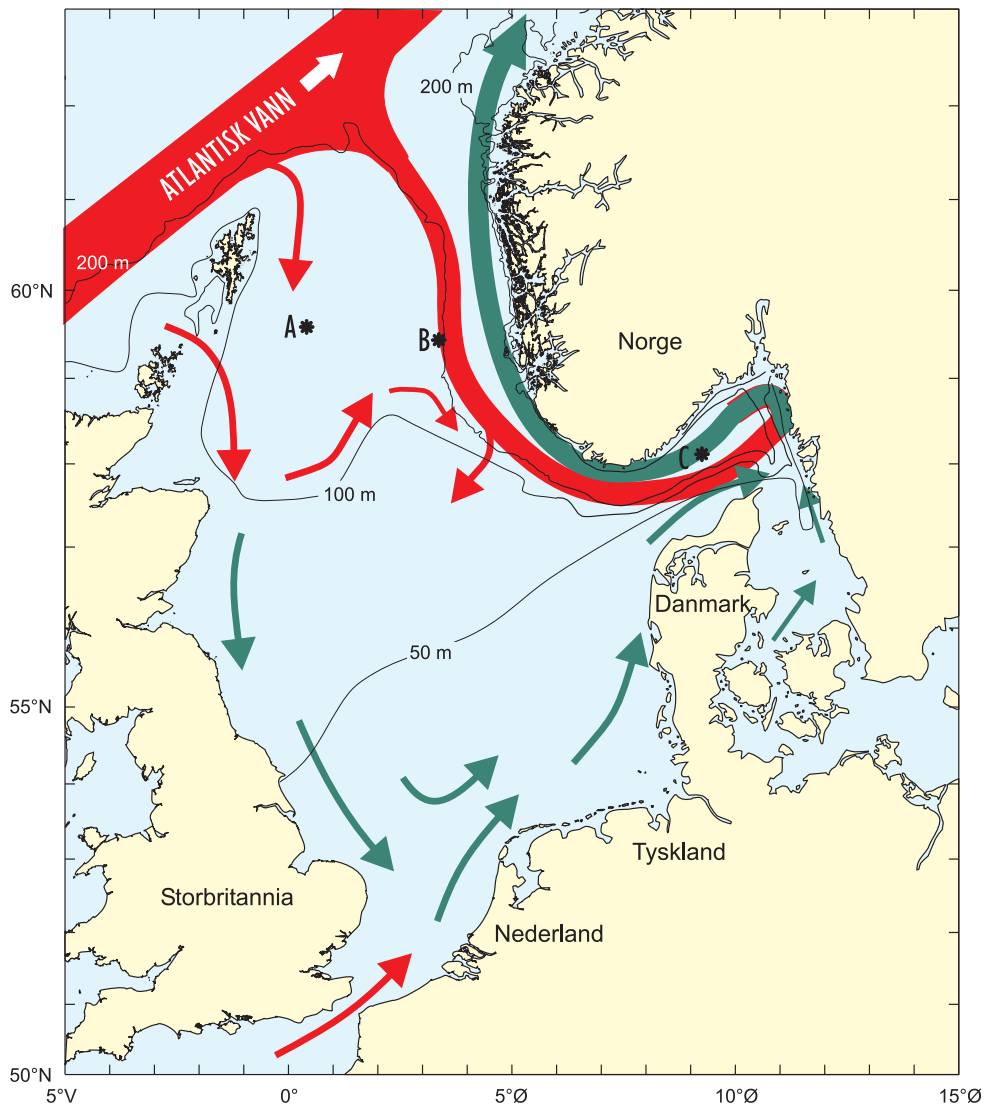
Beregnet antall silde- larver på norsk sokkel, 1981-2001.

Calculated number of herring larvae on the Norwegian continental shelf, 1981-2001.

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.

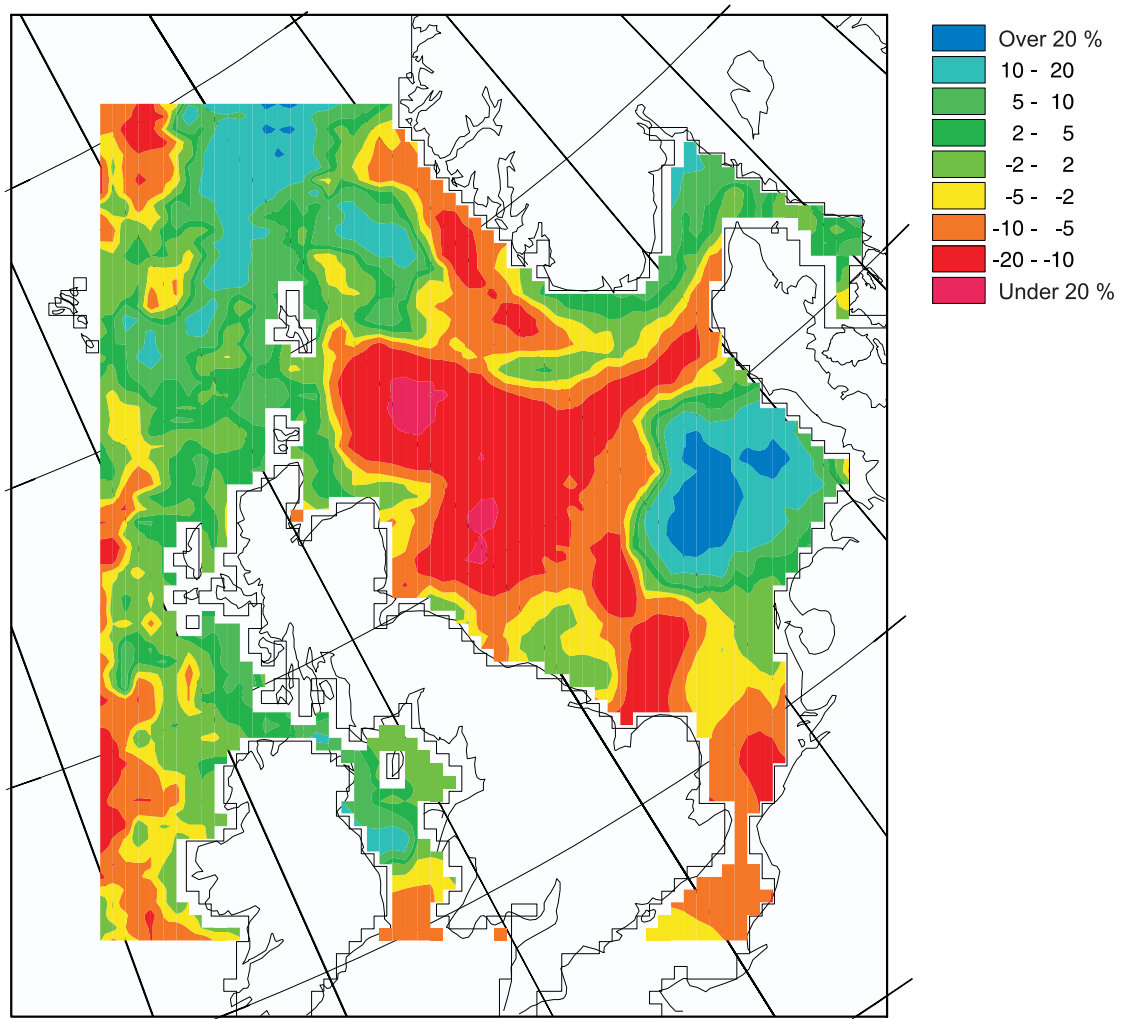
**Figur 3.1**

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. Strømbildet i Figur 3.1 gir en middelsituasjon. Variasjoner i dette bildet fra et år til et annet har stor innflytelse på økosystemet i Nordsjøen. De viktigste årsakene til variasjonene er endringer i innstrømning av atlantisk vann, vindforhold, varmeutveksling med atmosfæren og ferskvannstilførselen.

En numerisk havmodell viste at sirkulasjonen i Nordsjøen i 2001 var noe svakere enn normalt. Spesielt var innstrømningen av atlantisk vann i nord meget svak i første halvdel av året. I Den engelske kanal var det i 2. halvår en netto svak utstrømning i motsetning til en vanligvis netto innstrømning. For store deler av Nordsjøen varierte overflate-temperaturen rundt det normale. Atlanterhavsvannet fører mye næringssalter inn i Nordsjøen. Den svake innstrømningen av atlantisk vann vil derfor føre



Figur 3.2

Primærproduksjonen i Nordsjøen i 2001. Produksjonen er vist som %-vis forskjell i forhold til et middel i perioden 1985-2001. De blå områdene hadde høyere og de røde områdene lavere produksjon enn vanlig (se fargeskala). I hele området sett under ett var produksjonen lavere enn normalt. Produksjonen er ikke målt, men modellert.

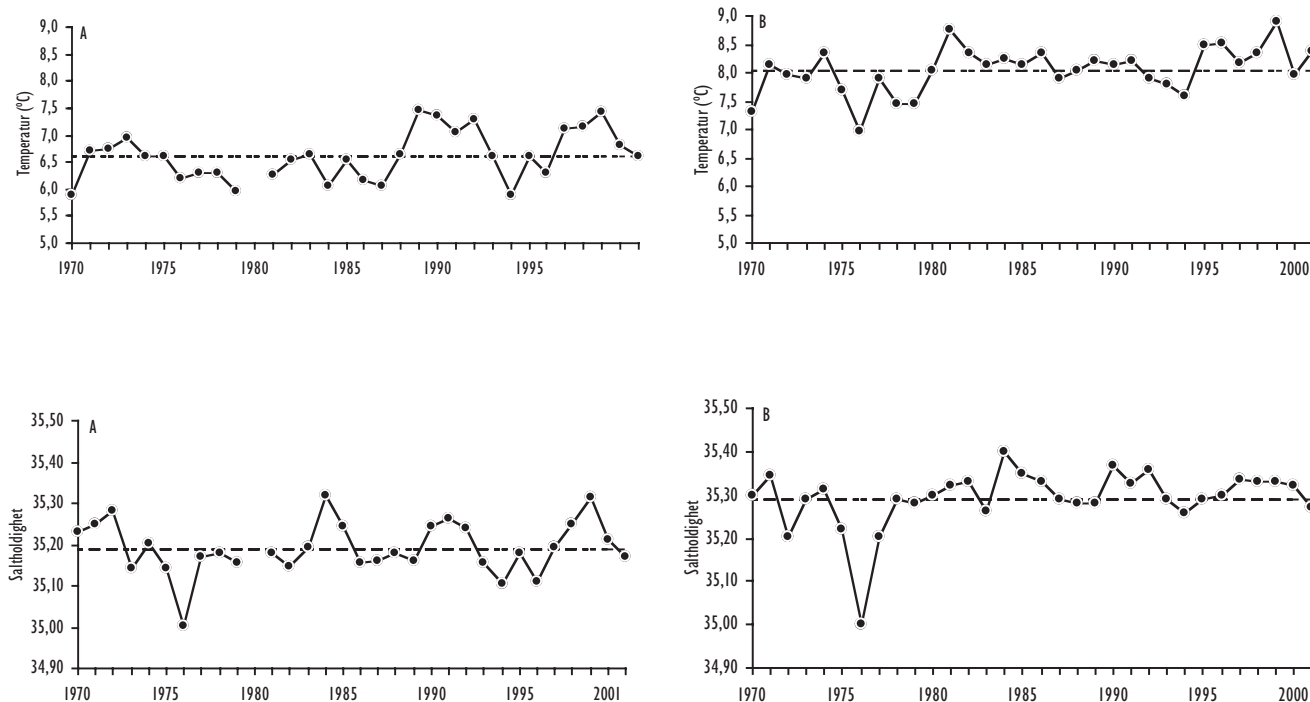
Primary production in the North Sea in 2001. The production is expressed as %-deviation from a mean based on the period 1985-2001. For the North Sea as a whole the production was lower than the mean. The production is not measured, but modelled.

til mindre næringsalter enn vanlig i området og sannsynligvis lavere primærproduksjon. Siden vi ikke har målinger av produksjonen, har vi beregnet denne med en modell. Resultatene viser at det var en lav primærproduksjon i store deler av Nordsjøen i 2001 (Figur 3.2).

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 atlantehavsvann, som i løpet av vinteren blir blandet med litt ferskere vann over Nordsjøplataet. 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 Nordsjøplataet 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 innstrømming av atlantisk vann høsten 1993 og økt lokal avkjøling. Fra 1995 snudde den synkende tendensen i temperatur og saltholdighet i samsvar med økt innstrømming av atlantisk vann. Etter en forbigående nedgang i 1996 har det igjen vært en betydelig økning i temperatur og saltholdighet over Nordsjøplataet. Temperaturen i 1999 var om lag like høy som i 1990, og saltholdigheten var blant de høyeste siden 1970. I 2000 og 2001 lå saltholdighet og temperatur nær det normale for årstiden.

I Norskerenna har det vært en tilsvarende utvikling de siste årene som over Nordsjøplataet (Figur 3.3 B), og vi legger spesielt merke til at temperaturene i innstrømmende atlantisk vann i Norskerenna i 1999



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 1970-2001. For lokalisering av posisjonene A og B, se Figur 3.1.

Temperature and salinity near bottom in the north-western 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 1970-2001. (Locations of A and B in Figure 3.1).

var de høyeste siden 1970. I 2000 var temperaturen også her redusert ned mot normalen med en liten økning i 2001.

Den beregnede svake innstrømning av atlantisk vann til den nordlige og den sentrale Nordsjøen varierte i 2001 fra ca 1.5 Sverdrup (Sv) i januar og oktober/november og ned til ca 0.7 Sv om sommeren (Figur 3.4). Figuren viser også at de ekstra høye temperaturene over Nordsjøplatået 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. I motsetning til en meget sterk innstrømning gjennom Den engelske kanal høsten 2000, fikk vi i gjennomsnitt en unormal svak utstrømning i 2. kvartal av 2001.

Atlantisk vann og fangst av hestemakrell

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 (Figur 3.5). 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, mens sammenhengen sviktet helt i 2000. Årsaken til dette er trolig at bestanden av hestemakrell er sterkt nedfisket, og selv om det ut fra miljøforholdene skulle ligget til rette for et godt fiske, ble fangstene små. Den ekstremt svake innstrømningen vinteren 2001 samsvarer bra med et svakt fiske på 8 000 tonn.

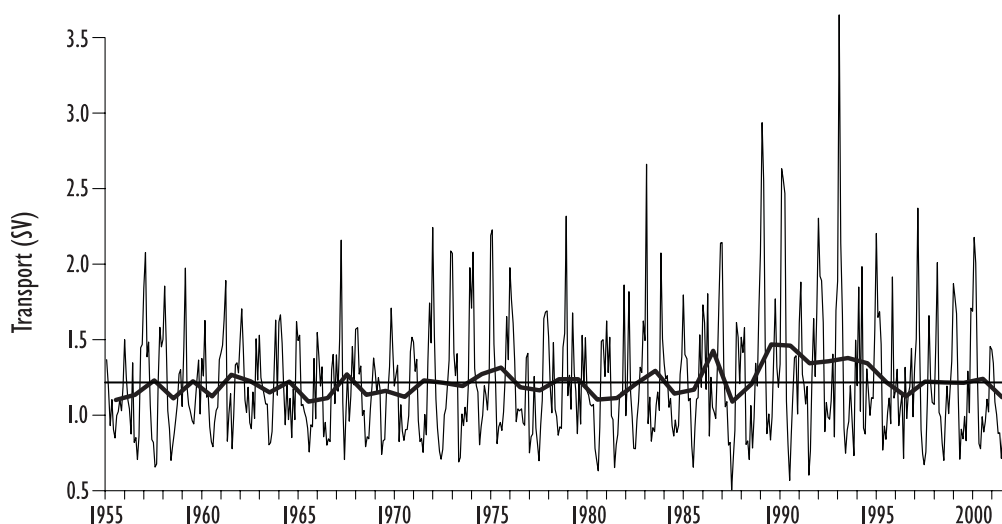
Skagerrak og vestkysten av Danmark

I Skagerrak finnes tre hovedvannmasser:

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

I tillegg er vann med saltholdighet lavere enn 25.0 definert som brakkevann, med opprinnelse fra Kattegat og Østersjøen og ferskvannsavrenning.

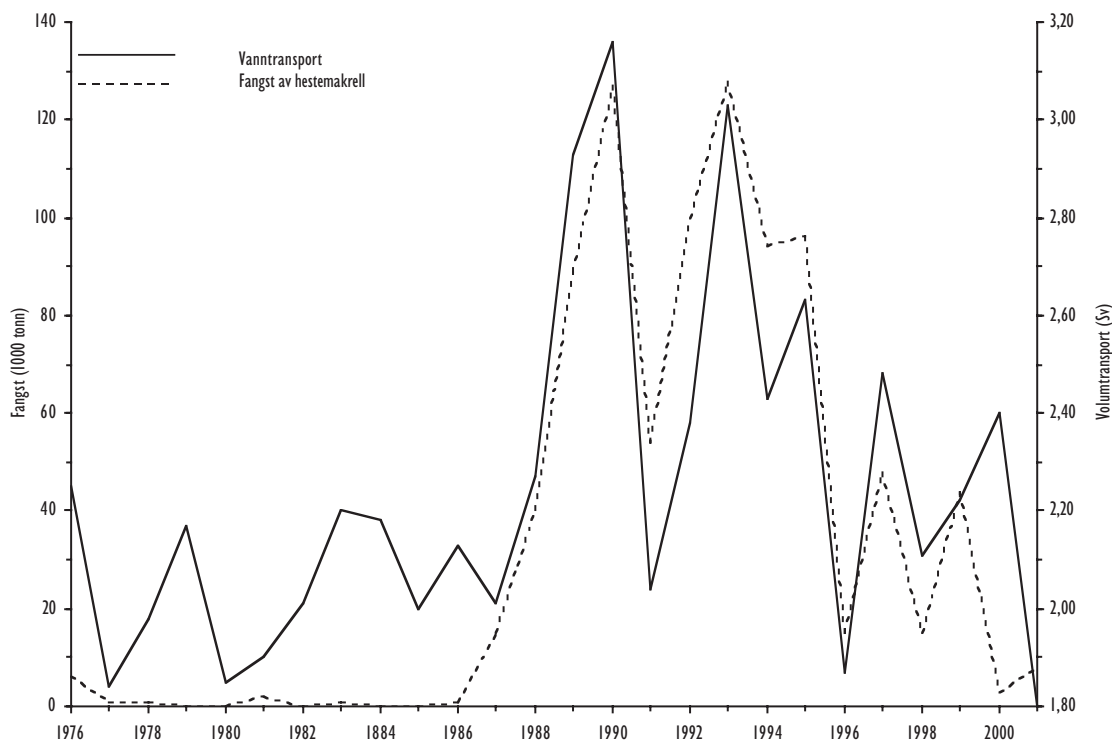
Skagerrak-kystvann er hovedsakelig en blanding mellom vann fra Kattegat og Østersjøen, elvevann og vann fra den sørlige og til dels sentrale Nordsjøen. Skagerrakvann har et større innslag av vannmasser fra den sentrale Nordsjøen. Atlantisk vann tilføres Skagerrak fra Norskehavet via den nordlige



Figur 3.4

Tidsserier (1955-2001) av modellert årsmidlet (tykk strek) og månedsmidlet transport av atlantisk vann til den nordlige og sentrale Nordsjøen sørover mellom Orknøyene og Utsira. I Sv = $10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Time series (1955-2001) 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. I Sv = $10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.



Figur 3.5

Modellert tidsserie (1976-2001) av total vanntransport (middelet for første kvartal) sørover i Nordsjøen gjennom et snitt fra Utsira til Orknøyene. Fangst av hestemakrell etterfølgende høst i Nordsjøen.

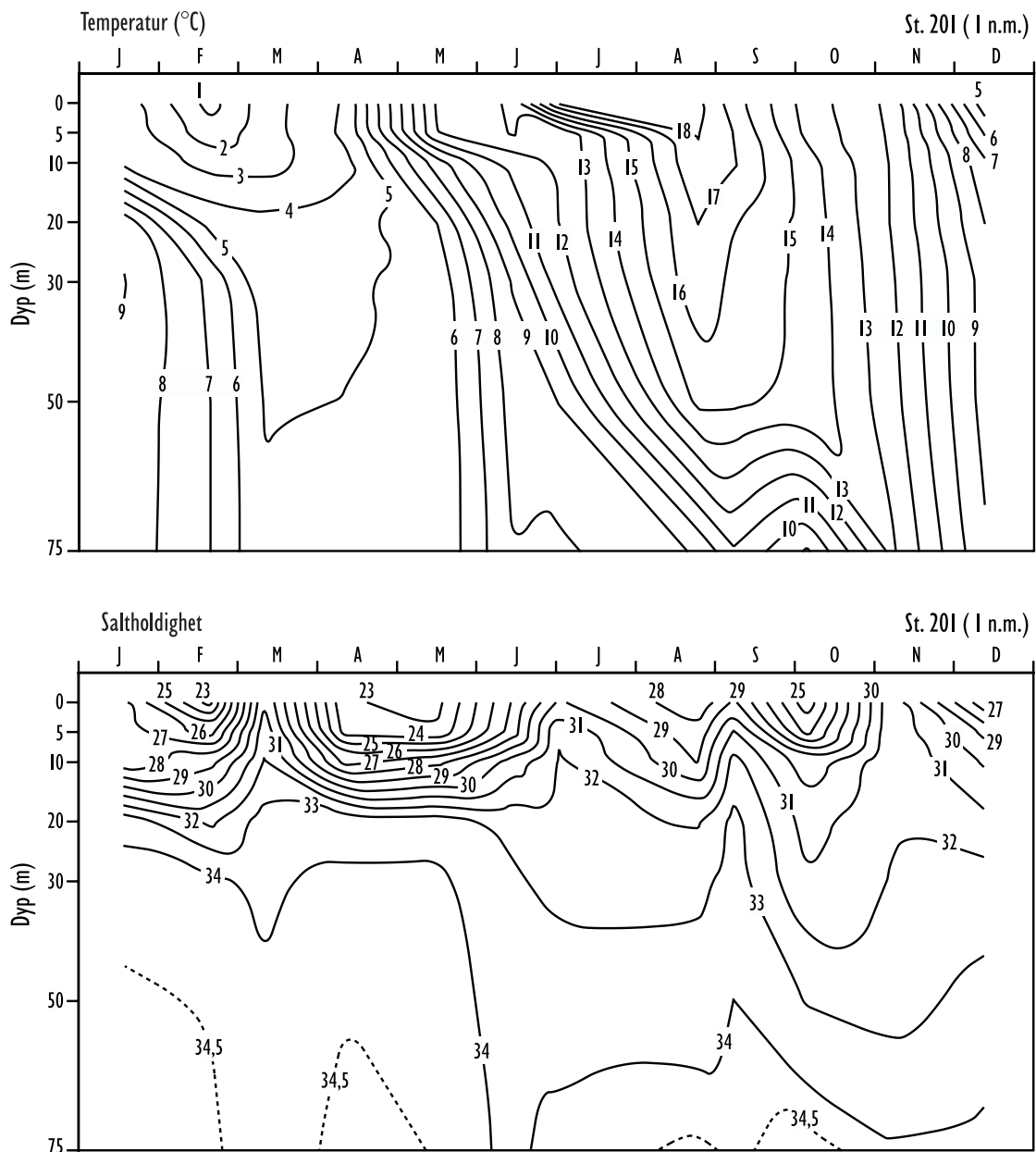
Modelled time series (1976-2001) of the mean (1. quarter) transport of Atlantic water into the North Sea between Utsira and the Orkney Islands, and capture of horse mackerel the following autumn.

Nordsjøen, der det innlagres under det lettere Skagerrakvannet.

Utenfor Sørlandskysten var tykkelsen av Skagerrak-kystvann gjennom størstedelen av året 20-25 m (Figur 3.6). I likhet med 1999 og 2000 var det brakkevann i de øverste 5 m fra april til juni. Grensen mellom Skagerrakvann og atlantisk vann lå dypere enn 75 m. Vinteren 2001 var noe kaldere enn året før, noe som resulterte i en avkjøling av vannmassene i overflatelaget. En fin sommer fra slutten av juni til ut i september førte til en kraftigere oppvarming av overflatelaget enn i 2000 og med temperaturer til dels betydelig over gjennomsnittet. I november-desember ble været vesentlig kaldere og resulterte i en rask avkjøling av vannmassene i kystvannet.

Figur 3.7 viser tidsserier av temperatur, saltholdighet, tetthet og oksygen på 600 m dyp i Skagerrakbassenget utenfor Sørlandskysten (posisjon C, Figur 3.1). Det fant sted en storstilt utskifting av vannmassene i Skagerrakbassenget i 1991. Dette inntraff etter en lang stagnasjonsperiode, med de laveste

oksygenkonsentrasjonene i bassenget som noen ganger observert (4.8 ml l^{-1}). 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 Nordsjøplatået medførte et markert temperaturfall. Etter en ny innstrømning av relativt kaldt og oksygenrikt vann fra Nordsjøplatået vinteren 1996, økte temperaturen gradvis igjen til ca. $1.4 \text{ }^\circ\text{C}$ over normalen. Temperaturøkningen gjorde vannet lettere og la forholdene til rette for en utskifting av bassengvannet i Skagerrak. Det var en innstrømning til Skagerrakbassenget av noe kaldere og oksygenrikt vann fra Nordsjøplatået tidlig om våren 1999. Også i 2000 var det en viss utskifting 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 var fortsatt lav, og vi forventet derfor ny innstrømning til Skagerrakbassenget i løpet av 2001. Dette skjedde i april-mai med kalde og relativt ferske vannmasser fra Nordsjøplatået, som hadde noe



Figur 3.6

Temperatur og saltholdighet i 2001 i de øverste 75 m, ca. 1 sjømil utenfor Torungen fyr ved Arendal (St. 201).

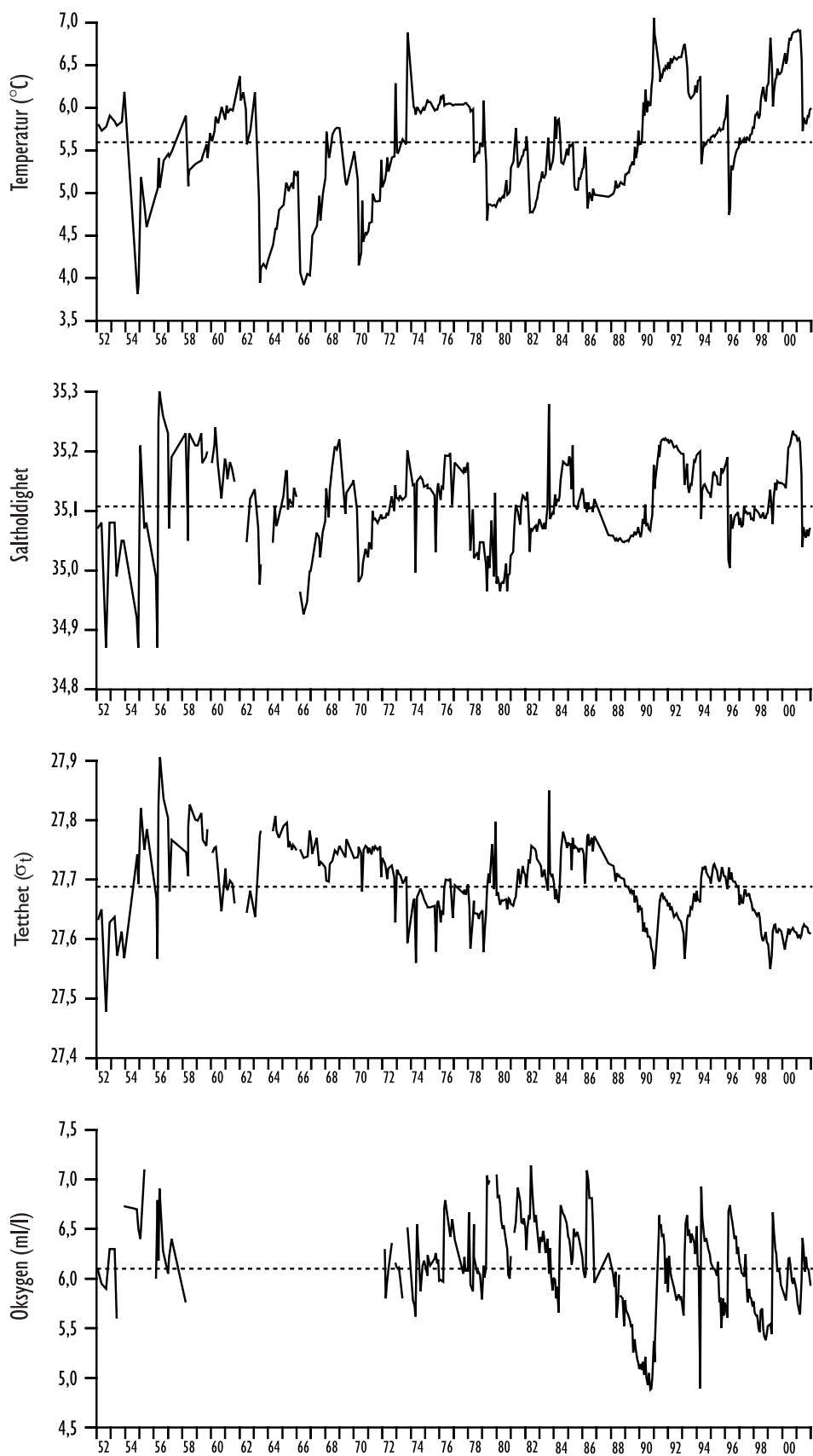
Temperature and salinity in 2001 in the upper 75 m at a station 1 n.m. outside Torungen lighthouse near Arendal.

høyere oksygeninnhold, men omtrent samme tetthet. Disse vannmassene gikk helt til bunns i den dypeste delen av Skagerrakbassenget.

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.

Også i 2000 ble det observert innstrømming av oksygenfattig vann fra Nordsjøen til Skagerrak.

Utenfor norskekysten på 30-75 m dyp, ble det målt oksygenverdier helt ned mot 3.5 ml l^{-1} i september. En forklaring på de lave oksygenverdiene i 2000 kan være den store oppblomstringen av *Chattonella* utenfor vestkysten av Jylland tidligere på året. Årsaken til oppblomstringen er sannsynligvis de store utslippene av menneskeskapt næringsalter i sørlige Nordsjøen. I likhet med tidligere år ble det i 30-75 m dyp utenfor norskekysten også i september 2001 målt reduserte oksygenkonsentrasjoner (ca. 4.5 ml l^{-1}), noe som på samme tid også ble registrert i omtrent samme dyp utenfor den danske Skagerrakkysten.

**Figur 3.7**

Temperatur, saltholdighet, tetthet og oksygen på 600 m dyp i Skagerrakbassenget for årene 1952-2001 (Posisjon C, Figur 3.1).
Temperature, salinity, density and oxygen of the bottom water (600 m depth) in Skagerrak for the years 1952-2001.

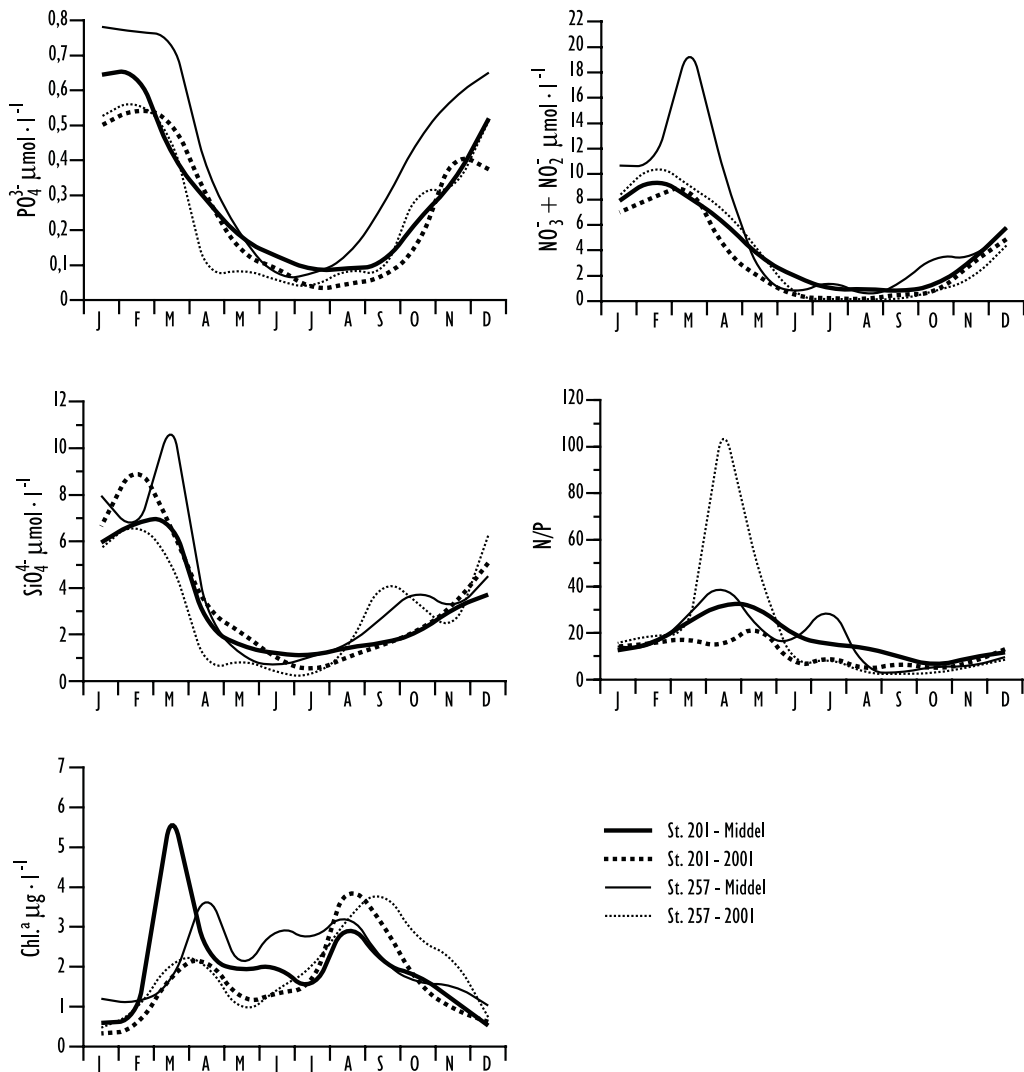
3.2

Plankton og næringsalter

Skagerrak og vestkysten av Danmark
Næringsalter

Etter syttiårene har det vært en betydelig økning i tilførslene av menneskeskapt næringsalter, i hovedsak nitrogen, til Skagerrak fra sørlige Nordsjøen og Kattegat. Tilførslene 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 store elver som Elben. I milde vintre med mye nedbør er i tillegg den dominerende vindretningen ofte sørlig, og da føres

**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 2001 for fosfat, nitrat+nitritt, silikat, forholdet mellom nitrat+nitritt og fosfat (N/P) og klorofyll-a (stiplete linjer). De heltrukne linjene viser langtidsmiddelet for 1980-95 på St. 201, unntatt for silikat, hvor langtidsmiddelet er for 1988-95, og på Stn 257 hvor langtidsmiddelet er for 1988-95 for alle størrelsene.

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 Stn 257 where the long term mean is for the period 1988-95 for all parameters.

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 med 12 stasjoner siden 1981 (Figur 0.1, side 5). 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 middelværdier 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. De store trekkene i algebildet synes likevel 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 nærings-saltsituasjonen og algebildet over et større område etter at våroppblomstringen vanligvis er avsluttet langs vår kyst.

Temperaturen i overflatelaget i april 2001 langs danskekysten var ca. 4.5 °C, og det var ganske homogene forhold. Dette var betydelig lavere (ca. 2 °C) enn i de siste årene, noe som skyldtes den kalde vinteren. De norske kystvannmassene spredte seg langt over mot danskekysten, og de jyllandske kystvannmasser ble dette året presset mer inn mot kysten på grunn av vedvarende nordvestlige vinder. Av den grunn ble innstrømningen til Skagerrak av disse vannmassene blokkert og hindret slik at området ble påvirket av de høye nitratkonsentrasjonene som fantes i de jyllandske kystvannmasser sørover mot Tyskebukta (Figur 3.9). Dette var tilfelle gjennom hele vinteren og våren, hvor det viste seg at næringssaltkonsentrasjonene lå omkring gjennomsnittet for perioden 1980–95 (Figur 3.8). Det var betydelig høyere N:P-forhold (opp mot 1000) i april sørover mot Tyskebukta enn i tidligere år. Årsaken til det var ikke at det var uvanlig store nitratkonsentrasjoner der, men at det var svært lite fosfat til stede. Våroppblomstringen var på det tidspunkt ikke avsluttet i dette området, men i motsetning til i 2000 hvor det var meget høye konsentrasjoner av den skadelige flagellaten

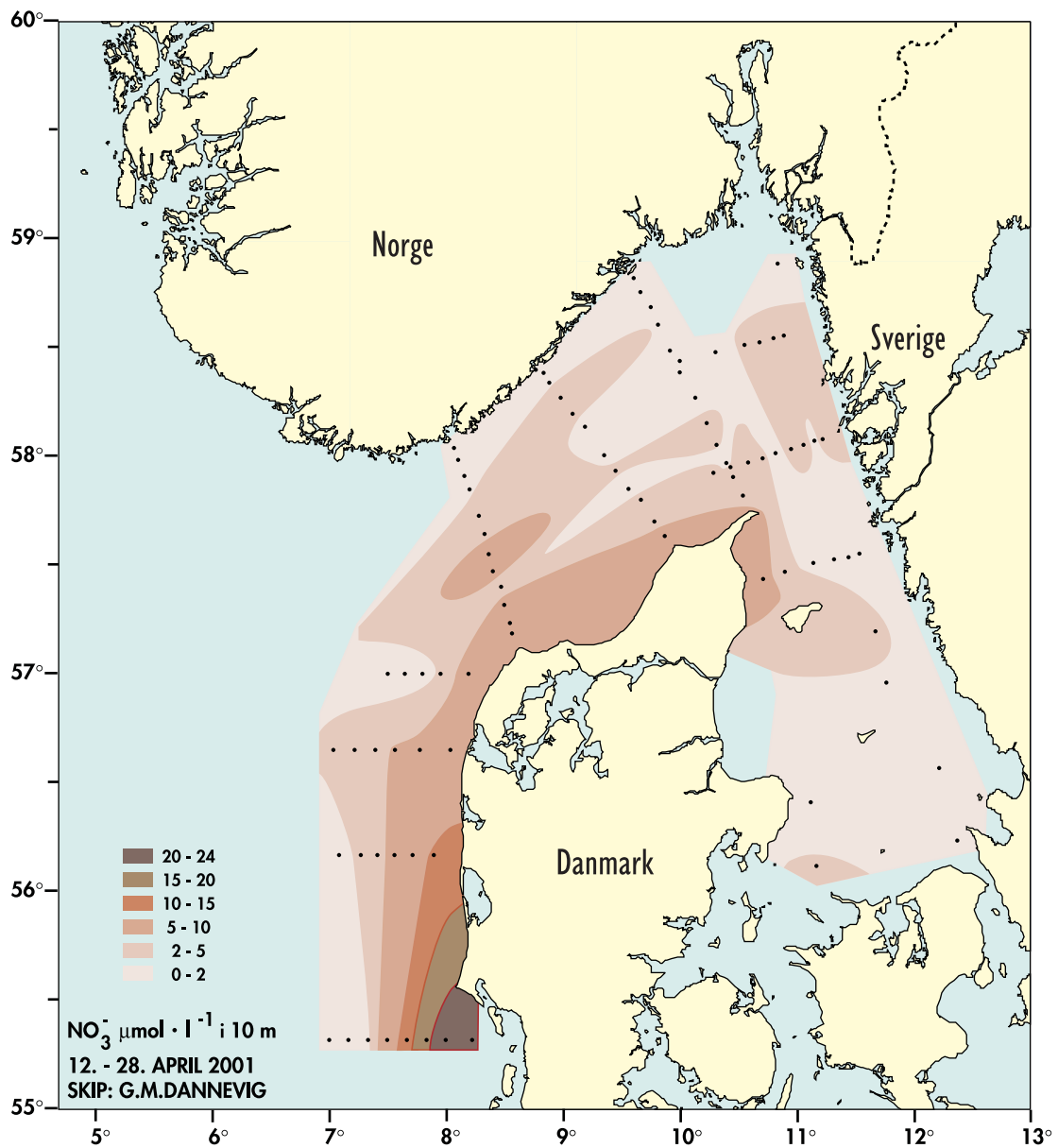
Chattonella aff. *verruculosa*, ble det nå bare registrert kiselalger.

Plantep plankton

Under snittet Torungen-Hirtshals 12. mars 2001 var det betydelige mengder kiselalger fra kysten av Norge til mer enn midt ut i Skagerrak. Samtidig var det lite alger ved kysten av Danmark. Kiselalgene som dominerte var *Chaetoceros* spp., *Pseudo-nitzschia* sp. og *Skeletonema costatum*, hvorav førstnevnte og sistnevnte er klassiske våralger, mens *Pseudo-nitzschia* gjerne har hatt sin hovedsesong senere på året. Kloss i kiselalgens våroppblomstring midt i mars fulgte en oppblomstring av den skadelige algen *Chattonella*. Denne oppblomstringen rammet vestkysten av Sverige, de østlige deler av Skagerrak og kysten av Norge vestover til Flekkefjord (se mer om denne oppblomstringen i tema-delen). På toktet 12. april var det mest kiselalger ved kysten av Danmark. *Chaetoceros* spp. og *Guinardia delicatula* dominerte. Sistnevnte har vært vanligere de senere år enn for 10-20 år siden. Mønsteret med en noe forsinket våroppblomstring av kiselalger på kysten av Danmark i forhold til langs kysten av Norge er vanlig. Årsaken er en tidligere stabilisering av vannmassene langs norskekysten på grunn av tilførselen av baltiske vannmasser.

Etter kiselalgens våroppblomstring og oppblomstringen av *Chattonella*, var det normale algemengder i Skagerrak fram til sommeren og et blandet algesamfunn. Kalkflagellaten *Emiliania huxleyi*, som kan gi turkis sjø i deler av sommerhalvåret, var vanlig en periode i juli, men ble aldri så tallrik som den ofte ellers er. I august dukket en del store dinoflagellater opp i Skagerrak, mest på norsk og dansk side. Det var blant annet den skadelige algen *Karenia mikimotoi* (tidligere kalt *Gyrodinium aureolum*) og ulike *Ceratier*, særlig *Ceratium furca*. Disse utgjorde det meste av algebiomassen tidlig på høsten uten at det ble noen uvanlige eller store algeoppblomstringer av det. Utover i september og oktober ble det igjen relativt flere kiselalger, blant annet *Cerataulina pelagica*, *Chaetoceros* spp. og *Pseudo-nitzschia*. I sum var algeforekomstene i Skagerrak i 2001 normale, bortsett fra den skadelige oppblomstringen av *Chattonella* i de østlige og nordlige deler i mars.

De høye næringssaltkonsentrasjonene og den påfølgende store veksten av alger langs vestkysten av Jylland og i sørlige Skagerrak, har sammenheng med de store tilførselene av menneskeskapt næringssalter til den sørlige Nordsjøen.



Figur 3.9

Horizontal fordeling av nitrat i 10 m dyp i Nordsjøen og Skagerrak i april 2001.

Horizontal distribution of nitrate at 10 m depth in the North Sea and Skagerrak in April 2001.

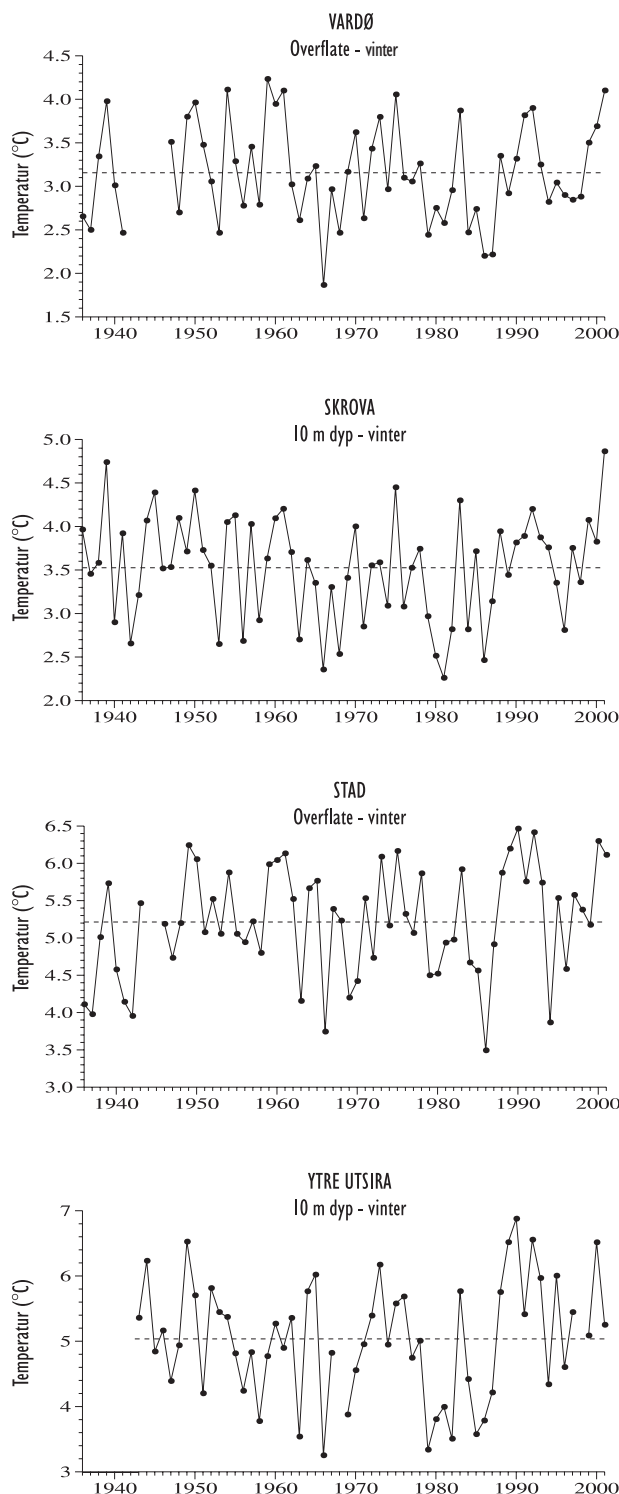
Klimatilstanden i kystfarvannene observeres regelmessig på faste hydrografiske stasjoner fra Lista til Ingøy to til fire ganger per måned (Figur 0.1). Temperatur og saltholdighet blir observert i standarddyp fra overflaten til bunnen. Målinger i overflatelaget blir tatt fra Hurtigruten ved en rekke lokaliteter 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 1936-2000 ble observert i 1966 og i 1986-87 (Figur 4.1). Ved Skrova og Utsira var det også kaldt i 1979-81. Det var varme vintre omkring 1960, i første del av 1970-årene og i 1988-93/94. Temperaturforskjellen mellom kalde og varme vintre i denne perioden var 1.5-3 °C.

I midten av 1990-årene var det noe kaldere enn normalt i kystvannet, mens det fra 1998/1999 til 2001 har vært en markert temperaturøkning og da særlig fra Stad og nordover. Midlere vintertemperatur nord for Stad i 2001 var på nivå med de varme vintrene i begynnelsen av 1990-årene med temperaturer 1.0-1.5 °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 årene 1990-91. Etter en markert



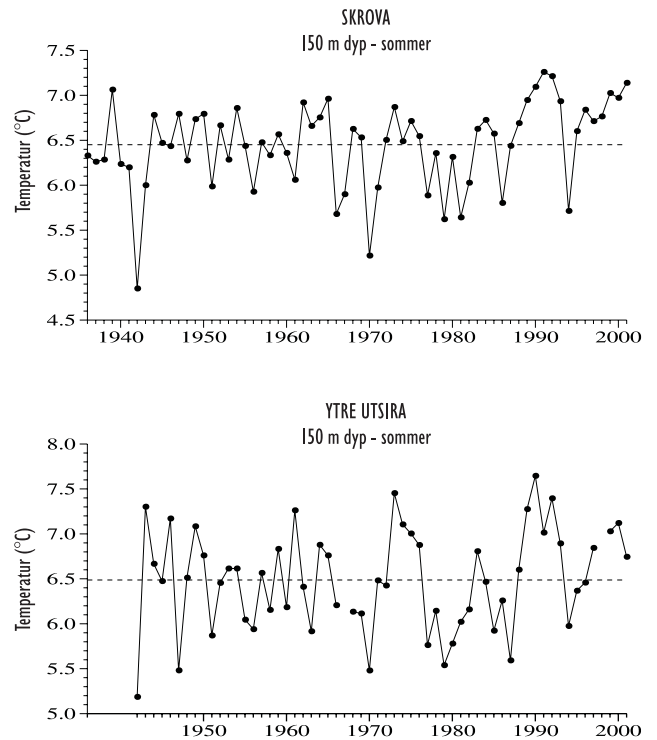
Figur 4.1 Overflatetemperaturene i januar-mars ved Vardø, Skrova, Stad og ytre Utsira i årene 1936-2001 (se Figur 0.1). Prikket linje = middelvei. Surface temperature in January-March at Vardø, Skrova, Stad and outer Utsira through 1936-2001 (see Figure 0.1). Dotted line = mean value.

temperaturnedgang i 1993/94 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 1989/90, hele 4 °C over normalen. Perioden etter 1988 var også den varmeste siden 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. I 2001 var det noe kaldere med midlere vintertemperatur ca. 1 °C over det normale for årstiden. Vi må tilbake til 1985 sist det var en kald vinter i Skagerrak.

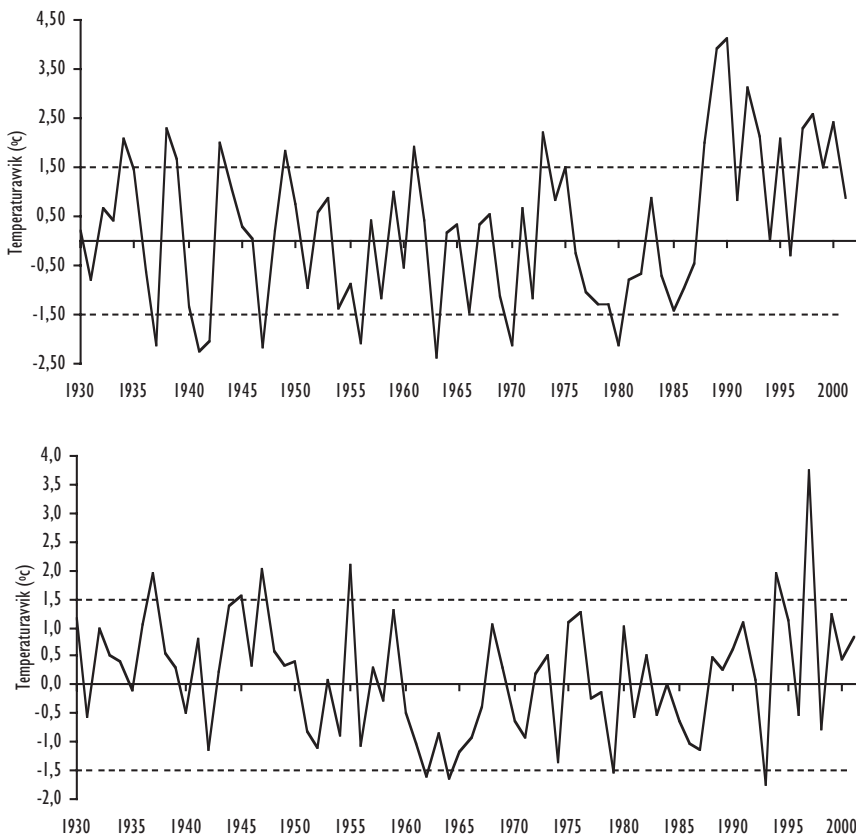
Temperaturforholdene i 2001

Resultatet av temperaturmålingene fra Hurtigruten i 2001, 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 (øverst). Langs hele kysten lå temperaturene stort sett over det normale, med unntak i juli/august da dårlig sommervær og oppstrømning av kaldt dypvann (nordavind) førte til forholdsvis lave sjøtemperaturer



Figur 4.2 Temperaturen på 150 m dyp på sensommeren (juli-september) ved Skrova og ytre Utsira i årene 1936-2001. Prikket linje = middelvei.

Temperature at 150 m depth late summer (July-September) at Skrova and outer Utsira through 1936-2001. Dotted lines = mean values.

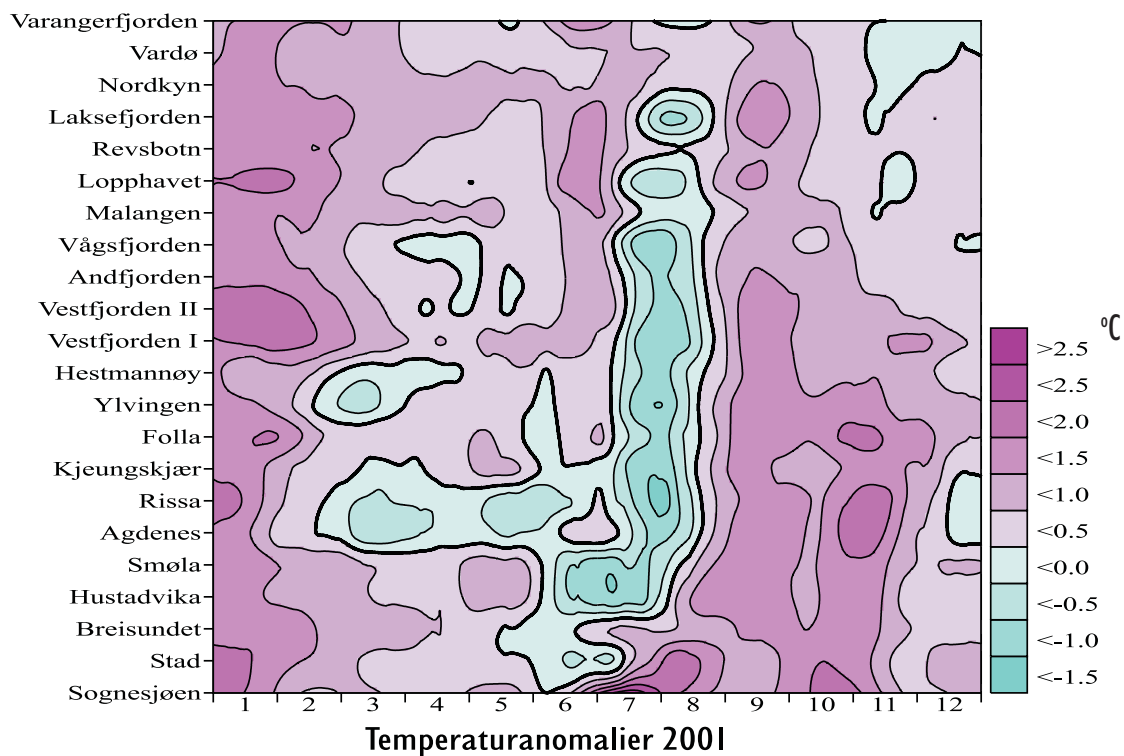
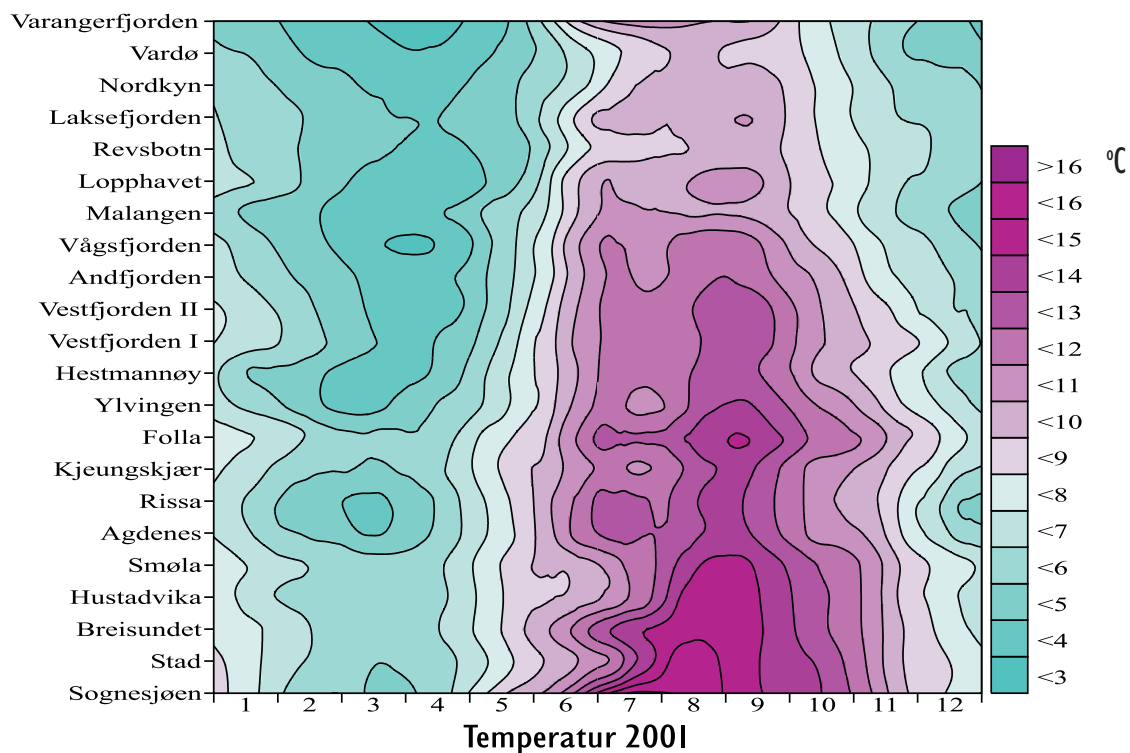


Figur 4.3

Avvik fra midlere vintertemperatur (februar-mars) og sommertemperatur (juli-august) i 1 m dyp i Flødevigen, Arendal, 1930-2001. Heltrukken linje = middelveien. Prikket linje = +/- ett standardavvik. *Winter and summer temperature anomalies in the surface layer of Flødevigen Bay, Arendal, 1930-2001. Full line = mean. Dotted lines = +/- 1 standard deviation.*

HURTIGRUTEN

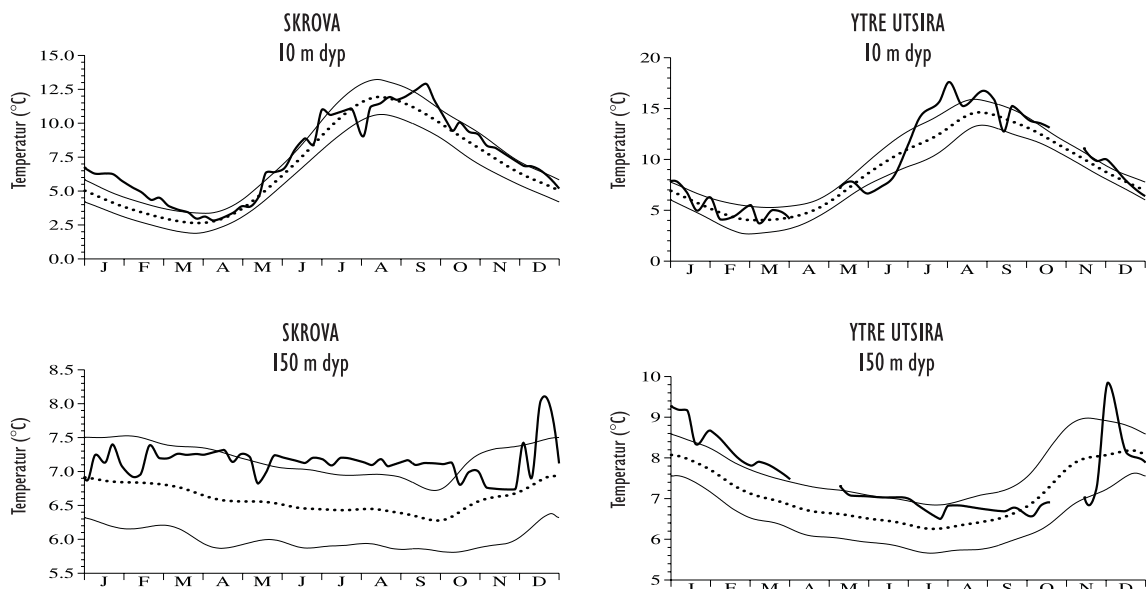
Månedsmidler fra termografstasjoner



Figur 4.4

Øverst: Temperaturen i overflatelaget langs kysten mellom Sognesjøen og Varangerfjorden i 2001, målt fra Hurtigruten. Nederst: Temperaturanomalier (avvik) i 2001 i forhold til langtidsnormalen. 1 = januar, 12 = desember.

Upper: Temperature of the surface layer along the coast between Sognesjøen and Varangerfjorden in 2001 based on observations from the coastal express steamer. Lower: Temperature anomalies in 2001. 1 = January, 12 = December.



Figur 4.5

Skrova og ytre Utsira i 2001. 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 2001. Thick line = temperature at 10 and 150 m depth. Measured about every 10th day. Dotted lines = mean annual variation. Thin lines = standard deviation.

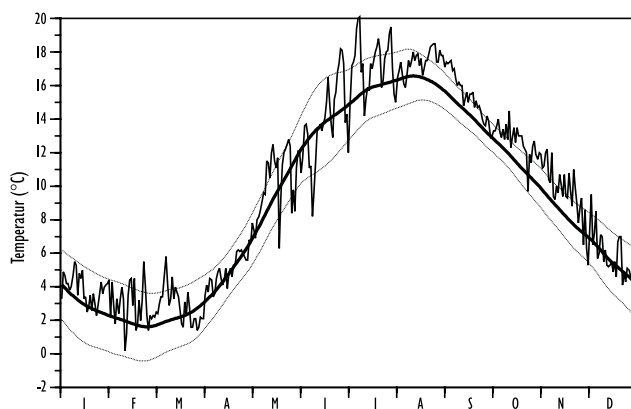
(nederst). I Trondheimsfjorden (Agdenes og Rissa) lå temperaturen under det normale i hele perioden fra mars til ut i midten av august 2001. Utover høsten fram til november/desember var det igjen forholdsvis varmt langs hele kysten med temperaturer på 0.5-1.5 °C over det normale for årstiden.

Figur 4.5 viser temperaturvariasjonene i overflatelaget (10 m) og på 150 m dyp ved ytre Utsira og Skrova i 2001. Ved Skrova var det høye vintertemperaturer i overflaten fram til mars, mens temperaturen resten av året lå nær, eller noe over det

normale for årstiden. Ved Utsira lå temperaturene i 2001 nær eller noe over det normale, med unntak av en varm periode fra midten av juli til september.

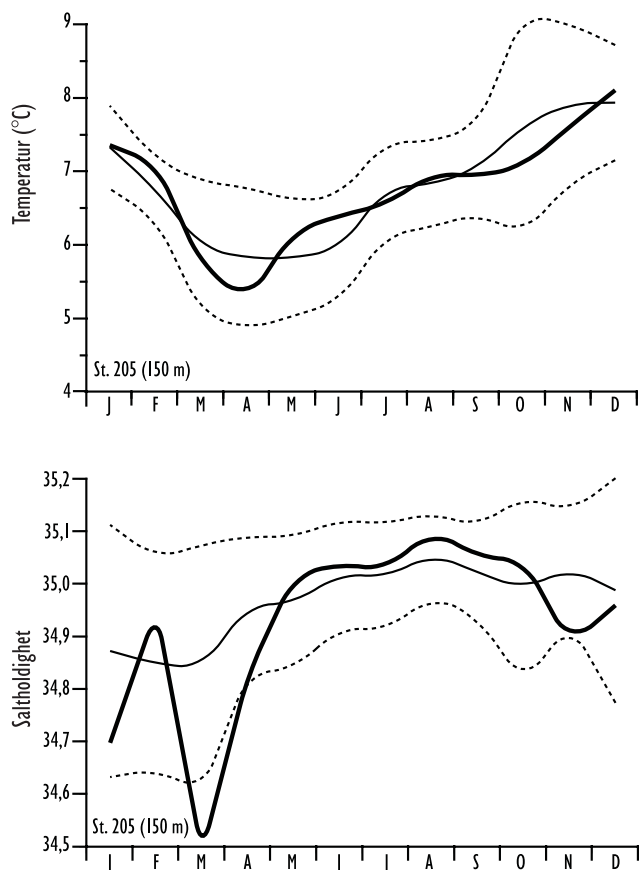
I 150 m dyp var det stort sett varmere enn normalt langs hele kysten fra Rogaland til Finnmark. Ved Utsira og Skrova lå f.eks. temperaturene, med unntak for en periode i oktober/november 2001, nær ett standardavvik over normalen.

Ved Forskningsstasjonen Flødevigen ved Arendal, har det vært utført daglige målinger av temperatur



Figur 4.6

Daglige temperaturer på 1 m dyp i 2001 i Flødevigen, Arendal. Den tykke linjen viser glattet middeltemperatur, sammen med standardavviket for 30-årsperioden 1961-90 samme sted.
 Daily temperature at 1 m depth in 2001 in Flødevigen Bay, Arendal. The bold curve shows the smoothed mean temperature together with the standard deviation for the 30-year period 1961-90.



Figur 4.7

Temperatur og saltholdighet i 150 m dyp ca. 10 km utenfor Torungen fyr ved Arendal i 2001, basert på målinger ca. en gang per måned (tykk heltrukken linje). Langtidsmiddel (tynn heltrukken linje) og standardavvik (stiplet linje) 1961-90.

Temperature and salinity at 150 m depth 10 km off Torungen lighthouse near Arendal in 2001 based on monthly observations (thick solid line). Long term mean (thin solid line) and standard deviation (dotted line) 1961-90.

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 variasjonene representative også for de øvre vannlagene i Skagerrak. Temperaturene lå over det normale i perioden fra januar til midten av mars 2001 (Figur 4.6). Fram til juli var det nær normale temperaturforhold, mens det resten av sommeren og utover høsten til desember var relativt varmt langs Skagerrakkysten.

Vannmassene i de dypere lag langs Skagerrakkysten (150 m dyp) var preget av innstrømmende atlantisk vann (saltholdighet høyere enn 35.0) fra mai til oktober 2001 (Figur 4.7). Den markerte økningen i saltholdighet og tetthet i dypere lag av kystvannet fra mars til mai førte til innstrømning i fjordbassengene og da særlig i de østligste fjordene i Skagerrak (se Figur 4.11). Temperaturene i dypere liggende vannlag langs Skagerrakkysten lå nær det normale gjennom hele 2001.

4.2

Plankton og næringsalter

Langs norskekysten utføres det mange undersøkelser av miljøforhold i sjøen. Havforskningsinstituttet står bare for en del av disse. I den foreliggende rapporten legges det 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 2001. Data om alger, med vekt på de skadelige artene, genereres i all hovedsak gjennom et bredt samarbeid mellom Havforskningsinstituttet, Norges Veterinærhøgskole,

OCEANOR, NIVA, Fiskeridirektoratet og Statens næringsmiddeltilsyn.

Kysten Oslofjorden-Rogaland

På denne delen av kysten utfører Havforskningsinstituttet en utstrakt overvåkning. I Flødevigen ved Arendal er det særlig hyppig prøvetaking. Her tas algeprøver tre ganger per uke, og etter vår erfaring gjenspeiler prøvene fra Flødevigen i store trekk situasjonen langs hele Sørlandet (Telemark-Vest-

Agder). Ved Torungen fyr, like utenfor Arendal, tas hydrografiske prøver og næringssalter ca. hver 14. dag med støtte fra Statens forurensningstilsyn.

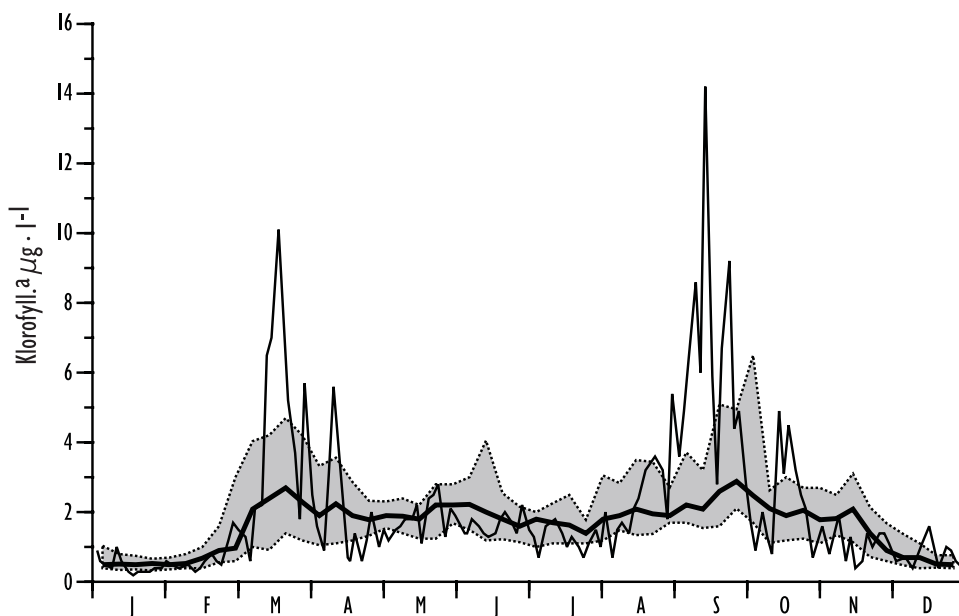
Det ble ikke registrert spesielt høye konsentrasjoner av næringssalter i løpet av 2001, men etter våroppblomstringen var det fortsatt relativt mye nitrat igjen i overflatelaget helt frem til juli, og derved et noe høyt N:P-forhold. Vi trodde dette ville øke faren for større skadelige algeoppblomstringer langs kysten av Sør-Norge, men det kom ingen slike. Den store nedbøren høsten 2000 førte ikke til uvanlige næringssaltforhold i kystvannet, bortsett fra noe mer silikat enn vanlig på slutten av året (Figur 4.8). Algemengden gjennom året i form av klorofyll i Flødevigen (Figur 4.8) var ganske normal.

Våroppblomstringen av kiselalger var relativt liten i 2001, med en topp midt i mars (Figur 4.8). Kloss i kiselalgenes våroppblomstring dukket uventet også skadealgen *Chattonella* opp. Så klorofylltoppen 19. mars på ca. $10 \mu\text{g l}^{-1}$ bestod av en blanding av kiselalger og *Chattonella* (se mer om *Chattonella* i tema-delen). Foruten de vanlige vår-kiselalger, som *Skeletonema costatum* og *Chaetoceros* spp., ble det, som i 2000, registrert en del *Guinardia delicatula*.

Våroppblomstring nummer to av kiselalger, som eventuelt foregår i mai-juni, var ikke særlig fremtredende i 2001, men en periode var det likevel igjen relativt mye kiselalger, særlig *Skeletonema costatum* og *Chaetoceros*. I juni, juli og til ca. midt i august var det relativt lite algebiomasse langs kysten av Skagerrak (Figur 4.8). Som vanlig var kalkflagellaten *Emiliania huxleyi* tallrik, men den holdt seg under 1 million celler l^{-1} i Flødevigen. Fra midten av august økte innslaget av større dinoflagellater og biomassetoppene i september skyldtes forekomst av *Ceratium* spp. og *Karenia mikimotoi*, mens kiselalgen *Pseudo-nitzschia* var også tallrik en periode i september.

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 imidlertid få prøver. Også i Rogaland startet våroppblomstringen av kiselalger i mars. Deretter kom den i grove trekk suksessivt senere på året ettersom man beveger seg nordover. De vanligste kiselalgene var *Skeletonema costatum* og *Chaetoceros* spp., men fra Hordaland og nordover var flagellatstadiet av gelealgen *Phaeocystis* også et normalt innslag i vårplanktonet.



Figur 4.8

Klorofyll-*a* i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukket linje er målinger i 2001. Tykk heltrukket linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989-01. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde).

Chlorophyll-a in Flødevigen Bay, 0-3 m depth. The thin curve is data from 2001. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989-01. Dotted lines are first and third quartiles.

I Finnmark var det typisk våroppblomstring så sent som i siste halvdel av mai. Innover i de store fjordene var det ofte tidligere og kraftigere våroppblomstringer av kiselalger enn ute i skjærgården, og i fjordene hadde ofte kiselalgene også en mer framtrædende rolle etter at den første våroppblomstringen i mars-april var over. Kalkflagellaten *Emiliana huxleyi*, som kan gi turkis farve til sjøen langs Vestlandet om sommeren, var vanlig også i 2001, men likevel mindre tallrik enn vanlig. Mot slutten av sommeren 2001 ble det imidlertid registrert betydelige mengder *Emiliana huxleyi* helt oppe i Finnmark, og det var uvanlig langt nord for større forekomster av denne algen. Ellers var både ulike ceratier og kiselalgen *Pseudo-nitzschia* nokså tallrik flere steder langs vestkysten på sensommeren og høsten 2001 uten at det kan sies å være særlig uvanlig.

Fjorder

Havforskningsinstituttet overvåker miljøforholdene i fjorder langs hele norskekysten fra Oslofjorden til Kirkenes bl.a. i forbindelse med brisling- og sildeundersøkelser og rekrutteringsundersøkelser langs Skagerrakkysten om høsten. I det følgende beskrives oksygenforholdene i Ofotfjorden, utvalgte fjorder på Skagerrakkysten og i Lysefjorden, Rogaland. For å opprettholde viktige tidsserier utførte Havforskningsinstituttet også i 2001 miljøundersøkelser i en del utvalgte fjordområder langs Skagerrakkysten uten støtte fra regionale eller sentrale myndigheter.

Ofotfjorden

Etter at sommerbeitesesongen er over i Norskehavet, vandrer norsk vårgytende sild til overvintringsområdene hvor den danner tette konsentrasjoner. I disse områdene står silda inntil gytevandringen begynner igjen tidlig på vinteren. I de siste 40 år har silda hatt forskjellige overvintringsområder. I løpet av 1950-årene, da bestanden var stor (omkring 10 millioner tonn), overvintret silda i et område øst for Island. I 1963-1966 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.

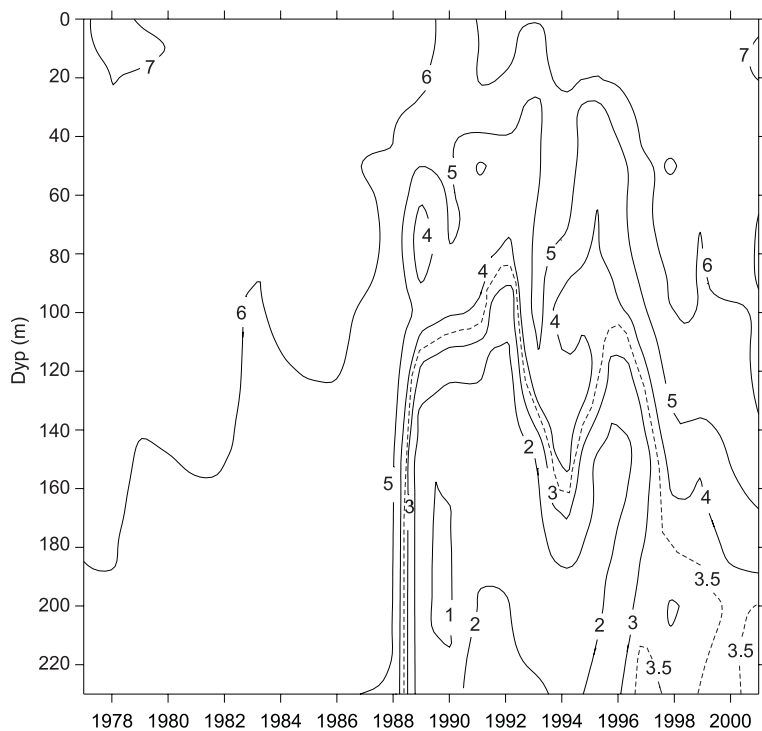
Havforskningsinstituttet har fulgt miljøutviklingen med prøvetaking hvert år i november. Figur 4.9 viser oksygenforholdene i Ofotfjorden på en stasjon utenfor Narvik. Observasjonene viser en kraftig nedgang i oksygenkonsentrasjonene under ca. 100 m dyp etter 1988, med konsentrasjoner ned til like under 1.0 ml l⁻¹ 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⁻¹. Denne trenden fortsatte også i perioden 1998-2001 og da særlig i de øverste 180 m. Det er verdt å merke seg at for første gang siden 1988 er det blitt observert oksygenkonsentrasjoner høyere enn 5 ml l⁻¹ ved 150 m dyp ved Narvik. I 2001 var det en ytterligere økning i oksygenmengden i de øverste 180 m, selv om det ved bunnen ble observert en liten nedgang.

Oksygenøkningen i 1997-2001 har sammenheng med innstrømming 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 i indre Vestfjorden.

Fjorder på Skagerrakkysten

Risørbassenget er benyttet som referansebasseng for overvåkning av den organiske belastning fra kystvannet på terskelbasseng i indre Skagerrak. Figur 4.10 viser at oksygenforbruket og den organiske belastning i Risørbassenget og andre fjorder på Sørlandskysten har økt betydelig etter ca. 1980. Det midlere oksygenforbruk i Risørbassenget i 1990-2001 lå ca. 80 % høyere enn i perioden 1930-1975. Figur 4.10 antyder også at det har vært en økning av oksygenforbruket etter 1997. Det økte oksygenforbruket har ført til forverrede oksygenforhold i en rekke fjord- og kystbasseng langs Skagerrakkysten etter 1980.

Langangsfjorden. Figur 4.11 viser at oksygenminimum i f.eks. dypvannet i Langangsfjorden i Langesundsområdet tydelig ble lavere fra midten av 1970-årene og at oksygenminimum høsten 2000 på ca. 0.2 ml l⁻¹ var det laveste siden 1950-årene. Det økte oksygenforbruket er forårsaket av økte tilførsler av

**Figur 4.9**

Vertikalfordeling av oksygen (ml l^{-1}) i Ofotfjorden utenfor Narvik i perioden 1977-2001.

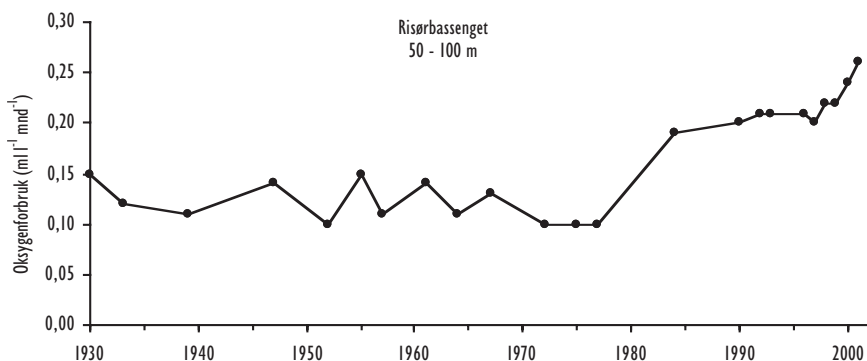
Vertical distribution of oxygen (ml l^{-1}) at a station off Narvik in the Ofotfjord during 1977-2001.

menneskeskapt næringsalter og organisk materiale fra sørlige Nordsjøen, Kattegat og Østersjøen. I enkelte fjorder har også lokale utslipp betydning. I 2000 og fram til vinteren 2001 var det dårlige oksygenforhold eller hydrogensulfid i dypvannet i Nordfjorden ved Risør og i Håøyfjorden og Frierfjorden i Langesundsområdet (Figur 4.12). I løpet av vinteren og våren 2001 var det en fullstendig utskiftning av bassengvannet i fjordene i Langesundsområdet. I Nordfjorden ved Risør, ca. 20 nautiske mil lenger vest, var det bare en begrenset vannutskiftning i øvre lag av terskelbassenget. Oksygenforholdene var fortsatt meget dårlige høsten 2001.

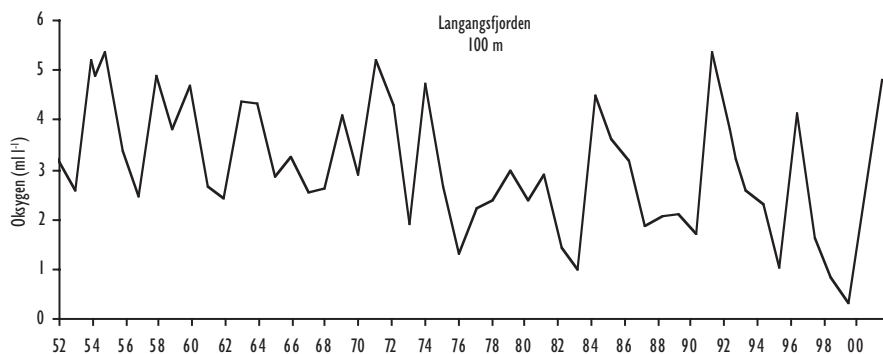
Vi har fortsatt begrensede kunnskaper om hvilke skader dette eventuelt har påført marine organismer og økosystemet i fjordene på Sørlandet.

Ytre Oslofjord

Dette fjordavsnittet har betydelige tilførsler av menneskeskapt næringsalter 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 fra Havforskningsinstituttets egne undersøkelser i 2001 viste at konsentrasjonene av nitrat i øvre lag av Ytre Oslofjord og fjordene i

**Figur 4.10**

Oksygenforbruk i 50-100 m dyp i Risørbassenget fra 1930 til 2001. Oxygen consumption at 50-100 m depth in the Risør basin from 1930 to 2001.



Figur 4.11
Oksygenverdiene (ml l⁻¹) i 100 m dyp i Langangsfjorden i Langesundsområdet i perioden 1952-2001.
Oxygen concentrations at 100 m depth in Langangsfjorden, Telemark, from 1952 to 2001.

Grenlandsområdet fortsatt var “mindre gode” (ifølge SFTs miljøklassifisering). Fosfatkonsentrasjonene var derimot i liten grad påvirket av lokale utslipp. De forholdsvis store tilførselene av nitrat førte til en høy produksjon av alger. Økt algeproduksjon har f.eks. medført redusert vekstdyp for tang og tare i Ytre Oslofjord. Innstrømning våren 2001 (mars-april) fra Skagerrak førte til en total utskiftning av vannmassene i bassengene i ytre Oslofjord.

Lysefjorden i Rogaland

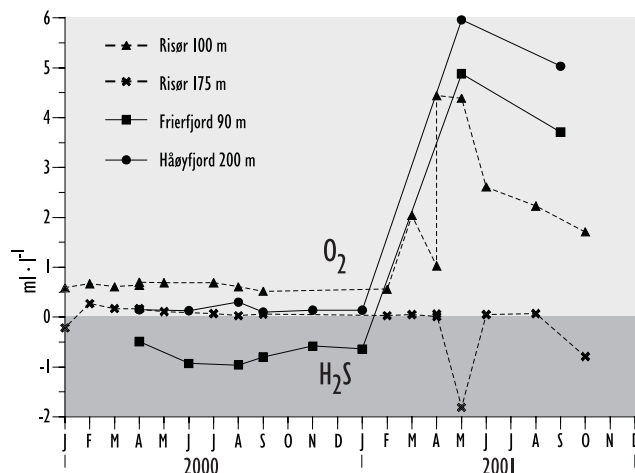
I Lysefjorden er oksygenforholdene om høsten blitt observert siden 1975. Lysefjorden er en forholdsvis innestengt fjord med terskeldyp på ca. 14 m og største bunndyp på ca. 450 m. Observasjonene i f.eks. 300 m dyp viser at oksygenforbruket, i motsetning til i fjordene langs Skagerrakkysten, ikke er endret nevneverdig siden 1975 (Figur 4.13). De spesielle topografiske forhold med lite terskeldyp og stort bassengvolum fører til at det går lang tid mellom hver innstrømning av oksygenrikt vann til de dypeste delene av fjorden. Tidsrommet mellom hver innstrømning til de dypeste delene av Lysefjorden var 6-7 år før 1993. Oksygenminimum var på ca. 2.5

ml l⁻¹. I 2001 var imidlertid oksygenverdien i 300 m dyp redusert til ca. 2.1 ml l⁻¹. De ekstra lave oksygenverdiene i 2001 var ikke forårsaket av økt oksygenforbruk, men av at en forventet utskiftning av vannmassene var uteblitt. Hvis det ikke skjer en innstrømning vinteren 2002, kan oksygenforholdene bli kritiske for invertebrater og fisk i de dypeste delene av Lysefjorden i løpet av høsten 2002.

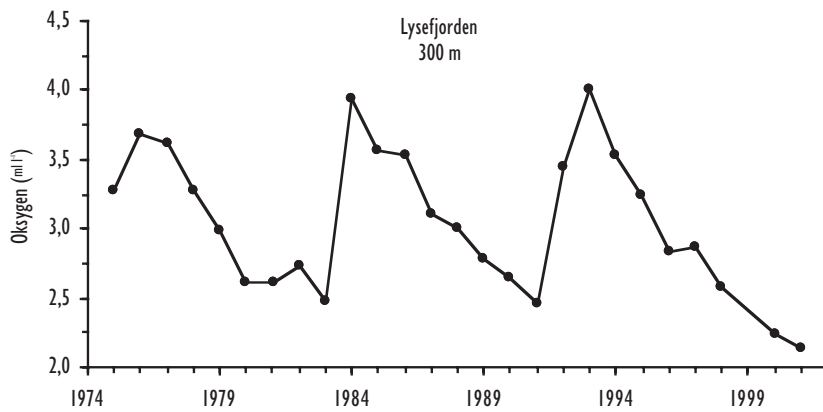
Maneter på Skagerrakkysten

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 gjøres notat over ca.-størrelse på manetene. Metoden har den åpenbare svakhet at mulighet til å kunne observere ned i vannet varierer med lys, planktonforekomst og bølger.

På Skagerrakkysten opptrer stormaneter nær sjøoverflaten 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



Figur 4.12
Oksygenverdiene (ml l⁻¹) i bassengvannet i Nordfjorden (Risør), Håøyfjorden og Frierfjorden i 2000 og 2001. Verdier under null er konsentrasjon av hydrogensulfid.
Oxygen concentrations in the basin water of Nordfjorden (Risør), Håøyfjorden and Frierfjorden in 2000 and 2001.

**Figur 4.13**

Oksygenverdiene (ml l^{-1}) i 300 m dyp i Lysefjorden om høsten i perioden 1975-2001.

Oxygen concentrations at 300 m depth in Lysefjorden, Rogaland, from 1975 to 2001.

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.

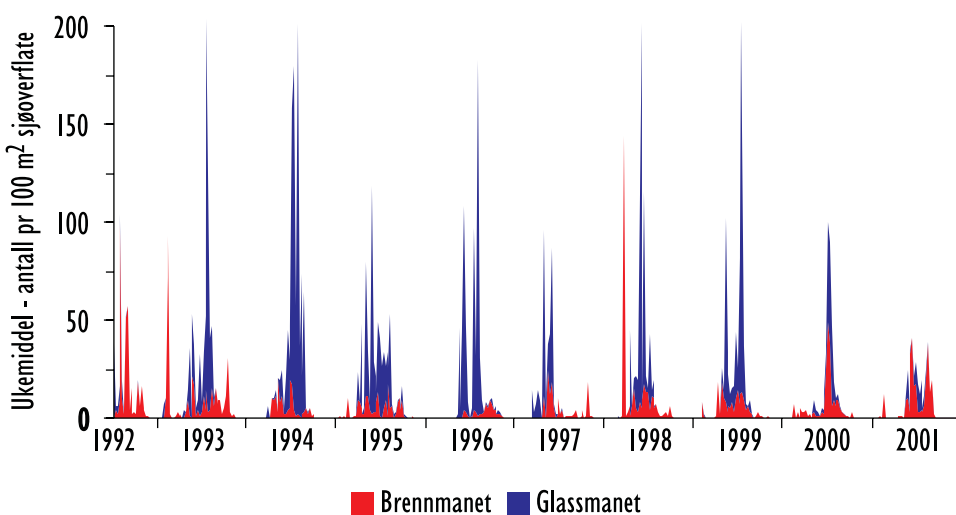
Om sommeren kommer glassmanetene gjerne først og kan opptre i store tettheter. Store forekomster av brennmaneter viser seg litt senere, men holder seg i overflatevannet desto lenger utover ettersommeren og høsten.

I 1998 ble det registrert forholdsvis flere maneter enn i 1997 (Figur 4.14). Glassmanetene kom i første halvdel av mai og forsvant i første halvdel av juli. I mars ble det et par dager observert 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 det for brennmaneter. Glassmanetene kom noe senere i 1999 og holdt seg i de øvre

vannmasser lenger ut i juli enn tidligere år. Etter ca. 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.

I 2001 var totalt antall observerte glassmaneter det laveste siden observasjonene begynte i 1992. Det var noen topper i mai og begynnelsen av juni, men denne arten forsvant etter det. Totalt antall brennmaneter i 2001 var omtrent det samme som i de foregående år. Fordelingen i tid bestod av markerte forekomster i en periode i slutten av mai og en periode i begynnelsen av august. I august 2001 ble det også observert unormalt mange blå brennmaneter (*Cyanea lamarcki*).

**Figur 4.14**

Forekomst av brennmanet (*Cyanea capillata*) og glassmanet (*Aurelia aurita*) i Flødevigen 1992-2001. Ukemiddel.

Occurrence of *Cyanea capillata* and *Aurelia aurita* in the Flødevigen Bay 1992-2001. Weekly mean.

For å kunne varsle fiskeoppdrettere og skjelldyrkere langs kysten om risiko for skadelige planteplanktonforekomster før problemer oppstår, har Havforskningsinstituttet siden 1981 overvåket *Karenia mikimotoi* (tidligere navn: *Gyrodinium aureolum*), som kan gi brun sjø og fiskedød, og siden 1984 slekten *Dinophysis*, som er hovedårsaken 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. Fra ca. midt på 1990-tallet 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 giftopphopping i skjell. De siste få årene har nye, potensielle skadealger kommet på listen av alger som vi ser spesielt etter. Det inkluderer representanter for algeklassen *Raphidophyceae* (slektene *Chattonella* og *Heterosigma*), som kan gi fiskedød, kiselalgeslekten *Pseudo-nitzschia* som kan være kilde til ASP (Amnesic Shellfish Poisoning, eller skjellforgiftning med hukommelsestep), og dinoflagellatene *Gonyaulax grindleyi* og *Lingulodinium polyedrum* som kan være kilder for yessotoksin, som også kan opphopes i skjell og gjøre dem uegnet som mat.

Foruten å være grunnlag for en løpende informasjon og varsling om algesituasjonen, har algeovervåkingen også generert viktige tidsserier over algeforekomster. Slike tidsserier er nyttige og interessante både for forvaltnings- og forskningsformål. Man akkumulerer f.eks. kunnskap som kan belyse om oppblomstringer av skadelige alger skjer hyppigere enn tidligere, og om slike oppblomstringer i noen grad kan skyldes påvirkninger av menneskelig aktivitet. Erfaringsmessig har de fleste større og skadelige algeoppblomstringer langs kysten av Norge startet i Skagerrak, for eventuelt å bli spredd med kyststrømmen rundt Lindesnes og nordover. 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 algeovervåkningsprogram bygget i 2001 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 ellers når slike oppblomstringer foregår.

Etter oppblomstringen av *Chrysochromulina polylepis* i 1988 økte etter hvert den nasjonale innsatsen på algeovervåking. I 2001 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 2001 foregikk ukentlig på 27 stasjoner fra svenskegrensen til Finnmark, fra slutten av mars til ut i oktober. Resultatene ble løpende oppsummert i en "Algeinfo", som i regi av Havforskningsinstituttet legges ut på Internett med adresse: <http://algeinfo.imr.no/>.

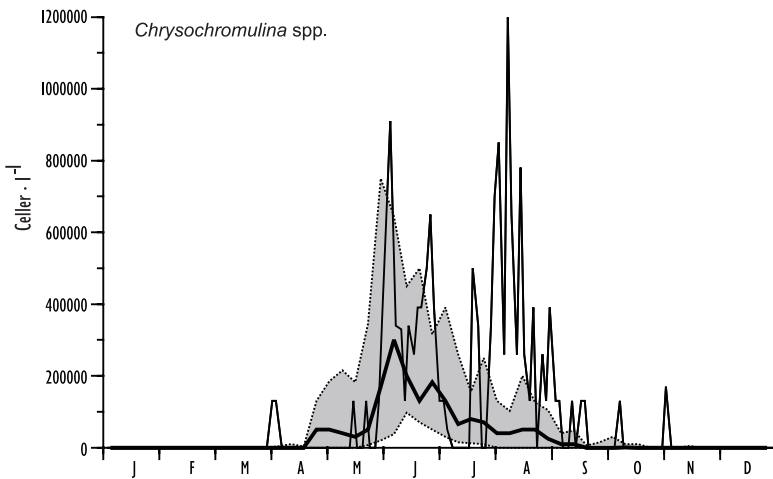
Kysten Oslofjorden-Rogaland

Alger som kan skade fisk og andre organismer

Forekomsten av algeslekten, *Chrysochromulina*, som har ført til fiskedød på kysten av Skagerrak, var ganske normal i 2001, dog noe mer tallrik en vanlig på sensommeren (Figur 4.15). Ingen effekter av denne algeslekten ble registrert. En annen alge som har gitt brun sjø og fiskedød, *Karenia mikimotoi* ble bare registrert i et relativt lite antall (Figur 4.16) og skapte følgelig ingen problemer i 2001. Men representanter fra algeklassen *Raphidophyceae*, slektene *Chattonella* og *Heterosigma*, førte til betydelig fiskedød blant oppdrettsfisk på Skagerrakkysten i mars 2001. Se særskilt om denne oppblomstringen i tema-delen.

Alger som gjør skjell giftige

Kilde til diarégivende algegifter i skjell langs kysten er representanter fra algeslekten *Dinophysis*. Arten *Dinophysis acuta* er mest potent. Opphopping av diarégivende algegifter i skjell er et årlig tilbakevendende problem langs kysten av Skagerrak, men omfanget av problemet kan variere mye fra år til år. I 2001 var forekomsten av de vanligste *Dinophysis*-artene ganske normal (Figur 4.17). Problemet med diarégifter i skjell fremstod imidlertid noe større

**Figur 4.15**

Chrysochromulina spp. i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 2001. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989-2000. 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 2001. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989-2000. Dotted lines are first and third quartiles.

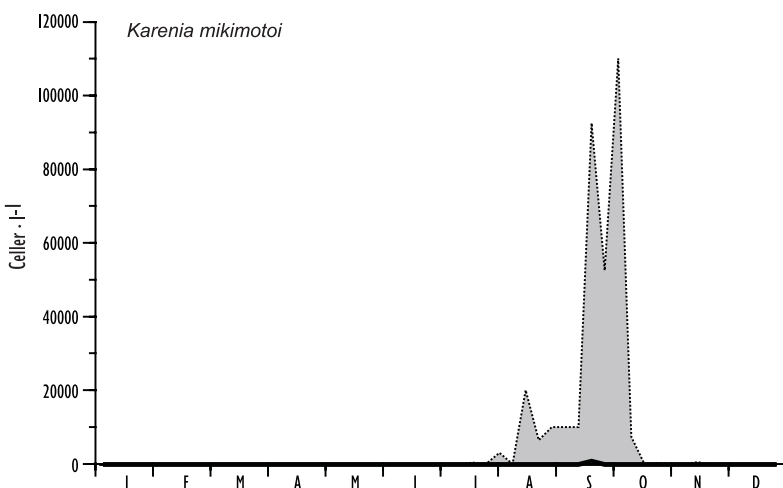
enn forventet ut fra algebildet. Det hadde trolig sammenheng med at Norges Veterinærhøgskole tok i bruk en ny analysemetode som fanget opp en ny komponent av komplekset av diarégivende gifter. Lammende gifter ble bare påvist i skjell fra indre Oslofjord i mai 2001, og var, som normalt, ikke noe stort problem for kyststrekningen som helhet. De foreløpige mindre kjente algegiftene yessotoksin og azaspiracid, ble begge påvist ved noen få anledninger langs kysten av Skagerrak i 2001, yessotoksin i mai og azaspiracid i april og juni. I samarbeid med Veterinærinstituttet og NIVA har Havforskningsinstituttet i 2001 bidratt til å påvise at dinoflagellaten *Gonyaulax grindleyi* er kildeorganisme til yessotoksin langs vår kyst, som den er i andre land. Hva som er kildeorganismer til azaspiracid er ennå uklart, men dinoflagellatslekten

Protoperdinium er i søkelyset. Denne giften har særlig vært et problem i Irland. Selv om kiselalgeslekten *Pseudo-nitzschia*, som er kjent som kilde til ASP-problemer, er vanlig på denne kyststrekningen hvert år, ble det heller ikke i 2001 påvist noe ASP-gift i skjell.

Kysten Rogaland-Finnmark

Alger som kan skade fisk og andre organismer

I Rogaland ble det også i 2001 funnet en del *Prymnesium*, men det ble ikke registrert fiskedød som følge av blomstringen. *Karenia mikimotoi* ble registrert stedvis langs hele kysten fra Rogaland til Finnmark, men bare i små mengder. *Chattonella*-oppblomstringen på kysten av Skagerrak berørte ikke Rogaland og kysten videre nordover.

**Figur 4.16**

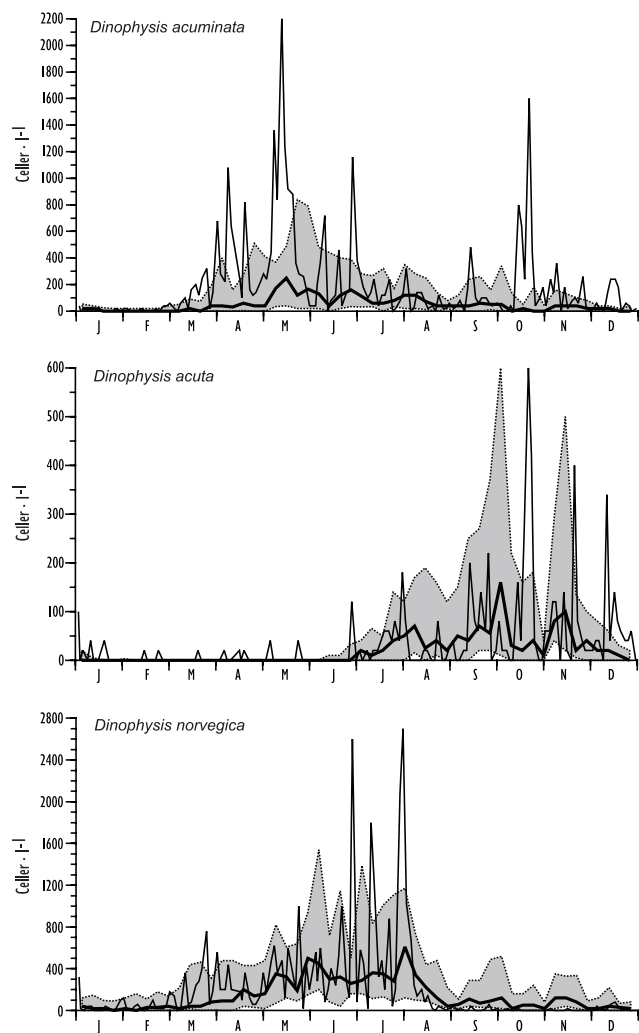
Karenia mikimotoi i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 2001. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989-2000. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde).

Karenia mikimotoi in the Flødevigen Bay, 0-3 m depth. The thin curve is data from 2001. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989-2000. Dotted lines are first and third quartiles.

Alger som gjør skjell giftige

Dinophysis-arter ble stedvis registrert i konsentrasjoner høyere enn veiledende faregrenser for opphopning av diarégifter i skjell på hele kysten fra Rogaland til Finnmark. Likevel var det relativt få påvisninger av de genuine diarégiftene i skjell i Rogaland og Sognefjorden. I Lysefjorden, Hardangerfjorden, Sognefjorden og Nordfjord forekom yessotoksin og azaspiracid noen uker i slike mengder at plukking av skjell ble frarådet.

PSP-faren var som vanlig størst i Romsdal, hvor skjellene var giftige i april-mai, men det ble også i korte perioder påvist paralytiske gifter i skjell fra Trøndelag, Brønnøysund og Vadsø. I sum var ikke problemene på grunn av PSP-fare særlig store i 2001. I slutten av september ble det registrert millionkonsentrasjoner av kiselalgen *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* i Trondheim. Dette var trolig årsaken til at det da ble funnet spor av ASP i norske blåskjell for første gang.



Figur 4.17

Dinophysis acuminata, *D. acuta* og *D. norvegica* i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 2001. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989-2000. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde).

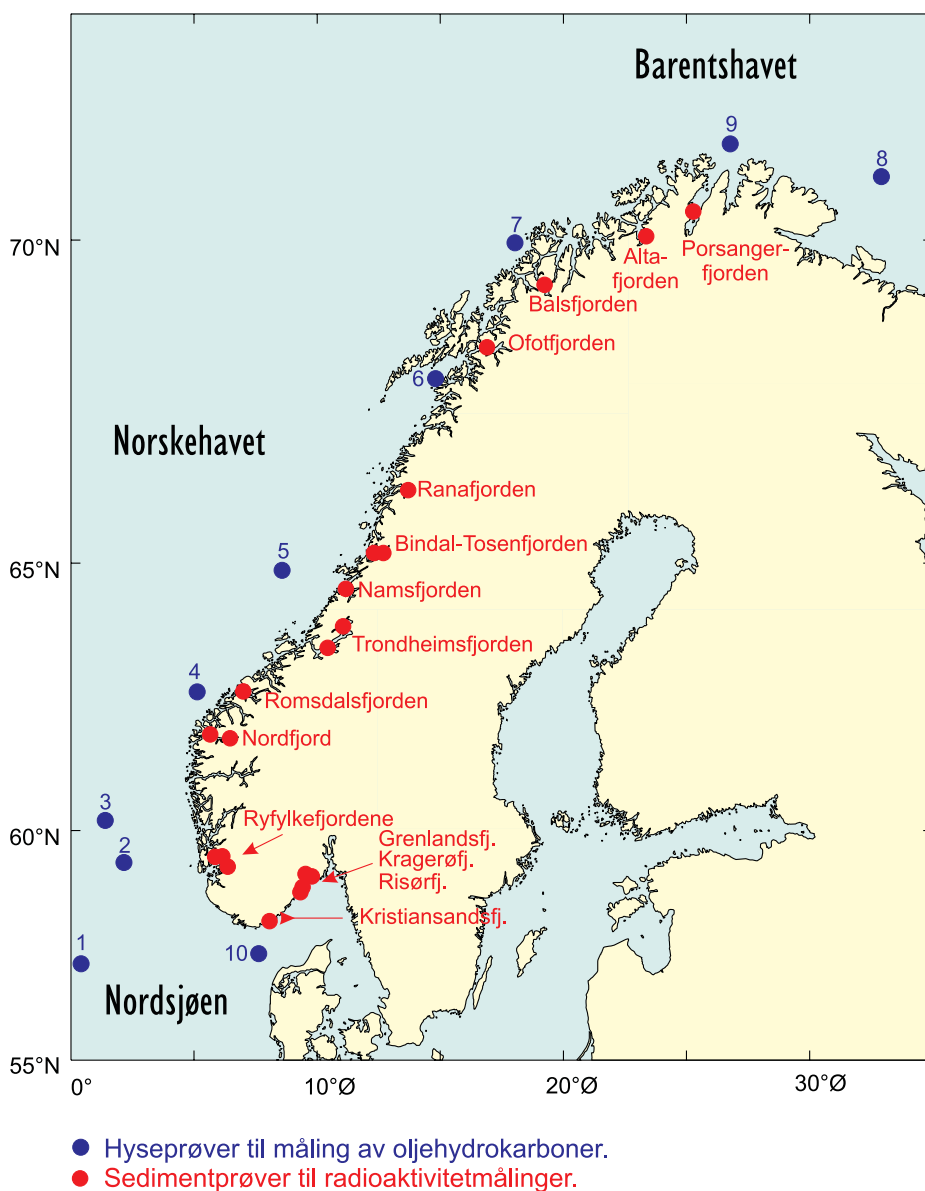
Dinophysis acuminata, *D. acuta* and *D. norvegica* in the Flødevigen Bay, 0-3 m depth. The thin curve is data from 2001. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989-2001. Dotted lines are first and third quartiles.

5.1 Oljeforurensning i fisk

Havforskningsinstituttet har i 2000-2001 på oppdrag fra oljeselskapene på norsk sokkel gjennomført overvåking av eventuelle oljerester i fisk. Hyse (*Melanogrammus aeglefinus*) fra totalt ti områder ble samlet inn (Figur 5.1): Ekofisk (1), Egersundbanken (10), Sleipner (2), Tampen (3), Møre (4), Trøndelag (5), Nordland (6), Troms (7), Finnmark (9) og Barentshavet (8). I hver region ble det tatt muskelprøver av 25 hyser. Hyse ble valgt fordi denne arten spiser

mye bunndyr. Forurensning som er tatt opp i hyse vil derfor i større grad kunne føres tilbake til forurensning i sedimenter og bunndyr enn for mer fiskespisende fisk, som f.eks. torsk.

Målet var å undersøke om hyse fra norske havområder inneholdt oljekomponenter som kan tilbakeføres til utslipp fra olje- og gassindustrien offshore. Analysene av hysemuskel omfattet de utvalgte aromatiske



Figur 5.1
Overvåking av oljerester i hyse (blått) og radioaktivitet i bunnsedimenter (rødt) i 2001. Se teksten for navneforklaring på 1-10.
Monitoring of hydrocarbons from oil in haddock (blue) and radioactivity in bottom sediments (red) in 2001.

hydrokarboner 1-metylnaftalen, 1,6-dimetylnaftalen, 2-metylfenantren, 3,6-dimetylfenantren, fluoranten og benzo(a)pyren. Aromatiske hydrokarboner utgjør en viktig del av råolje og råoljeprodukter og er blant de mest giftige komponentene i olje.

Innholdet av C₀-C₅ alkylerte dekaliner ble også målt. Forekomst av C₀-C₅ alkylerte dekaliner vurderes som en god indikator på oljeforurensning i fisk. Kildene til alkylerte dekaliner i marint miljø kan eksempelvis være oljerester i pågående utslipp av produsert vann, eller tidligere utslipp av oljebaserte borevæsker/kaks i forurenset bunnsediment. Resultatene viste at hysemuskel fra de ti regionene som dekket hele den norske sokkel inneholdt svært lave konsentrasjoner av aromatiske hydrokarboner. Konsentrasjonene av enkeltkomponenter var under 1 ng g⁻¹ våtvekt i så godt som samtlige prøver. Dette kan

betegnes som globale bakgrunnsnivåer. Vesentlige forskjeller i innhold av aromatiske hydrokarboner mellom hyse fra ulike regioner ble ikke funnet. Konklusjonen er at prøvene av hysemuskel fra norske havområder inneholdt helt ubetydelige mengder av aromatiske hydrokarboner.

Analysene av C₀-C₅ alkylerte dekaliner viste at hysemuskel fra alle regionene inneholdt svært lave konsentrasjoner under eller like over målegrensene for analysemetoden. En prøve fra Sleipnerområdet (Figur 5.1, område 2) var imidlertid tydelig forurenset og viste et klart mønster av C₀-C₅ alkylerte dekaliner. Kilden er ikke kjent. Hovedkonklusjonen er at hysemuskel er lite forurenset av alkylerte dekaliner. Samlet viser resultatene av overvåkingen i 2000-2001 at hyse på norsk sokkel i svært liten grad er forurenset av oljekomponenter.

5.2

Radioaktivitet

Det nasjonale overvåkingsprogrammet

I 1999 startet det nasjonale overvåkingsprogrammet for radioaktivitet. Programmet ble, etter anmodning fra Miljøverndepartementet, utarbeidet av Statens strålevern og Havforskningsinstituttet, med deltagelse fra Statens forurensningstilsyn og Direktoratet for naturforvaltning. Statens strålevern, som er landets fagmyndighet på strålevern og atomsikkerhet og forvalter av strålevernloven, har det koordinerende ansvar for overvåkingsprogrammet. Havforskningsinstituttet er en vesentlig bidragsyter til den marine delen av det nasjonale overvåkingsprogrammet.

Havforskningsinstituttet bidrar blant annet med innsamling av prøver og sørger for at nødvendige data blir samlet inn og gjort tilgjengelig når måleresultatene skal tolkes. I Norge måles mange typer forurensning av forskjellige institutter hvor resultatene presenteres uten hensyn til andre faktorer av betydning for det aktuelle økosystem. I dette programmet gjør vi det gjennom det nære samarbeidet mellom Strålevernet og Havforskningsinstituttet.

I 2001 ble innsamling av de fleste marine prøvene gjennomført på to tokt i november og desember;

i Nordsjøen med "G.O. Sars" (Figur 5.2) og i fjordene med "Michael Sars" (Figur 5.1) Der ble det samlet sedimenter, vann og fiskeprøver. I tillegg ble det sist vår samlet sedimentprøver i Iddefjorden og Drammensfjorden med "G.M. Dannevig", og i samarbeid med UiB ble det sist høst også samlet inn sedimentprøver i Store Lungårdsvann i Bergen. Den havarerte atomubåten "Komsomolets", som ligger på ca. 1 700 meters dyp sørvest av Bjørnøya, er gjenstand for en årlig overvåking. Vann- og sedimentprøver ble samlet med "Johan Hjort" på et norskehavstokt i mai-juni.

Atomubåten "Kursk"

Havariet av den russiske atomubåten "Kursk" utenfor Kolakysten i august 2000 medførte ekstra overvåkingsaktivitet, spesielt med hensyn til radioaktivitetsinnholdet i fisk. Målinger utført av Statens strålevern nær vraket i forbindelse med de første bergingsoperasjonene, viste at havariet ikke hadde medført radioaktiv forurensning. Russiske myndigheter gikk raskt i gang med å planlegge hevingen av vraket, noe som medførte stor aktivitet for å få gjennomført en felles norsk - russisk overvåkingsaktivitet samtidig med hevingsovervåkingsoperasjonene. Dette lyktes ikke, men i den

kritiske fasen av hevingsoverasjonen, som foregikk sist høst, var representanter for Statens strålevern ombord i et russisk fartøy som overvåket området rundt havaristedet. Vraket av "Kursk" er nå fraktet til et verft i Murmanskfjorden, og representerer ikke en potensiell forurensningskilde ute i Barentshavet.

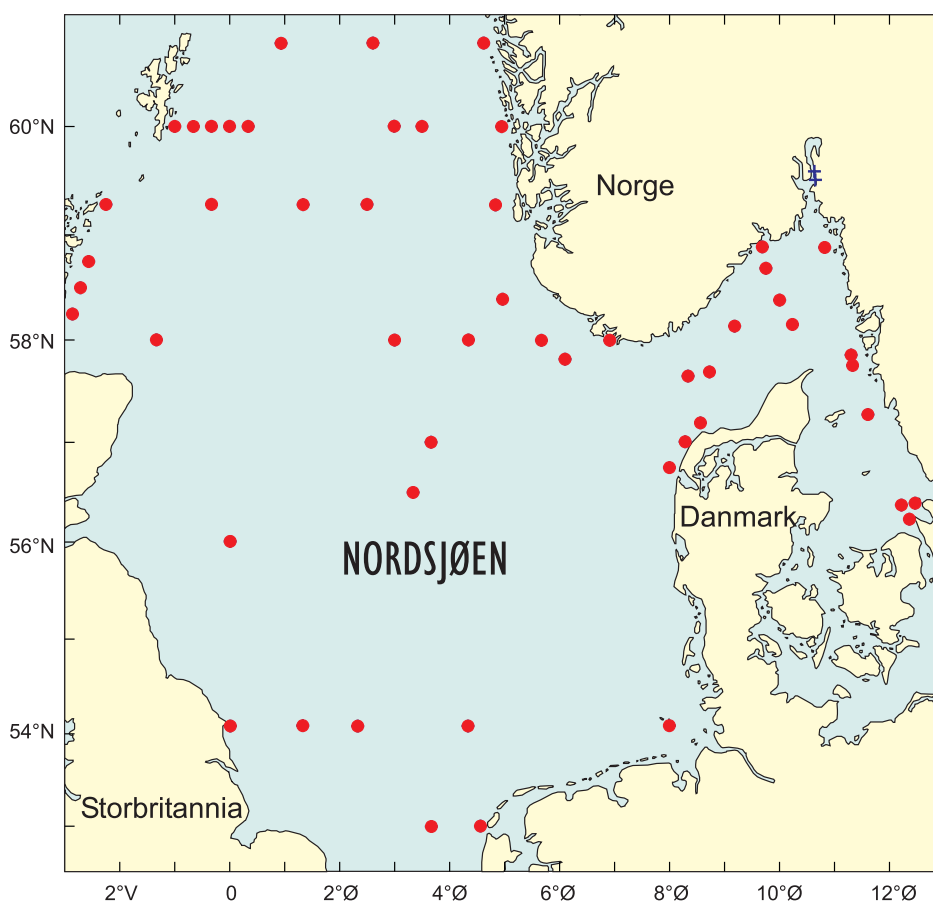
Undersøkelsene foretatt av Strålevernet og russiske forskere under hevingen av "Kursk" viste at det ikke var skjedd utlekking av radioaktivt materiale. I samarbeid med Fiskeridirektoratet og Fiskebåtredereenes forbund ble det innsamlet fiskeprøver ved hjelp av norske trålere som fisket øst, og dermed nedstrøms, for havaristedet.

Resultater og bruken av disse

Havforskningsinstituttets overvåkningsvirksomhet og samarbeidet i det nasjonale overvåkningsprogrammet for radioaktivitet er avhengig av at vi benytter allerede pågående toktvirksomhet til innsamling av prøver. På denne måten sikrer vi best mulig utnyt-

telse av båttiden og at måleresultatene kan settes i en større sammenheng. De årlige brisling- og sildeundersøkelsene i fjordene fra svenskegrensa til Varangerfjorden er en overvåkningsserie som er vel egnet til innsamling av prøver for en rekke viktige miljøfaktorer hvor radioaktiv kontaminering bare er en del.

Opparbeiding av prøver for måling av radioaktivitet og selve målingen er tidkrevende. I tillegg har vi hatt betydelige problemer med måleutstyret vårt som har vært ute av drift i lengre perioder i 2001. De resultatene som foreligger nå er i hovedsak fra prøver samlet inn i forbindelse med havariet og hevingen av "Kursk". Målingene viste at det ikke var tilført radioaktivitet til det marine miljøet, verken i forbindelse med forliset eller hevingen. Utslippene av technetium-99 fra Sellafield ved Irskesjøen har medført økning av dette radioaktive stoffet i våre hav- og kystområder. Technetiumproblematikken er behandlet i tema-delen.



Figur 5.2

Overvåkning av radioaktivitet i bunnsedimentet i Nordsjøen november-desember 2001. De røde sirklene viser hvor prøvene ble tatt.

Monitoring of radioactivity in sediments in the North Sea, November-December 2001. Red circles denote sampling stations.

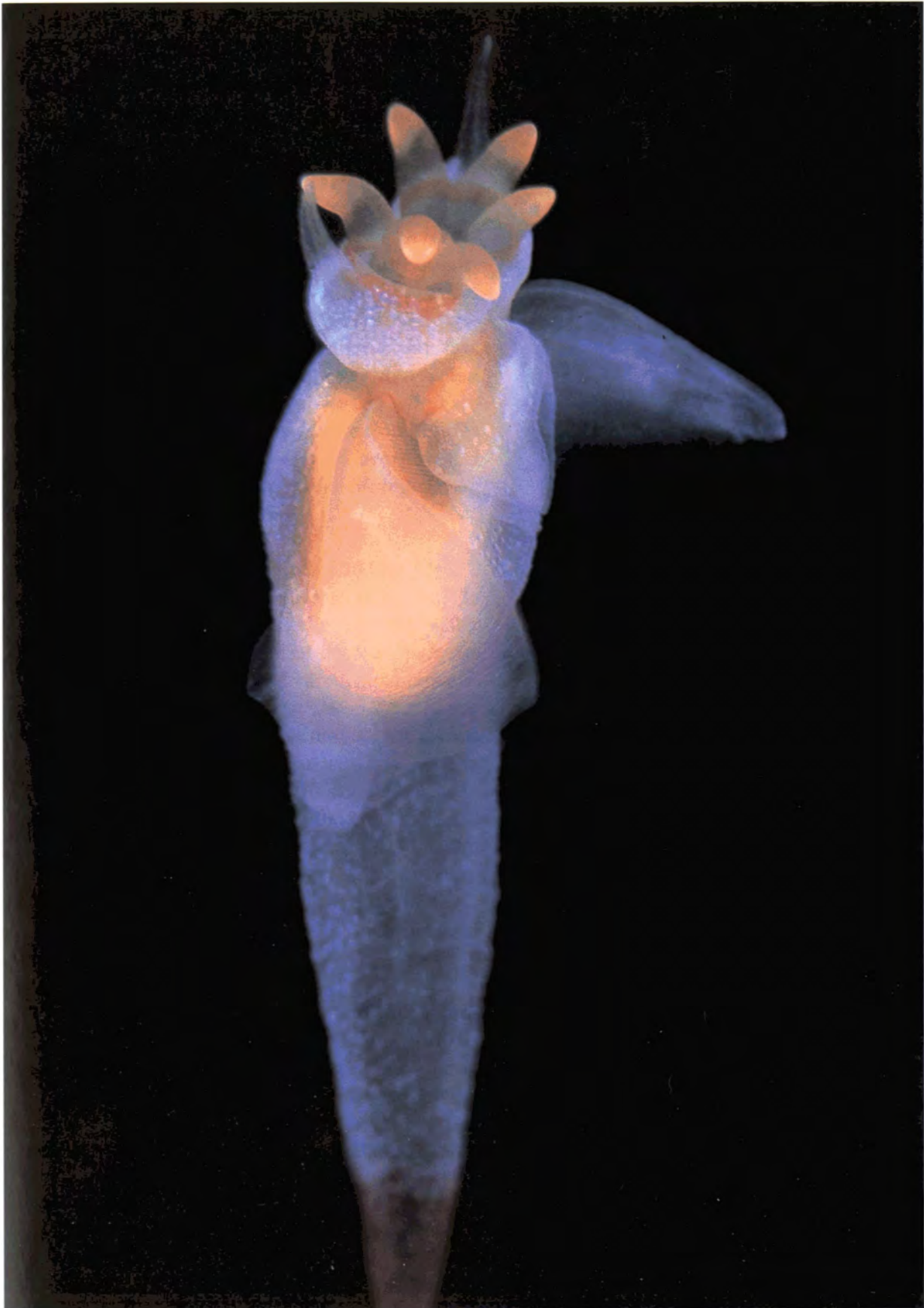


Foto: Erling Svensen (www.marinbi.com)

Hvalåte (*Cione limacina*) er en vanlig planktonart i norske farvann.

Spesielle økologiske forhold i Barentshavet høsten 2001 – hva hendte?

Petter Fossum, Harald Gjørseter og Randi Ingvaldsen

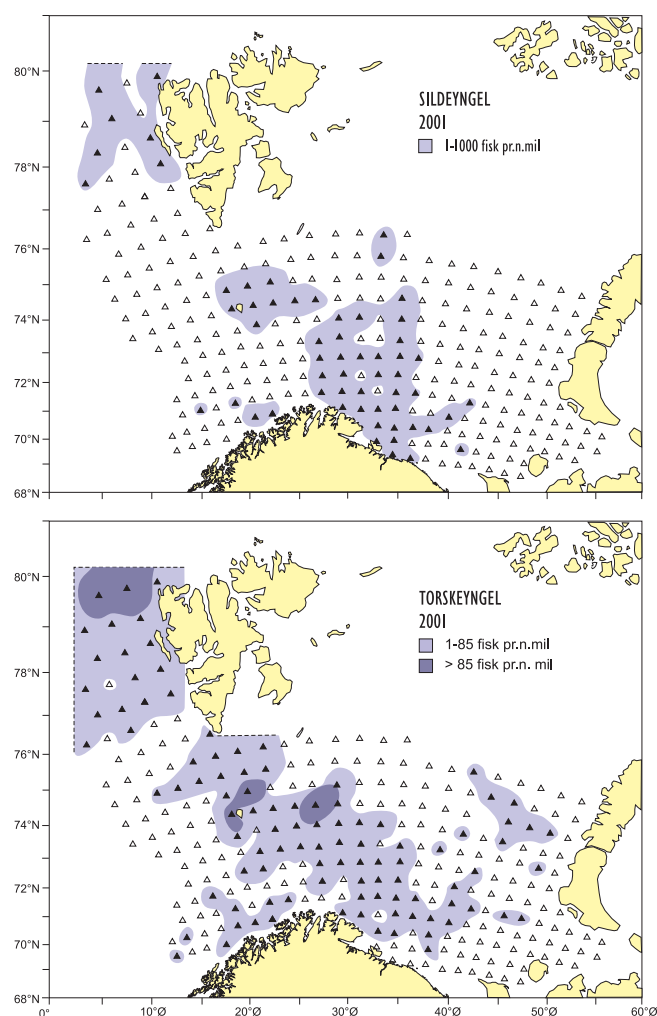
Helt siden 1965 har norske havforskere samarbeidet med utenlandske kolleger, hovedsakelig russiske, om 0-gruppe-undersøkelser i Barentshavet. Disse yngelundersøkelser foregår i august og september. Norge og Russland har felles fiskebestander, og derfor er et slikt forsknings-samarbeid meget viktig. Hvert år blir det tatt ca. 300 trålstasjoner spredt ut over den delen av havet der en finner yngel av de viktigste kommersielle artene. På hver trålstasjon blir det trålt etter yngel fra 60 m dyp til overflaten. I tillegg blir det tatt en rekke andre biologiske og fysisk-oseanografiske prøver.

Resultater fra 0-gruppetoktet 2001

Det var stilt relativt store forventninger til resultatene fra 0-gruppetoktet i 2001, særlig når det gjaldt sild. Bakgrunnen for dette var at det var observert sildelarver i god vekst tidlig på våren, og at lundene på Røst hadde god hekkesuksess. De brakte med seg fin sildeyngel av økende størrelse utover i juli måned til ungene i hulene. God hekkesuksess hos lundene på Røst pleier å være knyttet til forekomsten av gode sildeårsklasser. (I denne artikkelen kaller vi fisk larve fra klekking til metamorfose, da den blant annet utvikler skjell, gjeller og blodsistem. Fisken er fra 12-40 mm lang når den gjennomgår metamorfose. Deretter kaller vi den yngel fram til årsskiftet, da den blir 1-åring).

Resultatet fra 0-gruppetoktet høsten 2001 var imidlertid nedslående. 2001-årsklassen av sild var dårlig. Det samme kan en i enda sterkere grad si om torsk (Figur 6.1) og uer. På det første trålhalet under 0-gruppetoktet i 2000 ble det funnet like mye torsk som på samtlige 270 trålhal i 2001. Årsklassen av torsk kan derfor karakteriseres som meget svak. Siden 1987 er det bare 1999-årsklassen som har vært like svak. Ueren synes å være utsatt for alvorlig rekrutteringssvikt, og fryktes å nærme seg et sammenbrudd hvis ikke rekrutteringen snart tar seg opp. Lodda som gyter langs Finnmarkskysten,

og hysa og blåkveita som gyter langs kanten av Tromsøflaket, klarte seg noe bedre og produserte gjennomsnittlige årsklasser.



Figur 6.1 Forekomstene av 0-gruppe sild og torsk i Barentshavet målt på et tokt med to norske og to russiske båter i august og september 2001. Åpne trekantner angir stasjoner der det ikke ble funnet yngel. Fylte trekantner angir stasjoner der det ble funnet sild eller torsk.

The occurrence of 0-group herring (upper) and cod (lower) in the Barents Sea in August–September 2001. Open triangles indicate stations without herring or cod. Filled triangles indicate stations with herring or cod.

Hva er årsaken til den svake rekrutteringen hos sild, torsk og uer?

Vi har følgende mulige forklaringer:

1. Det første næringsopptaket slo feil.
2. Det var mange predatorer i driftruten til egg, larver og yngel.
3. Det var dårlige næringsforhold for yngelen.
4. Transporten inn i Barentshavet av vannmasser som inneholdt yngel var svak.
5. Yngelen ble ført opp mot Svalbard der oppvekstforholdene er dårlige.

Barentshavet og nærliggende havområder sommeren og høsten 2001

Nedenfor gir vi en oppsummering av noen økologiske forhold i Barentshavet og tilgrensende havområder høsten 2001.

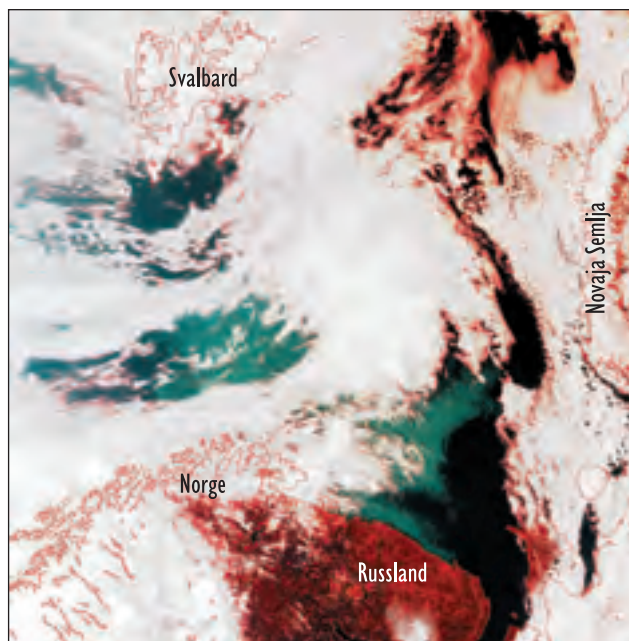
- Torskeyngelen var mager, mens hyseyngelen var i meget god kondisjon.
- Planktonalgen *Emiliana huxleyi* blomstret i store deler av undersøkelsesområdet (Figur 6.2).
- Overflatelaget var sterkt sjiktet (Figur 6.3) og de øverste 20-50 m hadde temperaturer langt over normalen.
- Innstrømningen til Barentshavet av atlantehavsvann var den laveste siden måleserien startet i 1998 (Figur 6.4 a), spesielt i juli og august (Figur 6.4 b). Se for øvrig Figur 1.6 i Kapittel 1.
- Flere hundre tusen tonn 1-gruppe kolmule ble observert i områder der en pleier å finne de høyeste konsentrasjonene av yngel.
- Finnhval og vågehval ble observert i høye tettheter rundt Svalbard.
- Store stimer av voksen sild ble observert på vandring inn mot Lofoten/Vesterålen i begynnelsen av september.
- Vingesnegl var tallrike i planktonprøvene i den sørvestlige delen av Barentshavet, og maneter var tallrike i trålfangstene i store deler av undersøkelsesområdet.

Figur 6.5 gir en oversikt med de viktigste biologiske komponentene.

Forekomstene av de fire kommersielt viktigste artene

Sild

Vår tolkning av situasjonen i 2001 for silda er at det første næringsopptaket gikk bra og at larvene og senere sildeyngelen vokste raskt i sommermånedene, noe den høye hekkesuksess til lundene på Røst tyder



Figur 6.2

Satellittbilde av Barentshavet 4. august 2001 tatt med en SeaWiFS-sensor. Det grønne feltet under de hvite skyene viser området med høye konsentrasjoner av *Emiliana huxleyi*. Figuren er utarbeidet av W.P. Budgell.

Satellite-picture taken of the Barents Sea 4 August 2001 with a SeaWiFS sensor. The green coloured areas (below the white clouds) represent high concentrations of Emiliana huxleyi.

på. Så må noe negativt ha skjedd. Det som virker mest sannsynlig er at driften av sildeyngel har stanset opp over Tromsøflaket, på terskelen til Barentshavet, noe også den lave innstrømningen som er målt på Fugløya-Bjørnøyasnittet indikerer. Sildeyngelen ble holdt tilbake i vannmasser med dårlige beiteforhold på grunn av blomstringen av *Emiliana*. I dette området har sildeyngelen vært svært sårbar for predasjon fra kolmule, mens den delen av sildeyngelen som drev opp mot Bjørnøya og Svalbard har vært svært sårbar for predasjon fra voksen sild og hval.

Torsk

Vi vet lite om larveperioden og den tidlige yngelperioden for torsk i 2001. Vi vet imidlertid at gytebestanden er på et meget lavt nivå, og at den består av en stor andel førstegangsgytere. Dette reduserer sjansene for å få god rekruttering. Torskeyngelen i 2001 ser ut til å ha fått en ublid skjebne med dårlig vekst og høy predasjon. Torskeyngelen, som befant seg i området rundt Tromsøflaket, kan på samme måte som sildeyngelen ha blitt kraftig nedbeitet av kolmule. Den delen av torskeyngelen som ble ført nordover mot Svalbard kan ha blitt nedbeitet av innvandrende voksen sild og hval.

Hyse

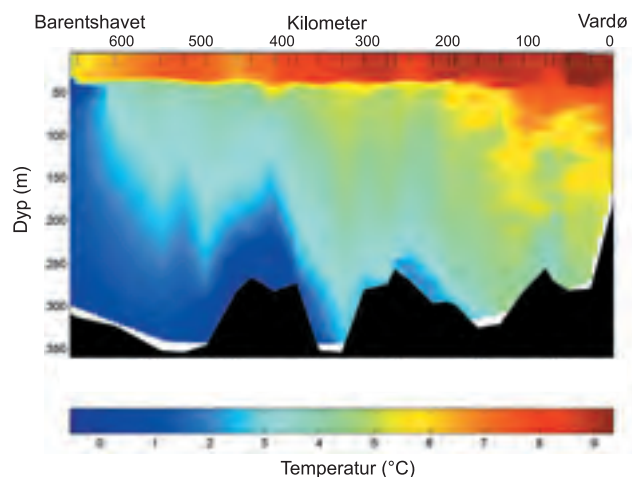
Høsten 2001 ble det funnet en god del hyseyngel i god kondisjon. Det lille som ble funnet av torskeyngel var derimot i dårlig kondisjon. Grunnen til dette kan være at de to torskefiskene som i yngelperioden oppholder seg i de samme vannmassene har forskjellig næringspreferanse. Hysa, som har en forholdsvis bred matseddel og beiter bl.a. på vingesnegl, klarte seg godt, mens torsken, som er avhengig av raudåte, ser ut til å ha funnet lite mat og var i dårlig kondisjon. Årsaken til dette kan være at tilgjengeligheten av raudåte kan ha blitt redusert pga. blomstringen av *Emiliana*. Målingene av dyreplankton i 2001 ga da også et lavere estimat enn i 2000, et nytt skritt på den nedadgående trenden som har pågått siden 1994 (les mer om dette i Kapittel 1.2).

Lodde

Loddeyngelen som ble funnet under 0-gruppetoktet i juni måned i 2001 hadde normal størrelse og geografisk fordeling, men mengden var noe under gjennomsnittet. Sammenlignet med et estimat av loddelarver fra et tokt i juni hvert år, var overlevingen i 2001 omtrent som i de foregående to årene, men mye dårligere enn i årene før det. Den reduserte overlevingen kan ha sammenheng med at det har vært mer ungsild i Barentshavet de siste tre årene enn årene før. Ungsilda beiter ned loddelarvene, og mengden av ungsild vil derfor ha stor innvirkning på overlevingen av loddelarver gjennom den første sommeren. Den eldre delen av loddebestanden, som ble kartlagt i september 2001, hadde en uvanlig nordlig utbredelse. Ikke siden 1975 har nordgrensen for og tyngdepunktet i loddebestanden i september ligget så langt mot nord. Dette hadde trolig sammenheng med de høye temperaturene som ble funnet langt mot nord, særlig i de øvre vannlag. Hva en slik endret fordeling har å si for den individuelle veksten hos lodda er for tidlig å si, men data fra fjorårets loddetokt tyder på en nedgang i veksten for alle aldersgrupper. Dette kan også skyldes tetthetsavhengige forhold, siden en relativt tallrik årsklasse nå dominerer loddebestanden. I forrige periode, da lodda hadde en nordlig utbredelse, rundt midten av 1970-årene, var lengde og vekt ved alder vesentlig lavere enn det vi har hatt de siste årene.

Konsekvenser av svak rekruttering i 2001

Resultatene av den svake yngelproduksjonen i 2001 vil en for torskens side merke rundt 2005. Da vil to svake (1999 og 2001) og en middels (2000) årsklasse komme inn i den fiskbare delen av bestanden. Lodda domineres nå av en sterk 1999-årsklasse.



Figur 6.3

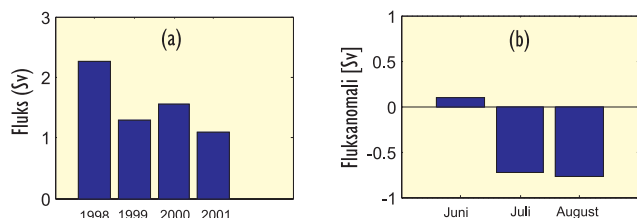
Temperaturen fra overflate til bunn på Vardøsnittet (se Figur 0.1) i slutten av august 2001. Blått = lav temperatur. Rødt = høy temperatur. Figuren er laget av Øivind Leikvin ved UNIS.

The temperature from surface to bottom along the Vardø section (see Figure 0.1) at the end of August. Blue = low temperature. Red = high temperature.

De to påfølgende årsklassene er under middels, og når 1999-årsklassen er ute av bestanden i løpet av neste år, vil vi trolig få en vesentlig nedgang i bestandsstørrelsen. Dersom den uvanlige nordlige utbredelsen skulle fortsette, med nedsatt individuell vekst som resultat, vil dette faktisk dempe denne nedgangen noe. Med langsommere vekst blir det senere modning, og siden lodda er en engangsgyter, vil dette føre til at det tar lengre tid før en årsklasse forlater bestanden på grunn av gytedødelighet.

Hysa er inne i en stabil og god rekrutteringsperiode og selv om dødeligheten på ungfiskstadiet er høy hos denne arten, venter vi at den vil holde seg innenfor sikre biologiske grenser.

Silda har ikke produsert noen god årsklasse siden 1992. Det knytter seg imidlertid noe usikkerhet til 1998- og 1999-årsklassene, der spesielt 1998-årsklassen ser ut til å bli bedre enn en kunne vente etter 0-gruppetoktet. 1998- og 1999-årsklassene er nå på vei inn i gytebestanden, og man vil i løpet av 2002-2003 få mer visshet i hvor sterke de egentlig er. Økning i gytebiomasse når sild fra 1998- og 1999-årsklassene rekrutterer til gytebestanden kan stanse nedgangen i gytebestandens størrelse, ja sågar øke den i de kommende årene. Allikevel er man avhengig av en god årsklasse nå, hvis gytebestanden skal holde seg på et høyt nivå på noe lengre sikt. Et annet poeng er om blomstringen av *Emiliana*



Figur 6.4

Observerv transport av atlantehavsvann inn i Barentshavet i Sv (1 Sv tilsvarer 1 million m^3s^{-1}). (a) viser gjennomsnittlig transport i juni-august 1998 til 2001. (b) viser differansen mellom transporten inn hver av sommermånedene i 2001 og gjennomsnittet fra alle årene. Den positive verdien i juni viser at det i juni 2001 strømmet inn litt mer enn gjennomsnittet for 1998-2001, og de negative verdiene for juli og august viser at det i disse to månedene i 2001 strømmet inn betydelig mindre enn gjennomsnittet for 1998-2001.

Observed transport of Atlantic water into the Barents Sea measured in Sv (1 Sv = 1 million m^3s^{-1}). (a) shows the mean transport during the summer months (June-August) for the period 1998-2001. (b) shows the difference between the measured transport in each of the summer months and the mean value for the same months. The positive value for June shows that the transport into the Barents Sea in June 2001 was somewhat higher than the mean transport in June for the period 1998-2001. The negative values for July and August indicate that the transport into the Barents Sea in July and August 2001 was lower than the mean transport into the Barents Sea in July and August for the period 1998-2001.

blir en årvisst foreteelse. Vi tror ikke det, fordi det som var spesielt i 2001 var den sterke sjiktningen i de øverste vannlagene. En slik sjiktning er en nødvendig betingelse for at en blomstring skal oppstå. Vi venter ikke at en slik sjiktning skal bli årvisst og regner derfor ikke med at denne type blomstring skal komme igjen med det første.

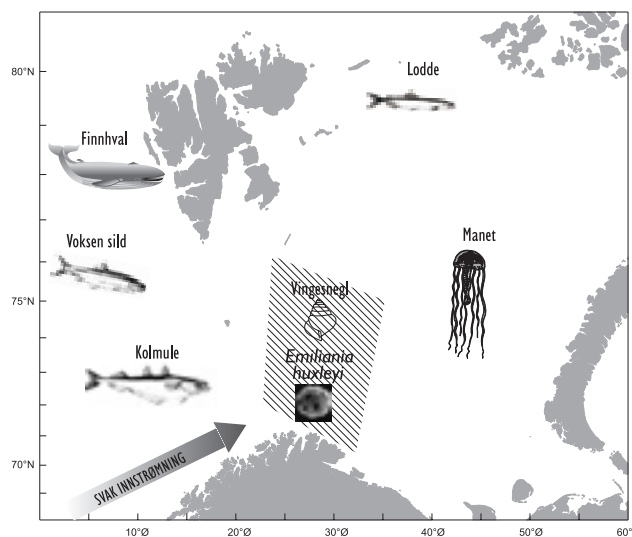
Konklusjon

Det er ingen ting som tyder på at årsaken til den dårlige rekrutteringen i 2001 ligger i at det første næringsopptaket slo feil. Derimot ser det ut til

at problemene kom senere. Det viste seg at det i første rekke var de artene som gyter langt utenfor Barentshavet, som torsk og sild, som fikk problemer. Disse artene er avhengige av å bli transportert inn til oppvekstområdene i Barentshavet. Dette tyder på at det var transporten inn i Barentshavet som sviktet, slik at yngelen ble værende i eller ført inn i ugunstige områder med dårlige næringsforhold og med høy predasjon.

Summary

Young-of-the-year fish of commercially important species are measured on a yearly basis in the Barents Sea in August and September. The investigation in 2001 showed that the year classes of redfish, cod and herring were very poor, while the year classes of capelin and haddock were of normal sizes. This article summarizes the ecological condition in the sea and evaluates the different reasons for recruitment failure of cod, herring and redfish in 2001.



Figur 6.5

Oversikt over de viktigste biologiske komponentene som hadde betydning for den dårlige rekrutteringen i 2001.

Overview of the most important biological components with relevance to the recruitment failure in 2001.

Hvorfor blir tareskogen beitet ned av kråkeboller?
Kan vi gjøre noe med det?

Kjersti Sjøtun og Knut Sivertsen*, *Høgskolen i Finnmark



Kan denne karen redde tareskogen?

Foto: Erling Svensen.

Nedbeiting av tareskogen i Nord-Norge

Store deler av tareskogen i Nord-Norge er nå nedbeitet av Drøbak-kråkeboller. Nedbeitingen startet på slutten av 60-tallet og begynnelsen av 70-tallet, og man regner med at omkring halvparten av tareskogen i Nord-Norge nå er borte. I de sørligste delene av de nedbeitede områdene (Nordmøre - Nord-Trøndelag) har det skjedd en bedring i situasjonen i løpet av 1990-årene. Tettheten av Drøbak-kråkeboller er her redusert, og stortare er gjenetablert i tidligere nedbeitede områder. Nord for Nord-Trøndelag er det derimot lite som tyder på en tilbakegang av kråkebolleforekomstene, selv om forbigående reduksjoner har forekommet enkelte steder.

Nedbeiting er et internasjonalt fenomen

Nedbeiting av tarevegetasjon er kjent fra mange steder i verden, for eksempel fra Nova Scotia og Maine, der drøbak-kråkebollen beitet ned tare på 60- og 70-tallet. I Stillehavet er nedbeiting av tarevegetasjonen kjent fra det sørlige Chile, California, Alaska, Canada og Japan. I Stillehavet finnes stort sett andre kråkebollearter og andre tarearter enn i Atlanterhavet, men resultatet av nedbeitingen er det samme som i Nord-Atlanteren; en havbunn uten algevegetasjon og med lite dyreliv, bortsett fra kråkeboller (Figur 6.6).

Kråkeboller er en normal del av faunaen i taresamfunnet, og i lave tettheter har de ingen negativ innvirkning på tarevegetasjonen. I de tilfellene der tareskogen beites ned, skyldes dette at tettheten av kråkeboller øker sterkt, og det økte samlede matbehovet fører til at tare og annen algevegetasjon blir spist opp. Noen steder ser det ut til at tettheten av kråkeboller alltid er høy, andre steder varierer populasjonsstørrelsen. I Nord-Norge var tettheten av Drøbak-kråkebolle sannsynligvis svært lav før nedbeitingen startet opp, men man kan nå finne over 100 kråkeboller per m² i nedbeitede områder. Når store mengder kråkeboller først har beitet ned tarevegetasjonen kan de overleve i mange generasjoner på lite mat, og de vil opp-

rettholde en nedbeitet situasjon ved å beite ned rekrutter av tare og andre makroalger. Figur 6.7 viser de fem tennene i munnapparatet til en kråkebolle. Med dette utstyret gnages det rent i tareskogen.

Hva er årsaken til de sterke variasjonene i kråkebolletetthet?

Teoriene som settes fram for å forklare svingninger av kråkebollepopulasjoner forskjellige steder i verden kan oppsummeres i to hovedpunkt:

1. Kråkebollepopulasjoner kontrolleres av en eller flere bytte-etere (predatorkontroll.)
2. Populasjonsstørrelsen til kråkeboller avhenger av rekrutteringssuksessen (rekrutteringskontroll.)

Predatorkontroll

I det nordlige Stillehavet er hypotesen om predatorkontroll godt underbygget. Her lever sjøoteren, som spiser mye kråkeboller. I områder med store bestander av sjøoter forekommer ikke nedbeitet tareskog. I områder der sjøoteren har forsvunnet på grunn av overbeskatning eller av andre årsaker, kan man derimot finne høye tettheter av kråkeboller og nedbeiting av tare.

Årsaken til varierende kråkebolletetthet i det nordlige Atlanterhavet synes mer innfløkt. I en tidlig fase trodde man at amerikansk hummer var en nøkkelpredator på Drøbak-kråkeboller i Nova Scotia, og at en redusert hummerbestand var den viktigste årsaken til



Foto: Knut Sivertsen.

Figur 6.6

Fra tareskog ved Hamarøy (Nordland) i 1981, på 5 m dyp. Drøbak-kråkeboller beiter på rester av tarestilker.

“Barren grounds” at Hamarøy (the county of Nordland) in 1981 at 5 m depth. Sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*) graze on the remainings of kelp stipes.

at kråkebollene økte så sterkt i antall. En kritisk gjennomgang har i ettertid vist at amerikansk hummer likevel ikke er nøkkelpredator på kråkeboller. Imidlertid har man i Maine funnet høy tetthet av kråkeboller og nedbeitede områder, først og fremst der hvor den største fisken (spesielt torsk) er oppfisket. Dette er blitt tolket dithen at kråkebollepopulasjonene i alle fall til en viss grad kan være regulert av predatorer. Også i Nord-Norge ble populasjonsekspløsjonen av kråkeboller forsøkt forklart med reduksjon i predatorpresset fra en nøkkelpredator. I Norge mente man at en redusert steinbitbestand var årsaken til at kråkeboller økte så sterkt i antall. Imidlertid har man ikke funnet en sammenheng mellom mengden av steinbit og Drøbak-kråkeboller. Det er heller ikke noe som tyder på at det i tiden før nedbeitingen startet var en nedgang i bestander av annen fisk som kan være potensielle predatorer på kråkeboller i Nord-Norge.

Rekrutteringskontroll

En økning i kråkebollepopulasjoner kan også være forårsaket av økt rekruttering. Økt rekruttering kan skyldes økt produksjon og overlevelse av egg og larver. Rekrutteringen til Drøbak-kråkebollene varierer sannsynligvis mye. Hypotesen om rekrutteringskontroll innebærer at rekrutteringen vanligvis er lav, men at den enkelte år kan bli svært høy. Flere år med vellykket rekruttering kan føre til en rask oppbygging av store populasjoner. Deretter vil den samlede larveproduksjonen til disse populasjonene opprettholde populasjonstettheten i lang tid, selv om larveproduksjonen eller den prosentvise overlevelsen av larver igjen blir redusert.

Hypotesen om rekrutteringskontroll innebærer også at visse miljøbetingelser må være til stede for å få en vellykket rekrutteringssesong. Forut for oppstarten av kråkebollebeitingen i Nova Scotia var det et år med uvanlig varmt kystvann om våren. Man antok derfor at dette kunne ha ført til en raskere bunnslåing av larver og dermed høyere rekruttering av Drøbak-kråkeboller enn vanlig. På Stillehavskysten av Canada (British Columbia) er det derimot observert at perioder med kaldere vann om våren enn normalt synes å resultere i høy overlevelse av larver. Man har ikke kunnet finne entydige svar på hvordan temperaturen kan påvirke kråkebollerekrutteringen.

Det er vanskelig å gi et sikkert svar på hva som forårsaket de store mengdene av kråkeboller i Nord-Norge rundt 1970. Man kan imidlertid ikke se bort fra at årsaken var en forutgående periode med uvanlig høy rekruttering, og at forskjellige dyregrupper som

spiser på larver og små kråkeboller deretter ikke klarte å kontrollere tilveksten. Midt på 60-tallet var det en periode med kaldere vann enn vanlig langs norskekysten. Planktonprøver innsamlet av Havforskningsinstituttet på kyststasjoner i perioden 1969-1983 inneholdt relativt høye forekomster av pigghudlarver i Nord-Norge. Vi vet imidlertid ikke om dette var larver av Drøbak-kråkeboller.

Hva kan stoppe kråkebollene?

I Stillehavet er det observert at en effektiv predator kan redusere antallet kråkeboller. Vi har ikke en slik art i Nord-Atlanteren. Det er også usannsynlig at flere potensielle predatorer til sammen kan redusere kråkebollebestandene i Nord-Norge til lave tettheter. I forbindelse med et doktorarbeid ble bestandsstørrelser, matbehov til predatorer og tetthet av kråkeboller i Nord-Norge beregnet. Ut fra dette ble det anslått at den samlede beitingen fra de viktigste potensielle kråkebolle-predatorene (steinbit, flyndrer, ærfugl, måker og krabbe) fjerner ca. 1 stor kråkebolle per m² per år i de nedbeitede områdene langs strekningen Trøndelag - Helgeland. Selv om en skulle få en bestandsøkning av noen av de artene som kan spise kråkeboller i Nord-Norge, er det lite sannsynlig at de store mengdene som nå finnes skal kunne spises opp.

Sykdom og parasitter på kråkeboller

Sykdomsangrep kan redusere store populasjoner av kråkeboller. I Nova Scotia ble kråkebollene angrepet av en dødelig parasitt (amøbe) som drepte mesteparten over store områder. Det viser seg imidlertid at denne parasitten bare har utbrudd i år med varmere vann enn vanlig, og i perioder med gjennomsnittstemperaturer har kråkebollene gjentablert seg.

I Norge er det påvist en parasitt i Drøbak-kråkebollene. Parasitten fører til redusert rognproduksjon hos kråkeboller, og i områder med sterkt angrepne kråkebollepopulasjoner reduseres tettheten noe. I det området der det har vært en klar tilbakegang av kråkeboller (mellom Nordmøre og Nord-Trøndelag) finnes imidlertid ikke denne parasitten, og det er heller ikke påvist andre parasitter eller sykdommer som kan ha redusert tettheten av kråkeboller. Vi vet altså ikke hvorfor kråkebollepopulasjonene har gått tilbake i dette området.

Vil det nytte å skyte sel?

Det er lite som tyder på at nedbeitingen i Nord-Norge i nær framtid vil opphøre på naturlig måte. Det er også lite trolig at man skal kunne redusere

de store kråkebollepopulasjonene gjennom enkle tiltak. Nedskyting av kystsel er foreslått som et virkemiddel, ut fra den tanken at en redusert selbestand vil føre til mer fisk, som så kan spise mer kråkeboller. Siden fisk sannsynligvis er lite effektive predatorer på kråkeboller i Nord-Norge, er det lite trolig at dette vil ha noen stor effekt. I tillegg vil de trefrie områdene uten gjemmesteder sannsynligvis være lite attraktive områder for fisk, selv uten sel til stede.

I stedet for storstilte tiltak med usikker effekt bør man kanskje vurdere mer lokale tiltak der man er sikrere på et positivt resultat. Ett slikt tiltak kan være et konsentrert oppfiske av kråkeboller i utvalgte områder. Rogn av Drøbak-kråkebolle er ansett som en

delikatesse i Japan, og i Nova Scotia har et stort oppfiske av kråkeboller ført til gjenetablering av tare lokalt. Et konsentrert kråkebollefiske på noen utvalgte lokaliteter vil derfor kunne være en måte å få til en lokal gjenoppbygging av tarevegetasjon på.

Summary

Large areas with kelp forest (*Laminaria hyperborea*) have been grazed down by the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* in northern Norway the last 30 years. Barren grounds due to sea urchin grazing have been reported from many places world-wide. No explanation has been found for the observed increase in sea urchin populations in northern Norway.

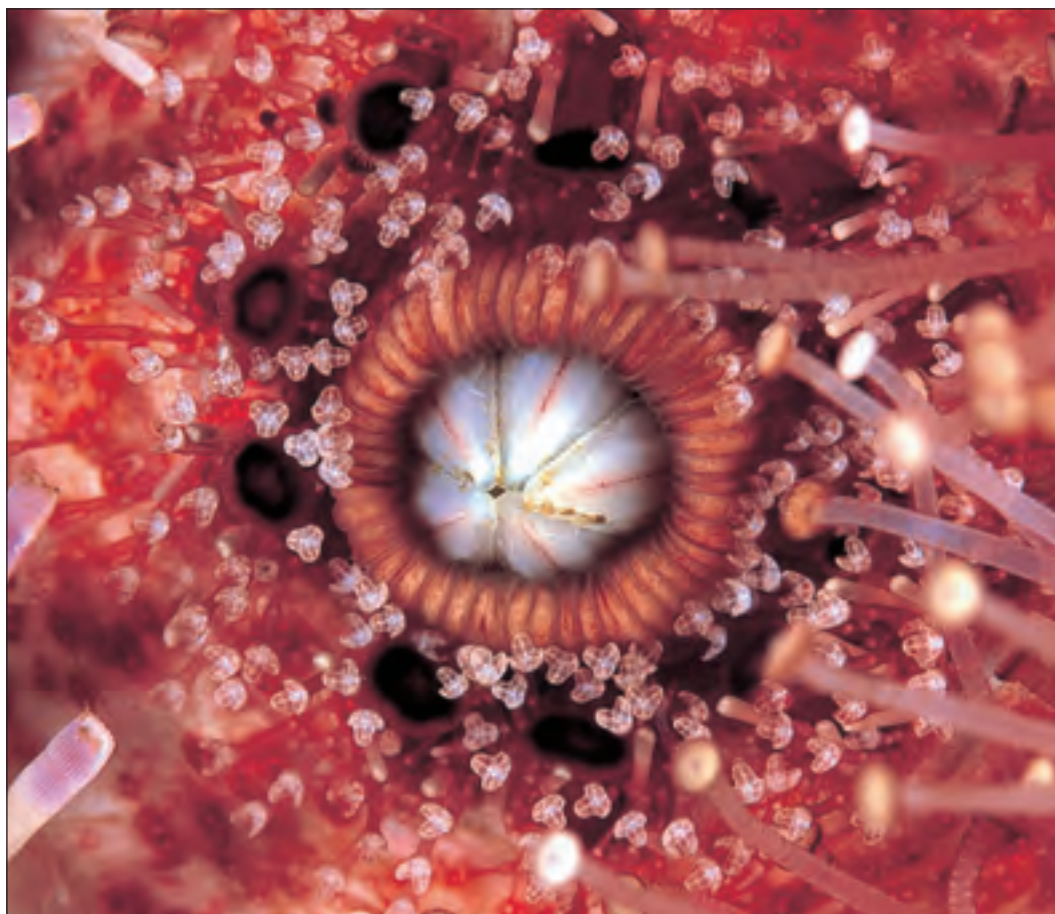


Foto: Erling Svensen.

Figur 6.7

Kråkebollenes munn kalles "Aristoteles' lykt" og består av et kraftig tyggeapparat med fem kalktenner som sitter midt under dyret.

Oral view of a sea urchin showing the five teeth of the "Aristotle's lantern" which is a conical structure of calcareous plates and muscles supporting the teeth of the urchin.

Innledning

Kråkeboller har blitt viet mye oppmerksomhet i den senere tid, men da først og fremst som et skadedyr. I enkelte kystområder har store bestander av kråkeboller beitet ned tareskogen. Tareskogen gir ly og rik næringstilgang til mange forskjellige organismer, og er blant de habitatene langs norskekysten som har høyest biologisk mangfold. Kråkebollenes nedbeiting kan dermed ha hatt betydelig innvirkning på kystøkosystemet.

I vår del av verden er kråkeboller en lite utnyttet ressurs. I andre verdensdeler som f.eks. i Japan, har man derimot lange tradisjoner for å utnytte kråkeboller. "Rognen" (gonaden fra både hanner og hunner), som er den eneste delen av kråkebollen som benyttes, er et høyt priset produkt på japanske sjømatmarkeder. Kråkebollerogn brukes hovedsakelig i sushiretter, som er et viktig innslag på middagsbordet i Japan, spesielt ved høytider. Etter hvert som det asiatiske kjøkken har fått innpass i Europa og Nord-Amerika, har etterspørselen etter kråkebollerogn økt i de vestlige land.

I Norge er kråkebolleproduksjon ennå en uutnyttet mulighet. Skal muligheten bli til virkelighet og danne grunnlag for en lønnsom næring, er det flere faktorer som må klaffe. Utfordringene ligger blant annet i å utvikle en kostnadseffektiv fangstmetodikk, etablere en fornuftig ressursforvaltning samt å legge til rette for en næring med flere ben å stå på.

Et lovende nisjemarked for norske kråkeboller

I 1995 ble det på verdensbasis høstet omkring 110 000 tonn kråkeboller. De største fangstene ble levert til Chile (ca 55 000 tonn), med USA og Japan på de neste plassene. Noen steder har kråkebollefiskeriene vært særdeles innbringende. Tall fra Sea Urchin Harvesters Association-California viser at kråkebollefiskeriene i perioden 1989-1995 var blant Californias mest verdifulle fiskerier med en eksportverdi på USD 80 millioner i året.

Det finnes flere kråkebollearter i norske farvann. De to vanligste er den røde *Echinus esculentus* og den grønne *Strongylocentrotus droebachiensis* (Drøbak-

kråkebolle). Av disse er det *S. droebachiensis* som har den rognkvalitet som best tilfredsstillende markedets krav. Kvaliteten på rognen er svært avgjørende for prisen, og kvalitetskriteriene er størrelse, farge, smak og konsistens. *S. droebachiensis* har den minste rognen av de to, men scorer betydelig bedre enn *E. esculentus* både på farge og smak. *S. droebachiensis* blir fangstet på østkysten av USA og Canada hvor den er kjent under navnet "Boston-kråkebolle".

En undersøkelse utført av Eksportutvalget for fisk indikerer at norske kråkeboller vil gå inn i det samme markedssegmentet som "Boston-kråkebollen". Dette betyr at man kan få relativt gode priser. Prisene varierer med sesong, mellom ulike land og mellom ulike produkter (fersk, saltet, frossen, osv.). Som et eksempel kan det nevnes at i januar 2002 lå prisen mellom 5 og 10 USD per 100 g fersk rogn på fiskemarkedet i Sapporo i Japan.

Hvordan høster man kråkeboller?

Kråkeboller blir nå hovedsakelig samlet inn ved dykking. Fordelene ved dykking er at metoden er størrelsesselektiv og gjør minimal skade på bunnen. Ulempene ved dykking er at den som fangstmetodikk har sine klare begrensninger. Dykkerne kan være nede en kort tid om gangen, og dykkingen er også svært væravhengig. Tøffe værforhold og korte dager gjør at antallet timer hvor effektiv dykking er mulig trolig vil være ganske lavt i vinterhalvåret. Norge er et land med høye arbeidslønninger, og sammen med strenge offentlige krav til sikkerhet ved dykking blir de totale kostnadene per dykkertime svært høye.

Tross høye kostnader har firmaet Arctic Uni AS i Lofoten satset på høsting av kråkeboller ved dykking. En dykker kan høste 200-300 kg om dagen og virksomheten høster 3-5 tonn i uken. Høstingen skjer ikke i nedbeitede områder, men i tareskog der det ikke er så høye tettheter. Rognen eksporteres for det meste til Japan, men det går også noe til Oslo hvor man får 1500 kr per kg rogn.

Skraping er et alternativ, men er lite egnet på ujevn bunn og i tareskog hvor de største kråkebollene

vanligvis finnes. Skraping fører også lett til skade både på kråkebollene og på bunnen, og er lite størrelsesselektiv. Passive metoder som teiner, gliper, ruser og søkkenot er også forsøkt. Ved Fiskeriforskning har vi gjort innledende forsøk med passive redskaper. Resultatene er lovende, og dette er et felt vi vil fortsette å jobbe med. Utfordringen ligger i å utvikle innsamlingsmetoder som er skånsomme, billige og samtidig robuste i forhold til vårt tøffe klima.

Ressursforvaltning av kråkeboller

For å dekke etterspørselen etter kråkeboller har man i flere land økt fangsten ved å ta stadig flere fangstområder i bruk. Den samme historien synes å ha gjentatt seg i samtlige land; man startet med å fangste på en "jomfruelig biomasse". De nye fiskeriene fikk karakter av et "gullrush" tilsvarende det kortvarige norske haneskjelleventyret. Mange aktører kom på banen, og fangsttrykket økte med overfiske som resultat.

Etter toppåret 1995, har fangstene på verdensbasis gått nedover. Nedgangen stiller for så vidt Norge i en gunstig posisjon som mulig produsentnasjon siden vi ennå ikke har begynt å utnytte kråkeboller. Det er imidlertid svært viktig at Norge tar lærdom av historien fra andre land, og at vi allerede fra begynnelsen sørger for å forvalte kråkebollene på en fornuftig måte.

Forskjellige forvaltningstiltak som kvoter, minstemål, fredede områder, sesongmessig fredning og teigdrift er blitt vurdert og utprøvd i andre land med vekslende hell. I Nova Scotia i Canada har man prøvd ut en forvaltningsmodell som har vist seg å fungere ganske godt. Her får et begrenset antall dykkerteam disponere hvert sitt område der de selv kan legge opp egne høstingsstrategier uten konkurranse fra andre.

Før man kan utarbeide forvaltningsstrategier for kråkebollefangst i Norge, trengs det et betydelig datagrunnlag. For kvotebestemmelser trenger man f.eks. et estimat på biomassens størrelse, man må vite hvor arten finnes samt ha et mål på naturlig dødelighet. For å utarbeide meningsfulle minstemål kreves det kunnskap om populasjonens modningsstatus og gonadeindeks (rogninnhold). I Norge er det stedvis gjort studier av populasjonsdynamikken hos *S. droebachiensis*, men det trengs en mye større forskningsinnsats dersom vi skal sikre en bærekraftig utnyttelse av ressursen.

Hva med kråkebolleoppdrett?

Hos ville kråkeboller er det store sesongmessige variasjoner i rognens kvalitet. Rognen består av både næringsceller og kjønnceller. I perioden før og etter gyting er det lite næringsceller i rognen og kvaliteten er spesielt dårlig. Høsting av *S. droebachiensis* vil derfor måtte begrense seg til tider på året hvor kvaliteten er god. Problemet er at sesongbaserte leveranser av råstoff vil gjøre det vanskelig å opprettholde et lønnsomt mottaks- og foredlingsapparat på land.

Oppdrett av kråkeboller kan medvirke til jevnere leveranser samtidig som oppdrett kan sikre en jevnere kvalitet på produktet. I dag foregår det forsøk på kråkebolleoppdrett i Japan, Kina, Chile, USA og Canada. I noen av disse landene har man allerede kommet i gang med kommersielt oppdrett i liten skala. Også i Norge er det en gryende aktivitet innen kråkebolleoppdrett.

Økt kvalitet gjennom oppfôring

Villfangede kråkeboller har ofte et rogninnhold på godt under 10 % (avhengig av lokalitet), mens rogninnholdet bør være over 12 % for at eksport skal være lønnsomt. Ved Fiskeriforskning har vi eksperimentert med oppfôring av villfangede kråkeboller siden 1995. Oppfôring gjør det mulig å produsere høykvalitets-kråkeboller av individer som i utgangspunktet har for dårlig rognkvalitet. Ved bruk av spesialfôr har vi oppnådd et rogninnhold på hele 20 % i løpet av to måneder (Figur 6.8 og 6.9).

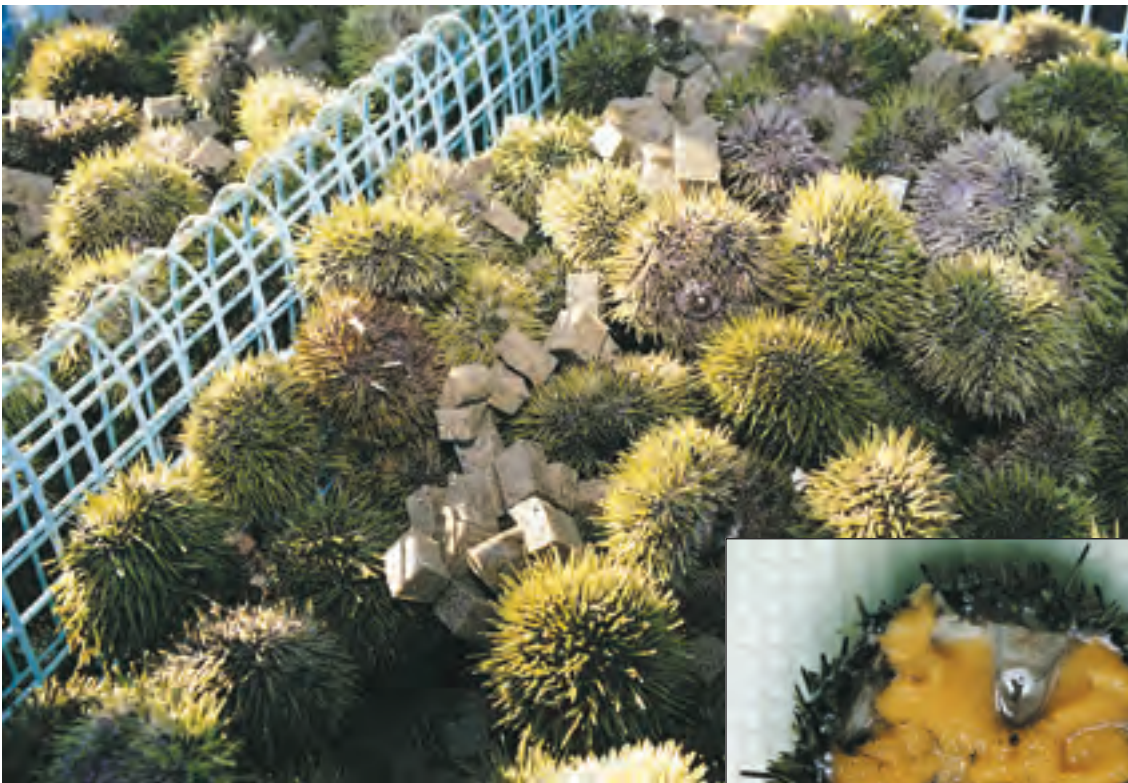


Foto: Fiskeriforskning, Frank Gregersen.

Figur 6.8

Kråkeboller pakkes på Sommarøy utenfor Tromsø. Etter 36 timers flytur er de hos kunder i Tokyo eller Sapporo.

Packing of sea urchins in Tromsø. After 36 hours of travelling they can be found on the fish market in Tokyo or Sapporo. Photo: Norwegian Institute of Fisheries and Aquaculture Ltd, Frank Gregersen.



Figur 6.9

Fiskeriforskning har utviklet et spesialfôr for kråkeboller som gir en god rognvekst, og rognen får en størrelse, farge og konsistens som sammenfaller med markedets krav.

The roe obtains a size, colour and consistency that satisfies the market when fed on a specially made feed.

Foto: Fiskeriforskning, Frank Gregersen.

Yngelproduksjon

Ved Høgskolen i Bodø har man i lengre tid drevet forsøk med yngelproduksjon av *S. droebachiensis*. Resultatene er positive og det anses som fullt mulig å produsere kråkeboller helt fra rognstadiet. Dette har store fordeler fordi man da kan kontrollere hele prosessen. Ulempene er at oppdrett fra rognstadiet krever store arealer og betydelige vannvolum.

Endoparasitten *Echinomerella matsi* forekommer i norske kråkebollebestander i enkelte områder. Denne parasitten kan være et problem, spesielt for villfangede kråkeboller, men også for oppfôring. Ved oppdrett helt fra yngelstadiet kan eventuelle problemer med denne parasitten unngås.

Konklusjon

Tareskogen er nedbeitet i store deler av Nord-Norge. Hvorvidt et kommersielt kråkebolleffiskeri

kan bidra til å gjenopprette tareskogen gjenstår å se (se for øvrig artikkelen av Sjøtun og Sivertsen). Etter min oppfatning må en fremtidig kråkebollenæring i Norge satse på kombinert oppdrett og fangst. Dette vil sikre jevn produksjon og skape best mulig økonomisk grunnlag for foredling og salg.

Summary

Kelp grazing sea urchins have vastly reduced the kelp forest in northern Norway. This has unwanted effects on the coastal ecosystem. Norwegian authorities are now looking for innovative ways to rebuild the kelp habitat. An extensive exploitation of sea urchins as human food could both reduce the abundance of sea urchins and promote economic growth in coastal regions. The article discusses the potential for a future Norwegian food industry based on sea urchins.

Ballastvann – en fare for det norske havmiljøet?

Helge Botnen* og Anders Jelmert, *Universitetet i Bergen

Bakgrunn

Over 80 % av all varetransport mellom kontinentene skjer i dag med skip. Anslagsvis er 35 000 skip til enhver tid på vei mellom to havner, og det fylles og tømmes årlig 3 til 5 mrd. tonn ballastvann. I Norge anløpes våre viktigste oljehavner Kårstø, Sture og

Det er også påvist mange sykdomsfremkallende bakterier i ballastvann. Både norske og utenlandske myndigheter frykter derfor at nye sykdommer kan ramme havbruksnæringen og fiskeriene og også true menneskenes helse.



Foto: Bergesen d.y.ASA

Figur 6.10
En gasstanker pumper ut ballastvann.
A gas carrier discharging ballast water.

Mongstad hvert år av mer enn 3 000 skip som til sammen slipper ut om lag 33 mill. tonn ballastvann. Figur 6.10 viser uttømming av ballastvann fra en gasstanker.

Det har lenge vært kjent at marine arter i ballastvannet kan spres til nye leveområder når ballastvannet tømmes. Hvis forholdene ligger til rette vil noen av disse artene kolonisere sine nye farvann. Globalt regner vi med at det til enhver tid befinner seg mer enn 4 000 makroorganismer og planktonarter på skipsreise, og at en ny art etablerer seg på nytt sted omtrent hver 9. uke året rundt. Dersom vi inkluderer mikroorganismer som bakterier og virus, blir antallet atskillig større.

Det er mange eksempler på at arter som er introdusert via skip har formert seg så sterkt at det har fått alvorlige følger for importlandets økosystemer.

Introduksjon via ballastvann – noen skrekkens eksempler

Kammaneten *Mnemiopsis leidyi*

ble overført med ballastvann fra østkysten av Amerika til Svartehavet på 1980-tallet. I Svartehavet var det rike fiskerier på ansjos og “Kilka” (fellesbetegnelse for flere sardinarter). Den innførte kammaneten beitet på disse fiskenes egg og larver, og konkurrerte samtidig med fiskeyngelen om byttedyrene. Dette førte til at fiskepopulasjonene kollapset og fiskeriene sank med 90 %. I 1999 ble *Mnemiopsis leidyi* oppdaget i Det kaspiske hav, og man er nå redd for at en liknende katastrofe også skal ramme det betydelige fisket av “Kilka” i dette havet.

Sebraskjell (“vandremusling”)

Overføringen av sebraskjellet fra Europa til de store sjøene i Nord-Amerika er en av de best dokumenterte

overføringene vi kjenner til. Etter å ha spredd seg gjennom kanaler og elver fra områdene rundt Svartehavet til store deler av det kontinentale Europa i løpet av 1800- og 1900-tallet, etablerte arten seg i Lake St. Claire (mellom Michigan og Ontario) på slutten av 1980-tallet. I løpet av få år hadde sebraskjellet formert seg så sterkt at store strandområder var fullstendig tildekket. Vannledninger og pumper ble tilstoppet av skjell. Skjellene festet seg også til og hemmet naturlig adferd og næringsopptak hos innfødte dyr, slik at store deler av den lokale fauna ble utradert.

Til tross for omfattende mottiltak fortsetter sebraskjellene å spre seg til nye områder. Til og med mesteparten av Mississippi og dens sideelver er kolonisert, og skjellene vandrer stadig lengre vestover i USA. Det anslås at skadelige effekter av sebraskjell koster det amerikanske samfunnet rundt 4 milliarder dollar per år.

Kolerasmitte

I 1991 ble Peru rammet av en alvorlig koleraepidemi som sannsynligvis skyldtes overføring av kolera-bakterier fra Asia med ballastvann. Epidemien spredte seg til flere land i Sør-Amerika og ebbet ikke ut før i 1997. Da var mer enn 1.2 millioner mennesker blitt smittet. Over 12 000 av de smittede døde av sykdommen. Kolerabakteriene fra Sør-Amerika ble også påvist i ballastvann i skip som ankom USA, men her unngikk man at sykdommen brøt ut.

De viste skrekkeksemplene er heldigvis ikke typiske. Det er relativt få fremmede arter som lykkes i å etablere seg, og de som lykkes vil først etter lang tid kunne danne populasjoner som er store nok til å bli lagt merke til. Trusselbildet eksisterer imidlertid. Introduserte arter kan når som helst invadere vår flora og fauna med makroorganismer og sykdomsbringende mikroorganismer og bli en trussel for våre naturverdier.

Hva vet vi om introduserte marine arter i Norge?

Det anslås at 45 introduserte marine arter nå er etablert i norske farvann. Av disse kom trolig 18 via skip. Flere av artene er skadelige planktonalger. Det er mulig at noen av de nyoppdagete algeartene har vært i Norge i lang tid. En del algearter bevares nemlig dårlig i de fikseringsmidlene som brukes til å konservere planktonprøver. Derfor kan nye algearter ha befunnet seg i konserverte planktonprøver uten at de er blitt identifisert som nye. På grunn av denne usikkerheten er det foreslått å kalle arter som en ikke

med stor sikkerhet kan identifisere som introduserte for kryptogene arter.

De mest kjente kryptogene artene som har vist seg å være skadelige er *Chattonella* aff. *verruculosa* og *Karenia mikimotoi* (*Gyrodinium aureolum*). Arter av dinoflagellatslekten *Alexandrium* har også vært regnet som introduserte, men denne slekten er nå påvist som fossiler i sedimenter i Skagerrak. *Alexandrium* må derfor tidligere i historien ha forekommet langs norskekysten før skipsfarten på ny bragte dem hit.

Oppblomstring av *Chattonella* forårsaket at nær 1000 tonn oppdrettsfisk til en verdi av 25 mill. kr døde i 2001.

Hva slags organismer inneholder ballastvannet som dumpes i norske farvann?

Ved Seksjon for anvendt miljøforskning, UiB, kartla man plante- og dyrelivet i ballastvannet til tankskip som ankom oljeterminalen på Sture i Øygarden. Her ble det også undersøkt om sediment fra ballast-tanker inneholder større dyr og spiringsdyktige mikroorganismer. Det er også foretatt søk etter introduserte dyre- og plantearter i fjæra ved havneanleggene på Kårstø, Sture og Mongstad.

Undersøkelsene viste at nesten alt ballastvann og sediment fra ballasttanker inneholdt levende organismer. Figur 6.11 viser hvilke taxonomiske plante- og dyregrupper som stort sett ble funnet ved Sture. De fleste artene fantes allerede i våre farvann, men det ble også oppdaget fremmede arter i prøvene. Flest

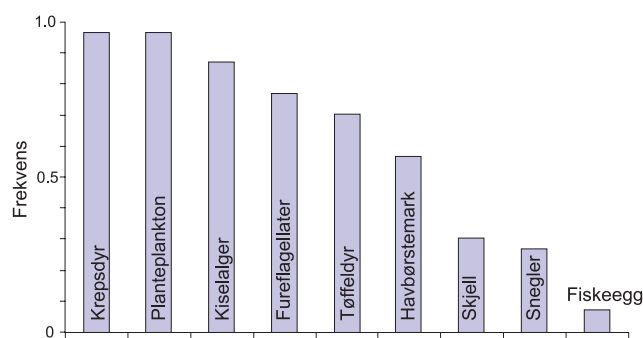


Fig. 6.11

En oversikt over de plante- og dyregrupper som ble funnet i utpumpet ballastvann ved Sture i Øygarden.

Taxonomic groups found in ballast water which was discharged in the Norwegian harbour Sture outside Bergen.



Foto: Stefan Heilscher og Anders Jelmert.

Figur 6.12

Spøkelseskrepesen *Caprella mutica*. Arten kommer opprinnelig fra det nordvestlige Stillehavet og ble funnet i Nederland i 1994, og på Vestlandet i 1999. Man vet ikke hvordan arten er kommet til Europa, men ballastvann er en mulighet. Total lengden er ca. 25 mm.

Female and juvenile of Caprella mutica, a marine crustacean from Northwest Pacific. It was introduced to the Netherlands in 1994 and discovered in western Norway in 1999. Size of depicted adult animal is approximately 25 mm.

organismer ble påvist i ballastvann som bare var et par dager gammelt. Dette er spesielt urovekkende, fordi det meste av ballastvannet som dumpes i norske farvann er “ungt” og tas om bord i omlastingshavner der ballastvann fra alle verdensdeler dumpes hele tiden. Figur 6.12 viser et krepssdyr som kan ha kommet til Norge med ballastvann.

I undersøkelser som ble foretatt i strandsonen ble det påvist tre introduserte arter; *Bonnemaisonia hamifera* (rødlo), *Codium fragile* (pollpryd) og *Sargassum muticum* (japansk drivtang). Pollpryd og rødlo ble første gang observert i norske farvann ved begynnelsen av 1900-tallet, mens japansk drivtang først ble observert på midten av 1980-tallet. Alle har sitt naturlige leveområde i japanske farvann og antas overført til europeiske farvann i forbindelse med overføring av levende skjell til oppdrettsnæringen. Ved Kårstø ble i tillegg rødalgen *Dasyisiphonia* sp. påvist. Arten ble første gang funnet i Norge i 1996, og er muligens importert med ballastvann fra Japan via en nederlandsk havn.

Mikroorganismer

For å få et inntrykk av hvor stor del av de innpumpete mikroorganismene som overlever transport fra Amsterdam til Norge, ble det tatt ballastvannprøver av innpumpet vann i Amsterdam på et skip som skulle til Mongstad. I Mongstad ble det tatt tilsvarende prøver av det utpumpete ballastvannet. Tabell 6.1 viser resultatene.

Tabellen påviser en viss reduksjon av både bakterier og virusliknende partikler under transporten. Dette er ikke uventet, fordi en del partikulært materiale vil sedimentere i løpet av reisen. Det var likevel et meget stort antall organismer tilbake i vannet da det ble pumpet ut ved Mongstad.

I en undersøkelse gjennomført av Høgskolen i Haugesund på båter som ankom Kårstø, ble det påvist mulig sykdomsfremkallende *Salmonella*- og *Campylobakter*-arter i ballastvann. Ved de konsentrasjoner som ble målt, var det liten fare for smitte til mennesker. *Salmonella* og *Campylobakter* kan

imidlertid konsentreres opp til sykdomsfremkallende nivå dersom de spises av filtrerende skjell, og følgelig gi sykdomsrisiko for mennesker som spiser skjell.

Det ble også funnet mellom 10 og 280 termotolerante coliforme bakterier per 100 ml prøve. Grenseverdien for drikkevann for denne bakterietypen er 0 per 100 ml prøve.

Hvordan kan vi redusere uønsket import av fremmede arter med ballastvann?

De mulige konsekvensene av utilsiktede artsspredninger har fått både myndigheter og skipsfartsnæring til å utarbeide rutiner som skal redusere faren for spredning via skip. IMO (FNs internasjonale maritime organisasjon) har f.eks. anbefalt at alle fartøy bytter ut sitt ballastvann når de befinner seg på åpent hav.

I mange land arbeides det også aktivt med ny teknologi som kan redusere faren for uønsket spredning. De mest lovende forsøk gjøres med oppvarming, filtrering, ozonbehandling og tilsetning av desinfiserende oppløsninger. Løsningene må være effektive, risikofrie for skip og mannskap, miljøvennlige og være økonomisk og praktisk gjennomførbare. En

rekke forslag til forpliktende spredningsreducerende tiltak vil bli drøftet på en internasjonal diplomatkonferanse i 2003.

I Norge er effektive tiltak mot introduksjoner ennå ikke satt i verk. Det er derfor stor risiko for introduksjoner i årene som kommer. Det er særlig grunn til å peke på problemet med fremmede arter som kan skade fiskeri- og havbruksnæringen.

Summary

At any time approximately 35 000 cargo- and passenger ships are on their way to a harbour where they will dispose of their ballast water. Worldwide 3-5 billion tonnes of ballast water is discharged every year. In coastal countries alien organisms from ballast water may affect local marine ecosystems and spread disease.

In Norway an estimated number of 18 non-indigenous marine species have till now been introduced via ballast water. Precautionary actions have not been organized and future introductions of pathogenic organisms from ballast water could affect Norwegian fisheries, fish farming and possibly human health.

Tabell 6.1

Antall bakterier og virus-liknende partikler (VLP) i ballastvannet i Amsterdam og på Mongstad. Det var 72 timer mellom prøvene tatt i Amsterdam og på Mongstad.

The number of bacteria and virus (VLP) in the ballast water in Amsterdam and at Mongstad. The time span between the sampling in Amsterdam and Mongstad was 72 hours.

Prøve	Bakterier (antall ml ⁻¹)	VLP (antall ml ⁻¹)
Amsterdam, ballastvann	1 x 10 ⁷	3 x 10 ⁸
Mongstad, ballastvann	5 x 10 ⁶	9 x 10 ⁷
Mongstad, kai før utslipp	9 x 10 ⁵	5 x 10 ⁶
Mongstad, etter utslipp	7 x 10 ⁵	2 x 10 ^{7s}

(Fra O.K. Hess Nilsen, Hovedfagsoppgave UiB 2000).

Hvorfor er det blitt så lite torsk i Ytre Oslofjord?

Jakob Gjøsæter, Kate Enersen, Svein Erik Enersen, Jan Atle Knutsen, Aadne Sollie og Stein Tveite

De siste åra er det kommet sterke signaler om en betydelig nedgang i mengden voksen torsk på den svenske vestkysten og langs den sydlige delen av Østfold. Det sies at det også er blitt mindre torsk på vestsiden av ytre Oslofjord. På den norske siden har man lite statistikk som kan dokumentere omfanget av reduksjonen, men fra Sverige har man data som dokumenterer en sterk nedgang i forekomsten av voksen torsk. Hva kan årsakene være?

Er det mindre torsk enn før?

I 1980-åra gjennomførte Havforskningsinstituttet et systematisk garnfiske ved Vasser, Jomfruland, Flødevigen og Høvåg (Figur 6.13). Instituttet tok opp igjen disse undersøkelsene i november 2001 med samme redskap og på de samme fiskeplasser, men med utvidet undersøkelsesområde til også å gjelde Hvaler. Resultatene viser at fangstene ved Hvaler og Vasser var svært lave sammenlignet med de andre områdene (Tabell 6.2). Spesielt viste antall kg torsk per garn svært lave verdier ved Hvaler og Vasser. Fangstene av småtorsk var mer på linje med det vi fikk ellers på kysten.

Ved Vasser, der vi har lange tidsserier, lå antall fangede torskeindivider på linje med det laveste vi har fått tidligere (Tabell 6.3). Vekten av fangstene var klart den laveste vi har observert noen gang. Fangsten av 0-gruppetorsk (torsk < 1 år gammel), både ved Vasser og i alle de andre områdene som det foreligger fangstdata fra, var derimot den beste vi har observert i hele observasjonsperioden. Garnfisket i november 2001 synes derfor å bekrefte at det er svært lite stor torsk ved Hvaler og Vasser sammenlignet med de andre lokalitetene. For Vassers vedkommende viser dataene at den påståtte nedgangen siden 1980-tallet er reell.

Hvordan er rekrutteringen?

På bakgrunn av de årlige strandnotundersøkelsene som har foregått fra Hvaler i Ytre Oslofjord til Torvefjorden vest for Kristiansand siden 1919, har vi god oversikt over rekrutteringen av torsk på

Skagerrakkysten. Strandnotundersøkelsene har i særlig grad gjort det mulig å mengdebestemme 0-gruppetorsk (Figur 6.14).

Undersøkelsene viser at rekrutteringen har variert mye, men at mønsteret i bestandsutviklingen i hovedsak er likt for hele Skagerrakkysten, bortsett fra de sterkt forurensede områdene rundt Grenland og Holmestrand. Disse områdene opplevde en sterk bestandsnedgang på slutten av 1960-tallet, og bestandene har til nå ikke tatt seg opp igjen. Studier av bifangster fra krepsetrålere, ruser og data fra Havforskningsinstituttets egne tråltrekk tyder ikke på at rekrutteringen har gått merkbart ned på den svenske siden av grensen heller. Derimot er det på svensk side observert en meget sterk nedgang i størrelsen av torsk fanget i krepsetrål og i åleruser.

Får fisken for lite mat?

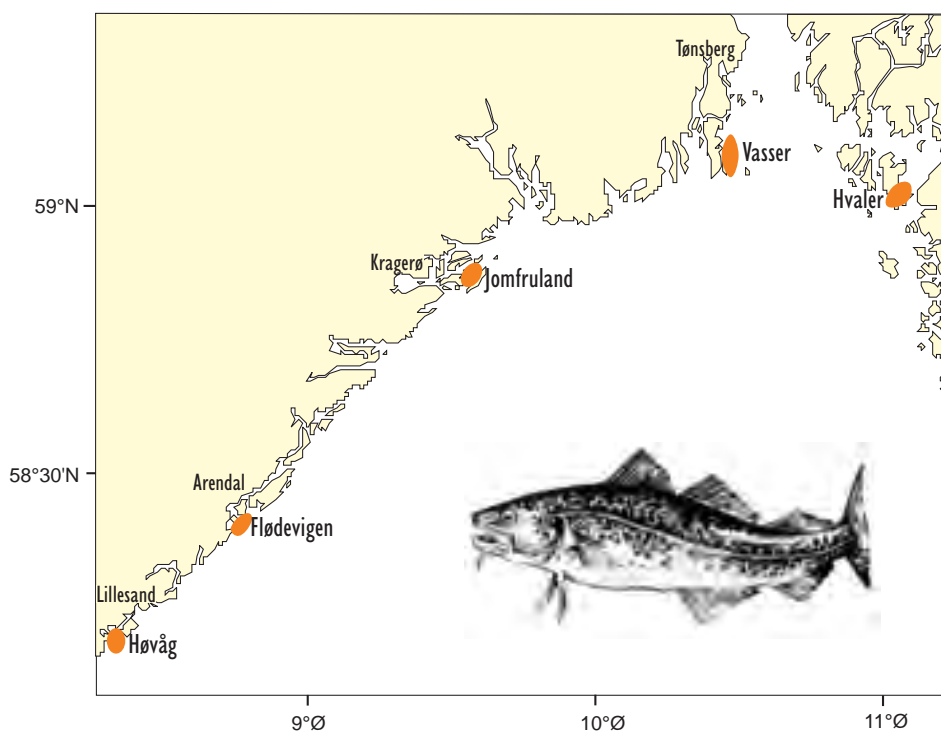
Både på Hvaler og Vasser veide 0-gruppetorsken som ble tatt i trollgarn i gjennomsnitt 46 g mindre enn i de andre områdene (Tabell 6.2). På Hvaler vet vi ikke hvordan vektene var tidligere, men på Vasser veide 0-gruppetorsken enda mindre tidligere år, med unntak av 1989 etter oppblomstringen av giftalgen *Chrysochromulina* som gjorde konkurranseforholdene svært spesielle (Tabell 6.3). Materialet fra tidligere år er imidlertid for lite til at vi kan trekke sikre slutninger.

Tabell 6.2

Fangst av torsk i trollgarn på Skagerrakkysten i november 2001.

Cod caught in trammel nets at the Norwegian Skagerrak coast in November 2001.

	Antall per garn	Vekt per gam (kg)	Antall 0-gr. per garn	Vekt 0-gr. (gram)
Høvåg	6,4	5,0	1,5	108,7
Flødevigen	6,6	3,8	2,2	127,1
Kragerø	2,0	1,3	0,7	112,9
Vasser	2,1	0,4	1,7	78,9
Hvaler	1,0	0,3	0,6	61,3



Figur 6.13
Skagerrakkysten med de undersøkte stedene.
The studied areas on the Norwegian Skagerrak coast.

Leverindeksene (levervekt dividert med kroppsvekt) gir en god indikasjon på fiskens ernæringsstatus. Leverindeksene synes å ligge noe lavere ved Hvaler enn i de andre områdene (Figur 6.15). For den minste fisken (hovedsakelig 0-gruppen) synes det imidlertid ikke å være noen påviselig forskjell i leverindeks mellom områdene. Relativt normale leverindekser gir ikke grunn til å tro at det er lite mat til fisken i ytre Oslofjord. Analyser av mageinnholdet i fanget fisk tyder heller ikke på matmangel.

Tabell 6.3

Fangst av torsk i trollgarn i Vasser i november 1984–2001.

Cod caught in trammel nets in Vasser in November 1984–2001.

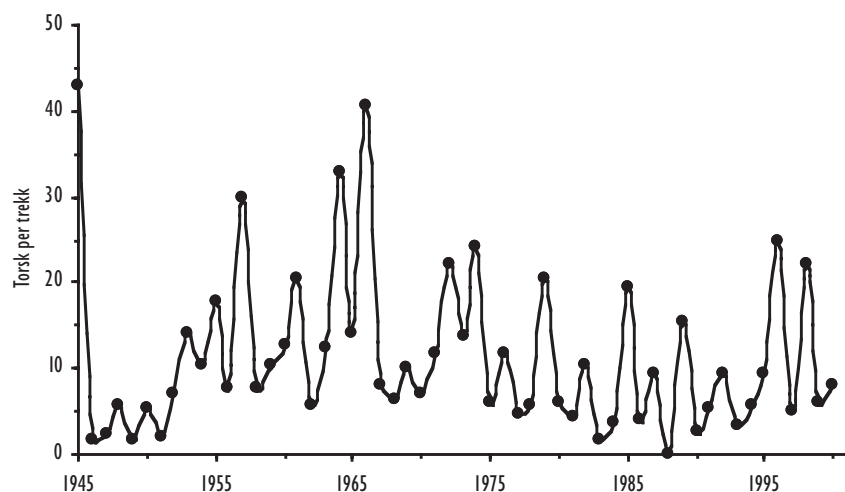
År	Antall per garn	Vekt per garn (kg)	Antall 0-gr per garn	Vekt 0-gr. (gram)
1984	3,7	2,6	0	60,0
1985	2,1	1,6	0,1	55,0
1986	3,9	2,6	0	
1987	2,0	1,7	0,3	68,4
1988	6,3	5,2	0	
1989	7,0	6,8	0,3	92,5
1990	7,3	4,5	0	
2001	2,1	0,4	1,7	78,9

Hvordan er helsetilstanden til torsken?

I 2001 tok vi prøver av lever og galle av fisk fra Hvaler og Høvsand, og vi registrerte leverfargen i alle områdene. Prøvene av lever og galle ble analysert ved Rogalandsforskning. To typer analyser ble gjennomført: En analyse som viser om fisken hadde vært eksponert for PAH de siste ukene før den ble fanget, og en analyse av enzymet EROD som påvirkes av en rekke miljøgifter.

Det ble analysert relativt få fisk fra hvert område, slik at vi ikke kan trekke sikre konklusjoner. Disse foreløpige resultatene viser ingen indikasjoner på at fisken har vært utsatt for vesentlige mengder PAH i noen av områdene. Enzymanalysene antyder riktignok at fisk fra Hvaler har vært utsatt for miljøgifter, men resultatene gir ikke grunn til å tro at det dreier seg om miljøgifter i alarmerende konsentrasjoner. I Høvsand fant man ingen spor av miljøgifter.

Leverfargen avslørte en viktig forskjell mellom de to områdene: Omkring halvparten av den voksne torsken i Hvalerområdet hadde mer eller mindre misfarget lever, noe som kan indikere at sunnhetstilstanden ikke er helt god. I Høvsand, Flødevigen og i Vasserområdet var andelen av fisk med misfarget lever mye lavere. Den yngste fisken hadde fin lever i alle områdene.

**Figur 6.14**

Tidsserie av strandnotdata som viser variasjonen i torskerekruttering på Skagerrakkysten.

Time series of beach seine data showing the variation in recruitment of cod at the Norwegian Skagerrak coast.

Hvorfor er det så lite torsk?

Vi har ikke noe endelig svar på hvorfor det for tiden er mindre voksen torsk i Ytre Oslofjord enn det er på Skagerrakkysten for øvrig. Det ser ut til at rekrutteringen er bra, men at ungfisken forsvinner før den blir voksen. Vi kan i utgangspunktet tenke oss fire forklaringer:

- Forurensning eller sykdom dreper fisken.
- Fisken får lite mat og dør eller forsvinner.
- Fisken er for hardt beskattet.
- Fisken vandrer ut før den blir voksen.

De undersøkelsene som er gjort i Hvalerområdet kan ikke svare på om forurensning er hovedårsaken til at det er blitt mindre fisk i Ytre Oslofjord. Rekrutteringssvikt på grunn av forurensning er en mulighet, og i områder som vi vet er betydelig forurenset, som f.eks. i Grenlandsfjordene, er rekrutteringen blitt sterkt redusert. På den annen side ser det ut til å være minst like mye stor og voksen fisk i Grenlandsfjordene som vi finner på kysten ellers. Det siste skyldes trolig at fisket i Grenlandsfjordene er redusert pga. advarsler mot å spise fisken der.

At særlig 0-gruppefisken er markert mindre i Hvaler og Vasser kan indikere dårlige ernæringsforhold i disse områdene. Leverindeksene kan imidlertid ikke bekrefte spesielt dårlige ernæringsforhold for ungfisken. For eldre fisk i Hvaler er det imidlertid tegn på at leverindeksen kan være noe lavere enn i de andre områdene. Selv om fisken tilsynelatende fant nok mat i november da våre prøver ble tatt, kan vi ikke se bort fra at den hadde dårligere ernæringsforhold i en tidligere fase. Dette vil bli nærmere undersøkt.

Hard beskatning

Det fiskes hardt i Ytre Oslofjord av både yrkesfiskere og hobbyfiskere. Det fanges også mye torskelyngel som bifangst i åleruser og andre redskaper. Samtidig har vi fått mye sel og skarv i området som tar mye fisk. Det er derfor rimelig å anta at høy beskatning på ung torsk både fra mennesker, sel og skarv kan ha redusert bestandene.

Svenske forskere som har studert nedgangen av bunnfiskbestandene på Bohuslänkysten, mener at overbeskatning er den mest sannsynlige årsak til reduksjonen. Merkeforsøk gjort på svensk side av grensen viser at at mye av fisken derfra vandrer ut av området når den blir gytemoden. Dette kan tyde på at en del av torsken som finnes som ungfisk på Bohuslänkysten egentlig er nordsjøtorsk som vandrer tilbake til Nordsjøen for å gyte. Vi har ingen merkeforsøk fra Hvaler og Vasser, men merkeforsøk gjort andre steder på Skagerrakkysten tyder ikke på at det foregår noen tilsvarende utvandring der. Genetiske studier bekrefter også at den torsken vi fanger på Skagerrakkysten stort sett tilhører lokale bestander.

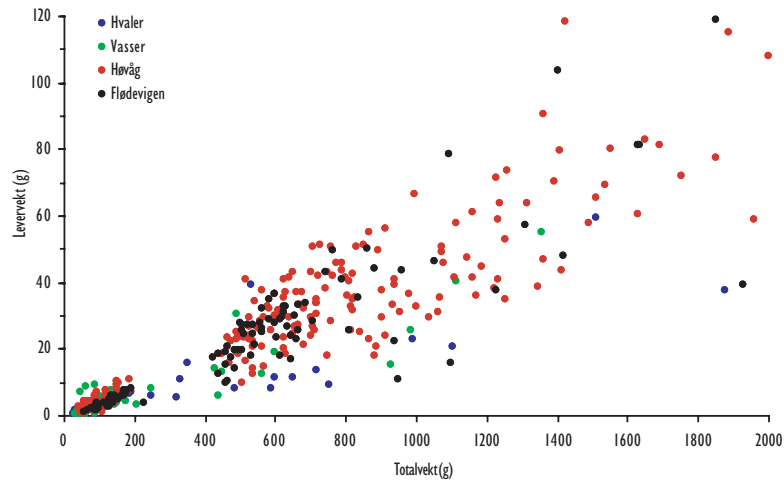
Konklusjon:

- Det har vært en betydelig nedgang i bestandene av voksen torsk i Ytre Oslofjord, mens rekrutteringen ikke har gått merkbart ned.
- Forurensning eller utvandring kan ikke forklare nedgangen.
- Dårlige ernæringsforhold er ikke hovedårsaken til nedgangen.
- Den mest sannsynlige årsaken til nedgangen er høy beskatning, hardt fiske på ungfisk og stor predasjon fra sel og skarv.

Summary

Trammel net surveys in the outer Oslofjord indicate a strong reduction in the local cod population. No corresponding reduction in cod recruitment has been

observed. Intensive professional and recreational fishing combined with extensive predation from seals and cormorants are considered to be the main reasons for the decline.



Figur 6.15

Levervekt som funksjon av kroppsvekt for torsk fanget i trollgarn på Skagerrakkysten.

Liver weight as a function of body weight for cod caught in trammel nets at the Norwegian Skagerrak coast.

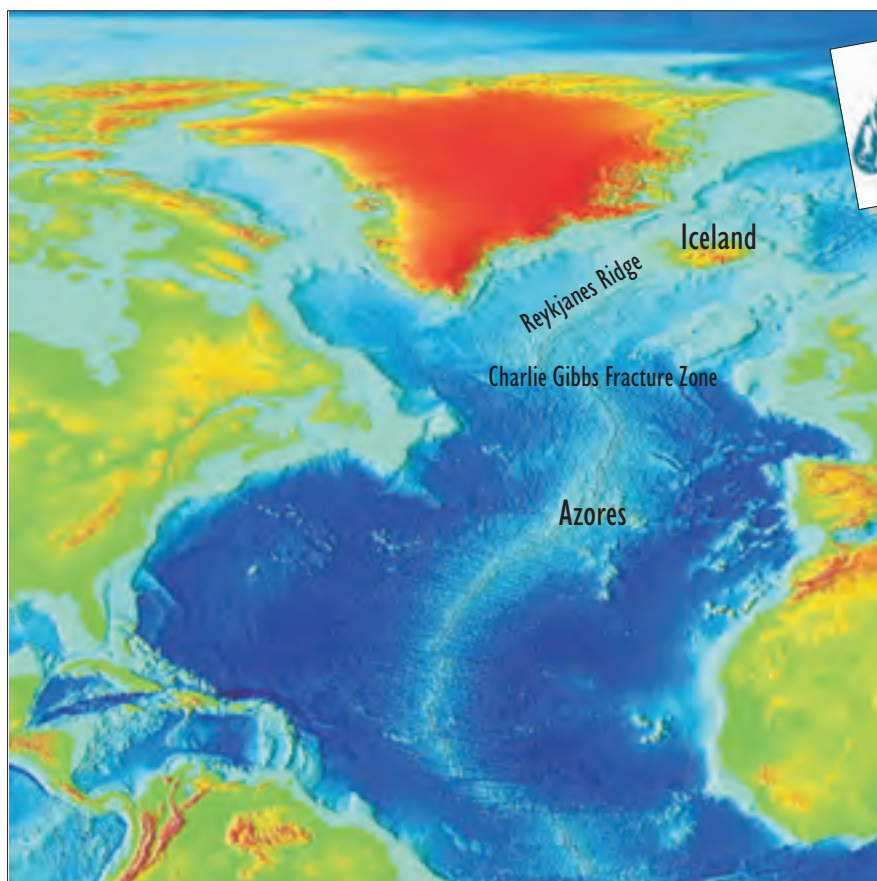
Utforskningens tid er ikke forbi!

For om lag 90 år siden publiserte Johan Hjort og skotten John Murray sitt spennende og banebrytende storverk "The Depths of the Ocean" som var basert på oppdagelser og resultater fra en større ekspedisjon i Nord-Atlanteren med forskningsfartøyet "Michael Sars". Ekspedisjonen, som varte i fire måneder, var et spleiselag mellom den norske stat og Murray som privatperson. "Michael Sars" var på den tiden et av verdens mest velutrustede forskningsfartøy for biologiske og fysiske undersøkelser. "The Depths of the Ocean" og tilsvarende spennende rapporter fra andre dyphavsekspedisjoner bidrog helt vesentlig til å spre kunnskap om de store havdypenes dyreliv både til forskningsmiljøene og til brede befolkningslag.

Er pionerånden som drev de gamle oppdagerne død? Nei da, men pionerenes vilkår har nok forandret seg, og det har i mange år vært vanskelig å finansiere grunnleggende utforskende virksomhet.

Det er nemlig slett ikke riktig at verdenshavenes økosystemer er godt kartlagt og forstått. Utforskningens tid er slett ikke forbi, spesielt ikke i dyp-havet. De siste års teknologiske utvikling gjør det mulig å observere både større geografiske områder og hittil ganske utilgjengelige havdyp på en helt annen måte enn da Hjort og Murray hadde sin ekspedisjon. De nye tekniske mulighetene har allerede ført til at den utforskende vitenskap har fått en renessanse.

Særlig i USA er dette tilfelle, og private amerikanske interesser har nå tatt initiativ til et stort internasjonalt forskningsprogram, Census of Marine Life, som fram til 2010 skal kartlegge vår viten om havet. Programmet utfordrer forskningsmiljøene med enkle spørsmål som "Hva lever i havet?", "Hva levde i havet?" og "Hva kommer til å leve i havet i fremtiden?". Jo mer man tenker over disse spørsmålene, jo mer blir det klart hvor lite man vet (Figur 6.16).



Figur 6.16

Census of Marine Life. Internasjonalt forskningsprogram etablert i 1997 etter initiativ av Alfred P. Sloan Foundation. *Census of Marine Life, an international research programme established on the initiative of the Alfred P. Sloan Foundation in 1997.*

Figur 6.17

Relieff av Nord-Atlanteren som viser Den midtatlantiske rygg, målområdet for det nye prosjektet MAR-ECO. Kilde: US National Oceanographic Data Center. *The bathymetry of the North Atlantic.*



Foto: Øystein Paulsen, HI.

Figur 6.18

En larve av skolest, *Coryphaenoides rupestris*, en karakteristisk fiskeart langs Den midtatlantiske rygg. Skolestfamilien er en av de mest artsrike i dyphavet.

Juvenile roundnose grenadier, Coryphaenoides rupestris, a characteristic inhabitant of the Mid-Atlantic Ridge.

MAR-ECO

Norge er allerede involvert på to måter i Census of Marine Life. For det første er vi representert i den internasjonale vitenskapelige styringskomiteen som skal koordinere en rekke regionale prosjekter over hele verden. Flere slike prosjekter er nå i startgropen; et lakseprogram i Stillehavet, et økosystemstudium i Gulf of Maine og et prosjekt om kjemosyntetiske økosystemer i Atlanterhavet er noen eksempler. For det andre har Norge tatt initiativ til et større samarbeidsprosjekt i Nordatlanten, MAR-ECO, en forkortelse som henpeiler på "Mid-Atlantic Ridge ecosystems". Fokus i prosjektforslaget er dyrelivet langs Den midtatlantiske rygg, den enorme fjellkjeden som strekker seg midt i Atlanterhavet fra Island til Sydishavet (Figur 6.17). Utgangspunktet er at de midtoseaniske ryggene representerer store, men lite undersøkte områder. Deres økologiske betydning, også for de mer produktive økosystemene langs kontinentene, er svært uklare. Prosjektet er entusiastisk støttet av en rekke forskere fra landene rundt Nord-Atlanteren, og en internasjonal styringsgruppe har utarbeidet en vitenskapsplan. MAR-ECO er nå innlemmet i Census of Marine Life, og A.P. Sloan Foundation i New York har bevilget 329.000 \$ til planleggingsfasen i 2001-2003.

Målsettingen for prosjektet er av beskrivende karakter. Det skal munne ut i en vesentlig bedre oversikt over

hvilke dyrearter og dyresamfunn som lever langs Den midtatlantiske rygg, hvilke utbredelsesmønstre de har og hvordan de lever sammen. Hvor får de sin føde fra og hvem spiser hvem? Hvilke tilpasninger gjør dem i stand til å leve og formere seg, og hvilket genetisk slektskap har de til artsfrender langs kontinentene? Nye og spennende arter vil bli beskrevet. Teknologiske hjelpemidler som ubemannede farkoster med avanserte videokamera og spesialtilpassede akustiske instrumenter setter oss i stand til å observere dyptlevende dyr i sitt rette element på flere tusen meters dyp. Gjennom moderne merketeknologi forventer vi også å bedre kunne skjønne fisks atferd i forhold til det fysiske miljøet og fordeling av byttedyr.

Dyrelivet langs Den midtatlantiske rygg

MAR-ECO skal styrke kunnskapen om forekomst, utbredelse og økologi til dyr og dyresamfunn langs Den midtatlantiske rygg fra Island til Azorene. Dyregruppene man skal studere er i første rekke fisk, krepsdyr, blekksprut og geléplankton (småmaneter o.a.) som lever ved bunnen eller i de frie vannmasser. Dette arbeidet skal utføres med den mest moderne teknologi og i et internasjonalt og tverrfaglig samarbeid. Her åpner det seg store muligheter for norske forskere og teknologimiljø til å bidra til nyvinning, spennende oppdagelser og kontaktskapende forsk-

ning og utvikling. Norge skal bidra med fartøytid med "G.O. Sars" samt personell og kompetanse.

Vi vet at fiskebestandene i dyphavet vokser sakte og er svært sårbare for overbeskatning, og prosjektet skal gi ny viktig viten som bidrag til en bærekraftig internasjonal forvaltning av både ressurser og biologisk mangfold (Figur 6.18-19). Et forent internasjonalt forskningsprogram har større gjennomslagskraft enn en nasjonal innsats i prosessen fram mot internasjonal enighet i ressurs- og miljøforvaltning.

Planleggingsfasen

Prosjektet har nettopp begynt en planleggingsfase på 18 måneder hvor et av hovedmålene er å utarbeide underprosjekter med mer eller mindre selvstendig finansiering, men med allerede planlagte tokt som fundament. Arbeidet på sjøen skal foregå i årene 2003-2005, med hovedtoktet med den nye "G.O. Sars" sommeren 2004. Derneft følger årelangt arbeid med analyse av materiale og data. Hele tiden skal dataene gjøres lett tilgjengelig for nettverket av forskere.



Foto: J.D.M. Gordon, SAMS, UK.

Figur 6.19 Orange roughy, *Hoplostethus atlanticus*. En sårbare fiskeressurs i nord-atlantiske dyphavsområder, inkludert langs Den midatlantiske rygg.
Orange roughy, Hoplostethus atlanticus. A vulnerable fishery resource in the North Atlantic slope waters and on the Mid-Atlantic Ridge.

Lar det seg realisere?

Mye avhenger av at nasjonale forskningsråd på begge sider av Atlanteren, EU, private stiftelser og bedrifter vil være med på dette storstilte arbeidet. Vi tror dette vil skje, og vi satser på at Norge skal yte et kraftig bidrag. Det er spesielt spennende å få anledning til å markedsføre og videreføre norsk marin kompetanse og kunnskap gjennom et topp moderne forskningsfartøy fylt med ny teknologi. Lik Murray og Hjorts ekspedisjon i 1910 er MAR-ECO både spennende og utfordrende.

Summary

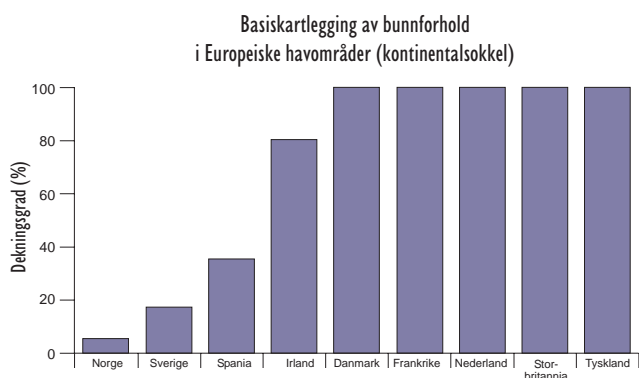
The Mid-Atlantic ridge is the target of an emerging international ecosystem study, MAR-ECO, under the Census of Marine Life programme. This pilot project shall gather new knowledge on biodiversity, distribution patterns and processes of the ridge ecosystem. New advanced remote sensing technology based on optics and acoustics will be extensively used. The project will be carried out as a multi-ship operation in 2003-2004, and the ongoing planning is a collaborative effort involving many nations around the North Atlantic.

Mangelfull kunnskap om havbunnen

Den norske havbunnen, fra sokkelen til kysten, er langt på vei et ukjent kontinent. Hittil har Norge satset lite på å skaffe fram en grunnleggende kartlegging: 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 det fysiske miljø, artsrikdom og biologiske ressurser? Vi kan i dag bare gi omtrentlige svar på slike spørsmål, fordi de norske kyst- og havområder er blant de dårligst kartlagte i Europa (Figur 6.20).

For brukerinteressene innen offentlig forvaltning, fiskerier, havbruk, offshore industri o.a. gjør mangelen på detaljerte opplysninger det vanskelig å finne relevant beslutningsstøtte. Dette svekker igjen vårt næringslivs evne til å konkurrere i et internasjonalt marked. Investeringer som kunne gått til Norge havner i andre land med bedre tilrettelagt infrastruktur.

I et 10-20 års perspektiv er det norsk strategi å realisere potensialet for økt verdiskaping i marine miljøer. Norge er i dag ikke kunnskapsmessig rustet til å møte denne utfordringen. Hvis vi ikke nå tar et krafttak for å avbøte kunnskapsmangelen om Undervanns-



Figur 6.20
Basiskartlegging av bunnforhold i europeiske havområder (kontinentalsokkel). Kilde: Geological Survey of Ireland.

Basic mapping of the sea bottom in European waters. Source: Geological Survey of Ireland.



Figur 6.21
MAREANO-prosjektet skal kartlegge Norges økonomiske sone mellom Stad og Lofoten. Databasen vil senere bli utvidet til å omfatte eksisterende og ny kunnskap fra de øvrige norske havområder.
The MAREANO project will map the Norwegian EEZ between Stad and Lofoten. The database will later be expanded to incorporate existing and new data from other sea areas.

Norge, kan vi med stor sikkerhet spå at framtidige beslutninger kommer til å bli tatt på et mangelfullt grunnlag.

Samarbeid på tvers av sektorer

Havforskningsinstituttet (HI), Norges geologiske undersøkelse (NGU) og Statens kartverk Sjøkartverket (SKSK) tar nå initiativ til å bidra til en mer helhetlig, kunnskapsbasert forvaltning av Norges kyst- og havområder. Siktemålet er å etablere en marin arealdatabase for norske kyst- og havområder (MAREANO), og å systematisere og øke kunnskapene om havbunnen og det marine miljø (Figur 6.21).

De tre samarbeidspartnerne foreslår å gjøre denne kunnskapen tilgjengelig via Internett som beslutnings-



Figur 6.22 Konseptskisse for MAREANO 2003-2006.
The MAREANO concept; an areal database for Norwegian sea areas.

støtte for næringslivet, statlig og kommunal forvaltning, og for allmennheten. Man vil bygge på moderne bredbåndet informasjons- og kommunikasjons-teknologi etter hvert som denne utvikles.



Figur 6.23
Sjøkartverkets "Sjømåleren". Kartlegging foregår med 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.
Sea bed mapping using multibeam swath bathymetry. The echosounder uses more than 100 beams simultaneously. The result is a very detailed map of the sea floor.

MAREANO skal utvikles i nært samarbeid med Statens forurensningstilsyn (SFT), Direktoratet for naturforvaltning (DN), Fiskeridirektoratet (Fdir), Oljedirektoratet (OD) og viktige eksterne bruker-miljøer som fylkeskommuner og næringsorganisasjoner.

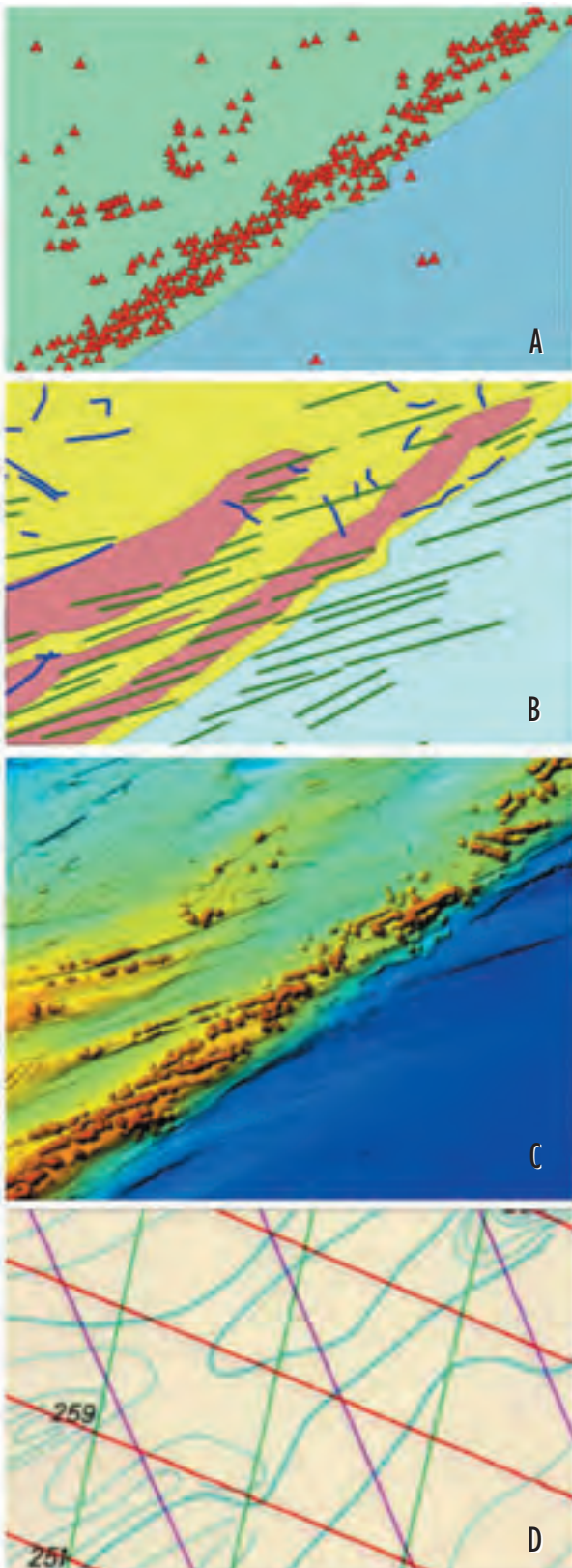
MAREANO skal også bli et viktig demonstrasjonsprosjekt for en moderne, døgnåpen og brukerorientert forvaltning, i samsvar med Regjeringens mål om fornyelse og effektivisering av offentlig sektor.

Basiskartlegging og kunnskapsbygging

MAREANO-prosjektet består av fem delprosjekter, hvorav databasen utgjør en sentral del. Den nye databasen skal bli et fundament for beslutningsstøtte og kunnskap om det marine miljø, og representere en nyskaping innen offentlig informasjonsformidling i Norge (Figur 6.22).

MAREANO skal også bli en alltid oppdatert kilde til brukerrettet kunnskap om det marine miljø. Databasen skal være åpen for bidrag fra alle relevante kunnskapskilder både i privat og offentlig sektor, f.eks. oljeindustriens miljødatabaser. Det skal også bli mulig for kommuner og fylkeskommuner å bidra med informasjon til MAREANOs database.

I den marine sektor vil MAREANO bli et viktig hjelpemiddel for økt verdiskaping innen fiskeri og havbruk. Prosjektet vil i første fase systematisere



eksisterende og etablere ny kunnskap om kyst- og havområdene mellom Stad og Lofoten. Datainnsamlingen er organisert i fire delprosjekter:

1. Basiskartlegging av dybdeforhold

Nøyaktig posisjonerte topografiske data utgjør grunnstammen i et hvert geografisk informasjons-

Figur 6.24

Fire kart over ett og samme område på 5x3 km ved Sularevet utenfor Frøya. A-C viser kart som blir tilgjengelige etter gjennomføring av MAREANO. D viser utsnitt fra dagens sjøkart.

A. Simulert naturtypekart der korallrev er avmerket med røde trekkanter. Grønn farge viser område med hardbunnsfauna, mens blå farge representerer mudderbunnsfauna.

B. Eksempel på bunntypekart som identifiserer sandbunn (gul), grus (rødt), mudder (blått) og rygger dannet under isbre (grønn strek). Blå streker viser pløyespor etter isfjell.

C. Skyggerelieffkart basert på høyopløselige dybde-data (multistrålebatymetri) som fremhever detaljer, her korallrev, i havbunnens topografi.

D. Utsnitt fra Sjøkartverkets mest detaljerte kartserie, Fiskerikartene.

Four maps of the same area of sea bottom at the Sula ridge. A-C show map types that will be available through MAREANO. A. Coral mounds (red triangles). B. sand (yellow), gravel (red), mud (blue), scars made by ice (green and blue lines). C. Shadow relief map enhancing bottom topography (here, coral mounds). D. The level of information available today.

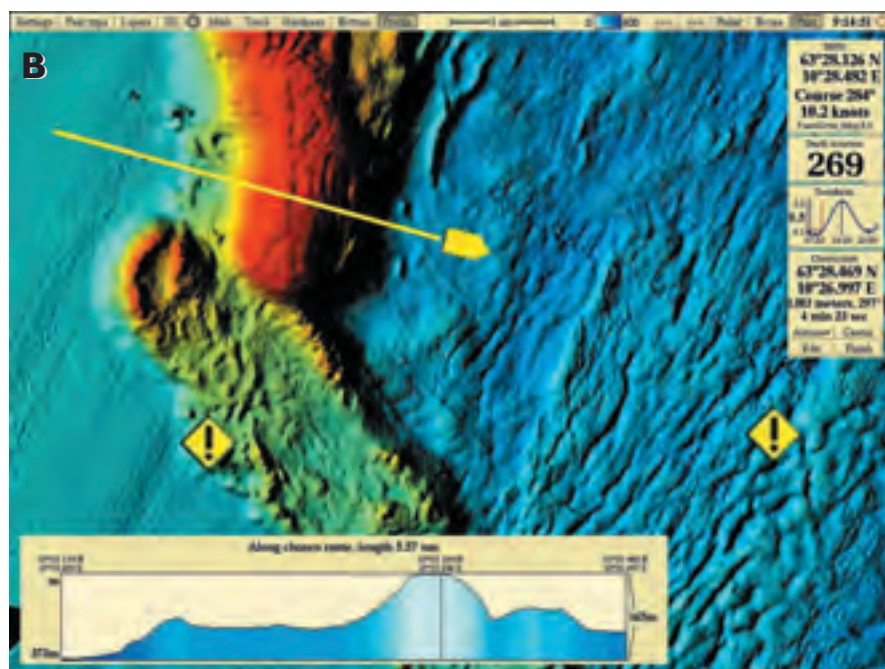
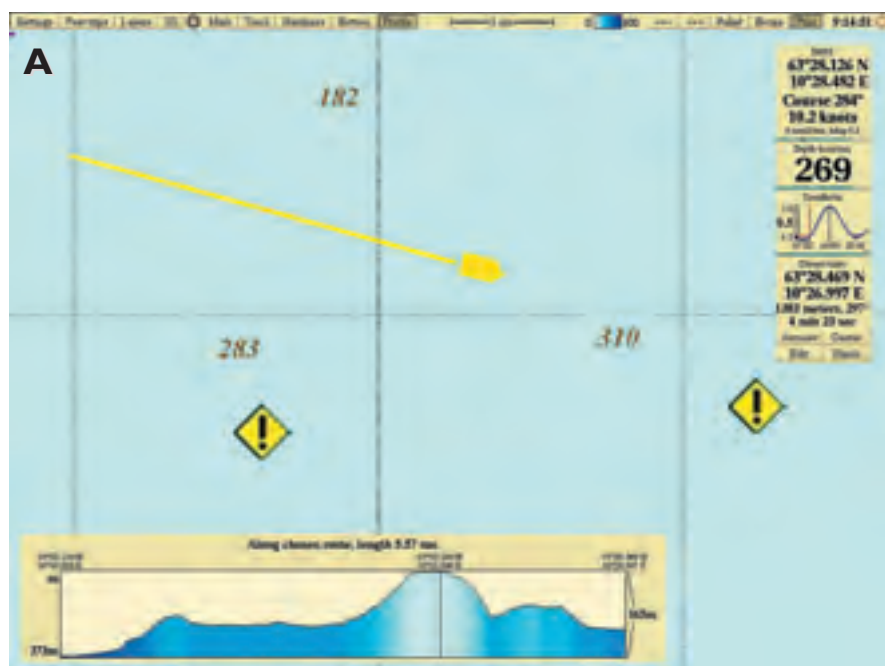
system (GIS). Dagens digitale kartgrunnlag er stort sett enkle ekkolodds-kudd eller håndmålte dybde-registreringer med 500-1000 m mellomrom. Disse må erstattes av kontinuerlige dybdemålinger fra multistråle-ekkolodd (Figur 6.23).

Det nye grunnlagskartet vil danne basis for utvikling av nye typer elektroniske sjøkart, som f.eks. vist i Figur 6.24 og 6.25. Slike kart vil i fremtiden muliggjøre en langt mer korrekt tolkning av fysiske og biologiske tilstander og prosesser på havbunnen.

2. Bunntyper, geologiske ressurser og grunnforhold

Bunntypene på havbunnen har stor betydning for gyte- og oppvekstområder for fisk og annet marint liv, og er derfor viktige elementer ved kartlegging av bunndyrsamfunn og biologiske naturtyper. Bunnforholdene er også viktig for kartlegging og risikoevaluering av forurensningsstoffer som akkumuleres i sedimentene. Erfaringer fra Canada viser at fiskerne har stor nytte av detaljerte bunntypekart i kombinasjon med detaljerte dybdekart. Bygging av installasjoner på havbunnen krever også gode kunnskaper om bunnforholdene.

MAREANO skal systematisere den eksisterende kunnskap og samle inn ny informasjon om bunntyper og sedimentprosesser, som underlag for biologisk



Figur 6.25

Elektroniske sjøkart i dag og i fremtiden. Øverst: et eksempel fra dagens elektroniske sjøkart (elektronisk sjøkart fra Statens kartverk Sjøkartverket, vist i kartplotte-systemet OLEX – www.olex.no). Nederst: et fremtidig karteksempel fra det samme området, med detaljert informasjon som spesielt fremhever bunntopografi vha skyggevirksomhet og farger (rødt er grunnest – ca. 200 m dyp). Slike sjøkart vil fiskere og andre kunne få tilgang til som et resultat av MAREANO.

Electronic sea map today and tomorrow. Upper: example of an electronic map available today. Lower: a map after MAREANO with detailed depth data presented to enhance topographical details.

naturtypekartlegging og forurensningsstudier. Også oppbyggingen av kvartære løsmasser skal kartlegges. Kartleggingen vil gi bedre oversikt over mulig ressursgrunnlag og mulige miljøtrusler (ustabilitet, klimagasser) knyttet til gasshydrater.

3. Basiskartlegging av forurensning

Miljøovervåking av Norskehavet er en viktig del av Norges forvaltning av de nasjonale havområder. Særlig for norsk fiskeeksport er det viktig at man kan

dokumentere renheten i havmiljøet. Kontinental-sokkelen tilføres ulike typer forurensning via havstrømmene og atmosfæren. Dette medfører en jevn lavnivå-belastning som det er viktig å få kartlagt.

Det er spesielt viktig å forstå basisprosessene som regulerer transport og nedsynkning av partikkelbundet forurensning. Forurensede partikler blir transportert lange avstander med havstrømmene. I områder der havstrømmene er svake eller danner

bakevje, synker partiklene ned til bunnen og blir en del av bunnsedimentene. Det er viktig å kartlegge disse nedsynkningsområdene. De vil være optimale lokaliteter for fremtidig overvåkning av sedimentbundet forurensning.

4. Naturtyper, biologisk mangfold og marine ressurser

Ny teknologi som f.eks. fjernstyrte undervannsfartøyer og avansert akustikk gir stadig ny kunnskap om naturtyper og fauna. Et godt eksempel er oppdagelsen av de store dypvannskorallrevene. Et rikt biologisk mangfold er knyttet til revene, og mye fisk samler seg i denne naturtypen. Bedre kunnskap om marine dyresamfunn er viktig, ikke bare som bakgrunn for fiskeriforvaltning og planlegging av oljerelaterte aktiviteter, men også som rettesnor ved leting etter nye naturressurser.

MAREANO skal beskrive artsmangfold og biomasse fra et nettverk av prøvelokaliteter. Det skal utarbeides naturtypekart og etableres en digital database for video-dokumentasjon av ulike naturtyper (f.eks. korallrev og svampområder), deres tilstand og beliggenhet.

I de neste 10-20 år er det norsk politikk å øke verdiskapningen i våre kyst- og havområder. I dag er Norge ikke kunnskapsmessig rustet til å møte denne utfordringen. Hvis vi ikke nå tar et krafttak for økt kunnskap om de norske kyst og havområdenes topografi og ressursrikdom, kan fremtidige beslutninger om bruk av disse arealene bli tatt på mangelfullt og til dels feil grunnlag.

Vi trenger derfor en rask og bred satsing på kartlegging av Undervanns-Norge fra våre fjorder helt ut til grensen for norsk økonomiske sone. MAREANO-prosjektet er en god begrunnelse!

Summary

MAREANO is a multi institutional project that will systematize all known knowledge about Norwegian underwater topography, life, environment and resources. New knowledge will be generated through practical experiments and integrated multidisciplinary efforts from both public and private institutions. The information will be made available from a new digital data base. The integrated efforts will reduce exploration costs and promote increased public and private shelf exploration efficiency.

Er det en klimaendring på gang i havet?

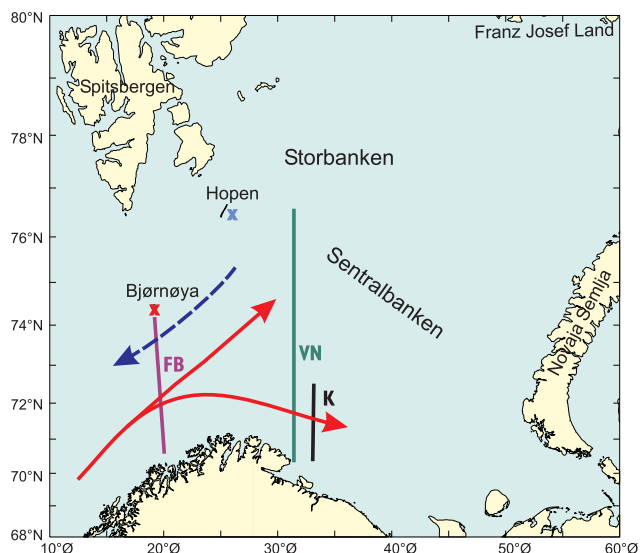
Harald Loeng og Randi Ingvaldsen

Mange hevder at vi er inne i en tid med klimaendring i havet. I alle fall blir det vist til flere eksempler som understøtter slike utsagn. Målinger utført i Barentshavet viser at 1990-årene bare var det tredje varmeste tiåret i løpet av det forrige århundret. Den oppvarming vi har registrert de siste 30 årene kan være en del av en naturlig syklus i stedet for en menneskeskapt oppvarming.

Bakgrunn

En rekke forskere mener at en menneskeskapt klimaendring i havet er under utvikling. Det fremføres en rekke indikasjoner, noen kaller det også bevis, for at klimaet er i ferd med å endre seg. Er det slik over alt, eller er vi i virkeligheten inne i en naturlig klimasyklus? Om dette strides ekspertene. I 2000 ble det publisert to sterkt motstridende oppfatninger i det internasjonalt kjente tidsskriftet "Science" om hva som skjer i de nordlige havområdene. Den ene forfatteren uttrykte at vi nå er inne i en naturlig ekstremsituasjon, og han ville bare lene seg rolig tilbake og vente på at temperaturen igjen ville avta. Den andre forfatteren hevdet at det var mindre enn 0.1 % sjans for at temperaturen igjen ville falle. Hvem har rett? Kan observasjoner fra våre havområder si noe om hva som virkelig er i ferd med å skje?

De fleste instrumentelle måleseriene, det vil si tidsserier hvor vi har direkte målinger for eksempel av temperatur, er korte. Mange av tidsseriene fra Arktis dekker bare de siste 30 årene. En av grunnene til dette er at vi fra 1970-tallet fikk målinger via satellitt i et område som ellers er vanskelig tilgjengelig. Skal vi ha lange tidsserier må vi gjerne konstruere disse gjennom andre observasjoner, for eksempel via kjerneprøver fra isbreene på Grønland eller sedimentprøver fra havbunnen. Slike tidsserier viser temperatursvingninger flere tusen år tilbake i tid, og de viser at det gjennom tidene har vært store naturlige temperaturvariasjoner også i våre områder.

**Figur 6.26**

Kart som viser de tre snittene Fugløya-Bjørnøya (FB), Vardø-Nord (VN) og Kolasnittet (K) og de meteorologiske stasjonene på Bjørnøya og Hopen. *The three hydrographic sections Fugløya-Bear Island (FB), Vardø-North (VN) and Russian Kola section (K) together with the meteorological stations Bear Island and Hopen.*

Indikasjoner på klimaendringer

De aller fleste som snakker om en menneskeskapt klimaendring bygger mye av sine konklusjoner på instrumentelle målinger fra de siste 30 årene. Dette gjelder også i norske farvann. Ser vi på resultater som også er presentert fra de ulike havområder foran i denne rapporten, viser de fleste tidsseriene en stigende temperatur i disse årene. Observasjoner fra satellitter viser også en klar reduksjon i isdekket, omtrent 3 % reduksjon for hvert tiår samtidig med at istykkelsen har avtatt. Videre har mengden av varmt atlantehavsvann i Polhavet økt i løpet av de siste årene. Andre indikasjoner på at det er endringer i klimaet er at nedbøren på høye breddegrader har økt med ca. 15 % i løpet av det siste hundreåret og at områdene med permafrost, særlig i Alaska, har avtatt de siste årene.

Tilgjengelige tidsserier

Barentshavet er et av de få havområdene hvor vi har opparbeidet en lang måleserie. Siden 1900 har forskere ved havforskningsinstituttet i Murmansk (PINRO) målt temperaturen på flere stasjoner i et snitt som krysser atlantehavsstrømmen i Barentshavet. Snittet kalles Kolasnittet og ligger langs median 33° 30' Ø (Figur 6.26). Dette er den lengste instrumentelle tidsserien vi har som observerer hele vannsøylen. Havforskningsinstituttet har egne måleserier lenger vest i havet, men disse er mye kortere. Den lengste måleserien er fra snittet som går fra Vardø og nordover, og går tilbake til 1953. Helt i vest, mellom Fugløya og Bjørnøya, ligger et annet snitt hvor det er regelmessige målinger tilbake til 1964. I tillegg finnes målinger av lufttemperaturen fra de meteorologiske stasjonene på Bjørnøya tilbake til 1920 og på Hopen til 1945.

Resultater

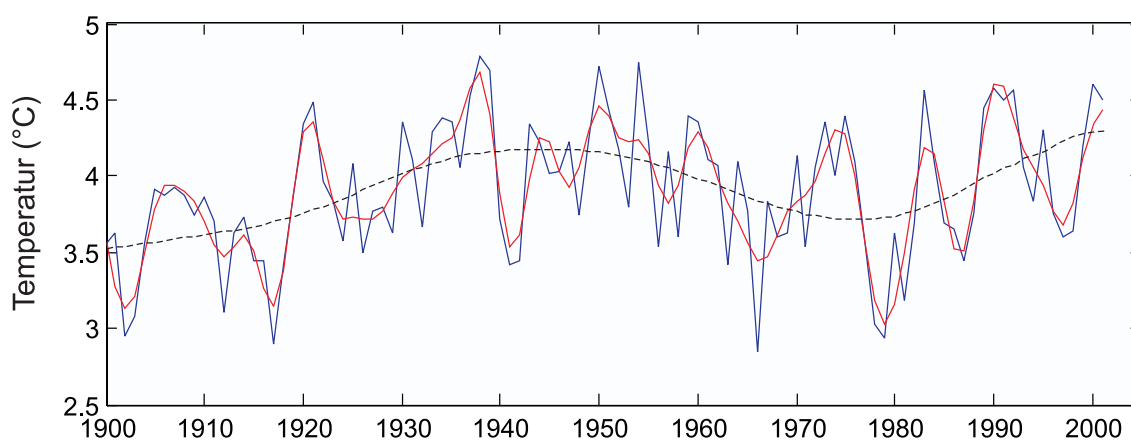
Figur 6.27 viser temperaturen i det russiske Kolasnittet siden 1900. Vi ser at det er store år-til-år variasjoner. Forskjellen mellom det varmeste og kaldeste året er nesten 2 °C, og det er mye i dette området. Midler vi over flere år finner vi det som kan synes som periodiske svingninger i systemet. Ser vi spesielt på kurvene hvor det er midlet over 30 år, ser vi at temperaturen steg fra begynnelsen av århundret til rundt 1940, for så igjen å avta. Minimum kom i slutten av 1970-årene og deretter har temperaturen steget fram til i dag. Det siste stemmer godt med andre observasjoner som indikerer en relativ oppvarming de siste 30 årene. Ser vi derimot på hele perioden, ser det ut som om vi har en

naturlig svingning, og vi vil få et nytt maksimum om ti år. Derfor vil det nærmeste decenniet fortelle oss om vi har med naturlige eller menneskeskapt variasjoner å gjøre. Dersom temperaturkurven flater ut eller vi får en synkende tendens, er det mye som tyder på at det dreier seg om naturlige variasjoner. Fortsetter temperaturen å stige også de neste ti årene, vil det være en bekreftelse på at det kan være en klimaendring på gang.

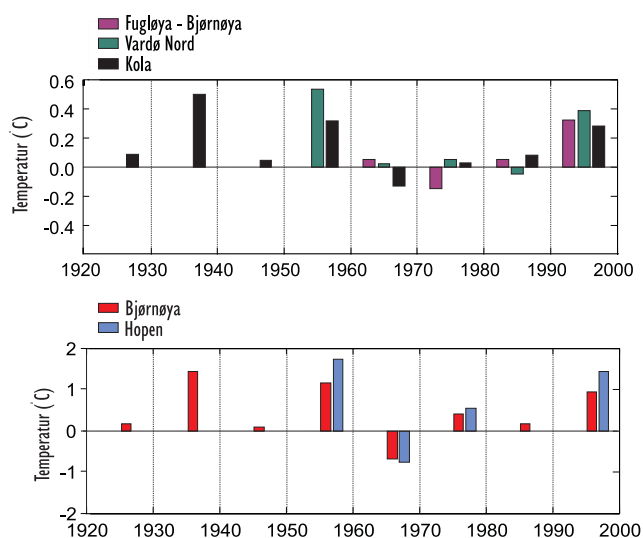
Bruker vi alle de eksisterende tidsseriene fra Barentshavet til å regne ut middelet for de ulike tiårene i det forrige århundret, finner vi et fellestrekk for alle tidsseriene som dekker de ulike periodene (Fig. 6.28). Her finner vi det samme resultatet både fra snittene i Barentshavet og de to meteorologiske stasjonene. 1990-årene var bare det tredje varmeste tiåret i det forrige århundret. Varmest var 1930-årene, fulgt av 1950-årene. Dette viser at det ikke er noe tegn til at vi nå er inne i en spesiell varm periode, og at vi har en global oppvarming på gang i dette området. Ser vi imidlertid på de siste 30-40 årene viser også Barentshavet en klar temperaturøkning fra 1960-årene og fram til i dag, men da skal vi også huske at 1960-årene var det tredje kaldeste tiåret i det forrige århundret. Hadde alle våre måleserier i Barentshavet startet i 1970-årene, hadde vi også her dratt den samme konklusjon som man gjør andre steder.

Konklusjon

Konklusjonen på dette er at den temperaturøkningen som har vært observert de siste 30 årene meget vel kan være en del av en naturlig syklus og at vi der-



Figur 6.27 Årsmiddel av temperatur i Kolasnittet i perioden 1900-2001 (blå kurve). Temperaturserien er også midlet over 5 år (rød kurve) og 30 år (grønn kurve). Annual mean temperature from the Russian Kola section (blue), while the red and blue lines show the result after applying 5 (red) and 30 (green) years filter.



Figur 6.28

Tiårsmiddel av temperaturavvik i de faste snittene Kola, Vardø-Nord og Fugløya-Bjørnøya i Barentshavet (øverst) og i lufttemperatur på Bjørnøya og Hopen (nederst).

Decadal temperature anomaly in three standard sections in the Barents Sea (upper panel), and from the meteorological stations at Hopen and Bear Island (lower panel).

med kan gå inn i en kaldere periode. I alle fall viser målingene at man skal være forsiktig med å trekke altfor sterke konklusjoner om klimaendringer ut fra korte tidsserier. For Barentshavets del må vi fortsatt ha ti nye år med temperaturøkning før vi kan si at vi har å gjøre med en menneskeskapt klimaendring.

Summary

Many scientists claim that the climate is changing, especially in the Arctic, and many evidences support this conclusion. However, many of the instrumental time series are short, e.g. information from satellites only go back to 1970. In the Barents Sea we have observations from the Russian Kola section back to 1900, and some Norwegian meteorological and oceanographical time series go back to the 1920ies and the 1950ies, respectively. These observations show that the 1990ies only was the third warmest decade in the last century, and that the warming we have observed since early in the 1970ies, may be part of a natural cycle, and not an evidence of global warming.

I 1936 startet Jens Eggvin, ved Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt, arbeidet med å etablere en rekke faste målepunkter hvor temperatur og saltholdighet ble målt i overflatelaget 8-10 ganger per måned fra rutegående skip langs kysten fra Oslofjorden til Kirkenes. Overvåkingen av havklimaet langs norskekysten var opprinnelig knyttet til fiskeriforskning. Senere er data fra disse såkalte termografstasjonene også blitt etterspurt av andre fagmiljøer, forvaltning, firma og enkeltpersoner. I dag måles temperatur og saltholdighet på 27 stasjoner fra Rogaland til Finnmark. Målingene foretas fra to hurtigruteskip mellom Bergen og Kirkenes og rutegående lastebåt mellom Bergen og Stavanger.

Kystklimaet i perioden 1940–2000

Langtidsendringene i temperaturen i det øvre vannlaget langs norskekysten ser en tydeligst ved å studere vintertemperaturene. I perioden 1940-2000 var det fire relativt varme vinterperioder med topper omkring 1950, 1960, 1975 og 1990-1992 (Figur 6.29). Fram til midten av 1980-årene var det en synkende langtidsrend i temperatur langs hele kysten fra Lista til Vardø (Tabell 6.4). Langtidsreduksjonen i temperatur mellom 1950 og 1989 varierte mellom -1.1 °C (ved Lista) og -0.30 °C (ved Folda). For å få et inntrykk av hvor store langtidsendringene

er i forhold til den naturlige temperaturvariasjon, er temperaturavviket (T-trend) sammenlignet med standardavviket i temperatur (T-stav). Tabell 6.4 viser at T-trend/T-stav varierte mellom -0.4 standardavvik ved Utsira (moderat avvik) til -1.2 standardavvik ved Vardø (stort avvik).

Den siste varmeperioden startet i 1988 og kulminerte i begynnelsen av 1990-årene (Figur 6.29). Særlig i kystvannet utenfor Sør- og Midt-Norge var det en betydelig temperaturøkning. Midlere vintertemperatur ved f.eks. Utsira økte fra ca. 4 °C i 1987 til nærmere 7 °C i 1990. Ved Folda på Trøndelagskysten økte temperaturen fra ca. 4.5 °C til 6.1 °C .

Vintertemperaturene langs de sørlige og sentrale delene av norskekysten omkring 1990 var de høyeste som er observert siden målingene startet i 1936 og trolig også de høyeste i de siste 130 år. Lenger nord var temperaturøkningen i 1990-årene betydelig mindre. Ved Loppa og Vardø var det faktisk varmere omkring 1960. Figur 6.30 viser at midlere temperaturøkning om vinteren i øvre lag av kystvannet i 1990-årene avtok nordover kysten: fra ca. $+1.5\text{ °C}$ på Skagerrakkysten til ca. $+0.1\text{ °C}$ på Finnmarkskysten. Også antall "varme" vintre i 1990-årene, hvor temperaturene i kystvannet var høyere enn 1.0 standardavvik over langtidsnormalen, avtok fra åtte på Skagerrakkysten til én ved Finnmarkskysten.

Tabell 6.4 Temperatur og saltholdighetstrender (T-trend, S-trend), standardavvik (stav) og normalisert trend (trend/stav) i øvre lag av kystvannet for utvalgte posisjoner fra Lista til Vardø 1950-1989. *Temperature and salinity trends (T-trend, S-trend) standard deviation (stav) and normalised trend (trend/stav) in the surface layer for selected positions along the coast during the period 1950–1989.*

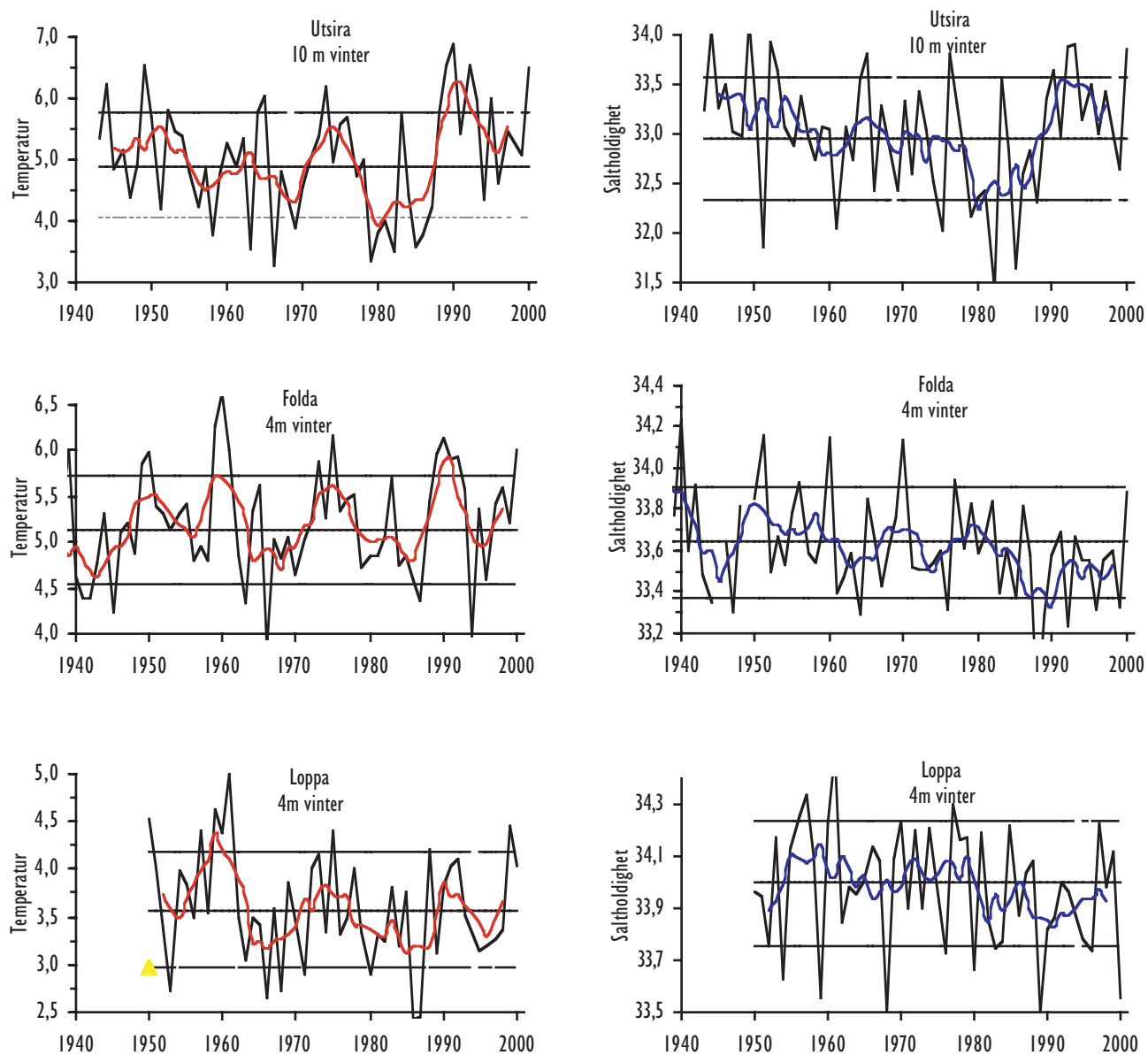
Stasjon	T-trend	T-stav	T-trend/T-stav	S-trend	S-stav	S-trend/S-stav
Lista	-1.08	1.23	-0.88	-1.48	1.14	-1.30
Utsira	-0.36	0.87	-0.41	-0.60	0.63	-0.95
Stad	-0.40	0.71	-0.56	-0.60	0.33	-1.82
Folda	-0.32	0.59	-0.54	-0.28	0.26	-1.08
Skrova	-0.48	0.61	-0.79	-0.14	0.38	-0.37
Loppa	-0.68	0.61	-1.11	-0.10	0.23	-0.43
Vardø	-0.68	0.58	-1.17	-0.11	0.18	-0.61

Hva skjedde med saltholdighetene og hvorfor?

Saltholdigheten langs kysten hadde en synkende tendens fra 1945/50 til slutten av 1980-årene, med den største endringen omkring 1980 (Tabell 6.4 og Figur 6.29). Den største langtidsreduksjonen i saltholdighet ble observert sør for Lofoten hvor f.eks. saltholdighetsreduksjon ved Stad var -0.6 og ved Folda -0.3 . For å få et inntrykk av hvor store langtidsendringene er i forhold til den naturlige saltholdighetsvariasjon er saltholdig-

hetsavviket (S-trend) sammenlignet med standardavviket i saltholdighet (S-stav). S-trend/S-stav varierte mellom -1.8 standardavvik (stort avvik) ved Stad til -0.43 (moderat avvik) ved Loppa. I siste del av 1980-årene og utover i 1990-årene var det en betydelig økning i vintersaltholdighetene i de sørlige kystområdene, mens de nord for Stad fortsatt lå lavere enn langtidsmiddelet.

Saltholdigheten i øvre lag av kystvannet er i stor grad styrt av ferskvannstilførselen fra land og tilførselen av salt atlantisk vann til kystvannet. Den forholdvis store saltholdighetsreduksjonen i kystvannet og da særlig fra omkring 1980, var trolig knyttet både til reduserte tilførsler av atlantisk vann til kystområdene og en betydelig økning av vinteravrenningen av ferskvann fra Nord-Europa og

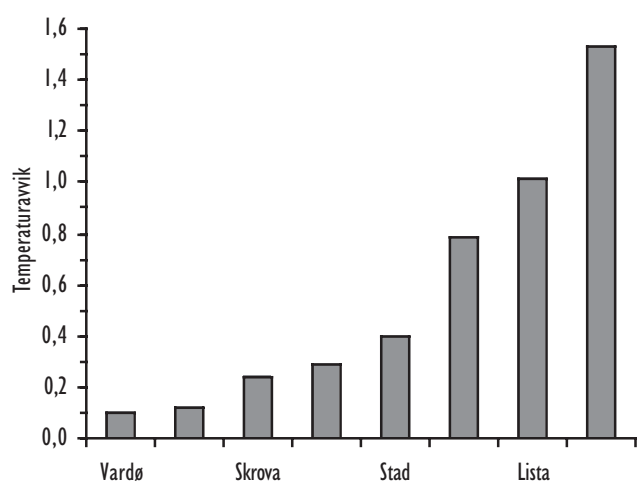


Figur 6.29 Midlere temperatur og saltholdighet i overflatelaget for første kvartal (jan.-mars) for Sør-Norge (Utsira), Midt-Norge (Folda) og Nord-Norge (Loppa). Den glattede kurven er fem års glidende middelerverdi. Mean temperature and salinity in the surface layer for the first quarter of the year (January-March) for Southern Norway (Utsira), Central Norway (Folda) and Northern Norway (Loppa). The smoothed line indicates five years sliding means.

norskekysten etter omkring 1980. I tillegg kan vi ikke se bort fra at økt vinteravrenning av ferskvann som følge av vannkraftutbygging kan ha påvirket saltholdighetene i kystvannet.

Hva forårsaket de høye sjøtemperaturene i 1990-årene?

Klimaet i kystvannet påvirkes av meteorologiske forhold (vind og vær) og tilførslene av varmt atlantisk vann. Milde vintre er koblet til sørlige vinder, som igjen intensiverer innstrømmingen av varmt atlantisk vann til Norskehavet og norskekysten. Det var nettopp en slik situasjon som startet i slutten av 1980-årene



Figur 6.30

Midlere temperaturøkning i 1990-årene i forhold til middelveiene for perioden 1940–1989.

Mean temperature increase during the 1990ies in relation to mean values for the period 1940-1989.

og fortsatte utover i 1990-årene. Fremherskende sørvestlige vinder i denne perioden førte til en betydelig økning i innstrømmingen av varmt atlantisk vann til Norskehavet og norskekysten. Det er beregnet at tilførslene av atlantisk vann til Nordsjøen i 1990-årene i gjennomsnitt var 1.6 standardavik større enn det normale for perioden 1955–1989. Den store temperaturøkningen og de høyere saltholdighetene i kystvannet fra 1988 og utover i 1990-årene, særlig sør for Lofoten, kan derfor klart knyttes til økte tilførsler av atlantisk vann. I tillegg bidro det varme vinterværet til redusert avkjøling av kystvannet i samme periode.

Temperaturene i øvre lag av kystvannet viste ingen langtidsøkning fra 1940 til 2000. Det blir imidlertid spennende å se om de høye vintertemperaturene i kystvannet utenfor den sørlige delen av norskekysten i 1990-årene fortsetter etter 2000.

Summary

Temperature and salinity in the surface layer along the Norwegian coast have been monitored since 1935. These data have been used to elucidate the long-term hydrographic variability during winter. Four relative warm winter periods could be identified. The long-term temperature and salinity trend (1950–1989) is negative. Along the southern Norwegian coast the 1990ies had the highest decadal mean temperature of the period. The importance of the 1990ies in the surface layer is gradually reduced northwards where other decades, such as the 1950ies or the 1960ies, show higher decadal mean temperature.

Atlantehavsstrømmen bestemmer vårt havklima

Varmt og salt vann fra Atlanterhavet strømmer inn i Norskehavet, hovedsakelig gjennom Færøysketlandkanalen. Endringer i volum og temperatur, dvs. varmeinnholdet i denne innstrømningen, er den viktigste årsak til havklimavariasjoner i våre farvann. De viktigste drivkreftene for endret innstrømning er variasjoner i den atmosfæriske sirkulasjonen. De temperaturendringer slike havklimavariasjoner fører med seg, kan ha store effekter på fiskebestander ved at de påvirker rekruttering, individuell vekst og geografisk fordeling av bestandene. Dersom vi kan varsle klimaendringer, vil dette kunne forbedre forvaltningen av våre fiskebestander.

Den årlige rapporten *Havets miljø* som publiseres av Havforskningsinstituttet, beskriver miljøtilstanden i norske kyst- og havområder. Tilstandsbeskrivelsen er basert på et observasjonssystem som består av faste målepunkter og snitt hvor det tas hyppige målinger gjennom året. I *Miljørapporten* for 1994 startet instituttet med å gi prognoser for havklimaet det kommende året. En stor del av norsk næringsvirksomhet er knyttet til havet, og mange har behov

for nøyaktige beskrivelser av nå-tilstanden i havet og for varsler om fremtiden. Ønsket varslingsperiode kan strekke seg fra noen dager opp til flere år. For fiskeri- og miljøforvaltningen derimot, vil klimavarsler på tidsskala fra sesong til noen år være av størst interesse.

To hovedstrategier: Statistiske/numeriske modeller eller den empiriske metoden?

Er det så mulig å varsle tilstanden i havet ett eller flere år frem i tid? Vi vet at de fysiske forhold i havet endrer seg mye langsommere enn i atmosfæren. Vanlige numeriske modeller kan ikke brukes i langtidsvarsling, da de meteorologiske drivkreftene som modellene trenger, ikke kan varsles for mer enn noen uker. Analyser av lange måleserier og bruk av forskjellige typer statistiske metoder kan gi veiledende resultater. Forutsetningen for å kunne stole på slike er at variasjonene i fremtiden vil gjenta seg etter det samme mønsteret som det vi finner i det historiske materialet. Boks 6.1 viser et eksempel på en observert og en beregnet og fremskrevet temperaturutvikling i Barentshavet.

Boks 6.1

Eksempel på klimaprognose fra rapporten *Havets miljø 1997*.
Example of a climate prognosis given in the 1997 edition of this publication.

Prognose 1997

Redusert tilstrømning av atlantisk vann til Norskehavet og/eller økt transport av arktisk vann fra Polhavet til Øst-Islandsstrømmen har i de senere år medført en generell nedgang i temperatur og saltholdighet i de øvre lag i Norskehavet. Denne situasjonen forventes å vedvare ut 1997. Den vestlige delen av Norskehavet mot Færøyene og Island vil fortsatt være karakterisert ved en sterk innflytelse av relativt ferskt og kaldt arktisk vann.

I Barentshavet vil temperaturen trolig bli ytterligere redusert i 1997, med verdier under langtidsnormalen. Isforholdene vil sannsynligvis forverres i forhold til foregående år, og isen forventes å strekke seg sør til 73° N i områdene omkring Sentralbanken.

I øvre vannlag langs kysten forventes temperaturen å ligge omtrent på normalt nivå, mens den i de dypere lag trolig vil bli redusert til verdier omkring langtidsmiddelet.

Etter den kalde vinteren i 1996 har forholdene normalisert seg, og temperaturen i de sentrale og sørlige delene av Nordsjøen forventes å ligge omkring langtidsnormalen. I den nordlige delen av Nordsjøen, derimot, vil redusert atlantisk innflytelse medføre temperaturer under langtidsnormalen.

En annen og mer subjektiv metode er “den empiriske”, eller forskernes akkumulerte erfaring av hvordan forskjellige typer havklimavariasjoner har artet seg i tidligere tider. Man gjenkjenner altså en historisk startsituasjon med kjent sluttresultat. Når den samme startsituasjonen dukker opp på ny, varsles det samme sluttresultatet. Dette bildet vil ofte kompliseres ved at variasjonsmønsteret kan endres fra en periode til en annen. Av og til ser vi tydelig at en temperaturpuls transporteres inn til våre farvann og forplanter seg nordover norskekysten og videre inn i Barentshavet, noe som kan gi grunnlag for en varsling. Andre ganger derimot, ser det ut for at en plutselig omlegging av temperaturforholdene inntreer samtidig over store havområder.

Varsler basert på empirisk metodikk

De årlige havklimavarslene som Havforskningsinstituttet har gitt ut siden 1994, bygger hovedsakelig på den “empiriske” metoden. Boks 6.1 viser et eksempel på slike. Varslene har vært koblet til biologiske forhold som rekruttering, individuell vekst og geografisk fordeling av fiskebestander. Våre fiskebestander er som regel i best forfatning og gir de sterkeste årsklassene i år med store tilførsler av atlantehavsvann og høye sjøtemperaturer. I denne evalueringen vil vi kun ta for oss varslene for temperaturendringene i havet og se på i hvilken grad disse slo til for perioden 1994–2001.

Hva varslet vi, og hvordan ble resultatet?

For hvert av årene 1994 til 2001 har vi vurdert prognosen om klimautviklingen i det aktuelle året og sammenlignet denne med hvordan situasjonen

ble ifølge *Miljørapporten* året etter. En evaluering av i hvilken grad varslene slo til må nødvendigvis bli subjektiv. Vi har for hvert av de aktuelle årene forsøkt å klassifisere kvaliteten på varslene i tre kategorier:

A) God

Her skal varslet slå til for alle de aktuelle havområdene ved at det gis riktige utviklingstrender samt at endringsgraden er noenlunde riktig estimert.

B) Moderat

Varslet for atlantisk innstrømning til Norskehavet slår til, men vi tar feil når det gjelder graden av innstrømning, avkjøling eller oppvarming i randområdene som Nordsjøen og Barentshavet.

C) Dårlig

Varslet for atlantisk innstrømning til Norskehavet slår ikke til, selv om varslene for randområdene var brukbare.

En vurdering av kvaliteten av varslene for perioden 1994–2001 gir følgende resultat:

1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
B	B	A	C	A	A	B	B

Konklusjonen er at til tross for at det metodiske grunnlag for disse varslene bygger på enkle forutsetninger, har varslene i stor grad slått til.

Var varslene nyttige og blir de brukt?

Varslene har vært brukt i forbindelse med tilstandsvurderingene av silde- og torskebestanden i de inter-



Figur 6.3 I

Er det mulig å varsle hvor mye is vi får i nordområdene neste år eller så langt frem som to til fem år?

Is it possible to forecast the ice cover next year?

nasjonale arbeidsgruppene. Den arktiske innflytelsen i det vestlige Norskehavet er direkte koblet til fordelingen av sildebestanden om sommeren og muligheten for å få sild inn i islandsk sone. Videre ble de brukt i vurderingen av mengde tilgjengelig torsk i Smutthullet under det internasjonale fisket der om sommeren.

Varslene burde i større grad kunne nyttes i arbeidet med å forvalte våre fiskebestander. Konklusjonen må bli at varslene er nyttige, og at arbeidet med å forbedre prognosene for tilstanden i havet bør være en prioritert instituttopp-gave. Det vil også være viktig å markedsføre varslene overfor aktuelle brukere og arbeide for at de blir bedre kjent og tatt mer aktivt i bruk innen fiskeriforvaltningen. I så fall må varslenes kvalitet gjøres bedre.

Hvordan kan varslene forbedres?

Et varsel bør bygge på det best mulig tilgjengelige grunnlaget. Varslene, slik de utarbeides i dag, bygger på erfaringen om hvordan det historiske klimaet har utviklet seg. Statistiske metoder og modeller har ikke vært tatt i bruk som en integrert del av vurderingsgrunnlaget. Flere institusjoner utarbeider klimaprognoser basert på internasjonale klimamodeller. Slike bør også tas med i vurderingen sammen med resultatene fra den statistiske behandlingen.

I tiden 1994-2000 har varslene vært utformet på noe forskjellig måte. Det vil være viktig at form og detaljeringsgrad på varslene tilpasses brukerne, og at varslene er mest mulig like fra et år til et annet. Dette vil også gjøre evalueringsarbeidet lettere. Det observasjonssystemet som ligger til grunn for klimavarslene, må også evalueres ut fra i hvilken grad disse målingene bidrar til en god tilstandsvurdering som utgjør grunnlaget for klimavarslene. Rask tilgjengelighet av data fra observasjonssystemet er helt nødvendig. På Værskipstasjon M i Norskehavet har man nå en forsinkelse på oppunder to år mellom

observasjonstidspunkt og når dataene er opparbeidet. Dette er ikke akseptabelt. Tidsserier fra numeriske modeller må i større grad være en del av grunnlaget for den tilstandsvurderingen som er utgangspunktet for prognosene.

Konklusjon

Havklimavarsler er viktige. Dersom man kunne forlenge varslingsperioden to til fem år fremover i tid, ville dette kunne få stor samfunnsmessig betydning. Norske forskningsprosjekter som NoClim og Bjerknessamarbeidet, har prosjekter som på lengre sikt kan bedre grunnlaget for klimavarsler. Vi kan imidlertid ikke vente med slike til vi har fått tilstrekkelig kunnskap. Det er nødvendig at arbeidet med klimavarslene gis høyere prioritet ved instituttet, slik at vi fullt utnytter de muligheter som allerede er tilgjengelige for å bedre kvaliteten på varslene. Etter hvert som forskningen bringer ny kunnskap tas denne i bruk i varslingsarbeidet. På den måten vil veien bli til mens vi går. Det bør videre vurderes hvorvidt det nylig etablerte *Nasjonalt råd for operasjonell marin overvåking og varsling* kan brukes for på nasjonalt plan å samordne den informasjon og innsikt som er nødvendig for å få frem best mulige klimavarsler.

Summary

Since 1994 scientists at IMR have worked out annual 1-year forecasts for sea temperatures in the Norwegian Sea and in the Barents Sea. The forecasts are mostly based on experienced correlations between heat flux changes in the Atlantic current and successive temperature changes in the Norwegian Sea and the Barents Sea. An evaluation of eight forecasts given for the years 1994-2001 shows three very successful, four fairly successful and one unsuccessful temperature prediction. Improved temperature prognoses are needed for fisheries and environmental assessments. Numeric/statistical modelling in combination with the presently used empiric methods can hopefully increase the forecasting reliability and extend the forecast period to two-five years.

Er utslippene av technetium-99 fra Sellafield farlige?

Hilde Elise Heldal og Lars Asplin

Fra 1994 og frem til i dag har utslippene av technetium-99 (Tc-99) fra Sellafield vært relativt høye sammenlignet med utslippene på 80-tallet og begynnelsen av 90-tallet. I denne artikkelen tar vi for oss bakgrunnen for de økte utslippene og følger dette har fått for norske kystområder.

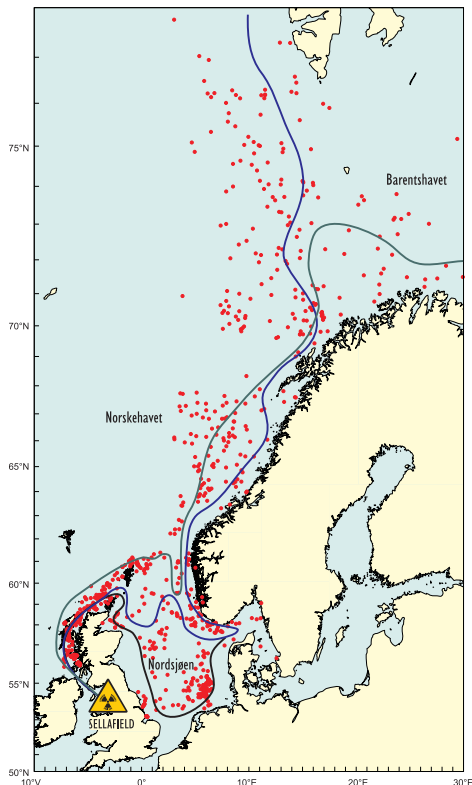
Hva er technetium?

Grunnstoffet technetium ble først påvist i 1937 i molybden som ble bestrålt med deuteroner (kjerner av ^2H). Det fikk navnet technetium fordi man trodde elementet bare kunne fremstilles kunstig (technos (gr.) = kunstig). Men en isotop av technetium, Tc-99, dannes også ved spontan spalting (fisjon) av uran-235 (U-235), og finnes derfor i spormengder i uranmalm. Det eksisterer 21 kjente isotoper av

technetium, men ingen er stabile. Tc-99 har en halveringstid ($t_{1/2}$) på 213 000 år, og sender ut lavenergi beta-stråling ($E_{\text{max}} = 293 \text{ keV}$).

Sellafield-anlegget

Sellafield ligger ved Irskesjøen på nordvestkysten av England (Figur 6.32). Anlegget består bl.a. av fire atomreaktorer som utgjør kjernekraftverket Calder Hall, og to gjenvinningsanlegg for brukt kjernebrensel. I atomreaktorene blir energi frigjort ved at kjerner av U-235 blir spaltet til spaltingsprodukter som f.eks. Tc-99 og cesium-137 (Cs-137). Etter en tids bruk blir brenselet så forurenset av spaltingsprodukter at det må erstattes av nytt brensel. I gjenvinningsanleggene blir brukt kjernebrensel behandlet slik at uspaltet U-235, som kan brukes i nytt brensel, blir separert fra spaltingsproduktene.

**Figur 6.32**

Transportruter og spredning av det radioaktive avfallet fra Sellafield, simulert med en tredimensjonal numerisk havmodell gjennom 30 måneder. De røde prikkene på figuren er "modellpartikler", som driver passivt, med vannmassene i ca. 50 m dyp. De "slippes løs", en hvert døgn, i en posisjon mellom Irland og Skottland. Spredningen av disse illustrerer den naturlige spredningen av radioaktivt materiale som stammer fra Sellafield. De heltrukne linjene (sort, grønn og blå) viser midlere transportruter som de fleste "modellpartiklene" har foretrukket, og er en indikasjon på strømsystemet i området.

Transport routes and dispersion of radioactive material from Sellafield as simulated for 30 months with a three-dimensional numerical ocean model. The red dots on the figure indicate passively drifting "model particles" at approximately 50 m depth. These are released one each day at a position between Ireland and Scotland. The particle dispersion illustrates the natural spreading of radioactive waste from Sellafield. The solid lines (black, green and blue) show the mean transport routes preferred by most of the "model particles", also indicating the mean current system of the area.

En del av avfallet fra denne prosessen, bl.a. Tc-99, blir sluppet ut i Irskesjøen. Av alt brukt kjernebrensel er det bare ca. 4-5 % som gjenvinnes, og dette skjer hovedsakelig i Storbritannia. Alternativet til å gjenvinne brukt kjernebrensel er å lagre det i sikre deponier, men da blir ikke alt U-235 utnyttet. Det er også mulig å kjemisk rense utslippene fra gjenvinningsanleggene for Tc-99.

Utslippene av Tc-99 fra Sellafield begynte allerede da det første gjenvinningsanlegget åpnet i 1952. Utslippene var lave gjennom 80-årene og frem til 1993 (Figur 6.33). I tilknytning til et av gjenvinningsanleggene ble det i 1994 åpnet et nytt renseanlegg, "the Enhanced Actinide Removal Plant" (EARP). EARP renser avfall for bl.a. plutonium og americium, men ikke for Tc-99. I årene før det nye renseanlegget åpnet, ble avfall lagret. Da EARP åpnet, startet utslipp av lagret og nytt avfall, noe som førte til at utslippene av Tc-99 økte kraftig. Utslipp av radionuklider som plutonium og americium ble imidlertid redusert.

Spredning av Tc-99 med havstrømmer

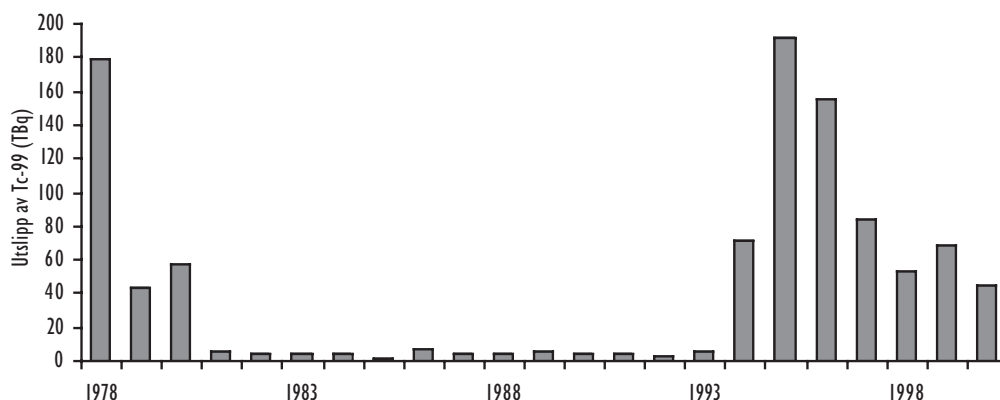
I sjøvann foreligger Tc-99 løst som pertechnetat (TcO_4^-). Dette er et såkalt konservativt ion, og kan antas å drive som passive "partikler" med vannmassene. Figur 6.32 illustrerer spredningspotensialet for en passivt drivende partikkel. I modellen som brukes blir partiklene "sluppet løs" i ca. 50 m dyp vest for Skottland hvert døgn med start 15. mars 1997. Forflytningen av partiklene med havstrømmene er beregnet ca. 2.5 år frem i tid. Røde prikker er posisjonene til partiklene, og en ser at hele norskekysten er eksponert. De grønne, blå og svarte

linjene viser midlere foretrukne transportruter, men den reelle forflytningen av de enkelte partiklene vil ikke følge slike glatte linjer, men derimot bevege seg i en langt mer krokete og snirklete rute. For å gjøre mer nøyaktige simuleringer av forflytningshastighet og fortynning underveis, må vi modifisere modellene våre noe.

Tc-99 i norske havområder

Fra 1994 har man fulgt transporten av Tc-99 fra Irskesjøen inn i Nordsjøen og nordover langs norskekysten. Undersøkelser gjort av Statens Strålevern og Institutt for Energiteknikk har vist at "Tc-99-fronten" (de første utslippene) nådde den sørvestlige delen av norskekysten etter ca. 2.5 år og den nordlige delen av norskekysten etter litt over 3 år. For å følge den videre spredningen av Tc-99, har Havforskningsinstituttet tatt vannprøver i Norskehavet, Grønlandshavet og utenfor Finnmarks-kysten i perioden 1998-2000. Prøvene er analysert ved CEFAS i Lowestoft, England. Resultatene viste at konsentrasjonene av Tc-99 har økt opp til 10 ganger i den nordlige delen av den norske kyststrømmen. Sommeren 2000 hadde fronten passert vest for Spitsbergen.

Den høyeste konsentrasjonen av Tc-99 i norske kystområder (6.5 Bq m^{-3}) ble målt nordvest for Bergen i november 1996. Denne konsentrasjonen tilsvarer ca. 0.1 pmol L^{-1} ($1 \times 10^{-13} \text{ mol l}^{-1}$). Dette er en så lav konsentrasjon at den i mange sammenhenger ikke vil kunne måles. Til sammenligning varierer deteksjonsgrensen for målinger av næringssalter fra $0.01 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ for PO_4^{3-} til $0.2 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ for NO_3^- . Men når det gjelder radioaktivitet, kan vi måle svært



Figur 6.33

Årlige utslipp av Tc-99 fra Sellafield i TBq (1 TBq = 1×10^{12} Bq) 1978-2000.

Yearly discharge of Tc-99 from Sellafield measured as TBq (1 TBq = 1×10^{12} Bq) 1978-2000.

lave konsentrasjoner med de instrumentene vi har i dag.

Sjøvann inneholder også mye naturlig radioaktivitet. Totalt er konsentrasjonen av naturlige radionuklider i sjøvann ca. 12 000 Bq m⁻³. Den mest dominerende naturlige radionukliden er kalium-40 (K-40) med en konsentrasjon på ca. 11 000 Bq m⁻³. Konsentrasjonen av Tc-99 utgjør mindre enn en promille av konsentrasjonen av de naturlige radionuklidene.

Opptak av Tc-99 i marine organismer

Opptak av Tc-99 i planteplankton og dyreplankton er lavt, men tang kan ta opp relativt mye. Store variasjoner i opptaket av Tc-99 har blitt observert for forskjellige skalldyr. Spesielt høyt opptak er påvist i hummer, opp til 37 000 Bq kg⁻¹ våtvekt er målt i hummer fra Sellafield-området. Dette er nesten 30 ganger høyere enn EUs tiltaksgrense for Tc-99, som er 1 250 Bq kg⁻¹ våtvekt. Det er påvist lavt opptak av Tc-99 i enkelte fiskeslag, men det er gjort få studier på fisk.

Målinger foretatt av Statens Strålevern indikerer at konsentrasjonene av Tc-99 i tang og hummer langs norskekysten økte som følge av de økte utslippene fra Sellafield. Den høyeste konsentrasjonen (42 Bq kg⁻¹ våtvekt) ble målt i en hummer fra Sunnhordland i desember 1997. Nye målinger viser imidlertid at konsentrasjonene av Tc-99 i hummer har avtatt de senere årene. En mulig årsak kan være reduserte utslipp fra Sellafield (se Figur 6.33).

Selv om undersøkelser indikerer at opptaket av Tc-99 i fisk er lavt, trenger vi mer informasjon om opptak i fisk som beiter på skalldyr og bunndyr som det har blitt påvist forhøyet opptak av Tc-99 i. Når det gjelder hummer, har laboratorieforsøk vist at opptaket av Tc-99 varierer fra organ til organ. Det har f.eks. blitt påvist høyere opptak av Tc-99 i urinblære, fordøyelseskjertel/mage og lever enn i andre organer. Dette kan også være tilfellet i andre organismer, og vi vet ikke hvilken betydning dette kan ha for de utsatte organene. Vi vet også svært lite om hvordan, og eventuelt i hvilke organer, Tc-99 tas opp i mennesker.

Stråledoser fra Tc-99

For å sette stråledosene vi får fra Tc-99 i et perspektiv, må vi sammenligne dem med de stråledosene vi får fra andre kilder. Totalt mottar en gjennomsnittsnordmann

omtrent 4 mSv (milli Sievert) per år. Dette kalles bakgrunnsdose. Noen av de viktigste kildene er radon, kosmisk stråling og medisinsk bruk av stråling. Hvis vi tar utgangspunkt i hummeren fra Sunnhordland som inneholdt 42 Bq kg⁻¹ våtvekt, kan vi regne ut at en person på 70 kg må spise 150 tonn av denne hummeren for å få en dose som er lik bakgrunnsdosen. En tysk studie av stråledoser til mennesker som spiser sjømat fra Nordsjøen viser at den totale stråledosen per år faktisk har avtatt fra 0.13 µSv/år til 0.08 µSv/år fra 1992 til 1998. Stråledosen fra Tc-99 har økt, men siden utslipp av andre radionuklider er redusert, har totalt mottatt stråledose avtatt. Her må det igjen understrekes at vi ikke vet hvor i organismen Tc-99 tas opp. Dersom opptaket konsentreres i sårbare organer, kan stråledosene til disse organene bli betydelige selv om den gjennomsnittlige stråledosen til hele kroppen er liten.

Britiske myndigheter har begrenset utslippene fra Sellafield slik at ingen skal få en høyere stråledose enn 0.5 mSv/år fra anleggets virksomhet. Realistiske estimater antyder at stråledosene til "kritisk gruppe" (de som spiser mye sjømat fra området rundt Sellafield), er rundt 0.1-0.2 mSv/år. Denne stråledosen er f.eks. mye mindre enn typiske stråledoser fra radon i Norge. Stråledosen fra Tc-99 til "kritisk gruppe" langs norskekysten vil være betydelig mindre enn stråledosen til "kritisk gruppe" ved Irskesjøen. Vi mangler imidlertid nøyaktige estimater på stråledoser til mennesker og miljø langs norskekysten fra Tc-99. For å kunne gjøre bedre estimater trenger vi mer informasjon om opptak og transport av Tc-99 i viktige marine næringskjeder. Vi trenger også mer informasjon om den norske befolkningens reelle konsum av sjømat.

Bør utslippene fra Sellafield stanses?

De stråledosene vi får fra naturlige kilder er mange tusen ganger høyere enn de vi får fra Tc-99. Det er derfor antatt at helserisikoen forbundet med dagens utslipp av Tc-99 er minimal eller fraværende. Finnes det likevel gode grunner til å stanse utslippene? En god grunn er omdømmet til norsk fiskerinæring. Dersom norsk fisk får rykte på seg for å inneholde radioaktiv forurensning, kan det bli vanskelig å få solgt fisken. Så lenge vi ikke har tilstrekkelig kunnskap om transport av Tc-99 i marine næringskjeder, og effekter av dette, bør vi heller ikke godta utslippene. Det generelle spørsmål som må stilles

er om det i det hele tatt er riktig å bruke havet som avfallsplass. Hvis svaret er nei, bør utslippene stanses.

I dag er norske havområder blant de reneste i verden, og det er slik vi ønsker at de skal være i fremtiden. Men for å kunne dokumentere at norsk fisk er ren, må vi utføre en kontinuerlig overvåkning. For å få mer informasjon om opptak av Tc-99 i marine organismer er det også nødvendig med en videre forskning på feltet.

Summary

In April 1994, a new waste treatment plant, EARP, began operation at the nuclear reprocessing facilities Sellafield, UK. EARP was introduced primarily to reduce the discharges of plutonium and americium, and does not remove technetium-99 (Tc-99) from the effluents. The discharges of Tc-99 from Sellafield into the Irish Sea have therefore increased significantly since 1994. In this article, we consider the consequences of the increased discharges for Norwegian coastal areas.

Mange hevder at Nordsjøen er sterkt belastet med næringssalter, og at denne tilstanden fører til bl.a. giftige algeoppblomstringer. Det er derfor internasjonal enighet om å redusere tilførslene av næringssalter til Nordsjøen. Dette havområdet er imidlertid et naturlig høyproduktivt område og har alltid vært det. Med utgangspunkt i kravet om å redusere tilførslene av næringssalter blir spørsmålet: er Nordsjøen negativt påvirket av næringssalter? Havforskningsinstituttet har overvåket Nordsjøen for å svare på dette.

Hvorfor overvåker vi næringssalter?

Forekomst av næringssalter i tilstrekkelig mengde, i et riktig innbyrdes mengdeforhold og i riktige dyp er grunnleggende for primærproduksjonen i havet. Primærprodusentene er energibinderne og første trinn i de marine næringskjeder. Produksjonsforholdene i et havområde og dermed hvor mye vi til sist kan høste på det ønskede trinn i næringskjedene, er nært knyttet til tilførslene av næringssalter til de produktive øvre lag i havet.

For store tilførsler av næringssalter og/eller med feilaktig innbyrdes mengdefordeling kan føre til uønskede algeblomstringer og i enkelte tilfeller masseblomstringer av skadelige alger. Overgjødning er i de aller fleste tilfeller en følge av tilførsler fra land og skapt av oss mennesker. Tilførslene er både diffuse som avrenning fra landbruket eller i form av direkte utslipp. De diffuse utslippene er vanskelige å regulere og kan for eksempel kreve omlegginger i landbruket, mens de direkte utslippene lettere kan kontrolleres ved innføring av renseanlegg.

De menneskeskapte, antropogene, tilførslene påvirker først og fremst fjorder og nære kystfarvann. I fjorder med dårlig vannutskifting og grunne terskler kan overgjødning føre til for stor tilførsel av primært produsert organisk materiale til de dypere vannlag. Organisk materiale forbruker oksygen når det brytes ned. Når oksygenet er brukt opp dannes det hydrogensulfid, H_2S , som er en giftig illeluktende gass. Kun enkelte typer bakterier kan leve under slike forhold. Det er flere eksempler på

norske fjorder med slike “døde” tilstander i indre og dype fjordbassenger. I de aller fleste fjorder av dette slaget skjer det utskiftninger av dypvannet med varierende mellomrom. Oslofjorden og spesielt den indre del er et godt eksempel på en fjord i en slik tilstand.

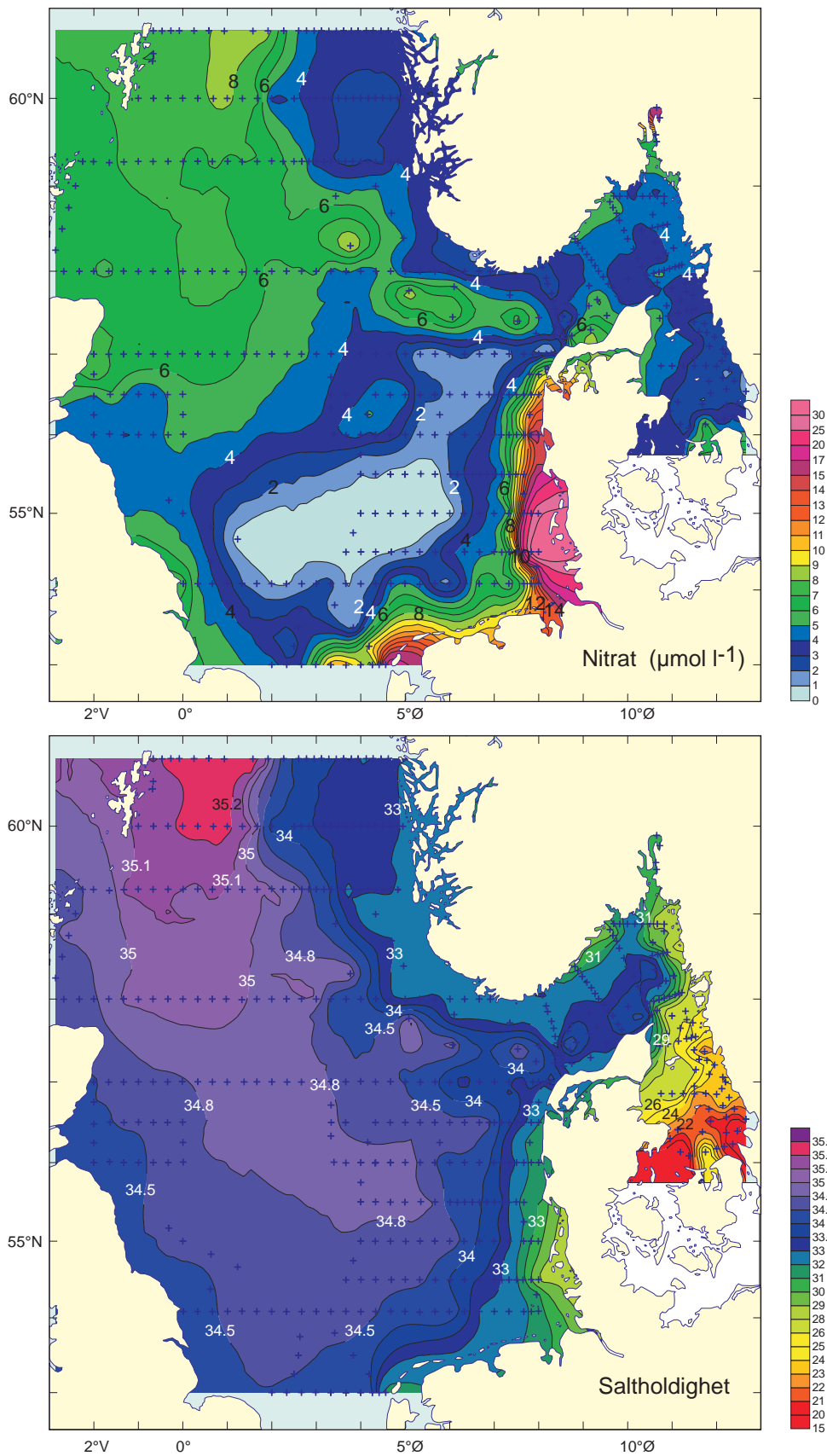
Norge ligger “nedstrøms” alle tilførsler fra land til Nordsjøen og Østersjøen. Dette reflekteres i registrering av langtransporterte miljøgifter i norske farvann. Når det gjelder tilførsel av langtransporterte næringssalter til våre farvann, har disse både en naturlig og en antropogen komponent. Overvåking av næringssalter er derfor en viktig forutsetning for å kunne vurdere hva som er langtransportert, hva som skyldes egne utslipp og hva som er et resultat av naturlige tilførsler. Data fra overvåkingen er også viktig for å kunne forutsi noe om sannsynligheten for uønskede algeblomstringer.

Verdien av en overvåking øker med antall år den pågår. Når det gjelder overvåking av næringssalter i områder som ikke er direkte knyttet til utslipp fra land, er det først ved lange systematiske tidsserier det er mulig å trekke konklusjoner om hvorvidt endringer i utslippene fører til endringer i næringssaltene forekomst og mengdemessig fordeling.

Næringssalter i Nordsjøen – overvåket i 20 år

I over 20 år er det blitt gjennomført en årlig overvåking av fordelingen av næringssalter i hele Nordsjøen i november-desember. Overvåkingen i 2001 synes foreløpig å være siste gang det blir gjort en slik grundig dekning av Nordsjøen. Dermed brytes en verdifull tidsserie. Toktene er også nyttet til overvåking av radioaktivitet, ungsild og brisling.

I en sen høst-/vintersituasjon, som november-desember, fører lysforholdene til lite plantevekst i sjøen og dermed lite forbruk av næringssalter. Mengden næringssalter som vi da måler vil være tilnærmet den mengden som er tilgjengelig når vårbloomstringen tar til i februar. Fordelingen av og mengden næringssalter senhøstes i sydlige del



Figur 6.34
 Fordelingen av nitrat og saltholdighet i 10 m dyp i Nordsjøen og Skagerrak.
 The distribution of nitrate and salinity in 10 m depth in the North Sea and Skagerrak.

av Nordsjøen vil fortelle noe om mulighetene for transport inn i våre områder kommende vår og dermed grunnlag for uønsket algevekst. Den langsiktige overvåkningen gir også mulighet til å vurdere hvorvidt tiltak for å begrense næringssalttilførselen til Nordsjøen gir merkbare resultater eller om tilførslene fortsatt øker. Dataene fra overvåkningen er også viktig for modelleringen av de årlige tilførslene av atlantehavsvann til Nordsjøen og Skagerrak.

Figur 6.34 viser horisontalfordelingen av nitrat i 10 m dyp. Enkelte karakteristiske trekk i fordelingsmønsteret for nitrat går igjen fra år til år. I den sydlige sentrale del av Nordsjøen finner vi et nitratminimum fra Doggerbanken og nordøstover til munningen av Skagerrak. Dette området med svært lave nitratverdier, under $2 \mu\text{mol NO}_3^-$ per liter, har imidlertid relativt høye nitrittverdier, noe som tyder på at det skjer en betydelig nedbrytning av organisk materiale i denne vannmassen.

Tilførslene fra land er tydelig markert i sydlige Nordsjøen, hvor tilførslene er klarest markert i Tyskebukta nord for Helgoland. Nitratkonsentrasjonen i de grunne områdene innerst i Tyskebukta og nordover langs Jyllands vestkyst varierer imidlertid betydelig fra år til år. De høyeste verdiene finner vi vanligvis på stasjonene nærmest land på det faste snittet på $54^\circ 30' \text{ N}$ rett nord for Helgoland. Her har vi målt fra de laveste konsentrasjoner mellom $12\text{--}15 \mu\text{mol NO}_3^-$ per liter til de høyeste mellom 40 og $45 \mu\text{mol NO}_3^-$ per liter. I 2001 registrerte vi i dette området verdier så vidt over $30 \mu\text{mol NO}_3^-$ per liter og fosfatverdier over $1.5 \mu\text{mol PO}_4^{3-}$ per liter. Figuren viser også at konsentrasjonen av nitrat avtar gradvis nordover langs Jyllands vestkyst, og våre observasjoner tyder ikke på spesielle tilførsler inn i Skagerrak på denne tiden av året. Dette er forøvrig et bilde vi har registrert i alle de over 20 år vår overvåkning har pågått.

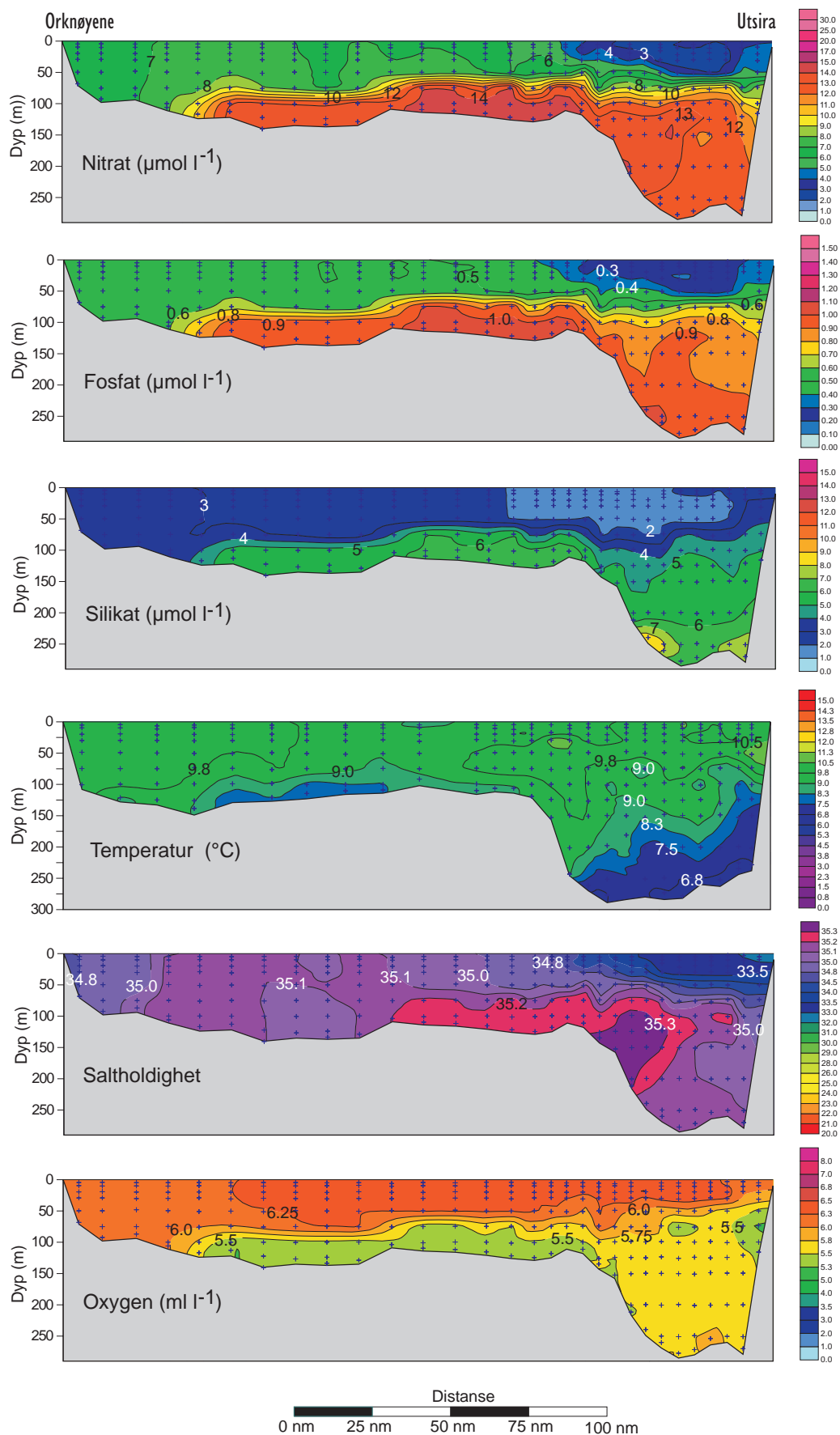
Nitratverdiene slik det framgår av Figur 6.34 og de andre næringssaltverdiene i Kattegat er også lave, og gjenspeiler hverken de forventede tilførslene fra Østersjøen eller belastningen fra landbruk og byer i området. Tidligere års klorofyllmålinger viser imidlertid at det foregår en betydelig primærproduksjon i Kattegat selv på denne tiden av året. Dermed vil antropogene tilførsler bindes i organisk materiale. I så måte kan Kattegat oppfattes som et stort biologisk renseanlegg.

Atlantehavsvann inneholder mye næringssalter

De største tilførslene av næringssalter til Nordsjøen kommer med innstrømmende atlantehavsvann. Denne innstrømmingen går klart fram av Figur 6.34, nederst, som viser fordelingen av saltholdighet i 10 m dyp. Innstrømming av atlantehavsvann skjer ikke bare i overflatelagene, men også langs vestskråningen av Norskerenna.

Figur 6.35 viser vertikalfordelingen av nitrat, fosfat, silikat, oksygen, temperatur og saltholdighet i et snitt som krysser Nordsjøen fra Utsira til Start Point på nordspissen av Orkenøyene. Her er kjernen av atlantehavsvann med høy saltholdighet, over 35.2, tydelig og med korresponderende høye næringssaltverdier. Innstrømmingen fortsetter inn i Skagerrak, noe som også tydelig framgår av Figur 6.36. Den viser fordelingen av de forskjellige miljøvariablene i et snitt fra Torungen utenfor Arendal til Hirtshals i Danmark. Det innstrømmende atlantehavsvannet er rikt på næringssalter og er årsaken til at Skagerrak alltid har hatt en mye høyere produksjon per flateenhet enn resten av Nordsjøen.

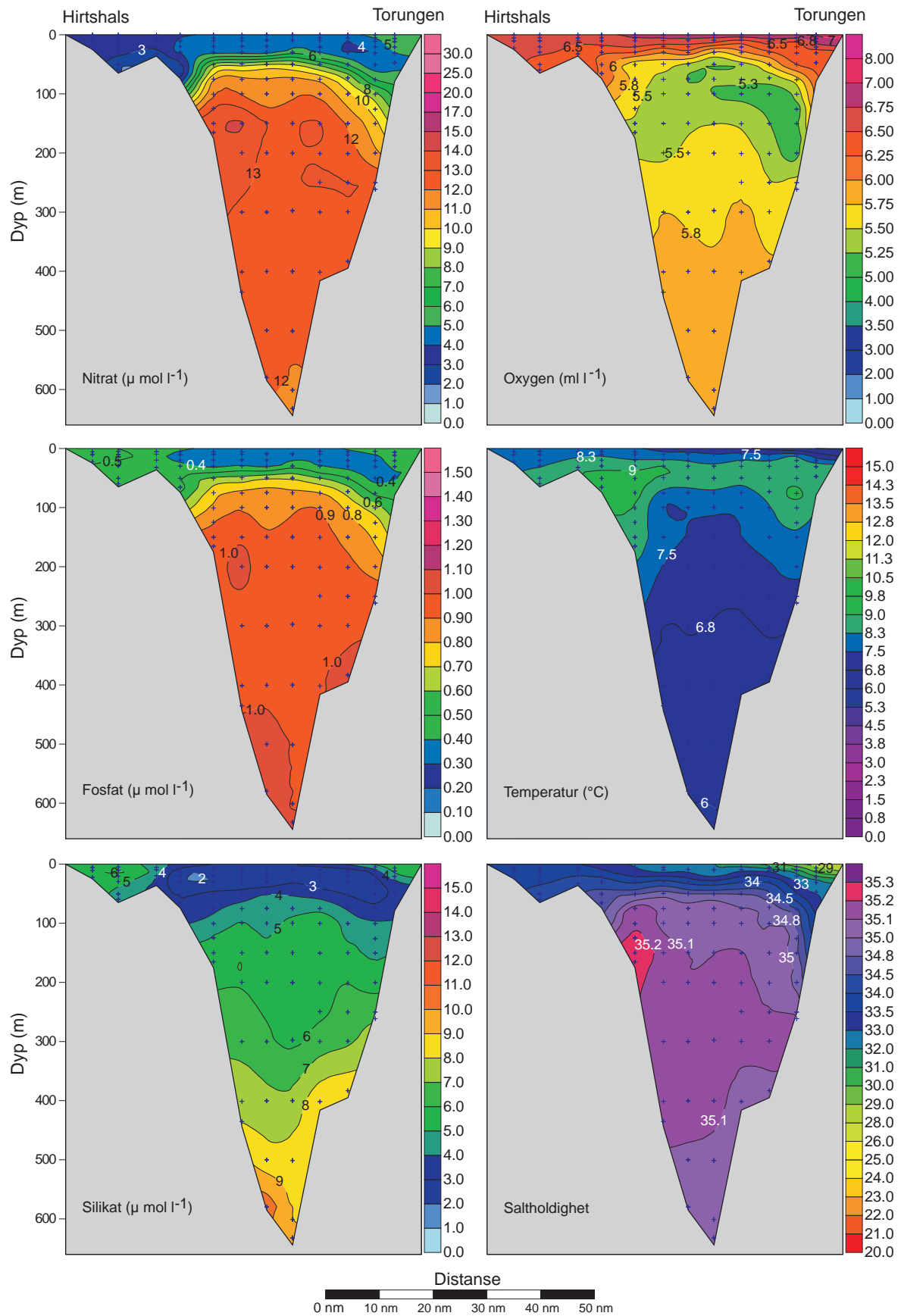
Vertikalfordelingen av næringssalter over bankområdene i nordlige Nordsjøen i en sen høst-vintersituasjon viser et karakteristisk mønster som vi finner igjen hvert år. Det synes som om det over bankområdene bygger seg opp et sjikt fra bunnen og oppover, med forholdsvis høye næringssaltkonsentrasjoner slik dette framgår av Figur 6.35. Oksygenmengden er også redusert i de samme vannlagene. Dette tyder på at de relativt sett høye næringssaltverdiene skyldes remineraliseringsprosesser hvor organisk materiale nedbrytes under forbruk av oksygen og næringssaltene frigjøres. For at disse prosessene skal kunne foregå innenfor et slikt relativt sett avgrenset område, må vannmassene her holdes i ro. Denne opphopingen av næringsrike vannmasser over deler av Nordsjøplatået registrerer vi tydeligst på snittene fra Feie-Shetland på $60^\circ 45' \text{ N}$ og Utsira-Start Point på $59^\circ 19' \text{ N}$. Det næringsrike vannet ligger nærmest som en pølse sydover fra Tampen til ca 58° N . En forklaring på denne opphopingen av næringssalter kan være at det dannes en stor bakevje over dette området, slik at organisk materiale samles og holdes i ro for nedsynkning og nedbrytning i vannmassene nær bunnen av dette nordlige Nordsjøplatået.



Figur 6.35

Vertikalfordelingen av nitrat, fosfat, silikat, temperatur, saltholdighet og oksygen på et hydrografisk snitt som krysser Nordsjøen fra Utsira til Start Point nord på Orkenøyene.

The vertical distribution of nitrate, phosphate, silicate, temperature, salinity and oxygen at the cross-section at 59° 19' N, from Utsira, western Norway, to Start Point, northern Orkeney islands.

**Figur 6.36**

Vertikalfordeling av nitrat, fosfat, silikat, oksygen, temperatur og saltholdighet mellom Torungen utenfor Arendal og Hirtshals i Danmark.

The vertical distribution of nitrate, phosphate, silicate, oxygen, temperature and salinity between Arendal in southern Norway to Hirtshals in Denmark.

De hydrografiske forholdene gjør at denne sjiktingen, hvor vi observerer et dyplag over bunnen med høye næringssaltverdier senhøstes, brytes ned senere på vinteren. På denne måten blir de akkumulerte næringssaltene gjort tilgjengelig for ny produksjon til våren.

Dersom tilførslene av antropogene næringssalter til hele Nordsjøen skulle øke med årene, burde vi også registrere en økning i dyplagene over det nordlige Nordsjøplatået, dette som følge av at økt produksjon av organisk materiale blir fraktet til disse områdene med strømsystemene.

Vannet i Kyststrømmen fra Svenskegrensa til nord for Bergen, det området vår overvåkning har dekket, er på denne årstiden karakterisert ved lave næringssaltverdier slik dette framgår av figurene. Det er bare i Indre Oslofjord vi finner slike høye næringssaltverdien som innerst i Tyskebukta.

Konklusjon

Det er kun innerst i Tyskebukta, langs Jyllands vestkyst samt nær kysten av Nederland vi finner spesielt høye næringssaltkonsentrasjoner og en viss ubalanse i forholdet mellom nitrogen og fosfor. Ubalansen tyder på at dette er antropogene tilførsler. I Norge er indre Oslofjord tilsvarende påvirket. Stor avrenning

fra land syd i Nordsjøen tidlig på året kan enkelte år skape næringssaltsituasjoner hvor det antropogene bidraget er helt dominerende også langs den norske Skagerrakkysten.

Hovedmengden av næringssalt til Nordsjøen kommer imidlertid med det innstrømmende atlantehavsvannet. Disse næringssaltene har ikke en antropogen opprinnelse. Fordi det ikke kan skilles mellom antropogent tilførte næringssalter og naturlig forekommende, må hele Nordsjøen fra Den engelske kanal i sør til Tampen i nord overvåkes. Bare med en slik bred dekning er det mulig å få et kvantitativt og kvalitativt bilde av tilførsler og transportveier og dermed grunnlag for dokumentasjon av overgjødsling.

Summary

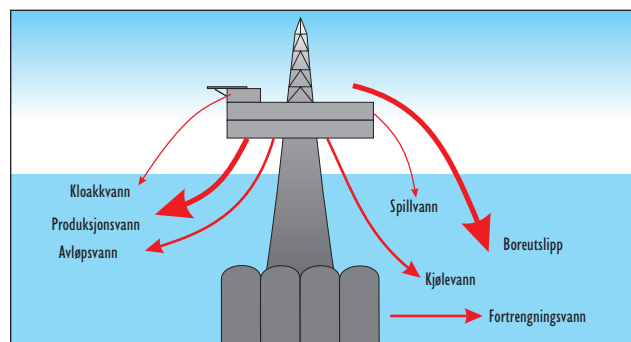
The need for long time series in monitoring of nutrients in the North Sea is discussed. Since the sources for nutrients are both anthropogenic and natural, it is important to cover as wide an area as possible. This is in particular important when data from monitoring are used to calculate inputs, describe transport routes and model production. IMR has monitored nutrients in the North Sea for more than 20 years. From 2002 this monitoring will be terminated.

Fra oljevirkosomheten på norsk sokkel slippes det ut store mengder såkalt produsert vann. Jo eldre et felt blir, jo mer produsert vann slippes ut, og det er ikke uvanlig at på slutten av feltets levetid er opptil 98% av det som pumpes opp fra brønnen produsert vann. I løpet av et oljefelts økonomiske liv kan mengden produsert vann være dobbelt så stor som mengden olje som er tatt opp (Figur 6.37). Hvilke konsekvenser de store utslippene har på det marine miljø bekymrer både oljeselskaper, myndigheter, den vanlige mann og ikke minst en rekke vitenskapelige miljøer.

Hva er produsert vann og hvor mye slippes ut?

Produsert vann er vann som følger med olje og gass fra reservoarene og som separeres fra olje og gass på plattformen eller produksjonsskipet. Produsert vann består av formasjonsvann, dvs. vann som naturlig befinner seg i den geologiske strukturen, og vann injisert i reservoaret for å opprettholde trykket. Det produserte vannet renses for olje ned til maksimum 40 mg l⁻¹ og slippes deretter for det meste ut i sjøen. En mindre del reinjiseres i reservoaret. Utslippsgrensen på 40 mg l⁻¹ gjelder dispergert olje. Det finnes ingen tilsvarende grense for oppløste komponenter. I tillegg til rester av olje inneholder vannet kjemikalier og stoffer som finnes naturlig i reservoarene, som metaller, alkylfenoler og aromatiske hydrokarboner (inklusive PAH). I 2000 ble det sluppet ut i overkant av 44 tonn alkylfenoler på norsk sokkel i forbindelse med produksjonsvann-utslipp.

Plattformen som har lagerceller for olje slipper også ut såkalt fortrenningsvann sammen med det produserte vannet. I tillegg kommer dreneringsvann fra dekket på plattformene som også kan inneholde olje. I 2000 kom 2 817 tonn av oljeutslippene fra produsert vann, mens 342 tonn skrev seg fra fortrennings- og dreneringsvann. Resten av de totale utslippene på 3196 tonn på norsk sokkel skyldtes stort sett akuttutslipp i forbindelse med operasjoner på installasjonene. Figur 6.38 viser utviklingen i mengde produsert vann og utslipp av olje til sjø på norsk sokkel.



Figur 6.37

Utslipp til vann fra en oljeproduksjonsplattform. Discharges to water from an oil production platform.

Utslippene bare øker og øker

Norsk oljevirkosomhet er nå inne i en periode der utslippene av produsert vann fra olje- og gassvirkosomheten øker sterkt (Figur 6.39). Fra et utslipp på 26 millioner m³ i 1993 ventes utslippet i 2001 å være på 120 millioner m³. Dette skyldes at mange olje- og gassfelt begynner å tømmes. I tillegg kommer betydelige utslipp fra engelsk sone.

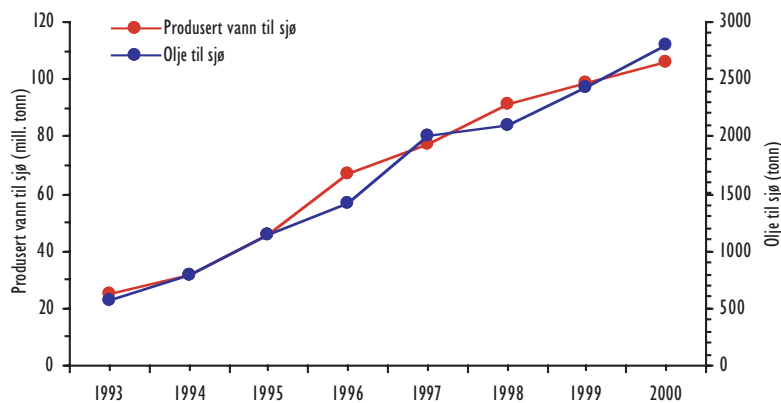
Hva består det produserte vannet av?

Komponentene grupperes i følgende kategorier: Dispergert olje, løste oljekomponenter, tungmetaller, radionuklider, tilsetningskjemikalier, salt og løst oksygen (lave mengder).

Deler av det produserte vannet har vært i kontakt med de oljeførende lag i millioner av år. Sammensetningen er derfor feltavhengig og vil også kunne forandre seg i løpet av produksjonstiden, da stadig mer vann må injiseres i strukturen for å opprettholde trykket.

Effekter av forurensning på formeringsevne

Forurensning kan ha en dyptgripende effekt på fiskens formeringsevne. Siden begynnelsen av 1990-tallet er det satt skarpt fokus på såkalte hormonforstyrrende stoffer. En lang rekke kjemiske forbindelser er påvist å "etterligne" hormoner eller på annen måte påvirke hormonbalansen og dermed forstyrre den naturlige reproduksjon. Bekymringen gjelder først og fremst kjemikalier med "østrogenhermende"

**Figur 6.38**

Mengde produsert vann og utslipp av olje i perioden 1993-2000. (Kilde: SFT, OLF).

Amount of produced water and discharged oil during the period 1993-2000.

effekter, men det rettes også oppmerksomhet mot andre hormonklasser som det androgene system og tyroksinhormonene. Blant stoffer som er påvist å ha østrogenforstyrrende effekter finner vi alkylfenoler, ftalater, bisfenol A, PCB, dioksiner og pesticider som klordane, dieldrin, DDT og dens metabolitt DDE.

Kjønnsutviklingen hos fisk innebærer "kritiske vinduer" i de tidlige livsstadier, hvor fisken er spesielt følsom for hormonelle påvirkninger og hvor kortvarig eksponering eller lave konsentrasjoner kan få store og irreversible konsekvenser.

Sårbarhet for østrogenpåvirkning i de tidlige livsstadier gjenspeiler seg også i funn fra felten. Den tydeligste dokumentasjon på hormonforstyrrelser hos fisk kommer fra rapportene om feminisering av hannfisk.

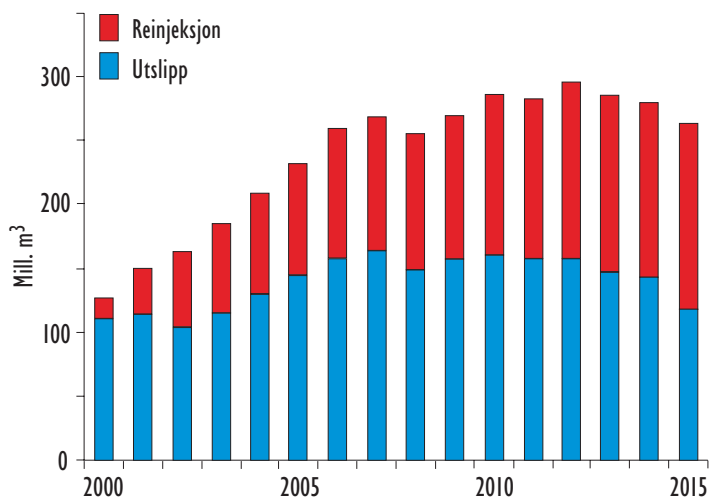
Plommeprotein vitellogenin (VTG) er en følsom biomarkør som blir omfattende brukt i studier av effekter av østrogenhermere på fisk. Selv om VTG

er et protein spesifikt for hannfisk, har også hannfisk hele systemet som trengs for VTG-proteinsyntese. Østrogen inducerer VTG-syntese i leveren både hos hann- og hannfisk. Forhøyede VTG-nivåer i hannfisk kan derfor brukes som indikasjon på østrogenpåvirkning.

Selv om det har vært gjort omfattende feltundersøkelser, stammer størsteparten av bevisene for hormonforstyrrelser forårsaket av hormonhermere fra laboratoriestudier. Det er blitt kritisert at mange av disse undersøkelsene er gjort med urealistisk høye konsentrasjoner sammenlignet med de konsentrasjonene en faktisk finner i miljøet. Det etterlyses flere feltstudier og lavere og mer realistiske konsentrasjoner for laboratoriestudiene samt større vektlegging på langtidseffektene.

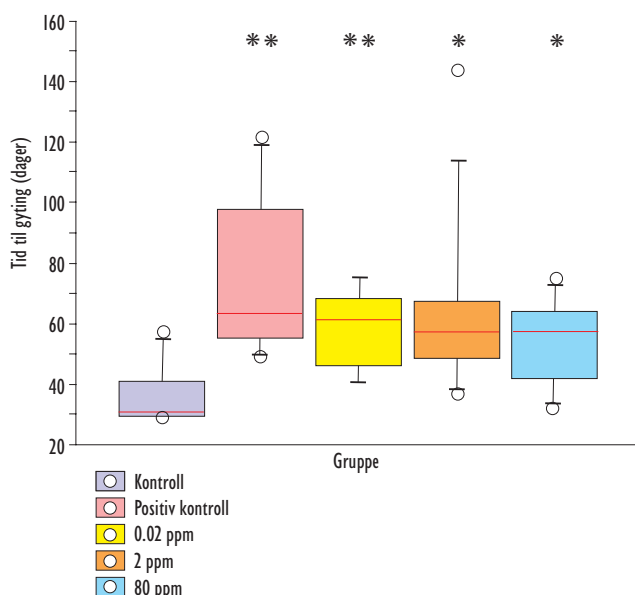
Alkylerte fenolers hormonelle innvirkning på torsk

På grunnlag av de store mengdene produsert vann som slippes ut og det store innholdet av

**Figur 6.39**

Prognose for utslipp og reinjeksjon av produsert vann. (Kilde: Miljøsok 2000).

Prognosis of water production from Norwegian oil and gas production platforms.



Figur 6.40

Tid til gyting (dager). Tid til gyting er en funksjon av folikkelstørrelse. Bokplot: viser median (strek), 25-75 prosentil (boks), 10-90 prosentil (vertikal linje) og alle observasjoner utenfor 10 og 90 prosentil som punkt. * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$.

*Time to spawning (days). Time to spawning depends on follicle size. Boxplot: indicates median (line), 25-75 percentile (box), 10-90 percentile (vertical line) and all observations beyond 10 and 90 percentile as points. * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$.*

alkylfenoler og evnen denne stoffgruppen har til å fremkalle østrogenforstyrrende effekter, startet Havforskningsinstituttet i 1997 opp et bredt anlagt prosjekt for å undersøke mulige effekter. Torsk ble valgt som testorganisme siden torsk er Norges viktigste art innenfor fiskeri.

Effekter på hunnfisk

Undersøkelsen viste at alkylfenoler reduserer østrogennivået hos hunnfisk selv ved meget lave doser. Omregnet i teoretiske vannkonsentrasjoner fant en effekt helt ned til 0,032 ppb (eksponering med 20 ppb), som var det laveste nivå som ble undersøkt. Dette er meget lave konsentrasjoner som kan forventes i områder i nærheten av oljeplattformer. Effekter ved enda lavere konsentrasjoner kan ikke utelukkes. Rognen i den eksponerte fisken utviklet seg senere enn normalt og førte til nedsatt gonadosomatisk indeks (rognens vekt i forhold til hele fiskens vekt) i forhold til kontroll. Torsken som ble eksponert for den laveste dosen alkylfenoler fikk beregnet gytestart 21 dager senere enn kontrollgruppen. Eksponeringstiden var fem uker (Figur 6.40). Forsinket gyting kan ha

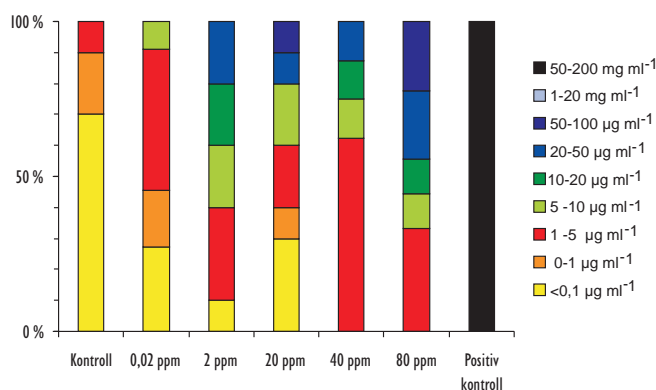
meget stor innflytelse på bestandens formeringsevne, og det er alvorlig hvis tilsvarende forsinkelse kan finne sted i naturlige bestander. Fiskeartenes gytetidspunkt er evolusjonsmessig tilpasset det tidspunkt på året da yngelen finner mest mat. Forskyvning av gytetidspunkt kan således medføre at yngelen ikke lenger har optimale ernæringsforhold og at færre individer vil overleve.

Effekter på hannfisk

Nivået av det hannlige kjønnshormon testosteron avtok i torsk som ble eksponert for alkylfenoler. Disse fiskene begynte også å produsere plomme-masseproteinet vitellogenin, noe hannfisk normalt ikke skal gjøre (Figur 6.41). Det var også en betydelig endring i modningsmønsteret for testis. Andelen spermatozoa (sædceller) ble redusert ved eksponering. Ved den laveste dosen ble også total mengde spermatozoa redusert. Samtidig oppsto en opphopning av spermatogonia og spermatocytter (tidlige stadier av sædceller). Disse effektene vil trolig redusere hannfiskens befruktningsevne, noe som i så fall vil forsterke konsekvensene av det utsatte gytetidspunktet for hunnfisken.

Konklusjon

Resultatene viser at eksponering for alkylfenoler, som er en viktig bestanddel i produsert vann, kan ha alvorlige konsekvenser for torskens formeringsevne. Selv ved lave konsentrasjoner i sjøvann, som dem man kan



Figur 6.41

Intervallinndeling av VTG-nivåer i hannfisk fra en prøve. Kontroll, positiv kontroll (5 ppm E2), 0.02 ppm, 2 ppm, 20 ppm, 40 ppm og 80 ppm alkylfenol-eksponerte grupper.

Interval division of VTG-levels in male fish from one sample. Control, positive control (5 ppm E2), 0.02 ppm, 2 ppm, 20 ppm, 40 ppm og 80 ppm alkylphenol exposed groups.

forvente i områder rundt plattformer, påviste vi effekter. Det er nødvendig at undersøkelsen følges opp med feltstudier både i nærområdene rundt plattformene og i områder med høy oljeut-vinningsaktivitet. Konsentrasjonen av ulike produk-sjonsvannkomponenter i sjøvann og organismer må kartlegges, og faremomentet for fisk og andre organismers formeringsevne og eventuelle andre langtids-effekter må undersøkes.

Summary

Production water discharged from offshore oil and gas

industry contains small amounts of alkylated phenols of which some have the potential for endocrine disrupting effects. This article reports results from a study of the biological effects on hormones and reproduction in cod of alkylated phenols. The sex hormones of both female and male fish were considerably affected resulting in a lower gonadosomatic index, delay of maturation of the gonads and postponement of spawning. These findings indicate that small amounts of these substances may have a severe influence on fish stocks.

Hvor mye oppdrett tåler norske kyst- og fjordområder?

Jan Aure og Arne Ervik

Havet skal være reint og produktivt, dette gagnar både naturen og våre økonomiske interesser. Påvirkning og forurensning av det marine miljøet får derfor stadig større oppmerksomhet, og de som bruker havet møter et økende krav om overvåkning og dokumentasjon av påvirkningen. Fiskeoppdrett har nå fått et omfang som gjør at mange spør om vi ikke nærmer oss grensen for hvor mye kysten tåler. Fortsatt vekst avhenger av at vi kan forutsi og kontrollere miljøpåvirkningen og sikre at den holdes innenfor forsvarlige grenser.

Hvordan påvirker oppdrett omgivelsene?

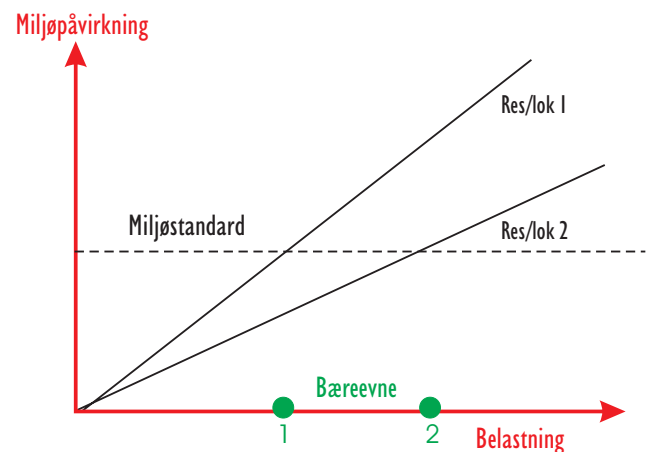
Oppdrett påvirker omgivelsene på mange måter. Myndighetene har i prioritert rekkefølge vurdert de viktigste miljøvirkningene til å være: genetiske interaksjoner mellom rømt oppdrettsfisk og villfisk, overføring av sykdom og parasitter til villfisk, effekter av legemidler og kjemikalier og gjødslingseffekter fra plantenæringsstoffer og organisk stoff. Noen av disse påvirkningene, spesielt genetiske interaksjoner, regnes for å være irreversible, og derfor særlig alvorlige. For andre, slike som næringssalter og organisk stoff, vil virkningen bli mindre dersom utslippene reduseres. Disse utslippene er allerede store, men de er så spredte at effektene av næringssalter er små. For organisk stoff blir det nå innført bestemmelser som regulerer den lokale påvirkning (*Havbruksrapporten 2001*).

Situasjonen kan imidlertid forverre seg dersom oppdrettsnæringen fortsetter å vokse, eller dersom nye lokaliseringstrategier fører til større produksjon innen ett område. "Klynger" av oppdrettsanlegg har flere fordeler: smitteoverføring reduseres, en får frigjort sjøområder til annet bruk og en muliggjør en mer rasjonell drift. Denne utviklingen kan gå fort, og det kan derfor være grunn til å se nærmere

på hvordan næringssalter og organiske avfallsstoffer påvirker det marine miljø i oppdrettsområder.

Hva bestemmer bæreevnen?

Bæreevnen er den største produksjon av oppdrettsfisk eller skjell en kan ha i et område uten å overskride de fastsatte grenser for akseptabel miljøpåvirkning (miljøstandarder). Dette gjelder både lokalt ved anleggene og over større områder. Bæreevnen er altså bestemt både av de naturgitte forholdene i en resipient slik som strøm, dyp og topografi og av gitte miljøstandarder. Dette er illustrert i Figur 6.42. Som nevnt er det fastsatt miljøstandarder for lokal påvirkning av organisk stoff, men ikke for regional

**Figur 6.42**

Prinsippskisse for sammenhengen mellom miljøpåvirkning, miljøstandard, bæreevne og belastning for ulike lokaliteter.

A simple interactive model for environmental load, environmental influence, environmental standard and carrying capacity on different localities.

miljøpåvirkning av næringssalter og organisk stoff. Spørsmålet om hvor mye oppdrettsnæringen kan produsere i framtida avhenger derfor naturlig nok av hvor mye påvirkning vi kan godta, eller sagt på en annen måte, av hvilke miljøstandarder myndighetene fastsetter.

Lokal bæreevne

Dyp og strøm

Bæreevnen for en lokalitet avhenger først og fremst av strøm og dybdeforhold. Strømmen kan vi her dele i tre deler: Overflatestrømmen skifter ut vannet inne i anlegget og er bestemmende for miljøforholdene inne i merdene, strømmen mellom merdene og bunnen sprer partiklene som synker ut av anleggene, mens strømmen nær bunnen påvirker nedbrytningen av fôrrester og ekskrementer fra fisken.

Dybdeforholdene på en lokalitet er viktige. Figur 6.43a viser at mengden fisk i et standardanlegg kan økes fra 60 til 250 tonn når dybden økes fra 30 til 80 m, dvs. bæreevnen firedobles! De gode dybdeforholdene vi har langs kysten er da også en av hovedgrunnene til den suksessen oppdrettsnæringen har hatt i Norge.

Utformingen av anleggene og lokalisering

Merdstørrelsen og avstanden mellom merdene har betydning for hvor mye fisk som kan produseres på en lokalitet. Det samme har driften av anlegget og synkehastigheten på fôrrester og ekskrementer. Et forhold som kanskje ikke har fått så stor oppmerksomhet er forskjellen på kompaktanlegg der merdene ligger i rekker på begge sider av en midtgang og anlegg der merdene ligger mer fritt i sjøen. Figur 6.43b sammenligner bæreevnen mellom et kompaktanlegg og et anlegg med frittliggende merder med en spredningsstrøm under merdene på 4 cm per sek. Beregningen viser at den lokale bæreevnen øker fra ca. 100 til 300 tonn ved bruk av frittliggende merder. Figuren viser også at bæreevnen for et frittliggende anlegg kan økes fra ca. 150 tonn til 300 tonn dersom spredningsstrømmen økes fra 2 til 4 cm per sek. Valg av lokalitet er derfor helt avgjørende for hvor mye som kan produseres i et oppdrettsanlegg.

Blåskjell

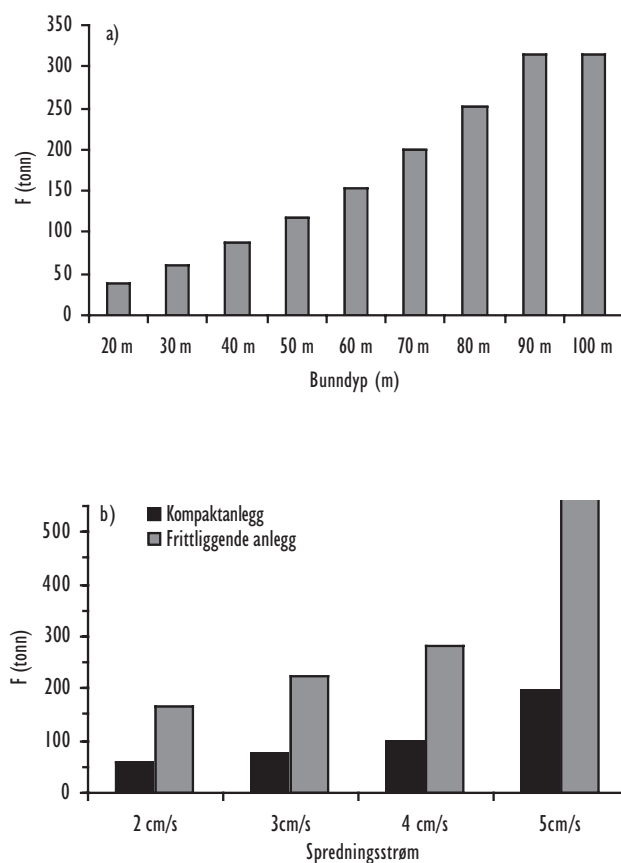
Dyrking av blåskjell har hatt en vanskelig start i Norge, men nå ser det ut som om denne næringen skyter fart. Skjeloppdrett skiller seg fra fiskeoppdrett ved at skjellene ikke mates, men filtrerer selv maten

ut fra det vannet som driver forbi. Bæreevnen for en skjellokalitet defineres derfor som den mengden markedsklare skjell lokaliteten kan produsere på ett år. Bæreevnen bestemmes av konsentrasjonen av alger i vannet, vannstrømmen gjennom anlegget og mengden og tettheten av skjell i anlegget. Skjelldyrking påvirker også miljøet under anlegget, men påvirkningen er langt mindre enn under fiskeoppdrettsanlegg.

Regional bæreevne

Gjødslingseffekt og algeproduksjon

Produksjon av oppdrettsfisk tilfører vannet næringssalter som omsettes til algeproduksjon. Hvor mye av næringssaltene som omsettes lokalt i et område avhenger av oppholdstiden på vannet (T_v) og alg-



Figur 6.43

(a) Beregnet bæreevne for et standard fiskeoppdrettsanlegg ved økende bunndyp. (b) Beregnet bæreevne for et kompakt og et frittliggende fiskeoppdrettsanlegg med økende spredningsstrøm.

(a) Calculated carrying capacity for a standard fish farm with increasing bottom depth. (b) Calculated carrying capacity for two fish farm types exposed to varying current speeds. Black column: Fish farm with "concentrated" fish pens. Grey column: Fish farm with "distributed" fish pens.

enes delingstid (T_a). Med liten T_v og stor T_a vil algene transporteres ut av anleggets nærområde før nærings saltene blir brukt opp, og produksjonen blir spredt over et større område. Vi sier da at vi har en regional effekt. For at nærings saltene skal kunne omsettes i den lokale fjorden eller sundet må derfor T_v være betydelig større enn T_a .

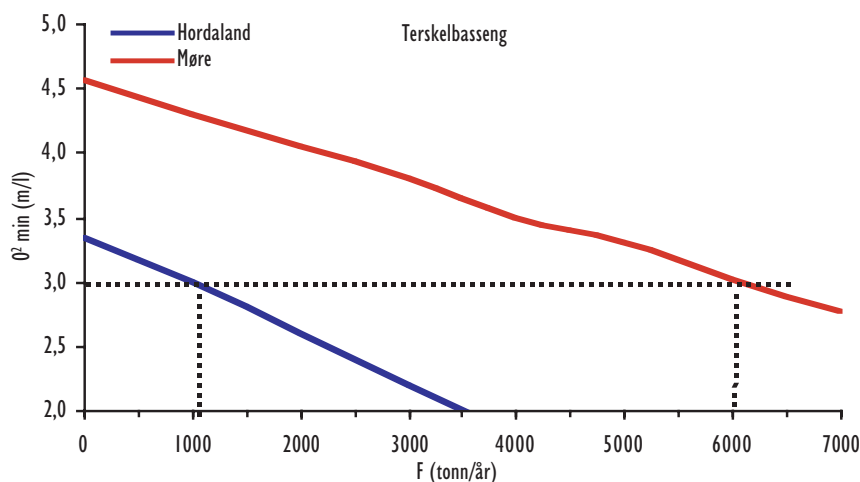
Dersom nærings saltene tilført fra oppdrettsanlegg omsettes til alger i nærområdet, vil bæreevnen med hensyn til algevekst også avhenge av hvor stor økning av algeproduksjonen som kan tillates i resipienten, eller med andre ord, av hvilken miljøstandard som er fastsatt. Endringer her får store konsekvenser. En økning av tillatt algeproduksjon fra f.eks. 20 %-50 % betyr at bæreevnen kan økes fra ca. 110 til 250 tonn km^{-2} . Vi snakker her om store tall.

Som eksempel kan vi bruke Norges største fjord, Sognefjorden, som har et areal på ca. 1 000 km^2 . Dersom en godtar en økning i algeproduksjon på 20 %, blir den regionale bæreevnen for fiskeoppdrett om lag 110 000 tonn. En økning på 50 % gir en bæreevne på 250 000 tonn. En økning av algeproduksjonen i et fjordområde på 20 % og 50 % vil typisk kunne føre til en reduksjon av midlere siktedyp om sommeren på henholdsvis 0.2 og 0.5 m.

Oppdrett i fjorder med terskel

Når det er avklart hvilken endring i produksjonen av alger vi kan godta, kommer neste spørsmål: hvordan virker fiskeoppdrettet på de dype delene av fjorden? Dersom anleggene ligger over et terskelbasseng i en fjord eller et sund, vil bassenget tilføres organisk materiale i form av fôrrester og ekskrementer, eventuelt også alger fra en økt lokal produksjon. Dette vil øke oksygenforbruket i bassengvannet og dermed redusere innholdet av oppløst oksygen. Bæreevnen for terskelbasseng er sterkt avhengig av oppholdstiden av bassengvannet.

Vannutskiftningen, dvs. tiden mellom hver innstrømming av nytt oksygenrikt vann til bassenget, er styrt av vertikalblandingen i bassenget som igjen bestemmes av tidevannet. Vi vet at tidevannsforskjellen nordover langs norskekysten øker betydelig, fra ca. 0.2 m langs Sørlandskysten til ca. 2.5 m i Finnmark. Dette har stor betydning for hvor stor bæreevne et terskelbasseng har for fiskeoppdrett. Figur 6.44 viser at et gitt terskelbasseng i f.eks. Hordaland har en beregnet bæreevne på ca. 1 000 tonn per år mens et tilsvarende basseng i Møre og Romsdal har en bæreevne på ca. 6000 tonn per år pga større vannutskiftning. I begge tilfeller har vi valgt at oksygenkonsentrasjonen i bassengvannet ikke skal være lavere enn 3 ml per



Figur 6.44

Beregnet bæreevne for et gitt terskelbasseng i Hordaland og i Møre og Romsdal. (Antatt miljøstandard: oksygenverdien skal ikke synke under 3 ml l^{-1}).

Calculated carrying capacity for a given sill basin situated in Hordaland and Møre og Romsdal. Environmental standard demand: the concentration of dissolved oxygen is not allowed to sink below 3 ml l^{-1} .

liter. I de fleste tilfeller vil myndighetene ikke tillate at innholdet av oksygen går så langt ned.

Skjelldyrking

Produksjonen av alger bestemmer den regionale bæreevne for skjelldyrking. På Vestlandet er bæreevnen for blåskjell beregnet til ca. 150 tonn km⁻² per år. Til sammenligning er bæreevnen i oppstrømningsområdet på kysten av nord-Spania (Galicia) ca. 450 tonn per km⁻² per år. Dersom et fjordsystem utnyttes fullt ut til blåskjelldyrking betyr det at algebiomassen reduseres med ca. 20 %. Dette tilsvarer økningen av algeproduksjonen for en fiskeproduksjon på ca. 110 tonn km⁻² (se over). En kombinasjon av blåskjelldyrking og fiskeoppdrett vil dermed kunne redusere eventuelle miljøeffekter

av fiskeoppdrett med hensyn til økt algeproduksjon og samtidig øke bæreevnen for blåskjelldyrking. En kan vente at slik sambruk mellom intensivt oppdrett og ekstensiv skjelledyrking kan bli en mer vanlig driftsform i fremtiden.

Summary

Fish farms interact with the marine environment in several ways. The most important unwanted effects are: genetic interactions between escaped individuals and wild fish populations, transfer of fish disease and parasites, release of drugs and antibacterial additives and release of organic matter and nutrients into the sea. In this article the carrying capacity of coastal environments for extra nutrient loads from fish farms is discussed.

Fôrmangel truer veksten i fiskeoppdrett. Kan høsting av plankton løse problemet?

Webjørn Melle og Rolf Erik Olsen

Bakgrunn

Veksten i lakseoppdrettsnæringen har medført et stadig økende behov for høyverdig fôr som er rikt på marine oljer. Den viktigste ingrediensen i fôr til oppdrett er oppmalt fisk fra billige fiskearter som f.eks. kolmule og lodde. I år med dårlig tilbud på fisk til oppmaling på verdensmarkedet, som for eksempel sist ansjoveta-fisket brøt sammen under El Niño i Sør-Amerika, blir det åpenbart at verden har et underskudd på kilder til de marine oljene som egner seg i fiskefôr.

Uttaket av fisk fra havet er nå nær det maksimalt mulige både i Norge og på verdensbasis. Det er derfor ikke mulig å basere en fortsatt vekst i havbruksnæringen på fôr som er produsert fra tradisjonelle fiskeressurser. Derfor har en vendt blikket mot hittil uutnyttede ressurser, spesielt på de laveste trofiske nivåene. I Nord-Atlanteren vil dette si dyreplankton som krill, amfipoder, raudåte, mesopelagisk fisk og enkelte små arter av blekksprut (Tabell 6.4 og Figur 6.45-46).

Planktonets egenskaper som fôrressurs

Det eneste alternativet til marine råstoffer er i dag vegetabiliske fôrkilder fra landbruket. Mange kundegrupper er imidlertid skeptiske til for stor innblanding av vegetabiliske komponenter i fôret. Dette gjelder spesielt fôrfettet, hvor stor innblanding vil gi fettsyresammensetninger som er svært ulike den vi finner i vill fisk. Det er også rapportert om endrede kvalitets- og smaksegenskaper hos laks og ørret fôret med slike oljer.

Ernæringsmessig sett er plankton et godt alternativ til vegetabiliske og marine fiskeråstoff. Spesielt er fettsyresammensetningen rik på de "marine" flerumettede fettsyrene EPA og DHA, som er de naturlige flerumettede fettsyrene i byttedyrene som vill fisk i sjøen spiser. Disse fettsyrene finnes ikke i planteoljer. Mange av de aktuelle artene er også naturlige byttedyr for ville bestander av arter i oppdrett. Ut fra det som er kjent, inneholder plankton protein av god kvalitet. Det er derfor ikke noe i veien for at produkter fra plankton helt eller delvis

kan erstatte marine fiskeprodukter til oppdrettsfisk. I tillegg inneholder mange planktonarter store mengder naturlig astaxanthin. I dag brukes det hovedsakelig kunstig fremstilt astaxanthin i laksefôr. I tillegg til at denne ikke er en "naturlig" komponent, er den også svært dyr. Ved tilsats på 60 mg per kilo fiskefôr, utgjør astaxanthin om lag 20 % av de totale fôrkostnadene. Tilskudd av naturlige fargestoffer fra plankton kan dermed bidra til å redusere fôrkostnadene betraktelig.

I teorien en nærmest uuttømmelig ressurs

99 % av den marine produksjon skjer i plante- og dyreplanktonleddet. Bare i Norskehavet produserer naturen hvert år ca. 600 millioner tonn krill, amfipoder og raudåte. I lakseoppdrett regner man med at 1 kg våtvekt råstoff produserer 0.3 kg laks. Hvis man kunne utnytte bare 1% av Norskehavets planktonproduksjon til laksefôr, kunne man teoretisk produsere 1.8 mill. tonn laks per år. Til sammenlikning er norsk produksjon av oppdrettslaks rundt 420 000 tonn laks per år. I teorien er planktonleddet i næringskjeden derfor nærmest en uuttømmelig ressurs.

Tabell 6.4

Beregnete tall for biomasse og produksjon av dyreplankton og mesopelagisk fisk i Norskehavet, Barentshavet og østlige deler av Grønlandshavet og Islandshavet.

Estimates of biomass and production of zooplankton and mesopelagic fish in the Norwegian Sea, Barents Sea and the eastern part of the Greenland Sea and the Iceland Sea.

Art/gruppe	Biomasse (mill. tonn)	Produksjon (mill. tonn)
Krill	161	242
Amfipoder	49	74
Calanus (raudåte)	75	298
Mesopelagisk fisk	7	
Gonatus (blekksprut)	8.2	20



Foto: Per R. Flood. Bathybiologica a/s.

Figur 6.45

Krill, *Meganyctiphanes norvegica*, finnes i store mengder i våre havområder og er en aktuell art å høste.

The biomass of Meganyctiphanes norvegica is at times very high and is one of the most important target species for plankton fishing.

Fangstteknologi

Norske analyser har tidligere konkludert at forekomster av dyreplankton ofte er for lave til at et fiske ville kunne bli regningssvarende. Disse konklusjonene bygger imidlertid på gjennomsnittlige forekomster innenfor et område eller over en periode. En nyere gjennomgang viser imidlertid at tetthetene av raudåte, krill og amfipoder kan være langt over nivåene som er definert som nedre grense for et regningssvarende fiske. Viktige kommersielle fiskerier foregår i dag likevel kun i Antarktis og utenfor Japan.

Dyreplanktonets manglende evne til egenbevegelse i forhold til større fangstredskaper, gjør at en kommersiell fangst med trål må bygge på filtreringsprinsippet. I dag finnes det ikke slike tråler tilgjengelig for kommersiell fangst av dyreplankton, bortsett fra mindre tråler brukt til fangst av raudåte i norske fjorder. Bruk av finmasket snurpenot er også vurdert, men foreløpig forkastet som mindre egnet dersom fangsten skal kunne foregå på større dyp. Nye typer fangstredskap må derfor utvikles!

Økologiske konsekvenser av planktonfiske

Teoretiske tall for ressursstørrelsen har liten relevans i forbindelse med fiske på dyreplankton. For det første vil uttaket måtte skje i utvalgte havområder innenfor relativt avgrensede tidsrom. Slike muligheter kan oppstå når planktonets årssyklus gjør at totalbiomassen er høy eller når fettinnholdet i dyrene er høyt. Forhøyede konsentrasjoner av plankton kan oppstå nær fysiske fronter og virvler i havet der produksjonen er høy eller biomassen holdes samlet. Dessuten vil slike uttak ganske sikkert falle sammen i tid og rom med beitevandringene til de store planktonspisende fiskebestandene. Dermed vil beskatning av planktonbestanden, selv om den er liten i forhold til totalbestanden, kunne gå ut over den øvrige dyreplanktonbestanden og fiskebestander som er direkte avhengige av dyreplanktonet som næringsgrunnlag. Effektene av et mulig planktonfiske må derfor vurderes i lys av at plankton er næringsgrunnlaget for viktige fiskearter som lodde, sild, makrell, laks og kolmule. Dyreplankton utgjør også de viktigste byttedyr for flere arter av sjøfugl, sel og hval.

Generelt får de økologiske konsekvensene av fiskeriene stadig større oppmerksomhet. Det er vist at samtidig som man fisker lenger nede i næringskjeden,

går totalfangstene ned. Dette er et moment man må ta hensyn til når planktonfiske skal vurderes. En må vurdere i hvilken grad et fiske på plankton fører til en utvidelse av det totale ressursgrunnlaget for fiskeriene.

Kvalitetsvariasjoner

Innholdet av næringsstoffer i planktonet varierer mye med art og årstid. Spesielt viktig er fettinnholdet. Fett vil sannsynligvis bli den viktigste mangelvarer i fremtiden. God oversikt over sesongmessige variasjoner og tilgjengelige arter er nødvendig, samtidig som stabil og tilstrekkelig forsyning er avgjørende for utviklingen av en industri. Enkelte planktonarter inneholder også andre forkomponenter som kan påvirke den ernæringsmessige kvaliteten og egnetheten. Eksempelvis lagrer enkelte planktonarter energi som voksestre, i motsetning til de mer vanlige triglyseridene. Hvordan dietter basert på disse planktonartene påvirker fordøyeligheten og forutnyttelsen er ennå usikkert.

Planktonets kitin inneholder store mengder fluor. Med dagens teknologi fjernes ikke kitinet fra fiskeføret. Dermed er det sannsynlig at fluor gjøres tilgjengelig for fisken. Tidligere undersøkelser med regnbueørret viser da også en betydelig akkumulering, spesielt i skjelett og skjell, og i langt mindre grad kjøtt. Hvordan laks vil reagere på slikt fôr vet vi ikke. I tillegg kan kitin påvirke fordøyeligheten av andre råstoffer. Kitin vil også kunne selekere på en mikroflora i fiskens tarm som kan ha betydning for fiskens velferd og sykdomstoleranse.

Et problem som får stadig økt oppmerksomhet, er at fiskeprodukter som benyttes som råstoff i oppdrettsnæringen inneholder dioksiner og PCB. Disse er i all hovedsak fettløselige, og vil derfor akkumuleres etter hvert som plankton og fisk spises av dyr høyere oppe i næringskjeden. Ved å benytte plankton, som står lavt i næringskjeden, er det mulig at en kan redusere faren for akkumulering av disse miljøgiftene i oppdrettsfisken.

For å undersøke disse faktorene, er det nødvendig med inngående råstoffanalyser på alle stadier av konserverings- og tilvirkningsprosessen. Føringforsøk hvor en undersøker vekst, fôromsetning, produktkvalitet og mengden giftige stoffer må gjennomføres. Likeledes bør immunforsvaret til fisk som har fått denne type fôr undersøkes.



Foto: Per R. Flood. Bathybiologica a/s.

Figur 6.46

Raudåte, *Calanus finmarchicus*, er et av Norges viktigste dyr på grunn av sin store produksjon og sentrale plass i fødekjeden i havet. Den er f.eks. sildas hovedføde.

Calanus finmarchicus is one of Norway's most important organisms due to its high production and central position in the food web.

At en kan se for seg ulemper ved plankton som fôrmiddel endrer imidlertid ikke forskernes store tro på plankton som ressurs for fremtidens oppdrettsnæring. Det er nå viktig at myndighetene og laksenæringen setter inn nødvendige ressurser til forskning for å avklare hvordan og i hvilken grad plankton kan benyttes som fôrressurs.

Summary

The feed for Atlantic salmon in fish farms is presently

based on meal derived from low cost “industrial” fish species. These species are now fully exploited. Continuous growth in production of farmed Atlantic salmon will depend on the availability of alternative food sources. Abundant marine organisms from lower trophic levels constitutes a potential solution to this problem. Zooplankton, such as euphausiids, amphipods and in particular the very abundant *Calanus finmarchicus*, are now being evaluated as a possible feed for farmed fish.

Siden 1970-tallet har algeslekten *Chattonella* vært kjent for å danne problemfylte oppblomstringer for oppdrettsnæringen i Japan, spesielt i Seto Inland Sea. I den senere tid har man vært vitne til en rekke oppblomstringer i andre verdensdeler, hvor det i noen tilfeller har vært registrert fiskedødelighet. Slekten *Chattonella* er en av totalt fem slekter innen algeklassen Raphidophyceae. Dette er en algeklasse som har flere potensielt skadelige arter, og er mest kjent fra varmere strøk. De første observasjonene av *Chattonella* i nord-europeiske områder ble gjort på begynnelsen av 1990-tallet. I årene som fulgte ble *Chattonella* observert langs kysten av Nederland og Tyskland, men ikke i høye tettheter.



Figur 6.47
Chattonella marina. Typiske celler A) og alternative former som opptrer i kulturer av arten B).
Chattonella marina. Common cells A) and alternative cell morphology observed in culture B).

Den første store oppblomstringen i nord-europeiske farvann fant sted i 1998 (*Havets Miljø 2000*). *Chattonella* aff. *verruculosa* dominerte da i området fra Tyskland, langs Danmark, hele Skagerrak og langs kysten av Norge opp til utløpet av Boknafjorden. En ny stor oppblomstring inntraff våren 2000 fra Tyskebukten til Skagen. Da ble *Chattonella* sp. observert under rutineovervåkingen av algeforekomsten i Flødevigen, men aldri i høye tettheter. Våren 2001 dannet *Chattonella marina* (Figur 6.47) og *Heterosigma akashiwo* en ny stor oppblomstring i Skagerrak.

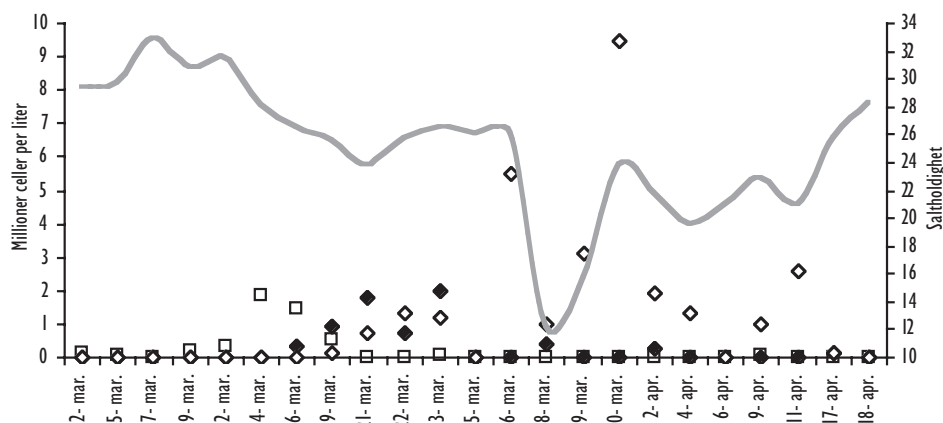
Oppblomstringen i 2001 førte til tap av ca. 1 100 tonn oppdrettslaks i anlegg øst for Lista til en verdi av ca. 30 mill kr. Den nøyaktige mekanismen bak fiskedødeligheten er ikke kjent. Sannsynligvis er hovedmekanismen redusert evne til oksygenopptak eller osmoregulering, som følge av nedsatte gjellefunksjoner hos fisk som har kommet i nærkontakt med *Chattonella*.

Utvikling av oppblomstringen i Flødevigen

På det ordinære overvåkningstoktet mellom Arendal og Hirshals 12. mars 2001 ble det ikke registrert *Chattonella*. Men 14. mars ble *Chattonella* oppdaget i rutineovervåkingen av alger i Flødevigen. På dette tidspunktet hadde den årlige våroppblomstringen av diatomeer kommet godt igang (Figur 6.48). Omtrent på samme tidspunkt førte vannmasser med opprinnelse i Kattegat og Østersjøen til lavere saltholdighet og sterkere lagdeling i kystvannet ved Flødevigen. Tettheten av diatomeer begynte å avta, mens tettheten av *Chattonella* økte (Figur 6.48). I den tidlige fasen var oppblomstringen dominert av store former av *Chattonella*, og etterhvert kom en økende andel små former samt *Heterosigma akashiwo*. *Chattonella* og *Heterosigma* nådde maksimum tetthet på 9,5 mill celler l⁻¹ 30. mars, for deretter å avta og forsvinne fra planktonet i Flødevigen ca. 15. april.

Dramatisk kamp mellom diatomeer og *Chattonella* på Skagerrakkysten?

I forbindelse med oppblomstringen ble det gjennomført et tokt med "G.M. Dannevig" langs kysten av Aust-Agder og Telemark i perioden 26. til 30. mars. Overflatelaget inneholdt relativt ferske og kalde vannmasser med opprinnelse i Kattegat. På de fleste stasjonene varierte saltholdigheten i øvre lag mellom 22 og 28. Sprangsjiktet lå mellom 8 og 10 m dyp (Figur 6.49A). Stasjoner påvirket av lokal ferskvannstilførsel hadde et tynt overflatelag med betydelig lavere saltholdighet. Vanntemperaturen i de øvre 5 m var mellom 1 og 3 °C, med økende temperatur mot dypet.

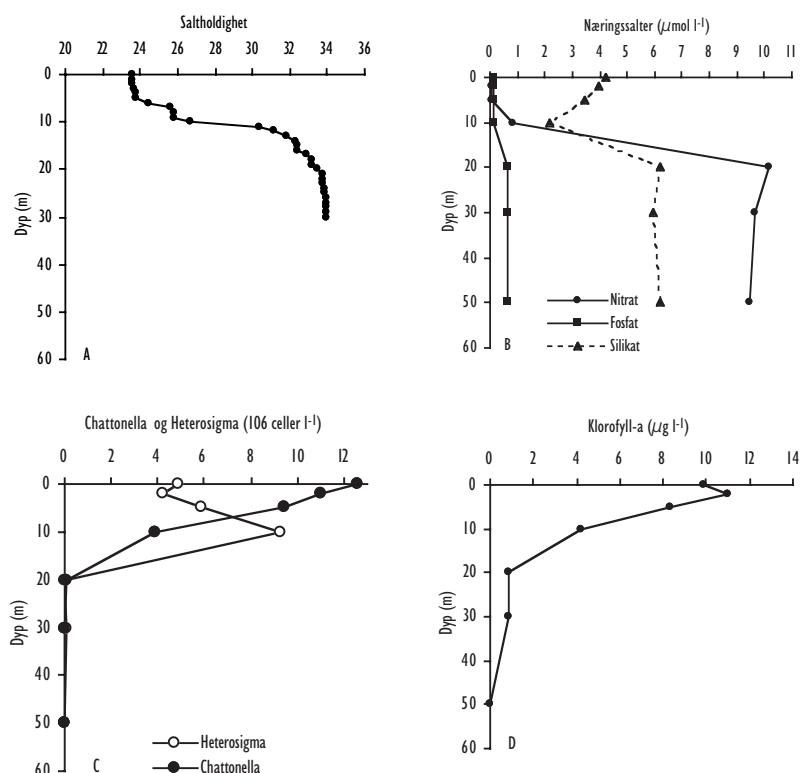


Figur 6.48 Overvåking i Flødevigen fra 2. mars til 19. april. Celle-tettheten (venstre akse) av diatomeer (□), store former av *Chattonella marina* (◆) og små former av *C. marina* og *Heterosigma akashiwo* (◇). Kurven angir saltholdigheten (høyre akse) i 1 m dyp.
 Routine sampling in the Bay of Flødevigen from 2 March to 19 April. Cell density (left-hand axis) of diatoms (□), large *Chattonella marina* (◆), and small *C. marina* and *Heterosigma akashiwo* (◇). Salinity in 1 m depth is given by the curve (right-hand axis).

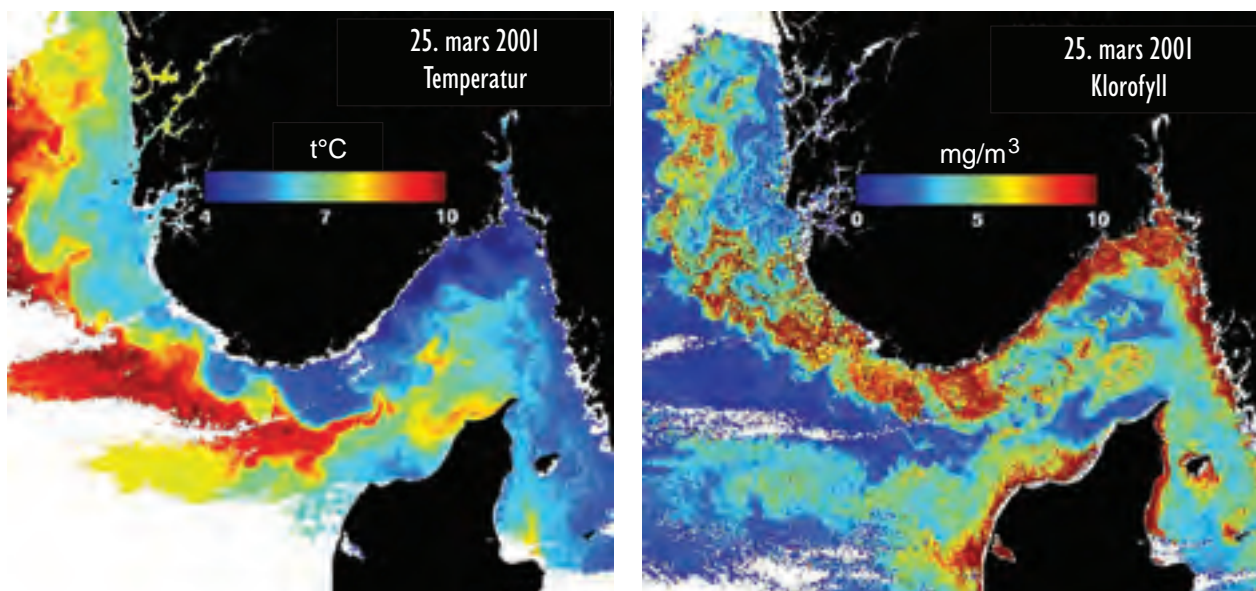
Over sprangsjiktet fantes lite nitrat og fosfat, men mengdene økte fra sprangsjiktet og nedover (Figur 6.49B). Silikat skilte seg ut med forholdsvis høye verdier i hele vannsøylen, men med et minimum rundt sprangsjiktet (Fig. 6.49B). Det store overskuddet av silikat som fortsatt var tilstede i de øverste 10 m antyder at de silikatforbrukende diatomeene på et forholdsvis tidlig tidspunkt i vårblomstingen ble “utkonkurrert” av flagellaten *Chattonella*. Det

unaturlig store overskuddet av nitrat i forhold til silikat og saltholdigheten under ca. 10 m dyp viser at dette vannet var tilført Skagerrak fra den sørlige del av Nordsjøen. Stasjoner som var påvirket av lokal avrenning hadde betydelig høyere nitrat- og silikatverdier i de øverste 2 m.

I forbindelse med toktet ble det gjennomført to snitt gjennom kyststrømmen øst av Jomfruland (15 nm)



Figur 6.49 Data fra stasjon 58 ved Lyngør var representative for hele området, med unntak av stasjoner påvirket av lokal avrenning. Vertikalprofiler av A) saltholdighet, B) næringssalter, C) *Chattonella marina* og *Heterosigma akashiwo* og D) klorofyll-a.
 Data from station 58 at Lyngør was representative for the area, except for station influenced by freshwater runoff. Vertical profiles of A) salinity, B) nutrients, C) cell density, and D) chlorophyll-a.



Figur 6.50

Temperatur og klorofyll-a i overflatelaget i Skagerrak 25. mars 2001. Satellittmålinger ved SeaWifs. *Temperature and chlorophyll-a in the surface in Skagerrak 25 March 2001. Based on satellite measurements by SeaWifs.*

og øst av Langesund (10 nm). I begge snittene var vannmassene i overflaten de samme som ved stasjonene nær land. Planktonsammensetningen var nokså lik på alle stasjonene: *Chattonella* og *Heterosigma* dominerte, mens en rekke små flagellater var tilstede i mindre mengder. Diatomeer ble sjelden observert i de øvre vannmassene, men kunne tidvis opptre under sprangsjiktet. *Chattonella marina* var stort sett den mest tallrike arten.

Konsentrasjonene i overflatelaget varierte mellom knapt 1 mill. celler l⁻¹ til 12.5 mill celler l⁻¹. Av totalt 19 stasjoner viste 8 konsentrasjoner på 2-3 mill. celler l⁻¹, mens 10 stasjoner ga konsentrasjoner over 5 mill. celler l⁻¹. Den høyeste konsentrasjonen ble observert ved Lyngør. Vertikalprofilen viste at *C. marina* hovedsakelig fantes over sprangsjiktet, med de høyeste tetthetene i 0 og 2 m (Figur 6.49C). Det samme mønsteret ble delvis også observert i fordelingen av klorofyll-a, hvor de høyeste konsentrasjonene, opp mot 11 µg l⁻¹, ble funnet nær overflaten (Figur 6.49D).

Hvor kom *Chattonella* fra?

Oppblomstringen av *Chattonella* i 2001 kom vesentlig tidligere på året enn oppblomstringene i 1998 og 2000, og falt delvis sammen med den årlige våroppblomstringen av diatomeer. I 1998 og 2000 blomstret *Chattonella* vest av Jylland, mens blomstringen i 2001 var knyttet til et relativt ferskt

og kaldt overflatelag med opprinnelse i Kattegat/Østersjøen.

Modellberegninger viser at det var en markert utstrømming av overflatevann fra Kattegat til Skagerrak omkring månedskiftet februar/mars 2001. Det var trolig disse vannmassene som opptrådte utenfor Flødevigen ca. 14 dager senere (se over). Satellittbildet av temperatur- og klorofyll-a-fordeling i overflatelaget 25. mars viser høye klorofyll-a-verdier langs den svenske og norske Skagerakkysten fram til Lindesnes, i områder med lav sjøtemperatur og saltholdighet (Figur 6.50). Ut fra feltobservasjoner på denne tiden vet vi at de "røde" områdene i Figur 6.50 fra Lista og østover Skagerakkysten på dette tidspunkt var dominert av *Chattonella* og *Heterosigma*. Satellittbilde for overflatetemperatur, modellberegninger av strøm og observasjoner viser at det kalde og ferske overflatelaget som inneholdt *Chattonella* stoppet opp i en hvirvel like sør for Lista (Figur 6.51). Dette var hovedårsaken til at *Chattonella* ikke ble transportert nordover til Flekkefjordområdet der ca. 2 500 tonn oppdrettslaks var truet.

Chattonella ser derfor ut til å stamme fra bestander i Kattegat som formerte seg tidlig i vårblomstringen. De ble transportert med det "ferske" overflatelaget langs vestkysten av Sverige og videre til Sørlandskysten, før de stoppet opp og etterhvert gikk i oppløsning ved Lista og Lindesnes.

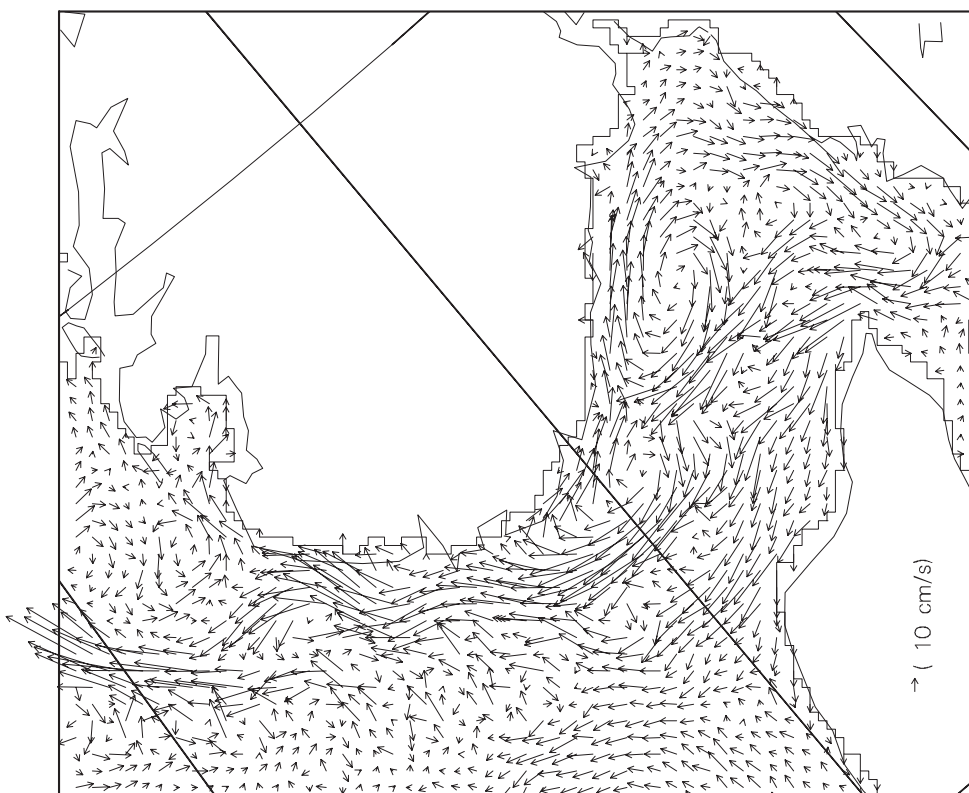
Har *Chattonella* etablert seg i Norge?

Hvis *Chattonella* nå har etablert seg langs kysten av Sørlandet, kan spiring av lokale populasjoner bidra til stadig nye oppblomstringer. Erfaringene fra 2001 viser at en forholdsvis kraftig stratifisering av vannmassene, etterfulgt av rolige værforhold, er viktig for dannelse av store blomstringer av *Chattonella*. Arten som forekom i Skagerrak ser ut til å ha en forholdsvis vid saltholdighetstoleranse og kan også blomstre i vannmasser med lave temperaturer (1-5 °C). Arten synes også å være i stand til å øke og opprettholde biomassen selv ved lave næringssaltkonsentrasjoner. Dermed kan den blomstre selv etter at våroppblomstringen har brukt opp det meste av næringssaltene i øvre lag.

Vi må dessverre konstatere at en ny skadelig alge har rykket nærmere oppdrettsanleggene på Sørlandet. Vi får bare håpe at den ikke slår til igjen.

Summary

Since 1970 *Chattonella*-species have bloomed in Japanese waters and caused problems for the fish farming industry. About ten years ago *Chattonella* was identified in northern Europe, and in 1998, 2000 and 2001 large blooms were recorded. In 1998 and 2001 the blooms hit the southern coast of Norway and killed farmed salmon. The bloom in the spring 2001 occurred in a cold and low-saline surface layer and followed closely after the spring peak of diatoms. The causes of the *Chattonella* blooms are not clear, nor the mechanisms behind its fish-killing characteristics.



Figur 6.51
Modellberegnet strøm i 5 m dyp 25. mars 2001.
Currents in 5 m depth 25 March 2001. Estimates based on numerical modelling.

Bakgrunn

I 1997 fikk Havforskningsinstituttet melding om at en ukjent manet hadde slått til og drept laks i et oppdrettsanlegg på Fedje i Hordaland. Store tettheter av maneter i lange bånd drev inn mot merdene og gikk i småbiter når de traff notveggen, slik at restene gikk gjennom maskene. Effektene på fisken varierte fra redusert appetitt til endret atferd og død. Fisk som kom i kontakt med manetene, fikk brannskader på skinnen med økt fare for infeksjoner. Fisk fikk også skader i øynene. Laksen som døde hadde fått manetene i gjellene. I tillegg til direkte kontakt med manetene virket det som stresset som manetene påfører fisken førte til panikkatferd som skadet fisken. På Sotra så man eksempler på at manetene la seg over ruser og drepte fisk inne i rusene.

I alt døde 10-12 tonn laks på to anlegg ytterst i Øygarden og på Fedje, mens et ukjent antall tonn ble nødslaktet. Etter den første meldingen i desember strømmet det inn rapporter om manetobservasjoner fra Bohuslän i Sverige og langs hele norskekysten til og med Finnmark. Heldigvis begrenset skadene seg til vestlandskysten. Også fra Skottland ble det meldt at maneten skapte problemer.

Det har vært observert større eller mindre mengder maneter i vinterhalvåret hvert år siden høsten 1997, men de skapte bare ubetydelige problemer for anlegg sør på Sotra utenfor Bergen. Høsten 2001 derimot, slo de til for fullt igjen.

Havforskningsinstituttets første rapport om *Apolemia* ble publisert i *Havets Miljø 1998*. Denne artikkelen tok for seg blant annet oppbygningen av en kolonimanet, livssyklus og fødeopptak. Det henvises til denne artikkelen for flere detaljer. Vi kan allikevel kort opplyse at manetene kan bli 30 m lange, de kan deles opp i mindre deler som lever videre og brenner like mye som et intakt dyr (Figur 6.52). De kan svømme og lever av å spise små planktonorganismer. Før maneten ble oppdaget i Norge var den kjent fra skotske farvann, Middelhavet og Atlanterhavet, for eksempel ved Kanariøyene, i Sargassohavet, ved Bermuda og utenfor Namibia. Den er også

registrert i Stillehavet (California), Det indiske hav og i Antarktis. Dette vitner om at *Apolemia* er en art med vid utbredelse. Den har også en betydelig dybdeutbredelse og forekommer fra overflaten ned mot 1 000 m dyp. Vi antar derfor at arten er tilpasset et planktonisk liv i havområdene hovedsakelig nede i vannsøylen. Når den i våre farvann blandes inn i kystvann og kommer inn i grunne områder, blir den utsatt for fysiske påkjenninger den ikke er tilpasset. Sterke tidevannstrømmer i sund og kraftig bølgebevegelse i overflaten fører til at manetene blir brutt opp i mindre stykker.

Forekomst av maneter i 2001

Det var i oktober de første meldingene innløp om store mengder maneter langs norskekysten og resulterende fiskedød. Manetene slo til i anlegg på Frøya og Hitra og ganske snart etter på Træna. I løpet av oktober-desember ble det meldt om forekomster langs hele kysten fra svenskegrensen til litt inn i Russland. Manetene kommer inn til kysten og inn i fjordene i varierende mengder, og det er på forhånd vanskelig å si hvor de vil forekomme i størst antall. Ett trekk går allikevel igjen, og det er at manetene forekommer i høyest konsentrasjoner ytterst på kysten. Derfor er det oppdrettsanleggene ytterst mot havet som hittil har fått de største problemene.

Det er tydelig at det var svært høye konsentrasjoner av maneter høsten 2001. I slutten av oktober ble det meldt om store manetmengder vest av Færøyene og Shetland, samtidig som Oceanor meldte om store forekomster i hele vannsøylen på gassfeltet Ormen Lange 140 km vest av Kristiansund. På det tidspunktet var det rapportert maneter fra store deler av kysten. Det viste seg også at store mengder var på vei med atlantehavsvannet fra Færøyene til Norge (se under).

Apolemia ble også observert på vestsiden av Irland i september og oktober og her var manetene opptil 15 m lange. De kom sammen med salper og andre maneter. Store mengder tunfisk ble også registrert. På Shetland ble *Apolemia* observert i oktober.

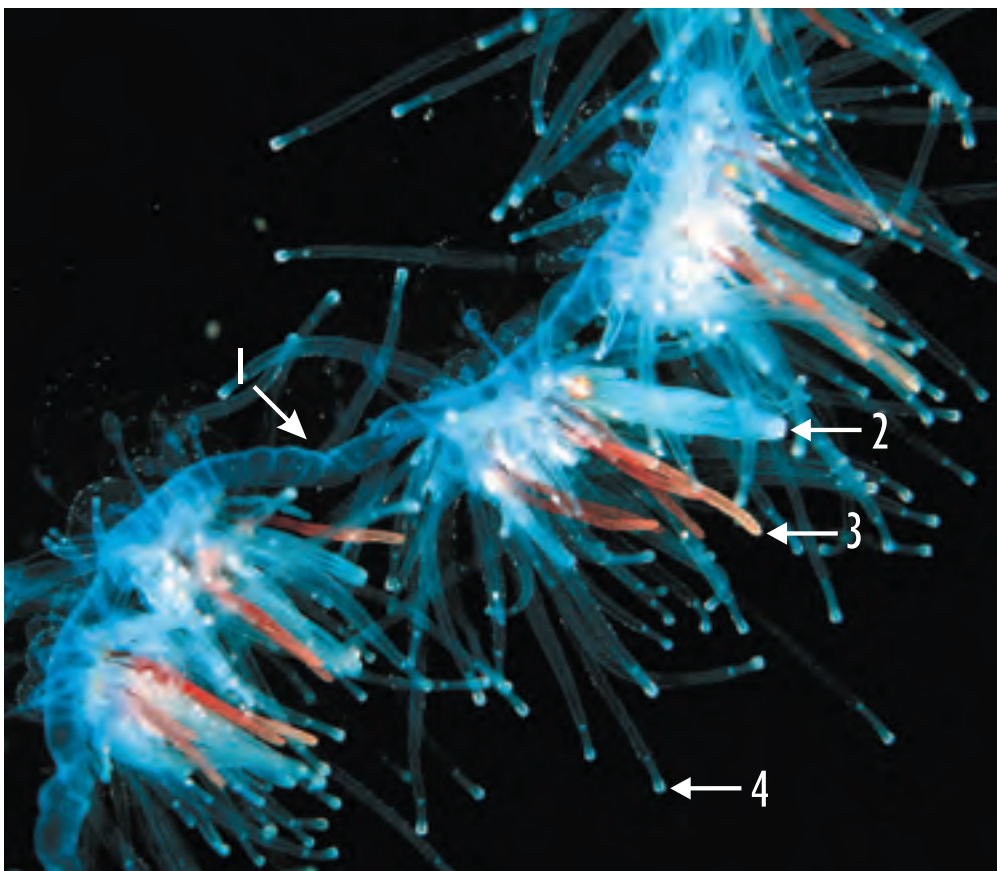
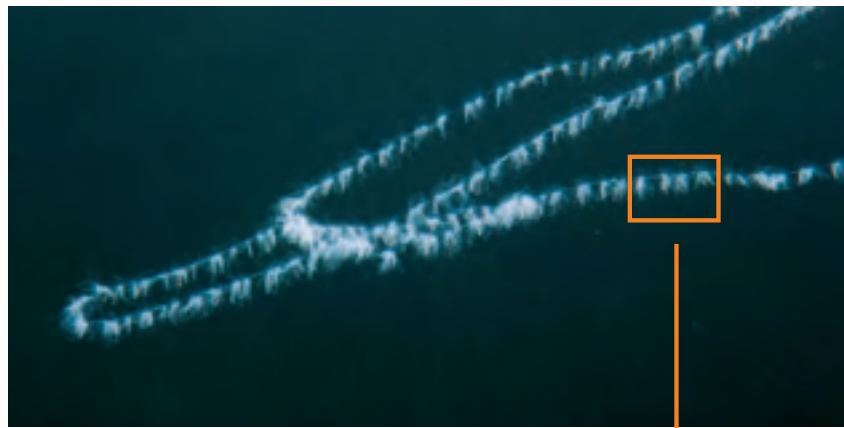


Foto: Yngve Johansen (øverst) og Erling Svensen (nederst).

Figur 6.52

Apolemia uvaria. En relativt lang koloni øverst og et nærbilde nederst. Vi ser hvordan gruppene av tentakler, palper og fødeopptaksindivider sitter som perler på en snor. Når vi tar maneten opp av vannet, trekker kolonien seg sammen slik at vi ikke lenger kan se den tynne sentrallederen som forbinder guppene. Nærbildet er ikke av det samme individet som er presentert ovenfor, men utsnittet viser sånn omtrent hvor stor del av dyret som er forstørret. Midtstrengen (1) holder alle delene av dyret sammen. Når det har drept eller lammet et byttedyr med brenntrådene (3), føres byttet opp til et fødeopptaksindivid (2) som fordøyer byttet. Maneten har utallige palper (4) som er i ustanselig bevegelse.

Apolemia uvaria. The photos show how functional groups are arranged along the stem (1) of the colony. The groups consist of feeding individuals (2), tentacles (3) and palps (4).

Skader på oppdrettsfisk i 2001

Død eller skadet fisk ble oppdaget i mange oppdrettsanlegg langs kysten: Flekkefjord, Værlandet, Ørsta, Skodje, Frøya, Hitra, Flatanger, Træna, Meløy, Salten. På de fleste av disse stedene var problemene heldigvis små og ikke så mye fisk ble påvirket. Høsten 2001 var det spesielt anlegg i Frøya, Hitra og Træna som ble rammet. Ifølge Fiskeridirektoratet har man totalt mistet 600 tonn laks som en direkte følge av manetene, hvorav 400 tonn bare i Trøndelag. Et ukjent antall tusen tonn er nødslaktet. Utenfor Norge er det meldt om skadet fisk på Shetland.

Hvor kommer manetene fra og hvordan sprer de seg?

Etter invasjonen i 1998 analyserte vi mønsteret i forekomsten og sammenliknet spesielt med invasjoner av salper. Dette er en liknende planktonisk organisme som opptrer på samme måten som manetene. Vi konkluderte at manetene kommer sørfra med atlantehavsvannet. Atlantehavsvannet sprer manetene langs hele norskekysten, inn i fjordene og inn i Nordsjøen. De største mengdene er registrert på den ytre delen av Vestlandet og nordover opp mot Vestfjorden. Innstrømningen må være et resultat av en kolossal oppblomstring, eller økning i bestanden lenger sør i Atlanterhavet.

Strømmodell

Vi har nå laget en strømmodell som viser hvordan manetene kan bli ført med atlantehavsvannet (Golfstrømmen) fra området mellom Færøyene og Shetland. Denne modellen beregner også hvor lang tid det tar fra manetene blir observert ved Færøyene til de når norskekysten. Disse opplysningene kan kanskje brukes i overvåkning av manetene hvis invasjonene gjentar seg og myndighetene og oppdrettsnæringen ser seg tjent med en overvåkning.

Ved å programmere inn detaljene i de skiftende havstrømmene i Nordsjøen og Norskehavet, kan vi beregne drivbanene til manetene som observeres langs norskekysten. Havforskningsinstituttet bruker numeriske havmodeller som beregner tidsutviklingen av havstrømmer, vannstand, saltholdighet og temperatur. Disse modellene benytter reell topografi (bunn-dyp og kystlinje) og realistiske drivkrefter (som for eksempel målt vind og tidevann). Basert på resultatene fra en modellsimulering for andre halvår i 2001, er drift og spredning av maneter simulert. Modellene antar at manetene driver passivt med strømmen siden de har liten egenbevegelse.

“Utslipp” av maneter ved Færøyene

Under simuleringen slapp datamaskinen 300 tenkte maneter ut i en modell av Den norske atlantehavsstrøm (Golfstrømmen). Utslippsposisjonen var mellom Færøyene og Shetland (Figur 6.53). Her vil en stor del av vannet som strømmer fra Atlanterhavet og inn i Norskehavet og Nordsjøen passere. Den første gruppen “modellmaneter” startet sin drift den 1. juli, og nye grupper på 300 ble sluppet løs den første i hver måned fram til og med 1. november. Beregningene slutter 30. desember. Generelt vil det foregå en gradvis spredning av manetene etter hvert som de driver. Manetenes drift vil i stor grad være styrt av strømmene i området. I dette tilfellet driver de nordover langs norskekysten med en gren inn i Nordsjøen (se også Figur 0.2).

Hvordan driver manetene?

Resultatene fra andre halvår 2001 viser at det typisk vil ta to-tre måneder for manetene å nå norskekysten fra utgangspunktet (Figur 6.53).

Situasjonen 1. september:

Manetene som ble sluppet 1. juli (blå) vil alle ha drevet nordover langs norskekysten. Noen har fulgt “ytte lei” langs eggakanten, mens andre har drevet nærmere kysten og kan skape problemer for fiskeoppdrett nord for Møre. Manetene som ble sluppet den 1. august (røde) har en måned senere nådd omtrent halvveis fram til norskekysten, og er i ferd med å deles i to grupper. Noen følger ruta langs kysten mot nord, mens de andre tar av mot sør inn i Nordsjøen.

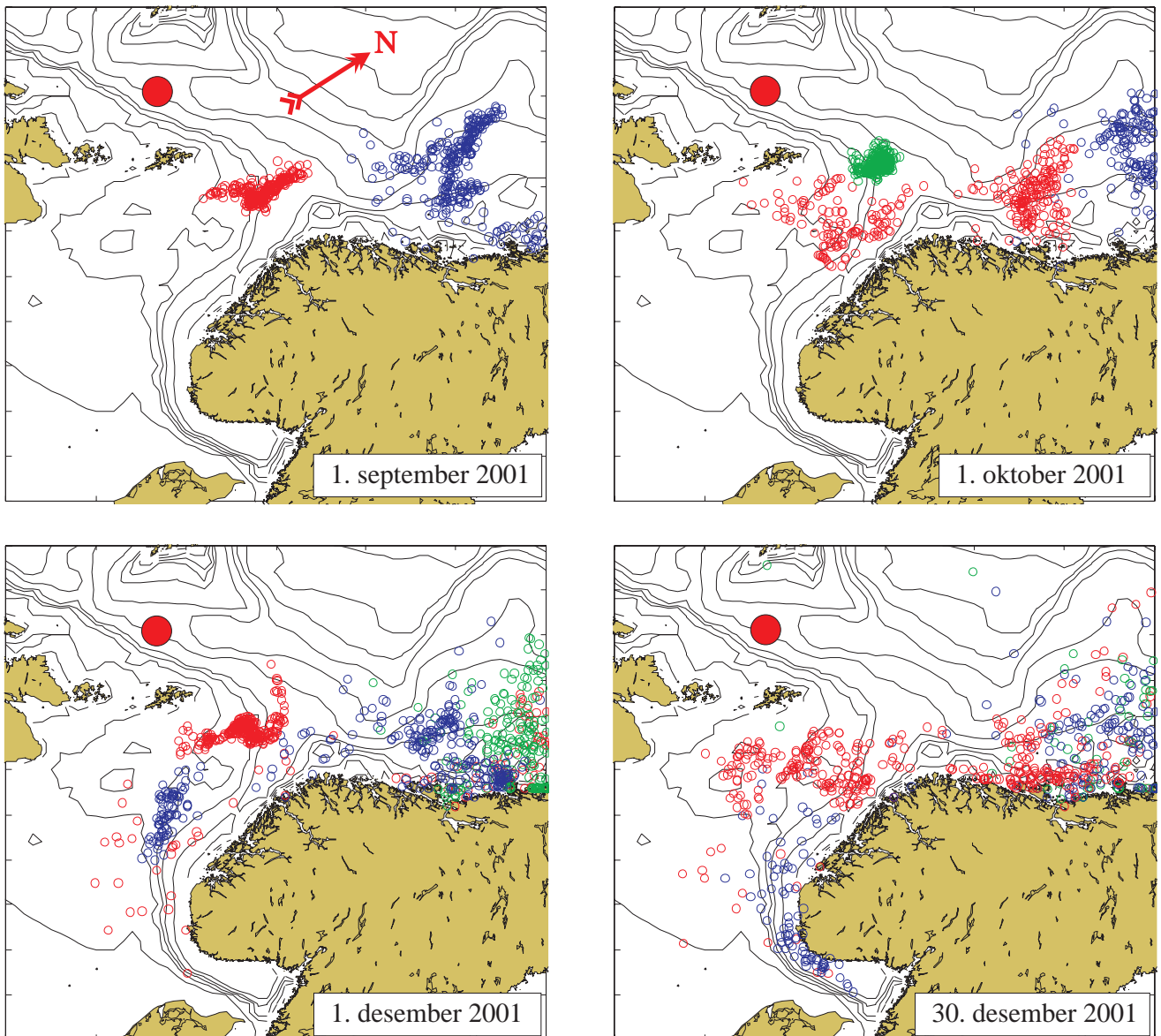
Situasjonen 1. oktober:

Nå er de første manetene (blå) på vei nordover (og ut av modellområdet), de røde manetene er delvis på vei etter de blå og delvis på vei inn i Nordsjøen, og de grønne manetene har drevet en måned.

Situasjonen 1. og 30. desember:

Nå viser resultatene at hele norskekysten fra Skagerrak til og med Nord-Norge kan risikere besøk av maneter (nye blå og røde maneter er sluppet ut). Dette stemmer med den faktiske situasjonen i desember. Da kom det meldinger om maneter fra hele kysten, fra Skagerrak til og med Finnmark.

Det er et skille i drivbanene der Norskerenna starter sin utstrekning sørover i Nordsjøen, og noen maneter vil følge denne og drive sørover, mens de fleste vil drive nordover. Dette viser at norskekysten nord for Møre er mest utsatt for maneter. De manetene som havner på Skagerrakkysten eller langs Vestlandskysten vil først drive inn i Nordsjøen, for deretter å krysse



Figur 6.53

Simulerte drivbaner for kolonimaneten *Apolemia uvaria*. Modellmaneter blir "sluppet" i havet mellom Færøyene og Shetland (stor rød sirkel). De første 300 manetene ble sluppet 1. juli. Deretter slippes 300 maneter den 1. i hver måned til og med desember. Kartene viser hvor langt manetene er kommet ved de fire angitte datoene.

Simulated drift trajectories for Apolemia. The modelled siphonophores were dropped into the ocean between the Faroese and Shetland (large red circle). The first drop was performed the 1 July and thereafter the first day in each month until December. The maps show the calculated positions of Apolemia individuals on four dates.

Norskerenna og komme inn i Den norske kyststrømmen som går langs norskekysten fra Skagerrak og helt opp til Nord-Norge.

Modellen bak resultatene er forholdsvis grovmasket, og detaljene vil nødvendigvis ikke stemme helt med virkeligheten. Likevel kan vi konkludere at hele norskekysten fra Skagerrak og nordover er utsatt for kolonimanetene. Perioder med sørlig vind vil stort sett sende manetene inn mot land, og nordlig vind vil sende dem vekk fra land hvis de befinner seg i

overflatevannet. Når manetene står dypt, noe som er observert ute på fiskebankene, kan også nordavind og fralandsvind føre dem inn til kysten.

Kan manetinvasjonene varsles?

Vi har ingen informasjon om utbredelsen og mengdene av denne arten i Atlanterhavet, derfor er det vanskelig å si noe om hva som vil skje de neste årene. Man har også lurt på om de store mengdene med maneter er en effekt av endrede tilstander i økosystemene, og om det kan være et resultat av

global oppvarming. Dessverre må vi konstatere at vi vet altfor lite om kolonimanetenes biologi og økologi til å kunne mene noe sikkert om dette.

For å overvåke og varsle trenger vi regelmessige observasjoner fra sentrale posisjoner oppstrøms, for eksempel mellom Færøyene og Shetland. Som modellresultatene viser har vi da to-tre måneder på oss før de når inn til norskekysten. Hvis det her observeres økning i mengden maneter, kan vi beregne drivbanene ved hjelp av vindprognoser fra Meteorologisk institutt.

Tiltak og varsling må ses i sammenheng med kostnadene og hvor stort problemet egentlig er. Overvåkning langt til havs kan fort bli meget dyrt. I 2001 døde 600 tonn laks. Det representerer en verdi på vel 10 mill kr. I tillegg kommer nødslaktning. Næringen selv og fiskerimyndighetene må avgjøre om en overvåkning har noe for seg, og ikke minst hvem som skal betale.

Hva slags gift er det i manetene?

Siphonophora (kolonimaneter) er en orden innen klassen Hydrozoa innen dyrerekken Cnidaria eller nesledyr. De andre ordnene i denne dyrerekken er Anthozoa (koraller og sjøanemoner) og Scyphozoa (stormaneter som glassmanet, brennmanet og dypvannsmaneten *Periphylla*).

Et fellestrekk for alle nesledyr er neslecellene som brukes både til forsvar og til å fange byttedyr. Ved berøring av neslecellen utløses en pigg som trenger gjennom huden på byttedyret, og et giftstoff sprøytes inn og byttet lammes eller drepes. Neslecellene sitter hovedsakelig på tentaklene (brenntråder). Hos noen arter kan brenntrådene bli meget lange. Hos vår hjemlige brennmanet kan de bli flere titalls meter. Nærkontakt med maneter kan være ubehagelig, men er vanligvis ikke farlig for mennesker. Imidlertid finnes det maneter der nærkontakt ofte fører til dødsfall. Manetene kalles "sjøveps" og finnes i Australia, men heldigvis ikke hos oss. På strendene i Queensland er det vanlig med skilt som advarer badende mot manetene.

Apolemia er tydelig skadelig for fisk og kan brenne store sår i huden på velvoksen laks. Også mennesket føler at maneten brenner, men det varierer hvor mye ubehag folk føler. Noen betegner det som et lite stikk, mens andre mener at de brenner svært vondt og kraftigere enn vår vanlige brennmanet. De forskjellige beskrivelsene kan være avhengig av person, men også

av om manetene er i god form eller ikke.

Manetgift er vanligvis proteiner som medfører skade etter at det blir sprøytet inn i huden ved kontakt. Resultatet kan bli lokale reaksjoner med smerte eller at blodet fører giftstoffet videre ut i kroppen med eventuelle effekter i andre organer. Vi vet ingenting om giftstoffet som *Apolemia* produserer og hvordan det i detalj virker på fisk og mennesker. Institutt for farmakologi, mikrobiologi og næringsmiddelhygiene ved Norges veterinærhøgskole (NVH) har imidlertid startet et arbeid for å undersøke giftstoffet.

På verdensbasis er det heller ikke beskrevet effekter av inntak av manetgifter gjennom å spise fisk som er død av manetgift. Ekspertene ved NVH mener at sannsynligheten for at konsumenter av fisk som har vært i kontakt med *Apolemia* (men som er i såpass god tilstand at den fortsatt betraktes som mat) skal oppleve symptomer på forgiftning, er uhyre små.

Kan man beskytte oppdrettsanleggene mot manetene?

Oppdretterne er opptatt av å finne måter å beskytte anleggene sine mot maneter. Med støtte fra Fiskeridirektoratet har Fiskerikontoret i Flatanger gjort forsøk med å lede maneter bort fra en merd ved hjelp av en 15 m dyp brislingnot (maskevidde 0.5 x 0.5 cm). Noten ble formet som en plog og satt med fronten mot strømmretningen 50-100 m foran merden. Som flottører for noten fungerte korker utmerket. Det ble først forsøkt med oljelenser øverst, men det ble for kostbart. I forsøket ble anleggets permanente fortøyninger brukt til å feste brislingnoten. Hvis det er mulig å bruke landfester er det en god løsning.

Metodikken fungerte effektivt i Flatanger, og det ble påvist fem ganger så mye maneter på utsiden av noten som innenfor. Oppdretterne selv må avgjøre om denne metoden fungerer like bra på andre aktuelle lokaliteter.

Summary

The siphonophoran *Apolemia uvaria* invaded the Norwegian coast and killed farmed salmon for the first time in 1997. In the autumn 2001 another heavy invasion occurred and salmon were killed. The species originates in the North Atlantic and is spread with the north flowing Atlantic water. A numerical model demonstrates how *Apolemia* is spread northwards along the coast. The model also shows that significant amounts of *Apolemia* will be transported into the North Sea.

Stort kamskjell *Pecten maximus* lever på sandbunn, delvis nedgravd med sin flate skalledel i flukt med sedimentoverflaten (Figur 6.54). Arten har eksistert i havet i mange millioner år og finnes nå fra Marokko i sør til Lofoten i nord, på dyp fra like under tidevannssonen til flere hundre meter. Skjellarten regnes i dag som en lovende oppdrettsart. Når kamskjellet vokser, avsettes det daglige vekstsoner på skalloverflaten. Disse sonene inneholder lesbar informasjon om det omgivende vannets fysiske og kjemiske egenskaper fra dag til dag. Dette gjør kamskjellet til en effektiv biologisk datalogger som kan gi detaljert informasjon om miljøforholdene fra den gang og det sted skjellet levde. Nye kunnskaper om hvordan miljøet påvirker et skalls vekstmønster og kjemiske sammensetning har gjort det mulig å lese og tolke stadig flere detaljer. Analyser av meget gamle kamskjell kan gi data til tidsserier for jordas klima i forhistorisk tid.

Skalldannelse

Figur 6.55 viser overflaten av et stort kamskjell. Skalldannelsen skjer ved at celler i skallens ytterkant skiller ut daglige porsjoner med skallmateriale som legger seg utenpå hverandre i atskilte vekstsoner. Dette gir de typiske ringformede vekstsonene som er vist i forstørrelse på Figur 6.56. Skallet oppnår stor mekanisk styrke ved å danne buede "ribber" som stråler ut i vifteform fra et felles vekstsenter.

Vekstsonene er lettest å observere på de sist dannede deler av skallet og i gropene mellom de utstrålende ribbene. Avstanden mellom hver sone varierer fra 50 til 300 μm . Avstanden måles lettest på en dataskjerm ved hjelp av digital bildebehandling. Målingene blir mer nøyaktige dersom man på forhånd etses bort slitte vekstsonetopper. På innsiden av skallet ligger kappfolden hvor en finner skjellens mange øyne og et stort antall sensoriske tentakler.

Dannelse av daglige vekstsoner

Flere undersøkelser av skalldannelse hos kamskjell viser at det dannes en ny ring hver dag. Vi vet at skallveksten stopper helt opp om vinteren, og det



Figur 6.54

Kamskjellet *Pecten maximus* lever delvis nedgravd i sedimentet.

The great scallop Pecten maximus partly recessed in the sediment.

ser ut til at det fra første dag med skallvekst om våren til siste dag med skallvekst om høsten blir lagt ned en ring hver dag. Veksthastigheten mellom ringene bestemmer avstanden. Dette betyr at vi kan rekonstruere daglig skallvekst i sann tid gjennom en vekstsesong. Figur 6.57 viser hvordan vi med utgangspunkt i kjent dag for innsamling av kamskjellet og målt avstand mellom ringene fra siste avsatte ring, kan konstruere en vekstkurve tilbake til starten på vekstsesongen. Profilen på denne vekstkurven, dvs. endring i avstand mellom ringene gjennom vekstsesongen, varierer, men gjennomgående er de første ringene som dannes om våren meget tett inntil hverandre. Disse gir ofte en liten fargeforandring og en liten forhøyning på skalloverflaten. Denne ringen omtales ofte som årring og kan hos kamskjell benyttes til sikker aldersbestemmelse. Vekstprofilen gjennom resten av vekstsesongen viser oftest et typisk forløp med hurtig økning i skallvekstrate tidlig på sommeren, fulgt av avtakende vekstrate fremover høsten. Vekstringer kan avleses på hele skalloverflaten tilbake til første leveår.



Figur 6.55

Overflaten til et stort kamskjell. Skallet vokser i vifteform ut fra et vekstsenter (første vekstsone). I vekstperioden avsettes skallmaterialet i daglige vekstsoner som legger seg i konsentriske ringe etter hverandre.

The surface of great scallop. The shell grows in a fan shaped pattern by adding concentric ridges from a central growth centre (first growth zone).

Kunnskap om vekstmønster er viktig

Kunnskapen om vekststrategi for kamskjell fra ulike deler av utbredelsesområdet utgjør et viktig grunnlag for anvendelsen av kamskjell som miljøindikator. Skallvekst hos kamskjellet endrer seg med alder og er forskjellig i ulike deler av utbredelsesområdet. Gjennom et samarbeid med Universitetet i Bretagne (Frankrike), deltar Havforskningsinstituttet i studier av vekststrategi hos kamskjell i hele utbredelsesområdet for arten. Antall dager med vekst i løpet av året, dvs. lengden på vekstsesongen, avtar med økende alder, og det synes som om vekstsesongens lengde avtar raskere sørover i utbredelsesområdet. Unge kamskjell i Frankrike har lengre vekstsesong enn unge kamskjell i Norge, mens det for de eldre skjellene (> 4 år) er motsatt. I de sørlige bestandene avtar også maksimal veksthastighet (stor avstand mellom ringene) med økende alder, mens vi i norske bestander observerer maksimal vekstrate i det andre og tredje leveår.

En begrensning i bruk av vekstsoner hos kamskjell til aldersbestemmelse er at det kan oppstå avvik fra den typiske skalledannelsesrytmen. Dette er blant annet påvist i laboratorieundersøkelser hvor skjellene ble håndtert før forsøkene, og i situasjoner der skallet var

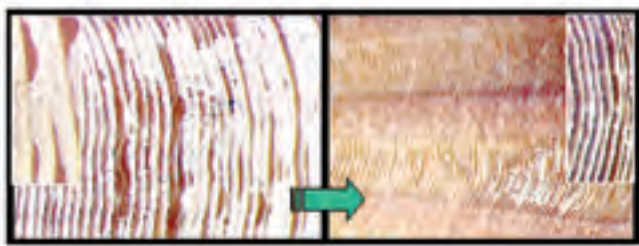
påført en fysisk skade eller der miljøforholdene hadde vært ekstreme. Taskekrabbe (*Cancer pagurus*) er et rovdyr på kamskjell som må knuse skallet med klørne for å kunne spise skjellet. Ved mislykkede angrep hvor skallkanten skades er det vist at skalledannelsen stopper i flere dager før den gjenopptas på samme nivå som før skaden ble påført.

Kamskjell som har vært dyrket i kasser eller nett, vil ved bevegelse og kollisjoner med andre skjell eller kassevegg få forstyrret skalledannelse. Dyrkede skjell er derfor ofte uegnet for vekstringundersøkelser. Ved analyse av vekstsoner hos kamskjell er det derfor viktig å ta i betraktning at den daglige skalledannelse hos kamskjell lett påvirkes av fysiologisk stress (håndtering) eller ekstrem miljøpåvirkning. Vekstsoneanalyser bør derfor bare foretas på skadefrie skjell med normalt vekstmønster.

Miljøets påvirkning på daglig skallvekst

Kamskjell som temperaturindikator

Hos kamskjell fra Vestlandet er det påvist en klar sammenheng mellom redusert daglig skallvekst om sommeren og oppstrømning av kaldt dypvann. Episoder med oppstrømning av kaldere dypvann



Figur 6.56

Vekstsonene på skalloverflaten hos kamskjell kan gi detaljert informasjon om vekstforløpet. På venstre halvdel av bildet vises nydannede vekstsoner som ikke har vært utsatt for slitasje. Høyre halvdel viser skall som er behandlet med syre, slik at toppen av vekstsonene er løst opp. På syrebehandlede skjell kan bredden på vekstsonene måles mer nøyaktig. Innfelt helt til høyre: Gamle vekstsoner på en slitt skalloverflate. Foto: Laurent Chauvaud.

The growth ridges on the shell surface hold detailed information about growth patterns in scallops. Left: Recently formed ridges. Right: Etched ridges. Etched ridges can be measured more precisely than non-treated ridges. Inserted right: Typical old scallop surface.

er relativt vanlig på Vestlandet om sommeren, og forårsakes av sterk vind fra nord som skyver overflatevannet ut fra kysten. Et klimatisk fenomen typisk for regionen kan derved spores på kamskjellenes skalloverflate. I Brestbukten i Frankrike har man i mange år undersøkt sammenhenger mellom miljø og kamskjellvekst som en del av et program hvor en studerer økologiske interaksjoner mellom vannsøylen og bunnmiljøet.

Temperatur er her vist å være den viktigste faktoren som styrer skallvekst. Ulik vekststrategi mellom populasjoner fra Frankrike og Norge tyder på at endring i daglengde kan være en viktig utløsende mekanisme for vekststart om våren. Effekter av fødetilgang på skjellvekst har vært undersøkt, men det er ikke funnet bevis for at fødebegrensning er en viktig vekstfaktor. Klorofyllnivået i Brestbukten er sjelden lavere enn $1.5-2 \mu\text{g l}^{-1}$. Området byr derfor på rikelig med næring året rundt.

Isotopbaserte metoder

For å bedre identifiseringen av årsaker til skallvekstvariasjoner har man tatt i bruk analyser av stabile isotoper i skallet. Slike metoder er kjent fra forskning på flere andre kalkdannende organismer

som koraller, foraminiferer, kiselalger, ulike arter skjell og otolitter fra fisk, særlig innen studier av klimaendringer. Mengdeforholdet mellom utvalgte stabile oksygenisotoper hos organismer som bygger kalkstrukturer er avhengig av temperaturen på tidspunktet for dannelsen. Forskjellen i oksygenisotop-mengdeforholdet mellom kamskjell fra Frankrike og Norge viser også en klar sammenheng med de respektive temperaturforskjeller. Denne sammenhengen kan brukes til å bestemme temperaturens påvirkning på vekst.

Endringer i planteplankton

Episoder med klar nedgang i skallvekst som kan forklares med samtidige endringer i planteplanktonsamfunn er godt dokumentert i Brestbukten. Oppblomstring av skadelige alger (*Gymnodinium cf. nagasakiense*) har ved flere anledninger gitt kraftig reduksjon i skallveksten. Etter oppblomstring av kiselalgene *Rhizosolenia delicatula* og *Chaetoceros sociale* har nedsynking av store mengder partikler til bunn redusert skallveksten, enten som følge av tilklogging av skjellenes fødeopptaksorgan eller av lave oksygenkonsentrasjoner nær bunn. Skallvekst etter endringer i planktonsamfunnet har ofte et karakteristisk mønster.

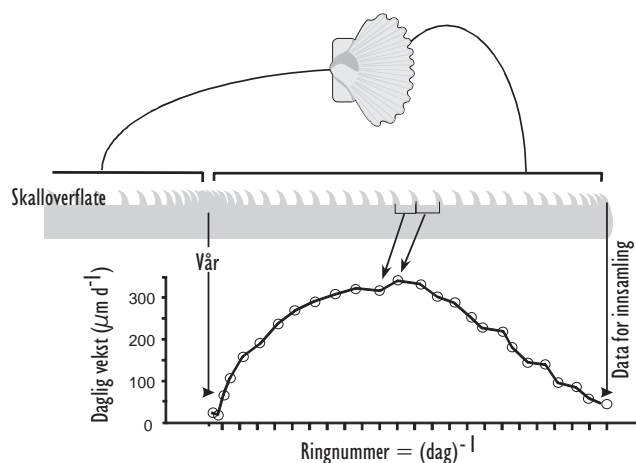
Hvilke algetyper har dominert?

Andre komponenter i skallet enn stabile isotoper kan også benyttes som informasjonskilde til hvordan miljøforholdene har vært i kamskjellens habitat. Barium i form av BaSO_4 er interessant fordi nærvær av denne komponenten ofte tyder på høy primærproduksjon. Det er også påvist sammenheng mellom økt bariuminnhold i skallet og stor produksjon av kiselalger. Under oppblomstring av flagellater (som mangler silisium) forblir Ba/Ca-forholdet på et lavt nivå. Dette kan brukes til å forstå hvordan variasjon i algefloaen har påvirket skallveksten og hvilke algetyper som har dominert.

Kamskjell i klimaforskning?

Mange marine arter etterlater seg kalkholdige strukturer som kan inneholde verdifull informasjon om fortidens klima. Avlesningen kan imidlertid være både komplisert og kostnadskreven (se *Havets Miljø 2001*, s. 101). Det unike med kamskjell er at vekstsonene inneholder klimainformasjon med meget høy tidsoppløsning som kan leses av med relativt enkle metoder.

Forskning på kamskjell fra vår egen tid har gitt oss gode generelle kunnskaper om sammenhengen



Figur 6.57

Prinsipp for beregning av vekstkurver basert på vekstsoner på skalloverflaten hos kamskjell.

Principle for the back-calculation of growth curves from measurements of growth ridges in scallops.

mellom kamskjellets miljø og dets vekst-mønster. I særlig grad vet vi nå at kamskjellets vekst påvirkes på karakteristisk vis av vannets temperat

og planteplanktonets sammensetning. Disse kunnskapene kan utnyttes til klimaforskning.

Det er gjort mange funn av kamskjell med godt lesbare vekstsoner fra forhistorisk tid. I Frankrike analyserer man for tiden vekstsonene til mer enn 8 000 år gamle skjell. Det skal bli spennende å se om informasjonen fra disse skjellene kan gi oss ny kunnskap om fortidens klima og klimaendringer.

Summary

The daily deposition of calcite in great scallop *Pecten maximus* contains characteristic traces of physical and chemical properties of the seawater that surrounded the scallop when the actual deposits were made. The chemical or isotopic composition of calcareous skeletons have long been recognized as records of past and present environmental conditions and thus allow reconstruction of the environmental history. Analyses of calcium depositions made during the shell formation of *Pecten maximus* have been successfully used to recover environmental information from the past.

Alle frykter unormale hendelser som både kan skade miljøet og egne interesser. Hvor stor er risikoen? Hva er egentlig normalt? Hvor store verdier kan vi tillate oss å sette på spill?

Hvert år utgir Fiskeridirektoratet en trykksak som kalles "Nøkkeltall fra norsk havbruksnæring". Tallene viser at havbruk er en utsatt næring, som risikerer sykdom, rømming, kjønnsmodning, giftige alger, smoltifisering, sårinfeksjon og mange andre plager.

Det å risikere noe er på langt nær særegent for oppdrettsnæringen. All menneskelig aktivitet innebærer en viss risiko. Dagliglivet er et godt eksempel. Tar man bil til jobben, risikerer man å kolliderer med

andre biler. Går man til jobben, risikerer man å bli påkjørt. Holder man seg hjemme og ser TV, risikerer man at TV-apparatet eksploderer. Noen aktiviteter medfører høy risiko, mens andre representerer en ubetydelig risiko. Men selv ikke passivitet er helt risikofritt.

Næringsvirksomhet i og ved havet innebærer i særlig grad risiko for uønskede hendelser som følge av naturkreftenes eller menneskenes spill. Myndighetene er forberedt på slike unormale hendelser. Fiskeridirektoratets varslings- og beredskapsplan ved krisehåndtering i kystsonen fra 1977 forteller at myndighetene forventer problemer på grunn av giftige algeoppblomstringer, oljesøl, industri, kjemi-



Figur 6.58

En tilsynelatende normal dag i Kyst-Norge. Ingen miljøkriser i sikte. Men før eller siden vil det komme en storm som gjør sjøen til et inferno, senker skip og ødelegger landfaste verdier. På overflaten driver det kanskje allerede oljeutslipp. Under overflaten kan farlige forurensninger og giftige alger nærme seg. Hvor stor er sannsynligheten for at denne normale dagen vil ende i en krise?

A normal day on the Norwegian coast. No environmental problems in sight. However, destructive storms may be building up in the atmosphere. Oil spill from a sunken tanker may drift on the surface. Below the surface dangerous pollutants and poisonous algae may be homing in. Our authorities are prepared to meet environmental crises, but how probable are they to occur?

kalieutslipp, ilanddrevne sjøpattedyr, atomulykker med radioaktivitet, ekstremt vær, massedød av fisk og rømt oppdrettsfisk (Figur 6.58).

Sannsynlighetsbegrepet

Forventning er et upresist uttrykk for sannsynlighet. Hvis det f.eks. oppdages giftige alger i et område, forventes det fiskedød i nærliggende oppdrettsanlegg. Men hvor sannsynlig er det at en slik hendelse vil inntreffe? Her kommer sannsynlighetsregningen inn. Vi disponerer i dag objektive og rasjonelle matematiske metoder som kan regne ut sannsynlighetstall for både tenkelige og utenkelige miljøhendelser. Men metodikken er ikke nødvendigvis korrekt. Sannsynlighetsregning er nemlig grunnleggende usikker.

Tabell 6.5

Sannsynlighetsskalaen. 1 representerer en absolutt sikker hendelse. 0 representerer en absolutt umulighet. Alle hendelser som ikke er helt sikre eller helt umulige har en sannsynlighet mellom 0 og 1.

The probability scale. 1 represents an event that is absolutely certain to occur, i.e.: one day you will die. 0 represents an event that will never occur, i.e.: one day you may jump to the moon.

Skala	Sjansse	Hendelse
1	Absolutt sikkert	At du vil dø en dag
0.9		
0.8		
0.7		
0.6		
0.5	50/50 sjansse	Mynt-krone
0.4		
0.3		
0.2		
0.1		
0	Absolutt umulig	Å hoppe til månen

Sannsynlighet kan måles

Selv om sannsynlighet er noe som er usikkert, er det likevel en målbar størrelse. Måleenheten er et tall mellom 0 og 1 på en sannsynlighetsskala. Tabell 1 viser denne sannsynlighetsskalaen. Tallet 1 representerer den absolutte visshet. Det er absolutt sikkert at du vil dø en gang. Matematikeren betegner denne helt sikre hendelsen som $p=1$, der p er en forkortelse for det engelske ordet "probability" (sannsynlighet). Nederst finner vi tallet 0 som tilsvarende angir den absolutte umulighet. Det er absolutt umulig at du klarer å hoppe til månen ved egen hjelp. Matematikeren sier at $p=0$. En hendelse som verken er helt umulig eller er helt sikker har en sannsynlighet mellom 0 og 1.

Beregning av sannsynlighet

Der er flere måter å komme frem til et sannsynlighetstall på. Den mest brukte metoden er den empiriske. Denne er basert på reelle eller tenkte "forsøk". Man teller hvor mange ganger en hendelse inntreffer ved et bestemt antall forsøk. Deretter defineres den empiriske sannsynlighet som:

$$p = \frac{\text{Det totale antall ganger en hendelse inntreffer}}{\text{Forsøkernes totale antall}}$$

De fleste sannsynlighetstall i vårt liv er empirisk bestemte. Av Fiskeridirektoratets nøkkeltall for norsk havbruksnæring finner vi f.eks. at det i Finnmark ble slaktet 4.17 mill. laks i 2000 og at det ble rapportert 43 000 rømminger i 1999. Dersom vi antar at antall slaktede individer i 2000 er et godt mål for populasjonen i 1999, kan vi empirisk beregne sannsynligheten for at en tilfeldig fisk i et oppdrettsanlegg i Finnmark ville rømme i løpet av 1999 til $43000/4170000 = 0.01$. I gjennomsnitt vil altså hver 100. fisk rømme.

Tre grunnleggende sannsynlighetsregler

Avansert sannsynlighetsregning er vanskelig. Men i hverdagen kommer man ganske langt med kjennskap til Tabell 1 og følgende tre grunnleggende sannsynlighetsregler:

Regel 1

Dersom sannsynligheten for en hendelse A er $p(A)$ er sannsynligheten for at A ikke inntreffer lik $1 - p(A)$

Regel 2

Dersom sannsynligheten for en begivenhet er $p(A)$ og sannsynligheten for en annen begivenhet er $p(B)$ og $p(A)$ og $p(B)$ ikke kan inntreffe samtidig, er sannsynligheten for at en av hendelsene vil opptre lik $p(A) + p(B)$

Regel 3

Dersom sannsynligheten for en hendelse er $p(A)$ og sannsynligheten for en annen hendelse er $p(B)$ er sannsynligheten for at både A og B inntreffer lik $p(A) \times p(B)$

"En ulykke kommer sjelden alene"

Når ulykken rammer, kan det føles som om alt som kan gå galt skjer samtidig. Men sannsynlighetsreglene sier det motsatte. En ulykke som krever at to eller flere begivenheter opptrer samtidig er i virkeligheten høyst usannsynlig.

Et settefiskanlegg må f.eks. ha jevn tilførsel av friskt vann. Dersom vanntilførselen stanser samtidig som de driftsansvarlige ikke varsles, vil settefisken dø, og katastrofen er et faktum. Dette er en typisk regel 3-situasjon. Dersom vanntilførselen svikter typisk én dag per år, kan vi anslå sannsynligheten for vannsvikt som $1/365 = 0.0027$. Dersom varslingsanlegget i gjennomsnitt er ute av drift to dager per år, blir sannsynligheten for sviktende varsling på en tilfeldig dag lik $2/365 = 0.0054$.

Sannsynligheten for at vannforsyning og varsling en dag skal svikte samtidig er ifølge regel 3 produktet av de to sannsynlighetene, dvs. $0.0054 \times 0.0027 = 0.0000146$. Det vil altså sannsynligvis gå ca. 100 000 dager eller 274 år før denne ulykken skjer.

“En ulykke kommer alltid alene “ ville statistisk sett vært et mye riktigere ordspråk!

Hva er egentlig normalt?

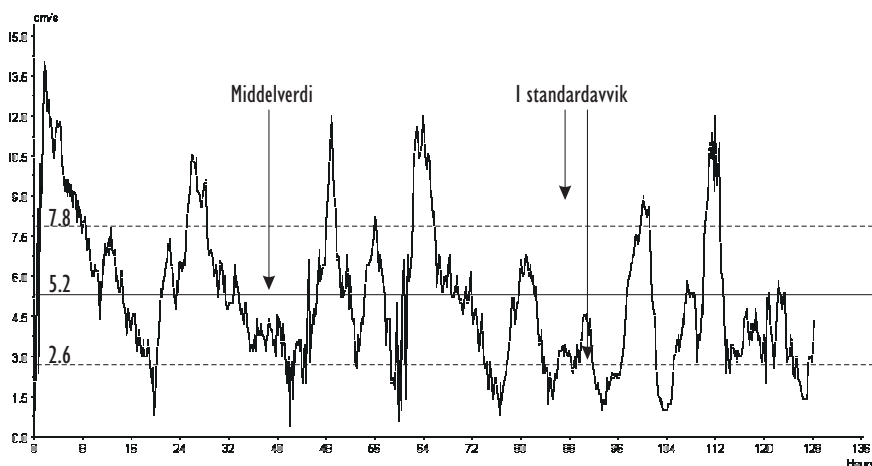
Normalbegrepet er viktig. Vi vil gjerne ha det som normalt. Den “normale” strømmen rundt en oppdrettslokalitet er f.eks. avgjørende for lokalitetens bæreevne. For å få konsesjon må oppdretteren utføre strømmålinger som sannsynliggjør at de normale strømforholdene er akseptable og at det er liten sannsynlighet for ekstreme strømverdier.

Figur 6.59 viser en typisk måleserie av strømstyrken ved et anlegg. Hva er normal strøm for denne lokaliteten? Det vanligste er å beregne den aritmetiske gjennomsnittsverdien. Det viste diagrammet bygger på 771 enkeltregistreringer. Det aritmet-

iske gjennomsnitt, dvs. summen av alle målte strømhastigheter delt på antall målinger = 5.2 cm/s.

Middelverdien antas vanligvis å være representativ for alle målingene, selveste “den normale” strømhastigheten. Mon det? Figuren viser faktisk at strømmen bare ytterst sjelden er lik middelverdien. Middelverdien forteller heller ikke hvor mye strømmen varierer. Selv om gjennomsnittsverdien kan være en bra strømverdi for oppdrettsanlegget, kan kanskje maksimums- eller minimumsverdiene være katastrofale. Vi trenger derfor tilleggsparametre som kan beskrive hvor store avvik fra middelverdien vi kan vente oss. Disse parametrene kalles varians og standardavvik.

Variansen, dvs. det gjennomsnittlige kvadrerte avvik fra middelverdien, er en sentral parameter som inngår i de fleste avanserte statistiske beregninger. Blant annet benyttes den i en matematisk modell (“MOM”-modellen), som kan avgjøre om et anlegg får konsesjon eller ikke. Datamaskiner trives med kvadrerte tall, men for både oppdrettere og folk flest er det lettere å forholde seg til den normale måleenheten cm/s. Derfor beregner vi også kvadratroten av variansen. Dette kalles standardavviket. Standardavviket kan oppfattes som det gjennomsnittlige avviket fra strømmens middelverdi. I praksis vil strømhastigheten på en gitt lokalitet stort sett ligge innenfor $+ - 1$ standardavvik fra beregnet middelverdi. I det viste eksempel er standardavviket 2.6 cm/s. Strømhastigheten vil derfor sannsynligvis til enhver tid ligge et sted mellom 2.6 og 7.8 cm/s.



Figur 6.59

Målt strømhastighet ved et oppdrettsanlegg. I måleperioden er strømhastigheten svært sjelden lik middelverdien, men som forventet ligger den stort sett innenfor $+ - 1$ standardavvik. Recorded current speed at a fish farm location. The current speed is very seldom equal to the calculated mean current speed, but most of the time it is within $+ - 1$ standard deviation.

Korrelasjon og årsakssammenheng

En av de vanskeligste oppgaver en miljøforsker kan settes til er å avgjøre hva som forårsaker et definert miljøproblem. En fabrikk slipper f.eks. miljøgiftig avfall ut i en tilstøtende fjord. Det observeres mye død fisk i fjorden. Er fabrikk ansvarlig? I slike saker dreier argumenteringen seg om nok et statistisk begrep, nemlig korrelasjon. To begivenheter X og Y er korrelert dersom begivenhet X ofte opptrer sammen med Y. To begivenheter X og Y har en årsakssammenheng dersom X alltid følger Y.

En forsker som ønsker å tallfeste korrelasjoner må vanligvis gjøre eksperimenter. Et typisk eksperiment i giftsaken som nevnt over ville være å fore forsøksgrupper av fisk med økende konsentrasjoner av den aktuelle miljøgiften og deretter observere dødeligheten. Er funksjonssammenhengen mellom giftinntak X og dødelighet Y perfekt, (noe som aldri skjer i praktisk forskning) får han et diagram som vist i Figur 6.60A. Er der en viss funksjonssammenheng, blir resultatet som i Figur 6.60B, mens ingen funksjonssammenheng vil gi et plott som i Figur 6.60C.

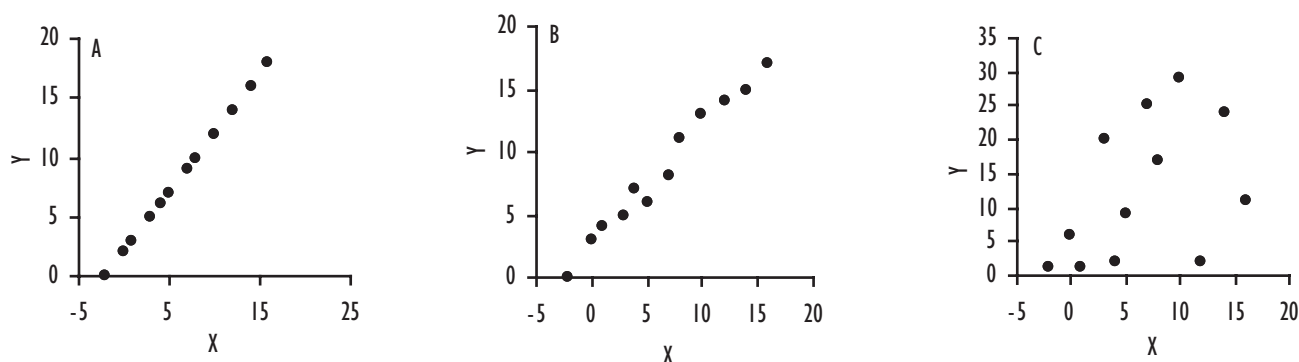
Det er viktig å ha klart for seg at en påvist funksjonssammenheng ikke nødvendigvis også betyr årsakssammenheng. Korrelasjonen kan være tilfeldig. Der er kanskje ikke gjort mange nok eksperimenter. Eksperimentet kan ha systematiske feil. I siste instans må det brukes skjønn. Miljø saker ender derfor ofte i retten.

Livsfarlige kjernekraftverk - et nytt favorittmål for terrorister

Noen former for miljørisiko gjelder vår egen tid, mens andre er farlige på lang sikt. Kjernekraft er nå vårt største akuttproblem. En eksplosjon i et kjernekraftverk vil ha forferdelige miljøkonsekvenser både der ulykken skjer og i alle tilgrensende områder. Kjernekraftindustrien benekter ikke dette, men den fremstiller sannsynligheten for en reaktoreksplosjon som så liten at ulykker aldri kan forekomme i praksis. Offisielle tall fra britisk kjernekraftenergi angir f.eks. at landets kjernekraftverk er så sikre at det statistisk sett vil gå 10 000 år før det skjer en ødeleggende ulykke i ett av dem.

Tallene er ment som et argument for kjernekraft. Men de kan like gjerne vinkles til et argument mot kjernekraft. 10 000 år mellom hver ulykke betyr 0.0001 alvorlige reaktorulykker per reaktor per år. I vest-Europa har vi nå 124 aktive kjernekraftverk. Dersom vi antar at alle er like sikre, blir risikoen for en alvorlig ulykke i ett av dem 124 ganger større, dvs. 0.012 per år. Sannsynligheten for en eksplosjon i løpet av de neste 25 år er $25 \times 0.012 = 0.3$.

Det er altså en sjanse mot tre for at det vil oppstå en kjernekraftulykke i vest-Europa med store tap av menneskeliv og ødeleggende miljøeffekter innen år 2027. Den økende sannsynlighet for terroristangrep mot kjernekraftverk gjør ikke situasjonen bedre.



Figur 6.60

Prinsipielle korrelasjonssammenhenger mellom to størrelser X og Y. A: Perfekt korrelasjon. B: Sannsynlig korrelasjon. C: Ingen korrelasjon.

Principal correlation between variables X and Y. A: Perfect correlation. B: Probable correlation. C: No correlation.

Hvor går grensen for akseptabel risiko?

Å gi tillatelse til menneskelige aktiviteter som med en tallfestet sannsynlighet kan skade både dagens og fremtidens miljø, er ubehagelig for enhver myndighet. Bevisst eller ubevisst må myndighetene avveie forventet gevinst mot forventet tap. Frontene i de fleste miljødebatter gir seg selv. Naturvernerne maksimerer risikoaspektet mens motparten bagatelliserer risikoen. Argumenteringen er følelsesbetont og følger gjerne politiske skillelinjer. Kjølige analyser av forventet tap og forventet gevinst er stort sett fraværende i offentlig miljødebatt.

Konklusjon

Risikohåndtering er en uunngåelig del av marin

miljøforvaltning. I risikosaker er det viktig å kunne vurdere alvorlighetsgraden av en oppstått eller en fryktet hendelse og handle deretter. Ingen er tjent med at en bagatellmessig risiko overdrives eller at en dødsens alvorlig risiko bagatelliseres. Risiko er uunngåelig, men risikoanalyse kan hjelpe oss til å treffe rasjonelle beslutninger.

Summary

All human activity – including inaction – carries an element of risk. Risks to the marine environment must be met in appropriate ways. Risk analysis based on the rules of probability may sort out small risks from large ones and enable us to make decisions that are in proportion with the actual degree of risk.

Resultater fra numeriske beregningsmodeller for spredning av lakselus i Sognefjordområdet viser at lakselusa har en evne til å spre seg over store områder. Dermed kan den utgjøre en stor trussel for vill laksefisk. Evnen til å spre seg vil også være et problem for oppdrett, da oppdrettsanlegg med lakselusproduksjon potensielt kan eksportere smitte til anlegg langt vekk.

Lakselus – Lepeophtheirus salmonis

Lakselus er en parasitt som sitter på laks og sjøørret. Den spiser på fiskens slim, hud og blod. Fisken blir stresset, får problemer med saltbalansen og er mer utsatt for infeksjoner. Om en laksesmolt har mer enn 10-15 lakselus på seg, er den så svekket at den sannsynligvis ikke vil overleve oppholdet ute i havet før den skal returnert til elva for å gyte. Lakselus er et stort problem både for oppdrettsfisk og villfisk. Årlig verditap i Norge er flere hundre millioner kroner.

Lakselusas livssyklus består av ti stadier. I de tre første driver lakselusa fritt i vannmassene uten å ta til seg næring. I stadium 3 er lakselusa infektiv og i stand til å sette seg på en laksefisk. Hvor lenge stadiene varer avhenger av temperaturen på den måten at relativt kaldere vann gir lenger varighet. Ved 8 °C vil det ta ca 4.5 dager fra klekking til lakselusa er infektiv, og de kan etter dette være infektive i helt opp til 23 dager. For 12 °C er de tilsvarende tallene ca. 2.5 og 13 dager. Det vil si at ved 8 °C kan lakselusa spre seg i nesten en måned, mens ved 12 °C er den mulige spredningsperioden redusert til det halve. Med de typiske strømhastighetene i vestnorske fjordområder, betyr det at lakselusa kan bli fraktet flere hundre kilometer vekk fra klekkingsstedet mens den er i stand til å infisere laks.

Strømmen i kyst- og fjordområdene

Strømmen av vannet i fjordene og kystområdene kan på mange måter sammenlignes med været i atmosfæren. Begge er karakterisert av relativt hurtige og uforutsigbare skiftninger.

Spesielt for forholdene i kyst- og fjordområdene er at mange krefter virker samtidig på vannmassene. Vinden er en viktig drivkraft som skaper strøm. En annen viktig drivkraft er tidevannet, som sammen med komplisert topografi kan skape svært sterke lokale strømmer (f.eks. i trange sund). Stor tilførsel av ferskvann til fjordene fører til lagdeling i vannmassene, og vi får ofte forholdsvis sterke strømmer forbundet med indre bølger og med transport av ferskvann i et overflatelag. Bredden av fjorden er vesentlig når det gjelder hvordan strømmene utvikles. I fjorder bredere enn ca. 1 km vil jordrotasjonen styre strømmen mot høyre.

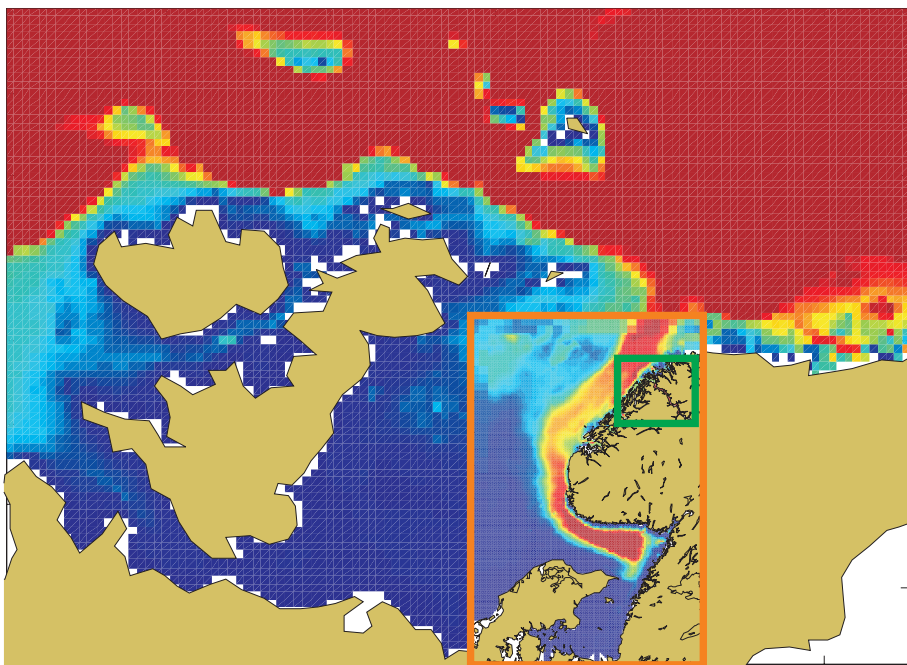
På kysten og kontinentalsokkelen er strømmene i stor grad del av Den norske kyststrømmen. Den norske kyststrømmen frakter forholdsvis lett (ferskt) vann fra Skagerrak og nordover langs norskekysten. Typisk for denne strømmen er store variasjoner i retning og styrke. Til tider er det også en stor utveksling av vann mellom fjordene og kystfarvannet, slik at det er nødvendig å kjenne strømforholdene i kystfarvannet for å finne strømforholdene inne i fjordene.

Numerisk modellering av sirkulasjonen i fjordene

Basert på havets fysiske lover, kan en beregne strøm, saltholdighet og temperatur med såkalte numeriske havmodeller på datamaskiner. Siden en tross alt bare kan foreta et begrenset antall beregninger, må vannvolumet en skal simulere stykkes opp i en rekke mindre volumelementer som til sammen utgjør et tre-dimensjonalt rutenett (et såkalt numerisk gitter). Modellen beregner derfor middelveier av de fysiske parameterne for hvert av disse volumelementene, som til sammen utgjør det totale bildet. For havområder (store geografiske områder) har disse volumelementene gjerne en horisontal utstrekning på 20x20 km (og en sier at modellen har en oppløsning på 20 km). Vertikal utstrekning av volumelementene varierer fra noen cm (nær overflaten) til flere hundre m (nedover i dypet). Modellens oppløsning vil begrense hvor detaljert resultatet blir, slik at detaljer i fysikken

med utstrekning mindre enn to ganger oppløsningen ikke kan beskrives.

Skal vi bruke en numerisk havmodell for å beregne strømmene i fjordområder har vi to utfordringer. For det første bør modellen dekke et så stort geografisk område at en får beregnet strømmene ute i



Figur 6.61

Bunn­dyp og geografisk utbredelse for de tre modellene som brukes ved beregning av strøm og vann­massefordeling i Sognefjorden. Den grovste modellen har en oppløsning på 20 km og dekker Nordsjøen. Den mellomste modellen har en oppløsning på 4 km og dekker Skagerrak og Vestlandskysten (oransje firkant). Sognefjordmodellen (grønn firkant) har den fineste oppløsningen som er på 800 m.

Bottom topography and model domains for the three numerical models used for the production of currents and hydrography in the Sognefjord. The largest model has a resolution of 20 km and covers the North Sea. The middle model has a resolution of 4 km, covering the Skagerrak and the coast of western Norway (orange square). The resolution of the Sognefjord model is 800 m (green square).

kystfarvannet som påvirker utvekslingen av vann med fjordene. For det andre bør den romlige utstrekningen av volumelementene i modellen være liten nok til at nødvendige detaljer i fysikken kan beskrives. Det fører til at den numeriske modellen stadig blir tyngre å kjøre for en datamaskin når vi prøver å tilfredstille disse utfordringene. Til slutt må vi finne et kompromiss mellom størrelsen på modellområdet, oppløsningen og regnekapasiteten til datamaskinen.

For å beregne lakselusspredning har vi satt opp en numerisk havmodell for Sognefjorden (Sognefjord-

modellen). I dette oppsettet har vi har brukt detaljer om topografi og lokale drivkrefter (tidevann, ferskvannsavrenning og vind). Horizontal oppløsning for Sognefjordmodellen er 800 m. For å inkludere utvekslingen av vann mellom Sognefjorden og kysten utenfor, er det nødvendig først å simulere hele Nordsjøen med en forholdsvis grov modell og deretter

Vestlandskysten med en litt finere modell (Figur 6.61).

Vinden i fjordene

Vinden er en av de viktigste drivkreftene som lager strøm i fjordene. Dette foregår både direkte ved at vinden dytter vannet i overflatelaget av gårde, og indirekte ved at dette vannet lager oppstrømning eller nedstrømning langs land og som skaper strøm via indre bølger. Vinden bidrar også til å blande vannet i de øvre vannlagene.

Vinden ute på det åpne havet er bestemt av høytrykk og lavtrykk i atmosfæren. Vindens retning og styrke endres forholdsvis lite over store avstander i åpent hav. På Vestlandskysten blåser det vanligvis enten nord eller sør langs kysten. I fjordene vil fjellene påvirke vinden, og inne i fjorden vil vinden som regel blåse i fjordretningen. Om det vil blåse inn eller ut fjorden kan vi ikke alltid forutsi på grunnlag av kystvinden.

Sognefjordmodellen dekker et område hvor den lokale vinden er sterkt påvirket av fjellene. I samarbeid med Geofysisk institutt ved Universitetet i Bergen har vi blitt nødt til å gjøre egne beregninger av vinden i dette området med en vindmodell, siden slik detaljert vind ellers ikke finnes. Oppløsningen av vindmodellen er 3 km og den dekker hele Vestlandet.

Resultatene fra vindmodellen viser hvordan fjellene styrer vinden, og at vinden ute på kysten avviker fra vinden innover i fjorden (Figur 6.62).

Med sønnavind på kysten kan det blåse enten inn fjorden (Figur 6.62a) eller ut fjorden (6.62b). Det kan også være nærmest vindstille på kysten men fortsatt blåse ut fjorden (Figur 6.62c). Med nordavind på kysten kan det være vindstille inne i fjorden (6.62d), det kan blåse inn fjorden (Figur 6.62e) eller ut fjorden (Figur 6.62f). De høyeste vindhastighetene inne i fjorden for disse situasjonene er kraftige (opptil 10 m s^{-1}).

Spredning av lakselus

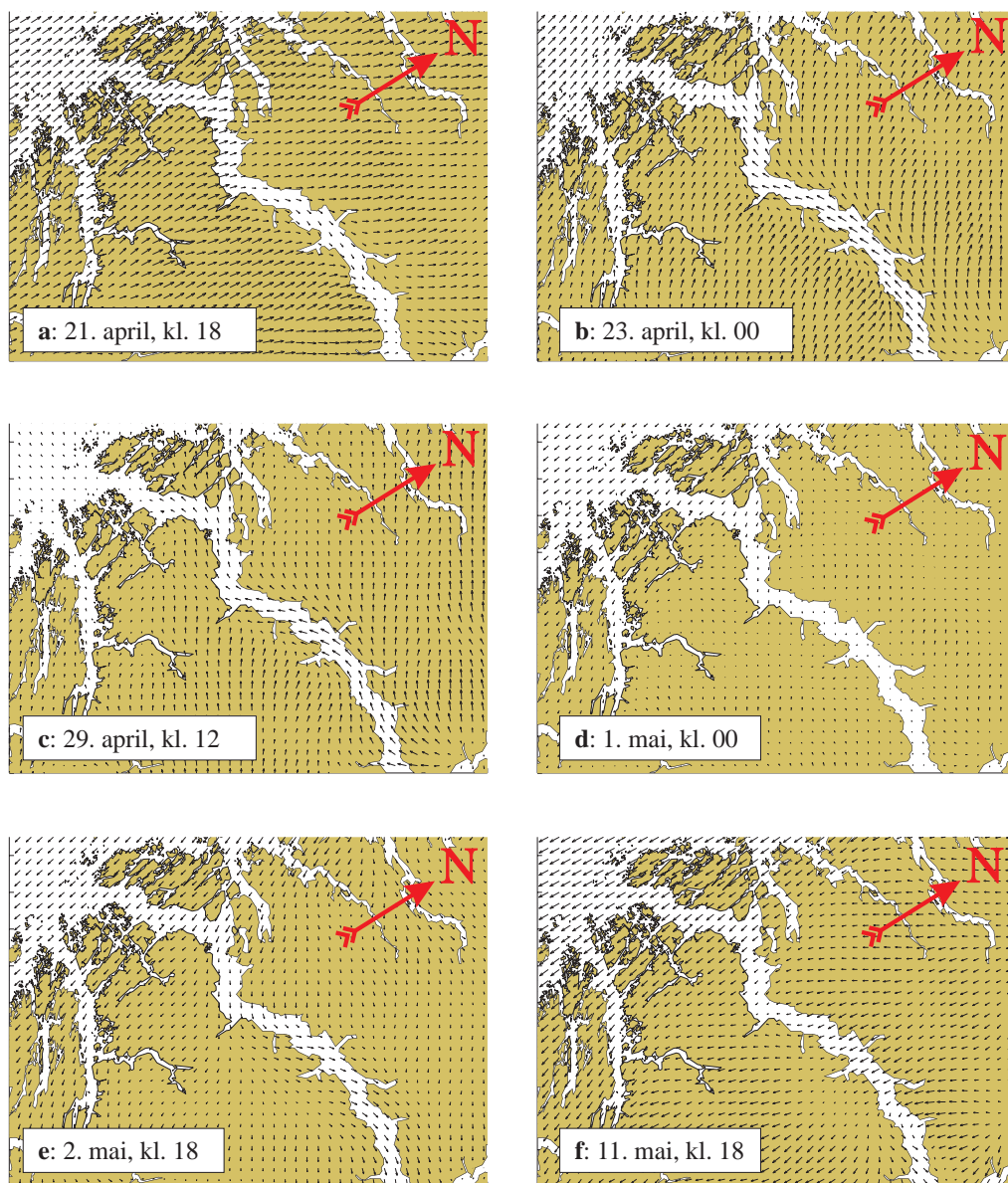
Lakselusa lever fritt i vannmassene i 2-4 uker fra de klekkes til de må sette seg på en vertsfisk. Forflytningen av lakselusa vil hovedsakelig bli styrt av strømmene i vannet, dvs. den driver mer eller mindre passivt. Sannsynligvis kan den svømme vertikalt i vannmassene, men det knytter seg usikkerhet til hvorfor den gjør det. Vi vet at lakselusa ikke liker å oppholde seg i altfor ferskt vann, og at den derfor vil

svømme nedover hvis den skulle befinne seg i slike vannmasser.

Vi trenger detaljert informasjon om strømmene, saltholdigheten og temperaturen av vannmassene i fjorden for å beregne spredningen og veksten av lakselusa. Denne informasjonen er tilgjengelig fra Sognefjordmodellen.

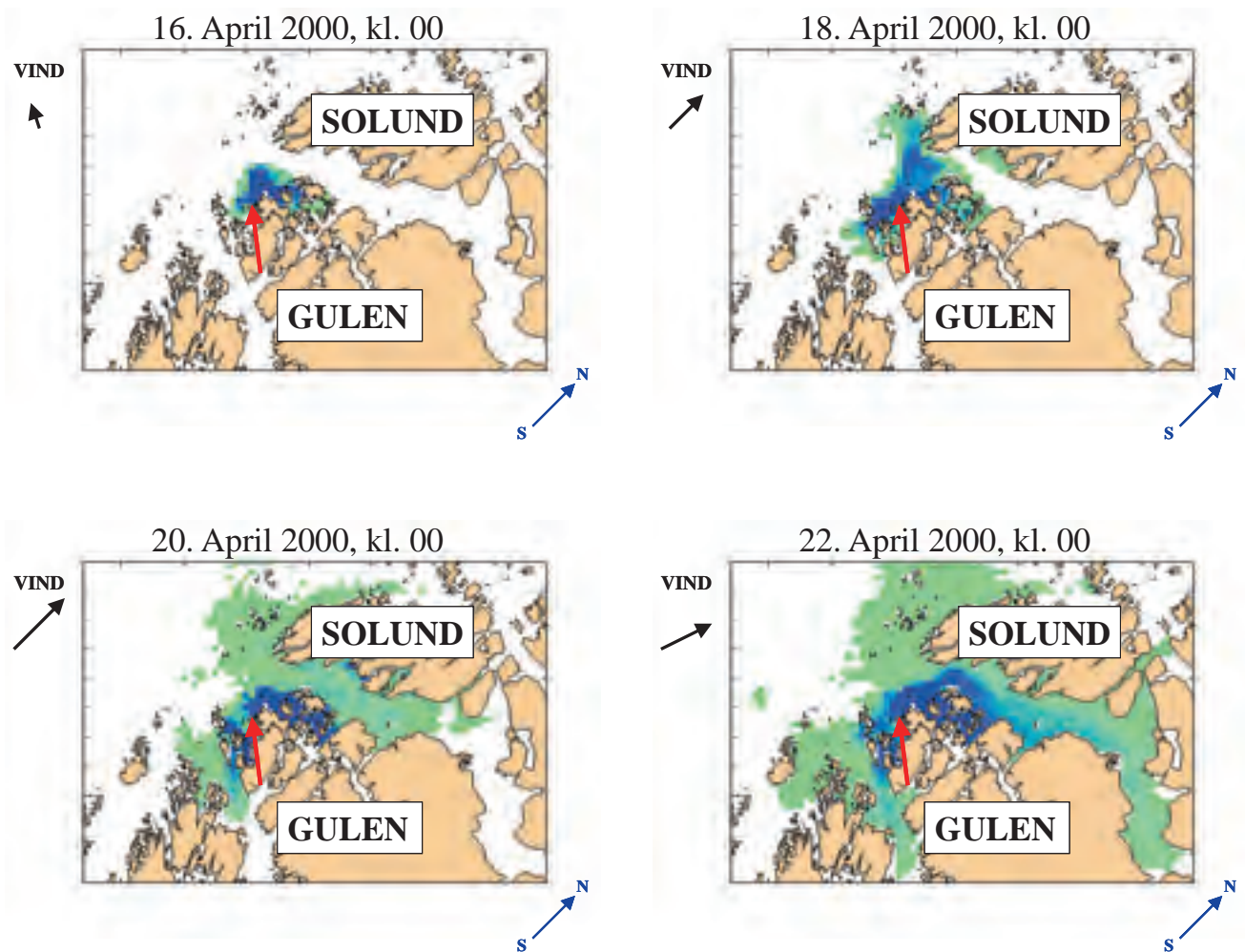
I en spredningsmodell for lakselus kan vi benytte to beregningsmetoder. Den totale strømmen i fjorden beregnet ved hjelp av Sognefjordmodellen settes sammen av middelstrømmen i et stort antall volumelementer som hver har horisontal utstrekning $800 \times 800 \text{ m}$.

Metode 1 går ut på å beregne forflytning av lakselus mellom disse volumelementene på grunnlag av strømmen i volumelementet selv og de tilgrensende



Figur 6.62
Bakkevind beregnet med vindmodellen for seks forskjellige tider i Sognefjorden. Vindvektorene har en innbyrdes avstand på 2400 m. Vindhastighetene inne i Sognefjorden er opptil 10 m s^{-1} (de lengste pilene).

Surface wind as calculated by the wind model for six dates in the Sognefjord. The wind vector inter-distance is 2400 m. The longest wind vectors represents speed of 10 m s^{-1} .



Figur 6.63

Simulert spredning av lakselus i 10 m dyp i ytre del av Sognefjorden. Lakselus spres fra en konstant kilde markert med den røde pila basert på beregnet strøm i perioden 14. til 22. april 2000. Mørk blå farge angir høyest tetthet av lakselus, mens lysere farge og overgang til grønt betyr redusert tetthet.

Simulated spreading of salmon lice at 10 m depth in the outer parts of the Sognefjord. Salmon lice spreads from a constant source (at the red arrow) based on calculated currents for the period 14 April to 22 April, 2000. Dark blue colour represents the highest density of lice, while lighter blue and green colour represent reduced densities.

elementene. Utgangspunktet er mengden av lakselus innenfor hvert volumelement i starten av simuleringen. En beregner også hvor mange lus som tilføres fra ulike kilder underveis. Metode 1 er brukt i et eksempel fra ytre deler av Sognefjorden (Figur 6.63) og viser hvordan lakselus spres fra en enslig kilde basert på den beregnede strømmen med start 14. april 2000 og ca. 9 dager fram i tid. Situasjonen hver andre dag i 10 m dyp er vist i Figur 6.63, og vi legger merke til en økende geografisk spredning og avtagende mengde lus jo lenger vekk fra kilden en kommer. Når vinden øker fra sør vil lakselusa bli sendt langt innover Sognefjorden med strømmene som oppstår. Metode 1 egner seg godt til å estimere potensiell spredning av lakselus fra oppdrettsanlegg.

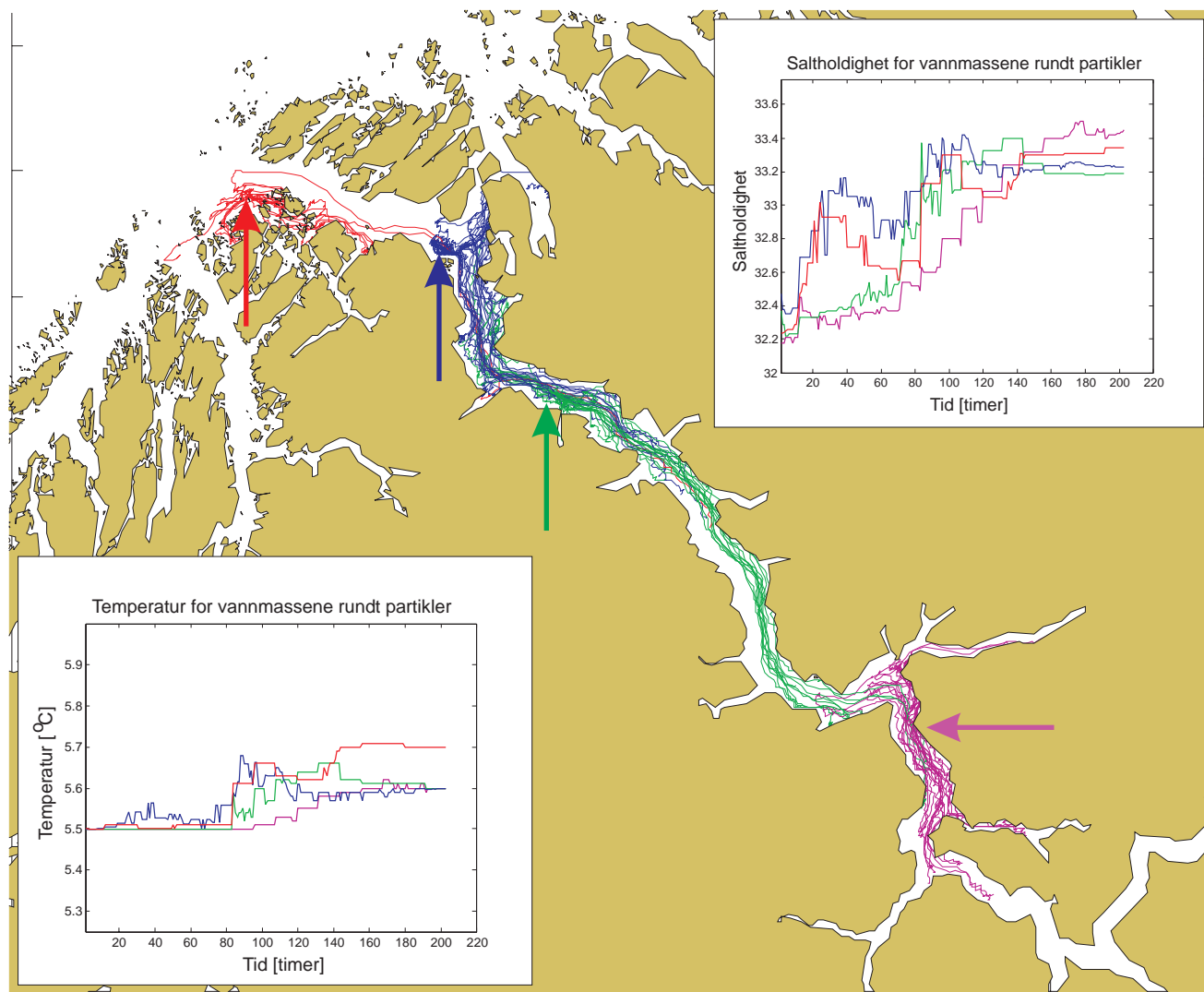
Metode 2 er basert på å finne forflytningen av hver enkelt lakselus for seg. Da kan vi samtidig beregne veksten av modell-lakselusene (som en funksjon av omgivelsestemperaturen), og vi kan i tillegg gi lusene en egen adferd og bevegelse. Modellen kan beregne driften av tusenvis av lakselus på én gang, og startpunkt og starttidspunkt for de enkelte lusene kan velges.

Som et eksempel ble det ved en bestemt kjøring sluppet løs en lakseluspartikkel per døgn i fire posisjoner i Sognefjorden (Figur 6.64). Disse ble deretter forflyttet i strømmen beregnet for perioden 14. april til 22. april 2000. Partiklene fulgte individuelle baner, og omgivelsestemperatur og saltholdighet kan

avleses (Figur 6.64). Hvis vi kjenner posisjonen til alle partiklene for alle tider, kan vi beregne samlet spredning. Vi kan også beregne spredningen av lusene ut fra hvilke livsstadier de befinner seg i, og om de har overskredet maksimal levealder. Smittepresset kan finnes ved å hente ut antall lakselus som har vært innom bestemte posisjoner gjennom simuleringen, eller ved å la en “modellsmolt” svømme gjennom fjordområdet og telle hvor mange lakselus den kommer i nærheten av.

Konklusjon

Ved å benytte numeriske modeller for strøm, saltholdighet og temperatur kan vi beregne spredning av lakselus i Sognefjorden. Resultatene viser at i løpet av den tiden lakselusa driver fritt i vannmassene kan den spres over store avstander. Ved gunstigste spredningsforhold vil lakselusa kunne forflyttes flere hundre km i løpet av 20 dager. Netto forflytning av lakselusa kan også være liten siden strømmene skifter mye og går både ut og inn av fjordene. Målet for



Figur 6.64

Beregnet forflytning (trajektorier) av ca. 40 modellakselus som har drevet i Sognefjorden i perioden 14. til 22. april 2000. Strømmen er beregnet av Sognefjordmodellen. Grafene viser tidsutvikling av saltholdighet og temperatur som lakselusene opplever.

Calculated displacement of approximately 40 model salmon lice drifting in the Sognefjord in the period April 14 to 22 April 2000. The currents are calculated by the Sognefjord model. The graphs show the development of the ambient temperature and salinity experienced by the salmon lice.

modellstudiene er å bidra til å redusere trusselen fra lakselusa. For eksempel kan vi gi råd om plassering av oppdrettsanlegg eller hvordan kjemisk avlusning av oppdrettsfisk bør utføres.

Summary

A numerical transport model for Sognefjorden shows that the salmon lice in its infectious stadium can be

be transported several hundred km from its hatching ground. However, the currents in the fjords change direction quite rapidly and the resulting net transport can also be very short. Key factors determining the salmon lice threat to the wild fish are the density of salmon lice, the amount of fresh water in the fjord, and the currents. The model will be used to find ways to reduce the threat of salmon lice to the salmon.