

FISKEN OG HAVET, SÆRNUMMER 2 - 2000

ISSN 0802 0620

HAVETS MILJØ

2000

Redaktør
Jan Aure



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Februar 2000

INNHOOLD

FORORD	6
PROGNOSE FOR 2000	9
PROGNOSIS FOR 2000	10
SAMMENDRAG	11
SUMMARY	13
1. ØKOSYSTEMET I BARENTSHAVET	15
1.1 Havklima.....H. Loeng	15
1.2 Plankton.....A. Hassel	20
1.3 Yngelproduksjon.....H. Gjøsæter	23
2. ØKOSYSTEMET I NORSKEHAVET OG PÅ KYSTEN	24
2.1 Havklima.....J. Blindheim og J. Aure	24
2.2 Plankton og næringssalterB. Ellertsen, F. Rey og W. Melle	38
2.3 Yngelproduksjon.....P. Fossum	46
3. ØKOSYSTEMENE I NORDSJØEN OG SKAGERRAK	48
3.1 HavklimaD. Danielssen og E. Svendsen	48
3.2 Plankton og næringssalter.....Danielssen, Dahl, Aure og Bøhle	57
3.3 Skadelige algerE. Dahl	61
4. FORURENSNING	66
4.1 ForurensningJ. Klungøy	66
AKTUELLE TEMA	71
Planktonakustikk. Ny måleteknikk skiller mellom ekko fra dyreplankton og ekko fra fisk. Rolf Korneliussen og Egil Ona.....	71
Torskebestanden i Barentshavet i det 20. århundre. Olav Rune Godø og Geir Ottersen.....	77
Forflytning av vannmasser i kyst- og fjordstrøk - numerisk modellering avslører kompliserte sammenhenger. Lars Asplin.....	84
Kan vi gjøre fjordene våre mer produktive? Jan Aure, Lars Asplin og Øivind Strand.....	90
Sildefiske og klimaendringer. Reidar Toresen.....	95
Biologiske og klimastyrt relasjoner mellom sild, lodde og torsk i Norskehavet og Barentshavet. Johannes Hamre.....	99

Havklima og raudåte - to sentrale faktorer for produksjonen av fisk i Nord-Atlanteren.	
Svein Sundby.....	106
Strømmer og drivgods langs norskekysten.	
Roald Sætre.....	111
Levervekten i en gytebestand - et godt mål for dens reproduserende evne?	
Tara Marshall og Olav Sigurd Kjesbu.....	115
Amerikanere på villspor - <i>Homarus americanus</i> i indre Oslofjord.	
Gro I. van der Meeren og Kees O. Ekeli, Akvariet i Bergen	120
Instrumentering i havet før og nå	
Hvilke nye måleplattformer vil dominere i det 21. århundre?	
Trygve Gytre.....	125
<i>Chattonella</i> - en ny skadelig alge i norske kystfarvann.	
Jan Aure, Einar Dahl, Didrik S. Danielssen og Henrik Søyland.....	135

FORORD

Havforskningsinstituttets oppgave er gjennom forskning å fremskaffe kunnskapsgrunnlaget for en bærekraftig forvaltning av havmiljøet og for en økologisk forsvarlig høsting av våre fiskeresurser. Det er et nært samspill mellom havmiljøet og fiskebestandene. Variasjoner i havmiljøet eller havklimaendringer virker inn både på den geografiske fordelingen av fiskebestandene samt på deres vekst og rekruttering. Våre havområder tilføres årlig betydelige mengder forurensninger. Overvåkning av forurensningsnivået er viktig, både for å kunne få varsel om mulige økologiske skadevirkninger og som en renhetsgaranti for norske fiskeprodukter. Miljøundersøkelser har derfor alltid hatt en fremtredende plass i Havforskningsinstituttets virksomhet.

I oversikten over Havets miljø har HI i flere år gitt prognoser for vekstforholdene for lodde i Barentshavet. I 1994 startet vi arbeidet med også å gi varsler for klimaet i våre havområder for de nærmeste årene. Basisen for disse varslene er studier av de lange tidsseriene av temperatur og saltholdighet. Disse seriene viser at klimaet varierer mye på samme måte som i atmosfæren, og at vi kan snakke om varme og kalde år i havet. Årsakene til slike variasjoner er vanskelige 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 klimaendringer i havet mye 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.

Denne rapporten tar sikte på å beskrive miljøtilstanden for norske hav- og kystområder i 1999. Med miljøtilstanden mener vi her havets fysiske og kjemiske tilstand, produksjonsforhold og næringsforhold for fisk samt forurensningssituasjonen.

Havforskningsinstituttet driver i hovedsak tre typer overvåkning av miljøet i havområdene omkring Norge:

Kystovervåkning

Denne består av et system av:

- Faste hydrografiske kyststasjoner som tas av lokale observatører
- Termograffjenesten - observasjoner av temperatur og saltholdighet fra rutegående fartøy
- Fjordovervåkning - hydrografiske og kjemiske målinger i utvalgte fjorder

Forurensningsovervåkning

Denne overvåkingen gjennomføres regelmessig i fjorder, i kystfarvann og havområder (Nordsjøen og Barentshavet). Hovedinnsatsen er på organiske miljøgifter, tungmetaller og radioaktivitet både i vann, i sedimenter og i organismer. Overvåkning er også knyttet til petroleumsaktiviteten på norsk sokkel samt til næringsalter og overgjødning.

Overvåkning av klima- og produksjonsforhold i havområdene

Dette er et system av faste oseanografiske snitt som gjentas med regelmessige mellomrom, kom-

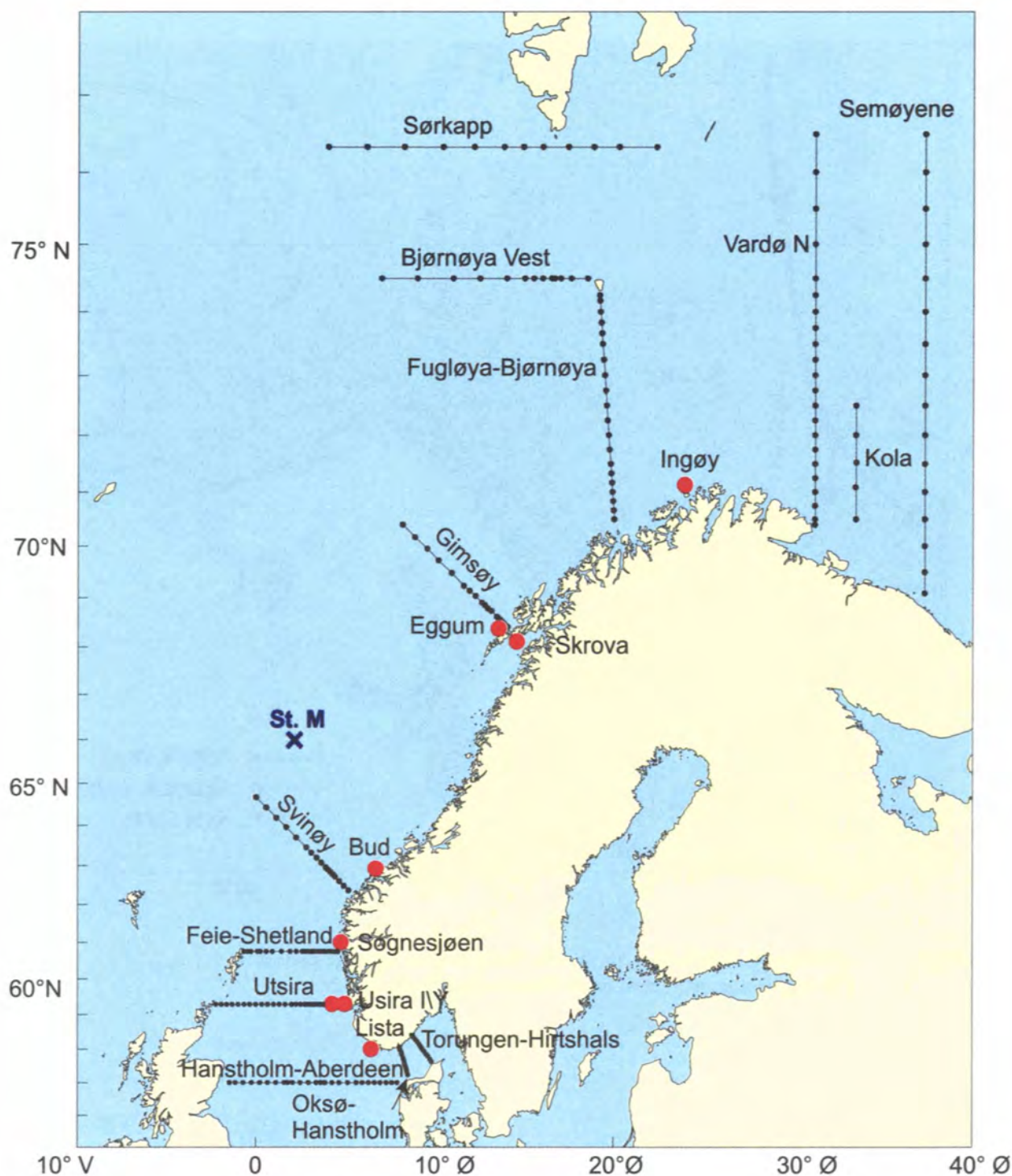
Denne rapporten refereres slik: *This report should be cited:
Aure, J. et al, Havets miljø 2000, Fiskerihav, Særnr. 2:2000*

binert med en mindre hyppig regional dekning for overvåkning og tilstandsvurdering av:

- Havklima
- Plante- og dyreplanktonproduksjon

- Rekruttering og tilstanden i fiskebestandene

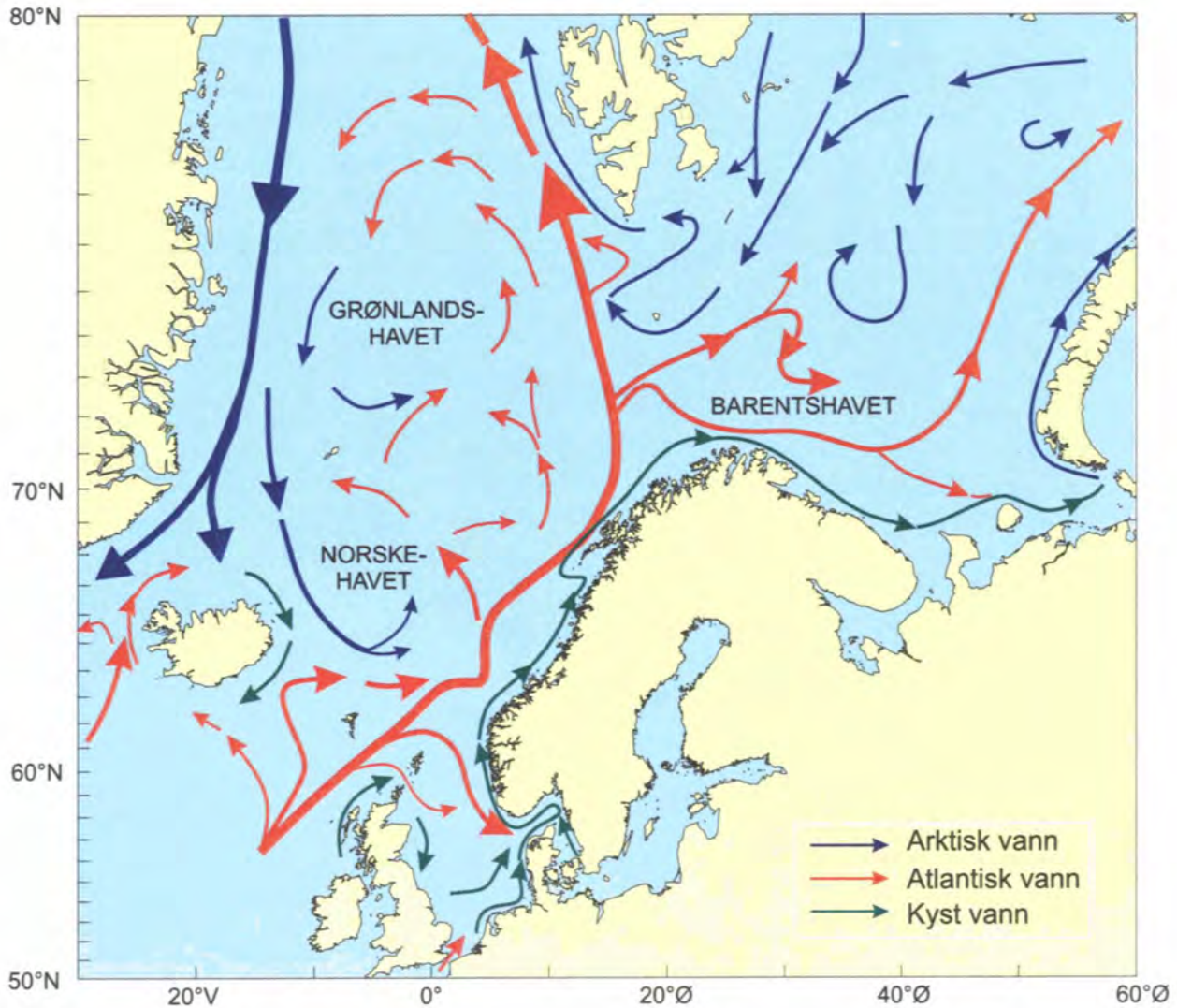
Her er også inkludert overvåkning av skadelige alger.



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

Vi takker for at vi har fått anledning til å benytte data fra Havforskningsinstituttet i Reykjavik, Fiskerilaboratoriet på Færøyene, Geofysisk Institutt - Universitetet i Bergen og Marine Laboratory, Aberdeen.

Redaksjonskomité for Havets miljø 2000 har vært: Jan Aure (redaktør), Trygve Gytte, Kari Østervold Toft, Hege Iren Svensen, Karen Gjertsen og Vibeke Kristiansen.



Figur 0.2 Midlere strømforhold i Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet.
The mean current system of the Nordic and Barents Seas.

PROGNOSER FOR 2000

Havklimaet

Tilførselen av varme ved innstrømning av atlantisk vann til Norskehavet er forholdsvis stor, og det ventes derfor fortsatt temperaturer nær eller over det normale i den østlige delen av Norskehavet og i dypere lag langs norskekysten.

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

Det er fortsatt en forholdsvis stor varmetransport inn til Barentshavet, og vi forventer en varm periode med temperaturer over det normale i hele Barentshavet i 2000.

Tendensen til økt saltholdighet og temperatur i dypere lag over Nordsjøplataet og i Norskerenna vil fortsette i 2000. I Nordsjøen og Skagerrak vil det bli en forholdsvis mild vinter i 2000.

Produksjonsforhold

Overvintringsbestanden av dyreplankton høsten 1999 synes å gi grunnlag for et noe svekket næringsgrunnlag for lodde, norsk vårgytende sild og fiskeyngel i Barentshavet.

Økt innflytelse av atlantisk vann i nordlige del av det sentrale Norskehavet og økt mengde av dyreplankton sommeren 1999, vil trolig bedre produksjonsforholdene i 2000 og gi økt individuell vekst hos norsk vårgytende sild.

Rekrutteringen av sildelarver i 1999 synes å være av middels størrelse. Sildelarvenes tilstand høsten 1999, sammen med gunstige miljøforhold, gir håp om god overleving vinteren 2000.

Yngelproduksjonen av lodde var svært god i 1999 og en sterk årsklasse i år 2000 er blant annet

avhengig av miljøforholdene vinteren og våren 2000.

En ny prognose for fangst av hestemakrell om høsten basert på beregnet innstrømning av atlantisk vann til Nordsjøen om vinteren blir utarbeidet våren 2000.

Fiskefordeling

I Norskehavet vil utbredelsen av vann med arktisk opprinnelse føre til en fortsatt redusert vestlig utbredelse av norsk vårgytende sild. Bedre beiteforhold i den sentrale delen av Norskehavet de senere årene vil trolig også bidra til å redusere den vestlige utbredelse. Vi venter derfor at silda vil fordele seg omtrent som de siste par årene, da bare en liten del av bestanden trakk inn i islandsk sone.

Høyere temperaturer i vestlige og sentrale deler av Barentshavet kan gi økt tilgjengelighet av torsk i den sørlige del av "Smuthullet". (Se ellers Havets ressurser 2000)

Langtidsprognose

I de siste årene har det vært forholdsvis store tilførsler av varmt atlantisk vann til østlige del av Norskehavet. Den økte varmetransporten førte til en fortsatt temperaturøkning i dypere deler av Nordsjøen, langs norskekysten og i Barentshavet i 1999. Erfaringer fra tilsvarende "varmebølger" viser at temperaturene kan holde seg forholdsvis høye i en periode på tre til fem år. Det er derfor stor sannsynlighet for at temperaturene vil holde seg nær eller over det normale fram til ca 2002.

Den vestlige delen av Norskehavet vil også de nærmeste årene være preget av arktisk vann, med forholdsvis lave verdier av saltholdighet og temperatur.

PROGNOSIS FOR 2000

Ocean climate

The inflow of warm Atlantic water to the Norwegian Sea is still at a high level. Therefore, temperatures close to or above normal are expected in the eastern part of the Norwegian Sea and in the deeper layers along the Norwegian coast.

The western part of the Norwegian Sea will still be dominated by relatively fresh and cold Arctic water. However, there are indications of an increasing influence of Atlantic water in the upper layers in the central part of the Norwegian Sea north of Lofoten with increasing temperature and salinity.

There is still a relatively strong inflow of warm water to the Barents Sea and we expect a warm period with temperatures above normal over the whole Barents Sea in 2000.

The tendency towards increasing salinity and temperature in the deeper layers over the North Sea Plateau and in the Norwegian Channel will continue in 2000. The winter 2000 will probably be relatively mild in the North Sea and Skagerrak.

Ocean production

The wintering stock of zooplankton in the autumn of 1999 appears to give somewhat reduced feeding conditions for capelin, Norwegian spring spawning herring and juvenile fish in the Barents Sea.

Increased influence of Atlantic water in the northern part of the central Norwegian Sea and increased levels of zooplankton during the summer of 1999 will most likely improve the production conditions in 2000 and increase the individual growth of Norwegian spring spawning herring.

The 1999 recruitment of herring larvae seems to be of average strength. Propitious environmental conditions combined with the herring juvenile's condition during autumn 1999 give expectations of high survival rates over the winter 2000.

The production of juvenile capelin was very high

in 1999 and a strong 2000 year-class is dependent upon the environmental conditions during winter and spring 2000.

Based on the estimated inflow of Atlantic water to the North Sea in the winter, a new prognosis for the catch of horse mackerel will be given in spring 2000.

Fish distribution

In the Norwegian Sea the extension of water of Arctic origin will still result in reduced western distribution of the Norwegian spring spawning herring. Improved feeding conditions in the central Norwegian Sea will also probably contribute to reduce the western distribution. We therefore expect the herring distribution in the Norwegian Sea to be at the same level as in the last couple of years where only a minor part of the stock migrated into the Icelandic zone.

Higher temperatures in the western and central parts of the Barents Sea might increase the availability of cod in the southern part of the Loophole. (Read more in Havets ressurser 2000.)

Long-term prognosis

Over the last years a relatively large volume of warm Atlantic water has flowed into the eastern part of the Norwegian Sea. The increased transport of warm water in 1999 lead to a continuous increase in temperatures in the deeper layers of the North Sea, along the Norwegian coast and in the Barents Sea. Experience from similar "heat waves" shows that the temperature might continue to be at a high level for a period of 3-5 years. Therefore, there is a high probability that the temperature will stay close to or above normal until approximately 2002.

Arctic water will continue to mark the western part of the Norwegian Sea with relatively low salinity and temperature.

SAMMENDRAG

Økt varmetransport med Atlanterhavsvannet, kombinert med en varm sommer og høst, førte i 1999 til temperaturer over det normale i det østlige Norskehavet, i Nordsjøen og i Barentshavet. De sentrale og vestlige deler av Norskehavet preges fortsatt av relativt store tilførsler av arktisk vann, med lave verdier både av temperatur og saltholdighet.

Produksjonen av dyreplankton i Barentshavet var forholdsvis lav mens den var god i Norskehavet, spesielt de sentrale områdene. Produksjonen av sildelarver synes å være av middels størrelse, mens yngelproduksjonen av lodde foreløpig ser ut til å være svært god. Algesituasjonen i Skagerrak og langs kysten må karakteriseres som normal, med noen mindre frembrudd av skadelige alger og algetoksiner.

Havets miljø er en viktig økologisk faktor som påvirker den biologiske tilstanden i havet. Variasjoner i havmiljøet og endringer i havklimaet virker inn på geografisk fordeling, vekst og rekruttering hos fisk. Våre fiskebestander er som regel i best forfatning og gir sterkest årsklasser i år med store tilførsler av atlantehavsvann og høye sjøtemperaturer.

Havklima

I Atlanterhavsvannet som strømmer inn i Norskehavet gjennom Færøy-Shetlandkanalen har temperaturen økt gradvis siden 1995, og i 1999 lå middeltemperaturen ca 0,4 °C over normalen. Dette er det høyeste som er registrert siden begynnelsen av 1980-åra. I kjernen av det atlantiske vannet utenfor Norskekysten avtok temperaturen til om lag det normale i 1999. I de nordligste områdene av Norskehavet, sørvest av Svalbard, har temperaturen i det atlantiske vannet vært tilnærmet normal siden 1996. Den varme sommeren og høsten 1999 førte til unormalt høye temperaturer i øvre lag i østlige og i sentrale deler av Norskehavet nord for Lofoten. I øvre lag av kystvannet var det også varmere enn normalt, særlig høsten 1999 var ekstra varm med temperaturer opp til 2 °C over det normale for årstiden. I dypere lag av kystvannet var temperaturene over det normale gjennom hele året, og ved årsskiftet 1999/2000 lå de 1-2 °C over langtidsnormalen i kystområdet mellom Lofoten og Finnmark. I sentrale og vestlige deler av Norskehavet har langtidstrenden pekt mot lavere saltholdighet og temperatur. Dette skyldes økte tilførsler av kaldt, ferskt arktisk vann fra Polhavet via Øst-Islandsstrømmen. Området domineres fortsatt av arktiske vannmasser.

I vestlige og sentrale deler av Barentshavet har temperaturene gradvis gått ned etter den varme perioden omkring 1990. Fra 1995 til begynnelsen av 1998 lå temperaturen stort sett under langtidsmiddelet, men økte utover i 1998. Fra oktober 1998 til januar 1999 steg temperaturen markert i vestlige del av Barentshavet, mens den sank til ca 0,3 °C over normalen utover våren og sommeren 1999 før den økte igjen utover høsten. Ved årsskiftet 1999/2000 var temperaturen steget til 1,1 °C over langtidsmiddelet, det høyeste som er observert siden 1983. I sentrale deler av Barentshavet økte temperaturen i 1999 til ca 0,5 °C over langtidsnormalen, mens den i de sørøstlige områdene mellom Kola og Semøyene lå 0,2-0,3 °C over normalen. Vinteren 1999 og ved årsskiftet 1999/2000 var det betydelig mindre is i Barentshavet enn i 1998. Vi venter fortsatt temperaturer over det normale i Barentshavet vinteren og våren 2000.

Temperaturene i øvre lag av Skagerrak og i store deler av Nordsjøen var mellom 0,5 og 2,0 °C over langtidsmiddelet gjennom hele 1999. Høsten 1999 var temperaturene spesielt høye på grunn av den varmeste høsten vi har hatt på 100 år. Etter 1995 har temperaturen og saltholdighet økt gradvis i bunnære lag i nordlige Nordsjøen og i det innstrømmende atlantiske vannet i vestskråningen av Norskerenna. I 1999 lå temperaturene 0,6-0,8 °C over normalen. I den nordvestlige del av Nordsjøen må vi tilbake til den varme perioden omkring 1990 for å finne så høye temperaturer. I det innstrømmende atlantiske vannet var temperaturen i 1999 den høyeste som er observert siden målingene startet i 1970.

Produksjonsforhold

Fra 1991 til 1994 var det en klar tendens til økende biomasse av dyreplankton i alle deler av Barentshavet. Etter 1995 har planktonmengden gått ned i vest, mens det har vært små endringer i øst. For hele området sett under ett var den totale biomassen av dyreplankton i 1999 den laveste i perioden 1994 -1999.

Med unntak av 1996, ser det ut til at våroppblomstringen etter 1991 på stasjon M i Norskehavet kommer senere for hvert år og varer kortere tid. Årsaken er ennå uklar, men mye tyder på at økt transport av ferskt arktisk vann til Norskehavet via Øst-Islandsstrømmen kan være en viktig faktor. Tendensen til tidligere våroppblomstring betyr trolig mye for dyreplanktonproduksjonen i Norskehavet fordi utviklingen av

dyreplankton her er sterkt knyttet til tidspunktet for våroppblomstring. Sammenlignet med foregående år var biomassen av dyreplankton i Norskehavet noe lavere våren 1999, særlig i den østlige delen. Utover sommeren økte den imidlertid betydelig, og ble den høyeste siden målingen startet i 1994. Den største økningen i biomasse ble observert i sentrale/vestlige områder av Norskehavet.

Økt produksjon av dyreplankton de senere år har medvirket til bedre beiteforhold og økt individuell vekst hos sild i Norskehavet. I 1999 førte store tilførsler av arktisk vann til sørlige del av Norskehavet om våren, og unormalt høye sommertemperaturer i øvre lag i østlige Norskehavet, til at silda hadde en unormal nordlig utbredelse om sommeren. Mengden av silde-larver gikk betydelig ned sammenlignet med rekordåret 1997. Gytingen foregikk hovedsakelig mellom Stad og Sklinnabanken. Forholdene utover sommeren og høsten gav ikke god overlevelse, så 1999-årsklassen av sild må betegnes som middels. Den individuelle veksten var imidlertid god, og dette gir håp om bedre overleving enn vanlig vinteren 2000.

Larveindeksen for lodde i juni 1999 var den høyeste som er registrert siden undersøkelsene startet tidlig på 1980-tallet, og om lag dobbelt så høy som i 1998. 0-gruppeindeksen for lodde var den nest høyeste siden 1981. Bare 1989-årsklassen var større, en årsklasse som senere viste seg å bli den mest tallrike som er målt akustisk. Under 0-gruppetoktet høsten 1999 fant vi loddeyngel fra grensen mot Norskehavet til Novaya Zemlja. Om denne gode yngelproduksjonen vil resultere i en sterk årsklasse i 2000 kan bare videre undersøkelser gi svar på. (Se ellers omtale av sild og lodde i rapporten Havets ressurser 2000).

Innstrømning av atlantisk vann om vinteren har vist seg å ha nær sammenheng med fangst av hestemakrell følgende høst. Beregning av innstrømning av atlantisk vann til Nordsjøen vinteren 1998 gav en prognose for fangst av hestemakrell på om lag 30.000 tonn høsten 1999. Den totale fangst ble omlag 44.000 tonn. Ny prognose blir utarbeidet vinteren 2000.

Skadelige alger og forurensning

Våren 1999 observerte vi de nest høyeste nitratkonsentrasjonene i 90-årene langs vestkysten av Jylland og i Skagerrak. Dette viser igjen at mye næringssalt om våren i dette området fører til betydelig økt algeproduksjon, men ikke nødvendigvis til oppblomstring av skadelige alger. Sist vi hadde blomstring av en skadelig alge var i 1998. Flagellaten *Chattonella* aff.

Verruculosa, som ikke hadde vært observert i europeiske farvann tidligere, forårsaket dødelighet både på oppdrettsfisk og naturlige fiskebestander. I 1999 var forekomsten av skadelige alger i Skagerrak nokså normal. *Chrysochromulina* spp. hadde sin hovedsesong i mai-juni, *Gyrodinium* cf. *aureolum* forekom svært beskjeden, mens *Gymnodinium chlorophorum*, som vi ikke har registrert tidligere, var svært tallrik fra september. Fra midt i mars til midt i april forekom en del *Alexandrium*. I Hylsfjorden og Sandsfjorden i Ryfylke var den årvisse forekomsten av *Prymnesium* beskjeden og skapte ikke problemer. Heller ingen andre alger gav noe særlig dødelighet blant fisk i oppdrett langs kysten. Problemene med algegifter i skjell var ikke store på kysten sett under ett, men lokalt i Sognefjorden ble man frarådet å plukke ville skjell i perioden fra mars til oktober. I Rogaland ble det kun påvist et par tilfeller av diarégift i skjell. Det ble imidlertid ved noen anledninger påvist andre typer gift i skjell, muligens såkalt yessotoksin. Hva som er kildeorganismen til dette toksinet vet vi ikke. I Trøndelag var det lite problemer med giftige alger, og i Nordland ble det i mai registrert litt paralytiske gifter i skjell. I juni ble det for første gang påvist paralytiske gifter i skjell i Finnmark. Det er utviklet modeller som kan beskrive utviklingen av algeblomstringer og beregne betydningen ulike tilførsler av næringssalter har for eutrofi forholdene i Skagerrak, og det er beregnet komplette næringssaltbudsjetter for Nordsjøen.

Organiske miljøgifter som PCB og DDT oppkonsentreres i de marine næringskjeder. I høye konsentrasjoner kan stoffene gi alvorlige biologiske effekter. Forsøk utført med miljøgiften PCB viser effekter på tilbakedannelsen av egganlegg og gytetidspunkt hos torsk. I åpne norske havområder fins de høyeste nivåene av organiske miljøgifter i Skagerrak.

Petroleumsvirksomheten på norsk sokkel medfører utslipp av produksjonsvann på ca. 120 millioner m³. Dette vannet inneholder små mengder alkylerte fenoler som trolig kan gi hormonforstyrrende effekter. Effekten av disse stoffene på torskens reproduksjon blir nå undersøkt. Nedfall fra kjernefysiske prøvespenninger på 50- og 60-tallet og utslipp fra reprosesseringsanlegg i Europa er de to viktigste kildene av menneskeskapt radionuklider i marint miljø. Aktiviteten av radioaktivt cesium (Cs-137) er målt i overflatesediment i hele Barentshavet. I området mellom Bjørnøya og Svalbard ser vi noe høyere radioaktiv stråling enn sedimenttypen skulle tilsi. Vi undersøker om dette er knyttet til opptak av radionuklider i den store produksjonen av planteplankton i området.

SUMMARY

Increased inflow of Atlantic water combined with a warm summer and autumn lead to temperatures above normal in the eastern Norwegian Sea, in the North Sea and in the Barents Sea in 1999. The central and western parts of the Norwegian Sea are dominated by relatively rich inflow of Arctic water with low temperatures and salinity.

The production of zooplankton was relatively low in the Barents Sea while it was high in the central parts of the Norwegian Sea. The production of herring larvae seems to be average, the production of capelin larvae, however, at present seems to be very good. In the Skagerrak and along the coast the algae situation was normal in 1999 with only few blooms of harmful algae and algae toxins.

The marine environment is an important ecological factor that influences the biological condition of the oceans. Environmental variability and fluctuations in ocean climate have a strong impact on the distribution, growth and recruitment of fish. Our fish stocks usually have the best conditions for feeding and produce the best year-classes in years with strong inflow of Atlantic water and high temperatures in the sea.

Ocean climate

In the Atlantic water flowing in to the Norwegian Sea through the Faeroe – Shetland Channel the temperature has gradually increased since 1995. In 1999 the average temperature was about 0.4 °C above normal, which is the highest registered since the beginning of the 1980's. In the core of the Atlantic water off the Norwegian coast the temperature decreased to around normal in 1999. In the northern areas of the Norwegian Sea, southwest of Svalbard, the temperature in the Atlantic water has been nearly normal since 1996. The warm summer and autumn of 1999 led to abnormal high temperatures in the upper layer in the eastern and central parts of the Norwegian Sea north of Lofoten. The temperatures in the upper layers of the coastal water also stayed above normal. During the unusually warm autumn of 1999 the temperatures reached up to 2 °C above normal for the season. In the deeper layers of the coastal water, the temperatures were above normal throughout the whole year and by the turn of the year 1999/2000 they were 1–2 °C above the long-term normal in the coastal area between Lofoten and Finnmark. In the central and western parts of the Norwegian Sea, a trend towards less saline water and lower temperatures have been observed over the past few years. This is due to the increased inflow of less saline Arctic water from the Polar Sea via the East-Icelandic Currents. The area is still dominated by Arctic water.

In the western and central parts of the Barents Sea, the temperatures have gradually decreased after the warm period around 1990. From 1995 to the beginning of 1998 the temperatures were below the long-term average. During 1998 they gradually increased, and from October 1998 to January 1999, a marked increase took place in the western part of the Barents Sea. Throughout the spring and summer of 1999 the temperature decreased to about 0.3 °C above normal before it increased again during the autumn. At the turn of the year 1999/2000 the temperature had increased to 1.1 °C above the long-term average, the highest observed since 1983. In the central parts of the Barents Sea the temperature increased to around 0.5 °C above long-term normal in 1999, while it stayed 0.2–0.3 °C above normal in the southeast areas between the Kola peninsula and the Sem islands. During the winter of 1999 and at the turn of the year 1999/2000 there was much less ice in the Barents Sea than in 1998. We expect the temperatures to stay above normal in the Barents Sea during the winter and spring 2000.

The temperature in the upper layers of the Skagerrak and in great parts of the North Sea stayed between 0.5 and 2.0 °C above long-term average during 1999. In the autumn 1999 the temperatures were particularly high because of the warmest autumn in 100 years. In the period after 1995 the temperature and the salinity have gradually increased in the layers nearer to the bottom in the northern parts of the North Sea and in the inflowing Atlantic water in the western part of the Norway Channel. The temperature was 0.6 to 0.8 °C above normal in 1999. In the northwestern part of the North Sea one must go back to around 1990 to find temperatures at this level. In the inflowing Atlantic water, the temperature in 1999 was the highest ever observed since measurements started in 1970.

Ocean production

From 1991 to 1994 there was a significant trend towards increasing biomass of zooplankton in all parts of the Barents Sea. Since 1995, the amount of plankton has decreased in the western part while there have been only minor changes in the eastern part. In 1999 the total biomass of zooplankton in this area was the lowest measured in the period 1994–1999.

Apart from 1996, it seems that the spring bloom at Ocean Weather Station M in the Norwegian Sea has taken place earlier and lasted for a shorter period each year since 1991. The reason for this is not yet clear; however, increased transport of fresh Arctic water to

the Norwegian Sea via the East-Icelandic Currents might be an important factor. The tendencies towards this early spring bloom would probably have a strong impact on the zooplankton production in the Norwegian Sea because the development of the zooplankton is closely connected to the time of the spring bloom. Compared to previous years, the biomass of zooplankton in the Norwegian Sea was lower in the spring of 1999, especially in the eastern part. It increased considerably throughout the summer and became the highest measured since 1994. The strongest increase in biomass was observed in the central and western parts of the Norwegian Sea.

Increased production of zooplankton over the last years has contributed to better feeding conditions and increased individual growth of herring in the Norwegian Sea. In 1999, rich inflow of Arctic water to the south part of the Norwegian Sea in the springtime and abnormally high temperatures in the upper layers of the eastern part of the Norwegian Sea during the summer led to an abnormal northern distribution of the herring during the summer. The amount of herring larvae was considerably reduced compared to the record high amount in 1997. The spawning mainly took place between the Statt and the Sklina Bank. The conditions during the summer and autumn were not good for the survival of larvae and the 1999 year-class is now estimated to be of average size. The individual growth, however, is good and better survival than usual is expected during the winter of 2000.

The capelin larvae index in June 1999 was the highest registered since the investigations started in the early 1980's and was approximately twice as high as in 1998. The 0-group index for capelin was the second highest since 1981. Only the 1989 year-class was bigger, a year-class that later showed to be the most numerous ever measured by acoustics. During the 0-group survey in the autumn 1999, capelin larvae were found from the border of the Norwegian Sea to Novaya Zemlja. Only new investigations can answer whether this strong larvae production will give a strong year-class in 2000. (More about herring and capelin in Havets ressurser 2000.)

The inflow of Atlantic water during the winter has shown to have close connection to the catch of horse mackerel the following autumn. Estimation of inflowing Atlantic water to the North Sea in the winter 1998 gave a catch prognosis amounting to 30.000 tonnes in the autumn 1999. The total catch amounted to around 44.000 tonnes. New prognosis will be estimated during the winter 2000.

Harmful algae and pollution

In the spring of 1999 we observed the second highest concentration of nitrate in the 1990's along the west coast of Jylland and in the Skagerrak area. Again this shows that signs of nutrients in this area in the spring leads to considerably increased production of algae, but not necessarily to blooming of harmful algae. The last time blooming of a harmful algae occurred was in 1998 when the flagellate *Chanttonella* aff. *Verruculosa*, that was observed in European waters, caused mortality both on farmed fish and in wild fish stocks. In 1999 harmful algae were found in normal concentrations. *Chrysochromulina* spp. had its main season in May-June, *Gyrodinium* cf. *aureolum* was only registered in small amounts while *Gyrodinium chlorophorum*, which has never been registered before was numerous from September. From mid March to mid April some *Alexandrium* occurred. The yearly blooming of *Prymnesium* in the Hylsfjord and Sandsfjord in Ryfylke was moderate and created no problems. No other algae caused mortality on fish in farms along the coast. There were no serious problems with poisoning from mussels on the coast on the whole. However, locally in the Sognefjord people were advised not to collect wild mussels in the period from March to October. In Rogaland only a few cases of poison causing diarrhoea were registered. However, on some occasions other types of mussel poison were found, probably so-called yesso-toxin. The source of this toxin is not known. Trøndelag had few problems with algae and in Nordland a small amount of paralytic poison in mussels were registered. In June paralytic poison was found for the first time in mussels in Finnmark. Models describing the development of algae blooming and calculating the importance different nutrients have on the eutrophic conditions in the Skagerrak have been developed. Complete nutrient budgets for the North Sea are estimated.

The Norwegian oil industry in the North Sea releases around 120 million m³ produced water each year. This water contains small amounts of alkylated phenols that might give hormone-disturbing effects. The effect of these compounds on the reproduction of cod is now investigated. Fall-out from the nuclear bomb tests in the 50ies and 60ies and release from reprocessing installations in Europe are the two most important sources to man made radio-nuclides in the marine environment. The activity of radioactive cesium (Cs-137) is measured in bottom sediments collected at stations covering the whole Barents Sea. In the area between the Bear Island and Svalbard somewhat higher radioactivity than expected is measured. We investigate whether this is related to the accumulation of radio-nuclides in the large production of phytoplankton in this area.

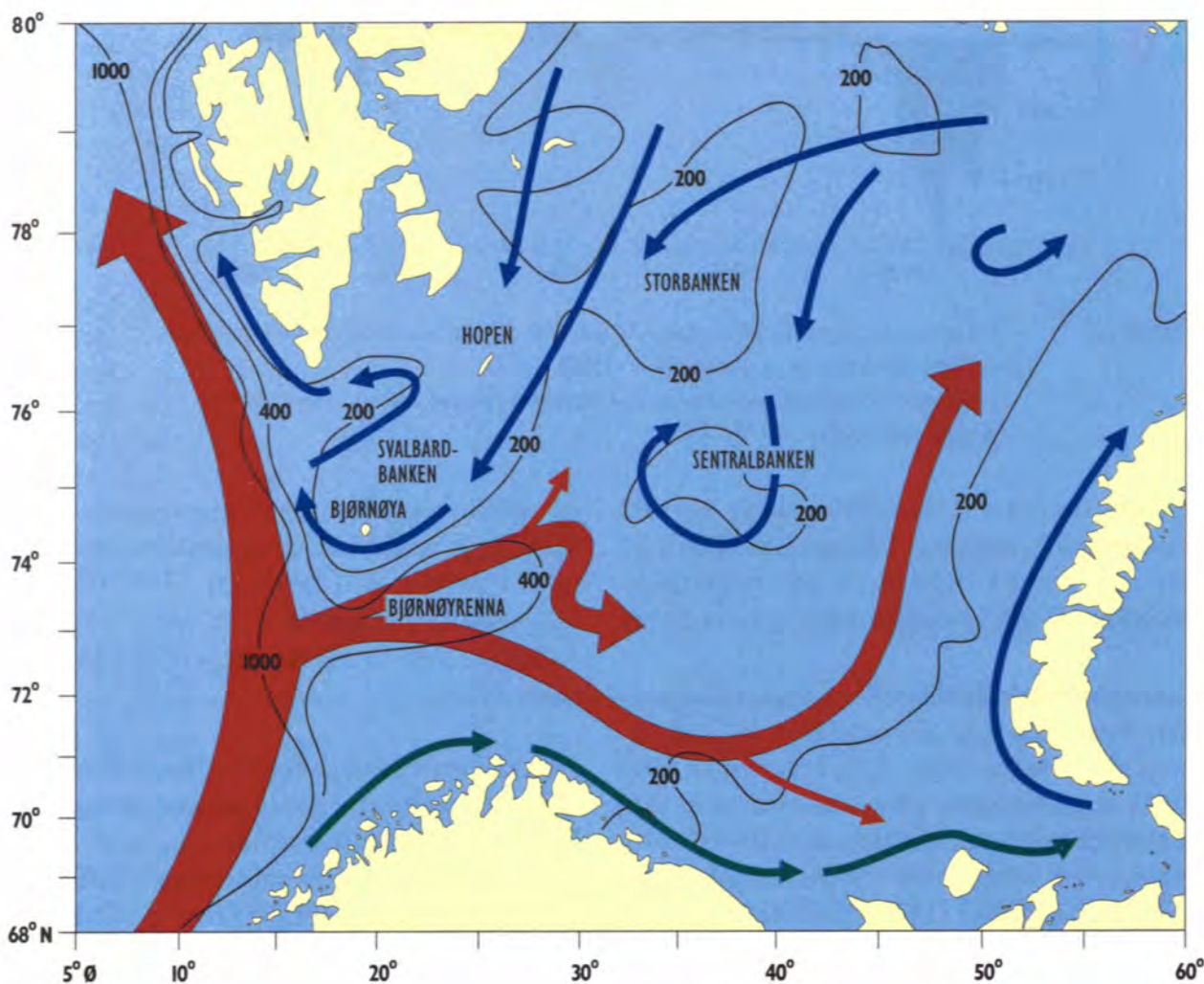
I. ØKOSYSTEMET I BARENTSHAVET

I.1 Havklima

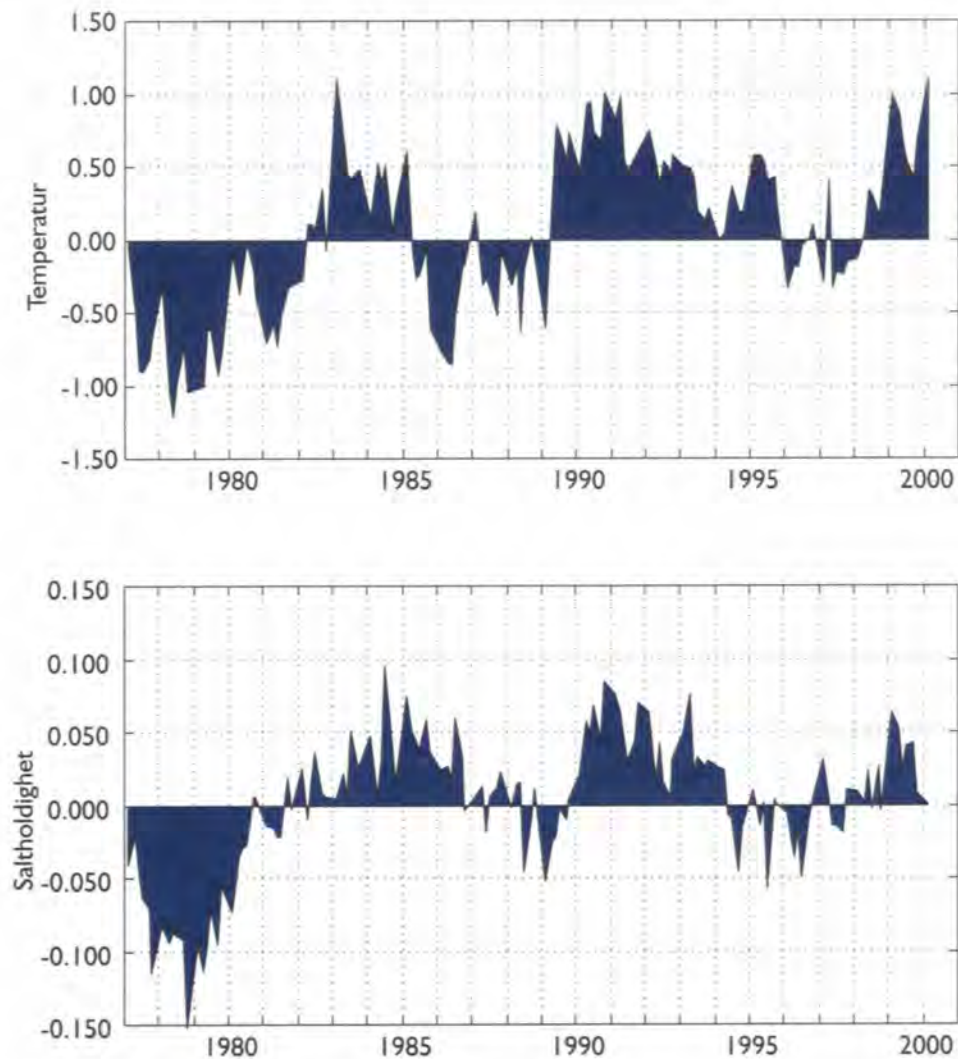
Barentshavet er et sokkelhav på omtrent 1,4 millioner km² hvor størstedelen er grunnere enn 300 meter og det midlere dypet er 230 meter (figur 1.1). Bunntopografien har stor innflytelse på fordeling og bevegelse av vannmassene. Innstrømmingen av Atlanterhavsvann til Barentshavet skjer med Nordkappstrømmen, som deler seg i en nordlig og en sørlig gren. Innstrømning av kaldt arktisk vann skjer fra nordøst mot sørvest (figur 1.1). 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 av Atlanterhavsvann som strømmer inn og temperaturen i dette vannet.

Havforskningsinstituttet har igjen fått tillatelse til å gå i russisk sone, slik at man på ny har fått observasjoner fra den østligste delen av Barentshavet. I tillegg har vi fått oppdatert informasjon



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.



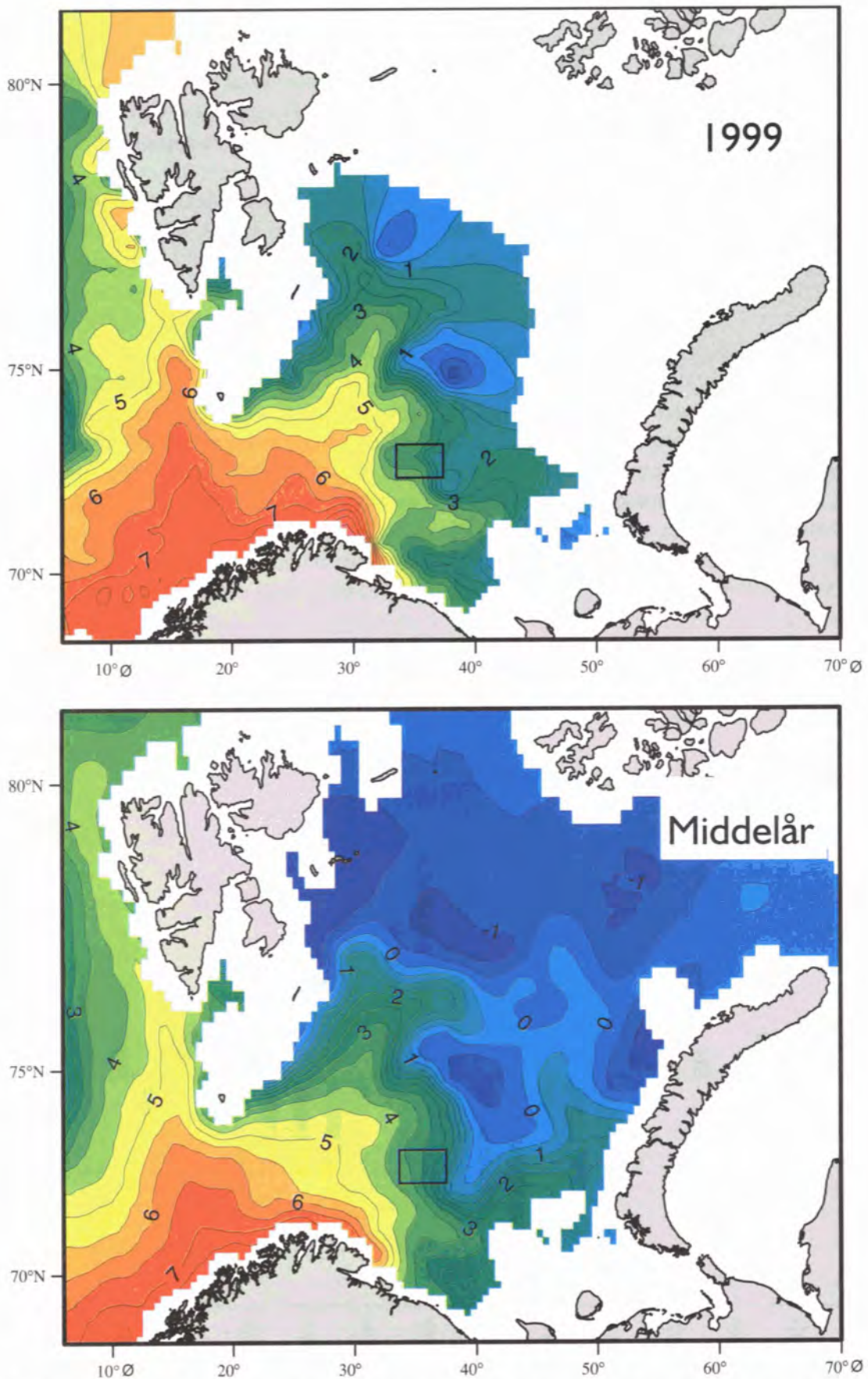
Figur 1.2 Temperatur- og saltholdighetsavvik mellom 50 og 200 meters dyp i snittene Fugløya-Bjørnøya i perioden 1977-1999.
Temperature and salinity anomalies between 50 and 200 m in the section Fugløya-Bjørnøya, 1977-1999.

fra det russiske Kola-snittet (figur 0.1) fra havforskningsinstituttet i Murmansk (PINRO), som gir oss en indikasjon på temperaturutviklingen i den sørøstlige del av Barentshavet.

I perioden fra 1989 til 1995 var temperaturene i den vestlige del av Barentshavet høyere enn langtidsnormalen (figur 1.2). I slutten av 1995 avtok temperaturene i Barentshavet og lå stort sett under langtidsmiddelet fram til 1998. Utover vinteren og våren 1998 var det fremdeles litt kaldere enn normalt i snittet Fugløya - Bjørnøya. Fra april til oktober var det en gradvis temperaturøkning, mens det fra oktober 1998 til januar 1999 var en betydelig temperaturøkning i snittet Fugløya - Bjørnøya. I januar 1999 lå temperaturen ca 1°C over langtidsmiddelet. Om våren

og sommeren 1999 sank temperaturen til ca 0.3°C over normalen, mens den økte betydelig utover høsten. Ved årsskiftet 1999/2000 var temperaturen steget til 1.1°C over langtidsmiddelet, som er det høyeste som er observert siden 1983.

I sentrale og sørøstlige deler av Barentshavet har temperaturene ligget godt over langtidsmiddelet i hele 1999 grunnet innstrømningen av varmt atlantehavsvann som startet rundt årsskiftet 1998/99. I gjennomsnitt var temperaturen i overkant av 0.5 °C grad høyere enn langtidsmiddelet i de sentrale deler av Barentshavet. I sørøstlige deler av Barentshavet, mellom Kola og Semøylene, lå temperaturene 0.2 - 0.3 °C over langtidsmidlet i hele 1999.



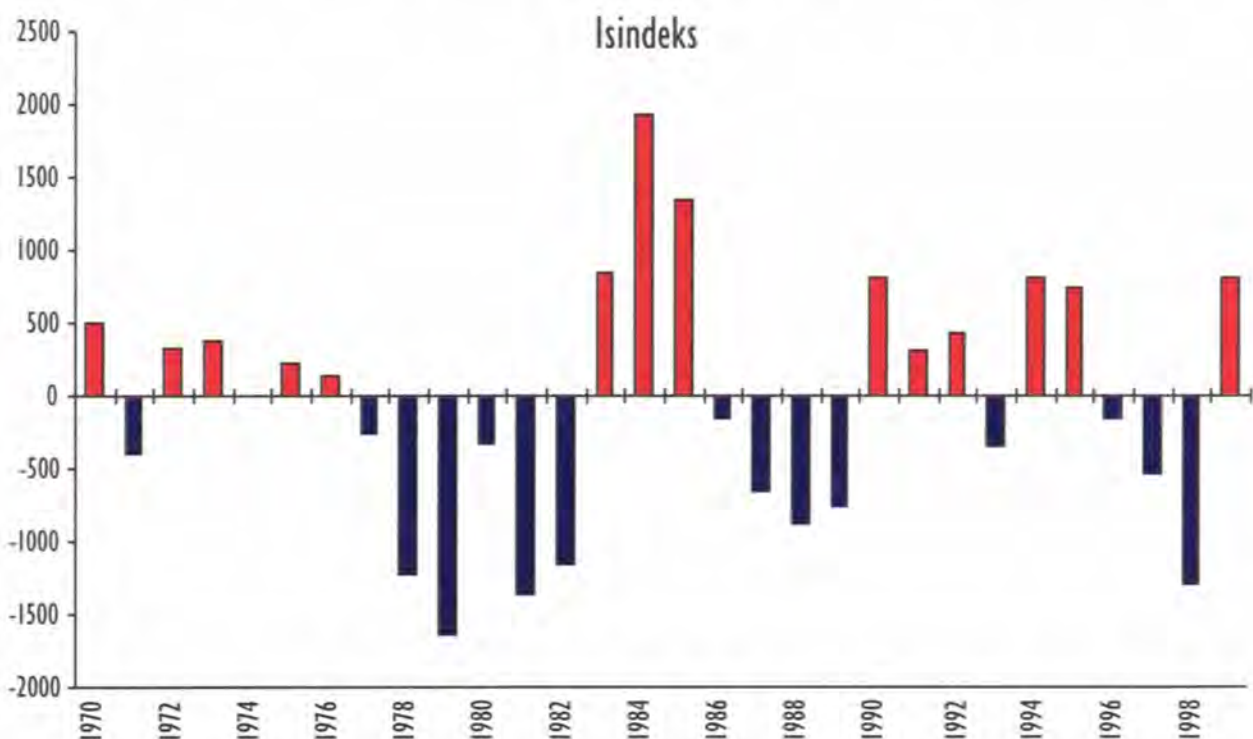
Figur 1.3 Temperaturfordelingen i Barentshavet i 100 meters dyp for august-september. Øverst: 1999. Nederst: middelår. Den sørvestlige delen av Smuthullet er markert. *Distribution of temperature at 100 m depth during August-September. Upper: 1999. Lower: mean temperature. The southwestern part of the Loophole is marked.*

Saltholdigheten i snittet Fugløya - Bjørnøya (figur 1.2) var, på samme måte som temperaturen, høyere enn langtidsmiddelet i hele 1999. I resten av Barentshavet var det også en saltholdighetsøkning i 1999 til like over langtidsmiddelet.

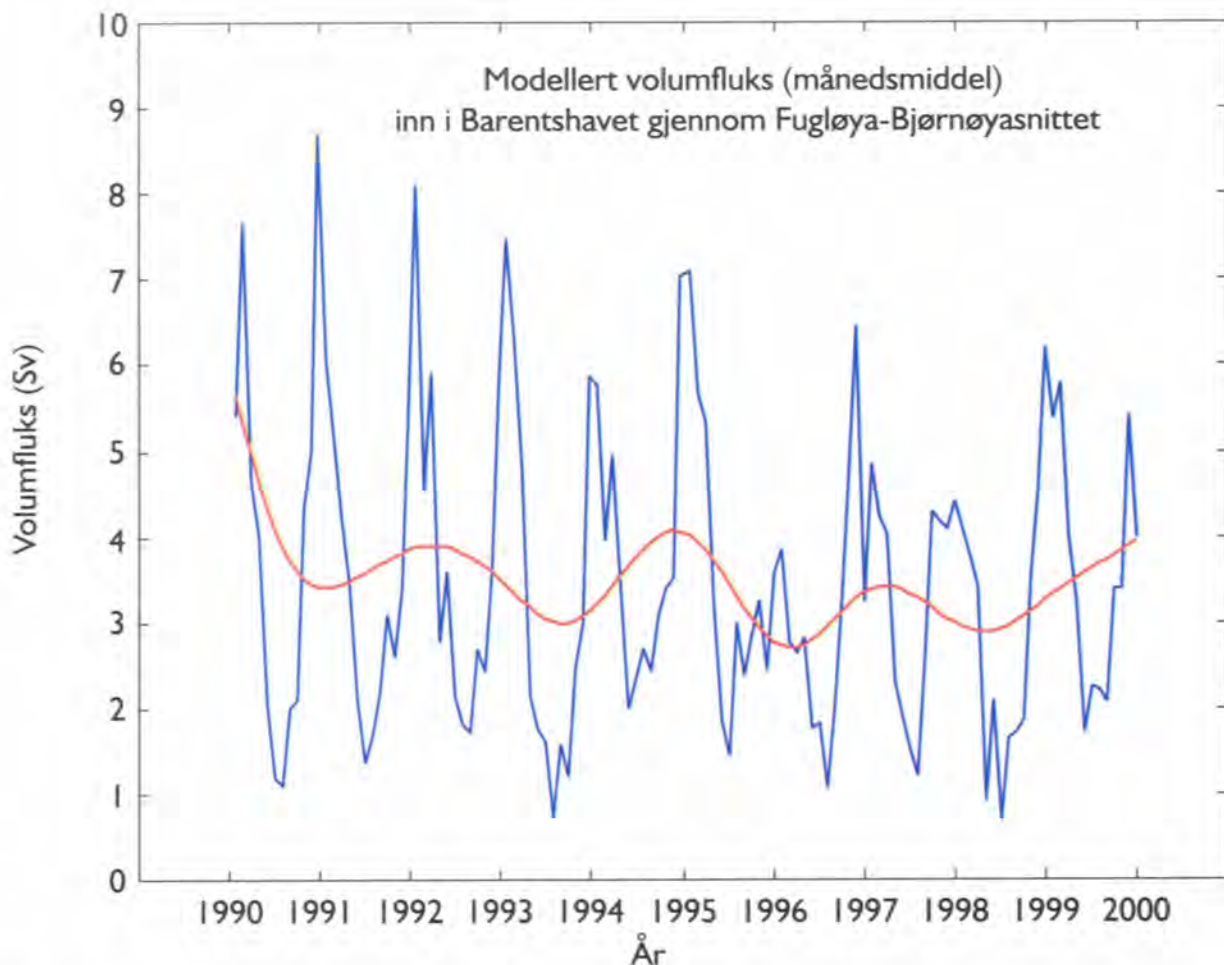
Figur 1.3 viser temperaturfordelingen i 100 meters dyp i Barentshavet i august - september 1999 (øverst) og i et middelår (nederst). I 1999 var det i august - september varmere enn i et middelår stort sett over hele havet. På figurene har vi markert den sørvestlige delen av Smutthullet, hvor størstedelen av det internasjonale fisket foregår i Barentshavet. I dette området vil en i varme år vanligvis finne fisk av alle størrelser hele året. I kalde år derimot kan dette området være fisketomt i perioder, da vil fisken trekke lenger sør og vest. Årsaken til dette er at denne delen av Smutthullet ligger i et område med store øst - vestforskjeller i temperatur (polarfronten). Små 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 tidskalaer som uker. Temperaturen i Smutthullet økte fra 1998 til 1999 og lå i august - september noe høyere sammenlignet med et normalår.

I 1999 var det også betydelig mindre is i løpet av vinteren enn året før. Isgrensene lå store deler av vinteren nord for 74°N, og i enkelte områder også nord for 75°N. I løpet av sommeren 1999 var ismeltingen i Barentshavet stor, og året hadde som helhet mindre is enn i et normalår (figur 1.4). Det er ingen sammenheng mellom ismengden om vinteren og sommeren, fordi det er forskjellige prosesser som styrer disse forholdene. Om vinteren er det temperaturforholdene og utbredelsen av Atlanterhavs vann 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. De forholdsvis høye sjøtemperaturer og værforholdene utover høsten 1999 førte til at det var lite is i Barentshavet ved årsskiftet 1999/2000.



Figur 1.4 Isindeks for Barentshavet i perioden 1970 - 1999. Positive verdier betyr lite is, negative verdier indikerer mye is.
Ice index for the period 1970 - 1999. Positive values indicate little ice, while negative values show more severe ice conditions.

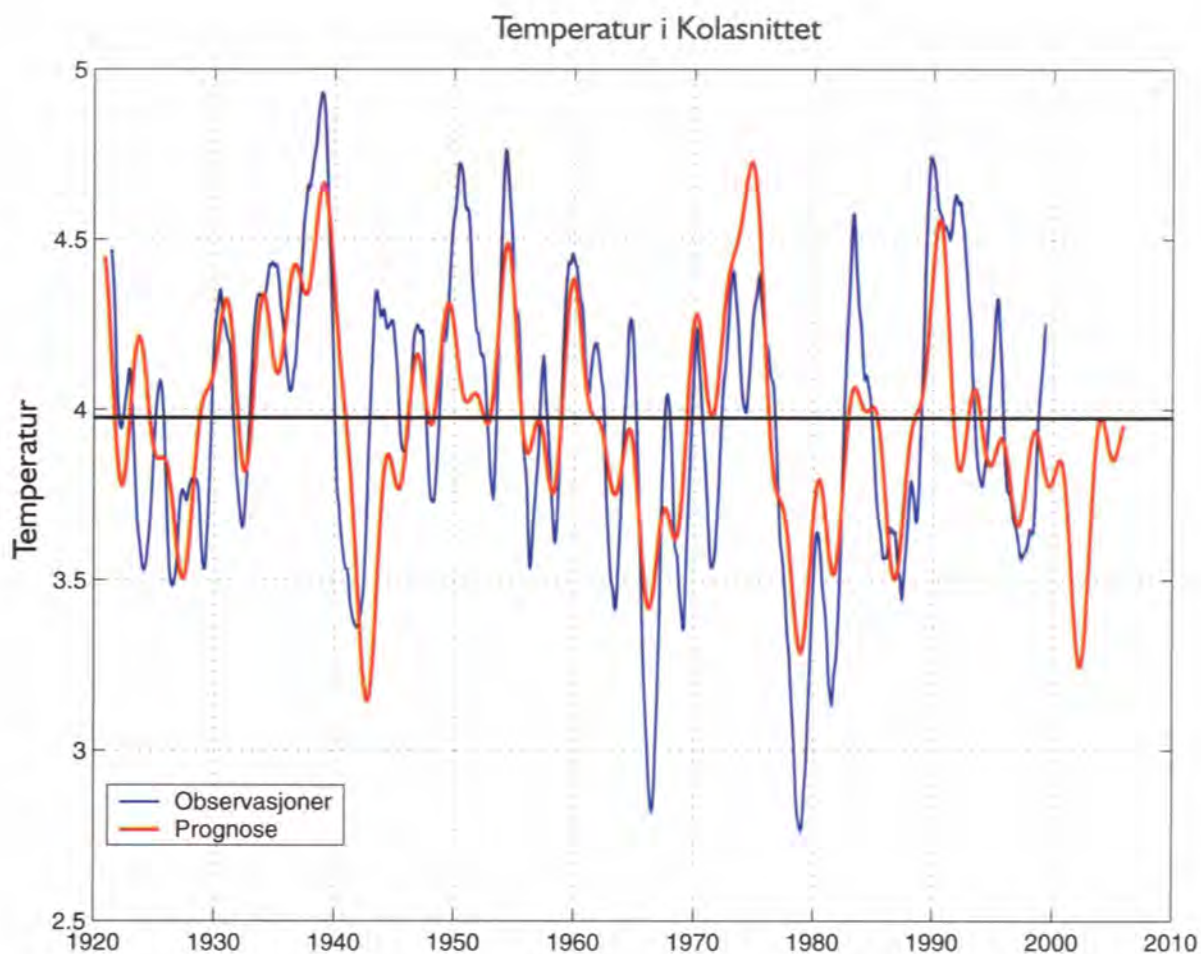


Figur 1.5 Tidsserie (1990-1999) av månedsmiddel og årsmiddel (tykk linje) modellert volum fluks inn i Barentshavet mellom Fugløya og Bjørnøya ($1 \text{ Sv} = 1 \text{ mill m}^3\text{s}^{-1}$).
Time serie (1990-1999) of monthly mean modelled volume transport into the Barents Sea between Fugløya and Bjørnøya,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

Figur 1.5 viser transport av vann inn i Barentshavet for perioden fra 1990 og fram til utgangen av 1999, beregnet ved hjelp av en numerisk havmodell. Beregningene viser at det var klare sesongmessige svingninger, med størst innstrømning til Barentshavet om vinteren og minst om sommeren. Det var også klare år til år variasjoner, og de høye temperaturene i begynnelsen av 1990-årene (figur 1.2) var klart knyttet til de store vinterinnstrømningene fra Norskehavet til Barentshavet i samme periode. Både i 1996 og 1998 var innstrømningen relativt liten, mens det i 1999 var en markert økning i forhold til foregående år. Ved årsskiftet 1999/2000 var innstrømningen noe lavere enn ved forrige årsskifte.

Analysen av lange tidsserier av temperaturforholdene i Barentshavet viser periodiske

svingninger, med perioder fra to til omkring tjue år. Disse periodiske endringer synes å være viktige bidrag til de temperaturvariasjonene vi observerer. Under forutsetning av at denne tilsynelatende sammenheng fortsetter, kan vi bruke statistiske metoder for å varsle de fremtidige temperaturfluktasjoner i Barentshavet. Beregningene indikerer at temperaturen i Barentshavet vil holde seg nær langtidsmidlet et par år fremover, til ca 2001, etterfulgt av noen år med kaldere klima (figur 1.6). Observasjonene i 1999 ga imidlertid høyere temperaturer enn både prognosen og langtidsmidlet. Denne tendensen ble bekreftet av målinger foretatt i januar 2000. Siden prognosemodellen beskriver nåsituasjonen såpass dårlig, blir resultatene fra modellen spesielt usikre, og vi må forvente temperaturer over langtidsmidlet til tross for at beregningene indikerer en nedgang.



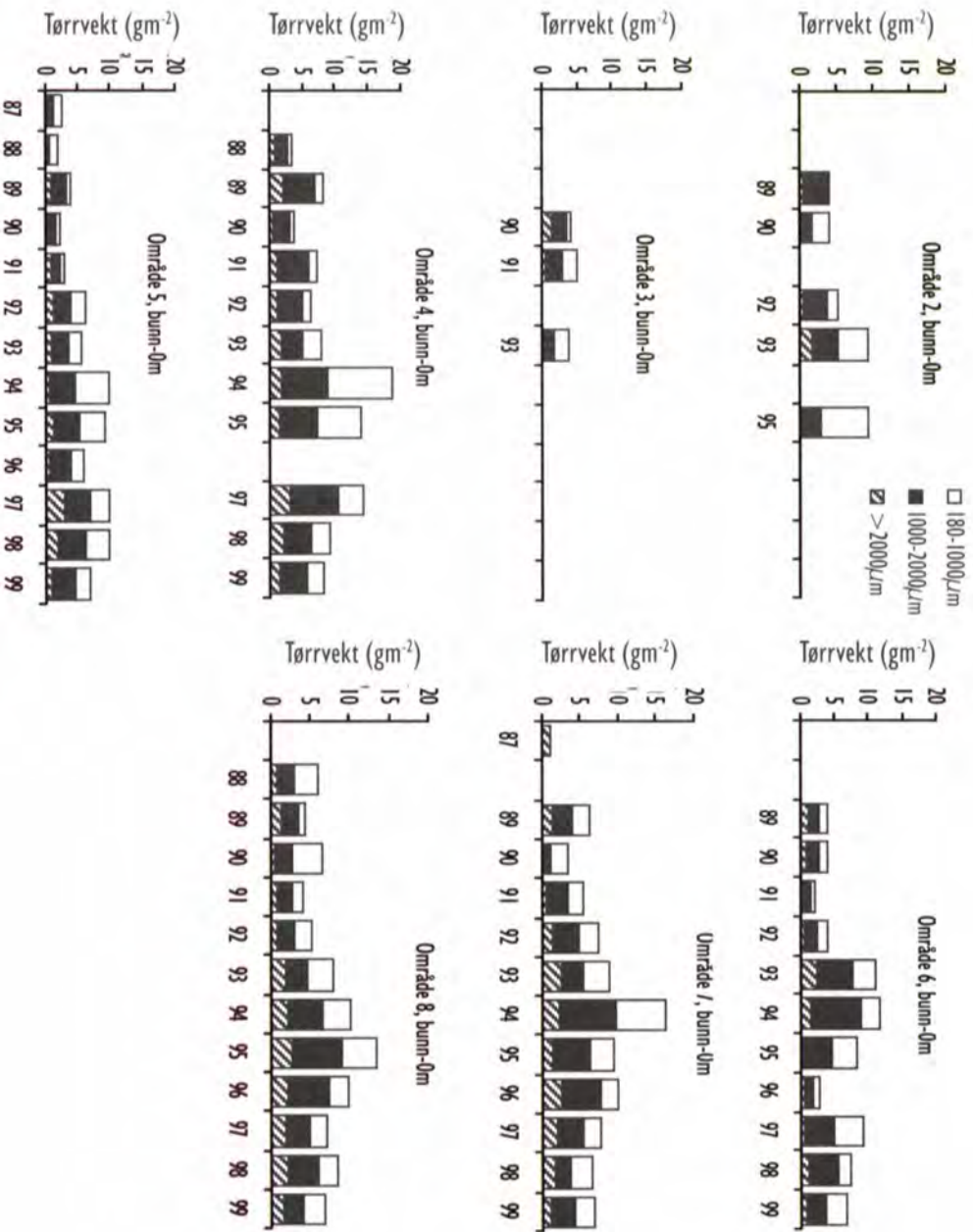
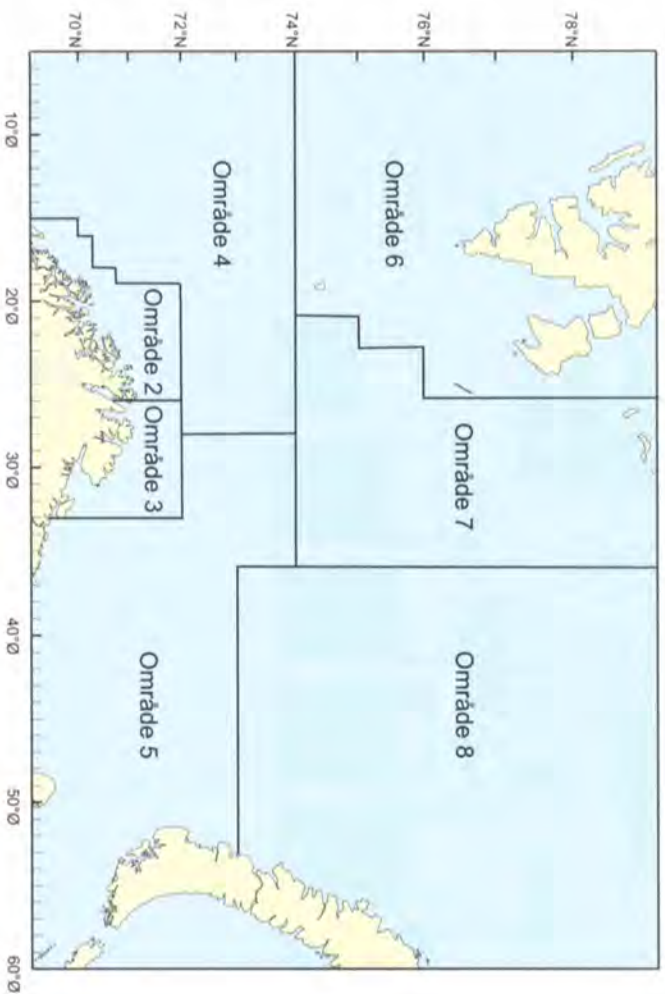
Figur 1.6 Observert og modellert temperaturutvikling i Kolasnittet i Barentshavet sammen med prognose for denne frem til 2005.
Observed and modelled development of the temperature in the Kola-section together with temperature prognosis up to 2005.

I.2 Plankton

Siden 1986 har fordeling og sammensetning av dyreplankton vært undersøkt i august - september. September er vanligvis den perioden av året hvor isutbredelsen i Barentshavet er minst, slik at størst mulig område kan kartlegges. På denne årstiden har også primærproduksjonen og beitepresset fra planktonspisende fisk avtatt, og dyreplanktonets biomasse er en god indikator på størrelsen av overvintringsbestanden. Raudåta utgjør den største andelen av dyreplanktonet, og er det viktigste byttedyret for pelagiske fisk som sild og lodde. I september har mesteparten av

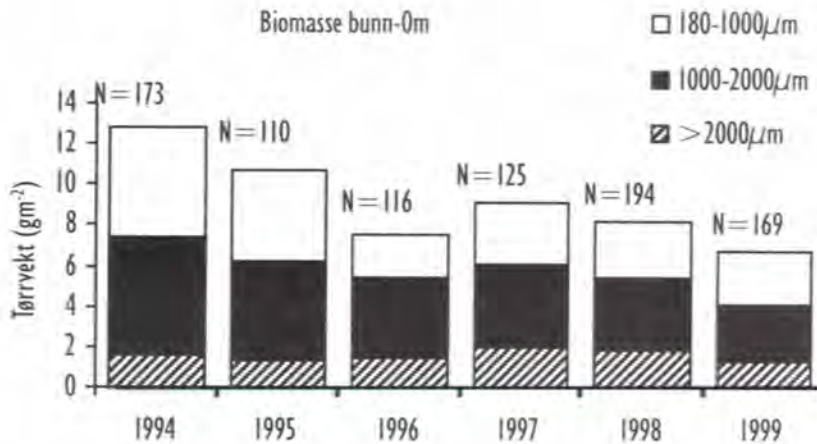
raudåta vandret ned på dypere vann for å overvintre.

Barentshavet som økosystem er i stor grad avhengig av innstrømming av atlantisk vann med plankton fra Norskehavet. Særlig viktig er tilførsler av krill og raudåte. Om vinteren står raudåta i Norskehavet stort sett under terskeldypet til Barentshavet, og det innstrømmende vannet vil vanligvis bringe lite raudåte til Barentshavet på denne årstiden. Innstrømningsintensiteten og tidspunktet for innstrømming er derfor viktig for

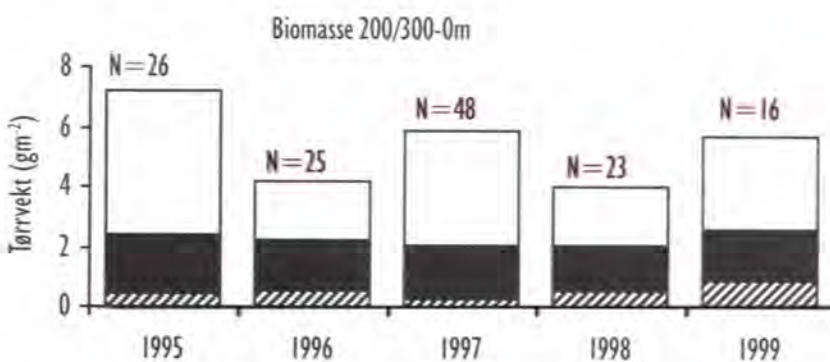


Figur 1.7 a)

Middelværdier av størrelsesfraksjonert biomasse av dyreplankton, $g\ m^{-2}$ (askefni tørrvekt 1987-90 og tørrvekt 1991-99) fra bunn - 0 m i flerbestandsområdene 2-8. Askefni tørrvekt tilsvareer ca 80 % av tørrvekt. Mean values of size separated zooplankton biomass, $g\ m^{-2}$ (ash free dry weight 1987-90, dry weight 1991-99, from bottom - 0 m in the "multispecies" regions 2-8. Ash free dry weight is about 80 % of dry weight.



Figur 1.7 b)
Biomasse av dyreplankton, middelverdier for hele Barentshavet, fra 1994 - 1999. Zooplankton biomass, mean values for the whole Barents Sea, from 1994 - 1999.



Figur 1.7 c)
Biomasse av dyreplankton i 200 (300) - 0 m over dype områder, middelverdier for de vestlige deler av områdene 2, 4 og 6, fra 1995 - 1999. Zooplankton biomass from 200 (300) - 0 m at deep stations in the western parts of regions 2, 4 and 6. Mean values for 1995 - 1999.

mengden av transportert plankton når dette vandr opp til de øvre lag etter overvintringen på dypt vann.

Tidsserien fra 1987 - 1999 (figur 1.7 a) viser biomassen av dyreplankton fra forskjellige områder av Barentshavet. Data er basert på hal med en 56 cm diameter WP2-håv fra bunn til overflaten. Planktonet blir sortert etter størrelse før prøvene blir tørket og veiet. Om høsten inneholder prøvene for det meste overvintrende raudåte, *Calanus finmarchicus*, og ishavsåte, *C. glacialis*, for det meste i størrelsesgruppen 1000 - 2000 μm. Krill, amfipoder og pilormer er vesentlige bestanddeler i den største størrelsesgruppen >2000 μm, mens småkopepoder og yngre stadier av *Calanus* dominerer i 180-1000 μm-fraksjonen. Data var delvis mangelfulle de første årene av serien, og ikke alle områdene ble dekket med tilstrekkelig antall hal (resultater med N<10 utelatt). Områdene 2-3 har den svakeste dekingen og resultatene derfra må derfor tolkes med forsiktighet. De siste årene har totalt antall stasjoner i Barentshavet ligget på 100 - 200.

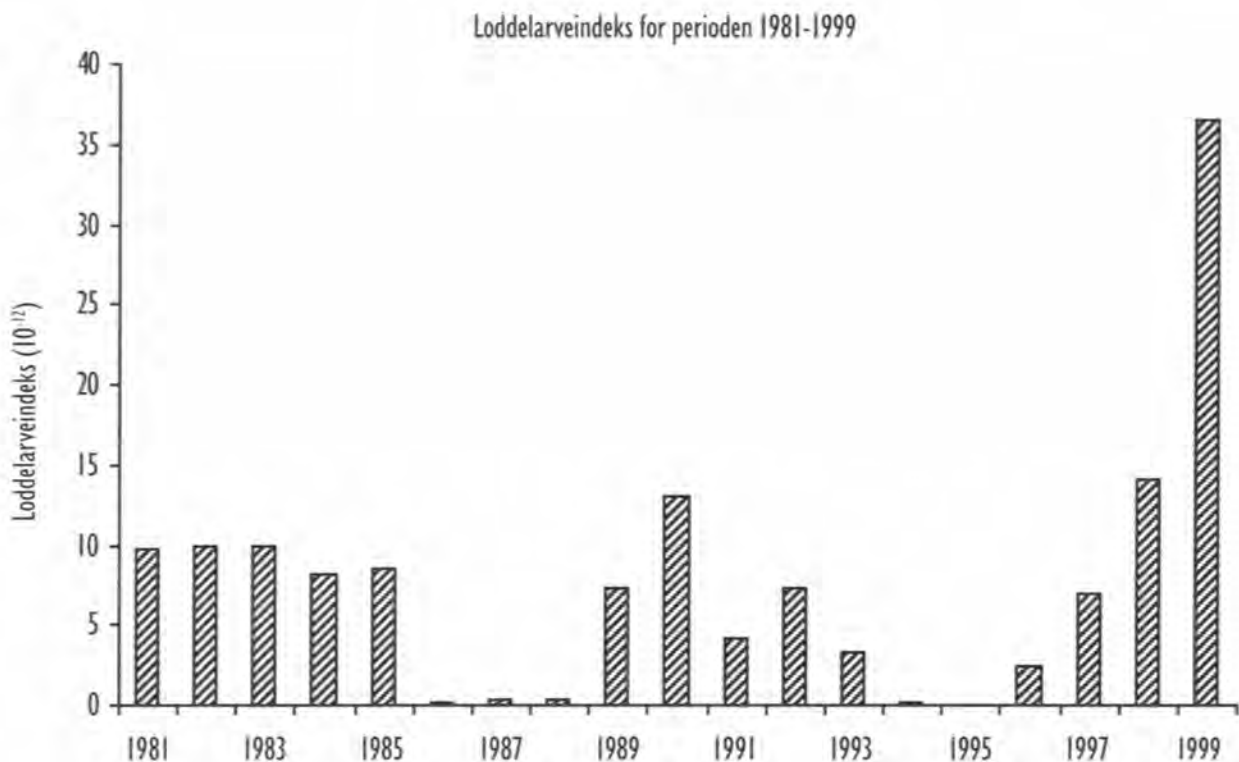
Fra 1991-94 var det en tydelig tendens til en økende biomasse i alle deler av Barentshavet, og for område 8 fortsatte økningen videre til 1995. De senere årene har biomassen stort sett gått ned, men i de østlige delene (område 5 og 8) har det vært liten forandring eller en økning fra 1997 til 1998, og en reduksjon det siste året. Tar en hele området under ett, var det i 1994 en gjennomsnittlig biomasse på 12.8 g m⁻². I 1995 sank den til 10.7, og i 1996 til 7.4 g m⁻². I 1997 steg verdien igjen til 9.1 g m⁻² og falt til 8.1 g m⁻² i 1998 og 6.8 g i 1999, (figur 1.7 b). I 1997 ble det ikke gitt adgang til russisk sone, slik at dekingen ble mangelfull helt i øst. Fra 1995-99 ble dekingen utvidet til vest av Svalbard og Bjørnøya over de dype områdene av Norskehavet (i områdene 2, 4 og 6). Her ble håvtrekkene tatt fra 200 eller 300 meter til overflaten, og resultatene er vist i figur 1.7 c. Årsvariasjonene viser samme tendenser (ikke 1999) som for Barentshavet, men biomassen av særlig de største organismene er betydelig lavere, fordi en stor del av planktonet har vandret ned i vannmasser dypere enn 300 meter.

I.3 Yngelproduksjon

Lodde

Yngelproduksjonen av lodde ble undersøkt på to tokter i Barentshavet, HIs loddelarve- og ungsildtokt med F/F Michael Sars i juni og det norsk-russiske 0-gruppetoktet med fire fartøyer i august. Også i år hindret restriksjoner for dekning i russisk sone en tilfredsstillende total dekning, men det er grunn til å tro at det aller meste av larveutbredelsen ble dekket. Det ble funnet larver i relativt tette forekomster fra 17°Ø til 34°Ø, nord til 73°N. Den utregnede indeksen var 36.5 tusen milliarder individer, mer enn dobbelt så høy som den målt i 1998 (figur 1.8). Under 0-gruppetoktet i august 1999 ble det funnet loddeyngel over et stort område, fra eggakanten mot Norskhavet i vest til Novaya Zemlja i øst. Nordgrensen for utbredelsen ble

ikke kartlagt, men det var til dels høye konsentrasjoner av loddeyngel også på de nordligste stasjonene. Det er derfor grunn til å tro at 0-gruppeindeksen for lodde var noe underestimert. 0-gruppeindeksen ble beregnet til 722, som er den nest høyeste i hele undersøkelsesperioden. Bare 1989-årsklassen var mer tallrik (1300) på dette stadiet, en årsklasse som siden viste seg å bli den mest tallrike årsklassen målt akustisk noensinne. Det ser derfor ut til at yngelproduksjonen av Barentshavslodde i 1999 var svært god. Om dette også vil resultere i en sterk årsklasse når denne rekrutterer til bestanden som 1-åringer vil bare de videre undersøkelser kunne gi svaret på. Se ellers omtale av lodda i Ressurscenterets rapport om "Havets ressurser 2000".



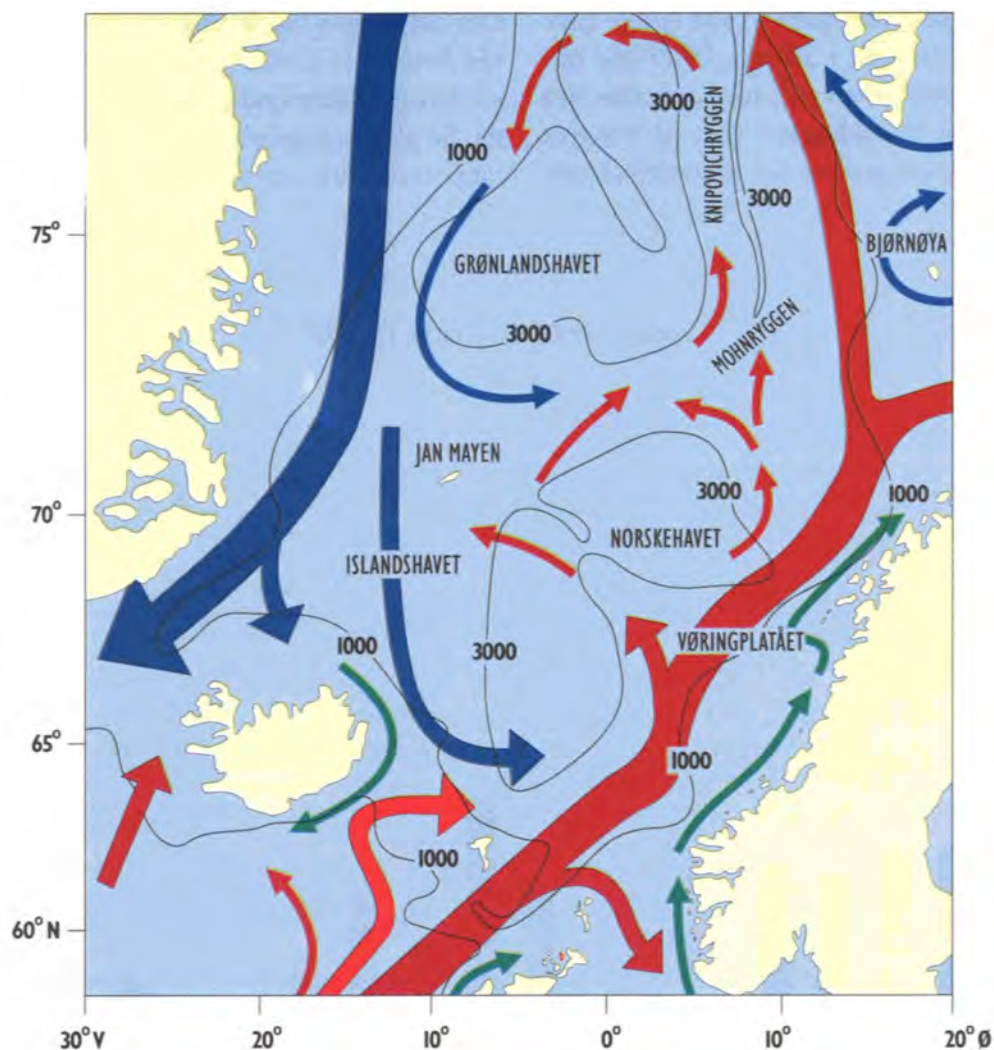
Figur 1.8 Loddelarveindeksen for perioden 1981 til 1999.
The index of capelin larvae during the period 1981 to 1999.

2. ØKOSYSTEMET I NORSKEHAVET OG LANGS KYSTEN

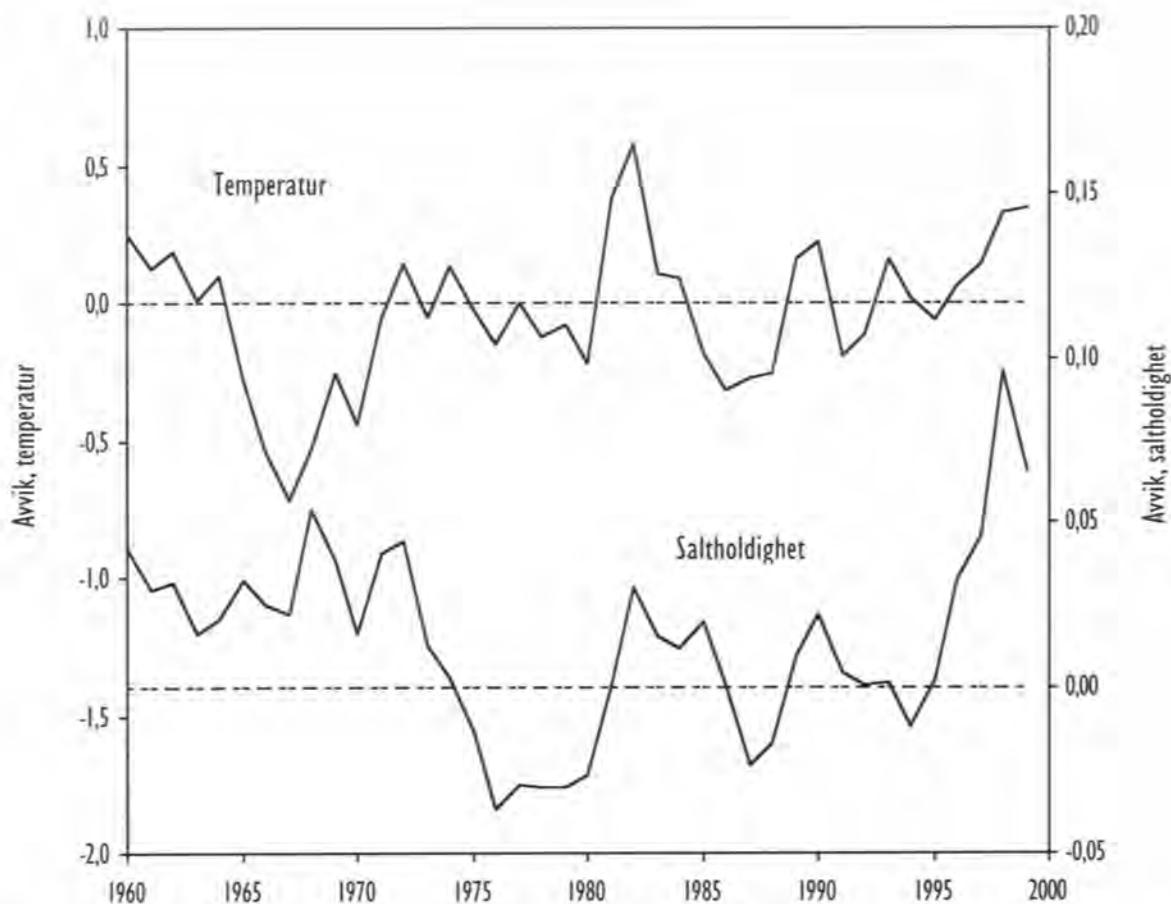
2.1 Havklima

Det varmeste og salteste vannet som kommer inn i Norskehavet fra Atlanterhavet, går hovedsakelig gjennom Færøy-Shetlandkanalen 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 nord-islandske

kystfarvann. Atlanterhavsvannet som strømmer inn i Norskehavet, transporterer meget store varmemengder inn i området. Ved siden av at det sørger for å holde hele Norskehavet og store deler av Barentshavet isfritt og åpent for biologisk produksjon, blir det også avgitt store varmemengder til atmosfæren slik at det nordvestlige Europa har et meget mildt klima i forhold til sin geografiske bredde.



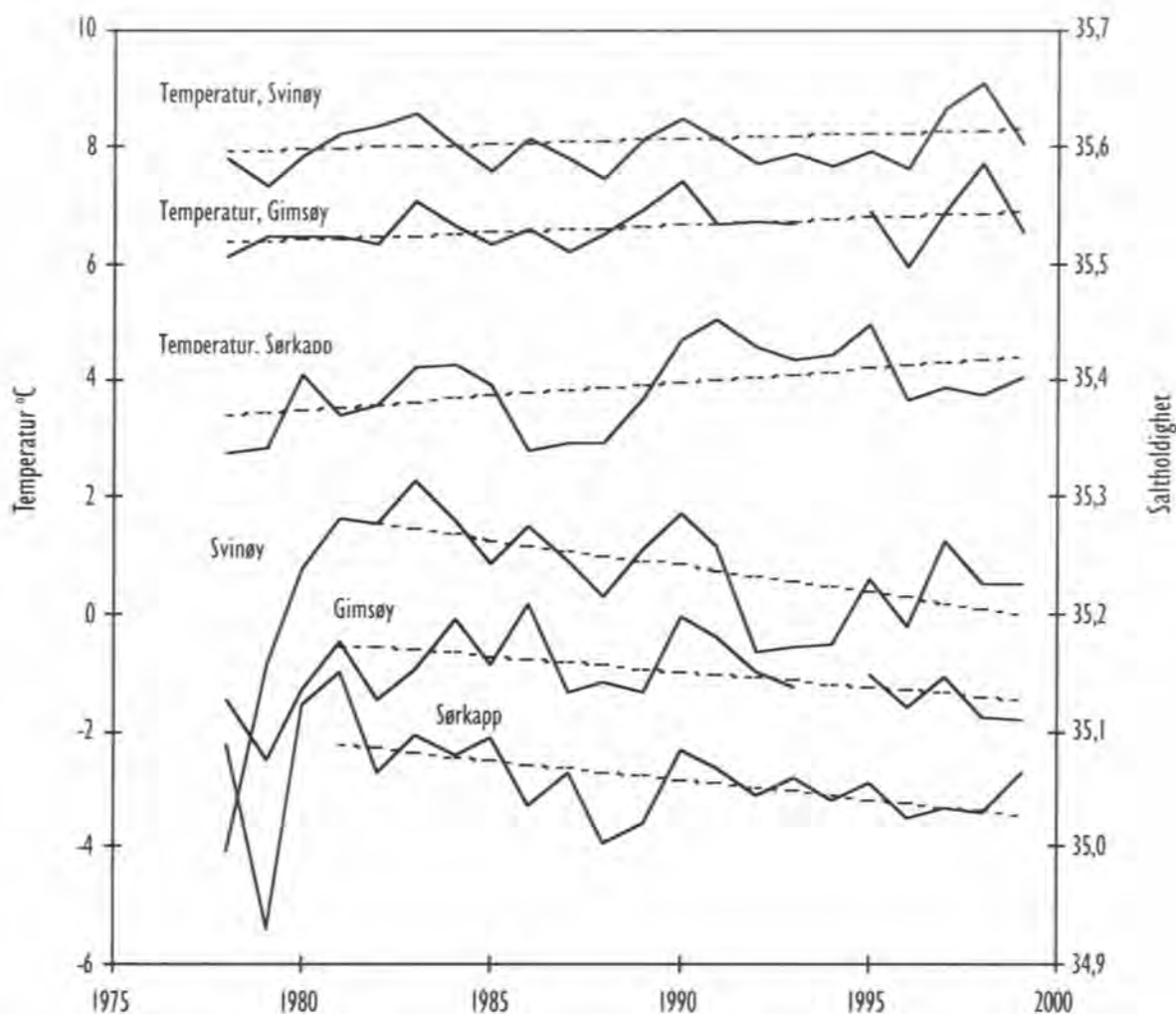
Figur 2.1 De viktigste trekkene i sirkulasjonsmønsteret og dybdeforhold i Norskehavet. Røde piler: atlantisk vann. Blå piler: arktisk vann. Grønne piler: kystvann.
The most conspicuous features of the circulation and bathymetry of the Barents Sea.



Figur 2.2 Tidsserier av temperatur og saltholdighet i Atlanterhavsvann over eggakanten nord av Skottland. Verdiene er vist som avvik idet den midlere årskurven er subtrahert. Kurven viser 24 måneders glidende midler, beregnet for 6-månedersintervaller. Gjengitt med tillatelse fra Marine Laboratory, Aberdeen.
Time series of temperature and salinity in surface waters lying at the shelf edge north of Scotland. Values are presented as anomalies as the mean seasonal cycle has been removed. The Curves are the result of a 24 month centered running mean, calculated at 6 monthly intervals. Courtesy of the Marine Laboratory, Aberdeen

Variasjoner i denne atlantiske transporten og de temperatursvingningene som disse fører til, er en viktig økologisk faktor som virker inn på de biologiske forholdene i havet. Tilstanden i fiskebestandene er som regel best når temperaturen er høy, idet store årsklasser ofte rekrutteres i varme perioder. Temperaturvariasjonene som vi måler behøver ikke nødvendigvis å være 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. I de siste årene har vi imidlertid utviklet numeriske havmodeller som blant annet vil kunne gi oss nyttig informasjon om år-til-årvariasjoner i volum- og varmetransport i de nordiske havområdene.

Atlanterhavsvannet på den skotske siden av Færøy-Shetlandkanalen 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). Målingene viser at 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. Slik er vannet som strømmer inn fra Atlanterhavet i gjennomsnitt blitt ca. 0.3°C varmere siden midten av 1960-årene, selv om de kortere svingningene har vært mer dominerende med variasjoner på nesten en grad. Temperaturen har økt gradvis fra 1995, og var i 1999 økt til ca 0.4°C over normalen, som er det høyeste siden i begynnelsen av 1980-årene. Saltholdigheten var i



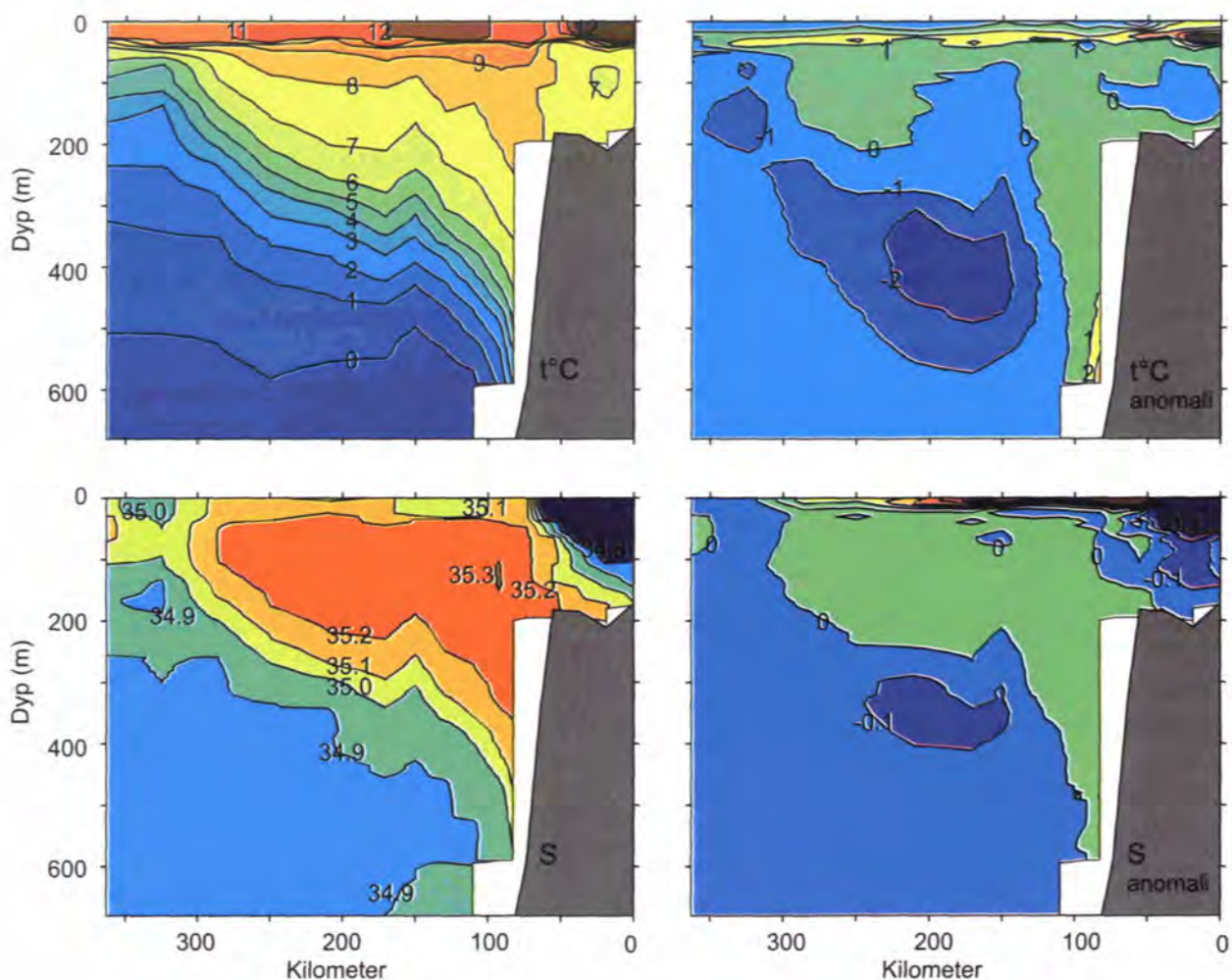
Figur 2.3 Temperatur og saltholdighet, observert i juli/august, i kjernene av atlantisk vann i snittene Svinøy-NV, Gimsøy-NV og Sørkapp-V, midlet mellom 50 og 200 meters dyp (1978-1999) (lokaliseringen av snittene er vist i figur 0.1).
Temperature and salinity, observed in July/August, in the core of Atlantic water in the sections Svinøy-NW, Gimsøy-NW and Sørkapp-W, averaged between 50 and 200 m depth (1978-1999), (positions of the sections are indicated in Fig. 0.1).

1976 den laveste siden begynnelsen av 1900-tallet. Siden da har den i gjennomsnitt vært økende, selv om det er observert svingninger med maksima i 1982 og 1990, og minima i 1987 og 1994. Siden 1994 har det vært en bemerkelsesverdig økning i saltholdigheten, spesielt fra 1997 til 1998, hvor saltholdighetene var de høyeste i hele måleserien. Fra 1998 til 1999 har saltholdigheten igjen sunket noe, men den lå fortsatt høyt i forhold til middelverdien for måleperioden.

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 posi-

sjoner). Snittene representerer forholdene i henholdsvis sørlige, sentrale og nordlige deler av østlige Norskehavet. Verdiene i representerer sommerforholdene mellom 50 og 200 meters dyp i kjernen av Atlanterhavsvann like utenfor eggakanten, og er basert på målinger tatt i perioden fra slutten av juli til begynnelsen av september. Noen likhetstrekk med forholdene nord av Skottland (figur 2.2) forekommer også i snittene, som for eksempel de lave saltholdighetene i slutten av 1970-årene og perioden med høye verdier i temperatur og saltholdighet rundt 1990.

I Svinøy- og Gimsøysnittet økte temperaturen betydelig fra 1996 til 1998, mens det i 1999 var



Figur 2.4 Temperatur og saltholdighet i Svinøysnittet i august 1999 og avvik fra normalen, (1978 – 1999).
Temperature and salinity in the section Svinøy –NW in August 1999, and anomalies in relation to means for the period 1978 – 1999.

en reduksjon i temperaturen til like under trendlinjen for 1978-1999. De nordligste områdene i Norskehavet, representert ved Sørkappsnittet, hadde ikke samme temperaturøkning fra 1996 til 1998 som i de sørligere snittene. Siden 1996 har temperaturen i Sørkappsnittet dermed ligget nær gjennomsnittsverdien, men under trendlinjen for perioden 1978 - 1999. Langtidsøkningen i temperatur i atlantisk vann i østlige Norskehav stemmer overens med temperaturutviklingen i Færøy-Shetlandkanalen ved innløpet til Norskehavet (figur 2.2), hvor det har vært en jevnt økende temperatur siden 1960-tallet. Figur 2.3 viser imidlertid også at langtidsendensen mot høyere temperatur var større nord i Norskehavet enn i sør. Årsaken til dette var blant annet redusert varmetap til atmosfæren på grunn av økt lagdeling i øvre lag og varmere vintervær. I

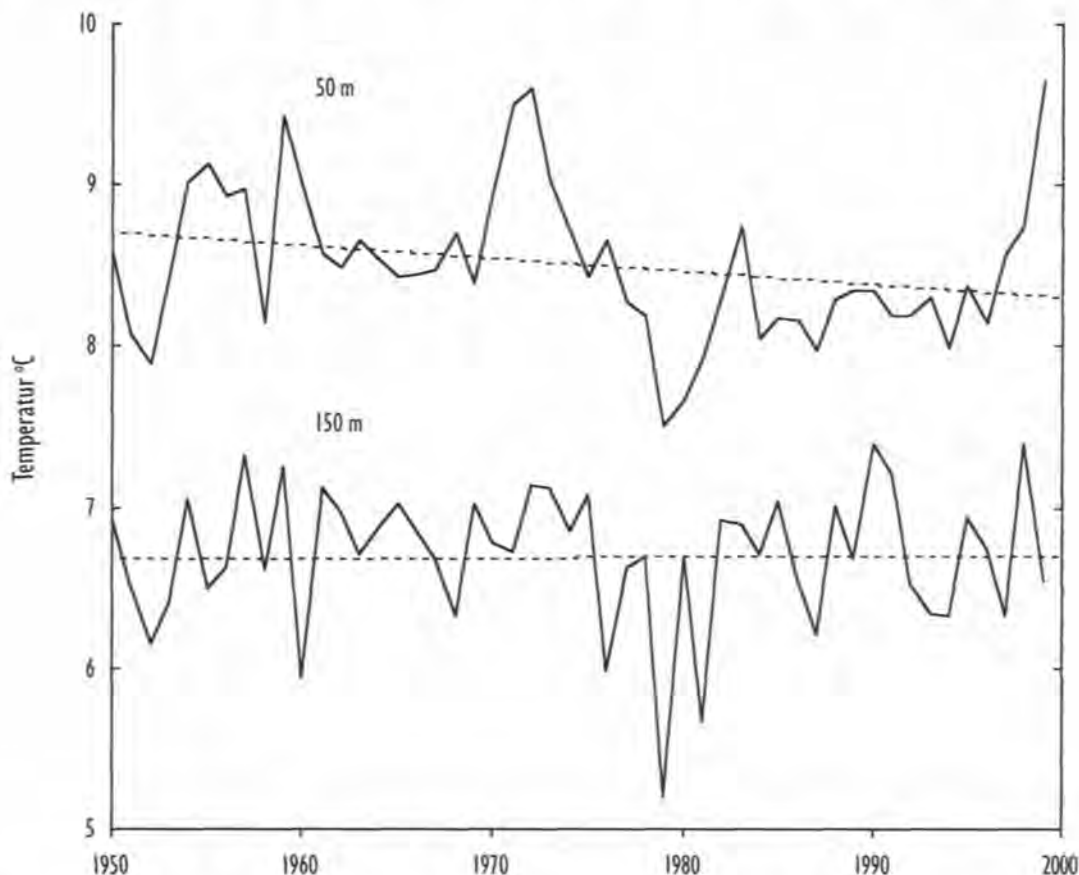
det innstrømmende vannet i Færøy-Shetlandkanalen, har også saltholdigheten vist en økende trend etter ca 1980, og da spesielt etter 1994. Denne økningen ser vi ikke i Norskehavet hvor alle tre snittene har vist en tendens mot lavere saltholdighet siden 1981. I sør var saltholdighetsreduksjonen minst i Gimsøysnittet og størst i Svinøysnittet. Dette kan ikke stå i forbindelse med egenskapene i vannet som kommer inn fra Atlanterhavet, men må skyldes påvirkning av arktisk vann fra vest. Saltholdighetsreduksjonen var derfor tydeligst i Svinøysnittet som ligger nærmest Øst-Islandsstrømmen, og minst i Gimsøysnittet som ligger i et område hvor Atlanterhavsvannet har sin største utbredelse mot vest. Videre mot nord er det igjen økende innblanding av arktisk vann fra vest, slik at Sørkappsnittet viser nesten like stor langtidsendelse som Svinøysnittet.

Våren 1999 var det stor transport av arktisk vann fra Øst-Islandsstrømmen inn i sørlige deler av Norskehavet. Dette er vann med temperatur mellom 1°C og 3 °C og forholdsvis lav saltholdighet. På grunn av sin lave temperatur, er det tyngre enn det varme vannet som kommer inn fra Atlanterhavet. Når det møter Atlanterhavsvannet, synker det meste ned og danner et intermediært lag under det atlantiske vannet i den østlige del av Norskehavet. Om sommeren blir noe av det arktiske vannet nærmest overflaten oppvarmet så mye at det blir like lett som det atlantiske vannet. Dette blander seg inn i Atlanterhavsvann, som dermed blir kaldere og ferskere slik som beskrevet foran.

Temperatur og saltholdighet i Svinøysnittet fra august 1999 er vist i figur 2.4. Snittet går mot nordvest fra Svinøy ved Stad til 0-meridianen (se figur 0.1). I figuren har Atlanterhavsvannet

gule til rødlige farger både i temperatur og saltholdighet. Snittet viser at største dyp og vertikalutbredelsen av denne vannmassen var størst like utenfor eggakanten og avtok mot nordvest. I temperaturintervallet mellom 3 °C og 6 °C ligger isotermene tett sammen og viser overgangen til det arktiske vannet. Like nordvest av snittet når det arktiske vannet overflaten, og danner Den arktiske fronten i Norskehavet.

Snittene til høyre i figur 2.4 viser temperaturavviket (anomali) i 1999 sammenlignet med middelet for perioden 1978–1999. Spesielt avvikene i temperaturen viser innvirkningen av det arktiske vannet som skråner inn under Atlanterhavsvannet. I dyp mellom ca. 300 meter og 500 meter, om lag midt på snittet, var det et stort område hvor temperaturene var mer enn to grader lavere enn gjennomsnittet. De lavere temperatur og saltholdigheter under og vest for de atlantiske



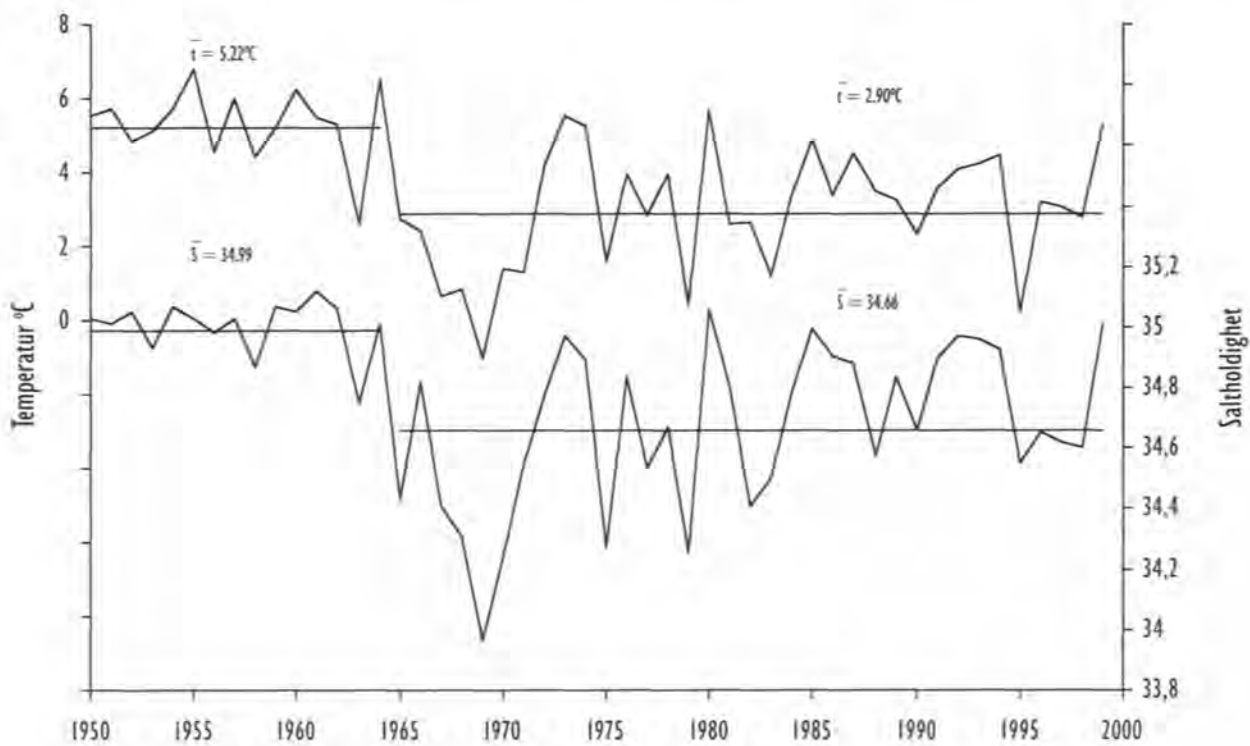
Figur 2.5 Tidsserier av månedsmidler for august av temperatur i 50 og 150 meters dyp på Værskipsstasjon M i Norskehavet, i posisjon 66 °N, 02 °Ø. Gjengitt med tillatelse fra Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen.
Time series of monthly mean values for August of temperature at 50 and 150 m depth at Ocean Weather Station M in the Norwegian Sea, in position 66 °N, 02 °E. Courtesy of the Geophysical Institute, University of Bergen.

vannmassene, skyldes økte tilførsler av kaldt arktisk vann som har fortrent saltene atlantiske vannmasser. I selve det atlantiske vannet lå både temperatur og saltholdighet nær det normale for årstiden i august 1999. I øvre lag av Svinøysnittet var det imidlertid høyere temperaturer enn normalt, noe som skyldes den varme sommeren 1999.

Forskjellig fra standardsnittene, viser tidsserier i sentrale og vestligere deler av Norskehavet ved værskipsstasjon Mike (figur 0.1) en langtidstrend, ikke bare mot lavere saltholdighet, men også mot lavere temperatur. Effektene av langtidstrenden varierer imidlertid både med årstid og dyp. Forholdene i august var således mindre preget av denne utviklingen enn andre årstider. Dette fremgår i figur 2.5 som viser tidsseriene av temperatur i 50 og 150 meters dyp i august ved stasjon M. Vi ser at temperaturen i 50 meters dyp viste en synkende tendens, mens det i 150 meters dyp ikke var en tilsvarende nedgang. Derimot har årsmidlene i 150 meters dyp vist nedgang i både temperatur og salt-

holdighet siden stasjonen ble opprettet i 1948. Mens temperaturen i 150 meters dyp lå litt under gjennomsnittet, viste målingene i 50 meters dyp at det øvre lag i Norskehavet ved stasjon M, sommeren 1999, hadde unormalt høye temperaturer.

Langtidstrenden av temperatur og vannmassefordeling ved Nord-Island har vært noe forskjellig fra Norskehavet. Som det fremgår av figur 2.6, var det der en markant endring mot kaldere forhold med lavere saltholdighet, altså mot mer arktiske forhold, gjennom siste halvdel av 1960-årene. Siden da har gjennomsnittet for både temperatur og saltholdighet ligget lavere enn før 1965, og forholdene har vært mye mer variable. I 1994-1995 var "påtrykket" av arktisk vann så stort at det blokkerte for innstrømmingen av Atlanterhavsvann til det nord-islandske kystområdet. En oppvarming med større innslag av Atlanterhavsvann gjennom de fem foregående årene ble dermed avbrutt (figur 2.6). Fra 1998 til 1999 var det igjen en kraftig økning i tilførselen av atlantisk vann og temperaturen steg

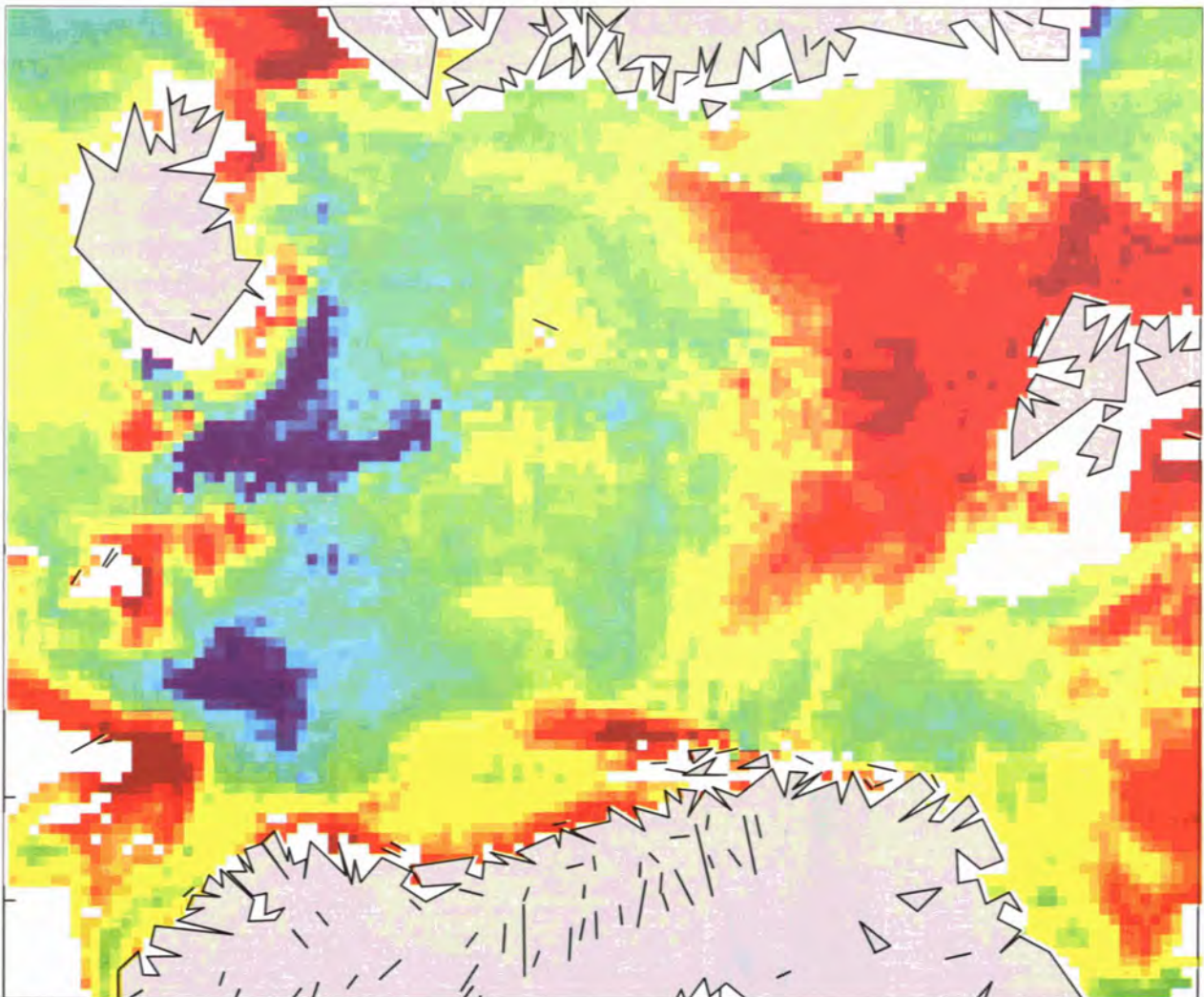


Figur 2.6 Variasjoner i temperatur og saltholdighet i 50 meters dyp nord av Siglunes, Nord-Island, i mai/juni 1952 - 1999. Presentert med tillatelse fra havforskningsinstituttet i Reykjavik. *Temperature and salinity variations at 50 m depth off Siglunes, northern Iceland, in May/June 1952 - 1999. Courtesy of the Marine Research Institute, Reykjavik.*

mer enn en grad og saltholdigheten økte betydelig. Temperaturøkningen ved Nord-Island står i kontrast til de store mengdene av kaldt arktisk vann som kommer inn i Norskehavet via Øst-Islandsstrømmen. Dette viser at forholdene på de nord-islandske kystbankene kan være uavhengige av forholdene i Øst-Islandsstrømmen lenger ut fra kysten.

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 Portugal (eller Azorene) 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 også i nær sammenheng med vindforholdene i Norskehavet, og dermed med utbredelsen av de ulike vannmasser. Med høy NAO, det vil si 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.

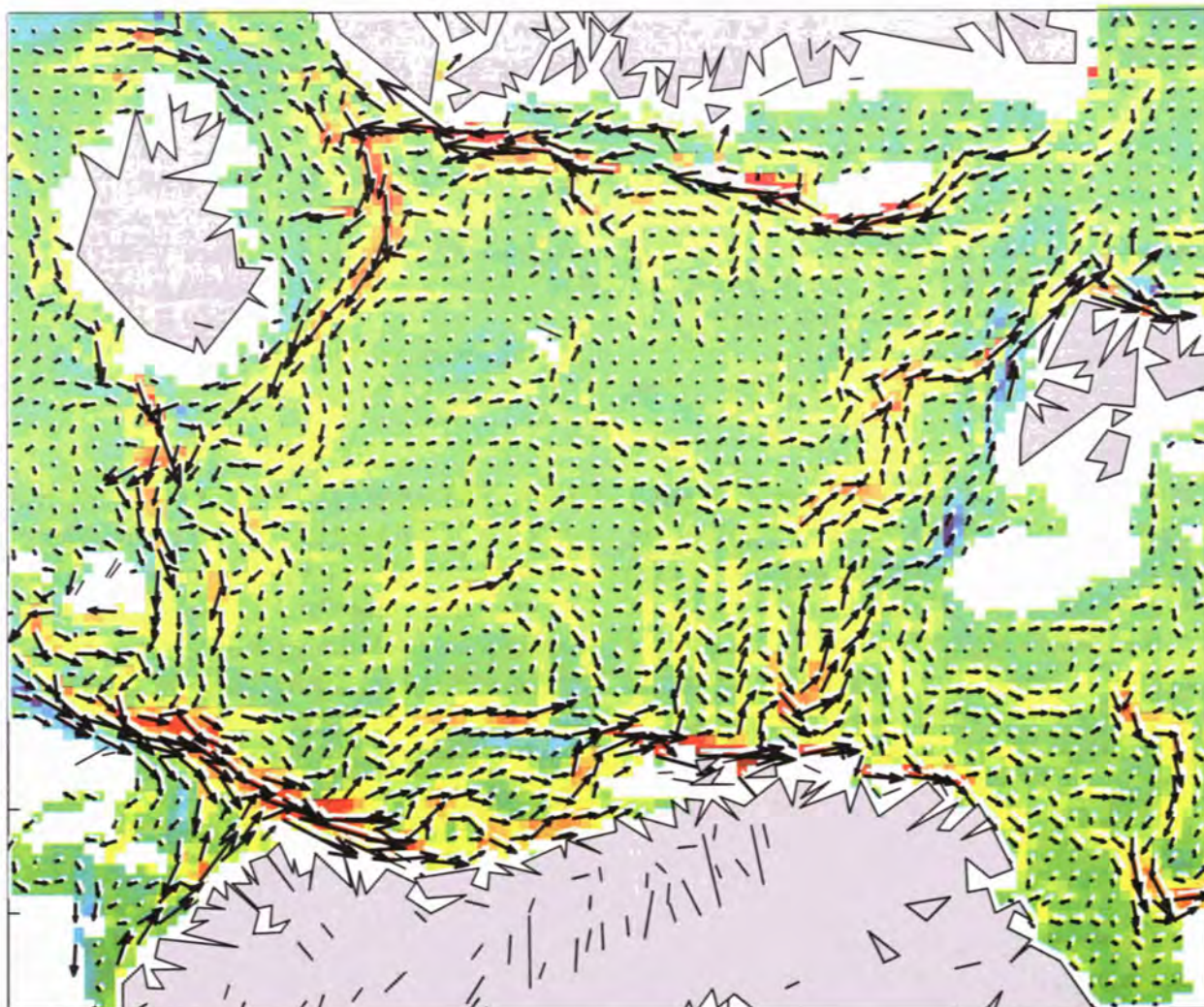


Figur 2.7 Beregnet avvik fra klimatologisk middeltemperatur i 100 meters dyp for 4. kvartal 1999 basert på avvik i vanntransporten. Rød farge betegner relativt varmere vann, grønn er ingen endring og blått betegner relativt kaldere vann.
Modelled distributions at 100 m depth of temperature differences (°C) between the 4th quarterly mean of 1999 and the climatological mean.

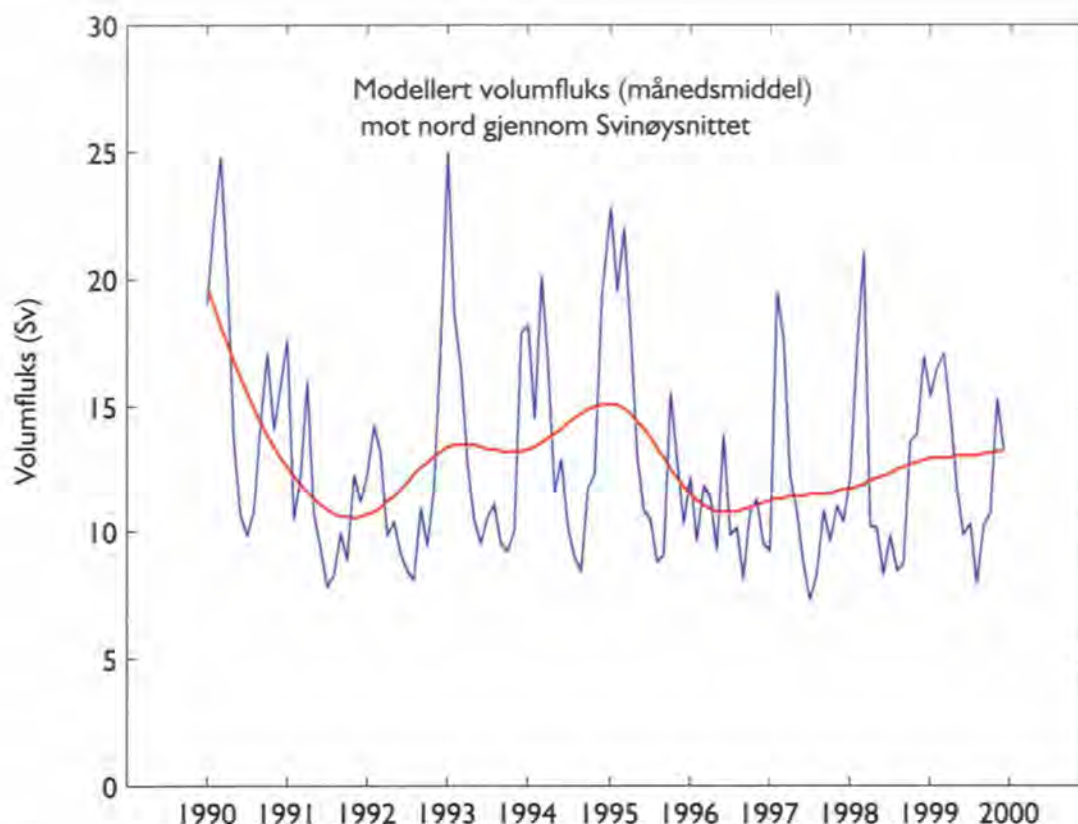
Klimaforhold og utbredelse av vannmasser har stor betydning for produksjon og fiskefordeling i Norskehavet. I flere år har for eksempel silda ikke vandret inn i islandsk sone på grunn av økt vestlig utbredelse av kaldt arktisk vann. I 1999 førte store tilførsler av arktisk vann om våren til sørlige del av Norskehavet, sammen med unormalt høye sommertemperaturer i øvre lag i østlige Norskehav, til at silda hadde en unormal nordlig utbredelse sommeren 1999.

Forholdene i 4. kvartal 1999 er simulert med en tredimensjonal numerisk havmodell (NORWECOM), der vinden er den dominerende drivkraften. Temperaturavvikene i forhold til en

klimatologisk middelsituasjon for 4. kvartal basert på avvik i vanntransportene er vist i figur 2.7. Høsten 1999 viste beregningene relativt varmere vann i 100 meters dyp langs Norskekysten, nord i Norskehavet og i Grønlandshavet, samt på den islandske kontinentalsokkelen. Vest i Norskehavet og nord for Island var det derimot relativt kaldere vann. Dette resultatet stemmer godt overens med observasjonene i 1999, og viser at transport av vannmasser i stor grad bidrar til temperaturfordelingen i våre havområder. De simulerte strømforholdene i 100 meters dyp, som et middel for 4. kvartal 1999 (figur 2.8) viser at strømningsmønsteret for De nordiske hav var forsterket i forhold til en klimatologisk middel-



Figur 2.8 Modellert sirkulasjonsmønster i 100 meters dyp i 4. kvartal 1999. Fargene er relatert til forskjeller mellom strømfeltet og klimatologisk middelstrøm for 4. kvartal. Rød farge betyr relativt sterkere strøm og blå farge relativt svakere strøm.
Modelled circulation pattern at 100 m depth (4th Quarter) and the differences in current speed (color code) between the 4th quarterly mean and the climatological mean.



Figur 2.9 Beregnet månedsmiddel av vanntransport gjennom Svinøysnittet fra januar 1990 til januar 2000. Det er også vist en tidsfiltrert serie hvor variasjoner under 2 år er fjernet ($1 \text{ Sv} = 1 \text{ mill m}^3\text{s}^{-1}$).
Time serie (1990-1999) of monthly and 2- years running means modelled volume transport in the the Svinøy section.

strøm for samme periode. Et sterkere strømfelt vil nettopp medføre en større varmetransport og relativt varmere vann langs Norskekysten og nord i Norskehavet. Nord for Island og vest i Norskehavet vil økt transport av relativt kaldere vann føre til lavere temperaturer. Den simulerte transporten av vann nordover gjennom Svinøysnittet (figur 2.9) viste en økning etter 1996.

Kysten

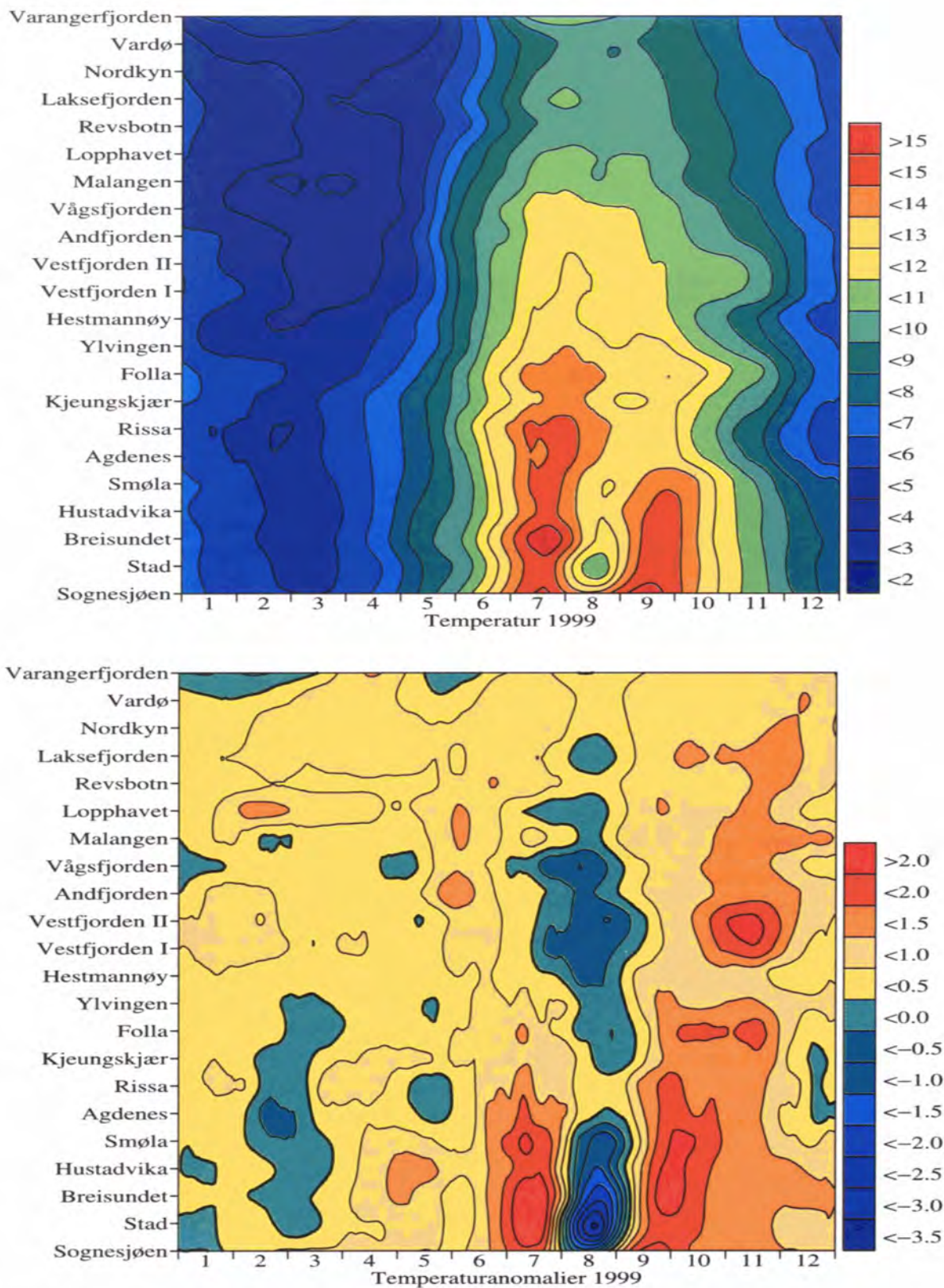
Klimatilstanden i kystfarvannene observeres regelmessig på faste hydrografiske stasjoner fra Lista til Ingøy (to - fire ganger per måned) (figur 0.1). På disse stasjonene blir temperatur og saltholdighet observert i standarddyp fra overflaten til bunnen. Observasjoner av temperatur og saltholdighet i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

Resultatet av temperaturmålingene fra Hurtigruta i 1999, sammen med avviket fra et middelår er vist i figur 2.10. Her ser vi hvordan temperaturforholdene i overflatelaget langs kysten fra Sognesjøen til Varangerfjorden har variert gjennom årets 12 måneder. Langs hele kysten lå temperaturene stort sett over det normale i 1999. I august førte oppstrømning av kaldere dypvann til forholdsvis lave temperaturer. Fra september og utover høsten var det forholdsvis varmt langs hele kysten med temperaturer periodevis $2 \text{ }^\circ\text{C}$ over det normale for årstiden. På slutten av året lå temperaturene langs kysten fra Hordaland til Finnmark $0\text{-}1 \text{ }^\circ\text{C}$ over det normale, med størst avvik sør for Trøndelag og langs Finnmarks-kysten.

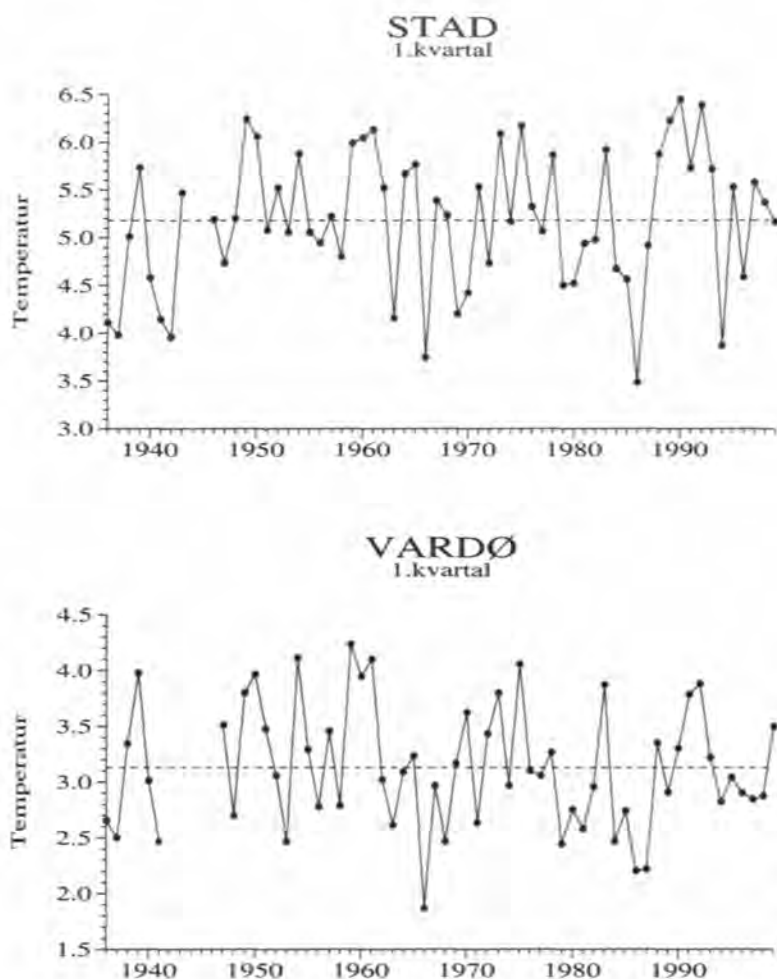
Vintertemperaturene er best egnet til å studere langtidsendringer i havklima i øvre lag av kystvannet. I øvre lag langs norskekysten, representert ved stasjonene Stad og Vardø, ble

HURTIGRUTEN

Månedsmidler fra termografstasjoner



Figur 2.10 Øverst: Temperaturen i overflatelaget langs kysten mellom Sognesjøen og Varangerfjorden i 1999, målt fra Hurtigruta.
 Nederst: Temperaturanomali (avvik) i 1999 i forhold til langtidsnormalen.
Upper: Temperature of the surface layer along the coast between Sognesjøen and Varangerfjord in 1999 based on observations from the coastal express steamer.
Lower: Temperature anomalies in 1999.



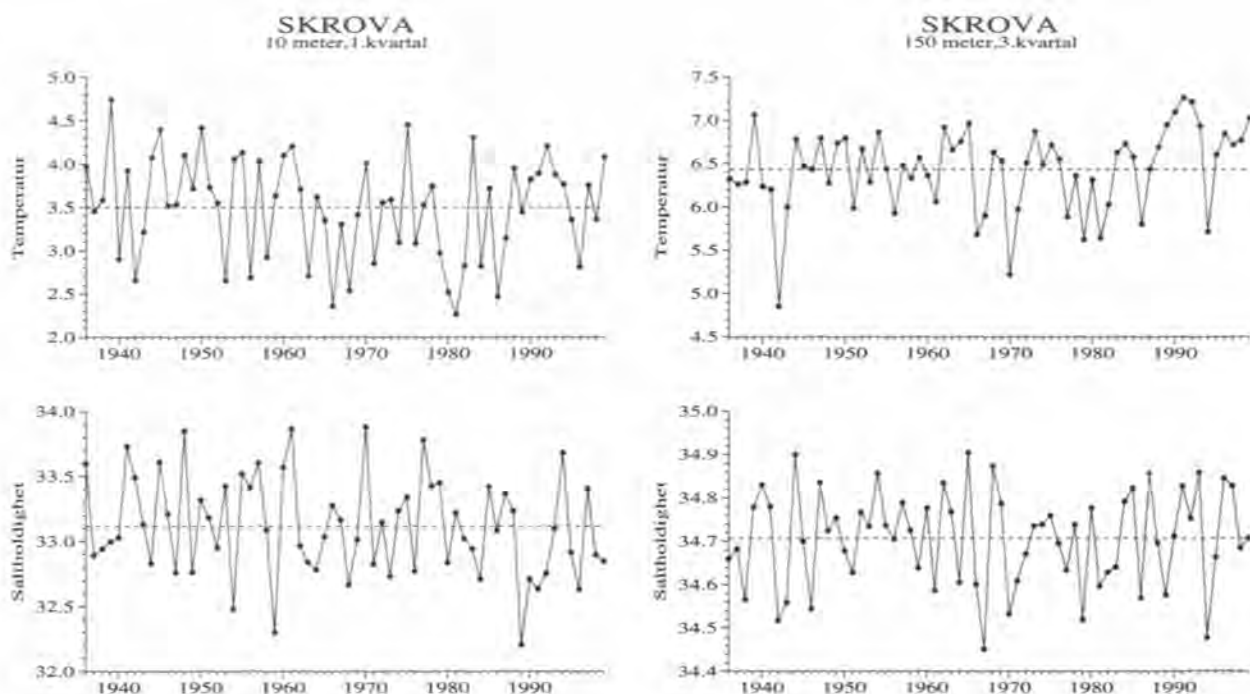
Figur 2.11
Middelverdier og årlige variasjoner i overflatetemperatur i 1. kvartal (januar-mars) fra 1936 til 1999 ved Stad og Vardø.
Mean values and yearly variation of surface temperature (1. quarter) off Stad and Vardø (1936 -1999).

de laveste vintertemperaturene i perioden 1936-1999 observert i 1966 og i 1986/87 (figur 2.11). Det var varme vintre omkring 1960, i første del av 1970-årene og omkring 1990. Temperaturforskjellen mellom kalde og varme vintre var 1.5-3 °C. Etter den varme perioden i begynnelsen av 1990-årene, stabiliserte vintertemperaturene i overflatelaget langs kysten av Øst-Finnmark (Vardø) seg på et nivå noe under det normale etter 1994. Vinteren 1999 var det en temperaturøkning på ca 0.7 °C i forhold til foregående år og midlere vintertemperatur lå nå ca 0.5°C over det normale for årstiden. Lenger sør, på kysten av Vestlandet (Statt), startet den siste varmeperioden i 1988 og varte fram til 1994, det vil si i ca seks år. I de siste årene har det vært nær normale vintertemperaturer ved Statt.

Figur 2.12 viser langtidsvariasjonene i temperatur og saltholdighet i 10 og 150 meters dyp midlet for henholdsvis 1. kvartal (januar - mars) og 3. kvartal (juli - september) ved Skrova i Vest-

fjorden i perioden fra 1936 til 1999. Forholdene i 10 meters dyp representerer vinterforholdene i den øvre del av kystvannet, som ved siden av de mer storstilte klimavariasjoner, påvirkes av lokale og regionale vær- og strømforhold. Dette medfører ofte store endringer i temperatur og saltholdighet fra år til år. Overflatevannet ved Skrova var det, som ellers langs kysten, f.eks varme perioder omkring 1983 og 1990, mens de laveste vintertemperaturene for hele måleperioden ble observert i begynnelsen av 1980-årene. Vinteren 1999 lå midlere vintertemperatur ved Skrova ca 0.6 °C over normalen og saltholdigheten noe under det normale for årstiden.

Temperatur- og saltholdighetsforholdene i 150 meters dyp ved Skrova i juli-september viser de mer storstilte variasjonene i tilførsler av atlantisk vann til kystområdene. Etter et relativt kaldt år i 1987 økte temperaturen til et ekstremt maksimum i 1991. Dette gjenspeiler de milde vintrene



Figur 2.12 Middelverdier og årlige variasjoner i temperatur og saltholdighet i 10 meters dyp (1. kvartal) og 150 meters dyp (3. kvartal) fra 1936 til 1999 ved Skrova.
Mean values and yearly variation of temperature and salinity at 10 m (1. quarter) and 150 m depth (3. quarter) at Skrova (1936-1999).

i perioden 1988 - 1993 og 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 det varme året 1991. I 1994 observerte man både lavere temperaturer og reduserte saltholdighetsverdier - en klar indikasjon på reduserte tilførsler av atlantisk vann til kystområdet. Etter 1994 har temperaturen igjen økt, og i 1999 lå midlere temperatur i 3. kvartal ca 0,6 °C over normalen.

Figur 2.13 viser variasjonene av temperatur og saltinnhold i overflatelaget (10 meters dyp) og i 150 meters dyp ved Skrova i 1999, sammenlignet med de gjennomsnittlige sesongvariasjoner og standardavvik. I overflatelaget var det stort sett temperaturer over det normale gjennom hele året med unntak av en periode på sommeren. I hele 1999 var det bemerkelsesverdig lave saltholdigheter i overflatelaget i Vestfjorden ved Skrova som blant annet må være knyttet til stor ferskvannsavrenning fra land.

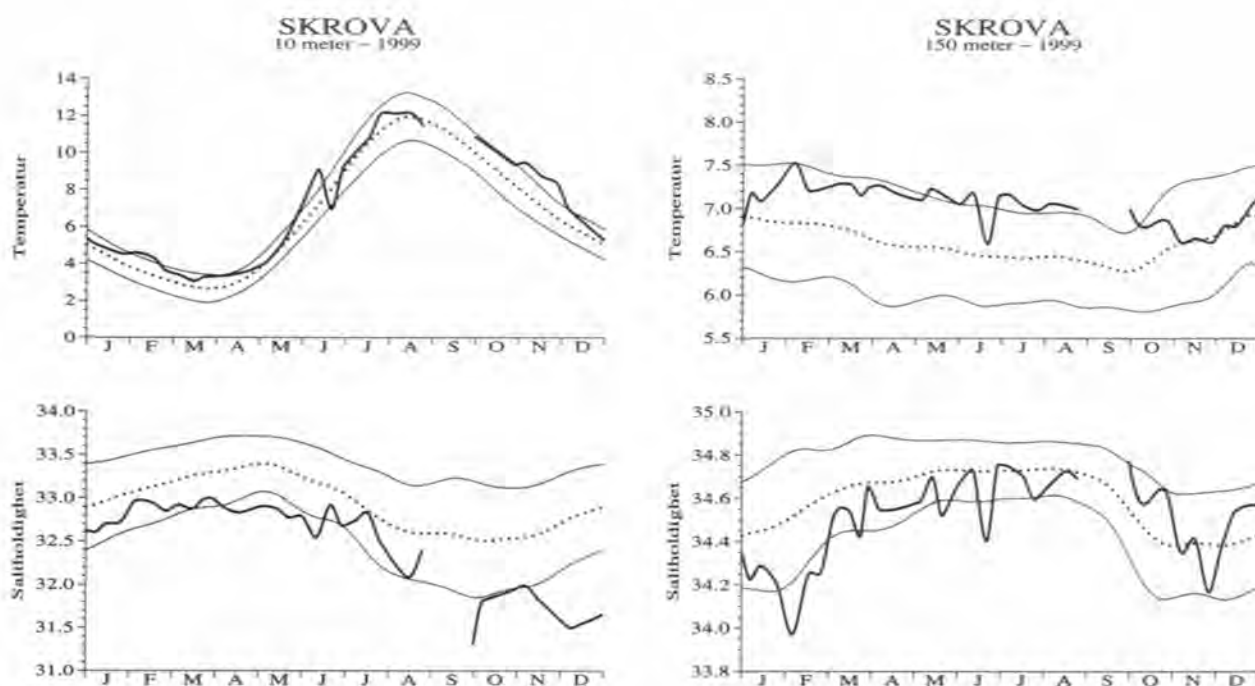
I 1999 var det også forholdsvis varmt i 150 meters dyp, med temperaturer nær opptil ett standard-

avvik over normalen. På slutten av året var det en forbigående normalisering av temperaturforholdene. Saltholdighetene i 150 meters dyp var også forholdsvis lave fram til september (mye kystvann), for deretter å variere omkring det normale resten av året.

I de dypere lag av kystvannet fra Rogaland til Finnmark, var det som ved Skrova temperaturer over det normale stort sett gjennom hele året. På slutten av året var det ekstra varmt i kystvannet nord for Lofoten med temperaturer til 2 °C over normalen fra utsiden av Lofoten til Vest-Finnmark. De gjennomgående lave saltholdighetene i dypere lag av kystvannet tyder på forholdsvis stor vanntransport i kyststrømmen i 1999.

Fjorder

Havforskningsinstituttet har siden 1975 overvåket miljøforholdene i om lag 27 fjordregioner langs norskekysten i forbindelse med brisling- og sildeundersøkelser sent på høsten. I det følgende har vi beskrevet forholdene i to fjorder med meget dårlige oksygenforhold i frie



Figur 2.13 Temperatur og saltholdighet i 10 og 150 meters dyp, målt ca hver 10. dag ved Skrova i 1999. Midlere årsvariasjon (tynn linje) og standardavvik (prikket linje) er også vist.
Temperature and salinity at 10 and 150 m depth measured about every 10th day at Skrova in 1999. Mean seasonal variation (thin line) and standard deviation (dotted) are also shown.

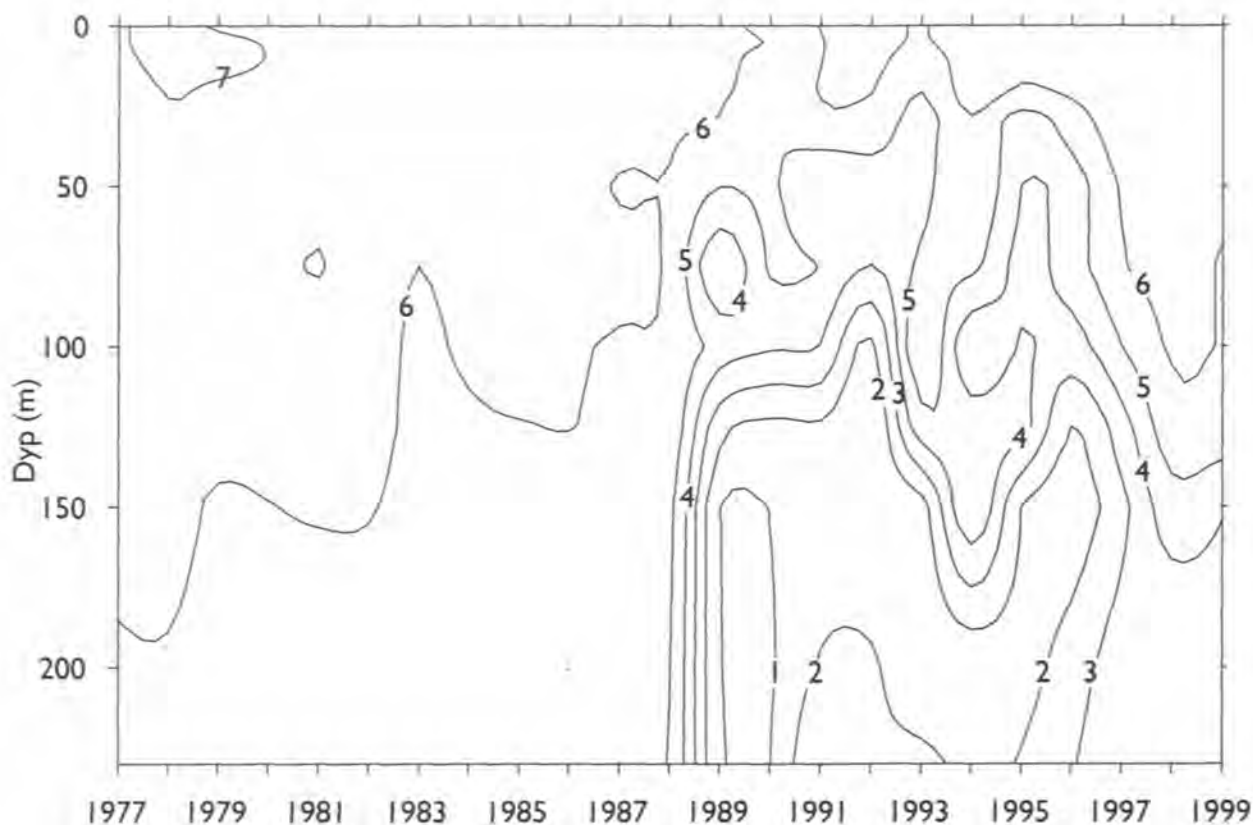
vannmasser, forårsaket av to helt forskjellige forhold.

Ofotfjorden

Etter at sommerbeitesesongen er over i Norskehavet, vandrer den norske vårgytende silda til overvintringsområdene hvor den danner tette konsentrasjoner. I disse områdene blir silda inntil gytevandringen begynner igjen tidlig på vinteren. I de siste 40 år har man kunnet identifisere flere overvintringsområder. I løpet av 1950-årene, da bestanden var stor (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 begynt å overvintre i Ofotfjorden og til dels i Tysfjorden. Overvintringen i disse fjordene begynte i 1987. Den store

konsentrasjonen av silda i et begrenset fjordområde har ført til betydelig reduksjon av oksygeninnholdet i disse fjordområdene om høsten og vinteren.

Havforskningsinstituttet har fulgt miljøutviklingen med en serie undersøkelser gjennomført hvert år i november måned. Figur 2.14 viser oksygenforholdene i Ofotfjorden på en stasjon utenfor Narvik. Observasjonene viser en kraftig nedgang i oksygenkonsentrasjonene under ca 100 meters dyp etter 1988, med konsentrasjoner ned til like under 1.0 ml/l i 1990. De lave oksygenkonsentrasjonene har holdt seg ganske uforandret 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 to-tre årene har imidlertid en større andel av silda overvintret også i deler av Tysfjorden, og en lignende reduksjon av oksygeninnholdet er blitt observert der. I november 1996, og særlig i 1997, var det for første gang etter 1990 en markert forbedring i de dypeste vannlag, med oksygenkonsentrasjoner omkring 3.0 ml/l.



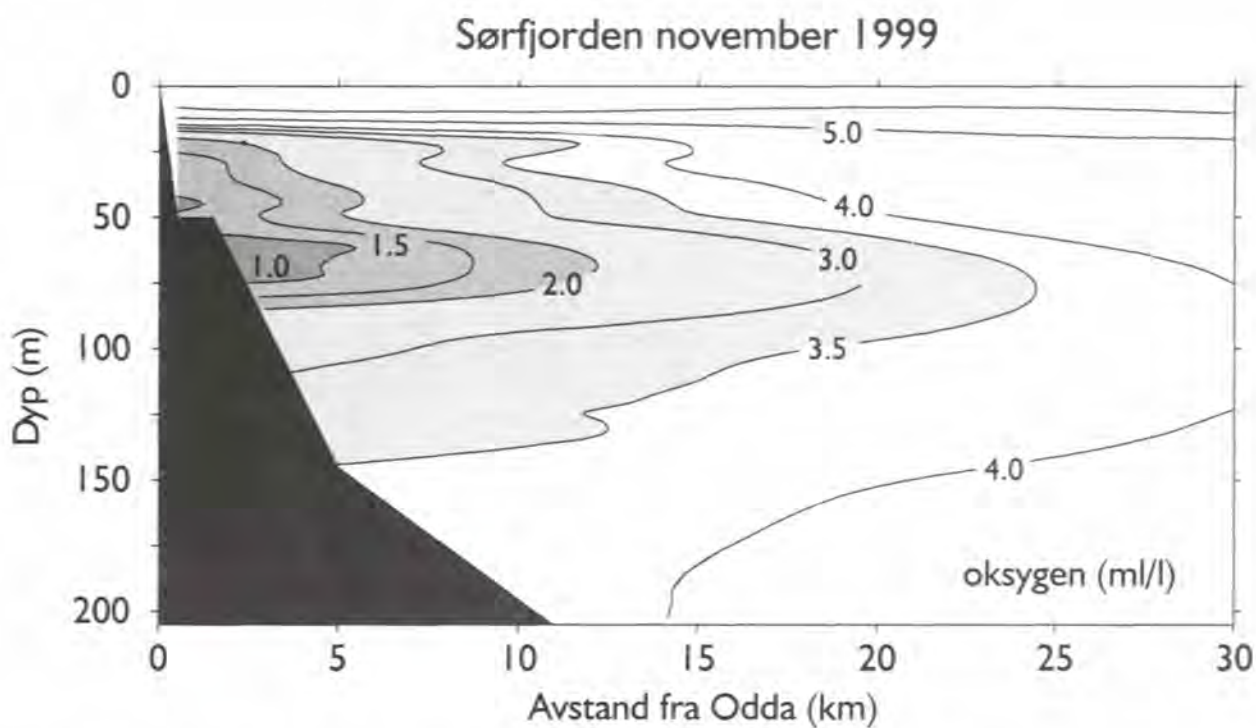
Figur 2.14 Vertikal fordeling av oksygen (ml l^{-1}) i Ofotfjorden utenfor Narvik i perioden 1977 - 1999. *Vertical distribution of oxygen (ml l^{-1}) at a station off Narvik in the Ofotfjord during the period 1977 - 1999.*

Denne trenden fortsatte også i 1999 og da særlig i de øverste 180 meter, mens det var litt lavere konsentrasjoner like over bunnen av fjorden. De økte oksygenkonsentrasjonene i 1997 - 1999 kan ha sammenheng med økt innstrømming av vann fra kysten til Ofotfjorden. Den mest sannsynlige forklaring er likevel den endrete sildefordelingen de siste årene, hvor en større del av den overvintrende silda nå oppholder seg i Tysfjorden og i indre deler av Vestfjorden.

Sørfjorden- Hardanger

Det er vel kjent at Sørfjorden i Hardanger er sterkt forurensert av miljøgifter fra industrien. Målinger utført av Havforskningsinstituttet siden 1990 viser at også oksygen- og næringsstoffforholdene var sterkt påvirket av utslipp av såkalt Dicy-kalk, et avfallsprodukt fra Odda smelteverk. Oksygenforholdene i fjorden har forverret seg gradvis, og i november 1999 observerte vi

de dårligste oksygenforholdene på 90-tallet (figur 2.15). Ved Odda var det mellom 1 og 2 ml/l oksygen fra like under brakkvannet til bunns. Det var også kritisk lave oksygenkonsentrasjoner ($< 3.0 \text{ ml/l}$) fra like under overflatelaget til ca 100 m dyp 10 km utover i fjorden. En tunge med oksygenfattig vann ($< 3.5 \text{ ml/l}$) i 50 - 75 meters dyp strakte seg hele 25 km utover i Sørfjorden. Foruten direkte effekter på biologisk liv forårsaket av lavt oksygeninnhold, har de store tilførselene av nitrat fra Dicy-kalken ført til økt planktonproduksjon og en unaturlig planktonsammensetning i fjorden. Målinger viser at dinoflagellaten *Dinophysis acuta*, som produserer diaréfremkallende toksiner i blåskjell, opptrer årvisst i store mengder fra sommeren og utover høsten. De forverrede miljøforholdene de siste årene er trolig knyttet til økt utslipp av Dicy-kalk fra Odda smelteverk. Det arbeides nå med tiltak for å redusere utslippet fra Odda smelteverk.



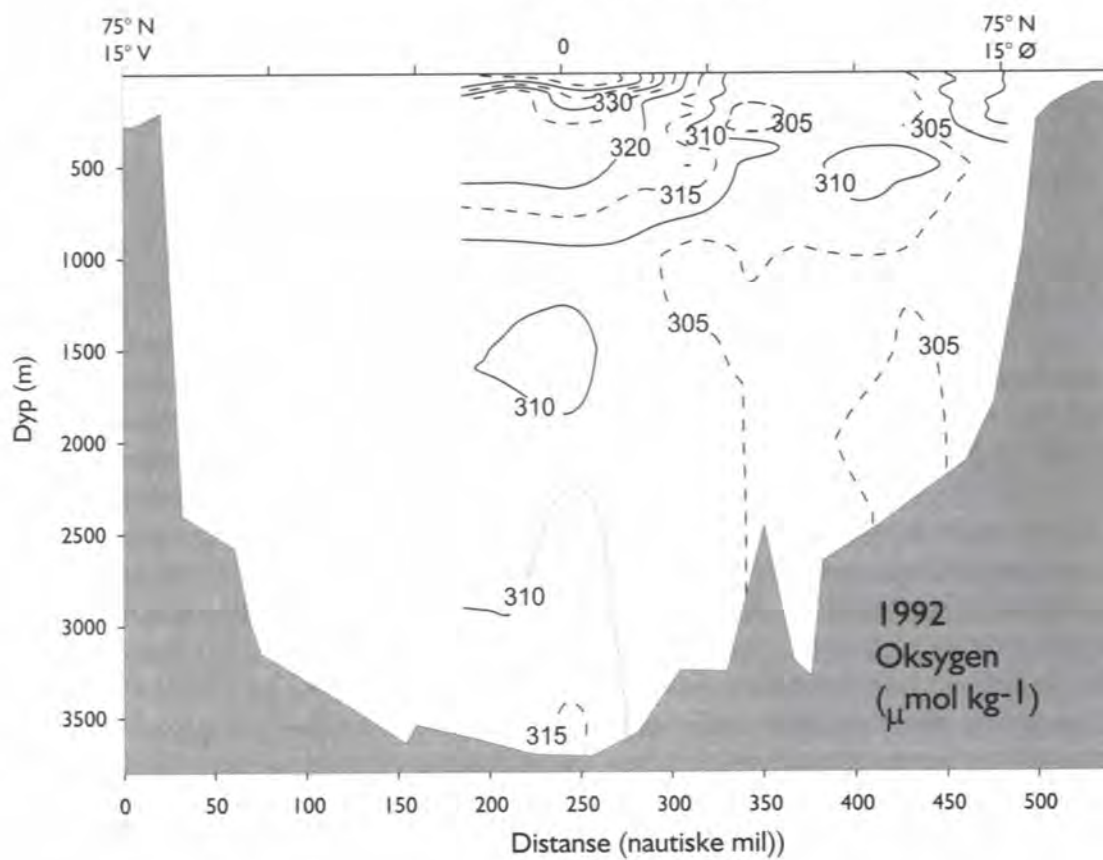
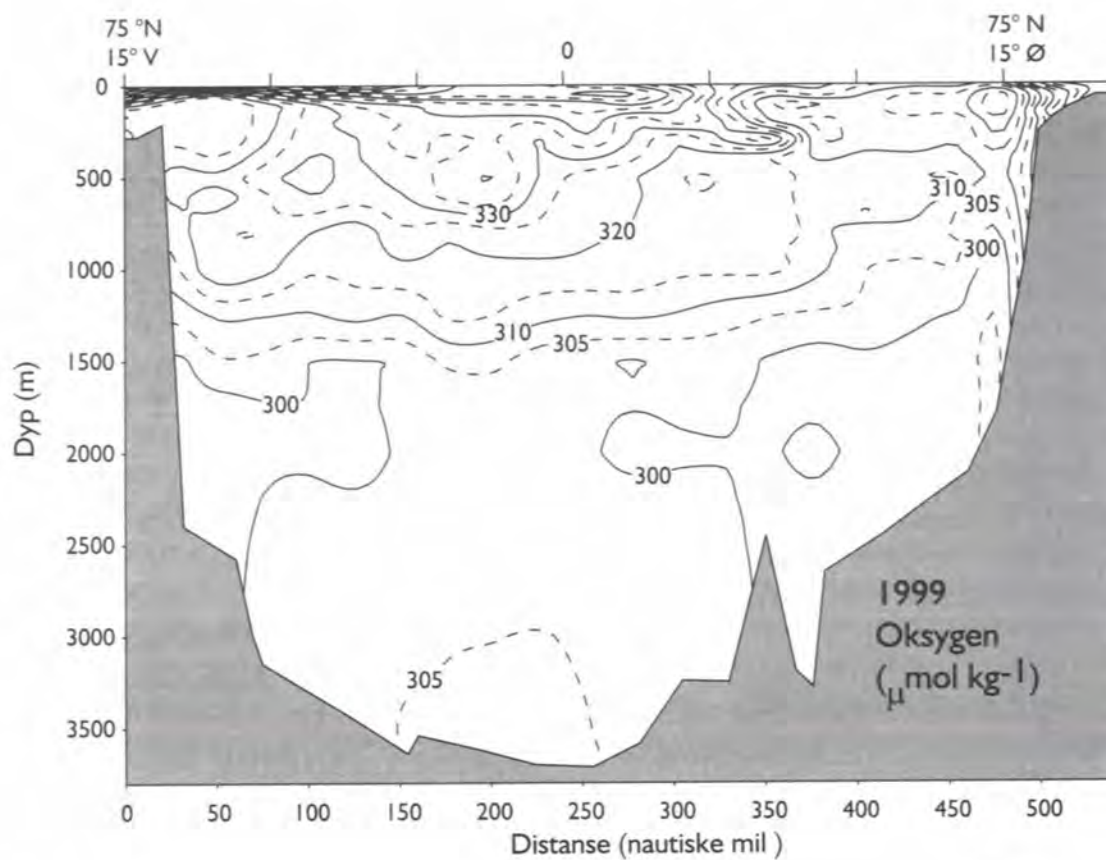
Figur 2.15 Vertikalfordeling av oksygen (ml l^{-1}) i Sørfjorden - Hardanger, i november 1999.
Vertical distribution of oxygen in Sørfjorden - Hardanger, November 1999.

2.2 Plankton og næringsalter

En av de viktigste faktorene for primærproduksjonen i Grønlandshavet, er isutbredelsen om vinteren/våren og ismeltingen om sommeren. Ismeltingen fører til dannelse av et stabilt overflatelag, som er en nødvendig betingelse for oppblomstring av planteplankton tidlig om våren. I områder som ikke blir dekket av is om vinteren, utvikler stabiliteten i overflatelaget seg mye langsommere, og da hovedsakelig som et resultat av oppvarmingen fra atmosfæren. Undersøkelsene gjennomført i perioden 1993-1999 har vist at oppblomstringen tar først til ved iskanten og deretter i de sentrale deler av Grønlandshavet. Som regel var oppblomstringen dominert av diatoméer. Veksten av disse ble utover våren gradvis hemmet av silikatmangel og diatoméene ble etter hvert erstattet av flagellaten *Phaeocystis pouchetii* som forbrukte resten av nitraten utover sommeren.

Algeforholdene sommeren 1999 (juni-juli) viste samme utviklingen som i de foregående år, selv om blomstringen tilsynelatende kom i gang noe senere enn normalt.

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



Figur 2.16 Vertikal fordeling av oksygen ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) i et snitt langs 75°N , tvers over de sentrale deler av Grønlandshavet i 1992 og 1999.
Vertical distribution of oxygen ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) in a section along 75°N across the central Greenland Sea in 1992 and 1999.

Havforskningsinstituttet har siden 1992 gjennomført en rekke tokt med formål å overvåke miljøforholdene i de sentrale deler av Grønlandshavet. Figur 2.16 viser den vertikale fordelingen av oksygen i et snitt langs 75°N i Grønlandshavet i 1992 og 1999. To forhold er verdt å merke seg: Det første er økningen i oksygenkonsentrasjonene i øvre del av Grønlandshavet. Det andre er reduksjonen i oksygen i de dypeste deler av Grønlandshavet fra ca. 315 til 305 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ i samme periode. De endrete oksygenforholdene var trolig et resultat av den reduserte dypvannsutsiftingen i Grønlandshavet, hvor nedblandingen av vann om vinteren innbefatter de "øvre" vannlag, mens de dypeste delene av Grønlandshavet ikke får tilført nytt oksygenrikt vann.

For å se hvordan næringssaltforholdene påvirkes av dypvannsutsiftingen, har vi beregnet gjennomsnittsverdier for nitrat og silikat i hele Grønlandsbassenget vest for 7°E. Fra 1981/82 til 1995 var det en gradvis nedgang i nitratkonsentrasjonene i de øverste lag (500 - 1500 meter), som deretter økte fram til 1999. I dypvannet, under ca 1500 meters dyp, var det i hele perioden en generell økning i nitratkonsentrasjonene, og da særlig fra 1995 til 1999. Forskjellen i nitratkonsentrasjonene mellom vannmassene over og under 1500 meters dyp, økte også fra ca. 0.3 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ i 1982 til ca. 1.5 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ i 1999. Den mest sannsynlige forklaringen til disse endringen er den redusert dypvannsutsifting i Grønlandshavet. Den samme utviklingen ser vi for silikat.

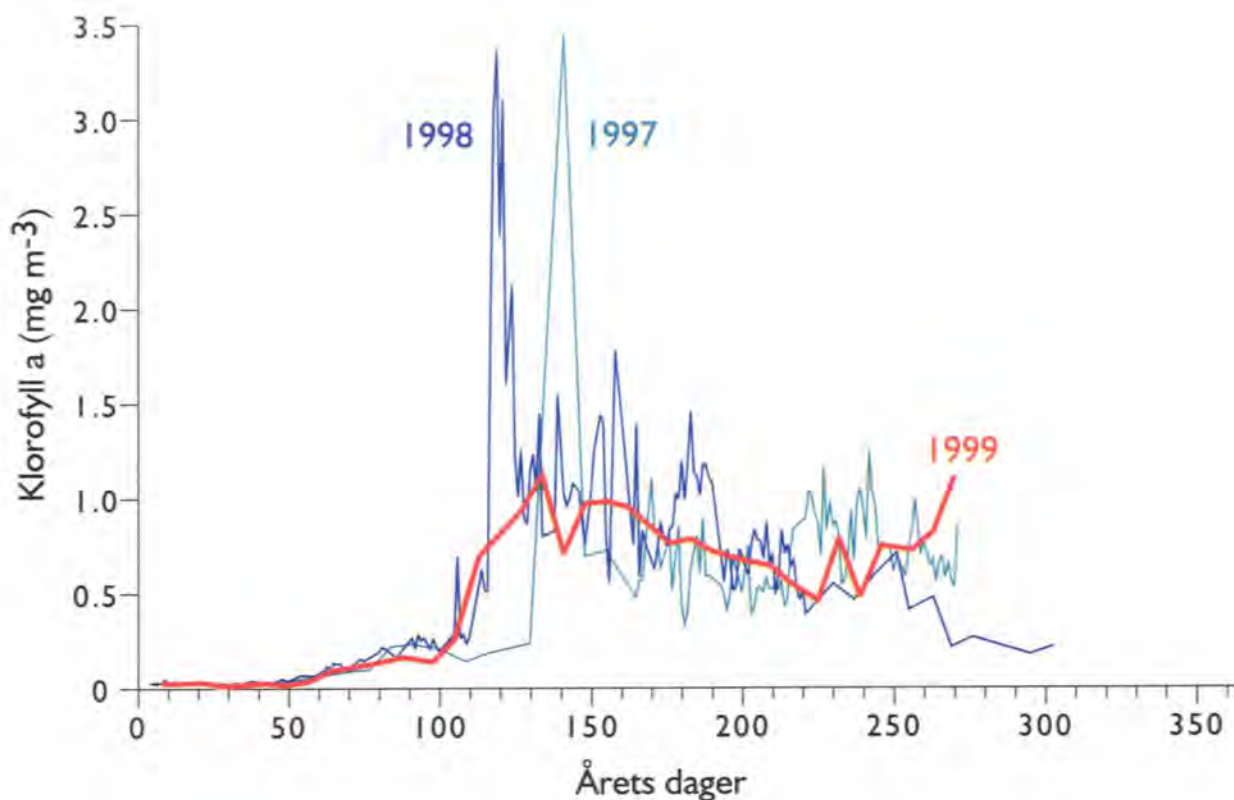
Som nevnt foran var endringer i vinterblandingen i Grønlandshavet den mest sannsynlig årsak til endringene i det øvre lag. Men hva var så årsaken til endringene i de dypeste lagene? Oksygeninnholdet i de dypeste lagene sank med ca. 10 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ i løpet av perioden 1992-1999. Bare 6% av denne nedgangen kan skyldes forskjellen i oksygenoppløselighet på grunn av økt temperatur og saltholdighet. Videre i dyphavet forbrukes oksygen med en hastighet på ca. 0.125 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ per år. I perioden fra 1992 til 1999 ble det dermed forbrukt ca. 1 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ eller ca. 10 % av den totale nedgang. Da har vi igjen en nedgang på ca. 8.5 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ oksygen som må

forklares på en annen måte. Den mest sannsynlige forklaring er innstrømming av forholdsvis oksygenfattig vann til dyp under 1200-1500 meter, men hvorfra? En mulighet kan være innstrømming fra Norskehavet, mens en annen kan være innstrømming av arktisk dypvann som strømmer sørover langs kontinentalskråningen ved Grønland. Hydrografiske data og resultater fra et sporstoff-eksperiment i 1996-1998 tyder på at den siste forklaring er den mest sannsynlige.

Værskipsstasjon M (66°N, 02°Ø)

Som tidligere nevnt, har de fysiske forholdene i overflatelaget stor betydning for utviklingen av primærproduksjonen i Norskehavet. Viktigst i denne sammenheng er faktorer som lysforhold og vertikal lagdeling i vannmassene. Oseanografiske undersøkelser foretatt siden 1948 på Værskipsstasjon "M" (stasjon M) i Norskehavet (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 regelmessige observasjoner av fysiske og biologiske data på stasjon "M" i Norskehavet. Observasjonene tas fra værskipet M/S "Polarfront". Innsamlingshyppigheten er avhengig av type parameter, og har variert fra daglige til ukentlige målinger.

Variasjonene i tid av klorofyll-*a* brukes for å beskrive utviklingen i planteplanktonsamfunnet ved stasjon "M" i Norskehavet (figur 2.17). Vintersituasjonen og "førblomstringsperioden" liknet forholdene i de to foregående år fram til ca 10. april (dag 100). Selve vårblomstringen utviklet seg hurtigere enn i 1998, men den flatet kraftig ut etter ca. dag 110, og hadde et langt lavere maksimum enn i de to foregående år (10. mai - dag 130). I 1997 og 1998 var det daglige målinger av klorofyll-*a* i tilknytning til et forskningsprosjekt, mens vi i 1999 gikk tilbake til den normale innsamlingshyppighet med ukentlige prøver. De hyppigere målingene i 1997 og 1998 kan delvis forklare de kraftige og veldefinerte maksima i klorofyll-*a* konsentrasjonene, men data fra tidligere år viser også at ukentlige målinger vanligvis får med seg veldefinerte maksima i klorofyllkonsentrasjonene. Dette tyder på at de



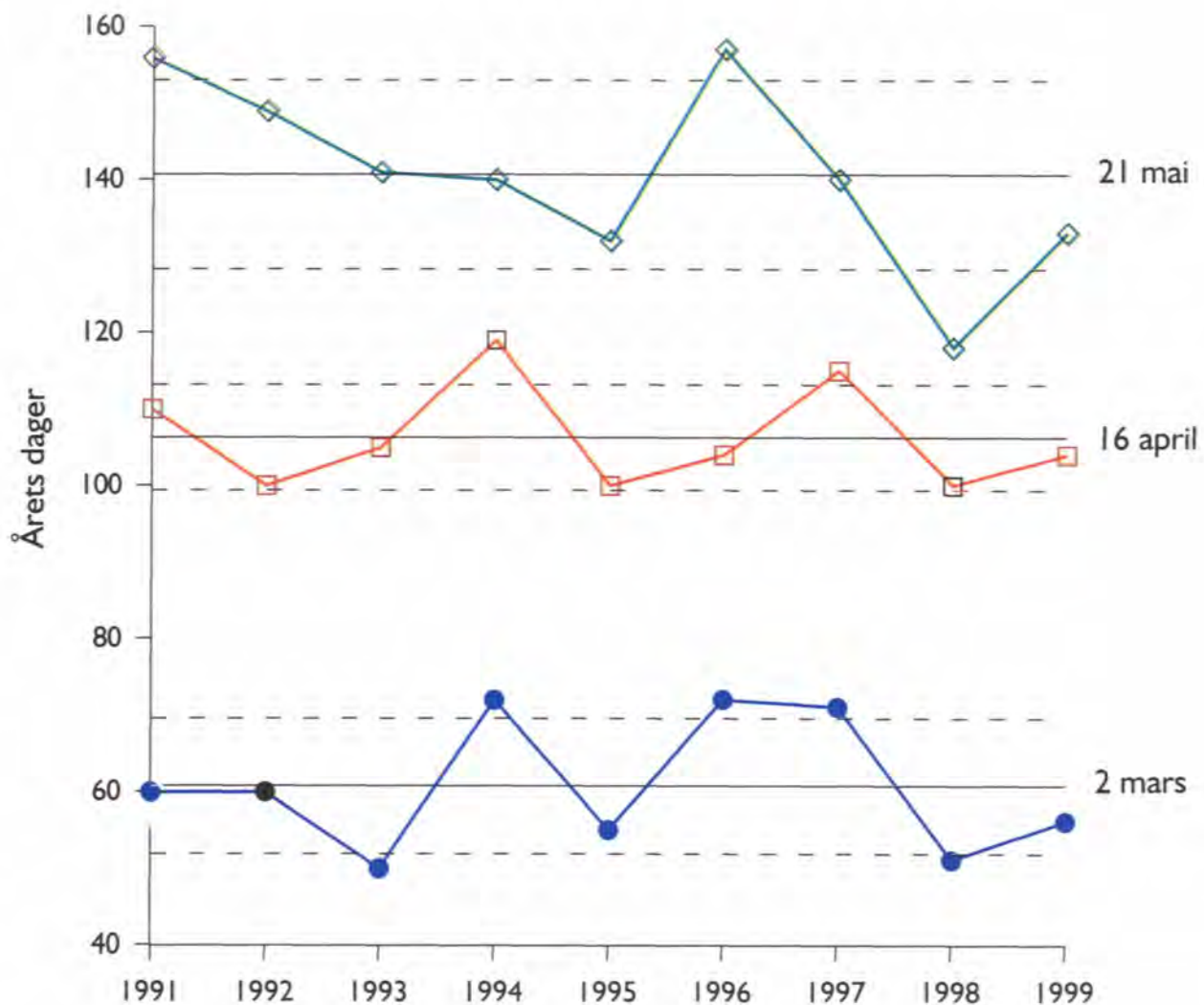
Figur 2.17 Midlere klorofyll-*a* konsentrasjon i de øverste 30 meters dyp gjennom året ved stasjon "M" i perioden 1997 - 1999. I 1997 og 1998 daglige målinger, i 1999 ukentlige målinger. *Average chlorophyll-*a* concentration in the upper 30 meters during the year at Ocean Weather Station Mike. In 1997 and 1998 daily observations, in 1999 weekly observations.*

unormalt lave konsentrasjonene av klorofyll-*a* i 1999 var forårsaket av en kraftig og tidlig beiting fra dyreplankton. Dette hadde trolig stor betydning for produksjonen av dyreplankton i Norskehavet i 1999, da utviklingen av dyreplankton i Norskehavet er sterkt knyttet til våroppblomstringen. Dyreplankton er for eksempel sildas hovedføde, og år til år forskjeller i planteplanktonforholdene kan dermed ha en betydelig innvirkning på sildas næringsforhold i Norskehavet.

Den nå ni års lange tidsserien av målinger ved stasjon "M" (1991-1999), gir oss anledning til å se hvordan tidspunktet for våroppblomstringen varierer fra år til år i denne delen av Norskehavet. I figur 2.18 er de tre fasene for planteplanktonets utvikling angitt. Vi ser at vinterperioden i et "normalår" varer fram til ca 2. mars. I hele perioden lå varigheten av vinterperioden innenfor et standardavvik fra det normale. Førblomstringsperioden strekker seg i gjennomsnitt fra 2. mars til 16. april. Også her lå de årlige variasjonene, med unntak av 1994, innenfor et standardavvik.

Selve våroppblomstringen starter normalt om lag 17. april og oppnår et maksimum ca 22. mai, men her har de årlige variasjonene vært langt større, og da særlig i de siste årene. Med unntak av 1996, som klimatisk sett var et tilnærmet normalt år, ser det ut til at våroppblomstringen siden 1991 har inntruffet tidligere for hvert år og har kortere varighet. Selv om 1999 viser at blomstringsmaksimum inntraff noe senere enn i 1998, må vi huske, som forklart over, at utviklingen i 1999 var tilnærmet lik den i 1998 fram til blomstringsmaksimum.

Hva som er årsaken til den stadig tidligere våroppblomstring i Norskehavet ved stasjon "M" er ennå uklar, men mye tyder på at den økte transport av arktisk vann til Norskehavet via Øst-Islandstrømmen kan være en viktig faktor. Disse "arktiske" vannmassene har større vertikal stabilitet og har 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.



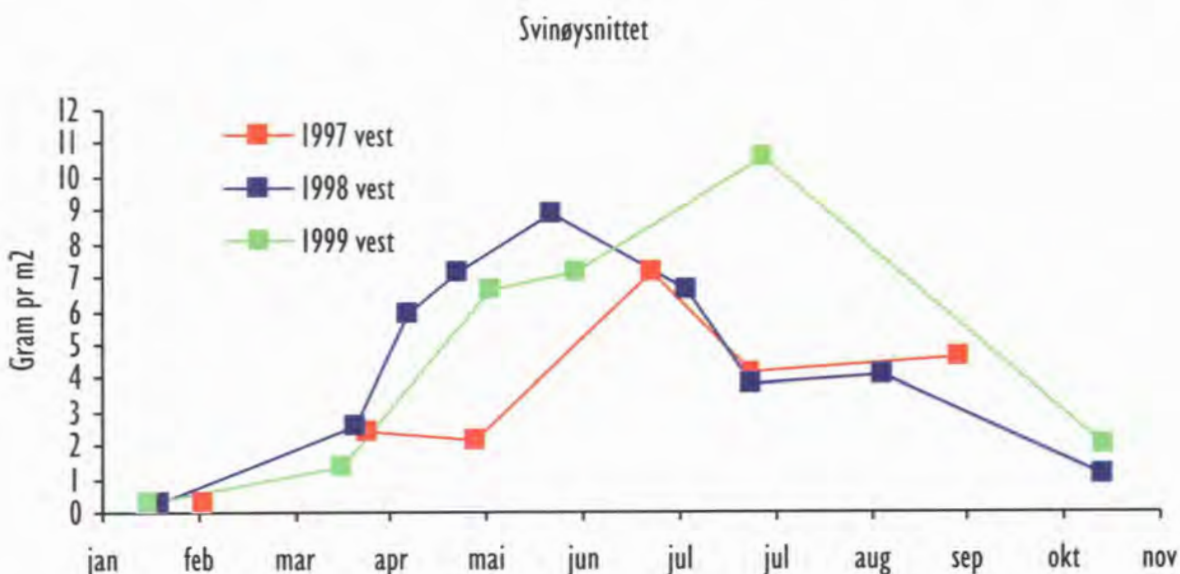
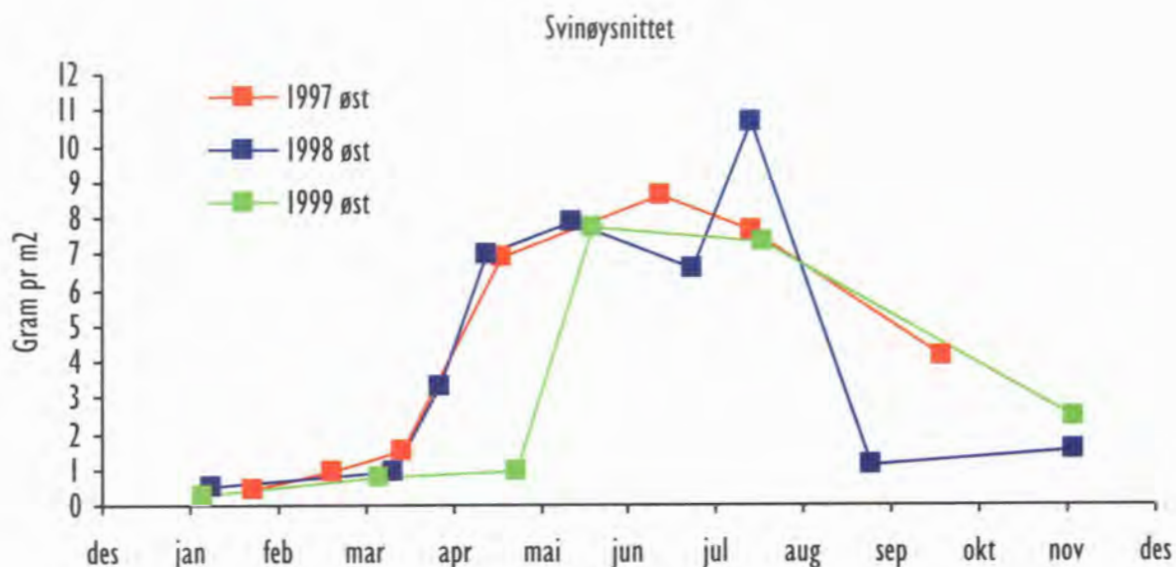
Figur 2.18 År-til-årsvariasjoner i diverse faser i planteplanktonets utvikling ved stasjon "M" i perioden 1991-1999. Sirkler (blå): vinterperiode; firkanter (røde): førøppblomstringsperiode; diamanter (grønne): vårøppblomstring. Hel linje representerer middel og brukket linje ett standardavvik.
Year to year variation in the different phases of the development of phytoplankton at Weather Station Mike in the period 1991 to 1999. Circles: winter phase; squares: pre-bloom phase; diamonds: spring bloom. Continuous lines represents the average for each period. Broken lines represents one standard deviation for each period.

Dyreplankton

Innsamling av dyreplankton i Norskehavet er som tidligere år foretatt med en planktontrål (MOCNESS) og med en ordinær loddrett trukket planktonhåv, kalt WP-2. Det har også vært foretatt en rekke innsamlinger med en flernetts håv, Multinett. Større planktonorganismer som krill og amfipoder fanges dårlig i slike relativt små fangstredskaper. På en rekke stasjoner ble det derfor også tatt prøver med en tradisjonell trål for å fange større planktonorganismer, om

høsten ble det også tatt prøver med en nyutviklet krilltrål. I tillegg til innsamlingen i Norskehavet ble det samlet inn planktonprøver på to snitt fra norskekysten og ut i Norskehavet, det ene ved Svinøy (Møre og Romsdal), det andre ved Gimsøy (Nordland) (figur 0.1). Begge snittene ble dekket seks ganger i løpet av året.

Østlige og sentrale deler av Norskehavet er undersøkt om våren i de senere årene. Mens en i

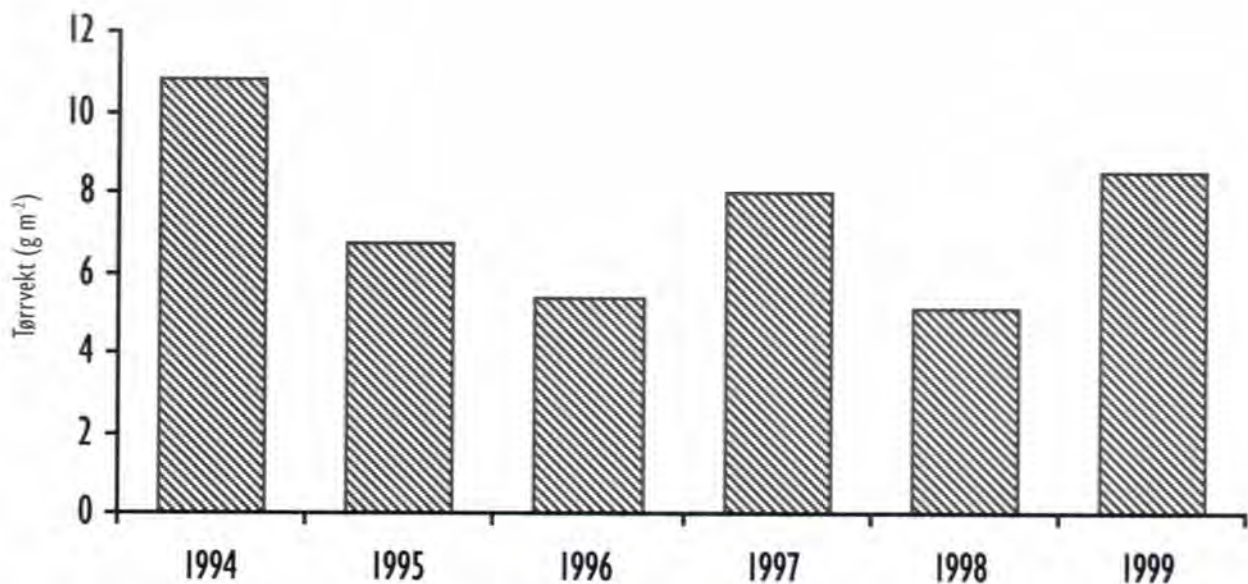


Figur 2.19 Dyreplanktonmengder (g tørrvekt m⁻²) på Svinøysnittet fra 1997 til 1999. Øverst: Østlige del av snittet; sokkel og kontinentalskråning. Nederst: Vestlige del av snittet, kontinentalskråning og dyphav. Zooplankton biomass (g dry weight m⁻²) at the Svinøy transect from 1997 to 1999. Upper: Eastern part of the transect. Lower: Western part of the transect.

1997 observerte en midlere biomasse for alle stasjonene på ca 8.4 g m⁻², var denne i 1998 økt til 12.2 g m⁻². I 1999 ble det observert en midlere reduksjon på ca. 21 % i forhold til året før, med størst nedgang i biomasse i den østlige delen av Norskehavet, øst for 2 °W.

Figur 2.19 viser mengdene av dyreplankton på Svinøysnittet i 1997 - 1999 som et gjennomsnitt for henholdsvis de østlige og vestlige deler av snittet. I den østlige delen, hovedsakelig over

kontinentalsokkelen, var biomassen lav i de tre første månedene, ca. 1 gr m⁻², og det var små forskjeller fra år til år. Utviklingen i planktonbiomassen våren 1999 var svært lik den som ble observert i 1997 og 1998. Maksimum biomasse, 9.4 gr m⁻², ble observert under den tredje dekningen av snittet i månedsskiftet april-mai, og var på om lag samme nivå som i 1997 og 1998. Lenger vest har det også vært observert lave biomasser i januar hvert år. I motsetning til i den østlige delen av snittet, var det en økning i



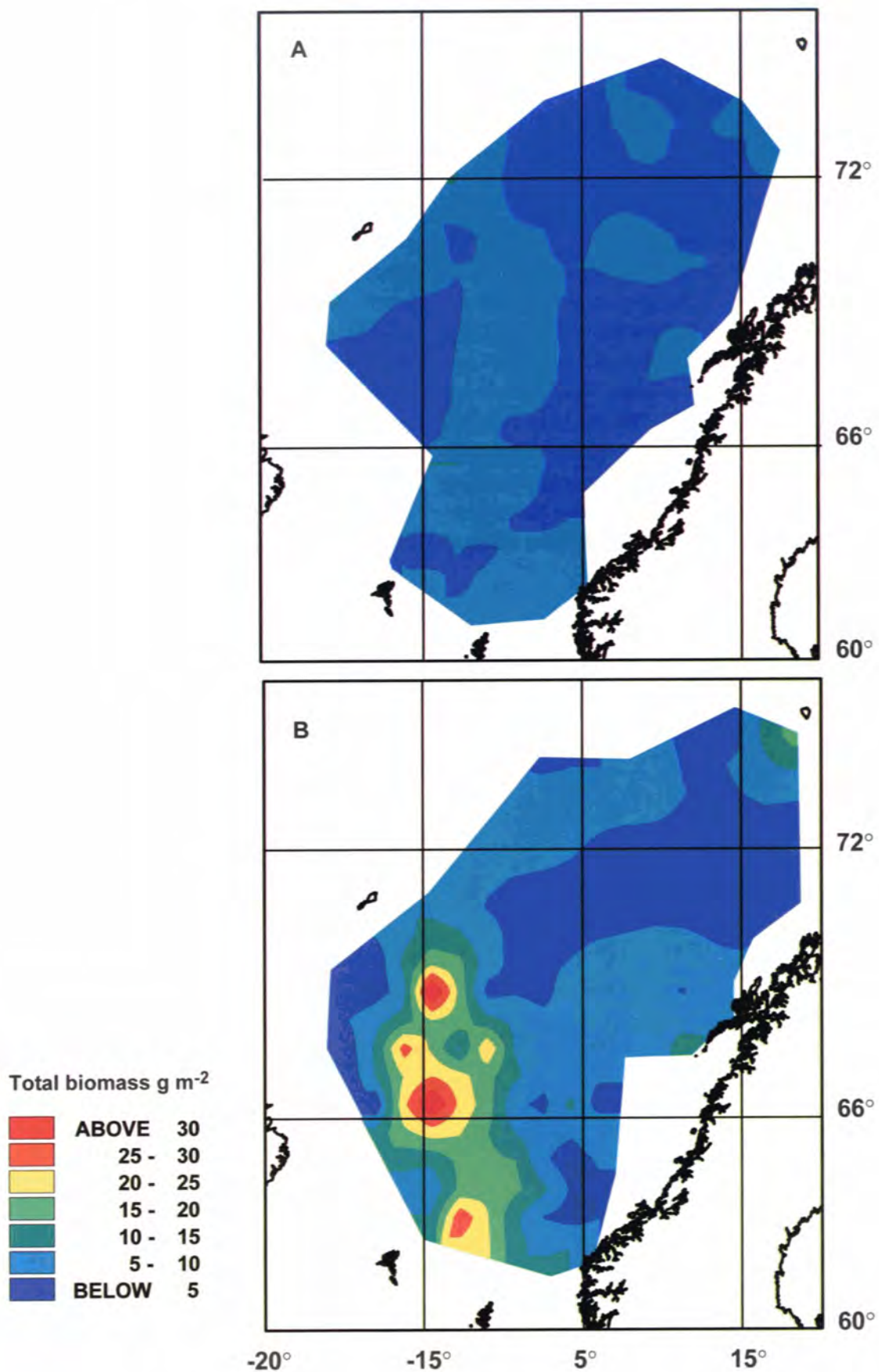
Figur 2.20 Midlere biomasse av dyreplankton (tørrvekt g m⁻²) i Norskehavet i juli - august fra 1994 til 1999.
Mean zooplankton biomass (g dry weight m⁻²) in the Norwegian Sea in July - August from 1994 to 1999.

biomassen allerede i februar, så også i 1999. I perioden 1997 - 1998 var det et biomassemaksimum i mai-juni som varierte mellom ca. 7 til 9 gr m⁻². I 1999 fortsatte imidlertid biomasseøkningen av dyreplankton helt fram til juli, hvor en observerte et maksimum på ca. 10.5 gr m⁻². Dette resulterte i at planktonmengdene i juli i den vestlige del av snittet var langt høyere enn nærmere land over kontinentalsokkelen. En skal imidlertid være oppmerksom på at det kan gå lang tid mellom hver innsamling, opp mot to måneder, slik at det er vanskelig både å bestemme virkelige maksimumsverdier og tidfeste når maksima inntreffer.

De store planktonmengdene i vestlige del av Svinøysnittet sommeren 1999 var i overensstemmelse med observasjoner over store deler

av Norskehavet, hvor midlere biomasse av dyreplankton var betydelig høyere enn foregående år (figur 2.20). Under toktet i juli 1999 varierte biomassene i østlige del av Norskehavet fra <5 til 10 gr m⁻², mens det i den vestlige/sentrale delen ble observert planktonmengder mellom 15 og >30 gr m⁻² i store deler av området (figur 2.21). Til sammenligning varierte planktonmengdene i 1998 fra <5 til ca. 10 gr m⁻² over hele Norskehavet. Dette viser at økningen biomasse av dyreplankton i 1999 i hovedsak fant sted i de vestlige/sentrale delene av Norskehavet.

På bakgrunn av mengden dyreplankton sommeren 1999, forventer vi en økt bestand av dyreplankton våren 2000 i Norskehavet i forhold til sist vår, og dermed bedre beiteforhold og økt individuell vekst for sild.



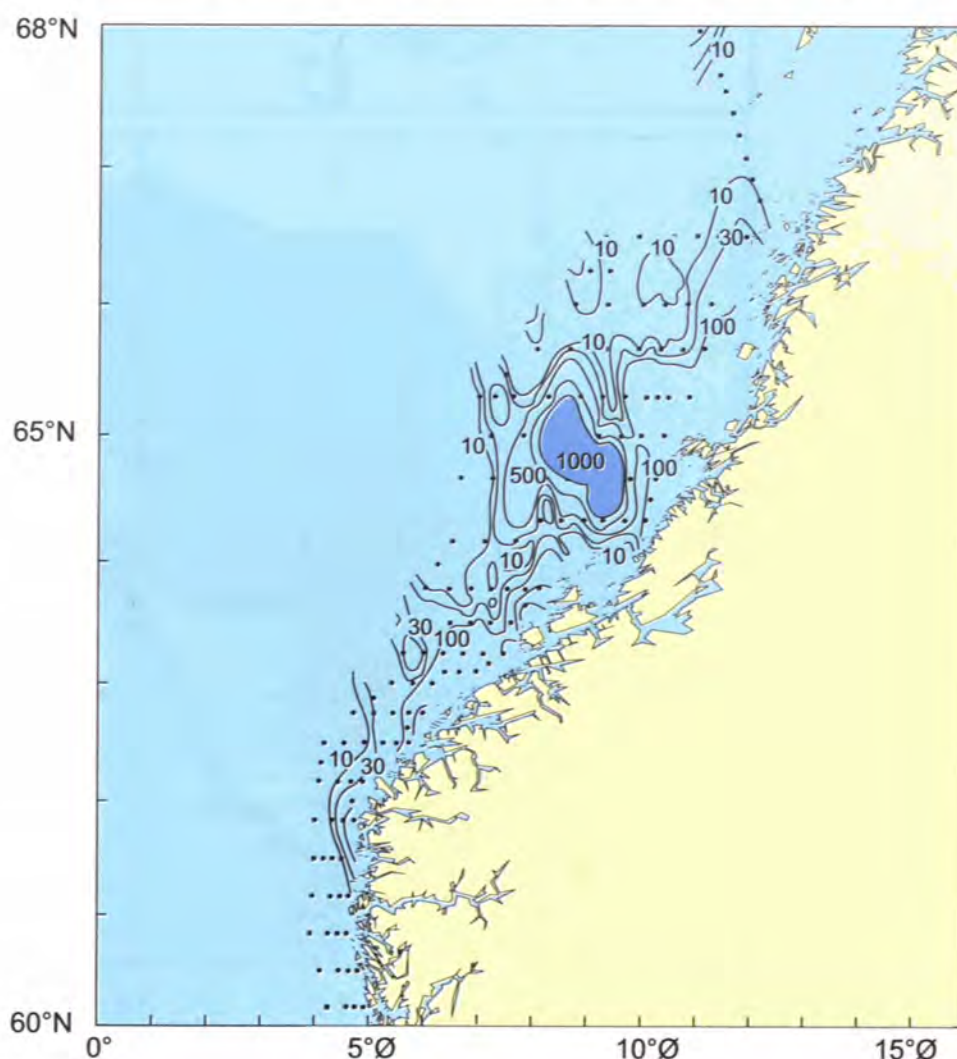
Figur 2.21 Horisontalfordeling av dyreplankton (g tørrvekt m⁻²) i Norskehavet i A) 1998, og B) 1999.
Horizontal distribution of zooplankton biomass (g dry weight m⁻²) in the Norwegian Sea in A) 1998, and B) 1999.

2.3 Yngelproduksjon

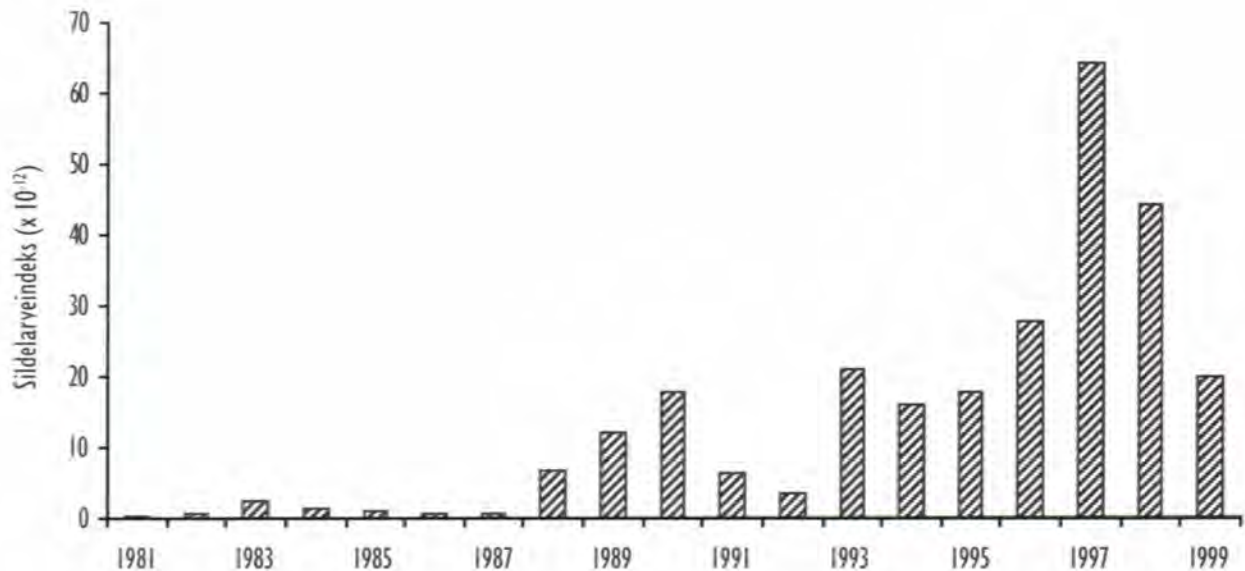
Sild

Årets sildelarvetokt startet fra Tromsø 7. april. Arbeidsforholdene var gode under store deler av toktet. Sokkelen fra Malangsgrunnen til Karmøy ble dekket med i alt 191 stasjoner (figur 2.22). I tillegg til sildelarver ble zooplankton samlet inn med håver på i alt 64 stasjoner. Vannprøver for bestemmelse av næringssalter og klorofyll ble tatt med samme hyppighet som zooplankton. Undersøkelsene startet på Malangsgrunnen og det ble funnet sildelarver i tildels store konsentrasjoner, noe som tyder på at det var gyting så langt

nord som Vesterålsbankene. De høye konsentrasjonene fortsatte hele veien ned til Lofotodden med verdier på over 100 larver pr kvadratmeter overflate på kystbankene. Ved starten av undersøkelsen var de fleste larvene kommet i stadium 2a hvor det er begynnende utvikling av ryggfinnen. Etter hvert som vi nærmet oss Røstbanken ble innslaget av plommesekkklarver tydeligere. Sør for Røstbanken kom vi inn i et område med få larver, og det ble funnet lite larver i hele området mellom Lofotodden og



Figur 2.22 Utbredelse av sildelarver (alle stadier) i april 1999.
Distribution of herring larvae in April 1999.



Figur 2.23 Sildelarveindeksen for perioden 1981-1999.
The index of herring larvae for the period 1981 to 1999.

Vega. Herfra og sørover ble det funnet et bredt belte av larver med tettheter på over 100 larver per kvadratmeter. De høyeste verdiene på over 1000 larver per kvadratmeter ble funnet over Haltenbanken. Det ble også observert endel nyklekkete larver sør for Karmøy hvor årets undersøkelse ble avsluttet.

Resultatene fra årets undersøkelse tyder på at mesteparten av gytingen har funnet sted mellom Stad og Sklinnabanken, men at det også har vært gyting i området fra Røstbanken til Vesterålsbankene. Det ble målt en nedgang i larvemengdene i forhold til rekordåret 1997, og årets indeks ble beregnet til $19.9 \cdot 10^{12}$, som er noe lavere enn gjennomsnittet på nittitallet, og en kraftig reduksjon i forhold til rekordåret 1997 (figur 2.23). Ut fra størrelsen på og utviklingen av larvene kan en anslå at hovedklekkingen av de larvene som overlevde fant sted rundt 20. mars. Utviklingen i dyreplanktonsamfunnet tyder på at våroppblomstringen kom tidlig igang i 1999, slik at bare de larvene som klekket tidligst fikk et godt første næringsopptak med tilhørende god vekst og overleving. Fordelingen av larver er mye lik den som er blitt funnet de siste årene med hovedtyngden av larver mellom Møre og Træna. Noe over 75 % av larvene som ble fanget var i stadium 2a (begynnende utvikling av

ryggfinnen), og totalantallet i dette stadiet var $15 \cdot 10^{12}$, det nest høyeste antallet i dette stadiet vi har funnet, bare 1998-estimatet var høyere ($21.9 \cdot 10^{12}$).

Fjorårets sildegyting (1998) så ikke ut til å ha vært spesielt vellykket. Likevel er gytebestanden nå så stor, gyter over et så stort område og over et så langt tidsrom at selv med en relativt beskjeden overleving i de første stadiene er det nok larver tilstede til å produsere en sterk årsklasse.

De samme forholdene var tilstede i 1999, men mange andre forhold virker også inn på overlevelsen av sildelarver: Larvene må finne gode oppvekksbetingelser på sokkelen utover våren og sommeren. Predasjon fra fisk, sjøfugl og pattedyr på sokkelen og i Barentshavet er også en kritisk faktor, og likeledes må strømførholdene være gunstige slik at larvene, yngelen og ungsilda blir ført inn i områder med gode oppvekksbetingelser. Forholdene utover sommeren og høsten 1999 var nok ikke optimale, så årets årsklasse ble etter målingene i Barentshavet i august/september betegnet som middels. Den individuelle veksten hadde imidlertid vært god, og dette gir en indikasjon på bedre overleving enn vanlig gjennom vinteren 2000.

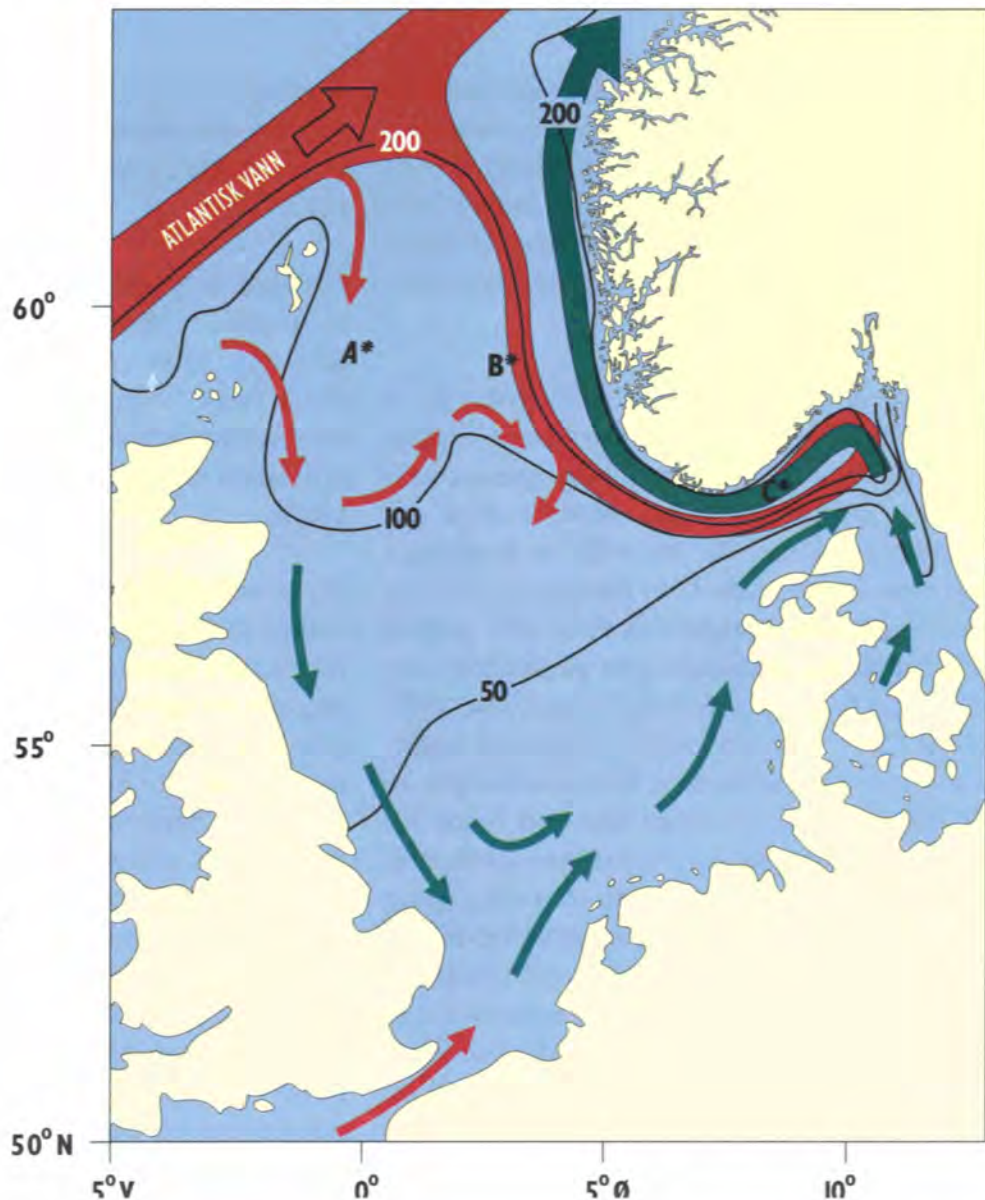
3. ØKOSYSTEM NORDSJØEN OG SKAGERRAK

3.1 Havklima

Nordsjøen

Nordsjøen er hovedsakelig et grunnhav, hvor omkring 2/3 av området er grunnere enn 100 meter. Et karakteristisk trekk ved Nordsjøen er Norskerenna hvor dypet går ned til over 700 meter i Skagerrak. Dybdeforholdene er viktige for sirkulasjonen i Nordsjøen, da topografien i stor grad styrer vannmassenes bevegelse. Vannmassene i Nordsjøen har sin opprinnelse i

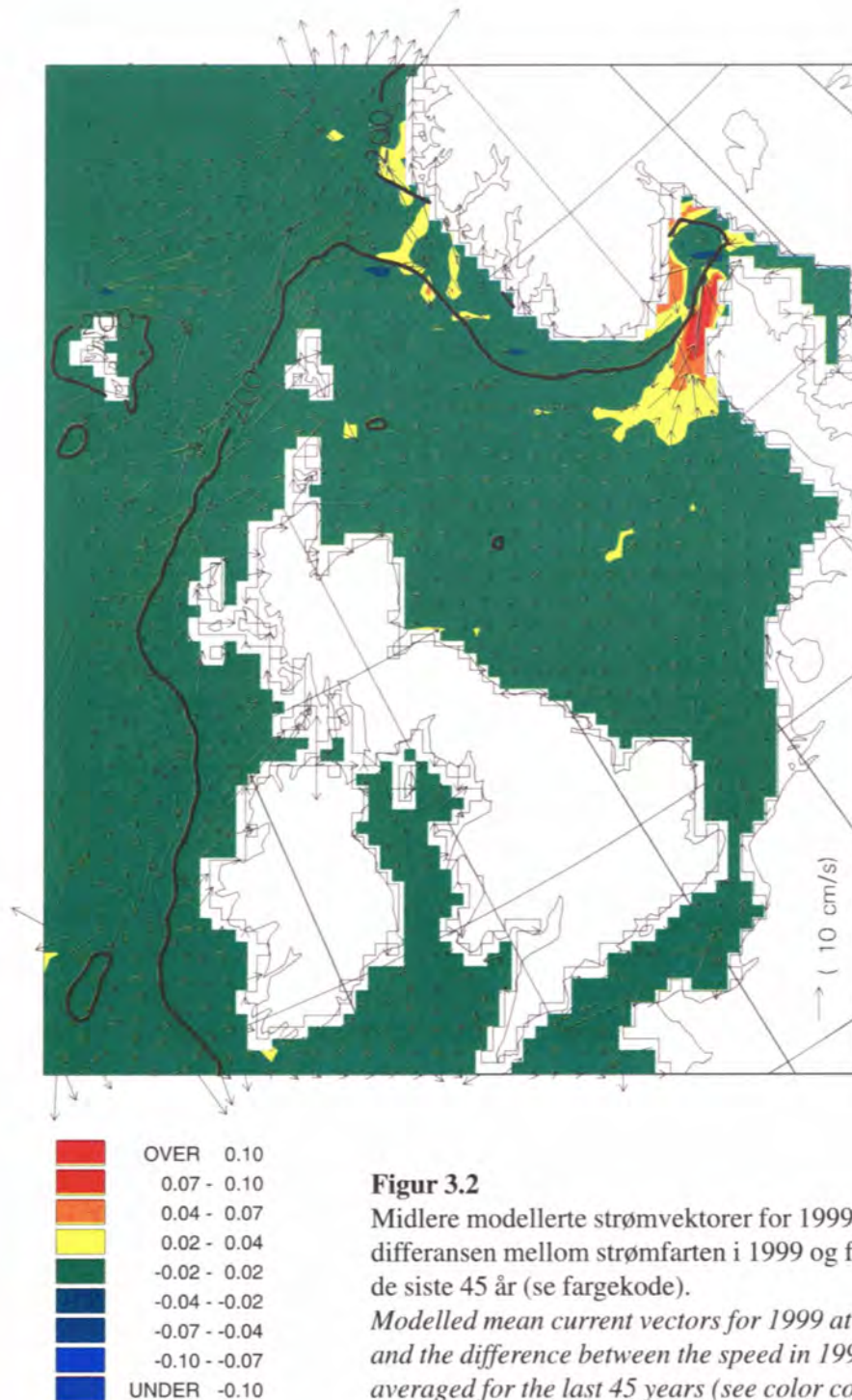
innstrømningen av atlantisk vann med høy saltholdighet fra Norskehavet og ferskvannstilførsel fra land (figur 3.1). Om vinteren er vertikalblandingen stor i de grunne områdene, slik at det blir små temperaturforskjeller mellom overflaten og bunnen. Oppvarmingen om sommeren lager et markert temperatursprang i 20-50 meters dyp.



Figur 3.1
De viktigste trekkene i sirkulasjonsmønsteret og dybdeforhold i Nordsjøen og Skagerrak. Lokalisering av stasjonene A, B og C.

Røde piler:
Atlantisk vann
Grønne piler:
Kystvann.

The most conspicuous features of the circulation and bathymetry of the North Sea and Skagerrak. Stations A, B and C.



Figur 3.2

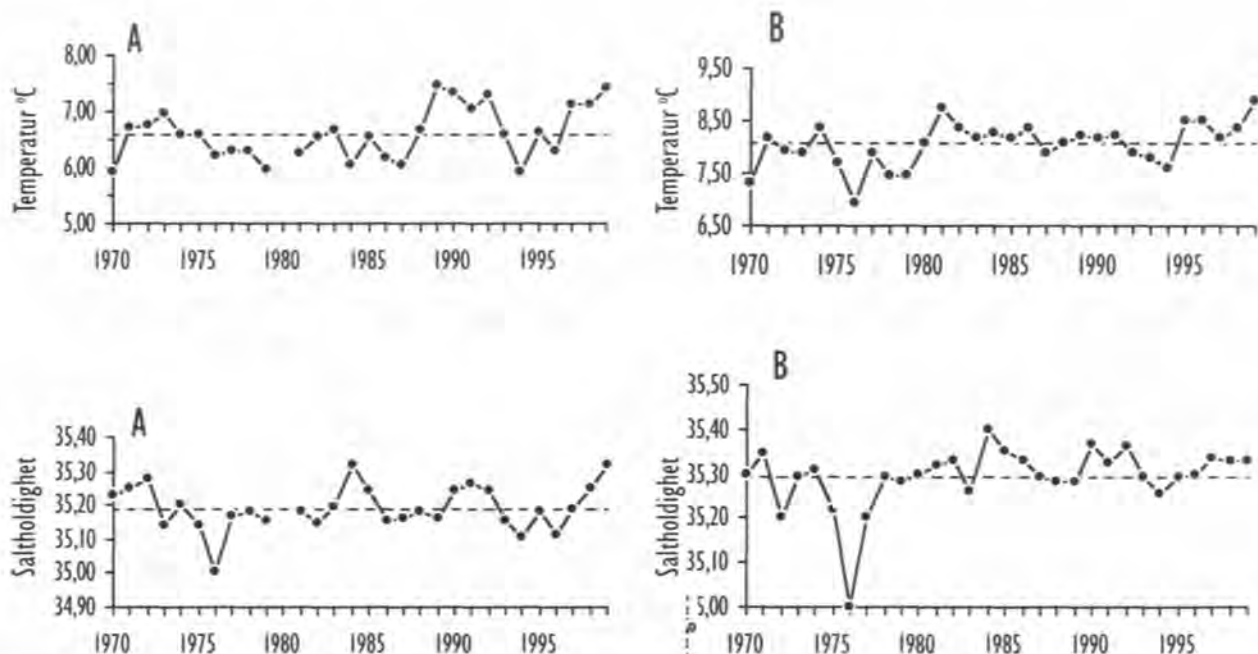
Midlere modellerte strømvektorer for 1999 i 10 m dyp, og differansen mellom strømfarten i 1999 og farten midlet for de siste 45 år (se fargekode).

Modelled mean current vectors for 1999 at 10 m depth, and the difference between the speed in 1999 and the speed averaged for the last 45 years (see color code).

Vannmassene i Nordsjøen strømmer hovedsakelig mot klokken (figur 3.1), og nesten alt vannet må innom Skagerrak før det forlater området nordover via den norske kyststrømmen. Dette bildet er hva vi kan kalle en klimatisk middelsituasjon. Variasjoner i dette bildet fra et år til et annet, det vi kaller havklimavariasjoner, har stor innflytelse på hele det økologiske systemet i Nordsjøen. De viktigste årsakene til klimavariasjonene er endringer i innstrømning

av atlantisk vann, vindforhold, varmeutveksling med atmosfæren og ferskvanntilførselen.

Havsirkulasjon beregnet med en numerisk havmodell viste at strømforholdene var tilnærmet normale i 1999, med noe sterkere strømforhold enn normalt i Skagerrak og langs norskekysten (figur 3.2). Temperaturen i vannmassene over store deler av Nordsjøen var forholdsvis høye gjennom hele 1999, i overflaten varierende



Figur 3.3 Temperatur og saltholdighet nær bunn i nordvestlige del av Nordsjøen (posisjon A), og i kjernen av atlantisk vann i vestskråningen av Norskerenna (posisjon B) om sommeren i årene 1970 - 1999. For lokalisering av posisjonene A og B, se figur 3.1.
Temperature and salinity near bottom in the northwestern part of the North Sea (A), and in the core of Atlantic Water (B) at the western shelf edge of the Norwegian Trench during summers of 1970 - 1999. Location of A and B in figure 3.1.

mellom en halv og to grader varmere enn normalt. Sjøtemperaturene i øvre lag i september og oktober var spesielt høye (2°C over normalen), som et resultat av det varmeste høstværet vi har hatt på hundre år.

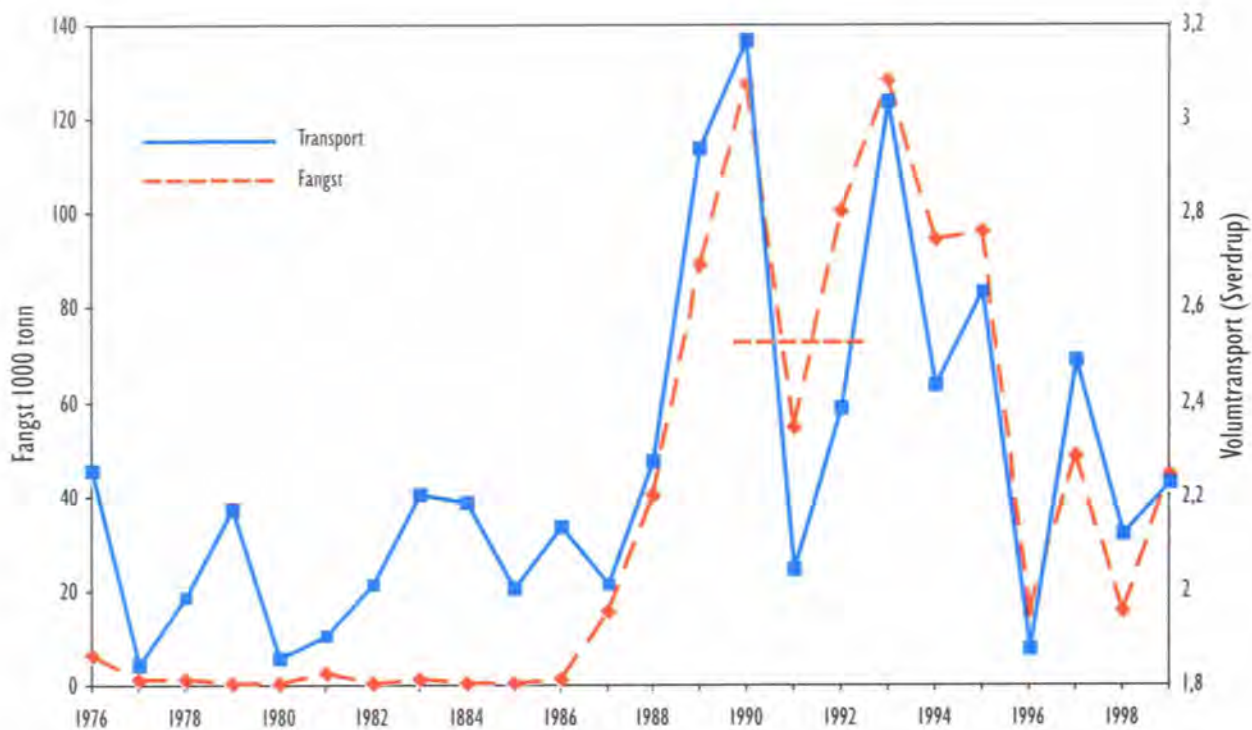
Figur 3.3 A viser tidsserier av sommermålinger av saltholdighet og temperatur i dypere lag av nordlige Nordsjøen (posisjon A - se figur 3.1). Målingene er antatt å representere årets "vintervann" i den vestlige grenen av innstrømmende Atlanterhavsvann, som i løpet av vinteren er innblandet med litt ferskere overflatevann på 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 - se figur 3.1). Temperatur og saltholdighet er i middel normalt henholdsvis 1-2 °C og ca 0.1 lavere over Nordsjøplataet enn i innstrømmende atlantisk vann i Norskerenna.

I perioden 1988 til 1992 hadde de dypere lag av nordlige Nordsjøen et uvanlig mildt klima, Vintrene 1989 og 1990 var trolig de varmeste i

de siste 130 år, mens 1942 og 1977-79 var de kaldeste (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 både en noe redusert innstrømning av atlantisk vann høsten 1993 og økt lokal avkjøling. Fra 1995 snudde den synkende tendensen i temperatur og saltholdighet i samsvar med økt innstrømning av atlantisk vann. Etter en forbigående nedgang i 1996 har det 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 observerte siden 1970.

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 var de høyeste siden 1970.

Beregnet innstrømning av atlantisk vann til Nordsjøen om vinteren (første kvartal) har vist seg å ha stor sammenheng med fangst av hestemakrell den etterfølgende høst i Nordsjøen.



Figur 3.4 Tidsserier for perioden 1976 - 1999 for modellert total vanntransport, midlet for første kvartal, sørover i Nordsjøen gjennom et snitt fra Utsira til Orkenøyene. Fangst av taggmakrell etterfølgende høst i Nordsjøen.
Modelled transport of Atlantic water into the North Sea between Utsira and Orkney Islands and capture of Horse mackerel.

Normal eller svak vinterinnstrømning av atlantisk vann førte til dårlig fiske i perioden fra 1976 til 1987 og i de to årene 1991 og 1996. Øvrige år med relativt sterk innstrømning av atlantisk vann samsvarte med godt fiske av hestemakrell. I 1999 var prognosen gitt til rundt 30.000 tonn, mens den rapporterte fangsten ble 44.000 tonn. Dette var noe høyere fangster enn beregnet, og årsaken kan bl.a. være knyttet til de relativt høye sjøtemperaturene høsten 1999. Dette må ansees som en meget god halvårsprognose for den vestlige hestemakrellens fangstbarhet i Nordsjøen. Imidlertid må vi regne med at sammenhengen mellom innstrømning av atlantisk vann og fangstbarhet av hestemakrell vil bryte sammen dersom bestanden av eldre fisk (> 5 år) kommer under et visst nivå. En ny prognose for fangst av hestemakrell blir utarbeidet våren 2000.

Beregnet innstrømning av atlantisk vann til nordlige og sentrale Nordsjøen var tilnærmet normal i 1999 og varierte omkring 1.7 Sverdrup

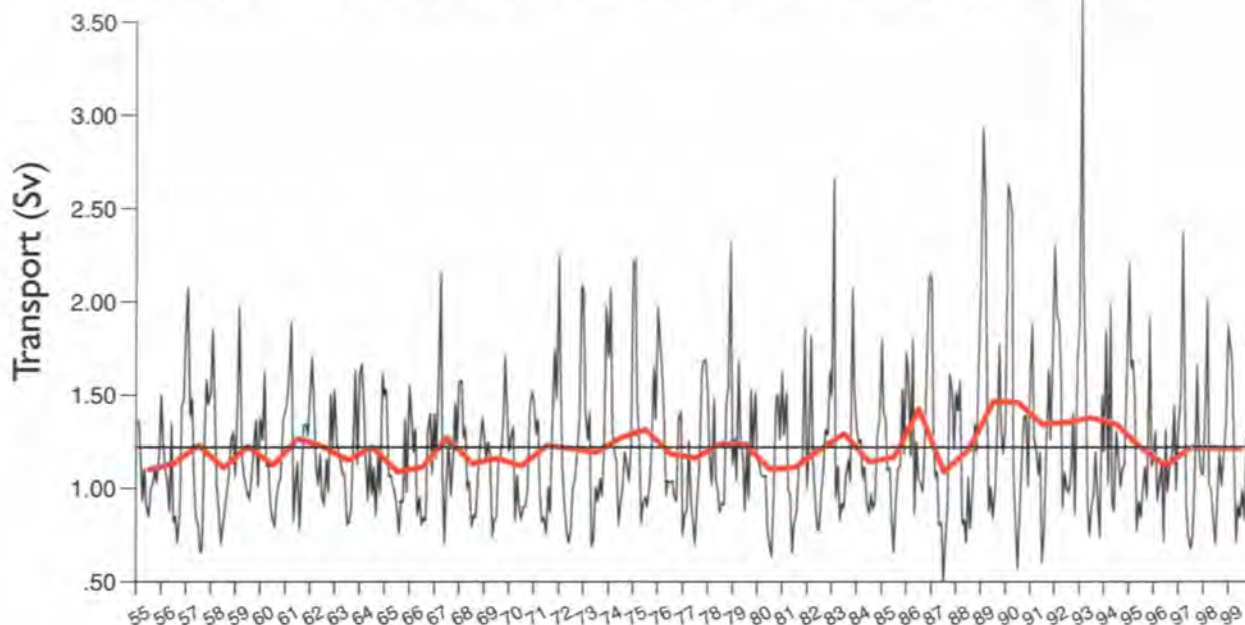
(Sv) om vinteren og høsten og 0.8 Sv om våren og sommeren (figur 3.5). Figuren viser også at de ekstra høye temperaturene over Nordsjøplatået på slutten av 1980-tallet og første del av 1990-årene var knyttet til unormalt stor innstrømning av atlantisk vann til Nordsjøen. Da innstrømmingene til Nordsjøen de siste årene har vært tilnærmet normal, må temperaturøkningen i større grad være knyttet til økt temperatur i innstrømmende vann fra Norskehavet. Tilførselene av atlantisk vann gjennom Den engelske kanal til Nordsjøen lå noe over det normale, med største innstrømning i desember 1999 på nær 0.2 Sv.

Skagerrak og vestkysten av Danmark

Vannmassene i Skagerrak består av tre hovedvannmasser:

- Skagerrak-kystvann som har saltholdigheter mellom 25.0 og 32.0 og temperaturer mellom 0 °C og 20 °C.

Innstrømming til Nordsjøen gjennom snittet Orkenøyene-Utsira



Figur 3.5 Tidsserier (1955 - 1999) av modellert årsmidlet (tykk strek) og månedsmidlet transport av atlantisk vann til den nordlige/ sentrale Nordsjøen sørover mellom Orkenøyene og Utsira. 1 Sv = 1 mill m³ per sekund.
Time series (1955 - 1999) of modelled annual mean (bold) and monthly mean volume transport of Atlantic water into the northern/central North Sea southward between the Orkney Islands and Utsira Norway. (Thin line shows monthly means while bold line, 1 Sv = 10⁶ m³ s⁻¹).

- Skagerrakvann med saltholdighet mellom 32.0 og 35.0 og temperaturer vanligvis mellom 3 °C og 16 °C.
- Atlantisk vann med saltholdighet over 35.0 og temperaturer mellom 5.5 °C og 7.5 °C.

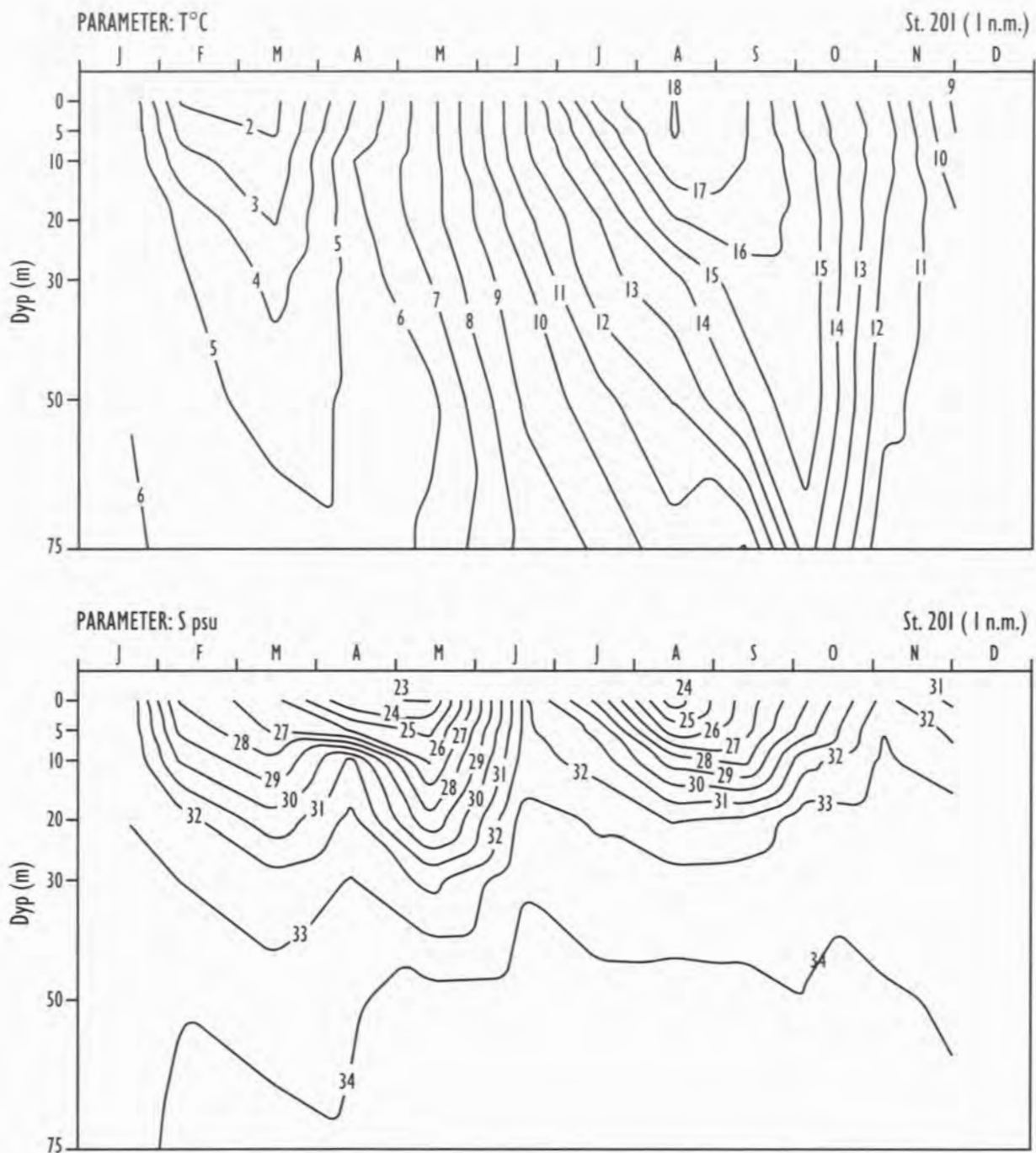
I tillegg er vann med saltholdighet mindre enn 25.0 definert som brakkvann med opprinnelse i lokal avrenning og innstrømming fra Kattegat-Østersjøen.

Skagerrak-kystvann er hovedsakelig en blanding mellom vann fra Kattegat/Østersjøen, lokalt ellevann og vann fra sørlige og tildels den sentrale Nordsjøen. Skagerrakvann har et større innslag av innstrømmende vannmasser fra sentrale Nordsjøen. Atlantisk vann tilføres Skagerrak fra Norskehavet via den nordlige Nordsjøen, der det lagrer seg inn under det lettere Skagerrakvannet (figur 3.1).

Gjennom året varierte tykkelsen av Skagerrak-kystvann utenfor Sørlandskysten mellom 20 til

25 meter, men var fraværende i januar, juni og november (figur 3.6). I april/mai og august var det brakkvann i de øverste 5 meter knyttet til stor vannføring i norske elver og innstrømming av brakkvann fra Kattegat-Østersjøen. Nedre grense for Skagerrakvann og øvre grense for atlantisk vann lå hele året dypere enn ca 75 meter. Den unormalt varme ettersommeren og høsten 1999 førte til høye sjøtemperaturer i Skagerrak, med temperaturer på 16 °C ned til ca 25 meters dyp i september og 15 °C helt ned til ca 65 meters dyp i månedsskiftet september/oktober. Langtidsmiddelet i september/oktober i 60 meters dyp var til sammenligning 10.7 °C.

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

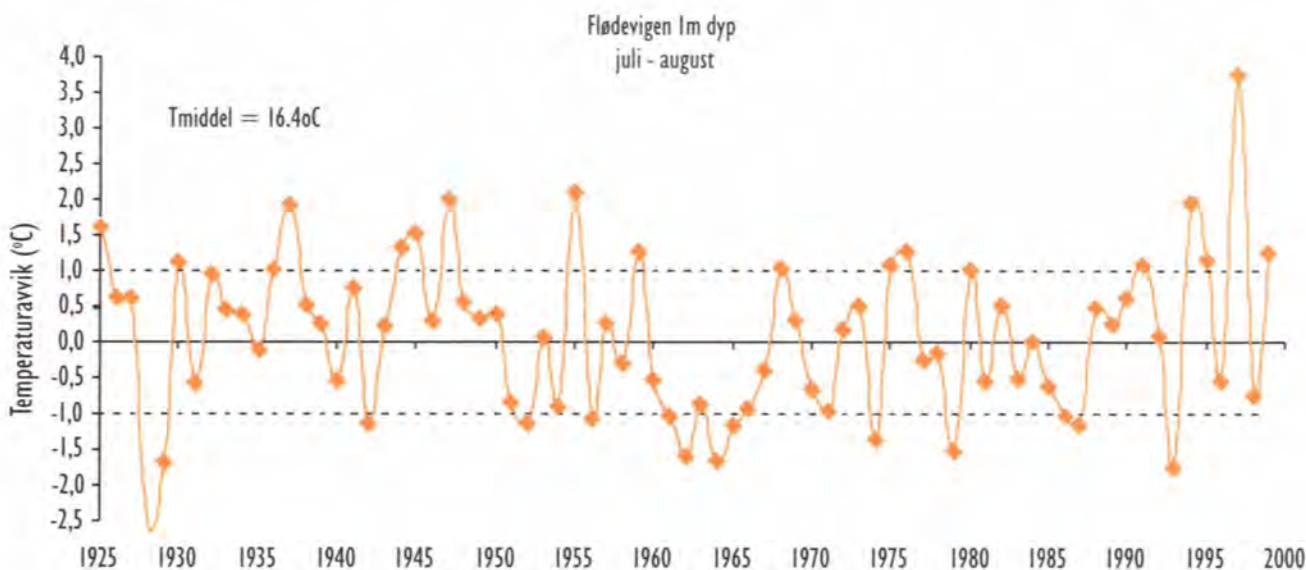
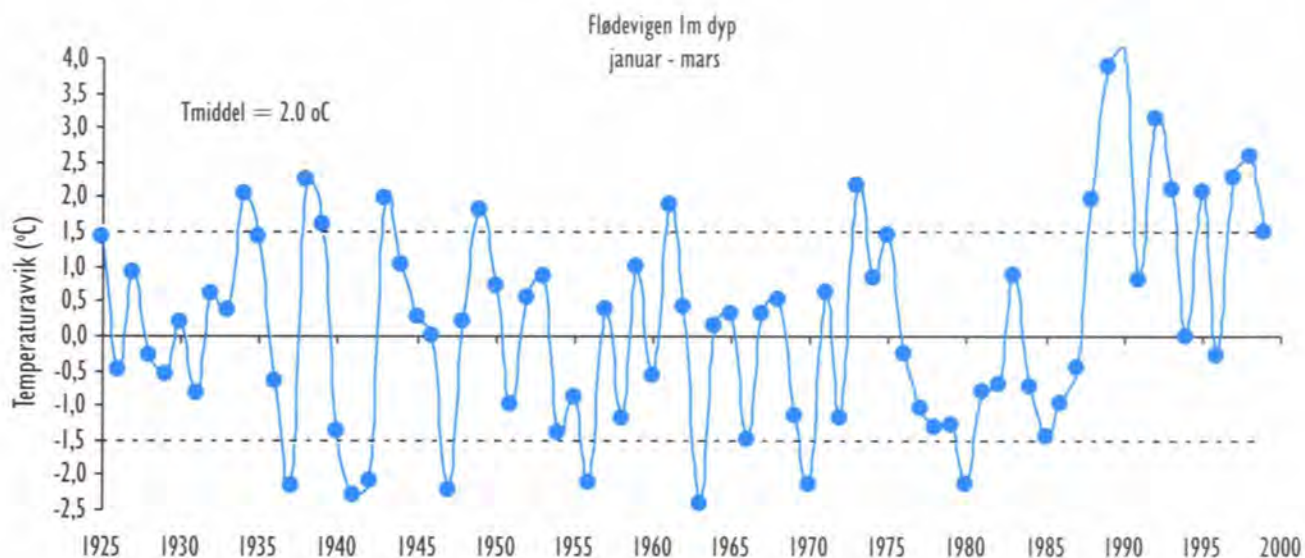


Figur 3.6 Temperatur (T) og saltholdighet (S) i 1999 i de øverste 75 meter, ca 1 n.m. utenfor Torungen fyr ved Arendal.
Temperature and salinity in 1999 in the upper 75 meters at station 1 n.m. outside Torungen lighthouse near Arendal.

Figur 3.7 viser at det etter 1988 har vært en rekke varme vintre i Skagerrak, med et ekstremt maksimum i 1990, hvor vintertemperaturen (januar - mars) lå 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 1999 igjen vært varmt

i Skagerrak med temperaturer fra 1.5 til 2.5 °C over normalen. Vi må tilbake til 1985 sist det var en kald vinter i Skagerrak.

Temperaturene i 1 meters dyp i 1999 lå tildels betydelig over det normale, bortsett fra i en periode i første del av januar og i mai-juni hvor det var tilnærmet normale temperaturforhold



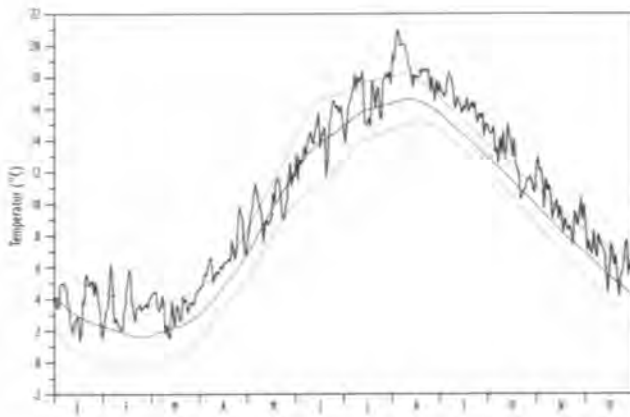
Figur 3.7 Avvik fra midlere vintertemperatur (februar-mars) og sommertemperatur (juni-august) i en meters dyp ved HI Forskningsstasjonen Flødevigen, Arendal 1925 - 1999.
Winter and summer temperature anomalies in the surface layer at the Flødevigen Marine Research Station from 1925 - 1999.

(figur 3.8). Fra august til midten av oktober var det meget høye overflatetemperaturer langs Skagerrakkysten knyttet til det varme været ettersommeren og høsten 1999 (se også figur 3.6).

Vannmassene i de dypere lag langs Skagerrakkysten (150 meter) var preget av innstrømmende atlantisk vann i perioden fra mai til og med oktober 1999, med temperaturer ca ett standardavvik over normalen for årstiden (figur 3.9). I motsetning til i 1998 resulterte ikke innstrømmingen av atlantisk vann i noen særlig grad i

utskiftning av fjordbassengene langs Skagerrakkysten. Senere på høsten ble atlantisk vann fortrent av betydelig varmere og mindre salte vannmasser som strømmet inn fra Nordsjøen.

Figur 3.10 viser tidsserier av temperatur, salt- holdighet, tetthet og oksygen i 600 meters dyp i Skagerrakkysten utenfor Sørlandskysten (posisjon C - figur 3.1). De senere års observasjoner viser at det fant sted en storstilt utskiftning av vannmassene i Skagerrakkysten i 1991. Dette inntraff etter en uvanlig lang stagnasjonsperiode, med de laveste oksygenkonsentra-

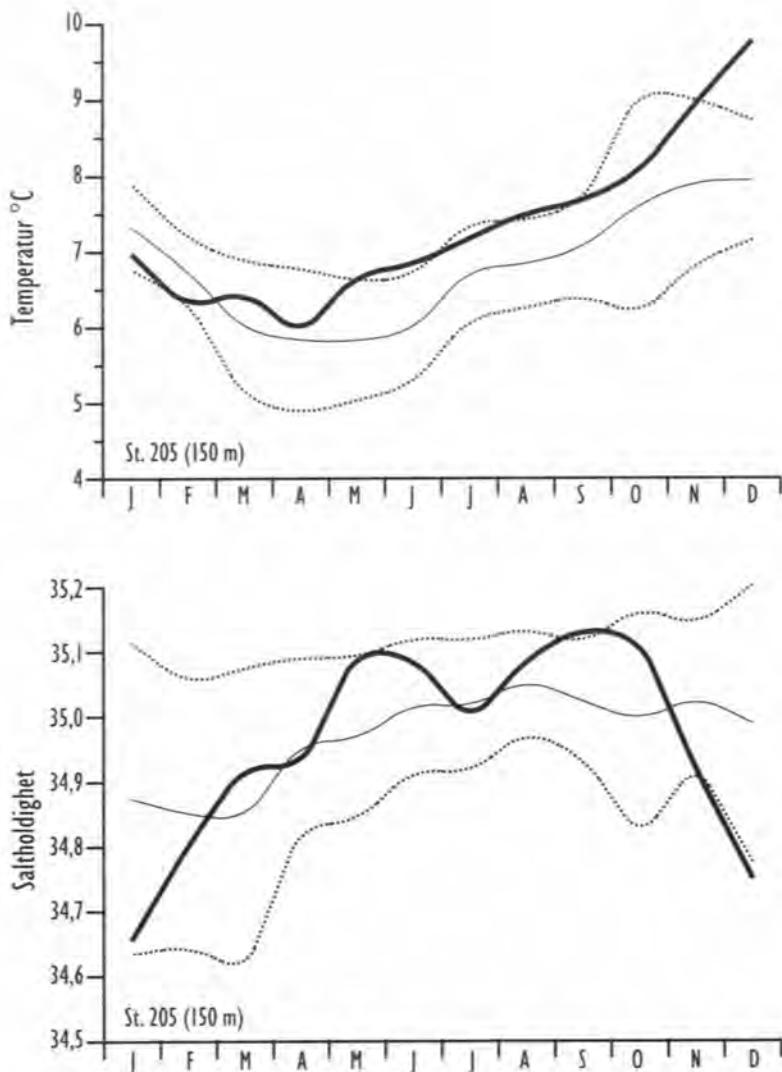


Figur 3.8

Daglige temperaturobservasjoner på i 1999 ved Forskningsstasjonen Flødevigen. Den tykke linjen viser glattet middeltemperatur i en meters dyp, sammen med standardavviket for 30-årsperioden 1961 - 1990 samme sted. *Daily temperature observations in 1999 at the Flødevigen Marine Research Station. The bold curve shows the smoothed mean temperature at 1 meters depth together with the standard deviation for the 30-year period 1961-1990.*

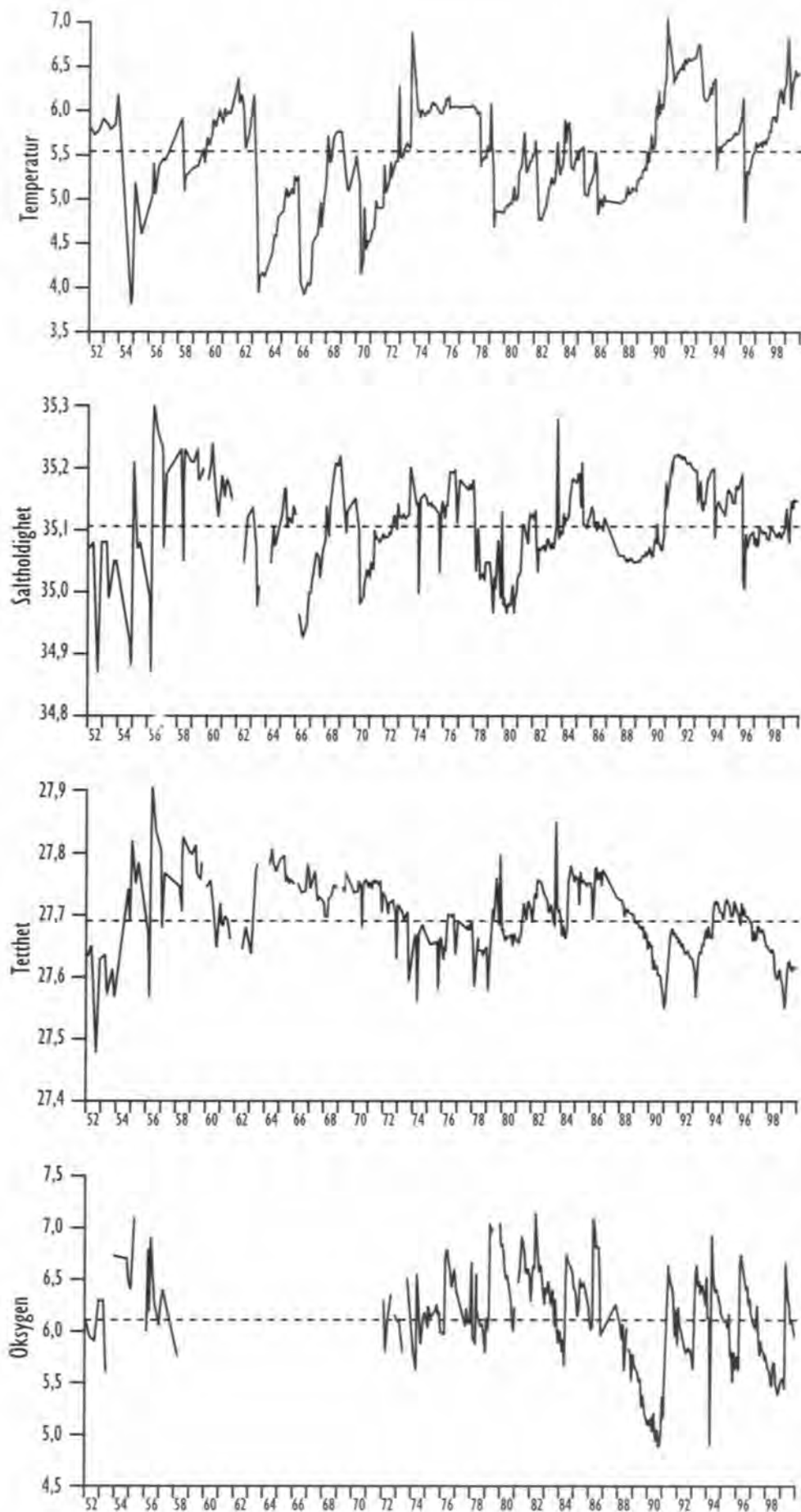
sjonene i Skagerrakbassenget som noen gang er observert (ca 4.8 ml/l). Temperaturene i 1990/91, like før innstrømningen, var de høyeste siden målingene startet i 1947. De unormalt høye temperaturene i Skagerrakbassenget holdt seg fram til ca 1994, da innstrømning av kjøligere vann fra Nordsjøplatået medførte et markert

temperatur-fall. Etter en ny innstrømning av relativt kaldt og oksygenrikt vann fra Nordsjøplatået vinteren 1996, økte temperaturen gradvis igjen til ca. 1,4 °C over normalen. Den tilsvarende reduserte tetthet la forholdene tilrette for en utskiftning av bassengvannet i Skagerrak. Utskiftningen med noe kaldere og oksygenrikt



Figur 3.9

Saltholdighet og temperatur i 150 meters dyp ca 10 km utenfor Torungen fyr ved Arendal i 1999, basert på målinger ca en gang per måned (tynn heltrukken linje). Langtidsmiddel (tykk heltrukken linje) og standardavvik (stiplet linje) 1961-1990. *Salinity and temperature at 150 m depth 10 km off Torungen light-house close to Arendal in 1999 based on monthly observations (thin solid line). Long term mean (thick solid line) and st.dev. (dotted line) 1961-1990.*

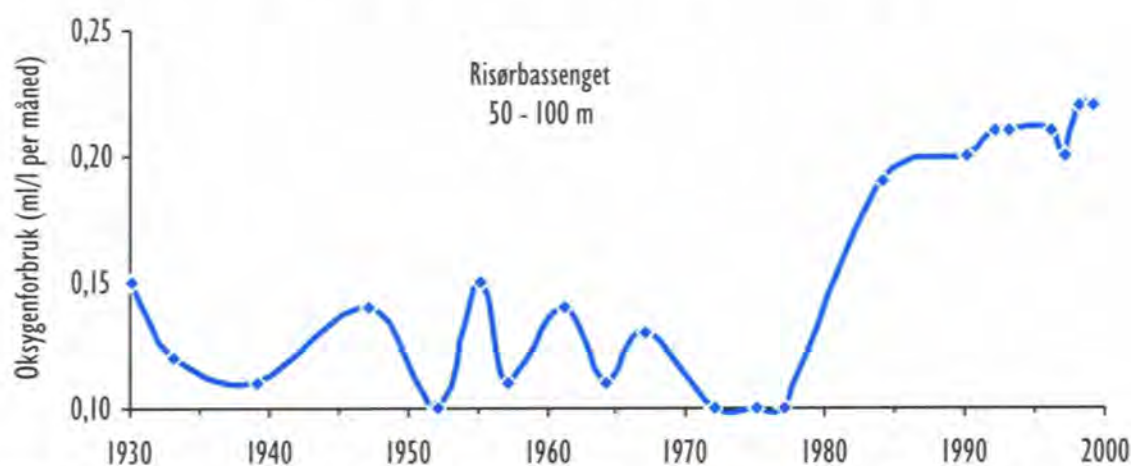


Figur 3.10
 Variasjoner i temperatur, salt- holdighet, tetthet og oksygen i 600 meters dyp i Skagerrakbassenget for årene 1947 - 1999. (Posisjon 58°08'N, 09°11'Ø).
Variations in temperature, salinity and oxygen of the bottom water (600 m depth) in Skagerrak for the years 1947-1999.

vann fra Nordsjøen kom (som varslet) tidlig på våren 1999. I 1999 var det fortsatt relativt lav tetthet, slik at det fortsatt er stor sannsynlighet for nye innstrømninger til Skagerrakbassenget.

Risørbassenget, med terskeldyp på ca 30 meter, er benyttet som referansebasseng for overvåking av den organiske belastning fra kystvannet i terskelbasseng i indre Skagerrak. Figur 3.11 viser at oksygenforbruket (og den organiske belastning) i Risørbassenget i 1999 fortsatt lå ca

50 % over midlere oksygenforbruk før 1980. Det økte oksygenforbruk i Risørbassenget og andre terskelbasseng i Skagerrak er i hovedsak knyttet til økte tilførsler av menneskeskapt næringsmateriale og organisk materiale fra sørlige Nordsjøen og Kattegat/ Østersjøen. Vi vet at den økte organiske belastning har forverret oksygenforholdene i en rekke terskelbasseng langs Sørlandskysten, men vi har fortsatt begrensede kunnskaper om effektene på det marinbiologiske liv i terskelbassengene.



Figur 3.11 Oksygenforbruk i 50 - 100 meters dyp i Risørbassenget fra 1930 til 1999.
Oxygen consumption at 50 - 100 m depth in the Risør basin from 1930 to 1999.

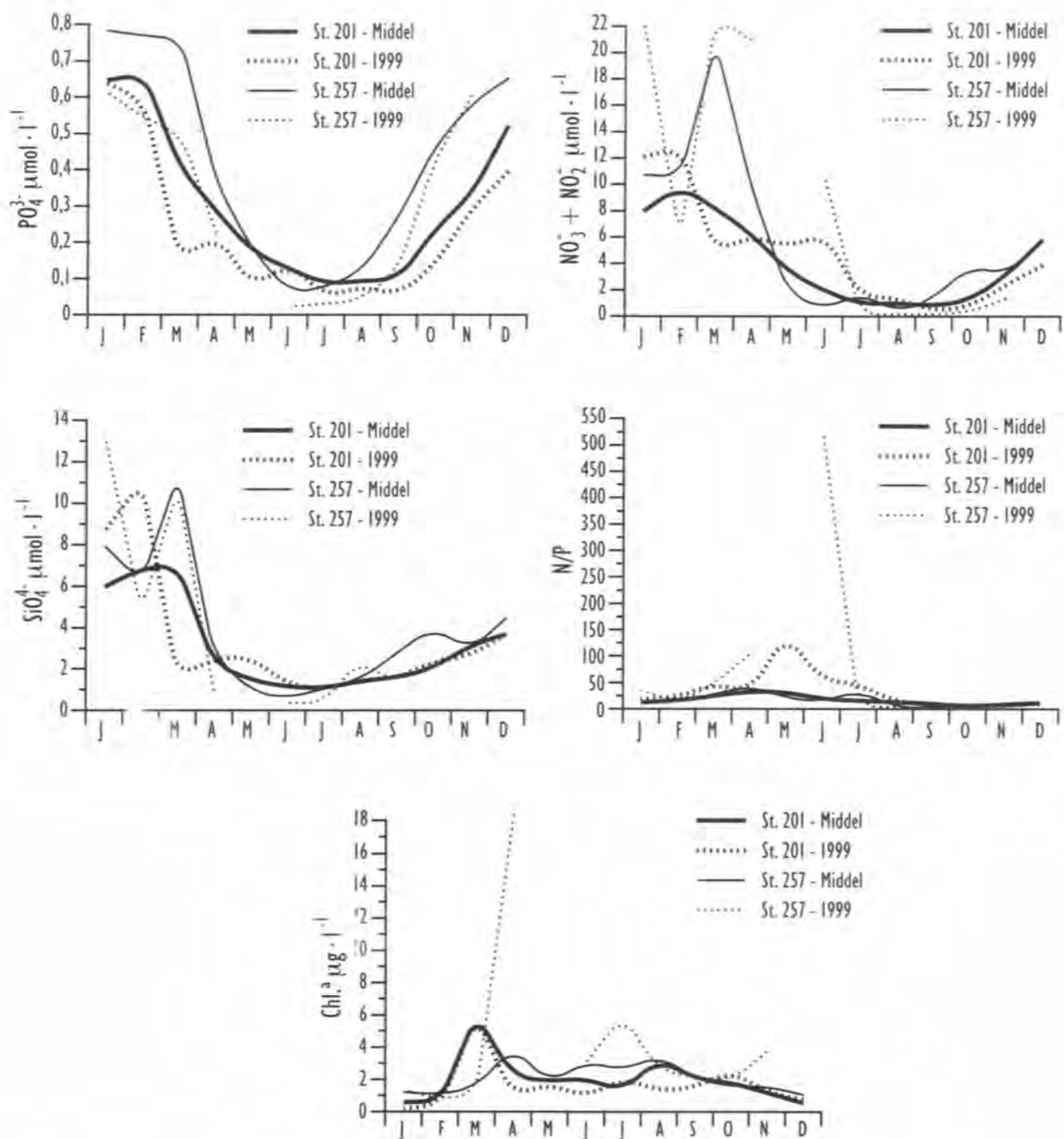
3.2 Plankton og næringsalter

Skagerrak og vestkysten av Danmark

Etter syttiårene har det vært en betydelig økning i tilførslene av menneskeskapt næringsmateriale, 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, og mer viktig, det vaskes også mye næringsmateriale ut fra jordsmonn. Det meste kommer via store elver som Elbe. I milde vintre med mye nedbør er i tillegg den dominerende vindretningen ofte sørlig, og da føres vannmasser fra sørlige

Nordsjøen hurtigere og mer direkte inn i Skagerrak.

Første halvår 1999 ble det registrert meget høye nitrogenkonsentrasjoner og N/P-forhold langs den danske Skagerrakkysten ved Hirtshals. I det innstrømmende næringsrike vannet fra den danske vestkysten var det også uvanlig høye klorofyll-*a* verdier i april. Vi mangler data fra mai og juni ved Hirtshals da vi ble nektet adgang til indre danske farvann på grunn av nye regler.



Figur 3.12

Månedsmidler for de øvre 30 meter utenfor Torungen fyr ved Arendal (st. 201) og de øvre 25 meter (st. 257) utenfor Hirtshals i 1999 for fosfat, nitrat+nitritt, silikat, forholdet mellom nitrat+nitritt og fosfat (N/P) og klorofyll-a (stiplede linjer). De heltrukne linjene viser langtidsmiddelet for perioden 1980 - 1995 på st. 201; unntatt for silikat, hvor langtidsmiddelet er for perioden 1988 - 1995, og på st. 257 hvor langtidsmiddelet er for perioden 1988 - 1995 for alle parametre.

Monthly means in the upper 30 m outside Torungen lighthouse near Arendal (st. 201) and the upper 25 m at st. 257 outside Hirtshals in 1999 for phosphate, nitrate+nitrite, silicate, N:P ration and chlorophyll-a (dotted lines). The solid lines show the long term mean for the period 1980 - 1995 at st. 201 except for silicate where the mean is for the period 1988-1995, and at s. 257 where the long term mean is for the period 1988 - 1995 for all parameters.

I likhet med forrige år var det også unormale næringsstoffforhold med høyt N/P-forhold utenfor norskekysten i mai måned (figur 3.12).

Under toktet i april 1999 ble det observert meget høye nitratkonsentrasjoner og N/P-forhold utenfor hele den danske vest- og nordkysten (figur 3.13 a og b). I løpet av de siste 11 årene ble det bare observert høyere nitratkonsentrasjoner i 1994, med storflom i elvene som munner ut i sørlige Nordsjøen. Nitratkonsentrasjonene og N/P-forholdene i 1999 var også betydelig høyere enn i 1998, da vi fikk en oppblomstring av den skadelige flagellaten *Chattonella* aff. *verruculosa*. Det ble også registrert nitratrike vannmasser under det ferske overflatelaget både langs den svenske vestkysten og utenfor norskekysten.

Dette viser igjen at de årvisse unormale næringsstoffforholdene langs den danske vestkysten og i Skagerrak fører til økt algeproduksjon, men ikke nødvendigvis en skadelig algeart. Risikoen for blomstring av skadelige alger er imidlertid større i vannmasser med den næringsstoffsammensetning som observeres i dette området om våren.

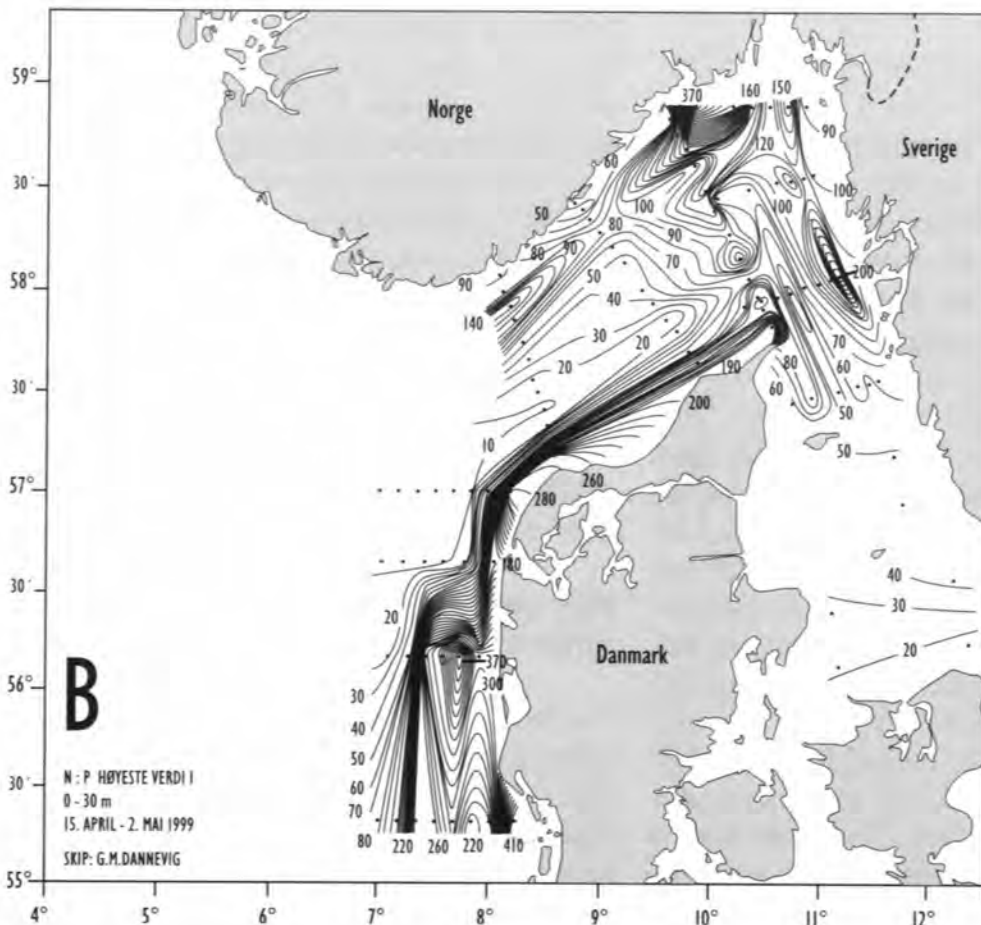
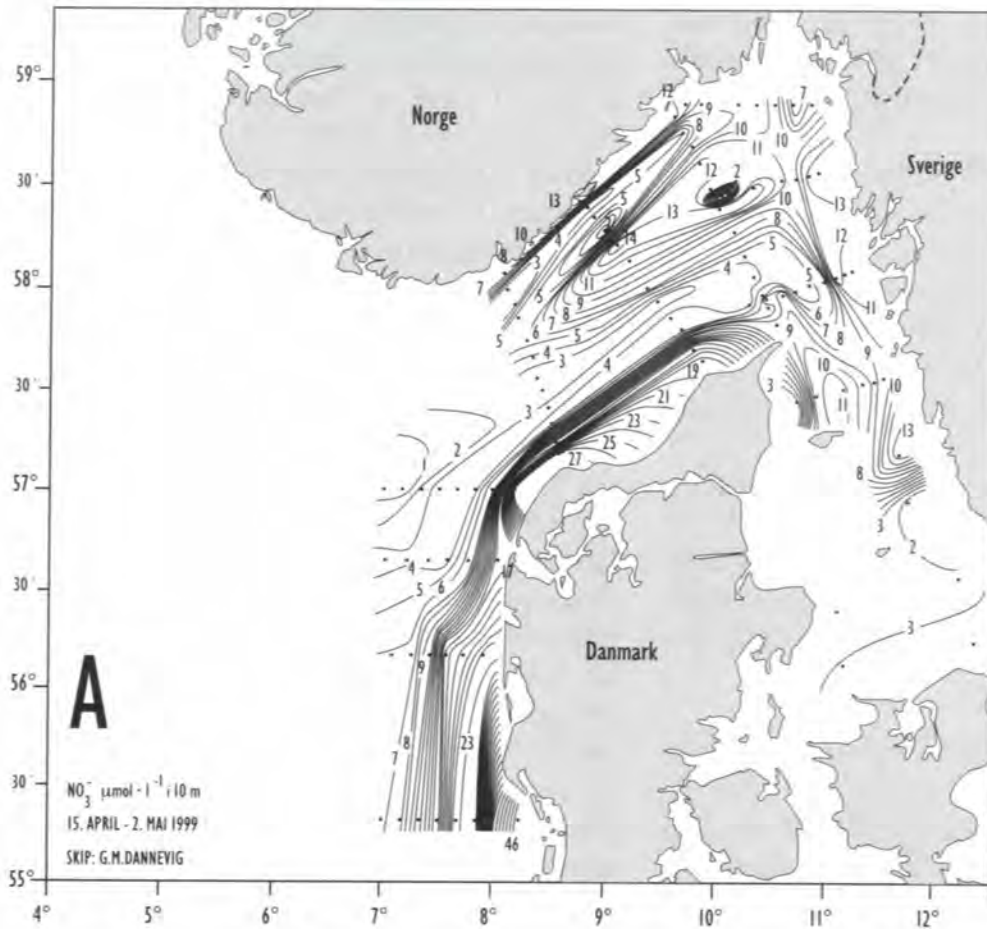
I 1999 foregikk våroppblomstringen av kiselalger langs svenske- og norskekysten av Skagerrak, fra slutten av februar til et par uker inn i april, som er innenfor en helt normal blomstringsperiode. Algebiomassen, i form av klorofyll, kom opp i drøye 10 µg/l og var periodevis vesentlig høyere enn det normale for årstiden (figur 3.14). Vanlige kiselalger, som *Chaetoceros socialis*, *Skeletonema costatum* og *Thalassiosira nordenskioeldii*, var mest fremtredende. Etter våroppblomstringen var det som vanlig lite alger gjennom april, men likevel forholdsvis mye av små flagellater i siste halvdel av april. I en blomstringsperiode i første halvdel av juni var det igjen en del kiselalger, *Chaetoceros curvisetus* og *Skeletonema costatum*, men fortsatt også nokså mange små flagellater. Gjennom juni, juli og august var det gjennomgående litt mer algebiomasse, i form av klorofyll, enn vanlig. Algesammensetningen varierte uten at noen arter dominerte. Kalkflagellaten, *Emiliania huxleyi* blomstret i en periode som den pleier, særlig vest i Skagerrak, men forekom likevel i noe mindre

mengder enn normalt. Morildalgen, *Noctiluca*, var nokså tallrik en periode, men det er ikke uvanlig. I løpet av september ble kiselalgen *Pseudo-nitzschia* tallrik øst i Skagerrak og innover i Oslofjorden. Den holdt seg til langt ut i oktober. I siste halvdel av september var det mer klorofyll enn vanlig i Flødevigen (figur 3.14) med to store klorofylltopper på ca 20 µg/l i slutten av september og begynnelsen av oktober. Dette skyldtes store forekomster av en naken dinoflagellat, *Gymnodinium chlorophorum*, med opptil ca. 5 millioner celler/l. Dette gav grønnlig sjø. Så sent som 6. desember dukket den på ny opp i store mengder i Flødevigen. I løpet av høsten gav den grønnlig sjø flere steder i Skagerrak. I sum spilte den en svært fremtredende rolle i Skagerrak gjennom høsten 1999. Vi har ikke registrert denne algen tidligere i slike mengder. At den var såpass tallrik gjennom hele høsten indikerer at den er konkurransedyktig og neppe særlig populær mat for dyreplankton. Innenfor algeslekten *Gymnodinium* finnes flere representanter som kan opptre som skadelige alger, men vi kjenner ikke til at *Gymnodinium chlorophorum* skapte problemer høsten 99.

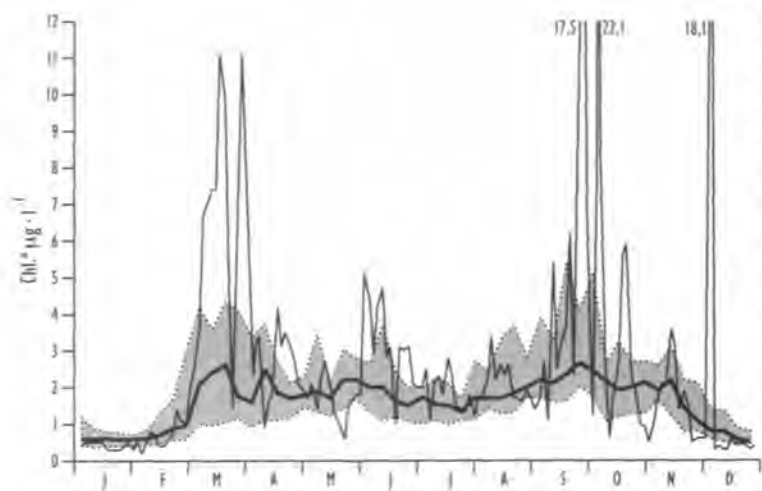
Fjorder og skjærgårdsområder langs kysten av Skagerrak, som står i begrenset sirkulasjonsmessig kontakt med Kyststrømmen, kan lokalt og i perioder få en mer særpreget planktonflora. To områder, indre Oslofjord og Hvalerområdet, er med i overvåknings-programmet. I indre Oslofjord var det i siste halvdel av 1999, helt til ut i oktober, relativt mye av kiselalgen *Pseudo-nitzschia*. I Hvaler-området ble det, som vanlig, brunlig sjø på sensommeren på grunn av mye alger. Dinoflagellaten *Prorocentrum minimum* og representanter fra kiselalgeslektene *Chaetoceros* og *Cyclotella*, som blomstret nærmest årvisst i Hvalerområdet, var årsaken.

Alger langs resten av kysten, fra Rogaland og nordover

For denne delen av kysten startet den regelmessige overvåkingen med ukentlige prøver i midt i mars. Da var kiselalgene *Chaetoceros* og *Skeletonema costatum* tallrike fra Rogaland til og med Sogn- og Fjordane. I løpet av et par uker ble de også tallrike nordover til Helgelands-



Figur 3.13
 Horizontalfordeling
 nitrat i 10 meters
 dyp (A) og maksimale
 forholdstall
 mellom nitrat og
 fosfat (N/P) i
 øverste 30 meter
 (B) i Nordsjøen/
 Skagerrak i april
 1999.
*Horizontal distribution of nitrate
 in 10 m depth and
 maximum N:P
 ratios (upper 30
 meters)(B) in the
 North Sea and
 Skagerrak in
 April 1999.*



Figur 3.14

Klorofyll-*a* i Flødevigen, 0-3 meters dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 1999. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke, basert på alle data i perioden 1989 - 1998. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde).

Chlorophyll-a in the Flødevigen Bay, 0-3 meters depth. The thin curve is data from 1999. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989-1998. Dotted lines are first and third quartiles.

kysten. I Trøndelag var også geléalgen, *Phaeocystis*, tallrik i mars-april. I april avtok kiselalgenes våroppblomstring langs kystens ytre deler, men kiselalger fortsatte å prege flere av fjordene, for eksempel holdt *Skeletonema costatum* seg tallrik i Osterfjorden, Hjeltefjorden og Trondheimsfjorden også utover i mai og juni. I løpet av mai dukket som vanlig *Emiliania huxleyi* opp, og den gav grønnlig farve til sjøen mange steder gjennom

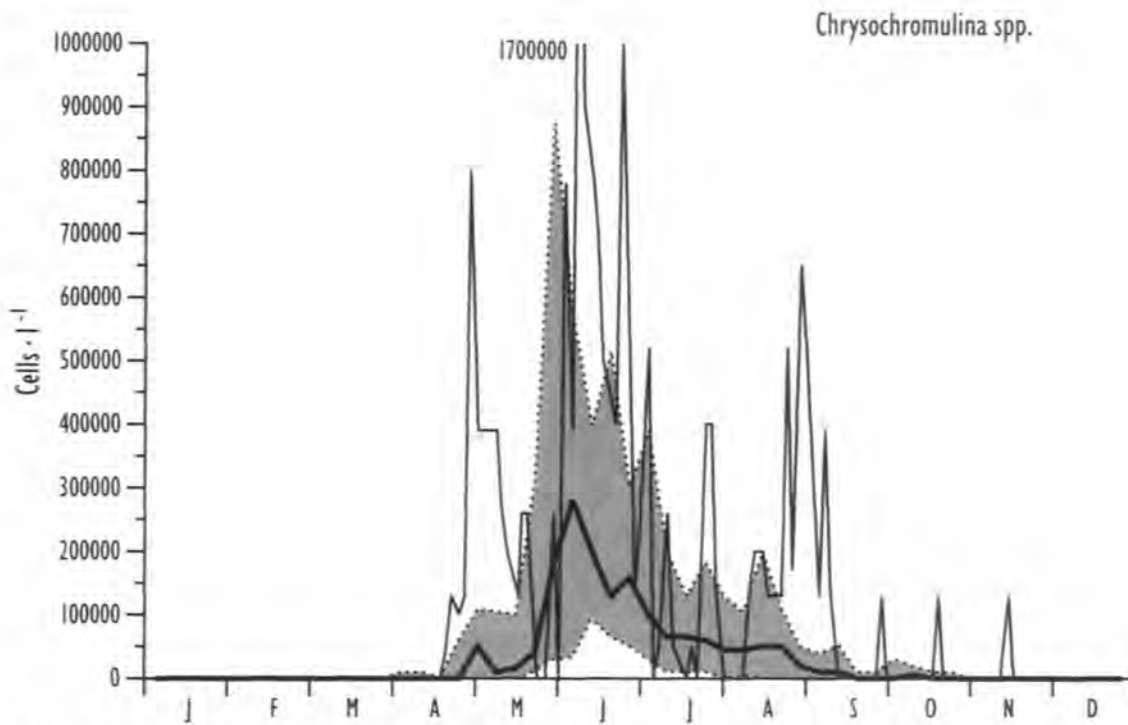
sommeren. På det meste ble det registrert ca 20 millioner celler/l. I løpet av juni ble den vanlig helt opp til Vestfjorden. Gjennom sommeren var det gjennomgående nokså mye alger langs kysten fra og med Rogaland til og med Nordland, men med store, lokale variasjoner. I august ble kiselalgen *Pseudo-nitzschia* vanlig og etterhvert særlig tallrik i Nordfjord og Sognefjorden. Fra midten av oktober avtok algebiomassen langs hele kysten.

3.3 Skadelige alger

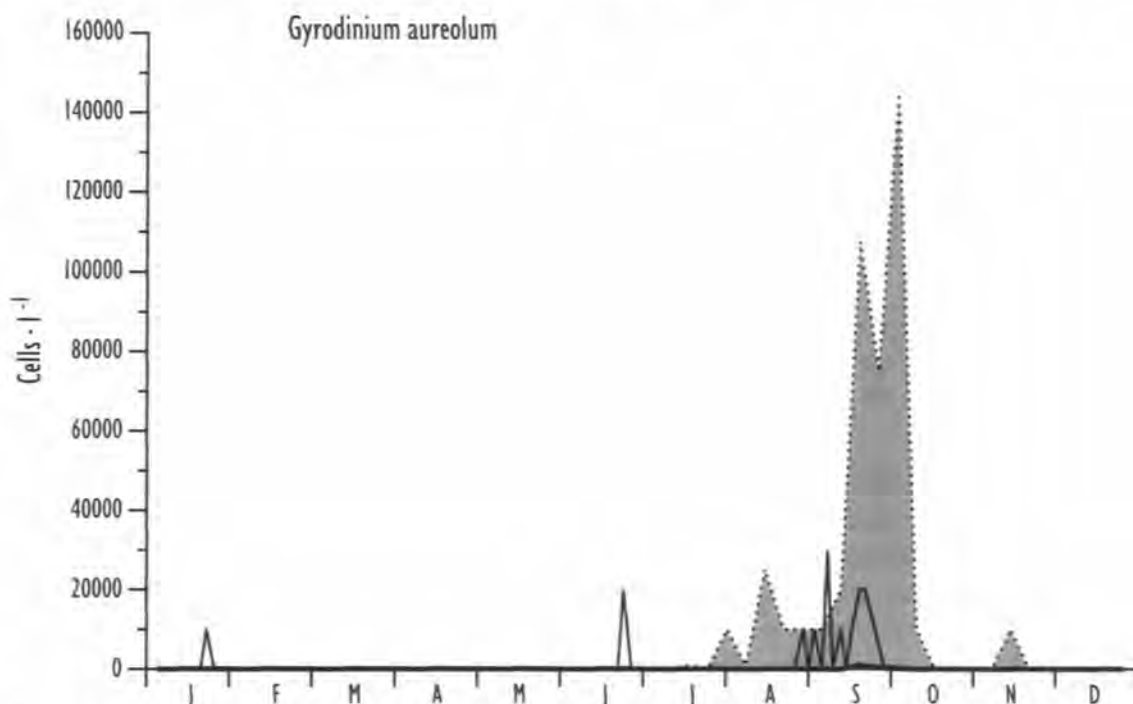
For å kunne varsle fiskeoppdrettere og skjelldyrkere om risiko for skadelige planteplanktonforekomster før problemer oppstår, har Havforskningsinstituttet siden 1981 overvåket *Gyrodinium aureolum*, som kan gi brun sjø og fiskedød, og siden 1984 slekten *Dinophysis*, som regnes som årsaken til problemene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

lammende (paralyserende) gifter, og deres forekomst brukes til å vurdere risiko for giftopp-hopning i skjell.

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



Figur 3.15 *Chrysochromulina* spp. i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 1999. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke, basert på alle data i perioden 1989-1998. 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 1999. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989 - 1998. Dotted lines are first and third quartiles.



Figur 3.16 *Gyrodinium aureolum* i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 1999. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke, basert på alle data i perioden 1989-98. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde). *Gyrodinium aureolum* in the Flødevigen Bay, 0-3 m depth. The thin curve is data from 1999. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989 - 1998. Dotted lines are first and third quartiles.

fleste større, skadelige algeoppblomstringer startet i Skagerrak, for så å bli spredd med kyststrømmen. En overvåkning i Skagerrak, hvor kyststrømmen starter, har derfor gitt et grunnlag for også å si noe om mulig opptreden av disse algene på Sørvest- og Vestlandet.

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

Etter oppblomstringen av *Chrysochromulina polylepis* i 1988 økte etter hvert den nasjonale innsatsen på algeovervåkning. I 1999 var foruten Havforskningsinstituttet også Fiskeridirektoratet Region Skagerrak, OCEANOR, NIVA, Veterinærhøgskolen, Næringsmiddelkontrollen i Midt-Rogaland og Statens næringsmiddeltilsyn (SNT) med i en landsdekkende algeovervåkning. Overvåkingen foregikk ukentlig på minst 27 stasjoner fra svenskegrensen til Finnmark, fra slutten av mars til ut i oktober. Resultatene ble ukentlig oppsummert i en «Algeinfo», som i regi av Havforskningsinstituttet legges ut på Internett med adresse: <http://algeinfo.imr.no/>.

Skadelige alger i Skagerrak

I 1999 var forekomsten av skadelige alger i Skagerrak nokså normal. *Chrysochromulina* spp. som kan ta livet av fisk og andre organismer, hadde som vanlig sin hovedsesong i mai-juni (figur 3.15). Den høyeste konsentrasjonen, som vi registrerte i Flødevigen var 1,7 millioner celler/l. Etter juni var det en ny topp i forekomst i august-september. *Gyrodinium* cf. *aureolum*, som av og til har gitt brun sjø og fiskedød på sensommeren og høsten, hadde en svært beskjeden forekomst i 1999 (figur 3.16). En nokså nær slektning, *Gymnodinium chlorophorum*, som vi ikke har registrert tidligere, var derimot svært tallrik og gav i perioder grønn sjø, men ingen negative effekter så langt vi kjenner til.

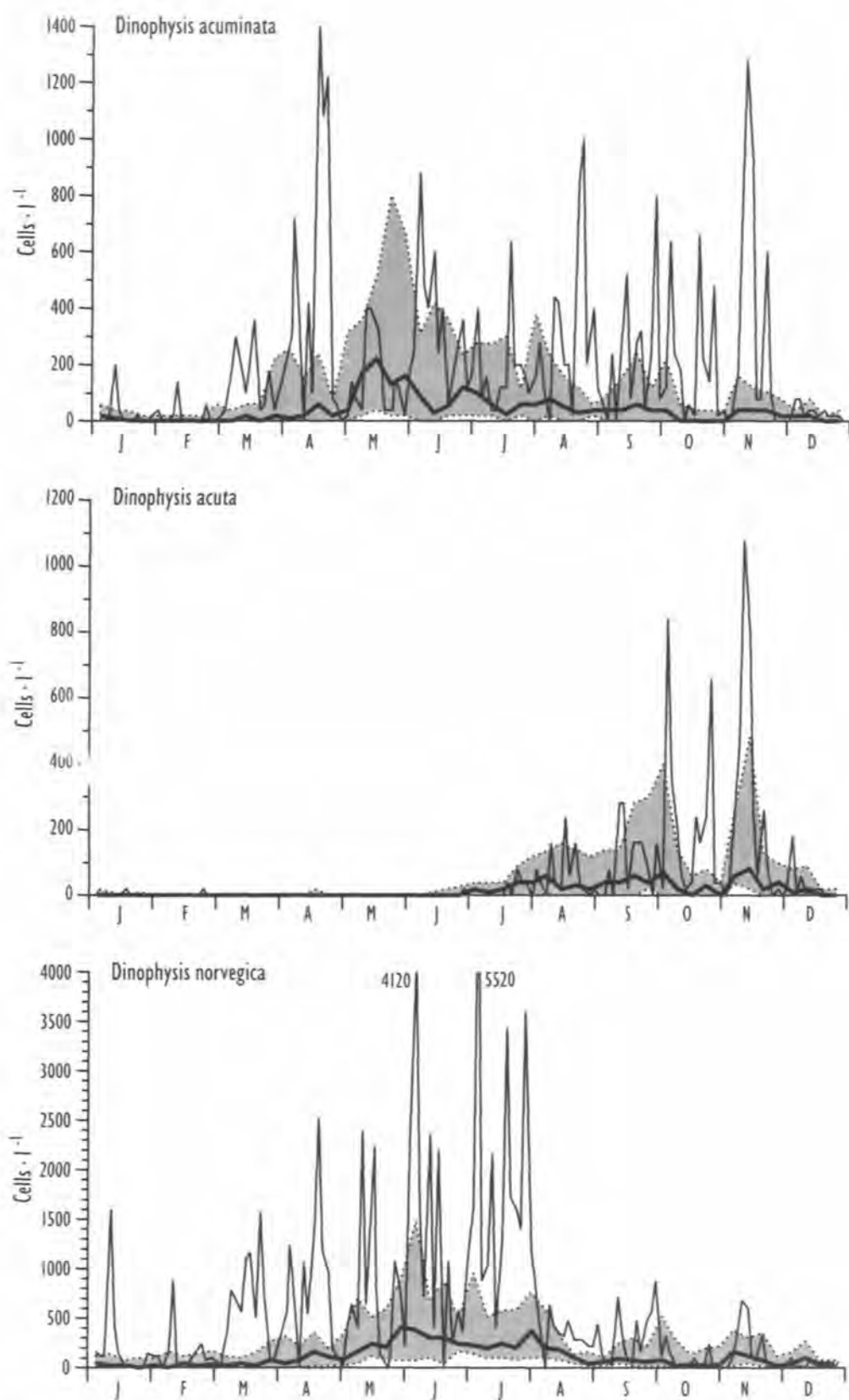
Bare alger som kan være giftige og føre til opphopning av algegifter i skjell, gav noen

problemer langs kysten av Skagerrak i 1999. Fra midt i mars til midt i april forekom en del *Alexandrium*, og det ble påvist litt lammende gift i blåskjell på strekningen fra Telemark til Vest-Agder. I slutten av september ble det påvist diarégivende gift i skjell fra Aust-Agder, og det holdt seg utover høsten. Det er representanter fra algeslekten *Dinophysis*, som kan inneholde diarégivende gifter, og deres forekomst var nokså normal i 1999 (fig. 3.17). Korrelasjonsanalyser mellom forekomst av *Dinophysis* spp. og diarégifter i skjell peker mot at *Dinophysis acuta* er mest potent. Den har sin hovedsesong om høsten, når diarégivende gift ofte opphopes i skjell på kysten av Skagerrak. Dens opptreden i 1999 fulgte dette mønsteret. Den høyeste konsentrasjonen vi registrerte var ca 1000 celler/liter i november 1999.

Skadelige alger langs resten av kysten

Langs kysten fra Rogaland og nordover, var det i første rekke andre institusjoner enn Havforskningsinstituttet som overvåket alger. I sum var forekomsten av skadelige alger i 1999 nokså normal, men med lokale forskjeller. Nord i Ryfylkefjordene, Hylsfjorden og Sandsfjorden, var den årlige forekomsten av *Prymnesium* beskjeden og skapte ikke problemer. Heller ingen andre alger gav betydelig dødelighet blant fisk i oppdrett.

Problemerkene med algegifter i skjell var heller ikke store på kysten sett under ett, men lokalt i Sognefjorden ble man frarådet å plukke ville skjell i hele overvåkningsperioden fra mars til oktober. I Rogaland og Hordaland ble det registrert noe *Alexandrium* fra mars til juli, men ikke påvist gift i skjell. Fra juli økte mengden av *Dinophysis*, men det ble kun et par påvisninger av diarégift i skjell i Rogaland og ingen i Hordaland. Det ble imidlertid ved noen anledninger påvist andre typer gift i skjell, muligens såkalt yessotoksin, men hva som er kildeorganismen til dette vet vi ikke. Allerede i mars var det litt paralytiske gifter i skjell fra Sognefjorden og Møre og Romsdal, og det holdt seg frem til mai-juni. I juni dukket det også opp noe diarégift i Sognefjorden, og fra juli muligens yessotoksin. I Trøndelag var det lite problemer



Figur 3.17 *Dinophysis acuminata*, *D. acuta* og *D. norvegica* i Flødevigen, 0-3 meters dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 1999. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke, basert på alle data i perioden 1989 - 1998. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde).
Dinophysis acuminata, *D. acuta* and *D. norvegica* in the Flødevigen bay, 0-3 meters depth. The thin curve is data from 1999. The bold curve is medians for every week based on all data for the period 1989 - 1998. Dotted lines are first and third quartiles.

med giftige alger, men noe forekomst av yessotoksin i august og oktober. I Nordland ble det i mai registrert litt paralytiske gifter i skjell, men giftinnholdet gikk tilbake i juni. I juni ble det derimot påvist paralytiske gifter i Finnmark, både i Kåfjord og ved Vadsø. Ved Vadsø holdt det seg helt til ut i september, mens det forsvant i løpet av juli fra Kåfjord. I Kåfjord ble det også påvist diarégift i skjell i slutten av august og i september etter at *Dinophysis* spp. hadde vært nokså tallrike der en tid. Dette var første registrering av diarégift i skjell fra Finnmark.

Maneter

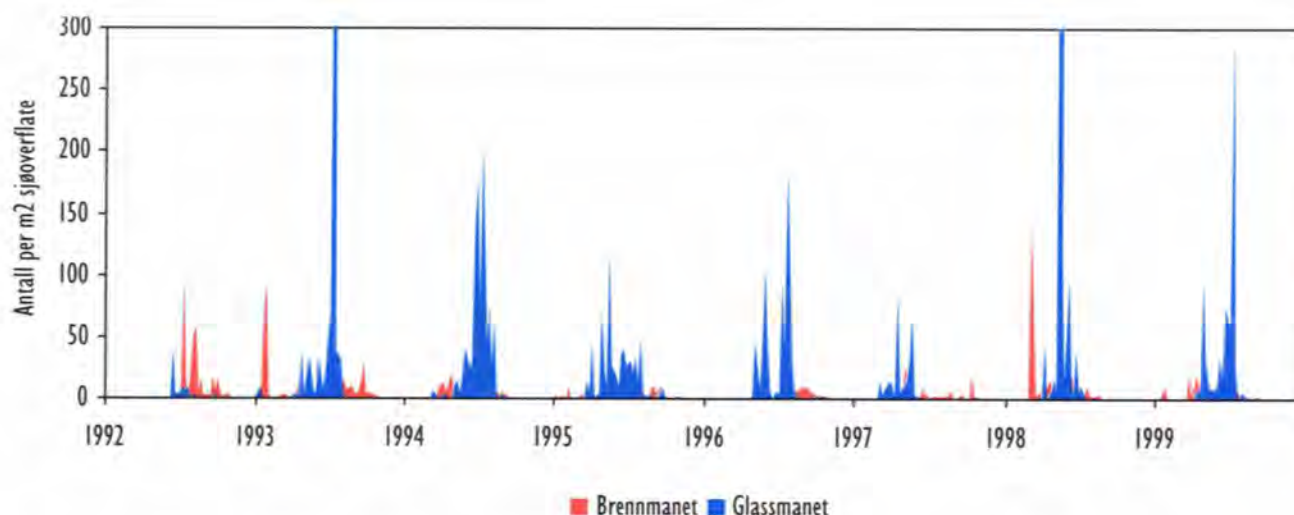
Siden 1992 har det vært daglige registreringer av brennmanet (*Cyanea capillata*) og glassmanet (*Aurelia aurita*) i Flødevigen. Det gjøres på samme tid hver dag ved at observatøren teller hvor mange maneter som kan ses over en flate på ca 10 x 10 meter utenfor kaien. I tillegg gjøres notat over omtrentlig størrelse på manetene. Metoden har den åpenbare svakhet at mulighet til å kunne observere ned i vannet varierer meget med lys, planktonforekomst og vind.

På Skagerrakkysten opptrer stormaneter nær sjøoverflaten så å si bare i sommerhalvåret. Forekomst av stormaneter er meget avhengig av

vindretning og strøm, og derfor kan de variere meget fra dag til dag. I enkelte år har vi registrert små brennmaneter en kort periode om vinteren. Også godt ut på høsten kan 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.

Glassmanetene kommer gjerne til syne først om sommeren, og opptrer noen ganger i store tettheter. Større tettheter av brennmaneter viser seg litt senere, men holder seg i overflatevannet desto lenger utover ettersommeren og høsten. I 1998 ble det registrert betydelig flere maneter enn i 1997 (figur 3.18). Glassmanetene kom i første halvdel av mai, men forsvant i første halvdel av juli. I mars ble det et par dager observert meget høye konsentrasjoner av små brennmaneter. Ellers opptrådte brennmanetene i meget varierende grad og spredt utover hele sommeren, til og med tidlig høst.

I 1999 ble det registrert færre stormaneter enn året før, spesielt gjaldt dette for brennmaneter. Glassmanetene kom noe senere i 1999 og holdt seg i de øvre vannmasser lenger ut over sommeren enn i tidligere år. Etter september var det lite stormaneter langs Skagerrakkysten.



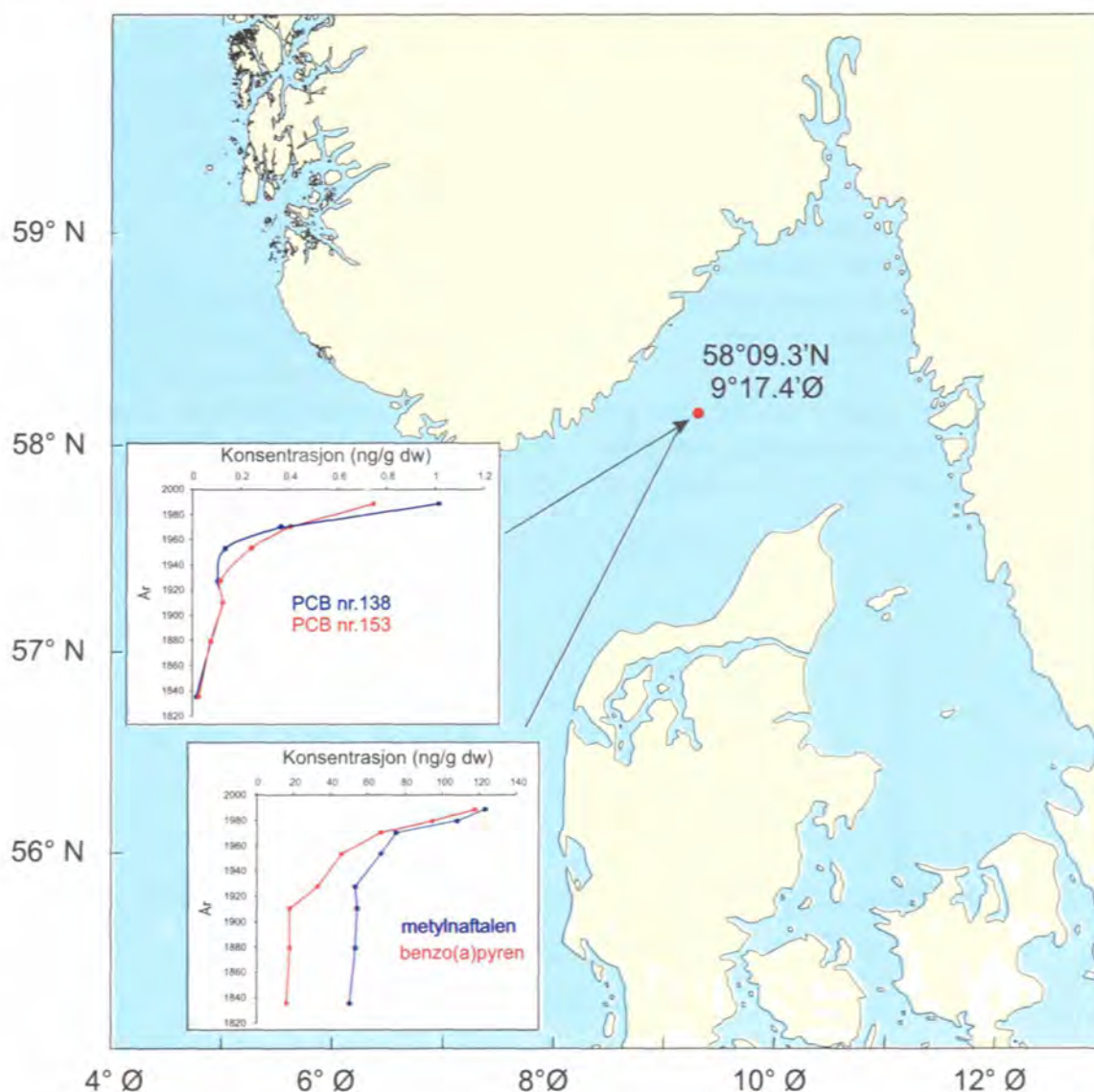
Figur 3.18 Forekomst av brennmanet (*Cyanea capillata*) og glassmanet (*Aurelia aurita*) i Flødevigen 1992-1999. Ukemiddel.
Occurrence of Cyanea capillata and Aurelia aurita in the Flødevigen Bay 1992-1999. Weekly mean.

4. FORURENSNING

4.1 Forurensning

Havforskningsinstituttet gjennomfører overvåkning og forskning på en del viktige hovedgrupper av kjemisk forurensning i norske kyst- og havområder: Organiske miljøgifter; utslipp fra petroleumsvirksomheten, radionuklider, næringssalter og organisk belastning. Materiale

for analyse av tungmetaller blir også innsamlet hvor analysene blir utført av Fiskeridirektoratets ernæringsinstitutt eller Norges geologiske undersøkelser (NGU). Kapittelet gir en kortfattet oversikt over noen resultater som er fremkommet i de senere år.



Figur 4.1 Konsentrasjonene (ng/g tørrvekt) av utvalgte PCB- og PAH-komponenter i sedimentene på en stasjon i Skagerrak fra år 1840 frem til i dag.
Concentrations (ng/g dry weight) of selected PCB and PAH compounds in sediments from year 1840 to present at one station in the Skagerrak.

Organiske miljøgifter

Organiske miljøgifter kan deles i hovedgrupper etter opphav og anvendelse. Klorerte plantevernmidler som for eksempel heksaklor-sykloheksaner (HCHs), DDT med nedbrytningsproduktene DDE og DDD, klordaner og toksafen utgjør en gruppe. Industrikjemikalier som polyklorerte bifenyler (PCB), klorerte parafiner og bromerte flammehemmere utgjør en annen gruppe. Produkter fra ulike forbrenningsprosesser utgjør en tredje gruppe. Eksempler på slike stoffer er polysyklisk aromatiske hydrokarboner (PAH), dioksiner og furaner. Organiske miljøgifter kjennetegnes ved svært lav nedbrytning i miljøet, evne til oppkonsentrering i de marine næringskjeder og med potensial for alvorlige biologiske effekter. Eksempelvis har det vist seg at stoff som PCB og DDT kan påvirke reproduksjonen til sjøfugl og sel. Stoffene har en global spredning og finnes overalt i miljøet.

Havforskningsinstituttet har de senere år gjennomført kartlegging av nivåene av organiske miljøgifter i bunnsedimenter i Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet. Resultatene viser at en for Nordsjøen finner de høyeste nivåene av PCB og PAH i overflatesedimentene i Skagerrak. Området utgjør et viktig utsynkningsområde for partikkelbundne organiske miljøgifter tilført fra lokale kilder og ved langtransport fra andre deler av Nordsjøen. Analyser av sedimentkjerner kan benyttes til å vise tidsutviklingen i en forurensningsbelastning. Figur 4.1 viser resultatene av en slik analyse. I Skagerrak har belastningen av PCB og PAH økt kraftig gjennom de siste hundre år.

De laveste nivåene av organiske miljøgifter er registrert i bunnsedimentene i de dype områdene i Norskehavet. Sammenlignet med Skagerrak er nivåene av PCB og PAH en faktor 50-100 ganger lavere. I bunnsedimentene i Barentshavet er også mengden av PCB svært lav og på globalt bakgrunnsnivå, mens derimot nivået av enkelte PAH-komponenter av petrologent opphav ligger høyere enn i Skagerrak. Dette gjelder kun nordvestlige deler av Barentshavet syd for Svalbard. Årsaken er mest sannsynlig naturlig utlekking av olje fra grunnen.

Et helt sentralt element i Havforskningsinstituttets arbeid på forurensning er å kartlegge og følge med i nivåene av organiske miljøgifter i fisk. PAH finner en sjelden i fisk fra åpne farvann på grunn av at fisken omsetter og skiller ut denne stoffgruppen forholdsvis raskt. Unntak finnes for fisk som mottar belastning fra punktkilder, eksempelvis fra oljesøl eller fra de kontinuerlige utslippene fra petroleumsinstallasjonene i Nordsjøen.

For klorerte plantevernmidler og stoff som PCB, har ikke fisken en tilsvarende evne til å kvitte seg med fremmedstoffene etter at de er tatt opp. Dette gjør at all fisk inneholder spormengder av stoffene. Nivåene i fiskemuskel er stort sett svært lave, mens det i fettrike organer som lever kan finnes høyere mengder. Nivåene av PCB i torsk kan brukes som eksempel. Muskel er mager og inneholder ofte PCB i konsentrasjoner omkring 1-10 ng/g våtvekt ($1 \text{ ng} = 10^{-9} \text{ g}$), langt under det helsemyndighetene setter som grense for eventuelle kostholdsråd. Lever som gjerne inneholder 40-70 % fett, har konsentrasjoner av PCB som er høyere. De laveste nivåene av PCB (ca. 50-100 ng/g våtvekt) er funnet i torskelever fra fisk som befinner seg i rent Atlanterhavsvann i områdene ved Færøyene og Island. På Haltenbanken og i Barentshavet er konsentrasjonene i torskelever noe høyere (100-700 ng/g våtvekt). Noe høyere verdier er funnet i torskelever fra Skagerrak (150-1600 ng/g våtvekt). Dette kan ha sammenheng med at fisken er påvirket av lokale punktkilder eller at det generelle belastningsnivået er litt høyere. Andre fiskearter som er undersøkt inneholder tilsvarende eller lavere mengder PCB i lever enn det torsk viser. Nivåene av klorerte plantevernmidler i fisk er stort sett noe lavere enn nivåene av PCB.

Det er nylig gjennomført en basisundersøkelse av toksafen i ulike fiskearter fra norske havområder. Resultatene vil bli presentert i neste års miljørapport. I årene som kommer vil Havforskningsinstituttet utvide analysene av organiske miljøgifter til å inkludere nye stoffgrupper, og igangsette nye prosjekter for å få et bedre bilde av de biologiske og økologiske effektene av fremmedstoffene. Informasjonen vil også kunne benyttes til i større grad å dokumentere fiskens

kvalitet som menneskeføde.

Utslipp fra petroleumsvirksomheten

Havforskningsinstituttet har satt fokus på langtidsvirkninger av de kontinuerlige utslipp fra petroleumsvirksomheten på norsk sokkel. Utslippene av produksjonsvann i Nordsjøen er beregnet til ca. 340 millioner m³ i 1998. I norsk sektor alene vil mengden i 2000 være ca. 120 millioner m³. Produksjonsvann inneholder små mengder alkylerte fenoler som en mistenker kan gi hormonforstyrrende effekter på fisk. På denne bakgrunn er det satt igang et større prosjekt for å undersøke om alkylfenoler i produksjonsvann medfører effekter på torskens reproduksjon. Resultatene som er fremkommet til nå viser ikke slike effekter under realistiske eksponeringsbetingelser. Det gjenstår imidlertid en del arbeid før endelige konklusjoner om det totale effektbildet kan trekkes.

Kunnskapen om miljøvirkningene av de kontinuerlige utslipp fra petroleumsvirksomheten er fremdeles mangelfull, og det er ønskelig å igangsette nye prosjekter for å tette kunnskaps-hullene. Dette er viktig for at myndighetene skal få et tilstrekkelig grunnlag til å kunne vurdere de totale konsekvensene på det marine miljø.

Radioaktivitet

Våre nordlige havområder er blitt tilført antropogene (menneskeskapte) radionuklider i et halvt hundreår. Noen av de viktigste kildene er nedfall fra kjernefysiske prøvesprengninger på 50- og 60-tallet, utslipp fra de europeiske represseringsanleggene Sellafield, La Hague og Dounray, dumping av radioaktivt avfall i Barentshavet og tilførsel fra Østersjøen. Blant de viktigste radionuklidene er cesium (Cs-137, Cs-134), strontium (Sr-90), technecium (Tc-99), plutonium (Pu-238, Pu-239,240) og kobolt (Co-60). Noen av disse har lange halveringstider, eksempelvis $2,1 \cdot 10^5$ år for Tc-99 og $2,4 \cdot 10^4$ år for Pu-239. Radionuklidene vil altså være til stede i våre havområder i uoverskuelig fremtid. Det er viktig for norsk fiskerinæring å ha kunnskap om aktivitetsnivåer og prosesser for overføring av radioaktivitet fra vann via plankton til fisk.

Aktiviteten av fisjonsproduktet Cs-137 i overflatesedimenter i hele Barentshavet er tidligere grundig kartlagt av HI. Området mellom Bjørnøya og Spitsbergen utmerker seg med høyere aktiviteter av Cs-137 i overflatesedimentene enn sedimenttypen skulle tilsi, sammenlignet med resten av Barentshavet. Området er et polarfrontområde hvor det om våren skjer en smelting av is som kommer østfra, noe som gir gunstige vekstforhold og fører til en høy primærproduksjon. I vekstsesongen er det målt høye konsentrasjoner av planteplankton helt ned til bunnen i området. Det kan være flere årsaker til at aktivitetene av Cs-137 er høyere her enn i andre områder av Barentshavet. Studier er gjennomført ut ifra en teori om at planteplankton i vannsøylen tar opp radionuklider, og på en måte "renser" forbigående vannmasser. Planktonet vil med tiden dø og bli transportert til havbunnen og sedimentene. Bunndyrene i dette området er også i en høyere grad eksponert for radioaktivitet enn i andre områder i Barentshavet. Dette er også en potensiell vei for introduksjon av radionuklider til høyere trofiske nivåer som beiter i området.

Det er praktisk vanskelig å samle inn nok materiale for å utføre målinger av radioaktivitet i planteplankton. Laboratorieforsøk er derfor utført hvor en har sett på opptak av Cs-137 og Co-57 (som en analog til Co-60, som er et nøytronaktiveringsprodukt) under kontrollerte betingelser. Opptaket av de to radionuklidene er undersøkt i fem planteplanktonarter, som ble utvalgt etter kriterier som egenskaper, tilgjengelighet og representativitet for norske havområder. Resultatene viser at Co tas opp i alle artene med volum konsentrasjonsfaktorer på opp til 10^4 (figur 4.2). (Volum konsentrasjonsfaktor = radioaktivitet mm⁻³ celle / radioaktivitet mm⁻³ løst i vann). Resultatene viser også at for Co varierer opptaket i de forskjellige artene. Opptaket av Cs er derimot meget lavt i alle artene. Resultatene kan derfor tyde på at i motsetning til Co, bidrar ikke primærprodusenter i særlig grad til overføring og bioakkumulering av Cs i marine næringskjeder. Imidlertid eksisterer det annen informasjon som viser at Cs blir oppkonsentrert i høyere trofiske nivåer i marine næringskjeder. Opptaksforsøk av radionuklider i planteplankton

viser av blant annet konsentrasjonsfaktorer for Pu og Am kan nå opp til 10^5 .

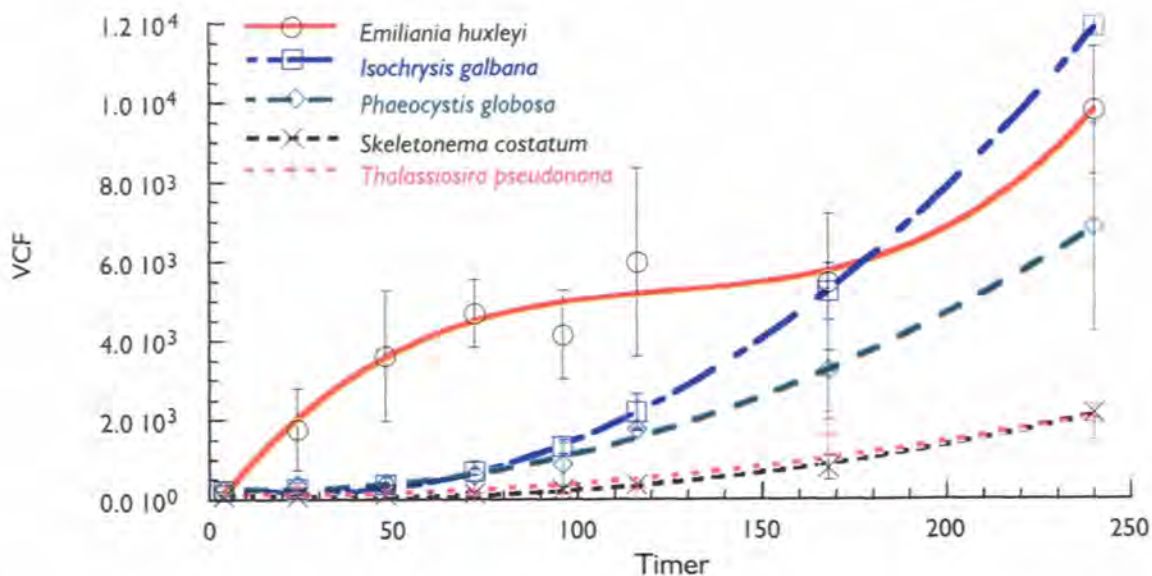
Foreløpige resultater fra målinger vi nylig har gjort av Pu-238, Pu-239,240 og americium (Am-241) i overflatesedimenter fra Bjørnøya-Spitsbergenområdet og Norskehavet, viser at aktivitetene av disse radionuklidene i området Bjørnøya-Spitsbergen er signifikant høyere enn aktiviteter i overflatesedimenter fra Norskehavet. Dette kan skyldes opptak i planteplankton i vannsøylen, og påfølgende transport av dette til overflatesedimentene. En må imidlertid også lete etter andre mulige årsaker til at aktiviteten av Cs-137 er høyere i Bjørnøya-Spitsbergenområdet. Som nevnt er dette et ismeltingsområde, og det kan tenkes at isen transporterer med seg sand og partikler som inneholder radionuklider som stammer fra estuariene ved utløpene av elvene Ob og Yenisey. Det er derfor ønskelig å gjennomføre prøvetaking og analyser av is.

En serie med målinger av gamma-emitterende radionuklider (spesielt Cs-137 og Cs-134) i fisk fra Norskehavet og Barentshavet vil bli satt igang. I et eget prosjekt skal aktiviteten av Cs-137 og Cs-134 i niser fra Barentshavet sammenlignes med aktiviteter i niser som stammer fra

Vestlandskysten. Resultater fra disse prosjektene vil foreligge i løpet av våren og sommeren 2000.

Næringssalter og organisk belastning

I enkelte kystnære områder i Skagerrak er det i de senere år registrert økt algevekst og eutrofi-problemer som følge av økte tilførsler av organisk materiale og næringssalter. Mye arbeid er lagt ned i å utvikle numeriske modeller som kan beskrive utviklingen av algeoppblomstringer og beregne den relative betydning som ulike tilførsler av næringssalter har for eutrofi-forholdene i nordiske farvann. Komplette næringssaltbudsjetter for Nordsjøen er beregnet. Arbeidet gjennomføres som et samarbeid mellom forskere i de nordiske land. Resultatene som er fremkommet viser at det nå kan oppnås ganske god overensstemmelse mellom modellkjøringene og reelle observasjoner i felt. Modellene vil kunne bli et viktig hjelpemiddel i myndighetenes behov for å vurdere virkemidler og tiltak for å kunne redusere menneskeskapte næringssalttilførsler. Det arbeides med å inkludere transport av partikulært materiale og partikkelbundet forurensning i modellene, noe som vil gi et bedre bilde på de totale tilførslene av organiske miljøgifter, tungmetaller og radionuklider til Skagerrak.



Figur 4.2 Volum konsentrasjonsfaktorer (VCF) for Co-57, celler i vekst (radioaktivitet mm^{-3} celle/radioaktivitet mm^{-3} løst i vann).
Volume concentration factors (VCF) for Co-57, growing cells (radioactivity mm^{-3} celle/radioactivity mm^{-3} dissolved in water).

Planktonakustikk. Ny måleteknikk skiller mellom ekko fra dyreplankton og ekko fra fisk

Rolf Korneliussen
og Egil Ona

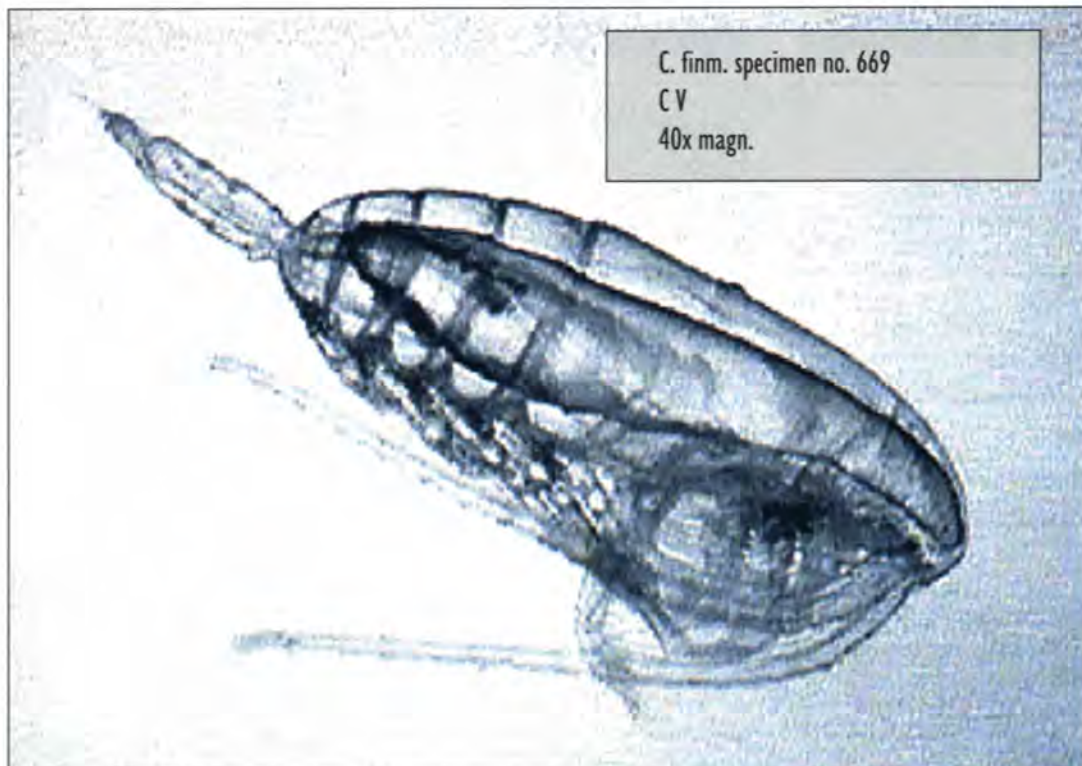
Økende interesse for plankton

Akustisk mengdeberegning av havets ressurser er basert på vitenskapelig tolking av ekko fra fisk og plankton. For å kontrollere akustikken tas det i tillegg biologiske prøver. Disse prøvene brukes både til å isolere de akustiske registreringene med hensyn til art og til å innhente informasjon om størrelsessammensetning for hver art. Hittil har Havforskningsinstituttet (HI) konsentrert seg om metodeutvikling for å mengdebestemme våre fiskeressurser, og har faktisk blitt verdensledende på denne metoden. Nå står dyreplanktonressursene for tur. Planktonressursene blir stadig mer interessante. Både fordi plankton danner et grunnlaget for alle havets fiskeressurser og fordi det kanskje snart blir en fangstbar ressurs i seg selv. Særlig er oppdrettsnæringen på jakt etter plankton som mulig fôr for laks og ørret. Dette betyr at våre myndigheter snart kanskje må forvalte våre

planktonressurser. Skal vi kunne forvalte plankton på linje med fisk, trenger vi imidlertid mer avansert akustisk overvåkingsteknologi. Flerfrekvensakustikk kan være svaret.

Litt metodisk grunnlag

Metodikken for akustisk mengdeberegning av fisk går ut på å bestråle fisk i et avsøkt volum med lyd fra et ekkolodd og deretter måle og summere ekkoene fra hver enkelt fisk. Summen av måltallene (ekkomengden), s_A , regnes så om til antall fisk/m². Dersom vi vet hvilke arter som gir opphav til ekkoene og hver arts typiske størrelse, er det også mulig å regne ut antall fisk/m² for hver art. Prosessen med å skille ut ekko etter art, det vil si å beregne s_A for hver enkelt art, må i dag gjøres av erfarne operatører som baserer tolkingen på erfaring, kunnskap og biologisk prøvetaking



Figur 5.1 Foto av raudåte (*copepod Calanus*). Foto: Tor Knudsen, HI.

under toktet. Biologisk prøvetaking er svært tids- og arbeidskrevende, og den biologiske prøvetakingen blir derfor vanligvis begrenset til en eller noen få arter på hvert tokt.

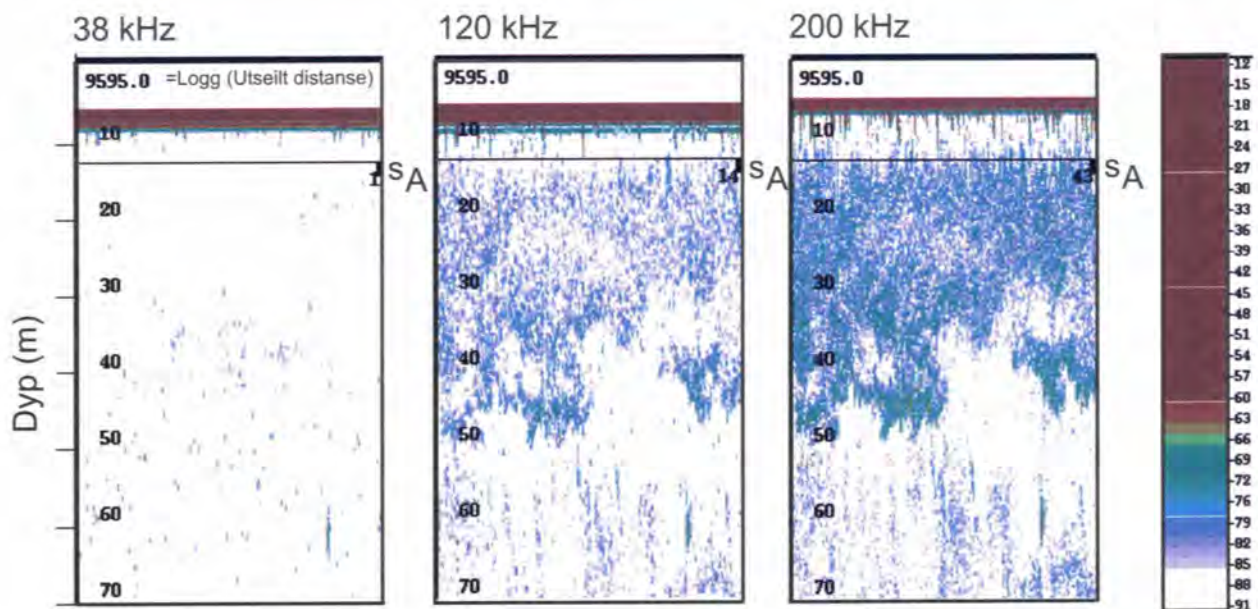
Ulik akustisk tilbakespredning fra fisk og dyreplankton

Fisk med svømmeblære gir kraftige og tydelige ekko, og mengdebestemmelse av fisk med svømmeblære kan gjøres tilfredsstillende med enkeltfrekvens ekkolodd. Ekko fra dyreplankton er mye svakere og langt mer komplekse enn ekko fra fisk. Dette skyldes først og fremst at størrelsen av hvert planktonindivid er mye mindre enn lydens bølgelengde. (For ekkoloddfrekvenser fra 200 - 38 kHz varierer bølgelengden, λ , fra 0.7 - 4 cm.) I tillegg er forskjellene i spesifikk tetthet og lydfart mellom sjøvann og plankton mye mindre enn mellom en gassfylt svømmeblære og sjøvann. Utgangspunktet for alle beregningene er såkalt målt ekkoareal, σ , som avhenger av målets

størrelse, lydens fart gjennom målet og av tetthetskontrasten. Et typisk dyreplanktonindivid som for eksempel en raudåte, gir et ekkoareal som bare er en milliondel av ekkoarealet fra en 10 cm fisk. Ekkoarealene fra flere individer kan imidlertid adderes lineært slik at samlet ekkoareal fra en million raudåte gir om lag samme ekkoareal som ekkoarealet fra en enkeltfisk på 10 cm. Målets form, orientering og oppførsel har også betydning. For å forenkle målemetodikken, later vi som om alle planktonindividene er små oljefylte kuler. Dersom disse kulene er svært små i forhold til bølgelengden, ($ka \ll 1$, se nedenfor), kan vi benytte oss av den kjente Rayleighs spredningsmodell for kuler til å simulere ekkoarealene. Ekkoarealet fra slike små kuler er svært avhengig av både målefrekvensen og av partikkelstørrelse. Matematisk kan det uttrykkes som at ekkoarealet σ er proporsjonalt med partikkelradius a i 6. potens og med frekvensen f i 4. potens, altså:

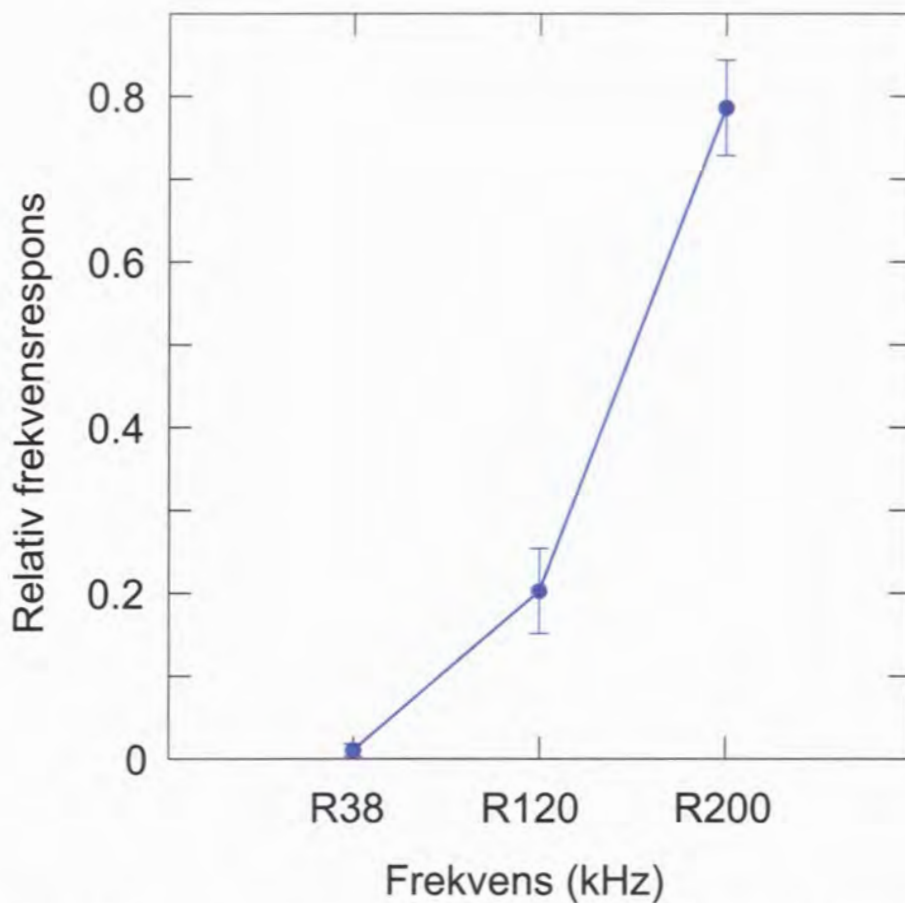
$$(1) \quad \sigma \propto a^6 f^4 \quad \text{der } \sigma \text{ er ekkoareal}$$

a er partikkelradius
 f er frekvens



Figur 5.2 Ekkoregistrering av ren raudåte, 0-70 m, 30. mai, midt i Norskehavet under sildetoktet på ekkoloddfrekvensene 38, 120 og 200 kHz. (Utdrag fra høyoppløsningsdata lagret på BEI over 75 nautiske mil).

38, 120 and 200 kHz echograms from a monopopulation of copepod Calanus.



Figur 5.3 Relativ, midlere frekvensrespons for planktonregistreringen i dybdekanalen 10 – 50 m. *Relative, mean frequency response from copepods at 10 - 50 m depth.*

Tre viktige spørsmål

Vi ønsker å besvare følgende spørsmål:

1. Er det mulig å bestemme planktonindividenes størrelse i en flokk der det bare er plankton til stede?
2. Kan vi beregne hvor mange tonn plankton en gitt ekkoregistrering representerer?
3. Dersom fisk og plankton er blandet, går det an å skille fiske- og planktonekko fra hverandre?

Beregning av planktonstørrelse

Der finnes allerede en utviklet metodikk. Den amerikanske forskeren Greenlaw publiserte i 1979 en metode for beregning av planktonstørrelse basert på analyse av ekko fra to separate frekvenser. Beregning av ekvivalent midlere kuleradius (ESR), a , kan finnes fra ligningen:

$$(2) \quad (ka)^4 = \frac{2}{3} \left[\frac{r^4 - R}{r^2(R-1)} \right]$$

der $k = \frac{2\pi f_m}{c}$,

c = lydfart [m/s],

$$f_m = \sqrt{f_1 \times f_2} \text{ [Hz]},$$

$$r = \frac{f_1}{f_2},$$

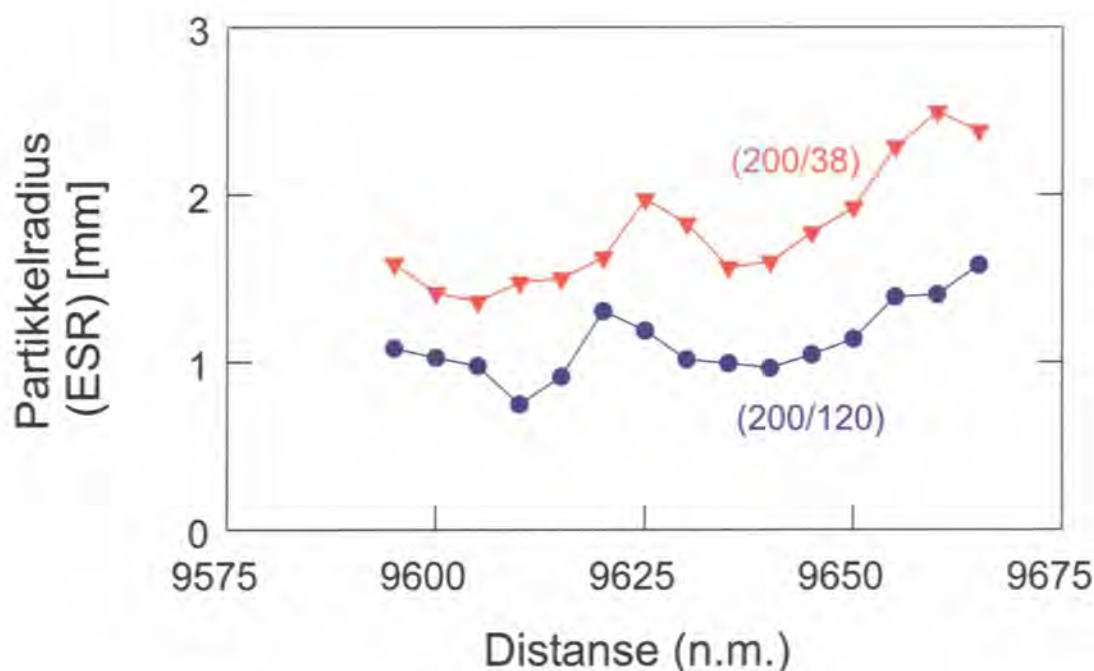
$$R = \frac{s_{A,1}}{s_{A,2}},$$

f_1 og f_2 : frekvenser,

a = ekvivalent kuleradius [ESR] [m],

$s_{A,1}$ og $s_{A,2}$ er ekkomengde [$m^2/n.mi.^2$]

Vi prøvde Greenlaws formler på frekvensene 38, 120 og 200 kHz.



Figur 5.4 Estimert ekvivalent partikkelradius (ESR) for registreringen, basert på frekvensrespons for to parvise kombinasjoner.
Estimated equivalent particle (copepod) radius, ESR.

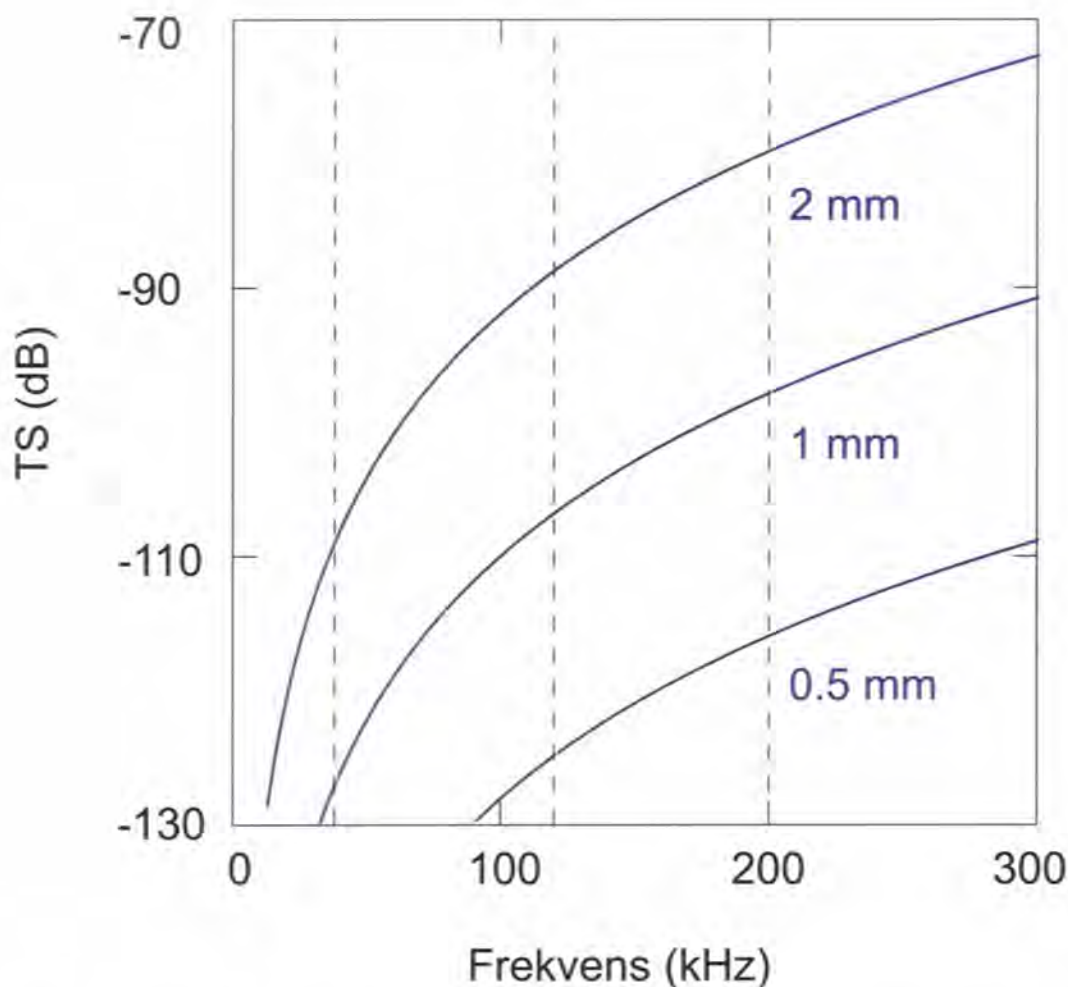
Eksempel raudåte (*Calanus finmarchicus*)

Ved gjennomgang av ekkoloddata fra våre forskningsfartøy, hender det at vi oppdager rene registreringer av raudåte. Figur 5.1 er et fotografi av raudåte med oljesekken midt i dyret. Ekkogrammene i figur 5.2 viser et lite utsnitt av en ren raudåteregistrering gjort på frekvensene, 38, 120 og 200 kHz. Vi ser at ekkoeene er vesentlig sterkere på 200 kHz enn på de to lavere frekvensene. I figur 5.3 har vi midlet alle registreringer over 75 nautiske mil. Samtidig viser vi hvordan ekkoeene fra den samme flokken avhenger av ekkoloddets frekvens, den såkalte "frekvensresponsen". Den "grøtete" og svake registreringen forteller også at målene er små og i rimelig tett konsentrasjon. Ved å sette den observerte frekvensresponsen inn i Greenlaws modell, kan vi regne ut planktonflokkens tilsvarende kuleradius. (Vi husker at vi antar at hver enkelt organisme har form som en perfekt kule.) Beregningene viste at ekvivalent partikkelradius, a , varierer mellom 0.8 - 2 mm. Da vi så resultatene, følte det nesten som om vi hadde skutt innertier ved første forsøk. Facit-svaret- det vil si prøver fra den aktuelle bestanden, anga nemlig at hvert enkelt plankton i gjennomsnitt veide rundt 1 mg, med en omtrentlig diameter på

omlag 2 mm. Figur 5.4 viser også at estimert partikkel-størrelse varierer litt for hver 5-mil, noe vi også vil forvente i en raudåte-registrering på over 75 nautiske mil.

Havforskningsinstituttets forskningsskip bruker nå et akustisk målesystem som kalles Bergen Ekko Integrator (BEI) (se figur 5.2 og figur 5.6) som angir styrken på ekkoeene som farger. I prinsippet kan (BEI) snart generere en ny type ekkogram, som har dyp og tid langs de vanlige aksene, men viser estimert partikkelstørrelse som farge istedenfor ekkostyrke.

På samme måte som ved beregning av fisk, kan integratorligningene som benyttes av BEI da beregne volumtettheten av planktonorganismer. I vårt eksempel beregnet vi en tetthet på 452 individer per m^3 , eller 22620 individer per m^2 overflate. Dette tilsvarer omlag 23 $[g/m^2]$ våtvekt, som er i samme størrelsesorden som resultatet fra tilsvarende vertikale håvfangster (ca. 70 $[g/m^2]$ våtvekt), tatt på nærmeste stasjon. De to resultatene ligger nær nok til at vi bør vurdere å gjennomføre en større akustisk kartlegging av raudåtas utbredelse og mengde i Norskehavet om sommeren med flerfrekvens-ekkolodd.



Figur 5.5 Ekkostyrke, (TS – target strength) for partikler med antatt spesifikk tetthet og elastisitet som copepoder, som funksjon av frekvens og ekvivalent partikkelradius.
Target strength (TS) for idealized spherical copepod particles at different frequencies and particle radii.

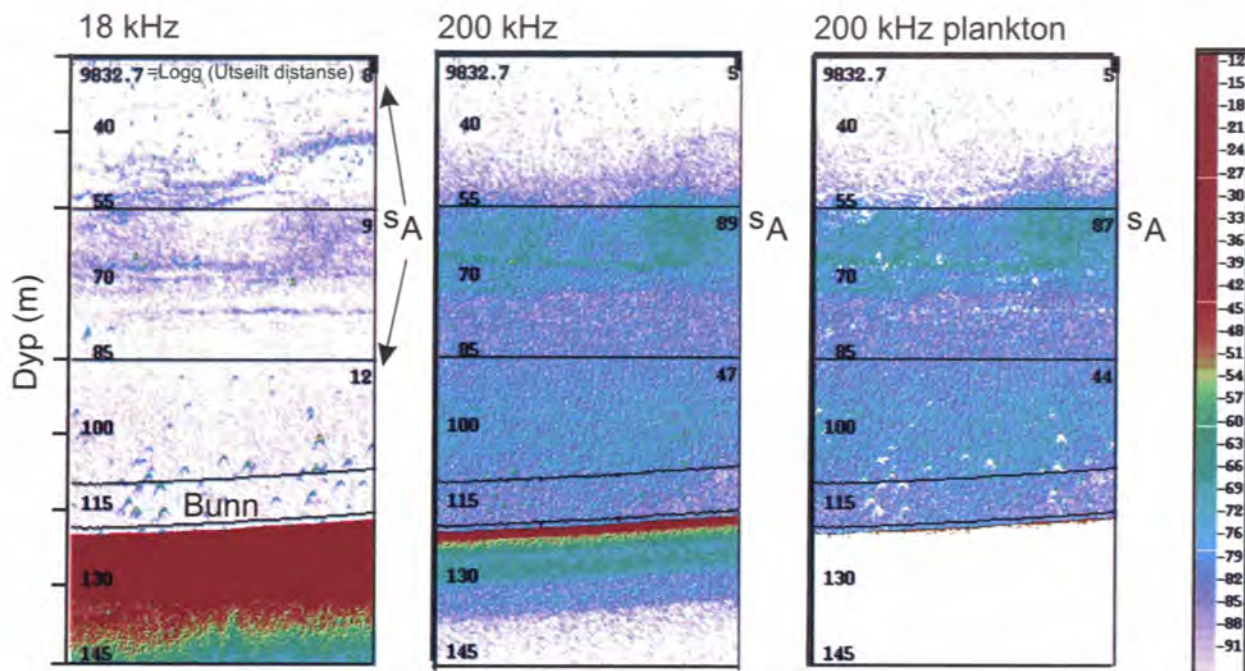
Automatisk separering av fisk og plankton fra blandede registreringer

Når vi studerer et konvensjonelt ekkogram som viser ekko fra fisk og plankton samtidig, er det lett å se at ekkogrammet inneholder to typer ekko. Men siden ekkoet fra et enkelt fiskeindivid i et konvensjonelt ekkogram tilsvarende de samlede ekko fra en million planktonindivider, er det i praksis umulig for et menneske å angi bare planktonets ekkomengde, s_A ut fra ekkogrammet. De kraftige fiskeekkoene overdøver planktonekkoene fullstendig. Skal vi ha mulighet for å kvantifisere informasjonen, må vi skaffe oss en metodikk som skiller ekko fra fisk og plankton automatisk, slik at vi står igjen med et rent planktonekkogram og et rent fiskeekkgogram.

Frekvensresponsen løser problemet

Innenfor frekvensområdet 18 - 200 kHz som benyttes i ekkolodd ved Havforskningsinstituttet, følger den akustiske tilbakespredning fra små planktonorganismer som copepoder, for eksempel raudåte, grovt sett Rayleighs spredningsmodell. Dette betyr at ekkomengden, s_A for små planktonorganismer vil øke kraftig når frekvensen øker. Dette i motsetning til ekkomengden fra fisk med svømmeblære, der ekkostyrken ved de samme frekvenser er tilnærmet konstant. Ved å utnytte planktonets frekvensavhengighet har vi kommet fram til ny metodikk som kan skille planktonekko fra fiskeekko.

Metodikken ble utprøvd under et spesialtokt i



Figur 5.6 Ekkogrammer av blandet registrering av plankton (krill) og fisk på to frekvenser, 18 og 200 kHz. Prosessert 200 kHz ekkogram med undertrykte fiskeekko vist til høyre. *18 kHz and 200 kHz echograms from a mixed population of copepods and fish. In the processed (200 kHz) echogram (right) all fish echoes have been identified and reduced to white patches which will not contribute to the total biomass measure.*

Balsfjorden i 1999, og resultater fra toktet i Balsfjorden og fra liknende tokt, viser at det i prinsippet er mulig å skille fisk fra plankton automatisk. Før metodikken blir komplett må imidlertid ekkoloddets elektroniske og mekaniske konstruksjon forbedres. Figur 5.6 viser et eksempel på data fra ekkolodd basert på kombinasjonen 200 kHz og 18 kHz. I det auto-separerte ekkogrammet vises bare data der $s_{A,200kHz} > 2s_{A,18kHz}$.

Alle fiskeekko er tilsynelatende "klippet" ut fra ekkogrammet. Fiskeekkoene fremstår som små hvite felt inne i planktonregistreringen. Resultatet er altså et rent 200 kHz ekkogram uten fiskeekko, det vil si et ekkogram der de to ekkoklassene er skilt fra hverandre. Dette ekkogrammet kan analyseres med hensyn til plankton på samme måte som "vanlige" ekkogrammer nå

kan analyseres med hensyn til fisk.

Konklusjoner

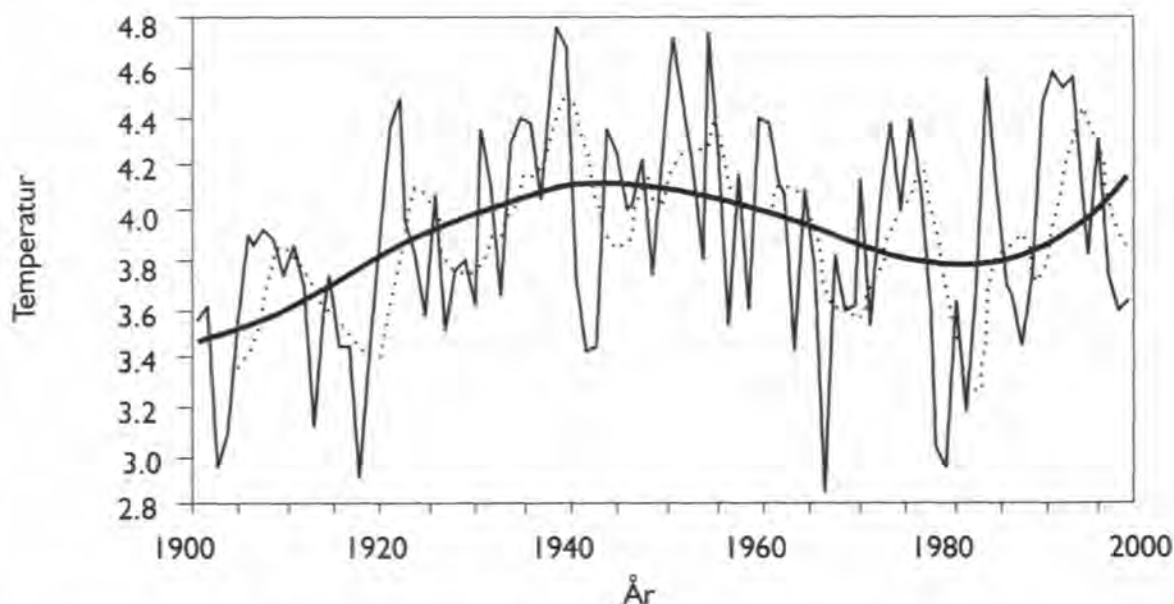
Alle nye forskningsresultater avhenger i praksis av andres forskeres tidligere resultater. Pioneerene på akustisk planktonmåling er først og fremst de amerikanske forskerne Holliday og Greenlaw, men også norske forskere som for eksempel John Dalen, Åge Kristensen (1986) og Stig Falk Pettersen har gjort en betydelig innsats. Vi svarer ja på alle de tre spørsmålene (side 65), og våger den påstand at det innen fem år blir mulig å gi standardiserte akustiske bestandsmål for dyreplankton på linje med det vi i dag gir for fisk. Beviset skal vi levere ved hjelp av Havforskningsinstituttets nye forskningsfartøy som blant annet vil bli utstyrt med et 6-frekvens ekkoloddssystem.

Torskebestanden i Barentshavet i det 20. århundre

Olav Rune Godø
og Geir Ottersen

De store, uventede og uforståelige variasjonene i utbyttet fra de viktige oseaniske fiskebestander representerte framtrepende vitenskapelige og politiske utfordringer også ved det forrige århundreskifte. Spesielt ga svikt i torskefiskeriene i Nord-Norge utslag i forverring av levikårene til kystbefolkningen. Spørsmålene rundt fluktusjonene i de store bestandene og de problemer de medførte, gav grunnlaget for moderne norsk havforskning for omlag 100 år siden, slik det framkommer i den klassiske vitenskapelige produksjonen til Michael Sars, Johan Hjort, Bjørn Helland-Hansen, Fridtjof Nansen med flere. Klimaets betydning ble på et tidlig tidspunkt tydelig demonstrert ettersom de magre årene i begynnelsen av det 20. århundre falt sammen med en kuldeperiode. For norsk-

arktisk torsk er denne perioden blitt sammenlignet med situasjonen vi hadde i slutten av 1980-årene. I begge tilfeller var fangstutbyttet lavt, fisken var mager, kysten ble invadert av sel fra ishavet og dette sammenfalt med en kuldeperiode. Siden århundrets start har vi mange bitre erfaringer med bestands-sammenbrudd og kvotetørke. Hva mer har vi lært om de store vekslingene i torskebestanden etter at vi startet med systematisk innsamling av biologisk materiale? Kan vi knytte noe av variasjonen i bestand og utbytte til miljøets endringer? Er det mulig å skille mellom miljøets betydning og menneskets inngripen gjennom kommersiell fangst? Vi skal prøve å sette sammen noen av de dataene som finnes for å belyse disse spørsmålene.



Figur 5.7

Variasjon i temperatur (årsmiddel over 0 til 200 meters dyp) fra 1900 til i dag, målt i Kolasnippet i det sørlige, sentrale Barentshavet (hel tynn linje). Fem års glidende middel er vist i den stiplede linjen, mens de lange svingningene er demonstrert med en polynomisk regresjonslinje (tykk linje).

Temperature variations in southern, central Barents sea from 1900- 2000.

Thin line: 0 - 200 m depth averaged annual mean temperature.

Dotted line: 0 - 200 m depth averaged five year consecutive mean temperature.

Thick line: Long term oscillations in mean temperature calculated by polynomial regression.

Klimaets variasjoner

For å forstå bakgrunnen for variasjonen i klimaet, må man vite litt om dynamikken i de dominerende vannmassene. Det er strømmen av varmt atlantehavsvann som gjør våre nordlige havområder åpne for biologisk produksjon (se figur 1.1). Barentshavet og store deler av Norskehavet ville ellers være dekket av is. Den sørlige halvdel av Barentshavet er under dagens klimaregime dominert av atlantehavsvann og er isfri hele året. Observasjoner av både hav, is og atmosfære viser at klimaet i området likevel har stor naturlig variabilitet. Graden av isdekning varierer for eksempel mye med innstrømmende varmemengde. Varmemengden som tilføres Barentshavet gjennom atlantehavsstrømmen er et produkt av volumet av vannmassene som strømmer inn og temperaturen på det innstrømmende vannet. Volum er vesentlig vanskeligere å observere enn temperatur. En har derfor relativt lange serier med måledata på havtemperatur og rimelig godt kunnskap om variabiliteten, mens en vet mindre om innstrømningsvolum og varmemengde.

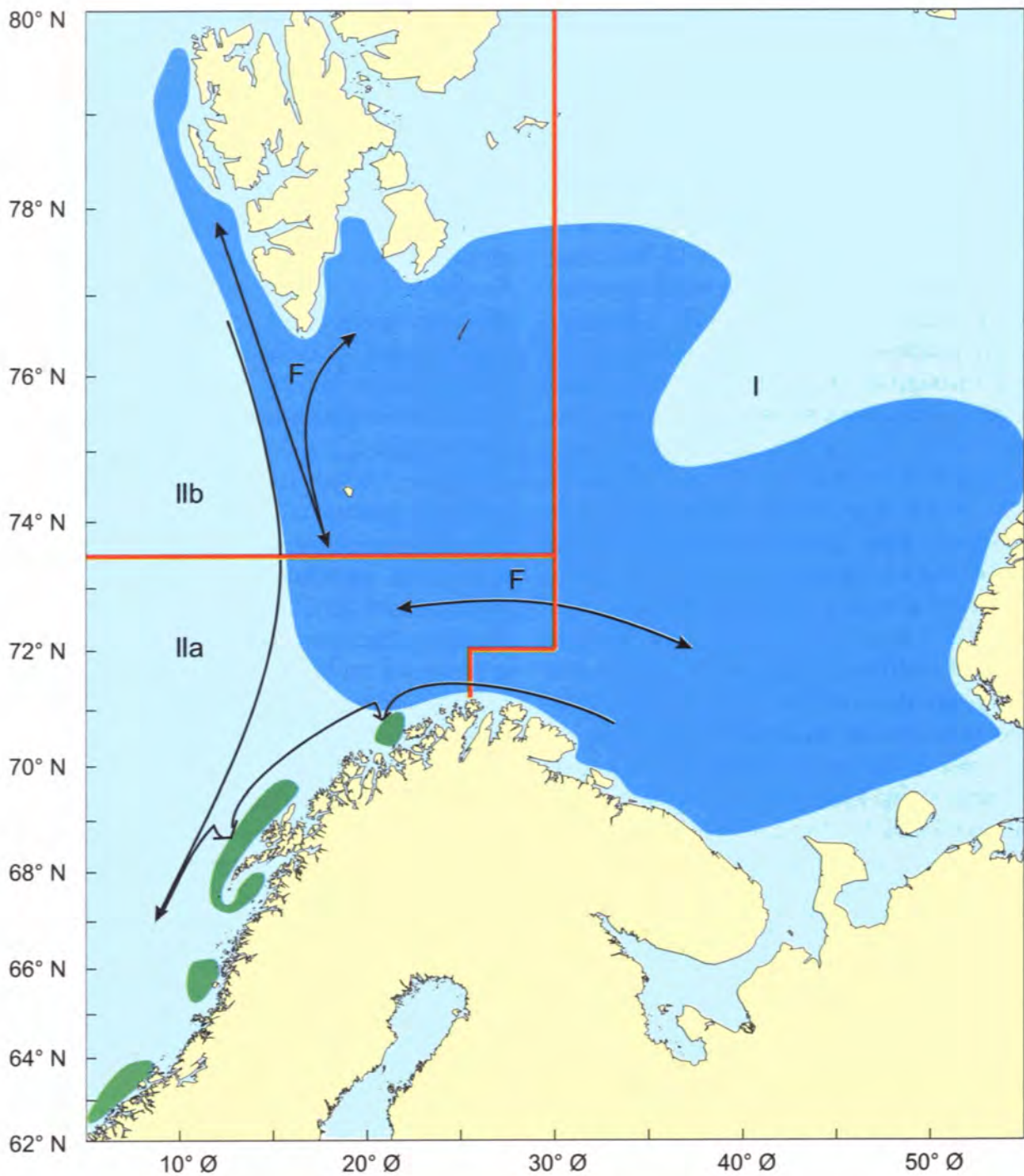
Meteorologene har observert temperaturen i havoverflaten ved enkelte av fyrstasjonene våre fra så langt tilbake som 1867, da professor H. Mohn tok initiativet til å sette i gang slike undersøkelser. Den lengste tidsserien i Barentshavet, der en måler temperaturen også nedover i sjøen, er målingene det russiske Havforskningsinstituttet i Murmansk (PINRO) foretar langs det såkalte Kolasnittet, i det sørlige sentrale Barentshavet (33°30' østlig lengde, 70°30' til 72° 30' nordlig bredde). Dette snittet, som de andre i regionen, går på tvers av atlantehavsstrømmen og er derfor godt plassert for å registrere forandringer i de innstrømmende vannmasser. Ved sammenligning med Havforskningsinstituttets egne snitt og områdedekkende tokt, er det dokumentert at denne måleserien er svært representativ for klimafluktuasjoner i store deler av Barentshavet. Det er også en rimelig bra sammenheng mellom havtemperaturen i Kolasnittet og isforholdene i Barentshavet. Er det varmt er også et mindre område dekket av is.

Fig. 5.7 viser temperaturutviklingen i Kolasnittet

(årsmiddel over 0 til 200 meters dyp) gjennom det 20. århundret. De fleste av årene fra 1900 og fram til 1919 var kaldere enn gjennomsnittet for århundret. Første del av 1920-tallet var noe varmere, mens siste halvdel var kjøligere igjen. Århundrets lengste varmere periode var fra 1930 og framover til ca 1940. Det ble ikke foretatt målinger langs Kolasnittet under krigen, men generelt kan vi si at de første krigsårene var kalde i Barentshavet, mens det fra 1943 - 1947 var forholdsvis varmt. 1950-årene kan stort sett beskrives som varme og 1960-årene som kalde. Fra 1970 har det vært observert store variasjoner. Mens 1970 - 1976 var en varm periode, var 1977 - 1982 den lengste sammenhengende kalde perioden siden 1920. Vi fikk i løpet av 1982 en sterk temperaturøkning, etterfulgt av et par varme år og en klar nedkjøling i 1985 som ga en kald periode til og med 1988. Fra 1989 - 1995 lå temperaturen over langtidsmidlet.

Selv om innstrømming er vanskelig å måle direkte, er vi likevel i dag ved hjelp av kraftige datamaskiner i stand til å kjøre simuleringsmodeller som estimerer den delen av innstrømmingen som skyldes at lufttrykket ved havoverflaten varierer både fra sted til sted og i tid. Forskere ved Havforskningsinstituttet har ved hjelp av en slik modell beregnet hvor mye vann som strømmet gjennom passasjen mellom Fugløy og Bjørnøya for hver måned siden 1970.

Generelt kan storskala atmosfæriske klimafenomen påvirke forholdene i havet over store områder ved å styre strømmer og temperaturforhold i havoverflaten. I det nordlige Atlanterhavet har det de siste årene vært en økt fokusering på "Den nordatlantiske svingningen", eller på engelsk "North Atlantic Oscillation", forkortet NAO. NAO-fenomenet måler forskyvninger i mektigheten av to store trykksystemer over Nord-Atlanteren, lavtrykket i nord med senter sør for Island og høytrykkssystemet lenger sør med senter over Azorene. En positiv NAO-indeks betyr at forskjellen i lufttrykk mellom Azorene og Island er større enn normalt. Under slike forhold er Islands lavtrykket kraftig, innstrømmingen til Barentshavet er stor og temperaturen høy. Det har vært en nær sammenheng mellom vinterverdiene for NAO, innstrøm-



Figur 5.8 Barentshavet og norskekysten med de viktigste oppvekstområdene (blått) og gyteområdene (grønt) for norsk-arktisk torsk inntegnet. De enkle strekpilene indikerer sesongvandringen for ungfisken, mens de doble pilene representerer gytevandringen.

Map of the Barents sea and the northern coast of Norway showing important nursery/feeding areas (blue) and spawning areas (green) for the Arcto-norwegian cod. Single line arrows: Seasonal young fish migration. Double line arrows: Spawning migration.

ningen gjennom Fugløya-Bjørnøyasnittet og temperaturen i Barentshavet de siste 30 årene.

Variasjoner i torskebestanden

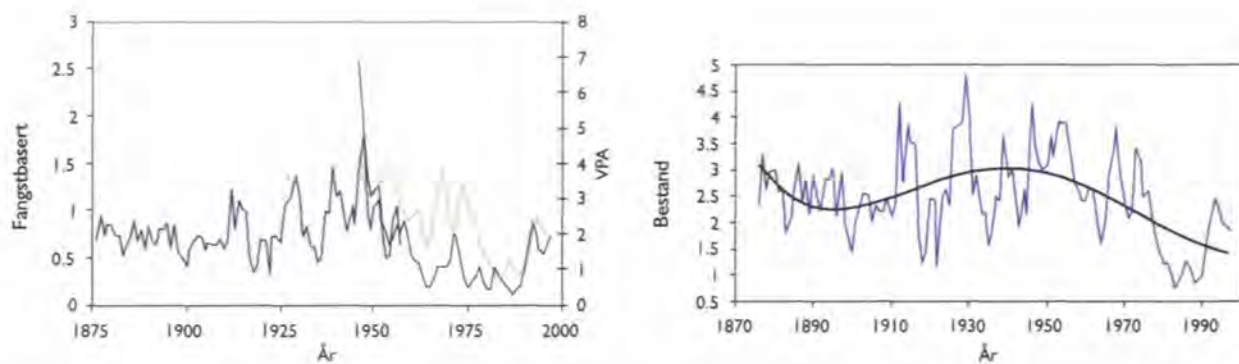
Bestandsvurderinger av torsk foreligger tilbake til 1946. Før det er fangststatistikk tilgjengelig fra 1865, og innsatsmål (antall fiskere og båter) er registrert i enkelte fiskerier fra 1876. I tillegg ble det samlet inn en god del biologisk materiale, for eksempel gjennomsnittsvekt i fangster, lengdefordelinger, lever og rognvekter o.l. i de store sesongfiskeriene. Når man skal vurdere langtidsvariasjoner i bestandene er presisjonsnivået for de enkelte år uvesentlig, så lenge en er i stand til å ekstrahere de rette storskala-trendene som ligger bak den normale år til år-variasjonen. Med dette som bakgrunn, har vi tatt oss frihet til å kombinere nyere bestandsvurderinger med gammelt materiale gjennom noen snarveier, forenklinger og antagelser. Vi har gått ut fra at Lofotfiskets variasjoner i tidligere tider gjenspeilte de storstilte variasjonene i totalbestanden, ettersom menneskets påvirkning var begrenset før fisken ble beskattet som voksen fisk langs norskekysten. Fangsten er justert med variasjon i innsats (det vil si vi har brukt fangst per mann som mål for bestand), slik at dataene skal være mest mulig sammenlignbare over tid. Dette vil føre til at mengdemålet i begynnelsen av tidsserien vil være overvurdert i forhold til siste delen, ettersom hver deltakende mann er blitt mer og mer effektiv med tiden. Tenk bare på teknologiutviklingen på fartøyer, motorisering, ekkolodd o.l. En justering for dette blir lett mer spekulativ enn å la være, og vi skal komme tilbake til effektene som vår framgangsmåte har på vurderingen av dataene.

Fig. 5.8 viser Barentshavet og norskekysten med oppvekst- og gyteområder for torsken markert. Fig. 5.9 viser utviklingen i torskebestanden over tid. I venstre panel i figur 5.9 ser en at bestanden var svakt nedadgående mot slutten av 1800-tallet. Denne nedgangen skjedde i en tid da det foregikk en sterk økning i effektiviteten gjennom større og dekkede fartøyer og gjennom motorisering. Det er grunn til å tro at bestandsnedgangen var betydelig sterkere enn det figuren viser. At bes-

tanden var i vansker, bekreftes av den betydelige nedgangen i gjennomsnittet i individvekten som skjedde i samme periode (figur 5.10). Sammenligner en med figur 5.7, viser det seg at disse to biologiske minima ved århundreskiftet faller sammen med temperaturminimum i Kolasnittet.

Fra begynnelsen av århundret fram til begynnelsen av 50-tallet ble bestanden ifølge figur 5.9 firedoblet. I hvor stor grad denne formidable økningen skyldes effektivitetsøkning i fisket er vanskelig å si. At bestanden var i sterk vekst er understreket av to fakta. Gjennomsnittsvekten i individvekten gikk kraftig opp tross det økende uttaket (figur 5.10). For det andre skjedde dette på tross av et betydelig uttak av småfisk gjennom oppbyggingen av trålfisket i 30-årene. Under normale omstendigheter vil en slik økt beskatning gi en umiddelbar reaksjon mot lavere gjennomsnittsstørrelse av individene. At så ikke skjedde i denne perioden, ser vi som et tegn på at bestanden var i sterk vekst. Denne veksten er, som det går fram av figur 5.7, sammenfallende med en økende trend i temperaturen.

I siste del av det 20. århundre var bestandsutviklingen klart nedadgående. Det er ingen tvil om at denne nedgangen er sterkt drevet av en overbeskatning. Beskatningsgraden er blitt flerdoblet i perioden fra 1946 fram til i dag. Vi tror imidlertid at de fysiske drivkreftene, som er beskrevet over, i denne perioden kan ha hatt en betydelig medvirkning. Lavere temperaturer, på grunn av redusert innstrømming, gir redusert biologisk produksjon som også forplanter seg til høstbar bestand av torsk. Det er fascinerende å studere trendlinjene som er regnet ut for temperatur, bestand og individstørrelse. De gir alle de samme signalene om langtidstrener og understreker sammenhengen mellom det fysiske miljø og torskbestandens produktivitet. Dersom man hadde tatt hensyn til effektivitetsøkning i bestandsmålet i figur 5.9, ville denne trendlinjen i enda større grad vippet ned mot høyre. Det er faktisk det motsatte av det man ser på trendlinjen for temperatur. Man kan spekulere over om dette gir oss en indikasjon på effekten av fiske. I så fall har vi tapt betydelige kvanta torsk gjennom en lite rasjonell høsting de siste tiår.



Figur 5.9

I figur til venstre er gitt bestandsmål for gytebestanden (hel linje) beregnet fra fangst og innsatsdata (fangstbasert) fra 1876 til 1954. Fra 1945 til i dag er mål for gytebestand (hel linje) og totalbestand fra analytisk bestandsberegning (VPA), rød linje. I figur til høyre er fangstbasert bestandsmål for gytebestand antatt å gi et mål på langtidsvariasjon i totalbestand for den tidlige periode ettersom beskatning av ungfisk var begrenset. Dette målet er justert til å falle sammen med totalbestand fra VPA ved å bruke en korrigeringsfaktor fra overlappingsårene. En polynomisk regresjon (samme som brukt i figur 1) er tilpasset for å trekke ut langtidstrender.

Variations in Arcto-norwegian cod stock during years 1875 - 2000:
 From 1876 - 1954: Spawning stock calculated from capture statistics and capture effort data. From 1945: Spawning stock measured during accoustic surveys (continuous line). Red dotted line: Total stock based on analytical methods (VPA).
 Figure 5.9 right: Variations in total stock calculated from catch based spawning stock data. (The mean level has been adjusted to correspond with VPA data).
 Superimposed: Long term trend in total stock (Calculated by polynomial regression).

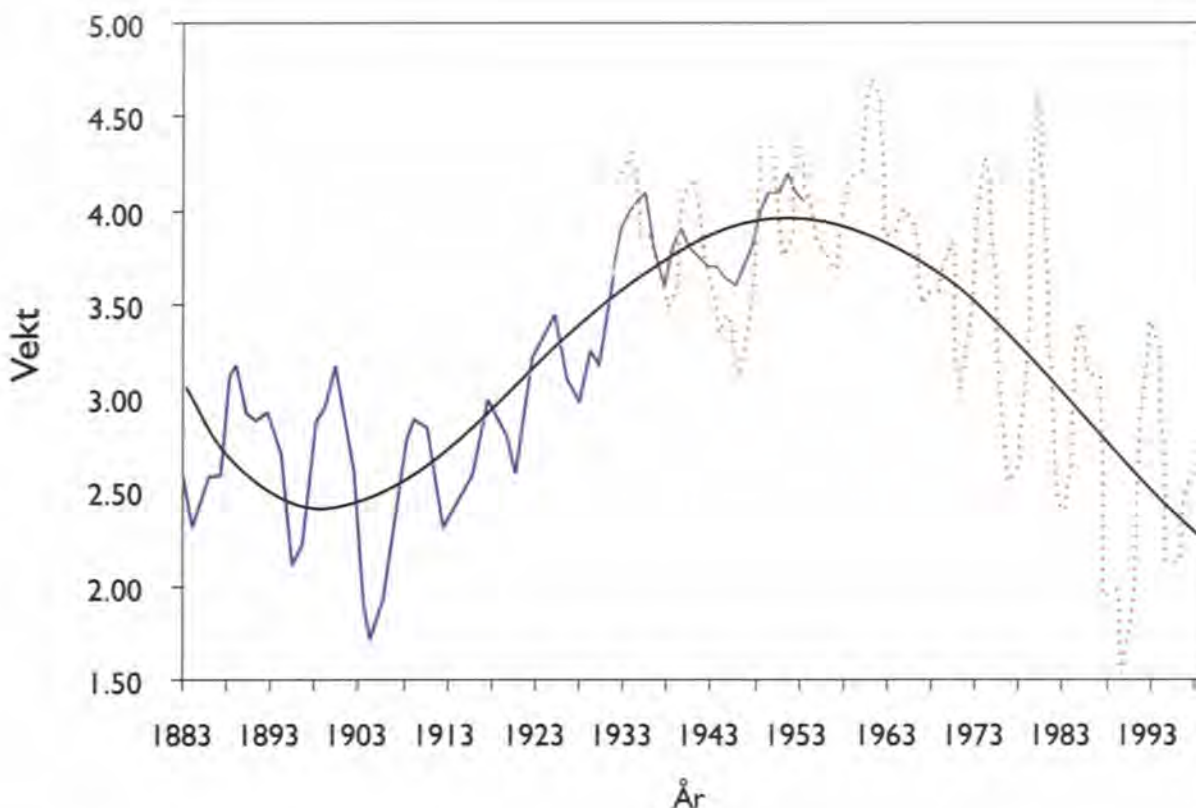
Hjort konstaterte allerede for nesten 100 år siden at variasjonen i de store fiskeriene oppstod på grunn av stor variasjon i årsklassestyrke. Senere undersøkelser har vist at det også er sammenheng mellom korttidsvariasjon i temperatur og rekruttering. Sannsynligheten for rike årsklasser er størst når temperaturen går fra kaldt til varmt i korttidssvingningene (fire-åtte år) som er vist i figur 5.7. Det ser også ut til at frekvensen av gode årsklasser generelt er størst i den varme delen av klimasyklusen, mens langtidssvingningene vi har beskrevet over, setter nivået på rekrutteringen.

Framtidens fiskevarsling

Mer enn 100 år med systematisk innsamling av informasjon viser at den biologiske produktivitet i våre nordområder klart er knyttet til variasjoner i det fysiske miljøet. Den umiddelbare reaksjon er at dette må utnyttes i operativ havforskning gjennom prediksjon av miljø og dermed sannsynlighet for god vekst og rekruttering.

Spørsmålet er om miljøet/klimaet kan varsles. En nødvendig forutsetning for varsling er at det fenomenet som skal varsles har en stor grad av deterministisk (forutbestemt) karakter på den aktuelle tidsskala. I utgangspunktet er det på ingen måte opplagt at denne forutsetningen er til stede når det gjelder langtidsvarsler over mange måneder eller flere år for havklimaet i Barentshavet. På kortere tidsskala vet vi at prosessene knyttet til lavtrykksbaner, nedbørsområder og det storskala vindsystemet i stor grad er av stokastisk (tilfeldig) natur. Det synes også klart at disse atmosfæriske prosesser utøver en vesentlig innflytelse på de faktorer som styrer temperaturutviklingen i Barentshavet, nemlig temperaturen og i større grad volumet av innstrømmende atlantiske vannmasser samt varmeutvekslingen ved grenseflaten atmosfære-hav.

Nå er det heldigvis likevel ikke slik at det er umulig å varsle havtemperaturen i Barentshavet lengre fram enn det typiske langtidsvarslet for vær på fem-syv dager. Vann har mye større



Figur 5.10 Variasjon i gjennomsnittlig vekt i garnfangster i Lofoten i perioden 1883 - 1953 (heltrukne tynn linje), sammenlignet og forlenget med gjennomsnittlig vekt i gytebestanden fra 1932 til i dag (stiplet linje) slik den framkommer i prøver fra line. Den heltrukne tykke linjen gir en polynomisk regresjonstilpasning for hele tidsserien samlet.

Mean weight of net captured Norwegian-arctic cod individuals in Lofoten during 1883 - 1953 (thin continuous line) compared with with mean weight of spawning stock individuals (captured on long line) during 1932 - 1999 (dotted line).

Superimposed; Long term weight trendline calculated by polynomial regression.

varmekapasitet enn luft, noe som gjør at temperaturen i vannet forandrer seg mye saktere. Dette er hovedgrunnen til at en spesielt varm vår i Barentshavet med stor sannsynlighet fører til at også høsten blir varmere enn normalt. Statistisk analyse av dataene fra Kolasnippet viser da også at halvtårsvarsler fra vår til høst har stor grad av treffsikkerhet. Dessverre viser de samme analysene at det er vanskeligere å varsle fra høst til vår, altså over en vinter. Dette skyldes at det er om vinteren de store forandringene skjer i havklimaet i Barentshavet. Det er stor variasjon i mengden av varmere atlantisk vann som strømmer inn fra sør. Dessuten har skiftninger i lavtrykkbaner og skydekke på denne tiden av året ekstra stor innflytelse på varmeutvekslingen mellom havet og atmosfæren. Lufttemperaturen kan på denne tiden være 30 grader lavere enn temperaturen i havoverflaten.

Det er indikasjoner på at det til en viss grad foregår periodiske fluktasjoner i temperaturforholdene i Barentshavet. En rekke ulike mekanismer og tilhørende perioder er foreslått. De mest troverdige av disse er knyttet til kjente astronomiske fenomener som solflekkaktivitet og tidevannskomponenter. Perioder og kvasiperioder har i lengre tid vært brukt til eksperimentell varsling av ulike klimafenomener verden over. Mens en i enkelte tilfeller har hatt klaff, så har ingen eksperimentelt baserte metoder alene gitt troverdige varsler over tid. Et varslingsystem basert på åtte spesielt utvalgte perioder er nå under utprøving for Barentshavet. Testene en har gjort på historiske data viser dessverre at treffsikkerheten er temmelig dårlig. En må derfor betrakte slike varsler som eksperimentelle forsøk. Sammen med andre metoder er det likevel mulig at periodiske komponenter kan gi nyttig informasjon.

Vi synes det er fantastisk å ha en tidsserie på 100 år der vi kan følge historiske prosesser og kontrollere at prosessene utvikler seg i samsvar med våre modeller. Vi vet imidlertid at de av naturens prosesser som har betydning for klima, varierer på tidsskalaer fra sekunder til tusener av år. Det er derfor viktig å være ydmyk og realistisk i forhold til vår mulighet for å framskrive miljøet i en tidsramme som er tilfredsstillende for den langsiktige forvaltningen av våre marine ressurser. En viktig lærdom fra siste århundre er at de nordlige økosystemer har lavere biologisk bæreevne i de kaldere perioder og da er mer sensitive for rovdrift. Det er trolig urealistisk å tro at produksjonen fra bestanden i toppperioden 1930 - 1965 kan opprettholdes til evig tid. Man må lære seg å leve med naturens svingninger. Vet man at klimaet ligger i den kaldere delen av en syklus, er det avgjørende å

vise stor forsiktighet og legge høstingen innenfor buffersoner som kan takle dårlig vekst og rekruttering over lengre tid.

I det nye århundret vil en av de store utfordringene i vår forskning ligge i å forbedre forståelsen av forholdet mellom miljø og fisk, og å operasjonalisere denne kunnskapen for bruk i bærekraftig forvaltning.

Vi erkjenner at vi alltid vil ha begrensede muligheter til å varsle endringer i miljøet. Dette vil nødvendigvis redusere våre muligheter til å kunne gi nøyaktige varsler om fremtidige bestander og deres rekruttering. Men ved å bygge usikkerheten i klimautvikling inn i våre totale usikkerhetsmodeller, er det realistisk å forvente at vi i løpet av de neste ti år kan oppgi eksakte mål for prognosenes usikkerhet.

Forflytning av vannmasser i kyst og fjordstrøk - numerisk modellering avslører kompliserte sammenhenger

Lars Asplin

Innledning

Store deler av vårt land består av kystområder med utallige øyer, vikar, bukter og fjorder. Samfunnsmessig er disse kystområdene viktige med hensyn til bosetting, næringsvirksomhet og samferdsel. I den senere tid er også bruk av kystområdene til turisme og rekreasjon blitt stadig viktigere.

Til tross for at kyst- og fjordområdene har stor nasjonal betydning, er det likevel langt igjen før vi har tilfredsstillende kunnskap om naturgrunnlaget for disse områdene. Vi har gode statiske beskrivelser av topografien, men vi kjenner ikke prosessene godt nok.

Mange av de naturprosessene som foregår i kyst- og fjordområder har rom- og tidsskalaer som gir dem status som "havets vær". Dette "været" ønsker vi å kunne beskrive og varsle til beste for alle menneskene som bor og ferdes langs kysten.

Kompleksiteten i havvarsling er så høy at det først i den senere tid er blitt mulig å håpe på praktiske løsninger. Håpet knyttes først og fremst til bruk av tredimensjonale, numeriske beregningsmodeller kjørt på høykapasitets digitale regnemaskiner, slik som for eksempel den Silicon-Graphics Cray Origin 2000 maskinen som Havforskningsinstituttet eier en del av.

Denne artikkelen skal handle om numerisk modellering av prosesser som medfører forflytning (adveksjon) av vannmasser i kyst- og fjordstrøk. Artikkelen vil særlig ta for seg vannforflytninger som oppstår på grunn av indre bølger skapt av vann som strømmer opp eller ned langs kysten (land).

Alle har med egne øyne observert bølger på havets overflate, det vil si bølger som forplanter seg på grenseflaten mellom det tunge eller "tette" vannet og den langt mindre tette atmosfæren.

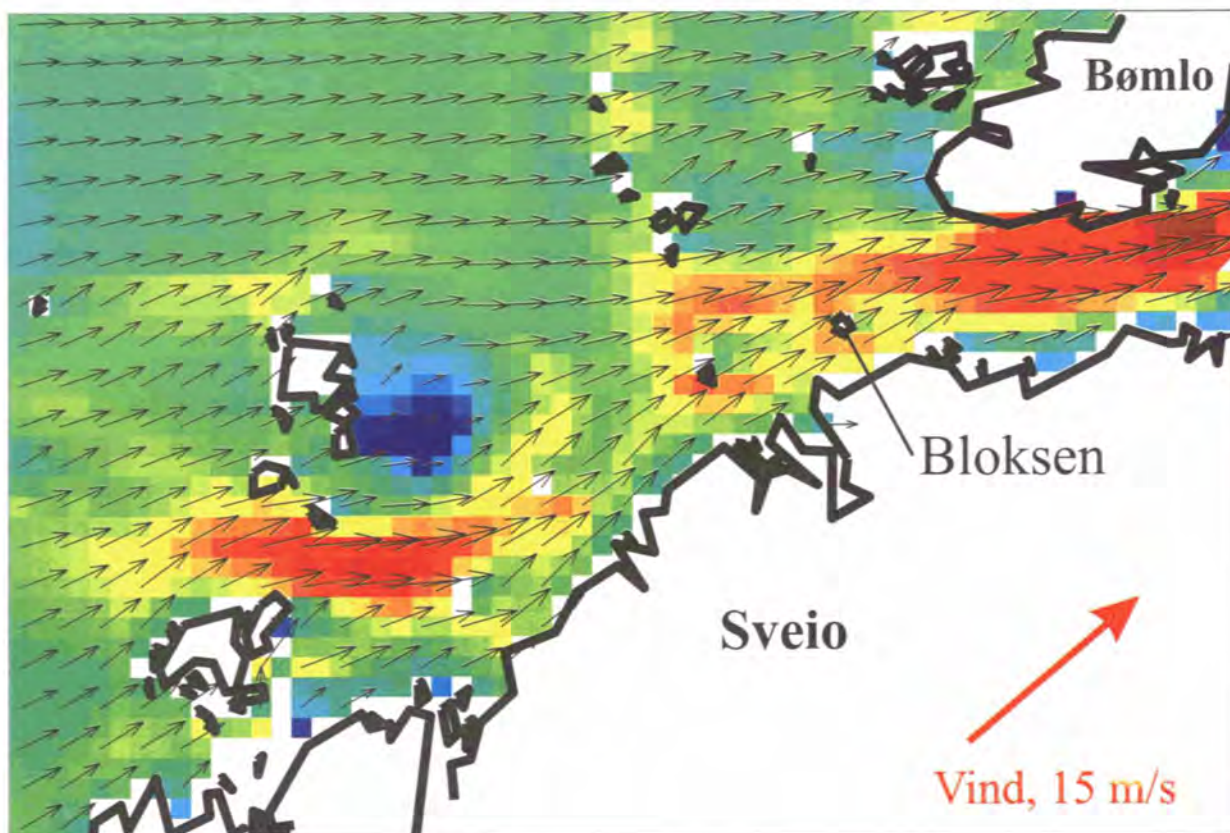
Liknende bølger kan også oppstå på indre grenseflater dypt nede i havvannet, for eksempel på grenseflaten mellom ferskvann og saltere vann i en fjord. Slike "usynlige", indre bølger kan oppnå bølgehøyder på over 30 meter og bidra til en betydelig adveksjon i områder som ligger langt borte fra der hvor bølgen opprinnelig oppsto. Sammenhengene mellom årsak og virkning er meget komplisert. Faktisk så komplisert at bare matematiske modeller eller svært omfattende (og kostnadskrevende) observasjoner kan påvise og forklare dem.

Estuarin sirkulasjon

Ofte synes det som om forflytning av vannmasser i en fjord stort sett skyldes den såkalte estuarine sirkulasjonen, det vil si en strøm av brakkvann i overflaten av fjorden på grunn av ferskvannstilførsel. En elv vil tilføre ferskt vann til fjorden, og i et område i umiddelbar nærhet av elveosen vil salt fjordvann blandes med ferskvannet og danne et brakkvannslag i overflaten. Dette overflatelaget er typisk 1-4 meter tykt. Etter at denne første blandingen har funnet sted, vil ikke brakkvannet blande seg mer med fjordvannet dersom det ikke tilføres energi til ytterligere blanding (gjennom for eksempel vind). Trykkrefter vil drive brakkvannet avsted, som regel ut fjorden, og strømhastighetene vil typisk være 0,1 - 0,2 m/s. Maksimal transport forbundet med estuarin sirkulasjon er av størrelsesorden 100 m³/s, og ofte vil denne transporten faktisk bare utgjøre et ubetydelig bidrag til den totale forflytningen av vannmasser i kyst- og fjordstrøk.

Vinddrevet sirkulasjon

Den lokale vinden i kyst- og fjordområdene er en betydelig drivende kraft for forflytning av vannmasser, både direkte gjennom mekanisk



Figur 5.11 Strømvektorer (i hvert andre gitterpunkt) og fart i overflaten etter 15 timer med sørlig stiv kuling (15 m s^{-1}) i kystområdet Sletta utenfor Sveio i Hordaland simulert numerisk med en horisontal gitteroppløsning på 500 m. Fargekoden for farten varierer fra ingen hastighet (blå) til $0,6 \text{ m s}^{-1}$ (rød). Vindforholdene tilsvarer de forholdene som var tilstede i slutten av november 1999 da hurtigbåten Sleipner sank etter å ha rent på Bloksen.
Current vectors (every second grid node) and speed at the surface after 15 hours of southerly near gale force 7 (15 m s^{-1} wind) over the coastal area Sletta outside Sveio in Hordaland as simulated by a numerical model with a horizontal grid resolution of 500 m. The colors represent the speed, ranging from no speed (blue) to $0,6 \text{ m s}^{-1}$ (red). The wind conditions of the simulation are representative of the conditions when the express boat Sleipner sank after hitting Bloksen in November 1999.

drag på havoverflaten og indirekte ved at vinddrevet opp og nedstrømning av vann mot land skaper indre bølger. Typisk for vindforholdene i kyst-Norge er at de stadig skifter, med tildels høye vindhastigheter. Eksempelvis viser vindobservasjonene utført av Det Norske Meteorologiske Institutt hver 6. time ved Utsira fyr i perioden 1980 til 1998 at 49 % av vinden var over frisk bris (8 m/s), 13 % var over stiv kuling (14 m/s), 5 % var over sterk kuling (17 m/s) mens 1 % av den observerte middelvinden i sekstimersperioden var over storm styrke (22 m/s). Ved Hellesøy fyr, som ligger på kysten utenfor Bergen nord for Utsira, er tendensen den

samme. Innover i fjordene fra kysten synker vanligvis vindhastighetene på grunn av friksjon mot fjellene, men det finnes mange eksempler på det motsatte (for eksempel fallvinder i fjorder). Generelt vil vindforholdene innover fra kysten være sterkt påvirket av landformasjonene, og i grove trekk er vindretningen i fjorder rettet langs fjordaksen. Det finnes i dag liten kunnskap om hvordan et storskala atmosfærisk vindfelt slår ut lokalt.

Vinddrevet sirkulasjon fører til sterkest strøm helt i overflaten og en reduksjon av strømmen nedover til 10-20 meters dyp (Ekmandypet).

Jordrotasjonen vil etter noen timer dreie strømmen til høyre for vindretningen på den nordlige jordhalvkulen, og denne dreiningsvinkelen er i åpent hav ca. 15°. Nedover i dypet vil strømmen dreies ytterligere til høyre. I Ekmanlaget vil nettotransport av vann rette seg 90° grader til høyre for vindretningen. Inne i trangere fjordfarvann vil høyredreiningen av strømmen i overflaten avta, men numeriske simuleringer viser at selv i forholdsvis smale fjorder vil vinden skape en nettotransport av vann til høyre for vindretningen. Strømhastigheten i overflaten er typisk rundt 3% av vindhastigheten. Transporten av vann forbundet med den vinddrevne sirkulasjonen er i størrelsesorden 1000 m³/s.

Strømforholdene under Sleipnerforliset

Som et eksempel på vinddrevet sirkulasjon har vi foretatt en numerisk beregning av strømforholdene i kystområdet Sletta utenfor Sveio i Sunnhordaland under en forholdsvis langvarig og kraftig vind. Disse vindforholdene tilsvarer forholdene som eksisterte da hurtigbåten Sleipner forliste i dette området i slutten av november 1999. Simuleringen er gjort med en horisontal oppløsning på 500 meter og med en forenklet bunntopografi (uten at det vil påvirke resultatene for den vinddrevne strømkomponenten). Overflatestrømmen etter 15 timer med sørlig stiv kuling (15 m/s) styrte parallelt med Sveiolandet med hastigheter opp mot 0,5 m/s (figur 5.11). Disse resultatene stemmer godt med et tilsvarende estimat gjort av Det Norske Meteorologiske Institutt. Selv om den vinddrevne strømkomponenten utvilsomt bidro mest til den totale strømmen, må en ta i betraktning at totalstrømmen også kan inneholde bidrag fra andre kilder som ikke inngår i den numeriske beregningen (for eksempel tidevann og ferskvannsdrevet strøm).

Tidevann

Den regelmessige heving og senkning av havoverflaten på grunn av tidevannet brer seg langs norskekysten som en bølge med en markert halvdaglig periode (to lavvann og to høyvann i løpet av døgnet). Hver gang tidevannet passerer en fjordmunning, tvinger det vannmasser inn i

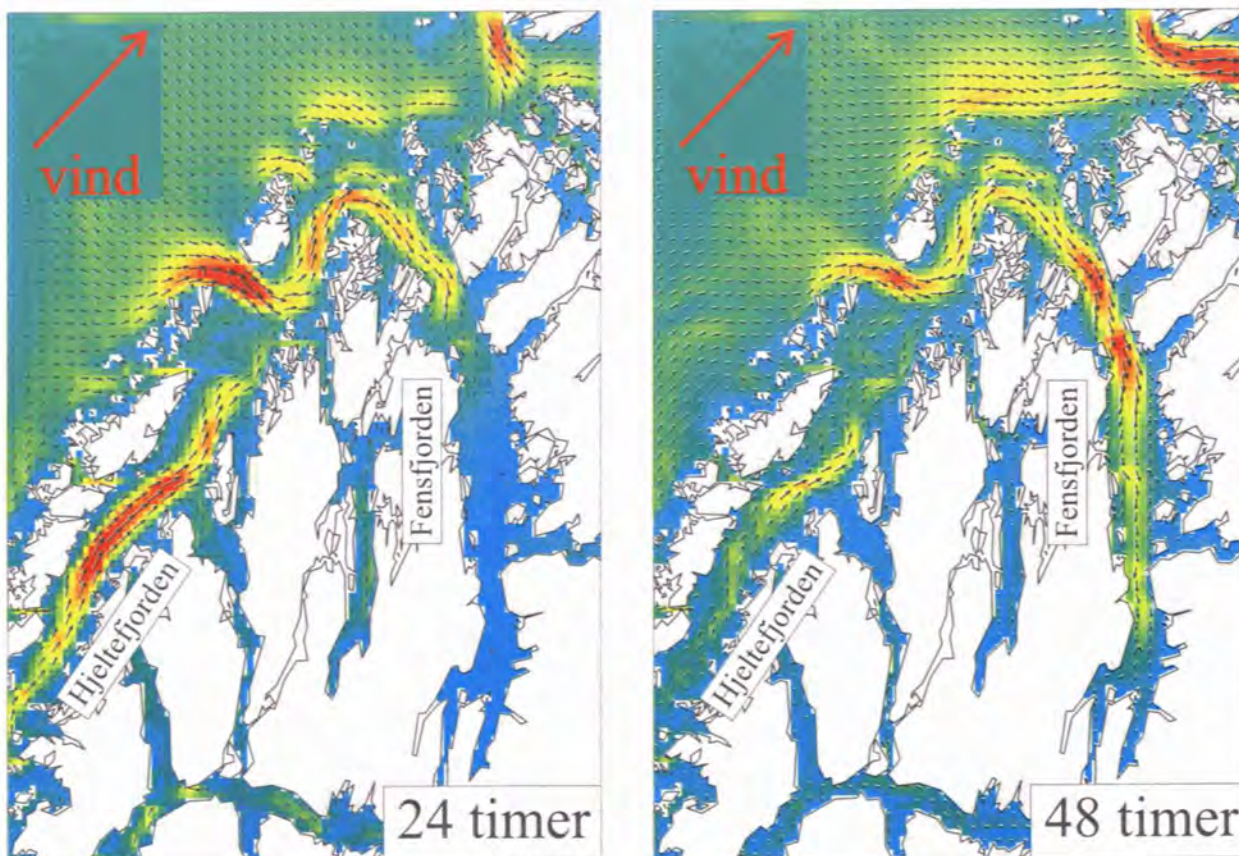
fjorden ved stigende vann (flo) og ut av fjorden ved fallende vann (fjære). Forplantningshastigheten for en slik lang overflatebølge avhenger av bunn dybden. For et dyp på 200 meter er forplantningshastigheten ca. 3500 km/døgn. Det betyr at tidevannsbølgen bruker en halv time på å nå til enden av en ca. 40 km lang fjord. På grunn av refleksjoner vil tidevannet i fjorden ofte oppføre seg som en stående bølge.

I terskelfjorder kan det i tillegg til "vanlig" tidevann også dannes et såkalt "indre" tidevann. Indre tidevann oppstår når det "vanlige" tidevannet strømmer inn over terskelen og forårsaker vertikal forskyvning av tetthetssjiktningen i fjorden. Fra dette terskelområdet forplanter det seg kraftige, indre bølger som kan skape blandingsprosesser langt inne i fjorden.

Tidevannets rolle ved forflytning av vannmasser i kyst- og fjordstrøk er ennå lite kjent. Det finnes åpenbart store lokale forskjeller. I smale sund som for eksempel Saltstraumen kan strømhastighetene komme opp i flere meter per sekund. Andre plasser der tidevannet har karakter av en stående bølge, kan strømmene være ubetydelige. Siden tidevannsstrømmen drives av horisontale forskjeller i vannstand, er den drivende kraft den samme fra overflaten helt ned til sjøbunnen. Dette betyr at tidevannet også har evne til å forflytte de lavereliggende vannmassene som ikke deltar i estuarin og vinddrevet sirkulasjon.

Sirkulasjon som drives av indre horisontale trykkforskjeller

Når vinden driver vannmassene avgårde, vil jordrotasjonen gjøre at strømmen retter seg til høyre for vindretningen. Vind langs kysten eller langs fjorden vil derfor føre til at vannet i de øvre ca. 10 meter dype vannlag enten føres inn mot land eller vekk fra land. Dette vannet må erstattes, og det oppstår en vertikal forflytning av vannivået i et område ved land. Langs norskekysten vil relativt lettere vann føres nedover i dypet når vinden blåser med kysten til høyre (for eksempel sørlig vind på vestlandskysten) Relativt tyngre vann vil til gjengjeld tvinges mot overflaten når vinden blåser med kysten til venstre (for eksempel nordlig vind på

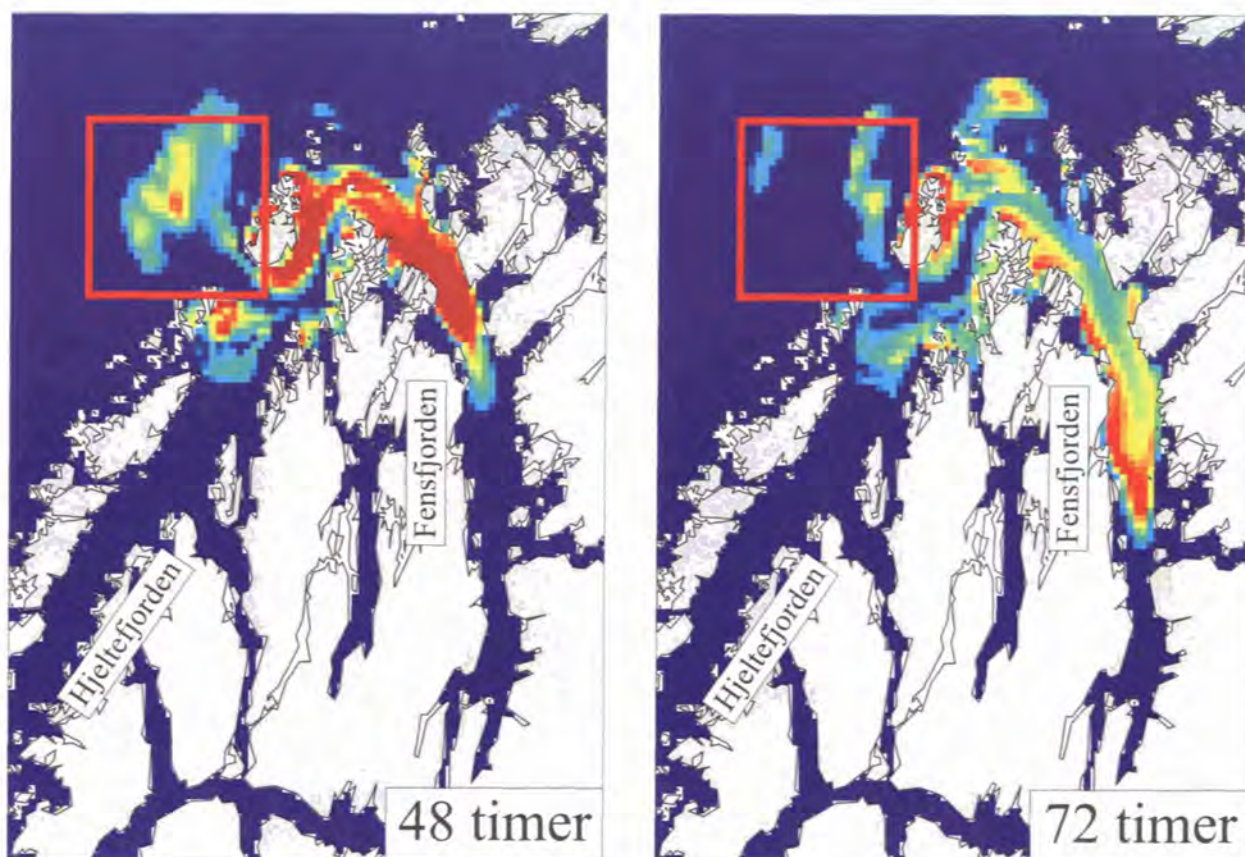


Figur 5.12 Strømvektorer (i hvert andre gitterpunkt) og fart i 10 meters dyp etter 24 og 48 timer ved numerisk simulering av sørlig liten kuling langs kysten utenfor Bergen.
Current vectors (every second grid node) and speed at 10 m depth after 24 and 48 hours after a numerical simulation of southerly force 6 (12 m s^{-1} wind) along the coast outside Bergen.

vestlandskysten). Dette kalles ned- eller oppstrømning ved kyst (engelsk: coastal downwelling/upwelling). Siden kystlinjen ikke er kontinuerlig, men består av en rekke øyer og fjordmunninger, vil det være områder der det øvre vannlaget uhindret kan fortsette horisontalt (for eksempel inn en fjordmunning). Dette gir opphav til indre, horisontale trykkforskjeller. En slik situasjon som oppstår gradvis når det blåser langs kysten, skaper en ubalanse for vannmassene, og disse vil måtte justere seg slik at en kraftbalanse etableres. Siden vannmassene er lagdelt (med stadig tyngre vann nedover i dypet) og siden jorda roterer, vil opprettelsen av denne kraftbalansen skape en indre, kystfanget bølge. Denne indre bølgen kan bare forplante seg langs en kyst der den har land til høyre for forplantningsretning. Forplantningshastigheten vil være 25-50 km/døgn. Bak bølgefronten etableres det en strøm langs land. En bølge forårsaket av nedstrømmende vann langs kysten (sønnvind på

vestlandskysten) vil skape strøm i samme retning som bølgens forplantningsretning (det vil si vanligvis inn i fjordene) mens en bølge forårsaket av oppstrømmende vann langs kysten (nordavind på vestlandskysten) vil forårsake strøm som er rettet motsatt av bølgens forplantningsretning (det vil si vanligvis ut av fjordene). Strømhastighetene ligger typisk rundt 0,2-0,3 m/s og strømmen rekker ned til 20-30 meters dyp når bølgen er laget av nedstrømmende vann og til 10-20 meter når bølgen er skapt av oppstrømmende vann. Bredden av en strømkanal er typisk 3-5 km. Transporten av vann forbundet med denne prosessen er av størrelsesorden 1000 til 10000 m^3/s .

Det er lettest å forstå betydningen av denne fysiske prosessen for forflytning av vannmasser når man studerer resultatene av numeriske beregninger. Slike numeriske beregninger er for eksempel gjennomført for en situasjon med en



Figur 5.13 Spredning av en merket vannmasse i 10 m dyp etter 48 og 72 timers simulering av sørlig liten kuling langs kysten utenfor Bergen. Vannmassens opprinnelige posisjon er markert med den røde firkanten.

Transport of a tracer water mass at 10 m depth after 48 and 72 hours after a numerical simulation of southerly force 6 (12 m s^{-1} wind) along the coast outside Bergen. The initial position of the tracer water mass is indicated by the red quadrangle.

sørlig vind langs kysten utenfor Bergen. Modellområdet er oppløst med et 500 meter horisontalt gitter. For enkelhets skyld er bunnen flat med dybde 100 meter. Vannmassene er svakt sjiktet, med en saltholdighet på 32 i overflaten og 34 under 50 meters dyp. Vinden er rettet langs kysten, slik at forflytningen av vannet i de øvre 10 meter går mot land. Vindstyrken er 11 m/s. I Fensfjorden er det vindstille. Etter 24 timer med denne vinden er det etablert flere indre kystfangete bølger som er i ferd med å forplante seg innover fra kysten. Fig. 5.12 viser strømvektorer og strømmen i 10 meters dyp, og vi kan etter 24 timers simulering se en bølge på vei inn Fensfjorden og en bølge på vei ut Hjeltefjorden (i samme retning som vinden blåser). Forplantningen av bølgen i Hjeltefjorden stopper når den møter bakre del av bølgen som er på vei inn Fens-

fjorden, og det settes opp en strømvirvel som roterer mot klokka (syklonisk). Etter 48 timer har bølgen som er på vei inn Fensfjorden nådd helt inn til fjordenden. Det er da etablert en strøm fra kysten og inn hele Fensfjorden med hastighet på ca. 0,2 m/s i de øvre 30 m og med en svakere motsatt rettet strøm dypere ned.

Selve forflytningen av vannmasser er illustrert ved at vi har merket og fulgt en vannmasse som opprinnelig befant seg ute ved kysten (rød firkant på fig. 5.13). Posisjonen til denne vannmassen etter 48 og 72 timer i 10 meters dyp er vist i fig. 5.13. Selv om vannmassen naturlig nok fortynnes noe (blir mindre rød på figuren), er størstedelen likevel fraktet inn Fensfjorden. Den samme forflytning vil skje med alt som driver passivt med vannmassene, som for eksempel planteplankton

(inkludert giftige alger), dyreplankton, lakseluslarver eller ymse forurensning. Resultatene fra denne simuleringen viser bare en komponent av den totale og naturlige strømmen som egentlig er satt sammen av en rekke delkomponenter. Det

er likevel sannsynlig at denne viste strømkomponenten er viktig, især for forflytningen av vannlaget umiddelbart under den direkte vind-drevne og den estuarine sirkulasjonen (det vil si vannlaget fra 10-30 meter).

Innledning

En rik produksjon av planteplankton i våre kyst og fjordområder er avhengig av tilstrekkelig lys, næringssalter og karbondioksyd. Hver vinter bygger det seg opp høye verdier av næringssalter, og i mars måned starter vårbloomstringen i kyst og fjordområdene. Denne har en varighet på ca tre uker. Den hektiske produksjonen under vårbloomstringen bidrar med hele 50-60 % av årsproduksjonen av planteplankton i kyst- og fjordområdene. Resten av året, fram til september - oktober er det lave næringssaltkonsentrasjoner i øvre lag og produksjonen pr tidsenhet er vesentlig mindre enn under vårbloomstringen. I fjordene er produksjonen av nytt plankton i perioden fra april til oktober for en stor del avhengig av begrensede tilførsler av næringssalter fra elver og fra dypvannet gjennom vertikal blanding. Siden produksjon av planteplankton alltid forutsetter tilgang på lys, er produksjonen i kyst- og fjordområdene begrenset til de øverste 30 meter av vannsøylen (produksjonssonen).

Oppstrømning

I såkalte oppstrømningsområder skjer det en kontinuerlig tilførsel av næringsrikt dypvann til overflatelaget. Verdens best kjente oppstrømningsområde finner vi utenfor kysten av Peru. I områder med sterk oppstrømning skjer det en meget høy primærproduksjon pr flateenhet og produksjonen av plankton i oppstrømningsområdene er tre-fire ganger større enn i typiske kystområder. Fiskeproduksjonen her er også betydelig større enn i typiske kystområder og en tror at årsaken til dette er etablering av korte, effektive næringskjeder knyttet til den kontinuerlige tilførselen av næringsrikt dypvann.

Det har vært gjort flere forsøk på å skape kunstig oppstrømning i hav- og kystområder rundt om i verden. Et pågående forsøk i Japan går for eks-

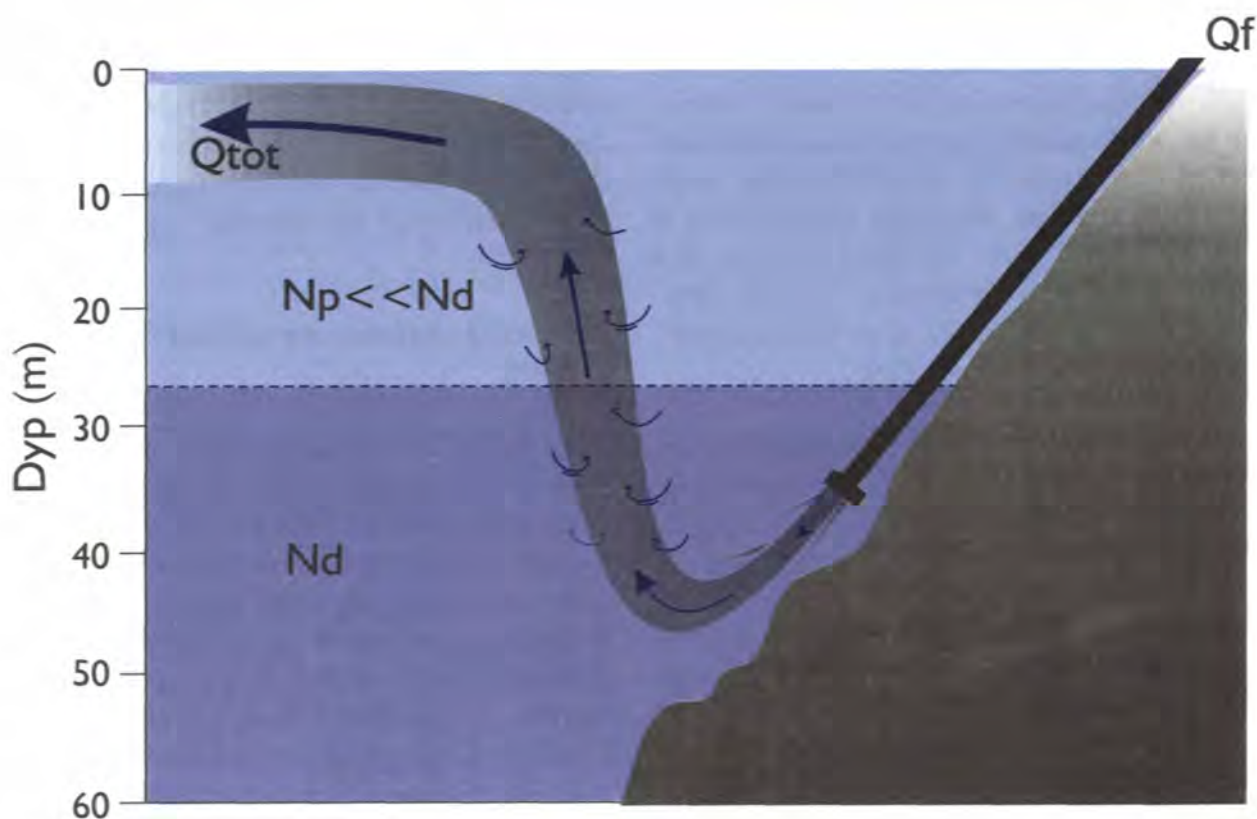
empel ut på å undersøke muligheten for å skape kunstig oppstrømning ved å bygge betongkonstruksjoner på havbunnen.

I Norge har det ikke vært gjort storskalaforsøk med kunstig oppstrømning for å øke primærproduksjonen. I en del poller har man imidlertid benyttet direkte gjødsling for å øke produksjonen, og styre algesammensetningen for produksjon av fiskeyngel og øke tilveksten av østers. Norske fjorder bør imidlertid egne seg godt for å utprøve kunstig oppstrømning grunnet av deres begrensede størrelse, rikelig tilgang på næringssalter under ca 30 meter dyp og god tilgang på ferskvann som kan brukes til å transportere næringssalter opp i produksjonssonen. Den mest effektive utnyttelse av økt produksjon ved kunstig oppstrømning i norske fjorder vil trolig kunne skje gjennom økt dyrking av skjell.

Hvordan kan næringsrikt vann bringes opp i produksjonssonen?

For å transportere næringsrikt dypvann opp mot overflatelaget kreves energi. Metodikken kan baseres på dykkete ferskvannsutslipp (det vil si ferskvann som føres kunstig ned til et egnet dyp før det slippes i sjøen), på utslipp av luft og på store strømsettere. Den mest aktuelle metoden er å bruke dykkete ferskvannsutslipp hvor ferskvann blander seg med næringsrikt dypvann opp mot overflatelaget (fig. 5.14). Et dykket ferskvannsutslipp må konstrueres slik at vi får maksimal transport av dypvann opp til produksjonslaget.

Foreløpige beregninger utført innenfor prosjektet FJORDCULT viser at et ferskvannsutslipp på ca 6 m³/s med fallhøyde på ca 20 meter som blir dykket ned til ca 40 meters dyp, kan transportere omlag 100 m³/s næringsrikt dypvann opp til 5 - 10 meters dyp. Med andre ord vil 1 m³ neddykket



Figur 5.14 Prinsippskisse av dykket utslipp av ferskvann for transport av næringsrikt dypvann til øvre lag. Q_{tot} er totalt tilført vann til øvre lag og Q_f er ferskvannstilførsel. N_d og N_p er næringsalkonsentrasjoner.

Principle for subsurface release of fresh water into a fiord in order to generate continuous upwelling of nutritious deep water masses. Q_f denotes volume flow of input fresh water. Q_{tot} denotes the resulting total water volume brought to the upper layer when Q_f mixes with the surrounding water and rises to the surface.

ferskvann kunne bringe opp ca 15 m^3 med næringsrikt fjordvann. Konsentrasjonen av næringsalter i oppstrømningsvannet som innlagres i øvre lag vil være omlag 70 % av konsentrasjonen i dypvannet.

Når et dykket ferskvannsutslipp stiger opp mot overflatelaget, fra for eksempel 40 meters dyp, vil det gjennom innblanding av sjøvann også tilføres organiske partikler som finnes i sjøvannet. Dermed vil sjiktet mellom 5-10 meters dyp, i tillegg til nye næringsalter, også kunne tilføres betydelige mengder organisk materiale.

Større ferskvannsutslipp fra vannkraftverk ($20\text{-}50 \text{ m}^3/\text{s}$) vil kunne dykkes til dyp større enn 30 meter uten stort falltap og derved kunne transportere betydelige mengder næringsrikt dypvann til overflatelaget.

I Norge har vi to slike "større" dykkete fersk-

vannsutslipp fra vannkraftverk. Det ene ligger i Aurlandsfjorden, og det andre finner vi i Gaupnefjorden i Sogn og Fjordane fylke. De nevnte utslippene rekker imidlertid bare ned til 25-30 meters dyp, og stikker derfor ikke dypt nok ned til å gi vesentlige effekter på primærproduksjonen.

Modellering av planteplankton i fjorder med og uten kunstig oppstrømning

Ved hjelp av en endimensjonal primærproduksjonsmodell har vi beregnet den relative økning i produksjonen i et fjordområde når øvre lag tilføres næringsrikt dypvann. Den biologiske primærproduksjonsmodellen er en forenklet utgave av primærproduksjonsmodulen i havmodellen NORWECOM. Hovedkomponentene i modellen er lys, nitrat, fosfat og silikat, samt produksjon og biomasse av kiselalger (diatomeer) og flagellater.

Modellen simulerer en vannkolonne fra overflaten til 30 meters dyp og er inndelt i bokser med vertikal utstrekning på 0.5 meter. Dette er en forenklet modell, først og fremst fordi horisontale transporter og vertikalblanding er for dårlig representert. Modellen som benyttes er enkel og lett å bruke og egner seg godt til å avdekke relative forskjeller i produksjonsforholdene når det skjer store forandringer i mengden tilførte næringsalter.

Lysnivåene som er benyttet i modellen tilsvarende gode sommerforhold og det er også tatt hensyn til vertikal lyssvekning på grunn av selvskygging fra algene. Startverdiene av næringsalter er delvis bestemt på grunnlag av observerte verdier i Samnangerfjorden ved Bergen i april 1999. Resultatene viste seg å være følsomme for valget av disse startverdiene (og slik er det kanskje i naturen også?). Tilførselen av næringsrikt dypvann til produksjonssonen baserer seg på resultatene fra FJORDCULT (se over). Vi antar at det tilføres en volumfluks på 50 og 100 m³/s blandingsvann (ferskvann og sjøvann) til sjiktet mellom 9 og 11.5 metes dyp (det vil si 5 vertikale bokser). Næringsalterene i det tilførte blandingsvannet tilsvarte ca 70 % av konsentrasjonen i vannmassene på 40 meters dyp. Vi antok også at de tilførte næringsalterene ble likt fordelt over en fjordoverflate på 30 km².

Når modellen ble kjørt uten kunstig oppstrømning av vann, skjedde den største produksjonen i et vertikalt sjikt (5-15 meter) hvor det fortsatt var tilgjengelig silikat for diatomeproduksjon. En svak flagellatproduksjon fant også sted på ca 2 meters dyp, det vil si i et dyp med minimum diatomeproduksjon.

Produksjon og algesammensetning ved kunstig oppstrømning ble også simulert for en periode med 30 dagers solskinn som førte til en dominerende diatomeblomstring og en gryende flagellatblomstring. Ved å beregne total produksjon i gram karbon per flateenhet, fant vi at produksjonen økte med en faktor på to - tre når tilførselen av næringsrikt dypvann (blandingsvann) til produksjonslaget økte til ca 100 m³/s (figur 5.15).

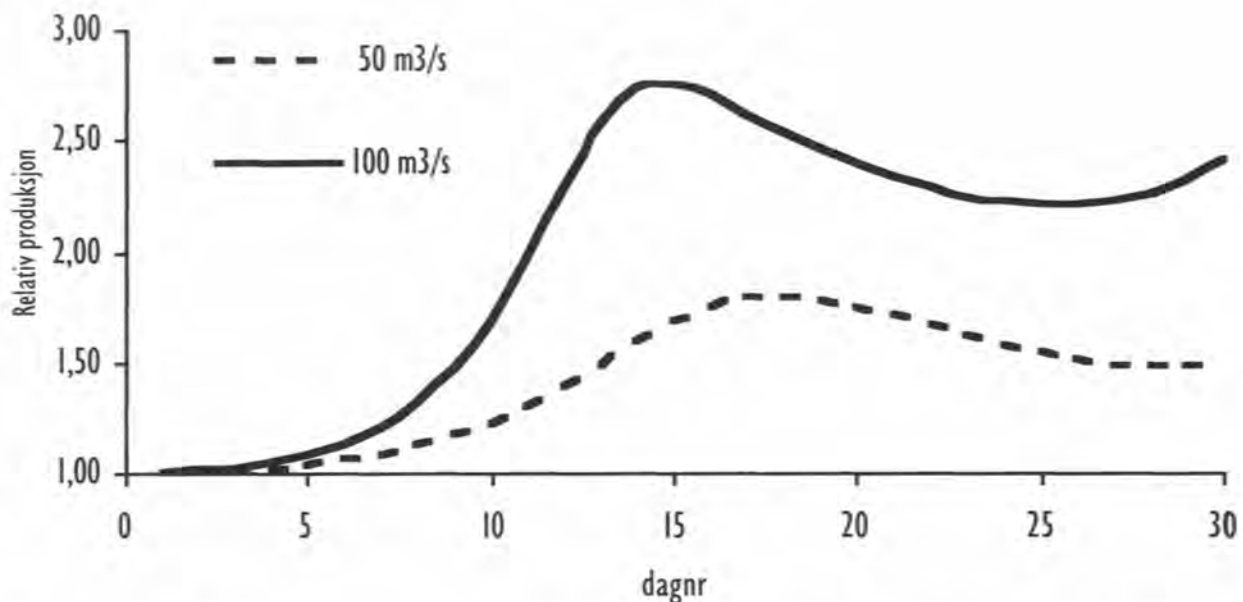
I et naturlig fjordsystem vil konsentrasjonene og sammensetningen av næringsalter i dypvannet variere gjennom produksjonssesongen. Perioder med høyere næringsalterverdier skaper økt produksjon mens relativt høyere silikat- og fosfatverdier vil henholdsvis gi økt diatome- og flagellatproduksjon.

Kan kunstig oppstrømning utnyttes til dyrking av skjell?

Våre fjorder er i utgangspunktet meget godt egnet for skjellproduksjon, i første rekke med tanke på dyrking av blåskjell. De gode vekstforhold for blåskjell i fjorder kan forklares med gode fødeforhold i og under sprangsjiktet, og at blåskjellene er mer robuste for brakkevannspåvirkning enn organismer som konkurrerer i mer marint miljø. Problemet er giftige alger. Forekomstene av giftige alger har til nå vært en avgjørende hindring for næringsutviklingen. Alger i for eksempel slekten *Dinophysis* sp er oppkonsentrert i sprangskiktet, mellom brakkevannslaget i overflaten og det saltene sjøvannet under, og skjell som spiser disse algene kan forårsake diare (Diaregivende algegift - DSP) hos mennesker ved konsum.

Skjell lever av mikroskopiske partikler som svever i vannet, og av disse partiklene utgjør planteplankton den viktigste maten. Skjellene fanger partiklene ved å pumpe vann forbi gjellene som ligger utspilt inne i dyret. På gjelleoverflaten (gitter-struktur) sitter det små bevegelige hår (cilier) som både sørger for å sette opp en vannstrøm gjennom dyret og over gjellene. Et voksent blåskjell kan pumpe i størrelsesorden 10 liter per time og fra dette vannet fjerner det alle partikler større enn bare noen få tusendels millimeter med nærmere 100 % effektivitet. Skjell har en derfor en enorm evne til både å fange fødepartikler i sjøen og til å omsette disse til høyverdig sjømat.

Omlag 25 % av nitrogenet i fødepartiklene som skjellene filtrerer fra vannmassene går til produksjon av skjellmat, 25 % blir ikke tatt opp og returnert som partikulær avføring, mens 50 % er metabolske avfallsprodukter (ammonium) som straks blir til ny næring for omgivende planteplankton.



Figur 5.15 Relativ produksjon av planteplankton i forhold til naturlig produksjon i mai for tilførsler av 50 og 100 m³/s (Q_{tot}) til øvre lag (se figur 5.14).
Relative increase in phytoplankton production due to forced upwelling of nutritious deep water. Dotted line: Production increase for upwelling flow $Q_{tot} = 50$ cubic m/s. Continuous line: Production increase for upwelling flow $Q_{tot} = 100$ cubic m/s.

Skjell er biologisk tilpasset til å kunne utnytte fødetilgang innenfor naturlige svingninger med hensyn til konsentrasjon av partikler og strømhastighet (transport av føde til skjellene). Blåskjell og østers som lever på grunt vann, ofte i innelukkete områder, klarer å utnytte relativt store svingninger og høye fødekonsentrasjoner, mens kamskjell som lever dypere utnytter høye fødekonsentrasjoner dårlig (se Havbruksrapport 1999). Ved dyrking av blåskjell, er det viktig å plassere bærelinene slik at skjellene får optimal vekst i forhold til fødetilgangen.

Vi har mange gode eksempler på at skjell er særdeles effektive som regulerende organisme i kystnære og særlig innelukkete økosystemer. I naturlig bunnmiljø kan det sitte fra 10 til 50 kg skjell per kvadratmeter. Hver kvadratmeter med skjelldekket bunn filtrerer i størrelsesorden 100 m³ vann per døgn. Dersom skjellene kan holdes i vannsøylen istedenfor på bunn, vil de vokse spesielt hurtig fordi hengende skjell mottar føde fra flere retninger. Blåskjell som dyrkes i vannsøylen på vertikale fester (tau, bånd, strømper etc.) vokser godt ved en biomasse- konsentrasjon på opp til 100-200 kg per m². Forutsatt

hensiktsmessig dimensjonering og plassering i forhold til dyp og i forhold til horisontal transportert næring, vil skjellanlegg ha store muligheter til å utnytte den økte planktonproduksjon som kunstig oppstrømning vil skape.

Når skjellene fjerner fødepartikler fra vannet fortere enn vannstrømmen makter å tilføre nye oppstår fødebegrensning. Konsentrasjonen av fødepartikler vil spesielt ofte avta nedstrøms i et anlegg og det finnes mange eksempler på at skjellbestander i store systemer (bukter, sund, innelukkete brakkvannsområder etc) beiter ned mikroorganismene i vannsøylen. Skjellenes beipotensial kan derfor variere over en vid skala.

Økt planteplanktonproduksjon som følge av kunstig oppstrømning vil føre til økt konsentrasjon av fødepartikler for skjell. Det kan imidlertid oppstå sterk konkurranse om denne nye maten, særlig fra dyreplankton. Skal økt planteplanktonproduksjon derfor resultere i en betydelig økt produksjon av skjell, forutsettes det at skjellene plasseres på en slik måte at de i størst mulig grad utnytter den økte produksjonen av planteplankton.

Modellberegningene viser i tillegg at kunstig oppstrømning vil skape en relativ forskyvning i planktonsamfunnet i retning mot økt diatome-dominans. Dette er et viktig resultat. En reduksjon i forekomsten av *Dinophysis*-algene, parallelt med økt konsentrasjon av fødepartikler som ikke er giftige kan vise seg å være gull verd. Det betyr at kunstig oppstrømning i våre fjorder både kan mangedoble fjordens skjellproduksjonsevne og samtidig redusere forekomstene av giftproduserende flagellatalger.

Samnangerfjorden som feltlaboratorium

I 1998 ble det igangsatt et prosjekt (FJORD-CULT), under forskningsprogrammet MARI-CULT, som har som hovedmål å analysere mulighetene og eventuelle hindringer for økt biologisk produksjon i fjorder ved kunstig oppstrømning av næringsrikt dypvann. Innledningsvis ble det utført teoretiske beregninger for hvor mye næringsrikt dypvann som under ulike grensebetingelser vil føres opp til produksjonslaget ved hjelp av ferskvann (kunstig oppstrøm-

ning). I 1999 kartla vi de naturgitte miljøforhold i Samnangerfjorden ved Bergen. Grunnen for at Samnangerfjorden ble valgt til forsøksfjord er dens hensiktsmessige størrelse (30 km²) og ikke minst tilgang på ferskvann (ca 3-6 m³/s) med fallhøyde på ca 20 meter fra en demning til fjorden.

Utslippssystemet som skal tilføre produksjons-sonen næringsrikt dypvann (se figur 5.14) er ennå ikke på plass, og det arbeides for tiden med å finansiere denne delen av prosjektet.

Når utslippssystemet og den kunstige oppstrømning av dypvann i Samnangerfjorden først er etablert, har vi store muligheter i vente. Samnangerfjordprosjektet vil trolig for første gang kunne vise hvordan et naturlig økosystem i en større fjord i praksis responderer på en kontinuerlig og balansert næringsstofftilførsel til produksjons-sonen. Gjennom prosjektet vil vi også kunne analysere de økte biologiske vekstmuligheter og samtidig bli i stand til å avklare det kommersielle potensial for dyrking av for eksempel blåskjell i høyproduktive fjorder.

Fiskebestandene langs norskekysten varierer periodevis betydelig i mengde. Dette er et faktum som Kystnorge har levd med i århundrer. Historien forteller om perioder hvor sild og torsk var til stede i rikt monn, beriket bygder og byer i flere tiår - for så å forsvinne mer eller mindre helt - også i mange tiår. Mange kystsamfunn ble tuftet på rikdommen som havet ga i de gode sildeperiodene, og det er ingen overdrivelse å si at silda har spilt en sentral rolle i utviklingen av levekårene langs kysten gjennom store deler av det siste årtusen. Ikke bare i form av en sunn næringskilde, men også i utviklingen av nasjonal og internasjonal handel.

De naturlige variasjonene i fiskemengde (særlig av sild og torsk) var altså velkjente lenge før norsk havforskning ble startet for omtrent hundre år siden. Det var disse variasjonene og vissheten om deres betydning for befolkningen langs kysten som fikk pionerene i vår marine forskning (Johan Hjort med flere) til å starte det møysommelige arbeidet med å finne årsaken til hvorfor mengdene varierer så mye. Det var i disse variasjonene at selve grunnlaget for norsk havforskning lå. I dag, hundre år etter starten, har vi fremdeles ikke et fullgodt svar på hvorfor fiskemengdene varierer slik de gjør, men vi er kommet et godt stykke på vei i forståelsen.

I løpet av det siste århundret er det blitt utviklet redskap og metodikk slik at vi nå kan måle bestandsmengdene og variasjonene i årskullenes tallrikhet (årsklassestyrke) med rimelig god grad av sikkerhet. Videre er det blitt utviklet metodikk til å analysere fiskebestandenes historiske utvikling, og vi har kunnskap om de viktigste bestandenes biologi, samspill og evne til å reprodusere seg (produksjonspotensial) i form av rekruttering og vekst. Noe vi fremdeles ikke behersker fullt ut, er å kunne forklare årsaken til at visse årsklasser blir sterke, mens andre blir svake. Med det samme utgangspunktet - samme

bestandsmengde som gyter - har historien vist at resultatet av gytingen kan variere kraftig, og det er ingen selvfølge at en sterk gytebestand produserer en god årsklasse.

Miljøets betydning

Miljøet betyr tilsynelatende mye for antall rekrutter som produseres etter en fiskebestands gyting. Tidlig ble man klar over at en årsklasses styrke avgjøres under det første leveåret, og at det er mange faktorer som kan bestemme det endelige utfallet. Er det nok mat for ungfisken i det første, kritiske halvåret? Er det mye rovdyr som fisk, fugl eller maneter som kan spise larver eller yngel? Har temperaturen i vannmassene der de nyklekte fiskelarvene oppholder seg en direkte betydning for overlevelsen? Det er mange spørsmål og få sikre svar. For noen bestander har vi imidlertid klart å isolere påvisbare og repeterende sammenhenger mellom miljø og rekrutteringssuksess. Variasjonene i årsklassestyrke er imidlertid store, og det samme gjelder variasjonene i miljøbetingelsene. Sammenhengene trer gjerne derfor først frem når vi sammenligner lange tidsserier som viser trender og mønstre over lang tid. Med lange tidsserier mener vi i denne sammenheng datarekker som strekker seg over mer enn 50 år.

Systematisk aldersbestemmelse - nøkkelen til tilbakeberegnet gytebestand

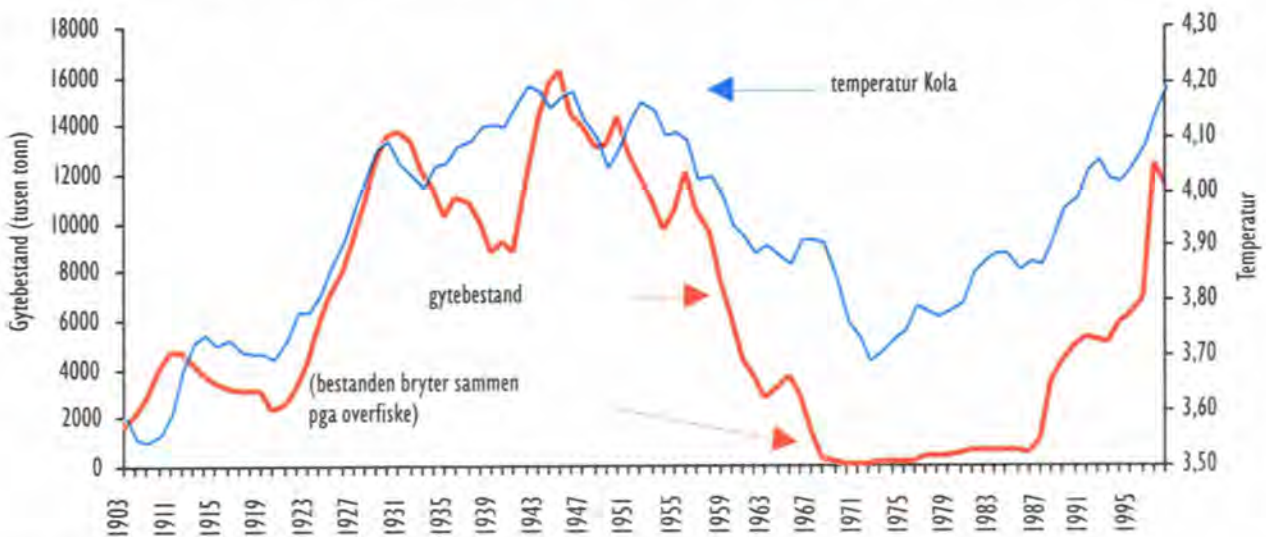
Havforskningsinstituttet startet med systematiske undersøkelser av viktige fiskebestander for omlag hundre år siden. Et viktig element var aldersbestemmelse av fisk - for ved å bestemme alderen kan man finne ut hvilke årsklasser som er sterke og hvilke som er svake i en fiskebestand. For torsk og sild fikk man forholdsvis raskt på plass fullgode teknikker for aldersbestemmelse, og de opprinnelige teknikkene er fremdeles i bruk. Vi er også i den heldige situa-

sjonen at for norsk vårgytende sild har aldersbestemmelsen vært gjort på et kvalitativt høyt nivå gjennom hele perioden. Dette har gitt oss en helt unik tidsserie av biologiske data som nå kan nyttes til studier av viktige sammenhenger for styrende prosesser i denne bestanden.

Nylig ble den eldre delen (fra før 1950) av den lange tidsserien av biologiske data for norsk vårgytende sild tilrettelagt slik at det ble mulig å tilbakeberegne årlig gytebestandsbiomasse til 1907 - det året da innsamlingen av det biologiske materialet startet. Grunnlaget for beregningene er den årlige fangststatistikken og siste års mengdemåling av bestanden. Videre nyttes det biologiske prøver fra det aktuelle fisket som avslører alderssammensetningen i bestanden og middelvekten for hver aldersgruppe. Man beregner så, for hvert år, antall fangete individer i hver aldersgruppe. For hver årsklasse regner man seg så tilbake, år for år, ved å legge til antall fangete individer og justere for naturlig dødelighet. Det eksakte nivået på den naturlige dødeligheten er vanskelig å beregne, men ved gjentatte mengde-

målinger og ved å beregne hvor mange år de ulike årsklassene er til stede i bestanden, får man et rimelig godt inntrykk av dødeligheten.

Beregnet gytebestandsbiomasse for norsk vårgytende sild for perioden 1907 - 1998 viser at sildemengden fluktuerer over forholdsvis lange perioder. Etter århundreskiftet var gytebestanden på beskjedne 2 millioner tonn. Dette er et lavt nivå for denne bestanden. Fra 1920-årene og i løpet av de følgende tiår, vokste bestanden kraftig og nådde et toppnivå i mengde på ca 16 millioner tonn i 1945. Deretter fikk bestanden en kraftig tilbakegang som endte med et totalt sammenbrudd på slutten av 60-tallet. I 1972 ble bestandsnivået beregnet til beskjedne 2 000 tonn, og i årene 1969 - 1975 har vi beregnet at bestanden må ha vært mindre enn 100 000 tonn. Bestanden bygget seg så langsomt opp igjen utover i 70- og 80-årene. Som følge av god rekruttering fra årskullet 1983, vokste bestanden kraftig på slutten av 1980-årene. Rundt 1990 kom flere gode årsklasser til, og bestanden har økt til et nivå rundt 10 millioner tonn i løpet av det siste decennium.



Figur 5.16 Variasjoner i gytebestanden til norsk vårgytende sild mellom 1907 og 1999 relatert til samtidige klimaendringer i sildas oppvekstområde.
 Rød linje: Beregnede variasjoner i gytebestanden.
 Blå linje: Årsmiddeltemperaturer i Kolasnittet.
Calculated variations in the spawning stock of Norwegian spring spawning herring between 1907 and 1999 in relation to contemporary climatic changes in its nursery and feeding area.
Red line: Historical variations in spawning stock.
Blue line: Corresponding changes in the surrounding water temperature (In the late 1960s the stock collapsed due to extensive overfishing. Following strict regulations in fisheries the stock gradually recovered).

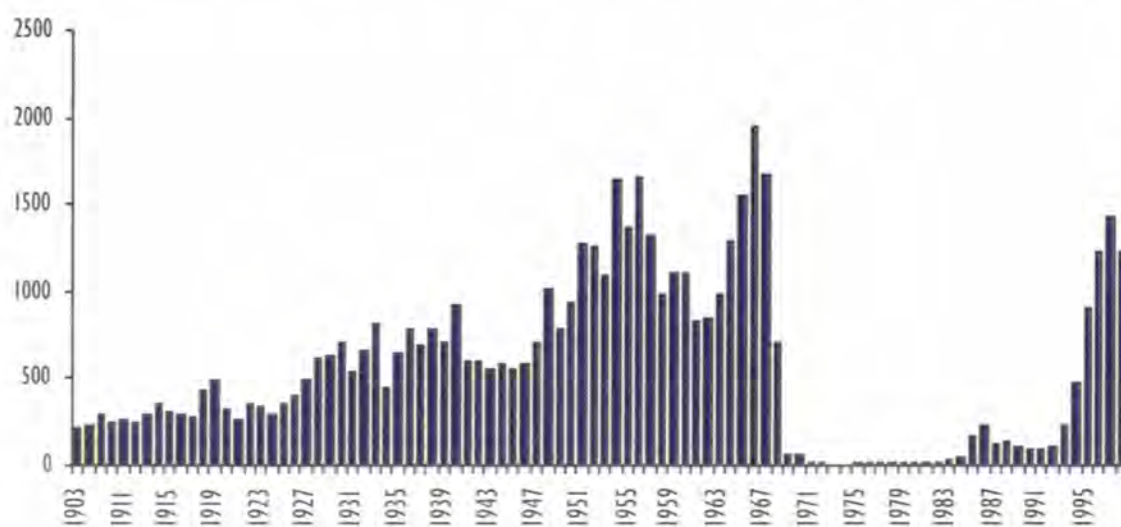
Bestandsvariasjoner og klimasvingninger

Hvorfor disse enorme svingningene, og hva forsårsaket sammenbruddet på 60-tallet? Det store fisket i løpet av 50- og 60-årene, der det blant annet ble tatt meget store mengder småsild og ungsild, fremstod den gang som forklaringen på at bestanden brøt totalt sammen. Er denne forklaringen fullgod?

I de senere årene har man begynt å studere sammenhengen mellom variasjonene i fiskebestandenes mengde og temperatursvingningene i de vannmassene som fiskebestandene lever i. En lang tidsserie over temperatur i våre farvann er målingene langs det såkalte Kola-snittet i Barentshavet. Dette er et sett av stasjoner hvor temperaturen måles flere ganger hvert år langs en linje nord for Kolahalvøya. Denne serien av målinger, som strekker seg gjennom 100 år, gir et godt bilde av temperaturvariasjonene i oppvekstområdene for flere av våre viktigste fiskebestander, blant annet torsk og sild.

I fig. 5.16 er langtidsvariasjonen i årsmiddelet for temperaturen på Kola-snittet vist sammen med den beregnede mengde gytebestand av sild. Lang-

tidsvariasjonen i temperaturen i havet viser at vi hadde et forholdsvis kjølig klima rundt århundreskiftet. Temperaturen økte utover mot 1920- og 30-årene, for så å falle igjen til et lavere nivå - med en ny kjølig periode på slutten av 60-tallet. Senere har temperaturen i havet steget, og vi er nå inne i en ny varm periode. Vi ser at kurven over utviklingen av sildebestanden følger temperaturkurven godt, og det kan ikke være noen tvil om at det er en sammenheng mellom variasjonene i temperaturen i havet og fluktuasjonene i sildemengde. Hva som er årsaken til denne sammenhengen er imidlertid ikke fastlagt. Vi vet imidlertid at etter kalde vintre langs kysten er det svært liten sjanse for god rekruttering, mens etter milde vintre - med stor lavtrykksaktivitet - er sjansene betydelig større. Den direkte årsaken til dette er uvisst, men virkningsmekanismen av klimaet på rekrutteringen kan være følgende: Næringstilgangen kan bli bedre ved høyere temperatur, og dermed forbedret vekst. Høyere temperatur har også en direkte positiv virkning på veksten hos larver. Larvene blir større og kommer seg lettere unna naturlige fiender. Økt innstrømming av varmt vann mot norskekysten kan også endre det generelle strømbildet og føre larvene inn i områder som er mer gunstig. Økt



Figur 5.17 Fangstuttak av norsk vårgytende sild 1907 - 1999. Det store uttaket i slutten av 1960-tallet, i en periode med synkende havtemperaturer, forårsaket sammenbrudd av sildebestanden.

Landed captures of Norwegian spring spawning herring between 1907 and 1999. The extensive fishing in the end of the 1960s, in a period when the sea water was cooling down, had a disastrous effect on the stock size.

temperatur kan også påvirke larver og ungfisk rent fysiologisk, på en slik måte at de svømmer raskere og slipper lettere unna fiender.

Dersom det er riktig at miljøet i stor grad bestemmer enkelte fiskebestanders utvikling, - har fisket da mindre å si for disse bestandenes utvikling enn vi har trodd, og vil det bli mindre behov for reguleringer? *Bestandsanalysen av norsk vårgytende sild viser at miljøet sannsynligvis har hatt mye å si for utviklingen av bestanden, og at bestanden trolig også i fremtiden vil variere ganske kraftig i mengde.* Som følge av dårlige miljøforhold og hardere klima, sviktet rekrutteringen til bestanden i løpet av 40- og 50-årene og bestanden var i en naturlig kraftig tilbakegang i denne perioden. Litt senere, på 50- og 60-tallet, utviklet fiskeriene seg sterkt (se fig. 5.17), og årlig uttak av bestanden kom opp på et nivå på rundt 1,2 millioner tonn. Tidlig på 60-tallet ble kraftblokken innført på ringnotsnurperne, og dette økte deres effektivitet vesentlig. Utover på 60-tallet ble det dessuten fisket store mengder ungfisk. Det store fangstuttaket som foregikk var nok

den største årsaken til at bestanden brøt sammen. At det var et kaldt klima, og at forholdene var dårlige for god rekruttering gjorde ikke situasjonen bedre. Utover på 70-tallet ble det innført strenge reguleringer av norsk vårgytende sild, - reguleringer som blant annet satte forbud mot fiske av småsild. Videre er fisket etter stor kjønnsmoden sild siden blitt sterkt regulert med avtaler om kvoter, også i internasjonalt farvann. Reguleringer av kvotenivå, også når bestandene er i god forfatning, vil sikre en optimal beskatning av bestandene på lengre sikt. Videre er det viktig å være oppmerksom på at når miljøforholdene er ugunstige over lengre tid, blir bestandene mer følsomme for beskatning. Derfor er det så viktig med regelmessig overvåking av både miljø og fiskebestander. De store fluktuasjonene i bestandsmengde ser det imidlertid ut som om at det er lite å gjøre noe med - naturens svingninger lar seg neppe regulere bort. Nye sammenbrudd bør imidlertid kunne unngås gjennom regelmessig overvåking og ved en fornuftig forvaltningspolitikk som tar hensyn til miljøutviklingen.

Biologiske og klimastyrte relasjoner mellom sild, lodde og torsk i Norskehavet og Barentshavet

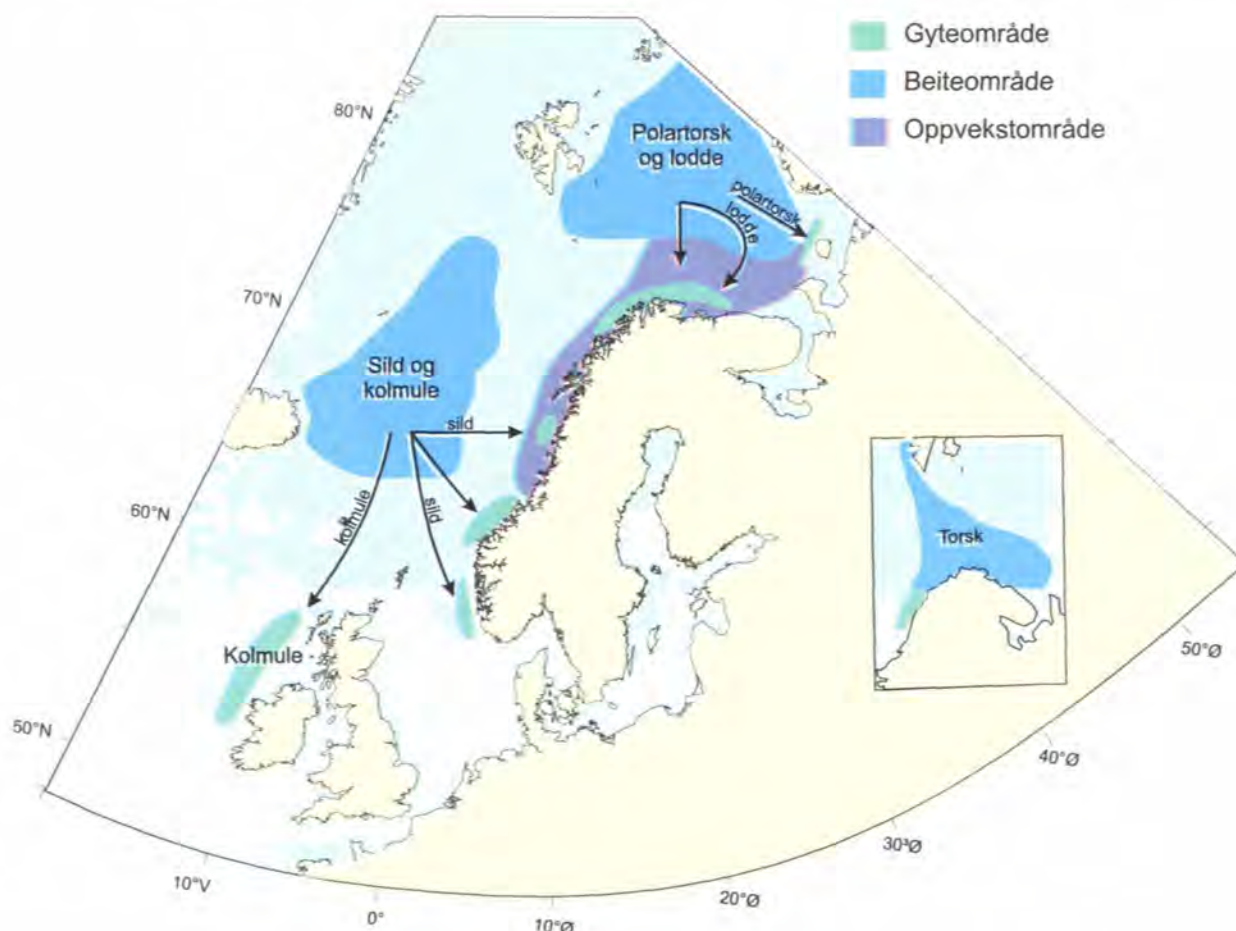
Johannes Hamre

Innledning

Fiske har alltid vært et usikkert levebrød med perioder av gode og magre år. Dette skyldes naturlige variasjoner i tilgjengeligheten av fisk som både henger sammen med klimaforandringer og konkurranseforhold bestandene i mellom. I nyere tid er det kommet til et nytt element som forsterker denne usikkerheten, overbeskatning. Dette at vi fisker mer enn det overskudd havet produserer. Det siste er et selvskapt problem som vi kan gjøre noe med, og det vi gjør kalles forvaltning. De naturlige

forandringene i produksjonsforholdene må vi leve med, men for å kunne forvalte fornuftig og rasjonelt, må vi kjenne årsakene til forandringene. Først når vi skjønner årsaksammenhengene, kan vi tilpasse beskatningen til produksjonen.

Denne artikkelen handler om de økologiske relasjonene mellom klima og fisk og hvordan fisket påvirker systemet. De bestandene det gjelder er sild, lodde og torsk i Norskehavet og Barents-



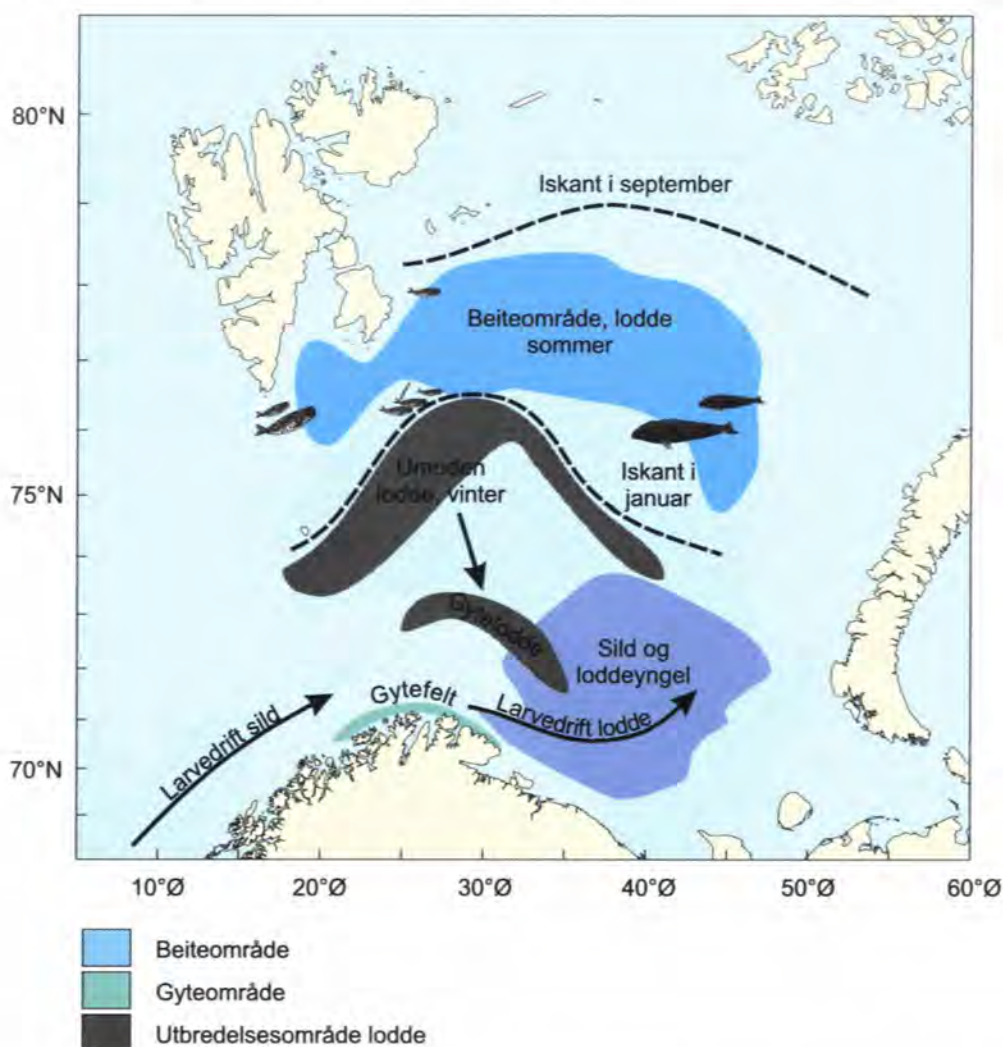
Figur 5.18 Utbredelse og vandringsforhold for de viktigste fiskebestandene i området. *Distribution and migration for dominating fish stocks in the region. The figure shows spawning areas (green), feeding areas (light blue) and nursery areas (violet).*

havet. Sild og lodde er planktonetere som omsetter planktonproduksjonen til fisk av fangstbar størrelse, mens torsken eter sild og lodde.

Strømsystemet som bestemmer vårt havklima

Figur 0.2 viser et bilde av det strømsystemet som bestemmer havklimaet i våre farvann. Bevegelige og næringsrike vannmasser gir grunnlag for stor planktonproduksjon, og hos oss er det to områder som er særlig produktive: Polarfrontområdet i Norskehavet og det marginale isom-

rådet i Barentshavet der havet er åpent om sommeren, men fryser til om vinteren. Disse områdene ligger langt til havs og milelangt fra norskekysten. Skal denne rikdommen komme norskekysten til gode, må noen omforme den og transportere den hit. I Norskehavet er det gyte- og vandrende sild som står for denne transporten, i Barentshavet er det gyte- og vandrende lodde. Derfor er de to planktonetende bestandene av sild og lodde nøkkelbestandene i Norskehavets og Barentshavets økosystemer. Det er tilstanden til disse to bestandene som i stor grad bestemmer vekst



Figur 5.19

Bestandsinteraksjoner og konkurranse om ressursene i Barentshavet.

Barentshavets økobilanse preges av ungsildens beiting på loddeyngel og av ungtorskens beiting på gytelodde. Norsk vårgytende sild er jokersen i spillet. Rike årsklasser av sild bryter næringskjeden og skaper matmangel for torsken.

Interactive feeding and competition for food in the Barents sea.

The ecological game in the Barents sea is dominated by young herring which feeds on the capelin offspring and young cod which feeds on mature capelin. Successful year classes for the Norwegian spring spawning herring will break the food chain and severely shrink the cod's diet.

og tilgjengelighet av alle fisketende dyr på norskekysten. Disse enkle fakta kan forklare hvorfor norskekysten fra Vestlandet til Finnmark er et av verdens rikeste fiskefelt, og hvorfor fiskeforekomstene i området er så variable over tid. Bestandenes biologi forklarer mengden og tilgjengeligheten av fisk, mens endringer i miljøet forklarer variasjonen i forekomstene.

Litt geografi, biologi og økologi

Figur 5.18 viser utbredelsen og vandringene til områdets viktigste planktonpisere. Den voksne bestanden av norsk vårgytende sild beiter langs polarfronten i den sentrale delen av Norskehavet hvor størstedelen av planktonproduksjonen foregår i sommerhalvåret. Silda gyter på kysten av Vestlandet om våren, og dette betyr at all den biomasse den akkumulerer om sommeren blir tilgjengelig for fangst utenfor vestlendingenes stuedør neste vår. Det finnes beregninger som viser at da bestanden i 50-årene var mellom 8 og 12 millioner tonn, så var dens årlige biomasseproduksjon omlag 5 millioner tonn. Det meste av denne produksjonen blir levert til vestlandskysten under gytevandringen. La meg her nevne at 5 millioner tonn biomasse tilsvarer 20 ganger vekten av Norges befolkning. Dette tallet sier noe om dimensjonene i denne ressursen.

I Norskehavet har vi også en stor bestand av kolmule som lever av krill og større planktoniske dyr. Kolmule gyter imidlertid på sokkelen vest av De britiske øyer, og transporterer derved biomasse fra Norskehavet til EU-sonen. Her fiskes den av oss, mot avgift.

Sildeyngelen klekkes i kyststrømmen og driver nordover og inn i den sentrale og sørlige delen av Barentshavet hvor den vokser opp. Den oppholder seg i Barentshavet i tre til fire år. Så vandrer den ut og tilbake til Norskehavet og Vestlandet der den egentlig hører hjemme. Og det er betydelige kvanta sild den tar med seg hjem. Da 1983-årsklassen vandret ut fra Barentshavet våren 1986, tok den med seg nærmere 2 millioner tonn "feitsild" i størrelse 20 til 30 cm. En typisk "søring", med andre ord.

I Barentshavet spiller lodda en liknende rolle for

omsetning og transport av biomasse som silda i Norskehavet. Men livsmønsteret til lodda er annerledes. Lodda beiter i den marginale issone. Her foregår det rik planktonproduksjon som lodda omsetter til fangstbar fisk. Lodda gyter på norskekysten, og transporterer derved biomasse sørover mot Finnmarkskysten om vinteren og våren. Det er under denne vandringen den blir tilgjengelig som mat for torsken. Dette er en farefull ferd, hvor få rekker frem og så og si ingen vender tilbake. Vi anser derfor lodda som engangsgyter i våre bestandsberegninger. I 1970-årene da silda var fraværende i Barentshavet, og lodda hadde jevn og god rekruttering, produserte lodda nærmere 6 millioner tonn biomasse årlig. 3 til 4 millioner tonn av loddebiomassen ble kjønnsmoden og vandret sørover om vinteren. Slik ble den tilgjengelig som mat for torsken og andre fiskeetende dyr i den sørlige del av Barentshavet. Lodda har dermed samme funksjon for de fiskeetende bestandene i den sørlige del av Barentshavet som silda har for bestandene på kysten av Vestlandet. Det er disse prosessene som gjør norskekysten fra Vestlandet til Finnmark til et av verdens rikeste fiskefelt. Men skal systemet fungere best mulig, er vi nødt til å opprettholde optimale bestander av sild og lodde.

Hvem spiser hvem?

Beiteeffekt og konkurranse bestandene imellom er viktige faktorer som bestemmer de ulike bestandenes tallrikhet og tilgjengelighet. Spesielt er beiteeffekten av ungsild på loddeyngel og beiteeffekten av umoden torsk på gytmoden lodde viktige faktorer for Barentshavets økobilanse. Disse forhold er illustrert i figur 5.19.

Som nevnt tidligere er sørlige del av Barentshavet oppvekstområde for ungsild i alderen null til tre år. Silda er en effektiv planktoneter, som også eter fiskelarver. Det siste går hardest utover lodda som har sine gytefelt like i nærheten av ungsildas beitefelt. Det medfører at når silda får sterke årsklasser, blokkerer den for lodderekruttering i hele tre år. Og når loddestammen er redusert til et lavmål, blir ikke planktonproduksjonen i den marginale issone tilgjengelig for verken torsken eller andre fiskeetende dyreslag i sør. Silda er således ikke bare en forbruker av



Figur 5.20 Temperaturvariasjoner i Barentshavet i forrige århundre. Høye temperaturer er generelt en forutsetning for god silde- og torskerekruttering.
Temperature variations in the Barents sea during the last century.
High temperatures involve high probability for successful recruitment of cod and herring.

ressursene i Barentshavet. Den hindrer også en effektiv utnyttelsen av området planktonproduksjon. På denne måten har silda en stor negativ effekt på dyrelivet i Barentshavet, og denne interaksjonen mellom sild og lodde er sannsynligvis hovedårsaken til at forekomstene av norsk - arktisk torsk er så variable. Interaksjonen skaper rett og slett et brudd i næringskjeden i Barentshavet, noe som går mest utover torskene, som er den største predatorbestand i området.

Lodda beiter som nevnt i den marginale issonen, og dens gytevandring sørover begynner ved årets begynnelse. På vandringen mot kysten møter den torskene. Ikke gytemoden torsk, for den er på vei til Lofoten for å gyte. Nei, da møter lodda den umodne del av torskbestanden. Og er ung-torskene tallrik, så blir beitepresset på lodda tilsvarende stort. Dette er sannsynligvis ikke noe problem så lenge loddebestanden er stor. Da overlever tilstrekkelige mengder lodde til å opprettholde god rekruttering. Problemet oppstår når loddebestanden er liten, det vil si tre til seks år etter at en sterk sildeårsklasse har vært inne i Barentshavet og hindret rekruttering. Da har loddebestanden mistet tre årsklasser, og gytebestanden er ekstremt liten. Men nå er silda i ferd med å vandre ut, og overlevningen av loddeyngelen blir god. I denne situasjonen er det viktig at mest mulig lodde får gyte, og gytesuksessen avhenger av hvor stor småtorskbestanden er. Blir småtorskbestanden for stor, får lodda problemer

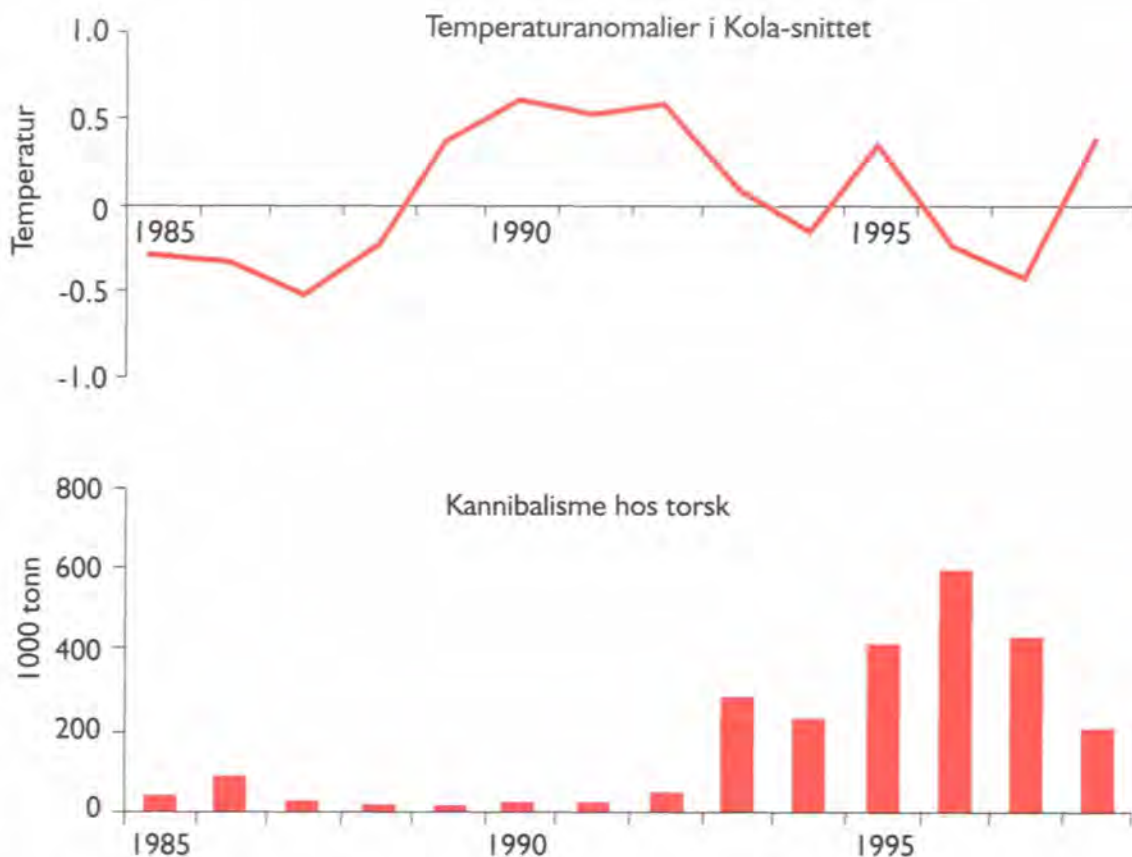
med å vokse til igjen. Det kan bety sveltihjel for de kommende generasjoner av torsk. Dette problemet prøver torskene å løse selv gjennom kannibalisme, men det skal jeg komme tilbake til senere.

Slik er strukturen i økosystemet som de store bestandene har tilpasset seg. Dynamikken eller forandringene i systemet styres av forandringer i miljøet.

Havklima og bestandsutvikling i 1990-årene

Forandringene i havklimaet er sannsynligvis bestemt av styrken av Atlanterhavsstrømmen. Når Atlanterhavsstrømmen er mektig og temperaturen i Barentshavet stiger over et visst nivå, får sild og torsk sterke årsklasser. Figur 5.20 angir målt temperatur i Barentshavet siden begynnelsen av dette århundre. Figuren viser at temperaturen svinger periodisk slik at det går 8 til 12 år mellom hver gode rekrutteringsperiode. Siden 1950 har det vært fem slike gode rekrutteringsperioder, den siste var i 1991 - 1992.

For å illustrere hvordan havklima og bestandsinteraksjonene virker sammen, kan vi bruke 90-årene som eksempel. I begynnelsen av 90-årene var loddebestanden høyproduktiv fordi den forrige sterke sildeårsklassen 1983 forlot Barentshavet i 1986. De umodne bestandene av sild og torsk var relativt små, fordi siste halvpart av 80-årene var en kald periode med dårlige



Figur 5.21 Kannibalisme hos torsk. En tilpasningsmekanisme til varierende mattilbud. I 1994 - 1995 økte temperaturen og vi fikk nye sterke årsklasser av torsk. Loddebestanden var redusert til et minimum og torsken utgjorde en alvorlig trussel mot loddebestanden og dens evne til nyrekruttering. For å sikre rekruttering av lodde og derved hindre fremtidig matmangel for egen art ble rekruttene fra 1994 - 1995 beitet ned av sine eldre artsbrødre (figur 5.21 nederst).
Cannibalism in cod as an adaption mechanism to changes in food supply. In 1994 - 1995 high temperatures contributed to a good cod recruitment. The capelin stock was extremely low and the new cod recruits would threaten the rebuilding of the capelin stock if they were allowed to grow up. In order to prevent a future cod starvation, the new cod recruits were extensively eaten by elder cod. (Lower figure).

rekrutteringsforhold (figur 5.20). Klimaet forandret seg i 1991-1992, og vi fikk to sterke sildeårsklasser. Disse stanset rekrutteringen til loddebestanden etter 1992. Silda forlot Barentshavet i 1995 og åpnet dermed opp for nyrekruttering til loddebestanden. Denne var da ekstremt liten, men vi har hatt en gradvis økning i loddebestanden siden 1996. Ungtorskbestanden var tallrik i midten av 90-årene, men de store fangstene av torsk i årene 1994 - 1998 reduserte beitepresset på gytelodda og bidro således til økt lodderekruttering. Høsten 1999 ble loddebestanden målt til 2.8 millioner tonn, hvorav 1,7 millioner tonn vil bli kjønnsmoden i vinter. Vinteren 2000 forventer vi dermed et loddeinnsig

av en størrelse vi ikke har hatt siden vinteren 1993. Dette vil forbedre mattilbudet til torsken betydelig.

Torskebestanden fikk også sterke årsklasser i begynnelsen av 90-årene. Den hadde gode beiteforhold med mye sild og lodde, og den vokste fort i årene frem til 1994. Men så ble det slutt på de tradisjonelle byttedyrene. Siden den tid har bestanden måttet leve på andre byttedyr, blant annet eget avkom. Dette er interessant fordi det viser hvordan torsken som art har tilpasset seg de periodiske vekslingsene i tilgang på lodde på grunn av inntrengeren sørfra, silda. Mekanismen er vist i figur 5.21.

Temperaturavhengig rekruttering

Rekrutteringen til torskebestanden er nært knyttet til temperaturen i Barentshavet. Den økte i 1994 - 1995, og torsken fikk da to relativt sterke årsklasser. Dette økte tallrikheten i ungtorskbestanden betydelig i en tid da loddebestanden var liten og silda var i ferd med å forlate Barentshavet. Det oppstod da et alvorlig "overbefolkningsproblem" for torskebestanden. "Overbefolkningen" kunne ha blitt en trussel mot rekrutteringen til loddebestanden dersom disse årsklassene hadde overlevd. Problemet løste imidlertid torskebestanden selv ved å ete opp eget avkom. Våre beregninger av torskens konsum viser at i årene 1993 til 1998 åt torsken opp mer enn 2 millioner tonn småtorsk, og vi kan lett forestille oss hvilke muligheter til vekst loddebestanden ville ha hatt i årene etter 1995 dersom disse årsklassene hadde overlevd. Da ville vi neppe ha fått noe loddeinnsig til Finnmark kyster i vinter, men sittet igjen med en tallrik torskbestand som ville hatt lite å leve av. Det var en slik situasjon som førte til den økologiske katastrofen som rammet de fiskeetende bestandene i Barentshavet i midten av 1980-årene. Da fisket vi opp lodda men sparte på torsken, og det gikk skikkelig galt.

Kain og Abel

Våre undersøkelser viser at kannibalisme hos torsk i hovedsak foregår ved at eldre søsken eter yngre når mattilbudet er lite. Dette er en viktig observasjon, fordi den forteller oss at torsken i Barentshavet regulerer sin egen tallrikhet etter et prinsipp vi kjenner fra andre rovdyrbestander som opplever varierende mattilbud. Rovfugl med smågnagere som viktigste byttedyr legger egg med noen dagers mellomrom, slik at kyllingene får ulik størrelse. I smågnagerår overlever alle, men når det er lite mat, så overlever kun den førstefødte, som også eter sine yngre søsken når nøden er stor. Med det oppnår arten to fordeler i kampen for tilværelsen: Den reduserer egen tallrikhet i magre år, og den førstefødte som er utvalgt til å føre arten videre får et ekstra tilskudd til et ellers magert kosthold. Siden denne spesielle interaksjonen skjer mellom søsken, kaller ornitologene fenomenet for Kain og Abel

problematikken. Likheten med den observerte kannibalisme hos torsk i midten av 90-årene er slående.

Beskatning

Fiske og fangst i Norskehavet og Barentshavet i det forrige århundre har i perioder forandret økobalansen i området dramatisk. Sildefisket i 1960-årene, som praktisk talt fisket ut Europas største fiskebestand, er ett eksempel. Sildebestanden er nå bygget opp igjen og den fungerer nå tilnærmet optimalt som produsent av fangstbar fisk. De marine pattedyrene, som fra naturens side er toppredatorer i systemet, er redusert til en brøkdel av det de en gang var. Det er blitt en mer permanent situasjon, og fiske erstatter nå sjøpattedyrenes konsum. Hval og sel eter både sild, lodde og torsk og fanger den fisk som er mest tilgjengelig. Det betyr at i forholdet lodde-torsk var deres "beskatning" sannsynligvis optimal, fordi vi må anta at hver gang det var lite lodde, åt de mye torsk. Sjøpattedyrene utgjorde med andre ord en stabiliserende faktor i systemet.

Fiskeinnsatsen har imidlertid vært styrt etter andre kriterier enn hensynet til de økologiske mekanismene i systemet. Studerer vi utviklingen av trålfisket etter torsk i Barentshavet før det ble kvoteregulert, finner vi imidlertid trekk som ikke er ulikt det en antar er det naturlige og optimale. Før de økonomiske sonene ble innført og havet var fritt for alle, økte den internasjonale trålerflåte aktiviteten i Barentshavet når torskebestanden var tallrik, mens den søkte andre fiskefelt når fangstene ble små. Det resulterte i store fangster av ungtorsk fire til åtte år etter at sterke årsklasser av torsk og sild ble rekruttert, og trålerflåten reduserte dermed beitepresset på loddebestanden i dens mest kritiske periode. Trålerne fisket med småmasket nett og kastet ut store mengder småtorsk av den størrelse vi fant i torskemagene på 90-tallet. Slik bidro de til å øke Kain og Abeleffekten i systemet. Situasjonen i 50- og 60-årene resulterte riktignok i store periodiske variasjoner i utbytte, men gjennomsnittlig fangst over hele perioden er imidlertid den største som noen gang er registrert. Vi har ingen mål for loddebestanden i denne perioden,

men beskatningmønsteret av torsk tilsier at rekrutteringen til loddebestanden var optimal. I 1970-årene gikk utbyttet av torsk ned i takt med økende fangst av lodde, og i midten av 80-årene kollapset systemet fordi torskebestanden ble for tallrik i forhold til tilgang på byttedyr. Da fisket vi opp lodda, men sparte på torsken, og det var ikke særlig lurt.

Avsluttende kommentarer

Til slutt litt om dagens situasjon og fremtiden. Det er hevet over tvil at torskebestanden for øyeblikket er liten, men det har sin naturlige forklaring. Torsken har hatt lite å leve av siden 1995. De årsklassene som nå dominerer i den umodne bestand ble sterkt redusert av torsken selv før de kom opp i fangstbar størrelse. Denne situasjonen kunne vi neppe ha unngått ved å fiske mindre torsk i årene 1995 - 1997. Snarere tvert i mot. En større torskebestand i 1995 - 1997 ville sannsynligvis ført til en redusert loddebestand og økt kannibalisme, det vil si en mørkere fremtid

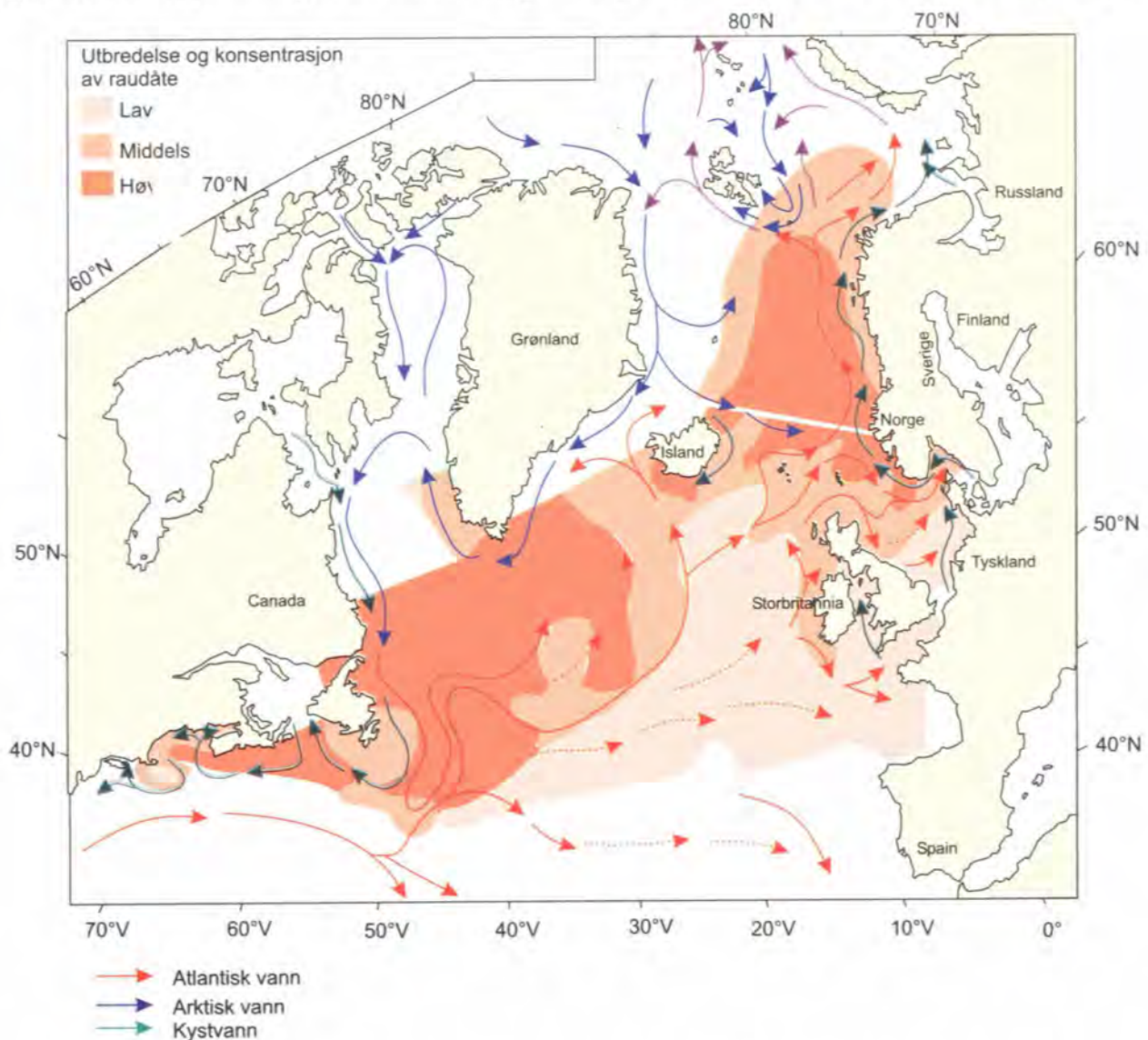
for torskefisket enn den vi har i dag. Det positive i situasjonen er at loddebestanden er i vekst. Høsten 1999 registrerte vi mer loddeyngel i Barentshavet enn vi noen gang tidligere har gjort, og dette åpner for en lysere fremtid for den torsken som har overlevd. Så spør det hvor stor denne delen er. Her er usikkerheten stor. De mange rapportene om uregistrert fangst og utkast av småtorsk det siste året, vekker bekymring. Det er nemlig i slutten av en nedgangsperiode, når lodda er kommet over verste kneiken, at det virkelig lønner seg å spare på ungtorskbestanden. Da er fisken mager og har et stort vekstpotensial som den kan utnytte når mattilbudet forbedrer seg. Svaret vil vi få når lodda siger inn mot kysten våren 2000. Da vil den trekke med seg det meste av det som er igjen av ungtorsk i Barentshavet. Da forventer vi at fangstene vil øke, og fangstøkningene vil sannsynligvis også forsterke frustrasjonen over de små kvotene man ble tildelt i år. Trøsten får være at det man sparer av ungtorsk i 2000 vil være en god investering for fremtiden.

Havklima og raudåte - to sentrale faktorer for produksjonen av fisk i Nordatlanten

Svein Sundby

Raudåta (med det latinske navnet *Calanus finmarchicus*) er en nøkkelart i det nordlige Nordatlantehavs økosystem. Det lille pelagiske krepssdyret, knapt 3-4 mm langt i voksen tilstand, har en helt dominerende rolle som bindeledd mellom produksjonen av planteplankton og produksjonen av fisk. Når våroppblomstringen starter i våre farvann, har de voksne dyrene gjennomført oppvandringen fra overvintrings-

områdene, som ofte befinner seg på mer enn 1000 meters dyp. Så posisjonerer de seg i de øvre lag av sjøen, klar til å starte beitingen på planteplanktonet og til å produsere eget avkom. Eggene, som er ca. 0.2 mm store, gytes i et antall på omtrent 10 - 100 per døgn, avhengig av temperatur og beiteforhold. Eggene klekkes, og i løpet av sommermånedene utvikler raudåtenaupliene seg til voksne individer. Denne utviklingen skjer



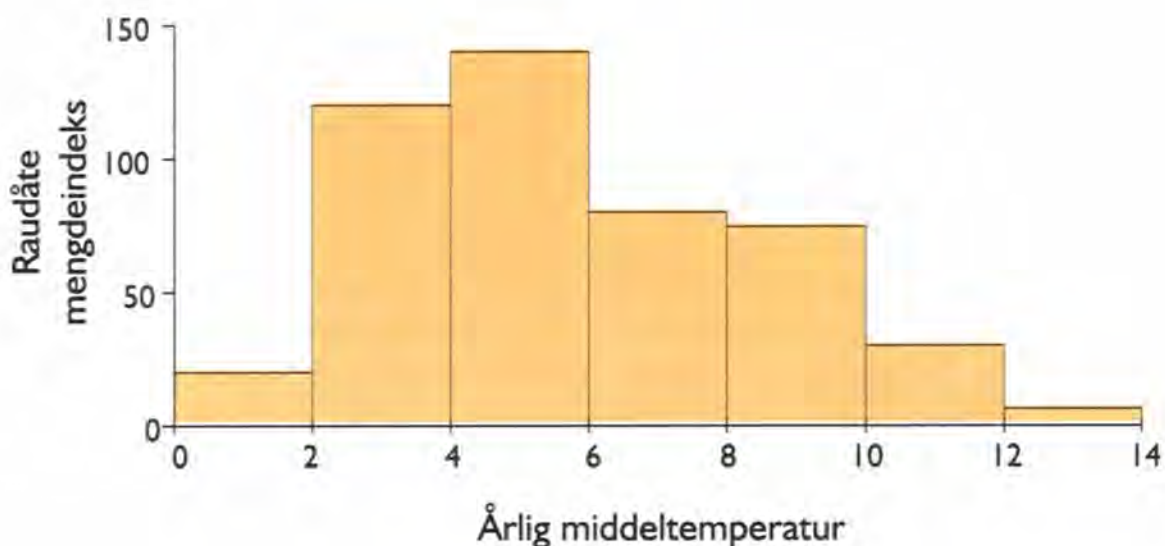
Figur 5.22 Utbredelsen av raudåte (*Calanus finmarchicus*) i Nordatlanten og Den subpolare virvelen.
Distribution of copepod Calanus (Calanus finmarchicus) in the North - Atlantic and The subpolar gyre.

gjennom 12 stadier hvor den hver gang får nytt skall og endrer utseende. De ulike stadiene utgjør hovedføden for fiskelarver og fiskeyngel. De minste fiskelarvene starter på egg og de tidligste stadiene av raudåte. Etterhvert som fiskelarvene vokser, går de over til å beite på stadig større stadier. Fem centimeter lang yngel tar også de voksne stadiene. Men raudåta er slett ikke bare barnemat. Den er også et viktig bytte for voksen pelagisk fisk, og for norsk vårgytende sild er den hovedføden. Til og med de planktonspisende bardehvalene får med seg store mengder raudåte.

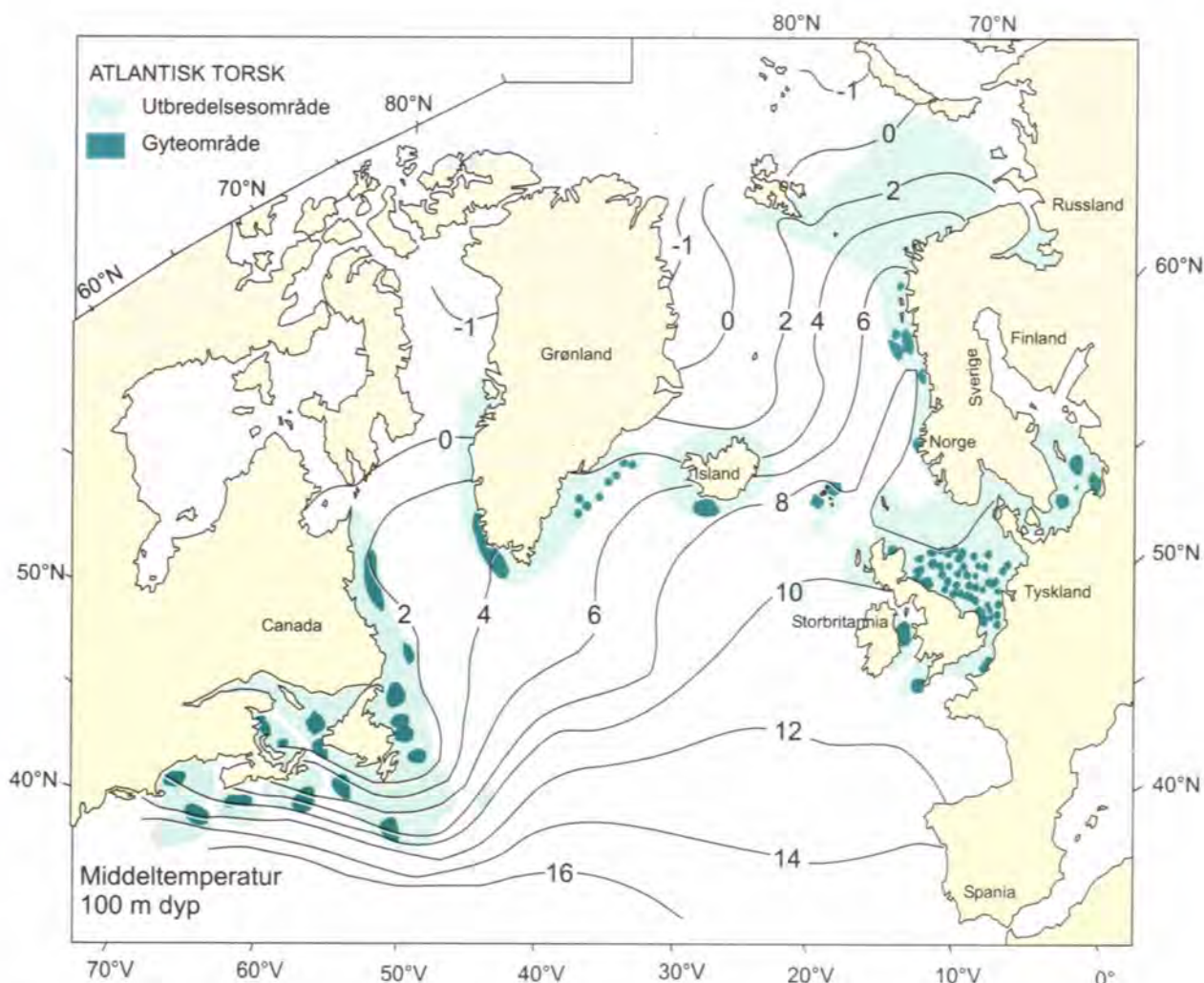
Selv om det finnes mange ulike arter av dyreplankton i våre farvann, utgjør raudåta mellom 50 % og 90 % av den samlede biomassen av dyreplankton på den norske kontinentalsokkelen og i Barentshavet. Men det er i Norskehavet at vi finner de virkelig store mengdene av raudåte. Basert på beregninger av forsker Bjørnar Ellertsen ved Havforskningsinstituttet (Miljørapporten 1996) snakker vi om en årsproduksjon av raudåte i Norskehavet på flere hundre millioner tonn. Sett i den sammenheng blir selv 10 millioner tonn norsk vårgytende sild en liten bestand. Men raudåta finnes ikke bare i store mengder i Norskehavet. Et annet kjerneområde er det store havområdet sør for Island og Grønland og øst for Newfoundland. Figur 5.22 viser utbredelsen

av raudåte i Nordatlanten sammen med fordelingen av havstrømmene. Vi kan se de to store kjerneområdene for raudåte (Norskehavet og området sør for Island/Grønland - øst for Newfoundland). Her er konsentrasjonen av raudåte høyest. Disse konsentrasjonene befinner seg i sentrum for de to store havvirvlene i den nordlige delen av Nordatlanten. I sør og øst er utbredelsen av raudåta begrenset av de varme strømmene Golfstrømmen og Atlanterhavstrømmen (som er fortsettelsen av Golfstrømmen); i nord og vest er raudåta begrenset av de kalde arktiske strømmene rundt Grønland og Labradorstrømmen sørover langs Labradorkysten. De to virvelområdene utgjør tilsammen en stor virvel i Nordatlanten som kalles Den subpolare virvel. Raudåtas livsyklus er åpenbart økologisk tilpasset et liv i Den subpolare virvelen. Den overvintrer på store dyp hvor strømmen er liten, vandrer opp på vårparten og deltar i fri pelagisk drift med strømmen om sommeren. Med sin fordeling mellom de kalde arktiske vannmassene og de varme atlantiske vannmassene får omgivelsene for raudåta et karakteristisk temperaturspekter som varierer fra ca. 0 til 14 °C, med tyngdepunkt fra 3 til 7 °C (figur 5.23).

De fleste kommersielt viktige fiskeartene befinner seg på kontinentalsokkene i randområdet



Figur 5.23 Omgivelsestemperaturen for raudåte i Nordatlanten.
The North atlantic copepod Calanus is adapted to a life between cold Arctic water and warm Atlantic water. The diagram shows a typical environmental temperature spectrum for the copepod.

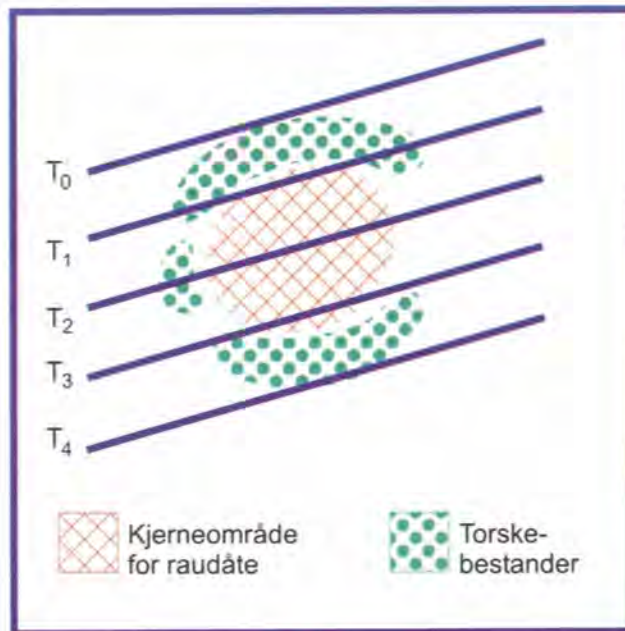


Figur 5.24 Utbredelsen av atlantiske torskbestander (*Gadus morhua*).
Distribution map for Atlantic cod stocks.

for fordelingen av raudåte. Dette er illustrert i fig. 5.24 som viser utbredelsen av atlantisk torsk. Fordelingen av fisk og raudåte er altså slett ikke helt overlappende selv om det også er en betydelig produksjon av raudåte på kontinentalsoklene. På denne måten er det ikke bare den lokale raudåteproduksjonen som bestemmer vekst og rekruttering i fiskebestandene på kontinentalsoklene. Import av raudåte fra kjerneområdene blir også en viktig faktor, og variasjonene i denne importen er det havstrømmene som står for. Atlantisk torsk er den fiskearten som tradisjonelt har vært best undersøkt med hensyn til virkningen av miljøforhold på rekruttering. Torskebestandene som befinner seg i de nordlige og kalde områdene (eksempelvis norsk-arktisk torsk i Barentshavet og torskebestandene ved

Grønland, Labrador og Newfoundland) får vanligvis god rekruttering i varme år. For torskebestandene som befinner seg i den varmeste delen (eksempelvis Nordsjøtorsk og torsk i Irskesjøen), er det motsatt. Der er rekrutteringen best i kalde år. Denne ulikheten i respons på temperatur kan forklares med hvordan temperaturen i de ulike områdene endres sammen med endringene i import av raudåte:

I år med kraftig innstrømning av atlantisk vann fra Norskehavet til Norskekysten og Barentshavet, øker mengdene av raudåte. Fordi Norskehavsvannet er varmere enn vannet i Barentshavet, øker også temperaturen i Barentshavet. I Nordsjøen er det på samme måte observert økning i forekomstene av raudåte når innstrøm-

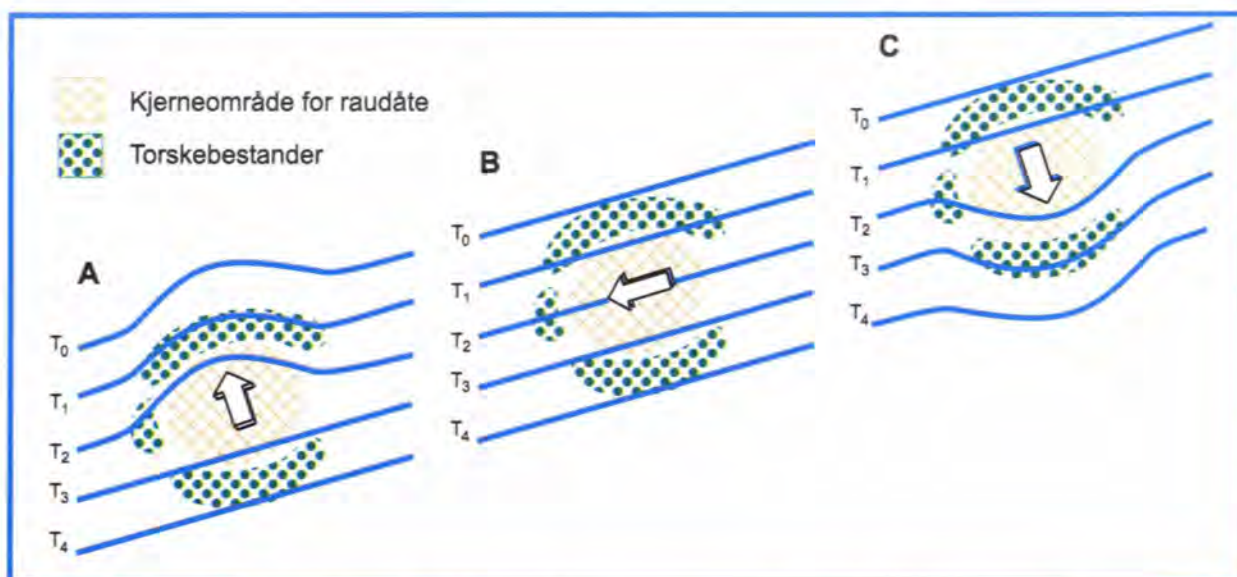


Figur 5.25 Prinsippskisse for utbredelse av atlantiske torskebestander langs randen rundt kjerneområdet for raudåte. Linjene viser temperaturfeltet i havet ved hjelp av isotermer med lav temperatur i nord (øverst) og høy temperatur i sør (nederst). *Principal map showing a typical distribution pattern for Atlantic cod stocks surrounding the core area for copepod Calanus. The oceanic temperature field is illustrated by low temperature isotherms in the North (upper) and high temperatures in the South (lower).*

ningen av atlantisk vann fra Norskehavet øker, men her følges økningen i dyreplankton av en nedgang i temperaturen, fordi Nordsjøen har høyere temperatur enn Norskehavet. Følgelig blir det i Barentshavet en overveiende bedre torskerekruttering i varme år med bedre beiteforhold på dyreplanktonet. For Nordsjøtorsken er det motsatt; der er beiteforholdene på dyreplankton best i kalde år. På denne måten er det en sammenheng mellom rekruttering på atlantiske torskebestander og temperatur som går gjennom raudåta. Sammenhengen fremgår av figur 5.25: Torskebestandene er fordelt på randen (kontinentalsoklene) rundt raudåtas kjerneområde (den subpolare virvelen). Gjennom den subpolare virvelen avtar temperaturen fra sør mot nord. Økt import av raudåte fra kjerneområdet til randområdene vil følges av en tilsvarende endring i sjøtemperaturen. Dersom økt transport går fra kjerneområdet til et kaldere randområde (eksempel Barentshavet) vil temperaturen i randområdet øke sammen med økning i mengden av raudåte (fig. 5.26a). Dersom den økte transporten fra kjerneområdet går i retning av et randområde med omtrent samme temperatur som i kjerne-

området (eksempel islandstorsken) vil temperaturen i randområdet stort sett forbli uendret når importen av raudåte øker (figur 5.26b). Dersom transporten øker fra kjerneområdet mot et varmere randområde (eksempel Nordsjøen og Irskesjøen), vil økningen i raudåte i randområdet følges av en lavere havtemperatur (figur 5.26c).

Havtemperatur og forekomst av raudåte er altså sterkt knyttet sammen via havstrømmene, men på ulik måte i de forskjellige områdene. En økning i forekomstene av plankton i ett område kan resultere i en nedgang i et annet havområde. I løpet av de siste 30 - 40 årene er det eksempelvis målt en jevn nedgang i konsentrasjonene av raudåte rundt De britiske øyer. På denne bakgrunn er det feilaktig blitt konkludert med at planktonproduksjonen har avtatt i hele det nordøstlige Atlanterhavet. I det nordlige Norskehavet og i Barentshavet har imidlertid mengdene av raudåte økt over det samme tidsrommet, og i særdeleshet i løpet av de siste 20 årene. Det samme har skjedd i Mainegulven på østkysten av USA. I farvannene rundt Island er endringene i mengden av dyreplankton over lang tid liten, mens korttids-



Figur 5.26 Prinsippskisse over fordeling av torsk, temperatur og raudåte (som i figur 5.25).
 a) med økning i transport av raudåte til et torskeområde med kaldere klima enn i kjerneområdet. Resultatet blir bedret rekruttering til torsk når temperaturen øker.
 b) med økning i transport av raudåte til et torskeområde med samme klima som i kjerneområdet. Resultatet blir at endringer i rekrutteringen til torsk er uavhengig av temperaturen.
 c) med økning i transport av raudåte til et torskeområde med varmere havklima enn i kjerneområdet. Resultatet blir bedret torskerekruttering når temperaturen avtar.
Principal situations involving cod, temperature and copepod Calanus (as shown in fig. 5.25).
Situation a: Warm water with a high concentration of copepods is transported from the copepod core to a more cold cod habitat outside the core. Result: The cod habitat warms up, and the cod recruitment increases.
Situation b: Water with a high concentration of copepods is transported from the copepod core to a cod habitat outside the core with identical temperature. Result: The changes in cod recruitment will be independent of the water temperature.
Situation c: Water with a high concentration of Calanus is transported from the copepod core to a cod habitat with more warm water outside the core. Result: The cod habitat temperature decreases. The cod recruitment increases.

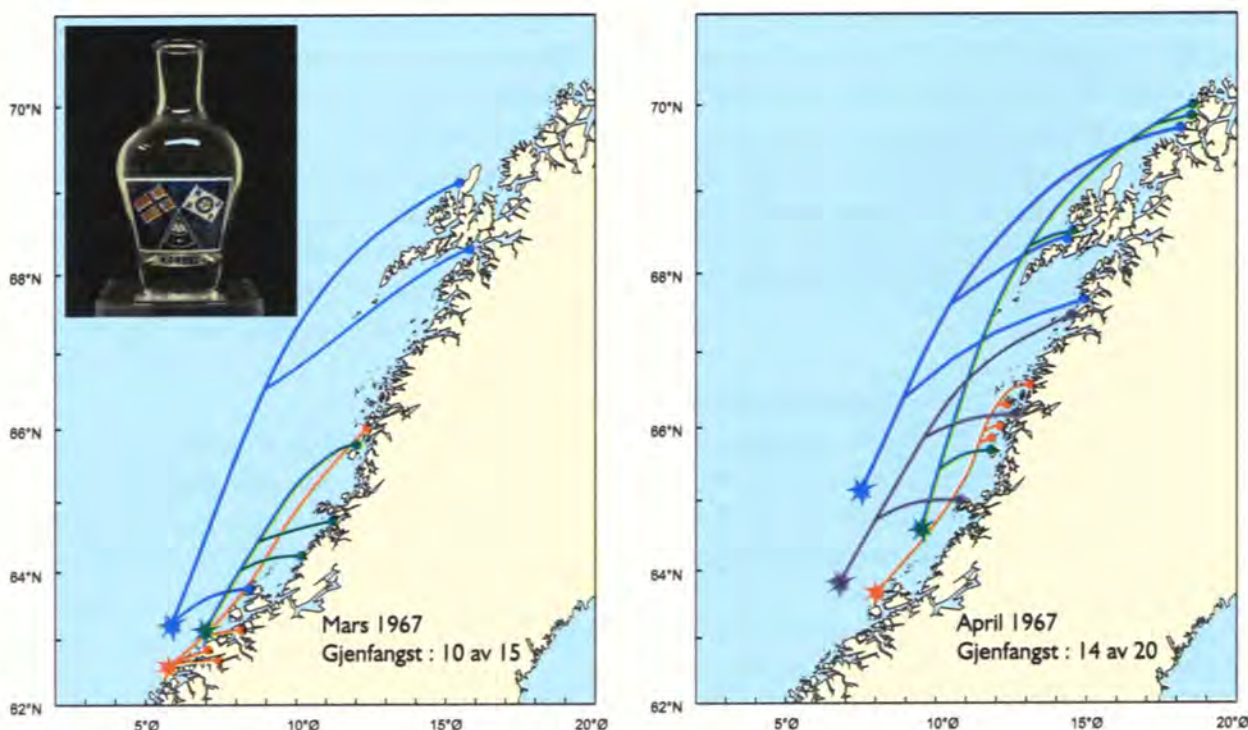
variasjonene fra det ene året til det neste er ganske store. En del av disse variasjonene skyldes endringer i lokal produksjon av dyreplankton, men mye skyldes også import og eksport fra ett område til et annet slik det er forklart i denne artikkelen. Begge typer endringer er imidlertid knyttet til svingningene i havklimaet og temperatur, noe som også har en direkte innvirkning på vekst og rekruttering til fiskebestandene.

Sett på bakgrunn av en forventet global klimaendring som følge av økningen i atmosfærens karbondioksid, blir styrking av klimaforskningen en stadig mer sentral oppgave for norsk fiskeriforskning og forvaltning. Å forstå virkningene av havklimaet på våre fiskebestander er faktisk helt nødvendig dersom vi skal kunne oppnå en bedre forvaltning av fiskebestandene. Havforskningsinstituttet ønsker spesielt en intensivert forskning på havklima og hvordan variasjoner i havklimaet påvirker produksjonen av plankton og fisk.

Alle som ferdes langs kysten har lagt merke til drivende avfall som plastposer og melkekartonger, som må ha blitt transportert over lange avstander med havstrømmene. I de senere årene er det til og med rapportert om drivende pakker med narkotikaforsendelser. Kunnskap om havstrømmene har alltid vært viktig for folk som lever langs kysten enten de driver med skipsfart, fiske eller andre aktiviteter knyttet til havet. Før man fikk instrumenter som kunne måle strømmene direkte, var man avhengig av andre kilder for denne informasjonen. De to viktigste var bestikkavvik og funn av drivende gjenstander. Når et fartøy seiler ut fra en kjent posisjon og holder en kjent kurs og fart kan en etter en tid teoretisk beregne hvor

fartøyet skal befinne seg. Ofte vil denne beregnede posisjonen avvike fra den virkelige. Dette såkalte bestikkavviket skyldes havstrømmene og ble brukt til å beregne fart og retning til strømmen i overflaten. I denne artikkelen skal vi se nærmere på den andre informasjonskilden, nemlig drivende gjenstander med spesiell vekt på forholdene langs norskekysten.

For ca 100 år siden begynte norske havforskere å sette ut strømflasker. Inne i en slik strømflaske ligger det vanligvis et postkort hvor finneren blir bedt om å notere tid og sted for funnet og returnere dette til den institusjon som slapp ut strømflasken. Senere kom andre typer drivlegemer i bruk, som plastkonvolutter for simul-



Figur 5.27 Drift av strømflasker sluppet i mars og april 1967. Fem flasker ble sluppet i hver posisjon. Linjene forbinder kun utslipps- og funnsted og gir ikke driftsruter. Innfelt: Foto av strømflaske benyttet av Havforskningsinstituttet frem til 1970.
Drift map for IMR drift bottles released in March and April 1967. Five bottles were deployed in each position. The lines are not trajectories but do only connect the positions of deployment and those of recovery. Photo: Drift bottle used by IMR up to 1970.

ering av oljedrift og paraplyformede gjenstander som følger strømmene langs bunnen. Ved alle slike observasjoner er som regel kun utslippsted og funnsted kjent. Man vet ikke hvilken rute drivlegemet har fulgt, og det er derfor vanskelig å beregne strømmens aktuelle hastighet. figur 5.27 viser noen eksempler fra bruk av strømflasker fra 1967 utenfor kysten av Nord-Norge. I hver posisjon ble det kastet ut fem flasker. Linjene forbinder kun utslipps- og funnsted og er ikke uttrykk for en drivrute. Et foto av de benyttete strømflasker er innfelt.

Inn til norskekysten, spesielt nord for Statt, driver det årligvis tømmer, rekved, frø og plantedeler som delvis hører hjemme i varmere strøk. Disse gjenstandene er transportert til våre farvann med Den norske Atlanterhavstrømmen eller Golfstrømmen. Drivtømmeret ble i tidligere tider benyttet både til brensel og som byggemateriale. For enkelte deler av kysten som i Øst-Finnmark, var drivtømmer og rekved en nødvendig betingelse for bosetningen. Det drivtømmeret som hyppigst driver i land langs norskekysten, er den såkalte rødgran eller amerikansk lerketre fra det nordlige USA og Canada. Flere andre typer gran og furu inngår også i drivtømmerfloraen; det gjelder arter både fra Nord-Amerika og fra Kanariøyene. Løvtrær synes å være dårlig representert blant drivtømmeret, sannsynligvis fordi slike blir raskere vasstrukket og derved synker. I tidligere tider forekom også drivtømmer fra forliste skip.

Av planterester transportert til norskekysten med havstrømmene er det de såkalte sjøbønner man finner oftest. Dette er brune eller rødlige bønner eller nøtter, fire-seks cm brede og en-tre cm tykke, fra en slyngplante som vokser på øyene i Det karibiske havet. Disse nøttene har en rekke forskjellige lokale navn og er kjent både på Island og i Norge som *lausnarstein*. De var antatt å ha legende kraft når at man kokte bønnene og drakk kokevannet. Navnet har de fått fordi de blant annet skulle lette forløsningen hos fødende kvinner. En rekke andre frø av forskjellig farge og størrelse, alle fra planter med sitt vekstområde på De vestindiske øyene og i området rundt Mexicogulfen, finner en regelmessig drivende langs norskekysten. Frukt som kokosnøtter og

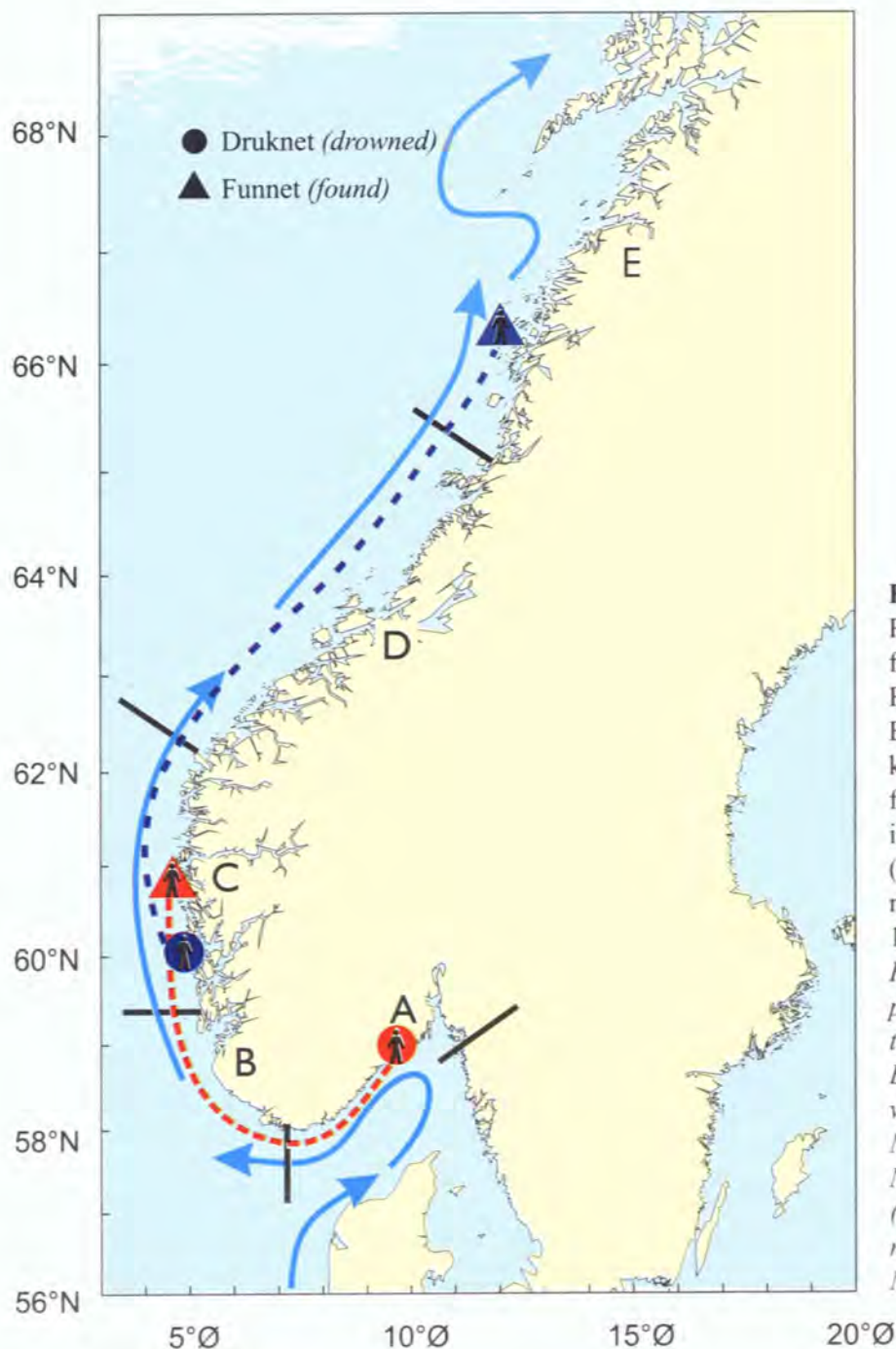
kalebasser er også funnet. Disse funnene av drivtømmer og plantedeler viser at det er en direkte forbindelse fra norskekysten via Golfstrømmen til de nordlige delene av USA og Kanada, og til varmere områder som Mexicogulfen, De vestindiske øyene og området utenfor nordvestkysten av Afrika.

Av andre drivende gjenstander langs vår kyst går pimpstein ofte igjen. Pimpstein er sterkt blæret, skumaktig vulkansk glass, dannet ved at gasser har unnveket under størkningen av lava. Blærommet opptar så stor del av volumet at pimpstein flyter på vann. En stor del av pimpsteinen, spesielt på strekningen Statt-Finnmark, kommer fra vulkansk aktivitet på Island. Tidligere ble det antatt at en del av det som ble kalt pimpstein var slaggrester fra engelske jernverk. Havforskeren Bjørn Helland-Hansen nevner i et av sine arbeider at på Vestlandet kunne en tidvis finne golfballer fra Skottland. Dagens golfballer er så tunge at de vil synke, men dette må altså ha vært av en lettere type.

Man kan også få informasjon om havstrømmene i tidligere tider ved å studere funn av rekved og drivtømmer i torvmyrer langt over dagens havnivå lang kysten av Nord-Norge. Dette er et resultat av den landhevningen som har funnet sted etter siste istid. Også pimpstein kan en finne langt oppe på land. I Altafjorden for eksempel finnes et omkring 10 cm tykt pimpsteinlag i en gammel strandvoll 25 meter over dagens havnivå.

Også andre mer uvanlige flytende gjenstander har vært brukt til å beregne strømmer langs norskekysten. Et klassisk eksempel beskrives i doktoravhandlingen fra 1940 til den tidligere leder for Havforskningsinstituttets Oseanografiske avdeling, Jens Eggvin:

25. september 1939 falt en person over bord fra dampbåten "Trio" utenfor Risør. 27 dager senere ble den forulykkede funnet drivende i sjøen ved Hernar nord for Bergen. Eggvin beregnet at avdøde måtte ha drevet med en midlere hastighet på 22.4 cm/s (fig. 5.28). Dette svarer til en drift på omkring 19 km/dag, noe som stemmer meget godt med senere målinger av kyststrømmen langs



Figur 5.28

Rød stiplet: Drift av forulykket person fra Risør til Hernar i 1939. Blå stiplet: Drift av omkommet engelsk flyger fra Marsteinen til Nesna i 1945. (A-E): Områder for minefunn januar-mai 1915 (Se tabell 5.1). Red: Drift of a drowned person's body from Risør to Hernar in 1939. Blue: Drift of a British war pilot's body from Marsteinen off Bergen to Nesna in 1945. (A-E): Areas for mines run aground January-May 1915 (See table 5.1).

denne delen av norskekysten. Disse resultatene har vært brukt til å gi varsler om forflytningen av både skadelige alger og kalde vannmasser ut fra Skagerrak.

Under et britisk angrep på Ubåtbunkeren i Bergen 12. januar 1945, ble ifølge krigshistorikeren Halvor Sperbund et engelsk Lancaster-fly skutt ned i sjøen ca. 40 km vestsørvest av Marsteinen fyr. Flyet holdt seg flytende i lang tid, og mannskapet på syv kom seg ut og plasserte

seg på skroget og vingene, sannsynligvis fordi gummibåten deres var gjennomhullet av kuler. Et engelsk sjøredningsfly droppet senere på dagen en gummibåt til mannskapet som nå lå i sjøen, men redningsflyet ble hurtig jaget vekk av tyske fly. Det ble lett forgjeves etter flymannskapet hele natten og dagen etter. En av besetningen, Flying Officer R. Ellwood, ble 13. mars funnet omkommet i sjøen ved Nesna på Helgelandskysten. Funnposisjonen og -tiden svarer til en drivhastighet på 11 cm/s eller 9.5 km/dag, noe

Tabell 5.1 Minefunn langs norskekysten januar - mai 1915.
World-War I-mines found on the Norwegian coast Jan-May 1915.

Kyststrekning	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai
Svenskegrensen-Lindesnes (Område A)	15	47		2	
Lindesnes-Utsira (Område B)	14	9	15	19	
Utsira Statt (Område C)	8	7	47	35	1
Statt-Leka (Område D)	3	12	87	56	17
Leka og nordover (Område E)			5	27	27

som er omtrent den forventede størrelsen på transporthastigheter langs denne delen av kysten (figur 5.28).

Under 1. Verdenskrig drev hundrevis tyske og engelske miner inn til norskekysten. I en publikasjon fra Trondhjems Biologiske Station har O. Norgaard systematisert alle kjente minefunn fra perioden januar – mai 1915. Fram til 15. mai ble det funnet i alt 453 miner langs norskekysten. Posisjonene fordelte seg slik som vist i tabell 5.1.

Storparten av disse minene ble opprinnelig lagt ut langs den engelske og tyske Nordsjøkysten, og det er sannsynlig at utsettingen særlig foregikk i krigens første år høsten 1914. De aller fleste minene har nok fulgt strømsystemet opp langs vestkysten av Jylland, inn i Skagerrak og så videre langs norskekysten (figur 5.28).

Minene begynte å drive inn til kysten ved nyttårstider 1915 og var i januar fordelt langs kyststrekningen fra svenskegrensen til Ålesund, men de fleste observasjonene er fra området omkring Lindesnes. I februar fant en miner langs hele kysten opp til Smøla, men med en overvekt av observasjoner på Skagerrakkysten (tabell 5.1). I mars fordelte funnene seg fra Lindesnes til

Dønna men med et klart maksimum på strekningen Statt-Leka (Område D). I april fordelte funnene seg fra Lindesnes til Gimsøy i Lofoten og maksimum antall observasjoner var fortsatt på strekningen Statt-Leka. I mai var det kun ett funn sør for Statt men nå fikk en den nordligste observasjonen fra Hjelmøya i Finnmark og størstedelen av funnene var fra området nord for Leka.

Minefunnene langs norskekysten demonstrerer godt hvorledes drivende gjenstander transporteres nordover langs kysten vår av Den norske kyststrømmen. Med transporthastigheter på mellom 10 og 20 km/dag vil en gjenstand bruke mellom 100 og 200 døgn på å drive fra Sørlandskysten til Nordkapp. Det er god overensstemmelse mellom fordelingen av minefunn og slike realistiske transporthastigheter.

I dag har passive drivlegemer fått ny aktualitet i havforskningen. "Intelligente" drivlegemer som blir programmert til å oppsøke gitte dyp, og som orienterer seg ved hjelp av satellittkommunikasjon, er nå i ferd med å revolusjonere vår viten om strømsystemene. Du kan lese mer om slike teknologiske nyvinninger i artikkelen av Trygve Gytte i denne rapporten.

Levervekten i en gytebestand - et godt mål for dens reproduserende evne?

Tara Marshall og
Olav Sigurd Kjesbu

Bakgrunn

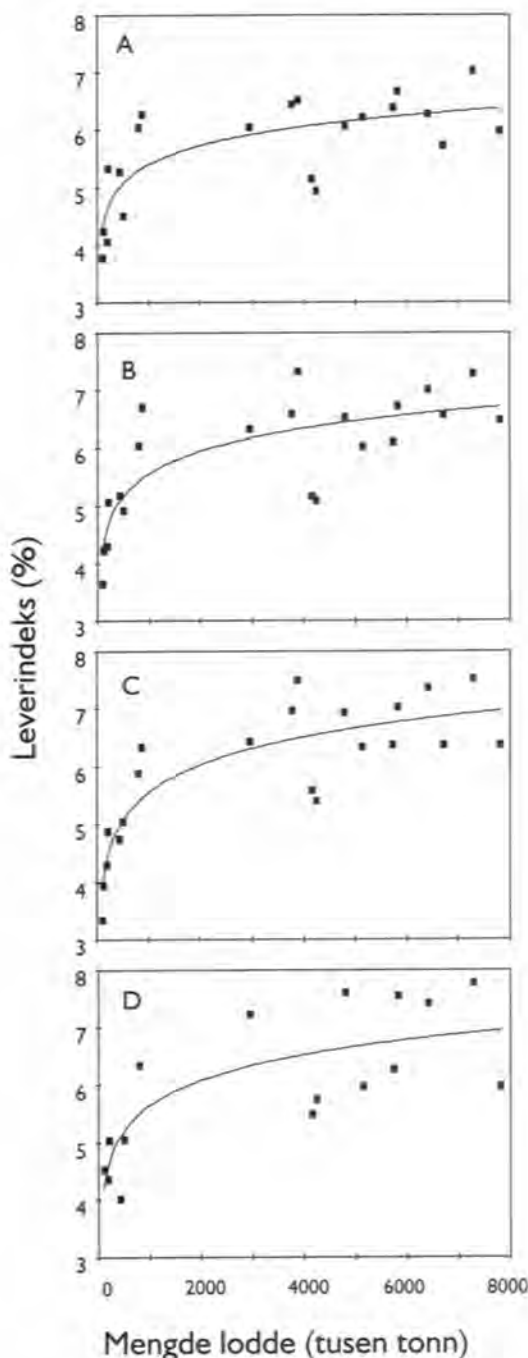
D en dårlige sammenheng mellom en gytebestands størrelse, målt i tonn fisk, og antall individer av en utklekket årsklasse som overlever fram til fiskbar størrelse (rekrutteringen), har lenge frustrert både forskere og fiskeriforvaltere.

Hittil har det vært vanlig å anta at eggproduksjonen hos en gitt gytebestand er proporsjonal med antall tonn gytefisk. Dette er ikke nødvendigvis korrekt, og antakelsen er i den senere tid blitt kritisert fra flere hold. En viktig årsak til at forskerne har måttet anta istedenfor å vite er at de gjennomgående mangler tall for eggproduksjonen per hunnfisk (den såkalte fekunditeten), både for historiske populasjoner og for dagens.

Det finnes mange angrepsvinkler som kan benyttes til å tallfeste gytebestandens evne til å produsere egg og larver. I denne artikkelen skal vi ta for oss sammenheng mellom fiskens fekunditet, dens kondisjon (hvor fet den er) og hva disse faktorene betyr for vurderingen av en gytebestands kvalitet.

Leverindeks og fekunditet hos enkeltfisk

Torsk hører til de magre fiskeslag. Dette betyr at det er lite fett i dens muskulatur. Derimot er torskens lever svært fettrik. Med andre ord: kjenner vi torskens levervekt, kan vi også anslå hvor mange gram fett fisken inneholder. Fett har høy energiverdi i forhold til protein og karbohydrater, og fett i leveren er en generell ressurs som torsken både bruker til vanlig forbrenning, til



Figur 5.29

Sammenheng mellom årlig, gjennomsnittlig leverindeks hos norsk-arktisk torsk og mengde med lodde i Barentshavet. Figuren er splittet opp i 4 lengdegrupper for norsk-arktisk torsk:

A) 51-60 cm; B) 61-70 cm;
C) 71-80 cm; og D) 81-90 cm.

Annual mean liver index compared with capelin abundance for four different Northeast-Arctic cod length groups in the Barents Sea.

*A: 51- 60 cm, B: 61- 70 cm;
C :71-80 cm, D : 81- 90 cm.*

utvikling av rogn og melke, og til gytevandring (normalt tar ikke torsk til seg mat når den vandrer fra Barentshavet til Lofoten for å gyte).

Et torskeindivids levervekt er lett å måle, og leverens vekt er derfor blitt en viktig biologisk parameter. For å relatere leverens fettinnhold til fiskens totale vekt benyttes den såkalte leverindeksen. Denne er definert som vektforholdet mellom en fisks lever og fiskens totale vekt (inkludert lever).

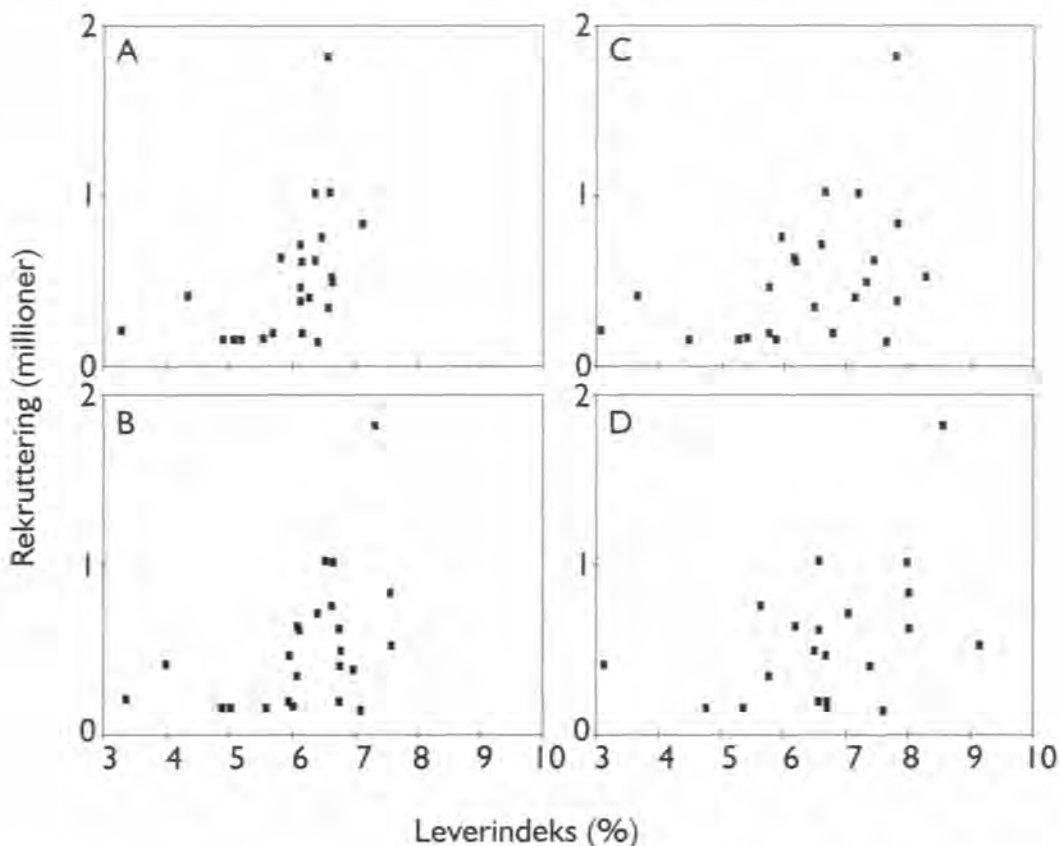
I motsetning til fekunditeten, som er svært krevende å beregne nøyaktig (hver hunn kan ha fra 500 000 til 15 000 000 egg, avhengig av størrelse), er det både enkelt og raskt å bestemme leverindeksen. Vår gruppe stilte seg derfor spørsmålet om leverindeksen kan danne grunnlag for en alternativ og enklere metodikk for

beregning av hvor mange egg en gitt gytebestand produserer i løpet av en gytesesong.

Det russiske sporet

Våre forskerkolleger i Russland disponerer en imponerende detaljert tidsdatabase for leverindeks hos norsk-arktisk torsk. Dataene i deres tidsserier går helt tilbake til 1927. Når vi studerer disse leverindeksene nærmere, viser det seg at de varierer i takt med den aktuelle loddebestanden i Barentshavet (figur 5.29). Dette er for så vidt ikke uventet. Lodde er meget rik på fett, og lodda er samtidig torskens viktigste byttedyr i Barentshavet.

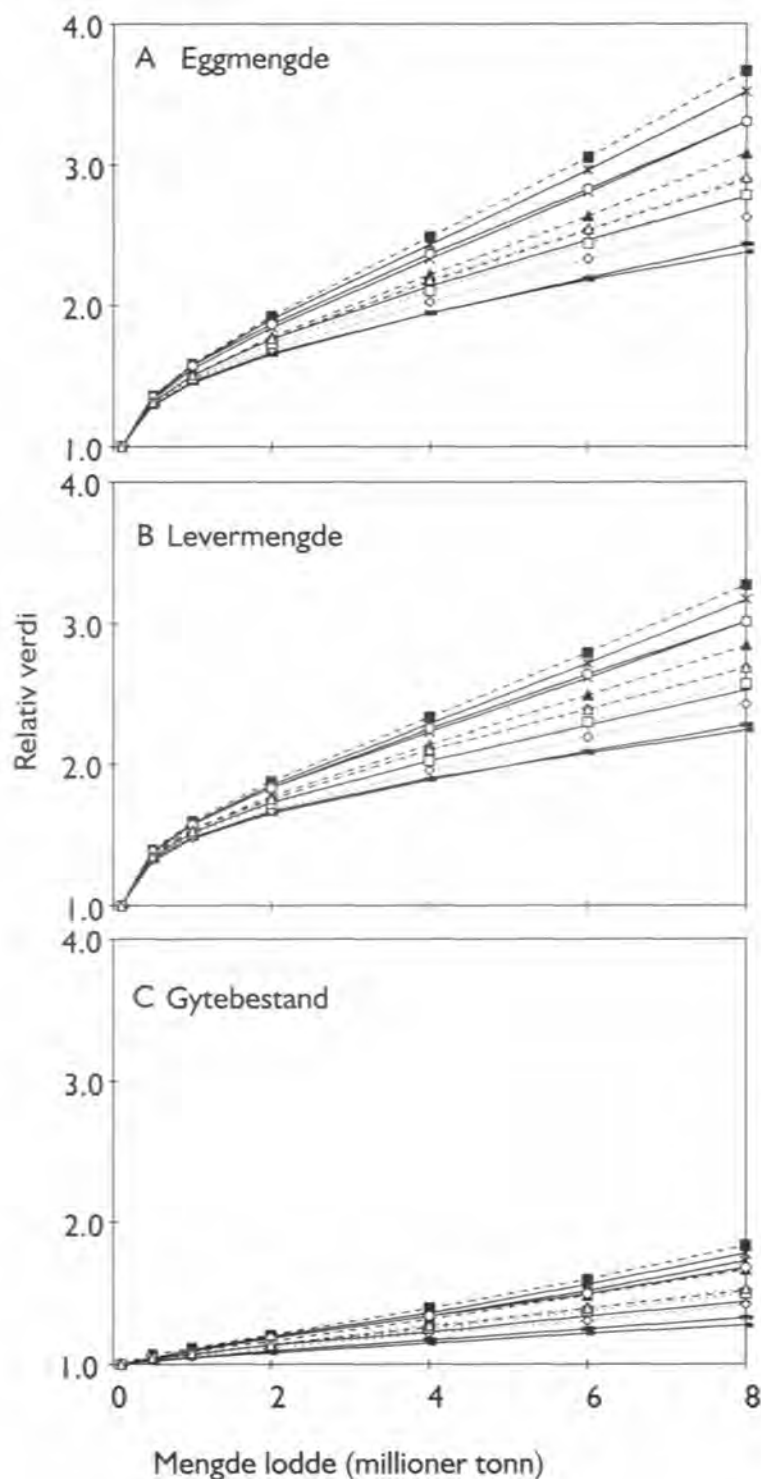
Et nærmere studium av tidsserien for leverindeks avslører imidlertid også et annet interessant fenomen: Det er alltid dårlig rekruttering hos



Figur 5.30 Betydning av leverindeks hos norsk-arktisk torsk i forhold til antall avkom som når alder 3 år, det vil si rekrutteres. Leverindeks er basert på snitt av 12 månedlige verdier. Årene som omhandles er 1968 til 1994. Som for figur 5.29 er figuren delt opp i ulike lengdegrupper: A) 51-60 cm; B) 61-70 cm; C) 71-80 cm; D) 81-90 cm.
Liver index of Northeast-Arctic cod related to number of recruits (number of offspring that have successfully reached an age of 3 years). The actual years were 1968 - 1994. The length groups in Figure 5.30 are identical to those shown in in Figure 5.29.

norsk-arktisk torsk når foreldrene (gytebestanden) har en lav leverindeks (mindre enn 6 %), altså når foreldrene er i dårlig kondisjon! (figur 5.30). Tilsvarende data fra andre bestander,

både bunnfisk og pelagisk fisk bekrefter at det er mye som tyder på at god kondisjon hos gytefisken er en viktig forutsetning for god rekruttering.



Figur 5.31

Modellerte sammenhenger mellom mengde av lodde i Barentshavet og relativ variasjon i total eggmengde (a), total mengde med lever (b) og gytebestandens størrelse målt i tonn (c) for norsk-arktisk torsk i perioden 1985 - 1996 ved et gitt antall med modnende hunner. Relativ variasjon på y-aksen henviser til største verdi dividert med minste verdi.

Modelled relations between capelin abundance in the Barents Sea and relative variations in:
a: Total number of produced cod eggs.
b: Total cod liver weight.
c: Cod spawning stock size (in tonnes).
The modelling was based on input data from field observations made between 1985 and 1996. The relative scale used on the Y-axis refers to the largest observed number divided by the corresponding lowest number.

◆ 1985 ▲ 1987 * 1989 + 1991 — 1993 □ 1995
 ■ 1986 × 1988 ○ 1990 — 1992 ◇ 1994 △ 1996

Tidsserier er gull verd!

Havforskningsinstituttet har i de siste ti år samlet inn og analysert fekunditeten hos modnende norsk-arktisk torsk, eller skrei, fra området utenfor Vesterålen. Denne tiårsserien, (som for øvrig er en helt unik tidsserie innen fiskeriforskningen) sammenholdt med russiske leverindeksdata og Havforskningsinstituttets lange tidsserier på antall og størrelse av norsk-arktisk torsk, satte oss på sporet av en ny måte å kunne beregne torskens fekunditet på.

Lever og egg

Vi ønsket å undersøke om total mengde lever i en torskebestand kan brukes som indikator for den totale eggproduksjonen. Data fra vintertokt og gyteinnsigtokt ble kombinert for å beregne antall skrei. Total mengde lever, uttrykt både i antall kg og i ekvivalent energi kiloJoule (kJ), ble deretter beregnet. For å finne ekvivalent energiinnhold benyttet vi beregningsformler for forholdet mellom leverindeks og leverenergi. Disse formlene ble opprinnelig utviklet av kanadiske forskere som studerer torsk i St. Lawrencegulven. De kanadiske forskerne studerte en torskepopulasjon som undergikk betydelige svingninger i sin kondisjon, sogar helt ned til det nivå der fisken var så utsultet at den trolig ikke kunne overleve. De målte torskeleverens vekt og forbrenningsenergi i alle ernæringsstadier, og utviklet på bakgrunn av dette en beregningsmetode for det nevnte forholdstall. Basert på de kanadiske forskningsresultatene kan vi nå enkelt beregne forholdet mellom leverindeks og leverens energiinnhold.

Vi fant en meget god sammenheng mellom totalt antall kg lever i en bestand og det antall egg den samme bestand produserte. Denne korrelasjonen kan faktisk forklare hele 97 % av de observerte variasjoner. En interessant detalj som kom fram under vårt arbeid, er at hver 2.12 kJ med fettenergi i et individs lever tilsier en forventet produksjon av ca. 1000 egg.

Modellering

Våre observasjoner dannet grunnlag for et senere modelleringsarbeid der vi satte kjente historiske data om skreien i Barentshavet som bestandsstørrelse, vekt, fekunditet, leverindeks og prosentandel av modnende individer inn i modellen. Modellen ble initialisert med syv historiske loddebestandsnivåer, hvor loddebestanden varierte fra svært lave til meget høye nivåer. Det vi ønsket å få svar på var følgende: Hva er sammenhengen mellom torskens mattilbud, leverindeks og produsert antall egg. Figur 5.31 viser resultatene av modellkjøringene.

Under innflytelse av et varierende mattilbud uttrykt ved faktiske loddebestandsnivåer, viste det seg at eggproduksjonen relativt sett (høyeste verdi delt på laveste verdi) varierte med en faktor fra 2.4 til 3.7. Relativ levermasse endret seg tilsvarende med en faktor på fra 2.2 til 3.3, mens relativ gytebestand målt i tonn varierte med en faktor på mellom 1.3 og 1.8.

Figur 5.31 viser at det er proporsjonalitet mellom en gytebestands mattilbud og dens størrelse, levermengde og eggproduksjon. Både gytebestandens størrelse og dens levermasse kan følgelig brukes som en indikator for antall produserte egg. Hvilken av de to alternative metoder er i så fall "best"? Det kan vi også lese ut av figur 5.31. I relative diagrammer er det kurvene med størst hellingsvinkel (de bratteste kurvene) som representerer den mest følsomme parameter. Figuren viser at en gytebestands størrelse i tonn (som i dag benyttes av ICES som indikator for eggproduksjonen) er en langt mindre følsom parameter enn den samme bestandens levervekt.

Konklusjon

Dette arbeidet viser først og fremst at løsningen på "rekrutteringsproblemet" forutsetter at det i tillegg til for eksempel informasjon om klimaforholdene også bør foreligge en god beskrivelse av gytebestandenes reproduserende evne. Der-

som man mangler pålitelige fekunditetsdata og følgelig ikke har gode tall for den totale eggproduksjon, kan beregning av total levermengde være en praktisk tilnæringsmåte.

Avslutningsvis vil vi gjøre oppmerksom på at alle beregninger av total eggproduksjon refererer til antall egg inne i fisken. Dette tallet er alltid høyere enn det antall som faktisk blir gytt, særlig dersom fisken har dårlig kondisjon. Den biologiske forklaringen er at hunnfisk tilbakedanner egganlegg når kondisjonen skranter.

Tidsforløpet som de aktuelle modellkjøringene omhandler, spenner over perioden 1985 - 1996. I den tiden skjedde det store endringer i Barentshavets

økologi, både med hensyn til temperatur og fødetilbud.

Hva nå?

Det omtalte arbeidet står nå foran en viktig videreføring. I denne videreføringen vil det bli utviklet ny metodikk for beregning av langtids-serier for total levermengde hos norsk- arktisk torsk. Samtidig vil det bli lagt til rette for en mer utfyllende beskrivelse av gytebestanden.

(Denne artikkelen er basert på et nylig publisert arbeid mellom forskere ved PINRO (Murmansk, Russland), Institut Maurice-Lamontagne (Mont-Joli, Kanada) og Havforskningsinstituttet (Nature 1999 (402): 288-290).

Amerikanere på villspor- *Homarus americanus* i indre Oslofjord

Gro I. van der Meeren,
Austevoll havbruksstasjon
Kees O. Ekeli, Akvariet i Bergen

Høsten 1999 ble Akvariet i Bergen kontaktet angående en uvanlig utseende hummer som var fanget i Oslofjorden. Akvariet i Drøbak og lokale hummerfiskere mistenkte hummeren for å være en amerikansk hummer, *H. americanus*. Bakgrunnen for denne mistanken var et rykte om at det for ca. 12 år siden ble dumpet et usolgt restparti med levende amerikansk hummer fra en brygge i Oslofjorden, og at disse hummerne hadde overlevd og etablert seg som en ny art. Akvariet i Bergen tok kontakt med hummer-ekspertisen ved Havforskningsinstituttet, og det

ble avtalt et samarbeid om videre utgreiing og forskning.

Nykommere i Oslofjorden

En rekke trekk ved form, vekt og farge bekreftet at det virkelig var en amerikansk hummer, *H. americanus*, det første frittgående eksemplar som noen gang har vært fanget i Norge. Individet var en hunn på 24 cm, og følgelig for liten til å være en av de opprinnelig utsatte hummerne. Like etter kom det inn en ny, avvikende hummer, denne



Figur 5.32 Amerikansk hummer (*Homarus americanus*) fanget i Oslofjorden 1999.
American lobster (Homarus americanus) captured in Oslofjorden 1999.

gangen en eggbærende hunn (figur 5.32). Denne hummeren ble oversendt Akvariet i Bergen, og det ble påvist at det nok en gang var fanget en amerikaner (jmf. bestemmelsesnøklene, tabell 5.2 og figur 5.33).

Hummer nr. 2 hadde rester av utrogn, og det ble tatt egg- og muskelprøver for genetiske analyser. Hummeren inngår nå i utstillingene ved Akvariet i Bergen. Den er 27,5 cm lang og vekten er hele 795 gram, til tross for at knusekloen mangler. Til sammenlikning veier en tilsvarende europeisk hummer i Oslofjorden 500-600 gram.

Selv om det til nå offisielt bare er registrert to amerikanske hummere i Norge, begge fisket i Bunnefjorden høsten 1999, er det grunn til å tro at det nå faktisk eksisterer en større amerikansk hummerbestand i Oslofjorden. Eksempelvis sier de lokale fiskerne som opprinnelig fisket og

rapporterte inn disse to individene, at de har gjenutsatt flere undermåls hummere av samme slaget. Ettersom det nå har gått ca. 12 år siden den omtalte utsettingen av et restparti, kan de to fangede eksemplarene umulig tilhøre de opprinnelig utsatte hummerne. Likevel ser de to ut til å være av identisk rase, uten synlige tegn på hybridisering med vår egen europeiske hummer. En pågående genetisk analyse vil avklare om de to er direkte eller indirekte etterkommere etter partiet som ble satt ut for 10-12 år siden.

Hunnhummere av begge arter kan bære med seg pakker med levende sperm i flere år etter en parring. Spermen går imidlertid tapt ved skallskifte, og hunnene må da parre seg på nytt. Hvis ny parring har skjedd, kan det også ha blitt produsert hybrider mellom amerikansk og europeisk hummer.

Tabell 5.2 Oversikt over karakteristika som kan nyttes for skille mellom europeisk og amerikansk hummer. På grunn av kjønnsforskjeller innen hver art, må sammenlikningene foretas mellom hummer av samme kjønn. Kilder: (CEFAS, Lowestoft Laboratory, England og Havforskningsinstituttet).

Tabled differences in characteristics for European and American lobster.

	Europeisk hummer, <i>Homarus gammarus</i>	Amerikansk hummer, <i>Homarus americanus</i>
Farge:	Svart til lyseblå Fiolett til hvitt, forekommer sjelden	Mørk brun med grønnskjær. Rødlig skjær kan forekomme
Fargetegninger:	Hvite markerte felt ved kant av ryggskjoldet bl.a. under øynene. Kan ha lyse marmoreringer på sidene	Ingen hvite markeringer Ingen marmorering
Knuseklo:	Ikke betydelig bøyd ytterkant på kloa (Boksehanske)	Godt avrundet klo
Sakseklo:	Taggene inne i kloa gir et sagformet inntrykk	Taggene inne i kloa nåleformet
Rostrum:	Uten utvekst (tagg) på undersiden av rostrum Skader kan gi avvik i rostrumform	Vanligvis en eller flere nedovervendte tagger på undersiden av rostrum
Ryggskjold:	Tydelig fure langsetter hele ryggskjoldet midt oppe på ryggen	Gir et noe "klumpete" inntrykk
Hale:		Tendens til bredere hale hos hunnene

Siden hummer nr 2 bar utviklet utrogn (øyerogn), er det på det rene at avkom etter amerikansk hummer er forplantningsdyktig i Norge. Om dette avkommet virkelig er hybrider mellom europeisk og amerikansk hummer gjenstår å se.

Hvilken betydning kan amerikanerne få for vår egen hummer?

Før man kan besvare dette spørsmålet, er det viktig å få kartlagt i hvilket omfang amerikansk hummer faktisk har etablert seg i norske farvann. Lokale fiskere mener at forekomsten av denne arten nå er betydelig, og at et stort antall amerikansk hummer under minstemalet er sluppet ut igjen av norske hummerfiskere. Ved siden av omfanget er det også viktig å bestemme graden av eventuell hybridisering. Så lenge det bare er en forsvinnende liten del av hummerne som er av amerikansk opprinnelse, vil det kanskje ikke ha så stor betydning. Vår egen hummerbestand er imidlertid nå på et lavmål, og følgelig svært sårbar. Det skal derfor ikke så mye innvandring til før en ytre påvirkning kan svekke vår naturlige bestand ytterligere. Nedenfor er det presentert en rekke momenter vi må ta i betraktning før vi kan anslå hvilke følger etablering av en ny hummerart kan få.

Konkurranse om ressursene, dominansforhold

Dersom begge arter utnytter sjøbunnen på samme måte, er grunnen lagt for en nådeløs artskonkurranse om området utnyttbare skjulesteder. Hvis artene i tillegg følger samme døgnrytme og skjuler seg i de samme habitater, kommer de uvergelig i en sterk innbyrdes konkurranse situasjon.

I fall det viser seg at de to artene konkurrerer om de samme ressurser, er det viktig å kjenne dominansforholdet når to individer av ulik art møter hverandre. Dersom individer fra den ene arten gjennomgående er sterkere enn individer fra den andre, er det sannsynlig at den sterke arten vil fortrenge den svakere. Hvis artene derimot er omtrent like sterke, vil begge arter kunne leve blandet i samme område. Vi vet ennå ikke hvordan de to artene opptrer i forhold til hverandre.

Fra fiskerhold rapporteres det om tallrike funn av amerikansk hummer i Oslofjorden. Forskningsmiljøet har imidlertid til nå bare hatt anledning til å studere de to omtalte individene som begge var unge hunner. Graden av eventuell konkurranse mellom nykommerne og de stedegne hummerne er derfor ennå ukjent for forskerne. Et forhold teller imidlertid i de stedegne hummeres disfavør: Gammel amerikansk hummer kan oppnå over dobbelt så høy vekt som europeisk hummer, og arten er kjent for å utvikle svært store klør. Store klør gir høy status blant hummere, og i en blandet populasjon kan amerikanske hummere lett bli foretrukne parringspartnere. Selv om innslaget av amerikansk hummer ennå er minimalt, kan den nye arten derfor på sikt bli en alvorlig utfordrer for vår egen hummerart.

Kommunikasjon

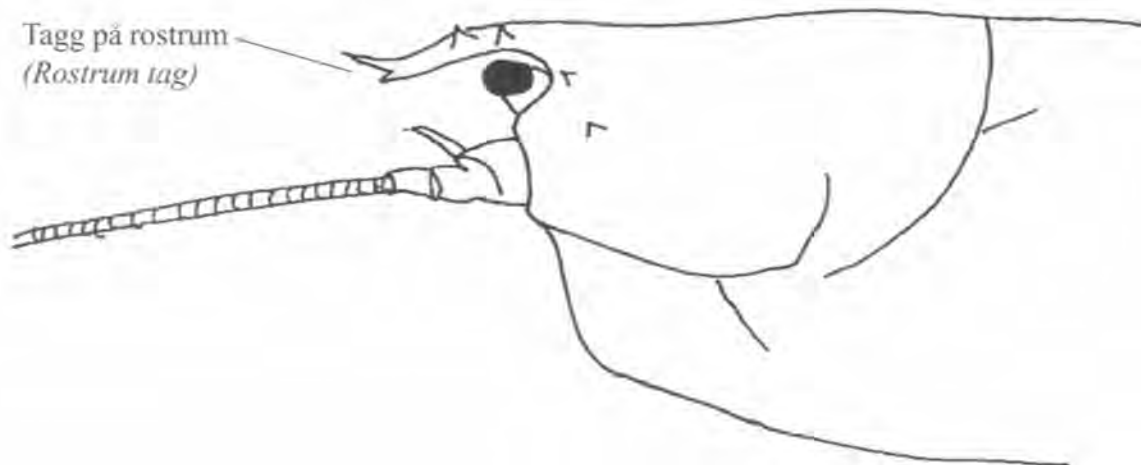
Ved siden av utbredelse og dominansforhold er det viktig å undersøke om de to artene benytter og forstår samme "språk". Alle arter over et gitt biologisk utviklingsnivå har utviklet et kommunikasjonssystem eller "språk", basert på arts-spesifikke kroppsbevegelser og spesielle fysiske/kjemiske signaler.

Siden amerikansk og europeisk hummer til nå ikke har hatt overlapp i sine naturlige utbredelsesområder, er det lite sannsynlig at de har utviklet effektive metoder for gjensidig artsdiskriminering. Spørsmålet om de to artene forstår hverandres språk kan bare besvares gjennom fremtidige laboratorieforsøk.

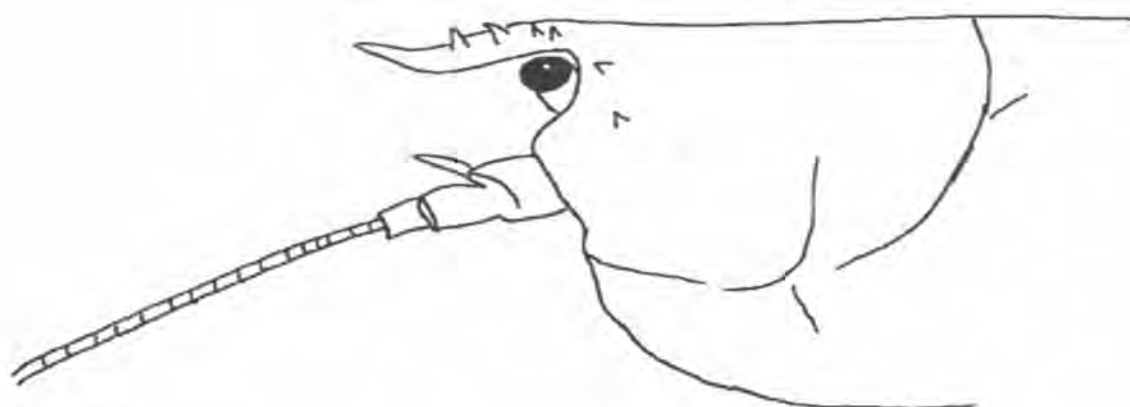
Dersom det viser seg at amerikansk og europeisk hummer både har avvikende språk og ulik sosial atferd, er det liten grunn til å forvente utstrakt hybridisering. Hvis artene derimot kommuniserer ved hjelp av identiske bevegelser og de samme kjemiske signaler, vil hybridisering snarere kunne bli regelen enn unntaket.

Sterile hybrider?

Fra akvarieforsøk vet vi at når europeisk hummer blir inseminert med sperm fra amerikanske



Homarus americanus



Homarus gammarus

Figur 5.33 Hummerens ryggskjold (rostrum) kan brukes til å skille mellom amerikansk og europeisk hummer. Amerikansk hummer har vanligvis en eller flere nedovervendte tagger på undersiden av rostrum (øverst). Europeisk hummer mangler tagg på undersiden av rostrum (nederst).

Homarus americanus (American lobster) carries one or several tags on the underside of its rostrum. (upper figure). Homarus gammarus (European lobster) has no tags on the underside of its rostrum.

hummer, så oppstår det befruktete egg som frambringer hybrider. I et beskrevet forsøk med europeisk hunnhummer og amerikansk hannhummer, fikk hybridene europeisk kroppsform og amerikansk farge. Vi vet ikke om dette resultatet gjelder generelt eller om utfallet avhenger av hvilken art som henholdsvis er mor og far. Hunnhybridene ble senere observert med utrogn, mens en hannhybrid var betegnet som steril. Det er ennå ukjent om hybridene i praksis er i stand

til å produsere levedyktig og forplantningsdyktig avkom. I biologien blir vanligvis hybrider av to nærstående arter sterile. Eksempelvis gir kryssning mellom hest og esel (muldyr) og kryssninger mellom løve og tiger et ikke forplantningsdyktig avkom.

Så lenge følgene av hybridisering ennå bare er spekulative, bør vi følge "føre var"-prinsippet og gjøre det vi kan for å hindre at amerikansk

hummer får fotfeste i vår fauna. Spesielt er utsikten til storstilt produksjon av sterile hanner bekymringsfull. Utsetting av sterile hanner er nemlig et av de mest effektive økologiske virkemidler som nå benyttes for eksempel å minimalisere eller utrydde skadeinsekter. Dersom europeisk og amerikansk hummer ikke holder seg til sin egen art og produserer sterile hybrider, kan derfor den allerede svake lokale hummerbestanden gjennom hybridisering bli påført en betydelig reproduktiv svekkelse. Denne svekkelsen vil i så fall bare øke med tiden.

Hva med sykdom?

Amerikansk hummer har utviklet en viss resistens mot bakterien *Aerococcus viridans*, som forårsaker sykdommen gaffkemi. Gaffkemi er en artsspesifikk bakteriesykdom som bare angriper hummer. Sykdommen er 100 % dødelig for europeisk hummer, mens en liten prosent amerikansk hummer altså vil kunne overleve. Gaffkemiresistente amerikanske hummere kan derfor opptre som bærere av smitten. Det er i de senere år også oppdaget en rekke andre skadelige mikroorganismer i amerikansk hummer. I likhet med gaffkemi er disse organismene ennå ikke påvist i europeisk hummer i sjøen. Sykdomstrusselen er derfor ikke akutt, men for hummerbestandens fremtid i Norge er det viktigere enn noensinne å unngå import av levende, potensielt smittebringende hummer.

Hva er våre nasjonale interesser?

Den europeiske hummeren er en svært ettertraktet skapning. Smak, farge og fasong har gjort den så attraktiv og så høyt priset at etterspørsel og beskatning overgår artens bæreevne, særlig

så langt nord som her i Norge. Resultatet har vært en dramatisk nedgang i bestanden.

I de siste ti-årene har norske myndigheter investert betydelige midler i forskning og utvikling med sikte på å gjenoppbygge den norske hummerbestanden. Særlig har et stor-skala utsettingsforsøk i regi av Havforskningsinstituttet vist lovende resultater (se Havbruksrapporten 1999). Gjennom dette forsøket har vi erfart at det er mulig å styrke en lokal bestand i betydelig grad gjennom utsetting av hummeryngel klekket av stedegne mødre.

Norge, som resten av Europa, har en krepsdyrfauna på og i steinet bunn som er betydelig rikere enn den som finnes i det naturlige utbredelsesområdet til amerikansk hummer. Selv om størstedelen av våre bunndyrskrepsdyrarter ikke fiskes på i dag, har artene stor kommersiell betydning som føde for kystfisk. Amerikansk hummer er en ny art som opptre i toppen av næringskjeden langs bunnen. Den har følgelig potensial til å omforme sitt nye miljø i en betydelig grad. Dersom amerikansk hummer får fritt spillerom i Norge og derved begynner å opptre i økende antall, kan det oppstå varige og uønskete endringer i vår opprinnelige artsrikdom.

Både våre myndigheters ansvar for å beskytte Norges lokale fauna og vår fiskerinærings økonomiske interesser tilsier at vi må gjøre alt vi kan for å verne om vår opprinnelige hummerbestand og dens miljø, inklusiv skjerming av bestanden mot fremmede konkurrenter.

Som fiskeri- og havbruksnasjon har vi lite å vinne på at amerikansk hummer etablerer seg permanent i Norge.

Instrumentering i havet før og nå. Hvilke nye måleplattformer vil dominere i det 21. århundre?

Trygve Gytre

Om hundre år vil HIs forskere på ny sitte ved sine kommunikasjonsmaskiner og summere opp århundrets erfaringer og oppdagelser. Høyst sannsynlig vil de da i likhet med oss selv undre seg over hvordan havforskerne for hundre år siden klarte å gjøre så gode observasjoner med de primitive instrumentene som de den gang disponerte over.

Instrumentering er et basalt behov for naturforskeren. Uansett om han eller hun befinner seg i år 1900, 2000 eller 2001 må en naturforsker som vil forstå prosesser i naturen gjøre observasjoner. Til dette trenger han både måleinstrumenter og en "plattform" som instrumentene kan arbeide ut fra. Skal dataene komme til nytte, trengs også et etterfølgende system som bearbeider informasjonen. Jo større datamengder instrumentet genererer, desto viktigere blir det at de etterfølgende ledd har stor nok kapasitet.

Havforskning handler i stor grad om måleplattformer og måleinstrumenter. Plattformen holder måleinstrumentet i måleposisjon, mens instrumentet omformer naturens signaler til elektriske data som både kan lagres og overføres til ytre enheter.

For hundre år siden var de fleste av dagens elektroniske komponenter ennå ikke oppfunnet og langt mindre kommet i produksjon. Forskerne måtte benytte måleinstrumenter basert på mekaniske komponenter. Mange forskere konstruerte sine egne instrumenter. Kreativiteten var stor. Kvikksølvtermometeret dannet grunnlag for forbausende nøyaktige temperaturmålinger. Vendetermometeret, som låser kvikkssølvstrengen når termometeret roteres 180 grader, er genialt. Nansen laget en vannhenter med vendetermometer som var så vellykket at den fremdeles produseres. Den svenske oseanografen Ekman konstruerte en berømt strømmåler som på en finurlig måte registrerte både strøm og



Figur 5.34

Klassiske strømmålere er enten "eulerske" eller "lagrangske". En eulersk strømmåler står i et fast oppheng og måler hastigheten til vannet som passerer forbi, mens en lagrangsk strømmåler følger vannmassene. Ekmans strømmåler (vist på fotoet) var den dominerende eulerske strømmåleren i begynnelsen av 1900-tallet.

Foto: Geofysisk Institutt UIB.

The Ekman current meter was the preferred Eulerian type current meter during the first half of the 20th. century.

retning ved hjelp av tannhjul med visere og kuler som ble styrt ned i 36 beholdere (1 beholder pr. 10. grad) ved hjelp av et kompass. Forløperen for moderne CTD- instrumenter- bathytermografen- registrerte trykk og temperaturforandringer ved å risse informasjonen inn på en sotet glassplate.

Figur 5.34 viser Ekmans strømmåler i arbeid på havet. Siden datamaskinen ennå ikke var oppfunnet, måtte fortidens forskerne og deres assistenter selv bearbeide sine data. Heldigvis ga de eksisterende instrumenter fra seg så små datamengder at denne bearbeidingen ble overkommelig.



Figur 5.35 Forskningsskipene er HIs viktigste måleplattform. Hvert år avsøker HIs forskningsskip en samlet distanse som tilsvarer fem til ti ganger distansen rundt Ekvator. Fotoet viser HIs forskningsskip FF "Johan Hjort" under arbeid i Lofoten. Foto: Trygve Gytre.
The research vessels are IMR's dominating observation platforms. The photo shows IMR research ship FF "Johan Hjort" collecting data outside the Lofoten islands in North Norway.

I 1960-årene ble det praktisk mulig å registrere lange tidserier på magnetbånd. En av verdenspionerene var den norske Ivar Aanderaa som gjennom sitt firma Aanderaa Instruments i de neste 20 - 30 år produserte minst 10.000 registrerende strømmålere.

I 1980-årene kom mikroprosessorene, som sammen med satellittkommunikasjonssystemene deretter forandret vår verden. Havsinstrumenteringen fulgte med på ferden.

Måleplattformens betydning

Måleplattformene har hatt en betydelig utvikling siden HI ble opprettet for 100 år siden, og det er nå i stor grad måleplattformen som klassifiserer målemetodikken. Helt opp til moderne tid har

den naturlige observasjonsplattform på havet vært menneskestyrte skip. Havforskningsinstituttet har alltid benyttet egne skip til å samle inn data om havets fysiske og biologiske prosesser. Instituttet begynte også ganske tidlig å samle inn data ved hjelp av andres skip. Eksempelvis har HI målt kystvannets temperatur og saltholdighet fra Hurtigrutas skip helt siden 1930-årene. Også i de kommende år vil Havforskningsinstituttet og andre dominerende havforskningsinstitusjoner først og fremst benytte spesialbygde forskningsfartøyer til sin datainnsamling fra havet.

Fordelen med et forskningsskip er at det kan måle mange parametre samtidig, og at det kan utføre avanserte operasjoner og tilpasse sin målestrategi etter de til enhver tid rådende forhold og behov.

Ulempen med et forskningsskip er at det ikke kan være alle steder samtidig, og at det er kostbart i drift.

Figur 5.35 viser HIs nåværende flaggskip FF "Johan Hjort" på datainnsamlingstokt i Lofoten. Mange problemstillinger krever hyppige observasjoner i tid og rom. Det er ikke økonomisk forsvarlig å la et forskningsskip med prislapp kr 200.000 per dag ligge på samme posisjon i dag etter dag. For å være kosteffektivt må forskningsskipet være på farten flest mulig dager per år og måle og registrere data der andre plattformformer er underlegne.

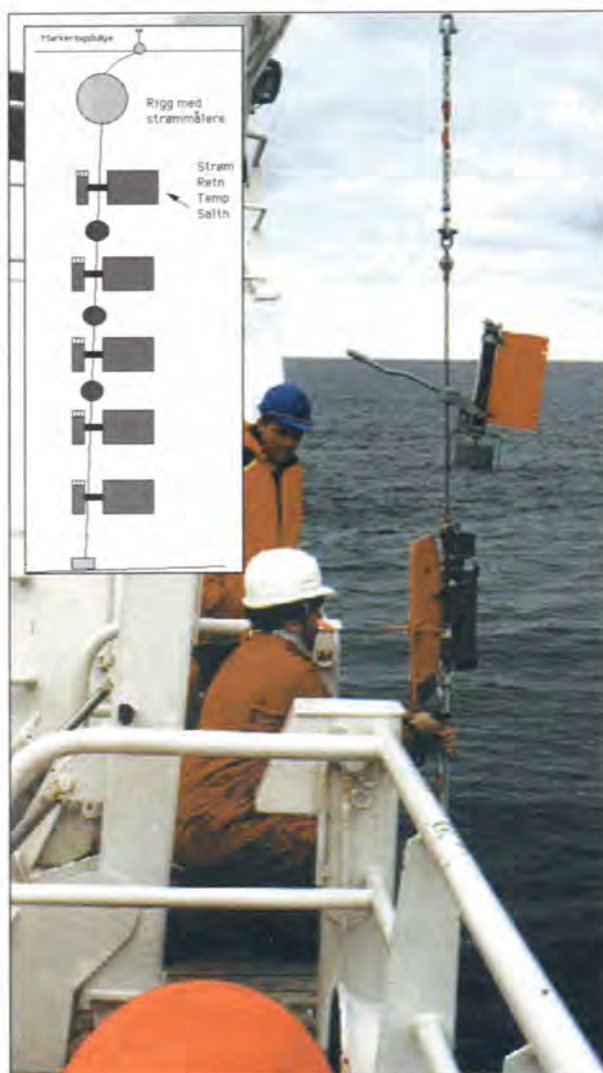
Forskningsskipet utfordres

Fremtidens forskere vil kanskje undre seg over at havforskningsinstitusjonene i begynnelsen av 2000-tallet brukte så mye penger på forskningsskipene. For kosteffektive utfordrere, i første omgang i form av supplerende plattformer, er nå i ferd med å samle krefter. På sikt vil nye plattformtyper bli alvorlige utfordrere til forskningsskipene.

Det begynte med rigger

Et viktig hendelse i havforskningens historie var utviklingen av fast forankrete rigger med registrerende instrumenter hengende under hverandre på en forankret line. Da Aanderaas registrerende strømmåler kom på markedet, ble det mulig å sette ut rigger og måle tidsserier av strøm, temperatur og andre havparametre med varighet på over et år. Riktignok trengtes det forskningsskip til å sette ut og ta opp riggene, men institusjonens totale målekapasitet kunne nå mangedobles, og pris per registrering ble lav. Figur 5.36 viser utsetning av en typisk målerigg fra et av HIs forskningsfartøyer.

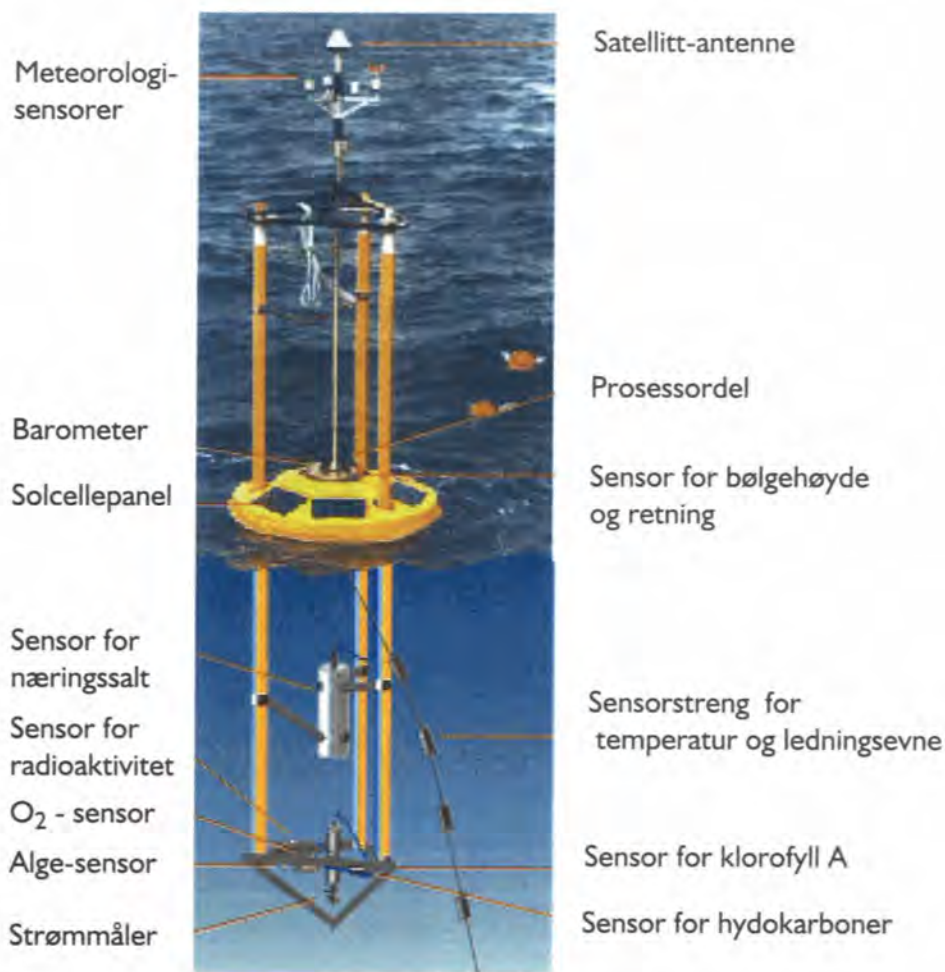
En slik enkel målerigg som vist på figur 5.36 er bare i stand til skaffe historiske data om prosesser i havet. Etter hvert oppsto det også krav om sanntidsobservasjoner - gjerne i forbindelse med vær- og havvarsling, og det ble behov for fast forankrete plattformer som kunne observere data og overføre informasjonen til land i sann tid. Derved oppsto den forankrete observasjons-



Figur 5.36

En rigg er en enkel og kosteffektiv måleplattform. Den består i prinsippet av en forankret line som holdes oppe av oppdriftsbøyer. Til riggene kan det festes flere typer registrerende instrumenter. Bildet viser utsetning av en rigg med registrerende strømmålere. I dette tilfellet skal blant annet data fra en "MINI" - strømmåler (øverst) sammenliknes med tilsvarende data fra den berømte Aanderaas - strømmåleren som henger like under. Foto: T. Gytre *The fixed mooring with self recording instruments is a cost efficient but also a vulnerable instrument platform. Figure 3 shows a rig with recording current meters being launched from research vessel "Johan Hjort".*

bøyen. Målekapasiteten til en moderne observasjonsbøye kan sammenliknes med målekapasiteten til et forankret forskningsfartøy. Bøyen kan utstyres med avanserte måleinstrumenter, og dataene fra disse instrumentene kan både lagres internt og overføres til land via satellittkommunikasjon. Bøyeieren kan også sende



Figur 5.37 SEAWATCH- bøyen fra OCEANOR i Trondheim representerer "the state of the art" i marin sanntidsovervåking fra forankrete overflatebøyer.

Denne måleplattformen henter inn data fra et stort antall måleinstrumenter på, under og over bøyen. Informasjonen overføres deretter til datamaskiner på land via satellitt. Dataene inngår i numeriske modeller og benyttes dessuten til varsling, overvåking og forskning.

The SEAWATCH telemetering buoy system made by OCEANOR A/S in Trondheim contains collects, processes and distributes data in real time from a variety of meteorological and oceanographic instruments fixed to the platform. The measurement capacity for such an anchored data acquisition platform is comparable with that of an anchored research ship. However - high investment and maintenance costs prevent massive use of fixed telemetering buoys.

instrukser tilbake til plattformen. Mange land utviklet nasjonale bøyesystemer basert på nettverk av forankrete, telemetrerende observasjonsbøyer, og sanntidsinnsamling av data fra havet ble satt i system. Også i utvikling av sanntids observasjonsbøyer har norsk teknologi spilt en ledende rolle. Figur 5.37 viser OCEANORs SEAWATCH - bøye som nå brukes over hele verden.

Plassert i et representativt punkt i havet kan en forankret, telemetrerende overflatebøye gjøre en glimrende og kosteffektiv jobb. Sammen med numeriske modeller som øker målepunktets representative område, er målebøyen en fantastisk plattform. Men problemene er mange. En forankret overflatebøye på det åpne hav utsettes for enorme krefter, og både fortøyninger og utstyr må dimensjoneres deretter. Måleutstyret må

ettersees og vedlikeholdes, batterier må skiftes. Bøyens instrumenter må gjennomgående arbeide i solbelyst vann, og begroing utgjør et alvorlig driftsproblem. Forruten store engangsinvesteringer vil derfor forankrete målebøyer også kunne påføre eieren store utlegg i form av drift, vedlikehold og avskrivninger.

Nye problemstillinger krever nye plattformer

Havsinstrumentering er nå kommet inn i en periode der må tenkes nytt. I forrige århundre var en instrumentutsetnings hovedmål å skaffe til veie data fra relativt kortvarige måle- og vedlikeholdsperioder, varierende fra noen dager til noen få år. For neste generasjons målesystemer for hav og atmosfære stilles det først og fremst krav til lang levetid - gjerne flere tiår kombinert med særdeles store krav til ytelse. Med ytelse menes for eksempel pris per vertikalprofil eller antall målinger per avsøkt km. Forruten å dekke de spesifikke instrumentkrav må målesystemene også kunne inngå i storstilte integrerte observasjonssystemer. Krav om effektivt samspill mellom enkeltinstrumenter i havet (in situ instrumentet), fjernmålingsinstrumenter i himmelrommet og numeriske simuleringsmodeller på land er blitt en dominerende konstruksjonskrav.

Hovedårsaken til den forandrete tenking er først og fremst vår økende opptatthet av klimaet og dets forandningsprosesser. De fleste forskerne er enige i at vi er inne i en periode med rask klimaendring. Stadig fler mener at klimaendringen er menneskeskapt. Vitenskapen prøver å forklare hva som skjer og hvorfor det skjer. Den må også ta på seg å varsle hvilke klimaeffekter som menneskene må forberede seg på i fremtiden.

De fenomener og prosesser som eventuelt forårsaker menneskapt klimaendringer utvikler seg svært langsomt. Samtidig er vi nå kommet inn i en situasjon som ingen kjenner fra før. Det finnes rett og slett ingen tidligere sammenliknbare paleoklimatiske registreringer som svarer til dagens situasjon. Dette har gjort fremtidsforskerne helt avhengige av data fra dynamiske klimamodeller. Disse modellene spår

klimaeffekter som aldri har forekommet tidligere. Før vi kan stole på modellenes spådommer, må vi utvikle troverdige metoder til å verifisere modellresultatene.

Nytenkning

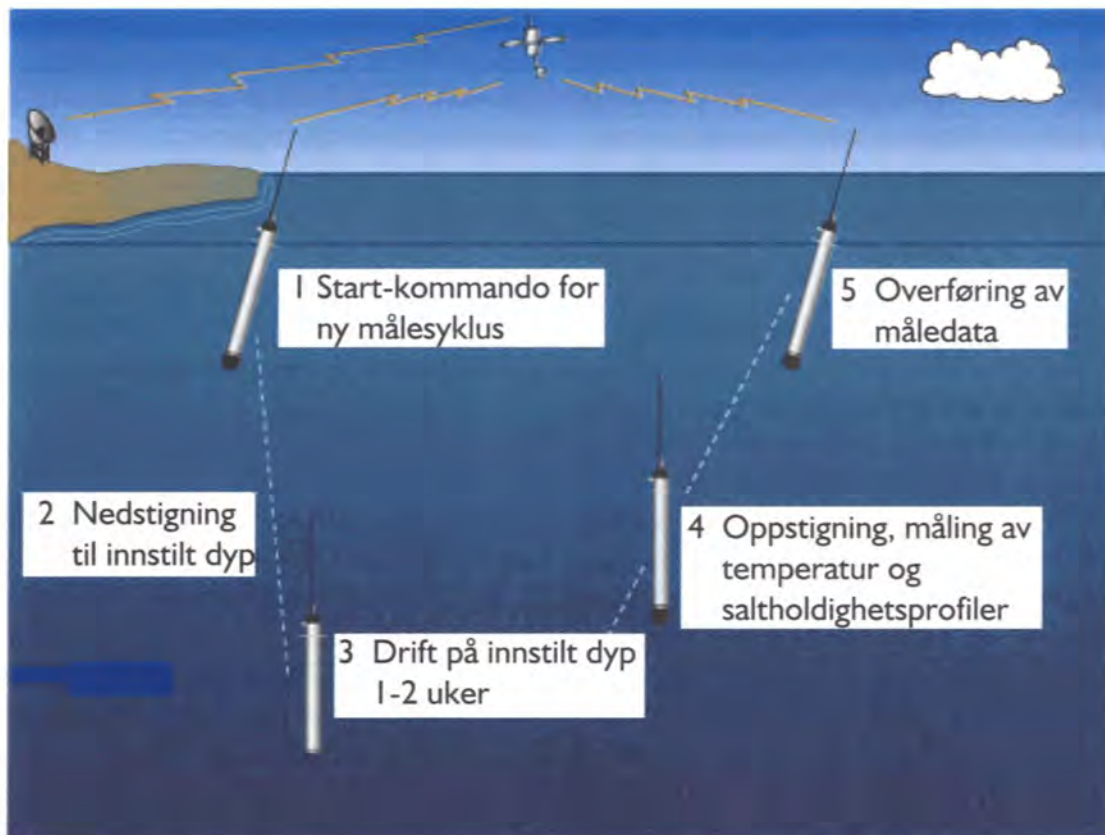
Hvordan kan instrumentering i nåtid bidra til å bekrefte modellresultater for fremtidens klimautvikling? Her er det at nytenkningen kommer inn.

Den nye strategien går ut på at man i global skala - for eksempel gjennom ICES, GOOS og FN-organer - samarbeider om å overvåke og modellere alle aspekter ved fortidens og dagens klima. I særlig grad prøver man å karakterisere forandringer i parametre som man vet påvirker klimadannelsen. Det forlanges så at modellene hele tiden påviser de klimaendringer som sanntidsinstrumenteringen viser.

Dersom modellene i noen tiår fremover klarer å gjenskape historiske data og samtidig spå den klimautviklingen som vi etter som tiden går gradvis vil erfare, så kan vi også begynne å stole på modellenes spådommer for en enda mer fjern fremtid.

Instrumenteringsoppgaven som må løses før modellene kan tale med god nok autoritet er formidabel. For å kunne skille klimaprosessene fra hverandre i tid og rom, må det gjøres svært tette og hyppige målinger av strømmer, temperaturer, saltholdigheter, biologiske parametre etc. fra alle havdyp verden over. Med dagens tilgjengelige plattformer vil en slik oppgave bli så kostbar at den aldri kan gjennomføres. Størstedelen av fremtidens måledata må derfor komme fra nye fjernmålesystemer og in situ installasjoner som er konstruert for å produsere enorme mengder med nøyaktige miljødata over lang tid til en minimal pris per måling.

De nye instrumentene må i tillegg til å kunne levere store datamengder også være fleksible. Ny informasjon har en tendens til å forandre vår virkelighetsoppfatning. Instrumentene må derfor kunne omstilles til alternative problemstillinger.



Figur 5.38 Prinsipp for drivende "intelligent" undervannsbøye (ALACE). Bøyen er en programmerbar datainnsamlingsmaskin som etter utsetning i kjent posisjon (målt med GPS) synker ned til et forhåndsinnstilt dyp. Med jevne mellomrom stiger bøyen tilbake til overflaten, samtidig som den måler fysiske og biologiske parametre. På overflaten tas ny GPS-måling, slik at eieren også kan bestemme måledypets midlere strømhastighet. (Posisjonsforandring/måletid). De målte data overføres til en passerende kommunikasjonssatellitt. Så kommanderes drivlegemet ned igjen for å ta nye målinger. *Principle for a modern underwater drifter (ALACE-float). This lagrangian type platform is typically used to measure underwater currents and to map density profiles. It descends to a preprogrammed depth, drifts with the current for a given time interval and rises occasionally to surface. During rise it measures temperature and salinity versus depth. Data are transferred to owner via satellite. Mean underwater current speeds are calculated from differences in successive GPS-positions divided by corresponding drift time.*

Nyskapningene

Vi har fått mikroprosesser. 1900-tallet ga oss fantastiske optiske og akustiske måleinstrumenter. Vi fikk satellitter som kan formidle informasjon fra ethvert punkt på jorden. Vi har fått satellittbasert posisjonering. Vi har fått høykapasitets-datamaskiner med genial programvare. Vi har konstatert at vår konvensjonelle datainnsamling basert på forskningsskip, forankrete rigger og forankrete bøyesystemer ikke kan løse fremtidens tilleggskrav alene. Hvilke nyskapninger vil det nye århundret tilføre havforskningen?

Først og fremst vil eksisterende teknologi stadig bli forbedret. Forskningsskipene vil bli raskere og mer stillegående. Måleinstrumenter vil bli mer nøyaktige og kunne måle oftere. Forankrete rigger vil bli i stand til å måle tettere og lengre dataserier. Bøyene vil kunne ta inn flere måledata og kunne stå lengre tid uten tilsyn. Stadig flere leilighetsskip vil bli utstyrt med registrerende og telemetrerende måleutstyr. Kommunikasjonssatellittene - særlig de billige lavbanesatellittene - vil bli enda flere og få enda bedre ytelse. Og vi vil få nye plattformer som kanskje fortrenger de

gamle. Hva nytt kan vi vente oss i det neste århundret?

Flukten fra de øvre vannlag

I de øvre vannlag er hovedfienden for ubetjente sensorer begroing og bølgekrefter. Denne fienden kan holdes på avstand dersom instrumentene stort sett oppholder seg dypt nede i mørke, rolige vannmasser og bare sporadisk tar turen opp til overflaten for å måle og rapportere. Det å unngå langvarige opphold i overflaten er en fellesstrategi for mange av fremtidens måleplattformer. Her følger en enkel beskrivelse av noen lovende nyskapninger.

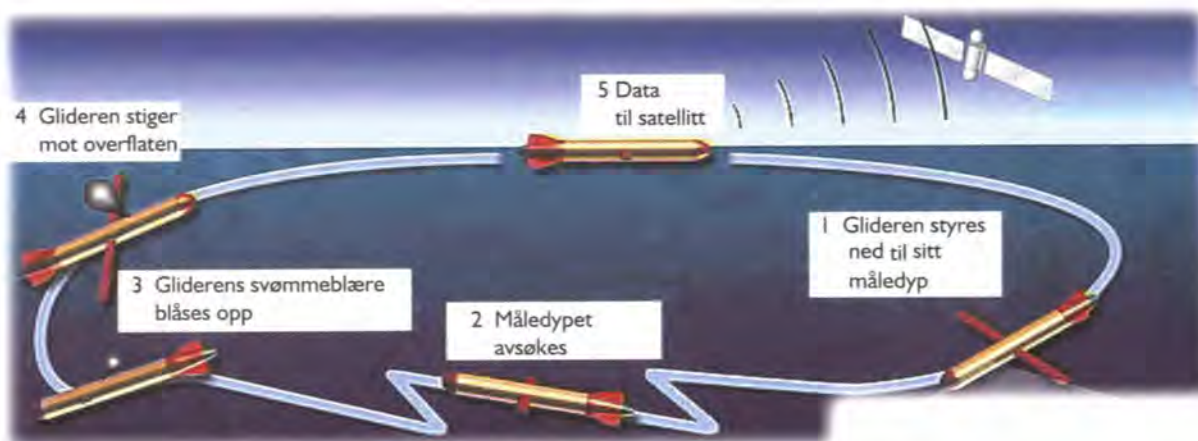
Pop opp - instrumenter

Et stort antall billige engangs måleinstrumenter kan plasseres på havbunnen og deretter frigjøres ett og ett. Instrumentene stiger opp til overflaten samtidig som de for eksempel måler temperatur, saltholdighet og biologiske data mot dyp. Når instrumentet bryter overflaten, overføres den

målte profilen til satellitt. Instrumentet kan deretter tilbringe resten av sitt aktive liv som drivende overflatelegeme og f.eks regelmessig rapportere overflatetemperatur og posisjon.

Profilerende drivlegemer

Bruk av passivt drivende overflatelegemer til strømmåling har lange tradisjoner i havforskning. (Se for eksempel R. Sætres artikkel). En moderne videreføring av denne metodikken er bruk av drivende undervannslegemer. Særlig er programmerbare undervannslegemer interessante. Bruk av profilerende "intelligente" drivlegemer er ennå i sin begynnelse, og mye må forbedres før intelligente drivlegemer kan settes inn i rutinemessig global overvåkning og skaffe store datamengder til en lav pris. Men potensialet er stort. Figur 5.38 illustrerer for eksempel prinsippet for de amerikanske ALACE-drifterne. Disse er egentlig sylindermete datainnsamlingsmaskiner som kan settes ut i havet fra skip eller fly, hvorefter de synker ned til et forhåndsinnstilt dyp. I dette dypet driver



Figur 5.39

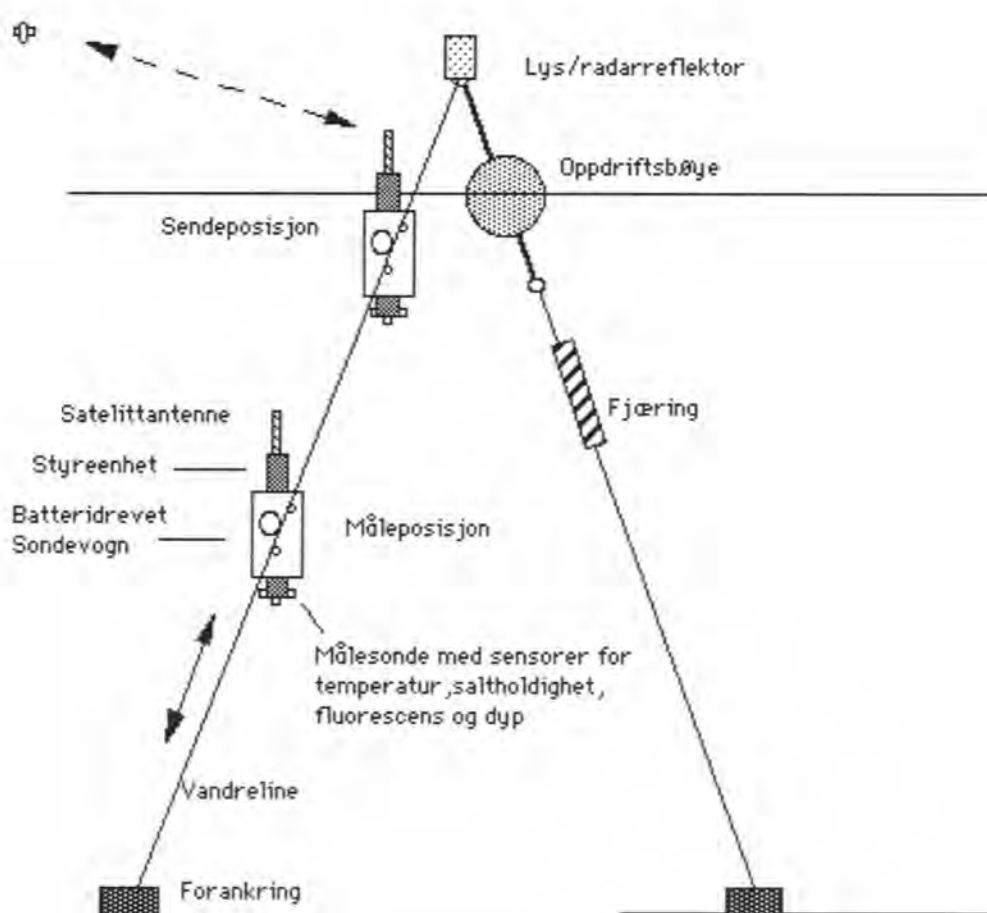
En undervannsglider kan tilbakelegge store avstander i havet med minimalt energiforbruk. Glideren justerer oppdriften ved å variere volumet til en ytre svømmeblære. Vekslinger mellom positiv og negativ oppdrift omsettes til horisonale hastighetskomponenter. Ved å justere tyngdepunktets plassering, kan glideren bringes til å svinge til siden eller til å følge en bølgeformet bane. Glideren kan også programmeres til ren vertikal profilering og derved fungere som en rigg uten fortøyning. Figuren viser typisk arbeidssekvens for et "undervanns glidefly".

The underwater glider transforms self induced changes in buoyancy to horizontal motion. This platform type has a high potential for cost efficient acquisition of data from the sea. In future the glider may replace fixed moorings by gliding up and down around a given GPS-position. The figure illustrates a typical glider working cyclus.

de passivt i en forhåndsinnstilt tid, før de på ny stiger opp til overflaten. Under oppstigningen måler drivlegemets instrumenter utvalgte fysiske og biologiske parametre. Når drivlegemet har nådd overflaten, avleveres GPS- posisjon og de målte data til en passerende kommunikasjons-satellitt som formidler dataene videre til eierens datamaskiner via Internett. Datamaskinene systematiserer den innsamlede informasjon og beregner midlere strømhastighet ut fra forskjellen i GPS-posisjon fra gang til gang. Drivlegemet kommanderes så ned igjen for å ta nye målinger.

Undervanns glidefly

Utilstrekkelig målehyppighet i tid og rom er et fundamentalt problem for havforskere som vil studere prosessers sanne natur. For å kunne skille mellom temporale og advektivt styrte prosesser, ønsker havforskerne billige plattformer som kan forflytte seg fortere enn hva passive drivlegemer klarer; uten at de derved bruker mer dyrebar energi fra indre batterier. Dette har ledet til utvikling av noe som nærmest må kalles undervanns glidefly.



Figur 5.40

Sanntidsprofilering langs forankret line. Figuren viser prinsippskissen for et prosjekt ved HI som skal bringe en liten registrerende STD-sonde til å styre seg selv opp og ned langs en forankret line, samtidig som den måler temperatur, saltholdighet og fluorescens. Instrumentet skal overføre de registrerte data til HI via satellitt og Internett hver gang det når overflaten.

Moored profilers. The moored profiler platform is in principle an autonomous drifter which has been tethered to a mooring line in order to restrict its motion to a fixed vertical path. The sketch illustrates a running IMR-project which will bring a recording STD-instrument to profile and report temperature, salinity and fluourescence from a fixed position.

Fig. 5.39 viser hvordan et "glidefly" virker. Den glidende plattformen er utstyrt med vinger og justerbar svømmeblære. Plattformen bringer med seg nok egen energi til å kunne justere svømmeblærens volum og forandre tyngdepunktet mange tusen ganger i løpet av et tokt.

Gliderens utforming gjør at den får en horisontal hastighetskomponent både under synking og oppstigning. Når oppdriften er lav, "flyr" glideren på skrått nedover. Økes svømmeblærens volum, så flyr den på skrått oppover igjen. Ved å justere tyngdepunktet, kan fartøyet bringes til å fly i spiral eller til å følge en ondulerende avspøkingsprofil. Gliderens instrumenter måler hele tiden det omgivende sjøvannets egenskaper, og hver gang instrumentet kommer til overflaten, overføres de registrerte data til en satellitt som samtidig gir fartøyet tilbake riktig posisjon. Posisjonsangivelsen bruker glideren til å styre seg mot neste mål.

I fremtiden vil tusener av slike passive glidere kunne trafikkere verdenshavene og gi kontinuerlig avmelding om situasjonen i alle dyp kanskje til en pris av bare noen få kroner per enkeltprofil. Dersom ikke strømmene er for kraftige, vil en glider også kunne instrueres til å ta faste snitt eller til å vandre opp og ned i samme posisjon og derved fungere som en forankret målerigg uten fortøyning.

Profilering langs en fortøyningsline

Selv om det er aldri så intelligent, vil et drivende legeme før eller senere sannsynligvis drive bort fra eierens kontroll og gå tapt. Ved å begrense drivlegemets frihet til å vandre opp og ned langs en forankret line, vil eieren ha vesentlig større sjanser for å kunne beholde instrumentet sitt intakt lenge og derved oppnå særdeles billige måleserier. Figur 5.40 viser prinsippet for en automatisk profilerende målesonde som nå er under utvikling ved HI. Denne sonden skal kunne vandre opp og ned langs en forankret line, måle, temperatur, saltholdighet og fluorescens under vandringen og levere profildata til en satellittsender hver gang den når overflaten. Instrumenter som vandrer opp og ned langs en fortøyning ventes å få svært stor utbredelse i

fremtidige målesystemer.

Autonome farkoster

Hver gang USA deltar i en konflikt, får TV-publikumet se imponerende bilder av flyvende ubemannete krysserraketter som flyr etter et preinnstilt program over hav og land for til slutt å leverere sin sprengladning med "kirurgisk" presisjon midt inne i en bygate.

Liknende selvstyrte eller "autonome" fartøy har nå i meget begrenset grad begynt å krysse havområdene. Mens landenes militære vil bruke autonome farkoster til bombeutveksling, samarbeider de samme lands klimaforskere om å bruke teknologien til marin forskning. Der finnes nå to typer mannskapløse fartøyer, autonome overflatefartøyer og autonome undervannsfartøyer.

Forskjellen fremgår av navnet, og begge fartøytyper har mulighet for å skaffe store datamengder over lang tid så snart noen utvikler en praktisk energikilde for fartøyet fremdrift. I dag står håpet til avanserte brenselceller, som skaper elektrisitet fra medbragt hydrogen og oksygen fra sjøvannet.

Figur 5.41 viser foto av en AUV (Autonomous underwater vehicle) utviklet ved MIT i USA. Fartøyet er ca 2.5 meter langt og inneholder et ledig instrumentvolum på rundt 100 liter.

I fremtiden vil et stort antall AUV-enheter kunne operere fra nettverk av undervannsterminaler der de torpedolignende fartøyene stikker snuten inn for å levere data og få etterfylt ny energi. Selvstyrte undervannsfartøyer kan i prinsippet komme til overalt - også under de store, islagte havområder som til nå har vært bortimot utilgjengelige for forskning.

Når det en gang blir utviklet praktiske og billige energikilder for fremdrift av AUV, vil mannskapløse undervannsforskningsfartøyer kunne overta mange av de oppgavene som dagens forskningsfartøyer nå utfører. I vårt land vil forsknings AUV-er sannsynligvis først bli brukt til å assistere forskningskipene. Liksom



Figur 5.41 Eksempel på selvstyrt undervannsfartøy (AUV- Autonomous Underwater Vehicle) utviklet ved MIT. Den typiske AUV er 2- 3 m lang med 10 - 100 liter nyttelastvolum for utstyr og instrumenter. Fremdriften til AUV-fartøyer er basert på elektrisk strøm fra batterier eller fra brenselceller. Foto: MIT.

The photo shows an autonomous underwater vehicle (AUV) prototype developed at MIT (USA). When convenient and cheap energy becomes available for AUVs, this platform will supplement and possibly challenge the use of research ships for general data acquisition from the sea.

Odin i sin tid sendte ravnene Hugin og Munin ut i verden for å samle informasjon, vil kapteinen på den nye "G.O. Sars" en gang kunne sende sine AUV-er ut for å speide etter fisk og plankton under isen i Barentshavet.

Viktige forutsetninger

Skal de nye instrumentplattformer få suksess, må det foreligge klaff mellom marked og ytelse. Klimautviklingen representerer utvilsomt et gigantmarked. Jo oftere der oppstår ekstreme vær-situasjoner, desto større blir landenes vilje til å øke innsatsen på marin og atmosfærisk overvåkning. På den annen side mangler det ennå mye på teknologien.

Hovedproblemet er at dagens sensorer gjennom-

gående er lite egnet til å klare seg i årevis uten tilsyn og service, og at dagens måter å lagre elektrisk energi på er kostbare og ineffektive i forhold til behovet.

Ingen slipper unna juristene

Fremtidens havsinstrumentering betyr ikke bare nye utfordringer for dagens og fremtidens teknologer. Også fremtidens jurister kan se fram til lukrative oppdrag. Hvem erstatter for eksempel fiskernes tap når kun drivende instrumenter fyller deres garn? Hvem eier informasjonen i fritt drivende instrumenter? Hvem dekker tapene når en ukjent AUV kolliderer med og senker et overflatefartøy i internasjonalt farvann? Nye internasjonale rettsregler vil måtte utvikles og praktiseres.

CHATTONELLA – en ny skadelig alge i norske kystfarvann

Jan Aure, Einar Dahl,
Didrik S. Danielssen
og Henrik Søiland

Chattonella aff. verruculosa er en 10-40 mm lang og 12-15 mm bred planktonalge som svømmer ved hjelp av en fremoverrettet flagell (svømmetråd). Den tilhører algeslekten *Chattonella*, som igjen er med i algeklassen *Raphidophyceae* og ligner mest på en alge som i litteraturen går under navnet *Chattonella verruculo*. Siden den ikke er helt lik, blir uttrykket aff. som på latin som betyr "nær eller beslektet" satt inn mellom slektsnavnet og artsnavnet.

I begynnelsen av mai 1998 skapte *Chattonella* aff. *verruculosa* fiskedød i flere oppdrettsanlegg i Farsunds- og Flekkefjordområdet. Det var hovedsakelig stor laks som døde, til sammen ca 350 tonn.

Hvor kom den nye algen fra - Hva skjedde

Det var første gang denne *Chattonella*-algen opptrådte i masseforekomster og forårsaket fiskedød i Europa. Men nærstående slektinger har tidligere skapt fiskedød, særlig i Japan. På hvilken måte algen har kommet til europeiske farvann er usikkert, men en nærliggende tanke er at den ble innført med ballastvann fra Østen. Det er tidligere vist at representanter for den algeklassen *Chattonella* tilhører, *Raphidophyceae*, kan inneholde gifter, men det var lite trolig at *C. aff. verruculosa* var særlig giftig i mai. Hverken danske eller norske eksperter påviste giftstoffer. Medlemmer i algeklassen *Raphidophyceae* inneholder imidlertid mange slimlegemer. I mikroskop kunne vi observere at levende *Chattonella*-celler plutselig "eksploderte" og kastet ut lange tråder av slim. Det kan ha vært en kombinasjon av slimdannelse og høye algetall som førte til blokkering av fiskegjellene, slik at fisken ikke kunne ta opp oksygen og derved ble kvalt.

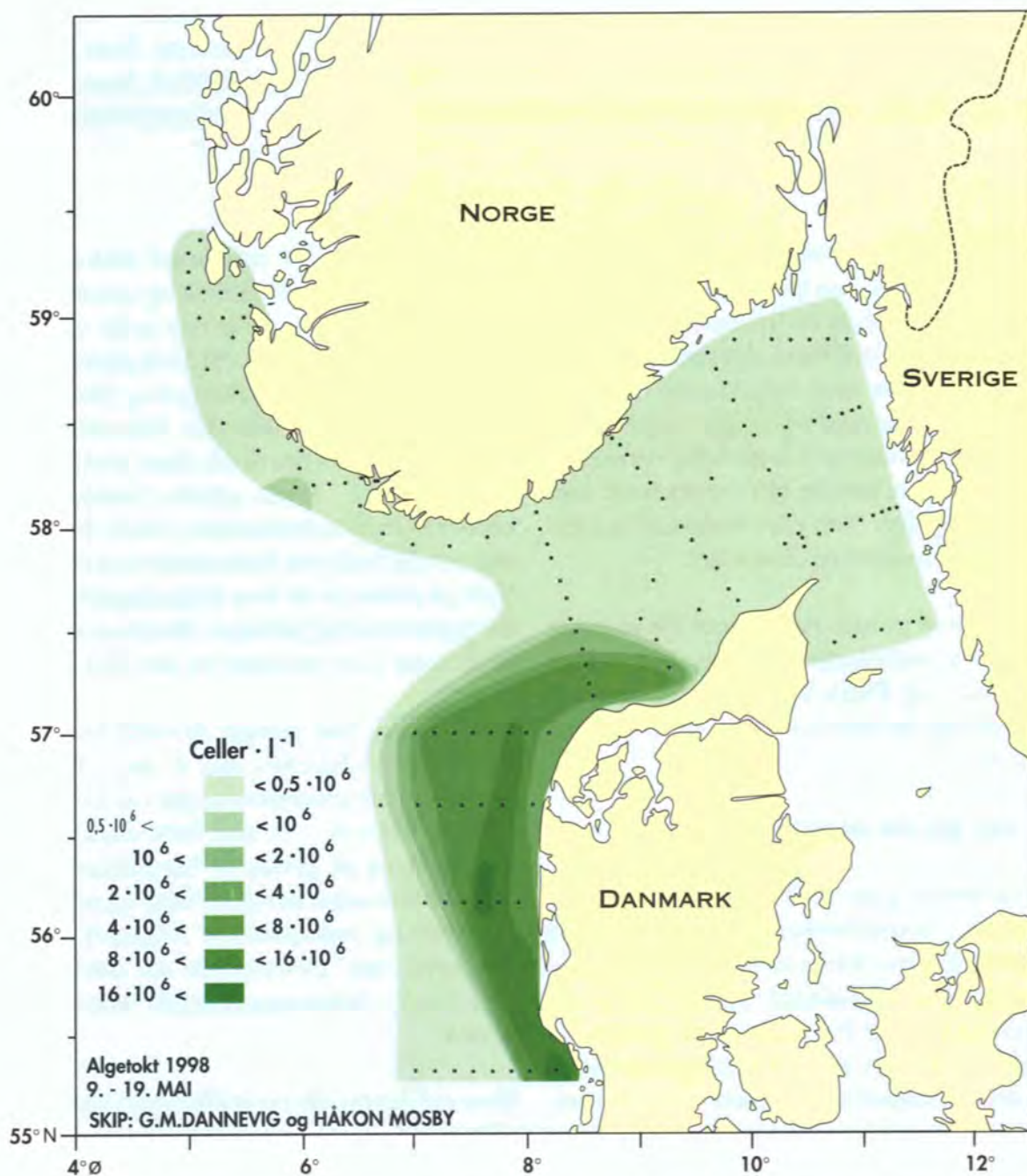
Masseforekomster av *Chattonella* utviklet seg først i Skagerrak, nord for Skagen i siste halvdel

av april. Algene ble transportert med den inngående strømmen i Skagerrak og spredte seg til vestkysten av Sverige, der den holdt seg under det ferske overflatelaget. På Sørlandskysten ble den først observert ved Farsund og Flekkefjord 2. mai, hvor den forårsaket fiskedød i oppdrettsanlegg. Etter den akutte fasen med fiskedød i Vest-Agder, 2. - 3. mai, spredte *Chattonella* seg nordover med kyststrømmen i øvre lag, og 8. mai var det flekkvise forekomster syd i Ryfylke. Men på grunn av de lave konsentrasjonene ble det ingen betydelig fiskedød i Ryfylket, og i løpet av få dager forsvant algen fra området.

I Flødevigen like utenfor Arendal ble *C. aff. verruculosa* observert den 4. mai. To dager senere var konsentrasjonen oppe i ca 3 millioner celler/l. Etter 8. - 9. mai førte østlig vind i Skagerrak og på kysten av Sørvestlandet til at algene ble transportert ut fra land, og tilførselene fra nord- og vestkysten av Danmark stoppet etterhvert opp. Deretter ble det ikke funnet *Chattonella* i betydelige mengder langs norskekysten.

Etter at *Chattonella* var avblomstret nord og øst i Skagerrak, ble det oppdaget masseforekomster av algen langs vest- og nordkysten av Jylland, i hovedsak fra Jammerbukta og sydover til Esbjerg (fig. 5.42 - 5.43). Her ble det registrert dødelighet på naturlige fiskebestander som tobis, horn gjel, sild og makrell. Målinger nord av Jylland viste reduserte konsentrasjoner av *Chattonella* fra omkring 16. mai. Vest av Jylland var det også en gradvis reduksjon og omkring 20. mai døde blomstringen av *Chattonella* ut. Det skyldtes trolig næringsmangel, og analyser av algene tydet på at de i sluttfasen manglet fosfat.

Modellberegninger viser at det i begynnelsen av mai strømmet vann nordover langs vestkysten av Jylland og videre inn i Skagerrak. Fra omkring 10. mai endret imidlertid dette strømmønsteret



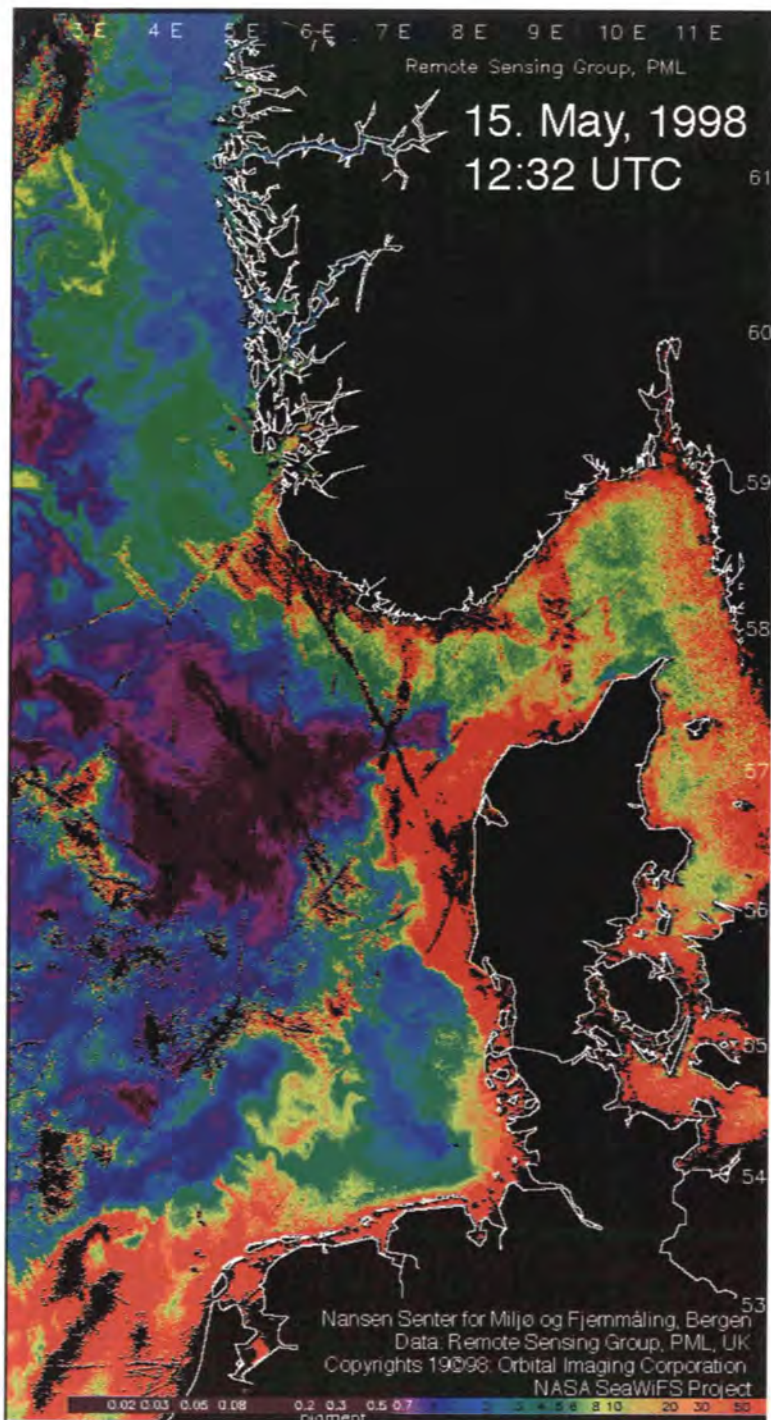
Figur 5.42 Forekomster hovedsakelig av *Chattonella* (celler/l). Maksimumskonsentrasjon i øvre 10 meter fra 9. - 19. mai 1998. Stasjonsnettet fremgår som prikker.
The occurrence of Chattonella-like cells/l, maximum values for the upper 10 meters, during algae surveys, 9. - 19. May 1998, the station grid is shown as dots.

seg, og for en stund strømmet vannet ut fra Skagerrak langs kysten av Nord-Jylland (figur 5.43). Dette skyldtes østlig vind i sørlige Skagerrak. Det er kjent at lokale vindforhold i perioder kan snu strømmen slik at det blir utgående strøm langs kysten av Nord-Jylland, selv om dette er stikk motsatt av "normal" strøm i Skagerrak. Den "unormale" strømmen førte dermed *Chattonella*-algene ut av Skagerrak, samtidig som den blokkerte for ny innstrømning av

næringsrikt vann med høye algekonsentrasjoner fra vest-kysten av Jylland.

For mye nitrat

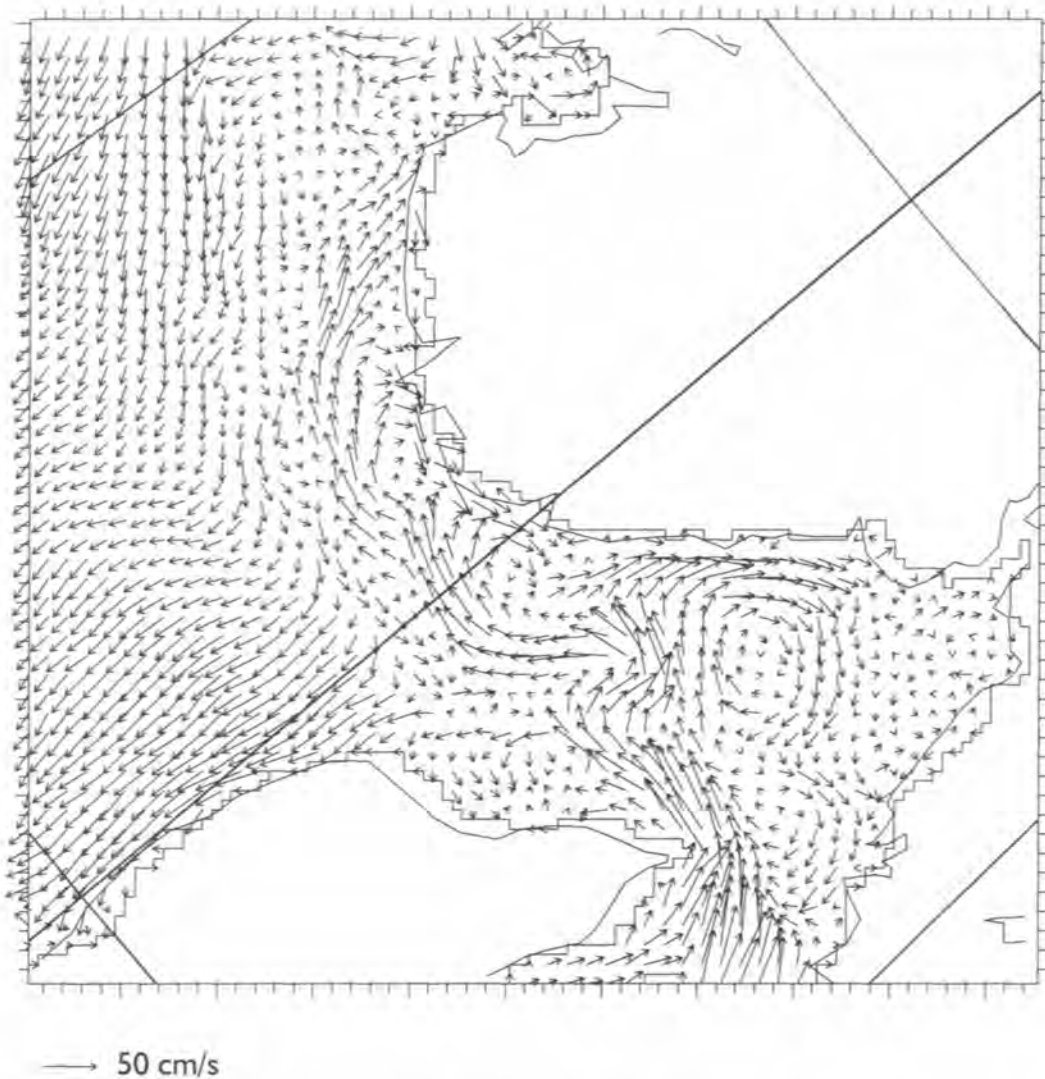
Havforskningsinstituttet utfører et rutinetokt med forskningsfartøyet "G.M. Dannevig" hvert år i april i Skagerrak, sydøstlige Nordsjøen og Kattegat. Observasjoner fra dette toktet viser at nitratkonsentrasjonene langs den danske vestkysten



Figur 5.43
 Horizontal klorofyll-*a* fordeling ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) 15. mai 1998 ifølge satelittmålinger (SeaWiFS).
Horizontal distribution of chlorophyll ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) on 15. May 1998 according to satellite measurements (SeaWiFS).

og i det sørlige og østlige Skagerrak var unormalt høye i april. Faktisk har det bare en gang (1994) i de ti siste år vært observert høyere verdier. Masseforekomsten av *Chattonella* i Skagerrak og langs vestkysten av Jylland i 1998 var knyttet til vannmasser med unormalt høyt nitratinnhold. Disse høye nitratkonsentrasjonene skyldes store nitrat- og fosfatutslipp i sydlige del av Nordsjøen. Tilførslene medførte en ubalansert sammensetning av næringsalter med et stort overskudd av nitrat i forhold til fosfat og silikat. *Chattonella verruculosa* er kjent fra japanske farvann hvor

den gjerne forekommer i den "kalde" årstiden med temperaturer ned mot 10 °C. Fra Japan har de videre erfart at representanter fra *Chattonella*-slekten trives ved høye næringssaltkonsentrasjoner. Dermed lå miljøforholdene i slutten av april og i første del av mai godt tilrette for en oppblomstring av *Chattonella*. En annen viktig årsak til at en enkelt planktonalge kan prege større arealer over en viss tid, er at den ikke beites ned av dyreplankton. *Chattonella* aff. *verruculosa* var neppe særlig populær som mat blant vanlig dyreplankton.



Figur 5.44 Modellert strømshastighet i 10 meters dyp 15. mai 1998.
Modelled current velocity at 10 meter depth on 10. May 1998

Unormale næringsforhold kan gi unormal oppblomstring

Den spesielle årsaken til at én spesiell algeart som for eksempel flagellaten *Chattonella* får danne store blomstringer i konkurranse med andre omgivende arter, har vi liten kunnskap om. Generelt vil imidlertid unormale næringsstoffforhold i Skagerrak og langs vestkysten av Jylland i april/mai favorisere oppblomstring av flagellater. Og det er blant flagellatene vi finner de fleste skadelige algearter.

Noen *Chattonella*-arter danner hvilestadier, såkalte cyster, som overvintrer i sedimenter. Dette gir dem muligheten til å komme tilbake med nye blomstringer så snart forholdene ligger

tilrette. Vi vet ennå ikke om *Chattonella* aff. *verruculosa* er i stand til å danne cyster. Havforskningsinstituttets algeovervåknings-tjeneste har påvist *Chattonella*-lignende celler gjennom våren 1999, men ikke i noe stort antall.

Når kommer neste oppblomstring?

En ny skadelig alge er introdusert i norske kystfarvann. Når den eventuelt slår til igjen vet ingen. Vi får bare håpe at vi blir like heldige med strømforholdene i Skagerrak og langs kysten som vi var i 1998 neste gang en skadelig alge blomstrer!