

FISKEN OG HAVET NR 30 - 1995

**GEOGRAFISK OG SESONGMESSIG
FORDELING AV
PLANTE- OG DYREPLANKTON
I DET NORDLIGE BARENTSHAVET.
SLUTTRAPPORT.**

Av

Harald Loeng, Padmini Dalpadado, Clelia Booman,
Arne Hassel, Webjørn Melle og Francisco Rey

ke 3976

PROSJEKTRAPPORT

ISSN 0071-5638



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

MILJØ - RESSURS - HAVBRUK

Nordnesparken 2 Postboks 1870 5024 Bergen

Tlf.: 55 23 85 00 Fax: 55 23 85 31

Forskningsstasjonen

Flødevigen

4817 His

Tlf.: 37 01 05 80

Fax: 37 01 05 15

Austevoll

Havbruksstasjon

5392 Storebø

Tlf.: 56 18 03 42

Fax: 56 18 03 98

Matre

Havbruksstasjon

5198 Matredal

Tlf.: 56 36 60 40

Fax: 56 36 61 43

Distribusjon:

ÅPEN

HI-prosjektnr.:

01.03.1

Oppdragsgiver(e):

AKUP,
Nærings- og
Energidepartementet

Oppdragsgivers referanse:

Rapport:

FISKEN OG HAVET

NR. 30 - 1995

Tittel:

Geografisk og sesongmessig fordeling av plante- og dyreplankton i det nordlige Barentshavet. Sluttrapport.

Senter:

Marint miljø

Seksjon:

Havmiljødata og modellering

Forfatter(e):

Harald Loeng, Padmini Dalpadado., Clelia Booman,
Arne Hassel, Webjørn Melle og Francisco Rey

Antall sider, vedlegg inkl.:

48

Dato:

28.12.1995

Sammendrag:

Rapporten oppsummerer dagens kunnskaper om fordelingen av plante- og dyreplankton i tid og rom i det nordlige Barentshavet. Mer enn halvparten av planteplanktonets biomasse blir produsert under våroppblomstringen som finner sted i overflatelaget. Utover sommeren foregår produksjonen av planteplankton, under sprangsjiktet, stort sett i dyp fra 20-50 m avhengig av hvor man er og når man observerer. Utover høsten og vinteren er produksjonen lav. Dyrplanktonet finnes også ulike steder i vannsøylen. Om vinteren er det noenlunde jevnt fordelt i vannsøylen med en tendens til høyere verdier med dypet. Det meste av dyreplanktonet reproducerer i tilknytning til planteplanktonets våroppblomstring, og i denne tiden er både voksne og egg å finne i overflatelaget. Utover sommer vil hovedtyngden av dyreplanktonet være å finne nær det dypet hvor planteplanktonet befinner seg. I løpet av høsten vil dyreplanktonet vandre mot dypere vannlag. Med tanke på et oljespill vil økosystemet være mest sårbart i tiden under og like etter maksimum blomstring av planteplankton.

Emneord - norsk:

1. Barentshavet
2. Planteplankton
3. Dyreplankton

Emneord - engelsk:

1. Barents Sea
2. Phytoplankton
3. Zooplankton


Prosjektleder


Forskningsdirektør

Summary

The present report summarizes our knowledge on the distribution of phyto- and zooplankton in the northern Barents Sea. More than 50% of the biomass of phytoplankton is produced during the spring bloom period and takes place in the surface layer. During the summer, the bloom continues with lower intensity just below the pycnocline, mainly at depths 20-50 m, depending on time and place. The production is low during autumn and winter. Also the zooplankton is found at different depths during the year. During the winter the zooplankton is more or less evenly distributed in the water column. Zooplankton organisms reproduce during the phytoplankton bloom in spring. During that period most of the zooplankton biomass is found in the surface layer. In the summer time, the bulk of the biomass continue to concentrate at depths similar to phytoplankton maximum. During autumn, the zooplankton will start to descent to greater depth. In the event of an oil spill the ecosystem will be most vulnerable during the bloom period.

1. INNLEDNING

Arbeidsgruppen for konsekvensutredninger av petroleumsvirksomhet (AKUP) har i forbindelse med vurdering av konsekvenser av oljevirksomhet i isfylte farvann i det nordlige Barentshavet satt i gang en rekke utredningsprosjekter. I utredningsprogrammet for det nordlige Barentshavet (AKUP 1991) er det gitt uttrykk for at prosjektene skal foreta en vurdering av de miljømessige virkninger og mulige farer for forurensning. I vurderingen skal det legges vekt på fordeling av de biologiske ressurser i tid og rom og de biologiske prosesser som er direkte relevant for hydrokarboner i næringskjeden.

I prosjektet "Geografisk og sesongmessig fordeling av plante- og dyreplankton" var målsettingen todelt:

- beskrive struktur, funksjon og særtrekk ved den pelagiske del av økosystemet i det nordlige Barentshavet.
- vurdere mulige skadevirkninger av petroleumsvirksomheten på produksjonsgrunnlaget og de pelagiske ressurser i området.

Prosjektet har vært et samarbeid mellom Havforskningsinstituttet som prosjektansvarlig og Akvaplan-niva. Prosjektet har vært lagt opp slik at det skulle utarbeides flere selvstendige delrapporter som skulle belyse ulike aspekter ved plante- og dyreplankton i den nordlige delen av Barentshavet. For å få et helhetlig bilde av forholdene, beskriver de fleste rapportene et noe videre område enn det som er definert som Barentshavet-Nord i denne sammenheng. Sluttrapporten oppsummerer resultatene fra de ulike delrapportene og gir en konklusjon ut fra eksisterende kunnskaper. Som prosjektittelen antyder er det lagt vekt på å få fram både den geografiske og sesongmessige utbredelse av plante- og dyreplankton i de nordlige deler av Barentshavet. I sluttrapporten har vi bare tatt med hovedtrekkene fra delrapportene, slik at den mer detaljerte beskrivelse vil finnes i den enkelte delrapport.

Mye av dataene som ligger til grunn for resultatene ble samlet inn av Havforskningsinstituttet under forskningsprogrammet Pro Mare og dets forprosjekter. I tillegg kommer data fra de senere års overvåkning av dyreplankton i Barentshavet som gjennomføres hver høst. Mye av dataene på dyreplankton fra begge disse undersøkelsene har blitt spesielt opparbeidet for dette AKUP-prosjektet. Dette har også ført til at prosjektet har tatt noe lengre tid enn planlagt.

2. FYSISKE FORHOLD

Det er ingen prosjekter som omfatter fysisk oseanografi innenfor Barentshavet Nord. Siden produksjonen av plankton er sterkt knyttet til de oseanografiske forhold, er det funnet hensiktsmessig å ta en kort oppsummering av forholdene i forbindelse med oppsummeringen av plante- og dyreplankton. Med unntak av en del mindre endringer og tilføyelser av enkelte referanser, er kapittel 2 tatt direkte fra boka *Økosystem Barentshavet* (Sakshaug *et al.* 1992).

2.1. Strømforhold

Hovedtrekkene i strømforholdene er vist i Fig. 2.1. Kalde arktiske vannmasser med opprinnelse i Polhavet og Karahavet blir transportert inn i Barentshavet gjennom stredet mellom Novaya Zemlya og Frans Josef Land. Perseystrømmen frakter så disse vannmassene tvers over Barentshavet til Svalbardbanken hvor de møter de kalde vannmassene som kommer nordfra med Øst-

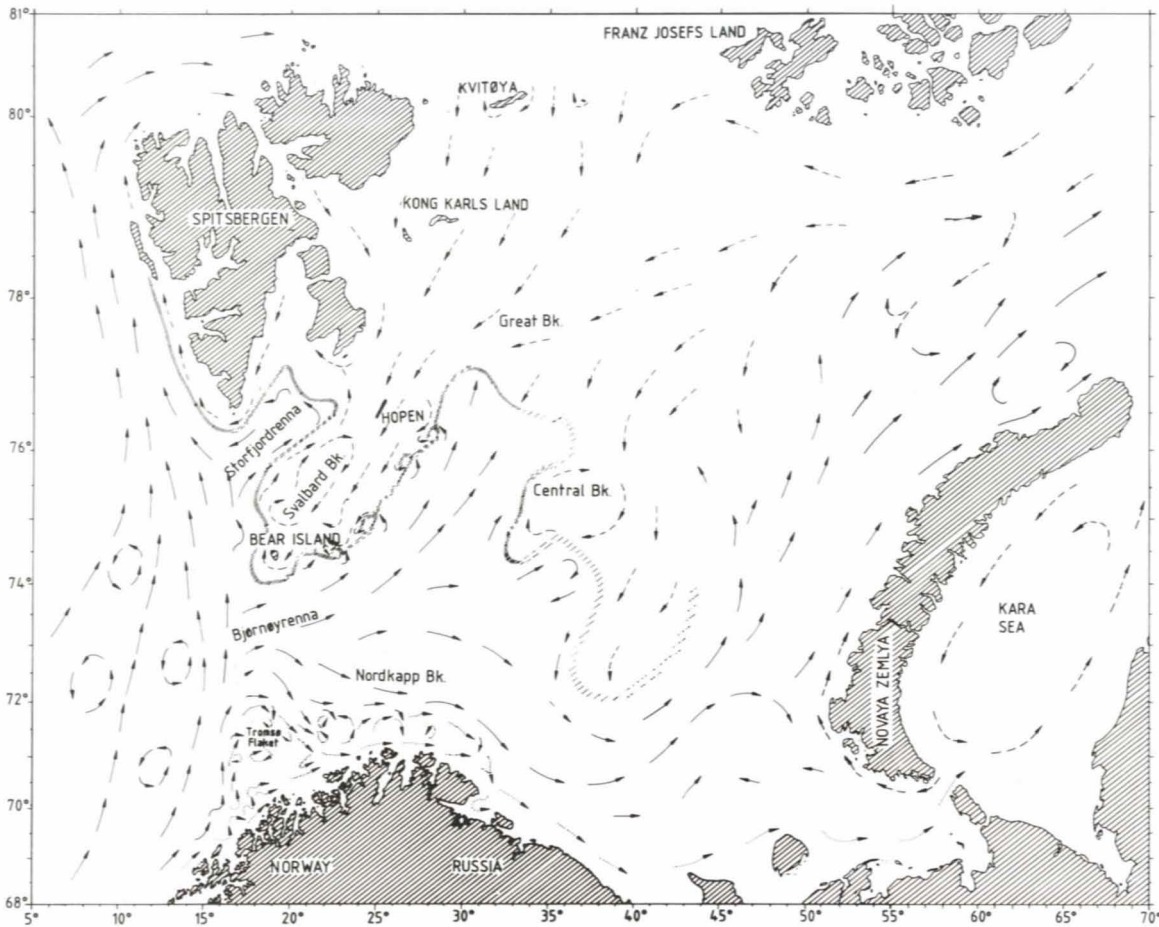


Fig 2.1. Overflatestrømmer i Barentshavet. Atlanterhavsstrømmen: —>, Arktiske strømmer: ---->, Kyststrømmen:>. Den stiplete kurven indikerer den midlere posisjon til Polarfronten.

(Surface currents in the Barents Sea. Atlantic currents: —>, Arctic currents: ---->, Coastal currents:>. The hatched line indicate the mean position of the Polar Front. (Loeng et al. 1993)

Spitsbergenstrømmen. Fra vest kommer Atlanterhavsvannet inn i Barentshavet. En gren strømmer nordover i Hopen-dypet hvor den deler seg i to. Den ene delen går østover mellom Sentralbanken og Storbanken, mens den andre delen fortsetter nordover mellom Svalbardbanken og Storbanken. Atlanterhavsvannet har større tetthet enn det arktiske vannet, og finnes derfor nederst i vannsøylen.

Over alle de grunne bankområdene finnes det hvirvler som er av permanent eller av semi-permanent karakter, det vil si at de løses opp etter en tid for så å dannes på ny. Over Svalbardbanken er det en stor permanent hvirvel mellom Bjørnøya og Hopen, mens det finnes flere mindre hvirvler i grenseområdet mellom de arktiske og atlantiske vannmassene langs østsiden av Svalbardbanken. Disse er av semi-permanent karakter, og har en typisk varighet av to-tre uker (Hassel et al. 1984). Rundt selve Bjørnøya er det også en permanent hvirvel, flere ganger observert ved drivende Argosbøyer (upublisererte data). Over Storbanken er det, i alle fall om sommeren, en liten hvirvel over den grunneste delen av banken

og hele Sentralbanken må karakteriseres som et permanent hvirvelområde. Vannmassene som kommer inn i denne hvirvlen vil ha en lang oppholdstid, opp til flere måneder.

2.2. Hydrografi

Det er to hovedvannmasser som bestemmer de fysiske forhold i området som omfattes av Barentshavet Nord. I tillegg kommer lokalt dannede vannmasser. Størstedelen av området nord for 74°30'N er dekket av arktiske vannmasser (Fig. 2.2). Dette er vannmasser med temperatur lavere enn 0°C og saltholdighet varierende mellom 34,3 og 34,8 (Tabell 1). Det arktiske vannet finnes stort sett i de øverste 150 m av vannsøylen og med kjernen stort sett mellom 30 og 100 m, hvor temperaturen er lavere enn -1,5°C. Hovedtyngden av det arktiske vannet har sin

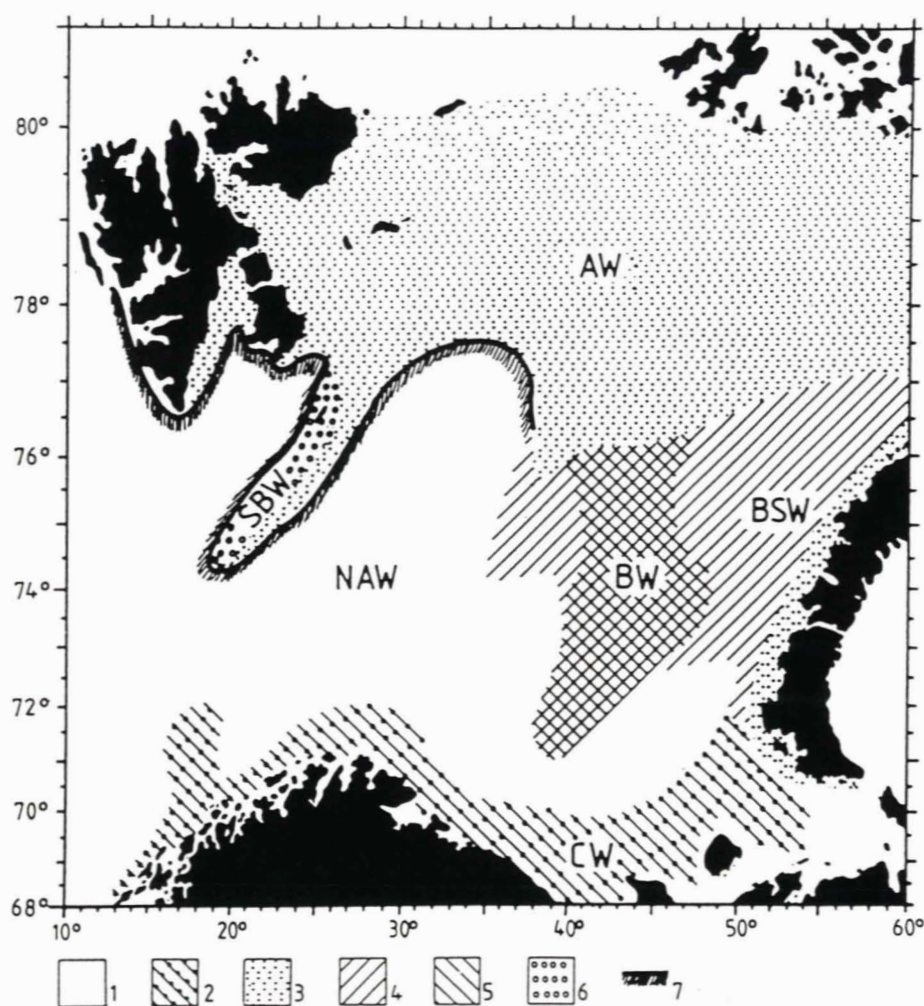


Fig. 2.2. Forenklet fremstilling av vannmassefordelingen i Barentshavet. 1) (Nord) Atlanterhavsvann (NAW), 2) Kystvann (CW), 3) Arktisk vann (AW), 4) Barentshavsvann (BSW), 5) Bunnvann (BW), 6) Svalbardbankvann (SBW), 7) Polarfronten (Main features of the water mass distribution in the Barents Sea. 1) (North) Atlantic Water (NAW), 2) Coastal Water (CW), 3) Arctic Water (AW), 4) Barents Sea Water (BSW), 5) Bottom Water (BW), 6) Svalbard Bank Water (SBW), 7) Polar Front. (Loeng 1991)

Øst-Spitsbergenstrømmen. Dette vannet blandes med atlantiske vannmasser som omdannes gjennom avkjøling, isfrysing og smelting. Det omdannede Atlanterhavsvannet kalles gjerne Barentshavsvann og finnes i første rekke i det østlige Barentshavet (Fig. 2.2). Når dette vannet på sin vei mot nordøst møter Perseystrømmen, blir deler revet med og blandet med vannmassene som kommer fra Polhavet. Deler av Atlanterhavsvannet sirkulerer derfor i Barentshavet, og går ut i Norskehavet i området sør for Bjørnøya (Blindheim 1989).

Tabell 1. Vannmasser i det nordlige Barentshavet karakterisert med temperatur (t) og saltholdighet (S).

Watermasses in the northern Barents Sea. (Loeng 1991).

| Vannmasser | t °C | S |
|-------------------|----------|-------------|
| Atlanterhavsvann | > 3 | >35,0 |
| Arktisk vann | < 0 | 34,3 - 34,8 |
| Svalbardbank vann | 1 - 3 | < 34,4 |
| Smeltevann | >0 | < 34,2 |
| Polarfrontvann | -0,5 - 2 | 34,8-35,0 |

Atlanterhavsvannet finner vi først og fremst i Hopendypet, hvorfra det deler seg i to grener som beskrevet i avsnitt 2.1. Imidlertid finner vi rester av Atlanterhavsvann nær bunn i de dype områdene fra Kong Karls Land og østover nord for Storbanken. Dette vannet er enten transportert inn fra sør, eller det kan være vann som har gått rundt Spitsbergen og kommet inn gjennom stredene i nord. Også i Stordfjordrenna finnes Atlanterhavsvann som strømmer inn i den sørlige delen, og ut igjen i den nordlige delen.

2.3. Vertikalblanding

Vertikal omrøring av vannmassene er nødvendig for å få vann som er rikt på næringssalter opp fra dypet til den øvre delen av vannsøylen hvor det er lys nok for algevekst. På den annen side må vannmassene være stabile for at planktonalger skal vokse.

Om vinteren er Atlanterhavsvannet homogent (gjennomblandet) fra overflaten og ned til 200-300 m dyp. Om våren blir overflatevannet varmet opp, og vannmassene i den øvre delen av vannsøylen blir stabile. Etter hvert som oppvarmingen fortsetter utover sommeren, blir stabiliteten sterkere og sprangsjiktet kommer dypere. I Hopendypet vil denne stabiliseringsprosessen føre til at sprangsjiktet kommer ned i 50 m (juli og august), og det typiske er at lagdelingen er noenlunde jevn ovenfor dette sjiktet (Fig. 2.3).

Ved iskanten dannes stabiliteten ved at isen smelter. Smeltingen foregår på to måter. Is som kommer i kontakt med Atlanterhavsvann smelter nedenifra på grunn av temperaturen i vannet. Denne type smelting er mest utpreget senvinters

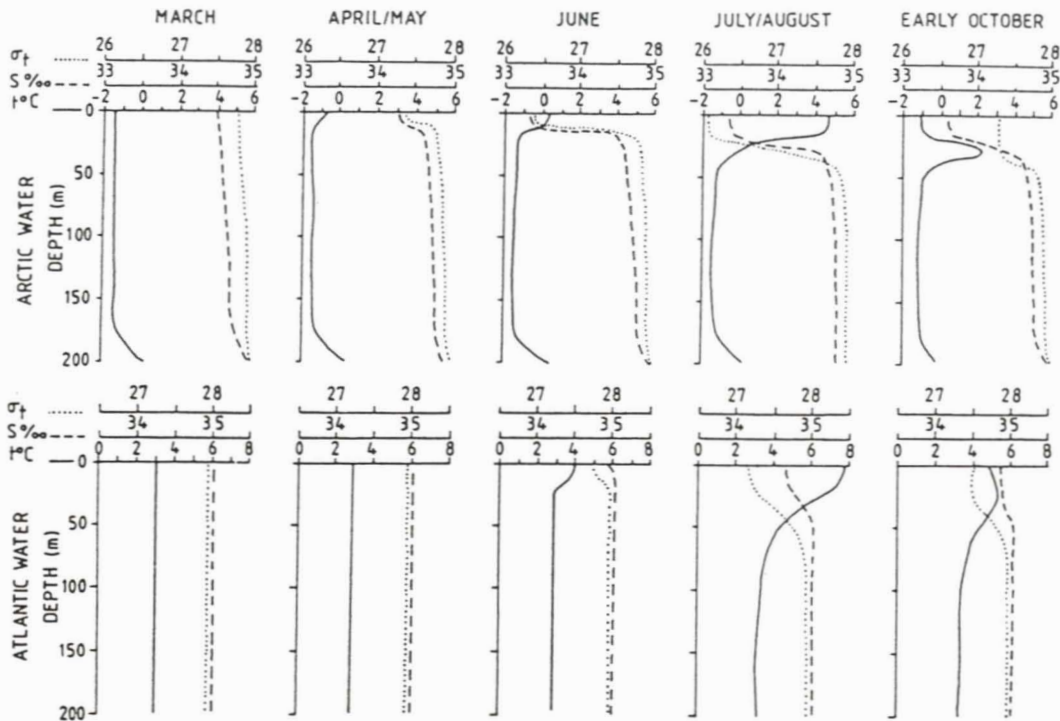


Fig. 2.3. Typiske vertikalfordelinger av temperatur, saltholdighet og tetthet (σ_t) i arktisk vann (øverst) og i atlantisk vann (nederst) til forskjellige tider av året.

(Typical vertical distribution of temperature, salinity and density (σ_t) in Arctic (upper) and Atlantic (lower) watermasses through the year). (Loeng 1991).

og tidlig på våren i år med så mye is at isgrensen kommer sør for Polarfronten. Smelting av is i Atlanterhavsvann forårsaker en mye tidligere og sterkere stabilisering av vannmassene enn det oppvarming gjør. Dette får følger gjennom at våroppblomstringen av alger starter tidligere og utvikler seg meget hurtig som beskrevet i avsnittene 3.2 og 3.3 (Rey 1993, Slagstad og Stokke 1994).

I arktisk vann nord for Polarfronten er det varmetilførsel fra atmosfæren og stråling som får isen til å smelte. Derfor starter issmeltingen noe senere i disse områdene. I startfasen er smeltevannslaget 5-10 m tykt og godt gjennomblandet. Dette laget er skilt fra de underliggende vannmassene med et markert sprangsjikt. I løpet av sommeren blir smeltevannslaget 15-20 m tykt, og sprangsjiktet forblir markert (Fig. 2.3).

Straks avkjølingen av overflatelaget begynner om høsten, starter nedbrytingen av stabiliteten i overflatelaget. Prosessen pågår inntil vannmassene når frysepunktet slik at is begynner å danne seg. Når isen fryser skilles det ut salt som bidrar til å øke tettheten i vannet, og bidrar dermed til å akselerere vertikalblandingen.

2.4. Klima

Det er varmemengden i det innstrømmende Atlanterhavsvannet som bestemmer klimaet i Barentshavet. Temperaturen i det innstrømmende vannet svinger mellom 3,5 og 6,5°C avhengig av årstid og langtidsendringer, og dette virker også inn på isens utbredelse (Loeng 1991). Noe forenklet svinger klimaet i Barents-

havet mellom en varm og en kald tilstand. Hver av periodene har vanligvis en varighet mellom 3 og 5 år, men det finnes både kortere og lengre perioder. Av lengre varme perioder kan nevnes 1930-38 og 1989-1995, mens den lengste kalde perioden som er observert etter 1920 var 1977-1982. Disse periodene er nøye knyttet sammen med svingninger i den atmosfæriske sirkulasjon. Den største innstrømningen av Atlanterhavsvann finner sted i perioder med mye lavtrykk, mens innstrømningen er lavere i høytrykksperioder (Ådlandsvik and Loeng 1991).

Variasjoner i innstrømningen av Arktisk vann kjenner man ikke til, men det er påvist at posisjonen av Polarfronten endrer seg med innstrømningen av Atlanterhavsvann. Fronten ligger lengre nord i år med stor innstrømning av Atlanterhavsvann enn i år med lav innstrømning (Skjoldal *et al.* 1987).

2.5. Isforhold

Isen i Barentshavet er stort sett ettårsis, men det finnes små og spredte mengder av flerårsis som strammer fra Polhavet eller is som har oversmret i Barentshavet. Det er en nær sammenheng mellom varmemengden i Atlanterhavsvannet og mengden av is i Barentshavet om vinteren og våren (Loeng 1991).

Selv om det kan være store variasjoner i isutbredelsen fra et år til et annet, så er de sesongmessige variasjonene nokså like. Isdekket er vanligvis maksimalt i tidsrommet mars-mai. Issmeltingen starter vanligvis i mai når temperaturen stiger over frysepunktet. I den første fasen er smeltingen langsom, og isgrensen flytter seg langsomt nordover. I denne tiden dannes et tynt smeltevannlag like under isdekket. Fra siste halvdel av juli og utover i hele august foregår den største ismeltingen og den raskeste forflyttingen av isgrensen nordover. Minimums-isdekket observeres vanligvis i september, men enkelte ganger så sent som i begynnelsen i oktober. De fleste årene forsvinner ikke all isen, men enkelte år kan isgrensen trekke nord for 81°N før isfrysingen starter. I begynnelsen flytter isgrensen seg relativt raskt sørover. Allerede ved årsskiftet kan isen i enkelte år nesten ha nådd maksimal utbredelse.

De minste variasjonene i maksimal utbredelse finnes rundt Svalbardbanken. Dette skydes at iskanten ved maksimal isutbredelse stort sett følger den oseanografiske polarfronten. Rundt Svalbardbanken er polarfrontens beliggenhet bestemt av bunntopografien og beveger seg derfor lite. Lenger øst er fronten mindre tydelig definert, og dermed får lavtrykksbaner og lokal avkjøling større innflytelse på isforholdene. At maksimal isutbredelse faller sammen med Polarfronten er naturlig med tanke på at isen vil smelte når den kommer i kontakt med Atlanterhavsvann. I enkelte år kan produksjonen eller transporten av is være så stor at isgrensen kommer sør for Polarfronten. Isen vil da først smelte og danne et overflatelag med lav saltholdighet. Dette laget vil være skilt fra det underliggende varme laget med et sprangsjikt. Når så ny is transporteres inn i samme område, vil den derfor ikke komme i kontakt med Atlanterhavsvannet og ikke smelte straks. I år med mye nordøstlig vind som i 1979 og 1981, vil transporten av is være så stor at deler av Atlanterhavsvannet vil være isdekket i en lang periode.

Utbredelsen av is om sommeren er derimot avhengig bare av de meteorologiske forholdene, og da spesielt den økte innstrålingen. Om sommeren er isen bare i kontakt med det kalde Arktiske vannet, og absorpsjon av strålingsvarme i den øverste del av vannmassen bidrar da til issmeltingen. Siden det er to ulike forhold som påvirker maksimums- og minimumsutbredelsen av is så behøver ikke lite is om vinteren nødvendigvis føre til lite is den kommende sommeren.

3. PLANTEPLANKTON

Produksjon og fordeling av planteplankton i Barentshavet på grunnlag av observasjoner er oppsummert av Rey (1993), mens Slagstad og Stokke (1994) har simulert de fysiske forhold og deres innvirkning på produksjonen av planteplankton ved hjelp av en numerisk modell. Kögeler *et al.* (1994) undersøkte om satellittfjernmåling kunne anvendes for å kartlegge oppblomstringen av planteplankton. Hovedkonklusjonen var at dagens ressurskartleggingssatellitter er dårlig egnet til kartlegging av marine parametre som klorofyll-a.

Det er to hovedfaktorer som bestemmer når oppblomstringen av planteplankton starter om våren. Den ene er solenergi i form av elektromagnetisk stråling, den andre er stabilitet i vannmassene. Stort sett er det dannelsen av stabile vannmasser som kontrollerer når oppblomstringen starter, for når dette skjer er det som regel nok lys til planteplanktonproduksjon i Barentshavet. Stabilitet og vertikalblanding er også de viktigste forhold som henholdsvis begrenser og sørger for tilførsel av nærings-salter til de vannlag hvor produksjonen av planteplankton foregår. Fig. 3.1 viser skjematisk effekten av vertikalstabiliteten på planteplanktonets og næringssaltenes vertikalfordeling i Barentshavet.

3.1. Viktige grupper av planteplankton

I Barentshavet finnes 200-300 arter av planteplankton, og omtrent halvparten av disse er diatomeer (kiselalger). Det betyr at diatomeene er den dominerende algegruppen i Barentshavet. Under våroppblomstringen kan de oppnå konsentrasjoner på flere milliarder celler pr. kubikkmeter sjøvann. I motsetning til andre algegrupper, trenger diatomeene silikat i tillegg til nitrat og fosfat. Diatomeene varierer sterkt i størrelse fra noen få mikrometer til flere hundre mikrometer. De mest dominerende diatomeene i Barentshavet er mellom 10 og 50 μm .

En annen viktig algegruppe er de nakne flagellatene. Dette er en heterogen gruppe som omfatter representanter fra forskjellige klasser. Den viktigste klassen i Barentshavet er Prymnesiophyceae som har en diameter omkring 5-10 μm (Rey 1993). Til denne klassen hører *Phaeocystis pouchetii* som sammen med den sentriske diatomeen *Chaetoceros socialis* er de to viktigste artene i Barentshavet.

Den tredje store gruppen er dinoflagellatene. Et viktig trekk ved disse er at omtrent halvparten av artene er heterotrofe, det vil si at de ernærer seg av organiske forbindelser. Selv om dinoflagellatene sjelden blomstrer i like store mengder som diatomeene og de nakne flagellatene, så er de tilstede året rundt i moderate mengder og spiller sannsynligvis en betydelig, men for tiden uavklart rolle i økosystemet (Rey 1993). De mest typiske artene og deres spesielle egenskaper er oppsummert av Rey (1993).

Som regel er planteplanktonets biomasse lav om vinteren og domineres av små flagellater. Om våren skjer det en kraftig forandring i artssammensetningen som følge av våroppblomstringen. Oppblomstringen er i første fase vanligvis dominert av diatomeer. Etter hvert som silikatet blir brukt forsvinner diatomeene og *Phaeocystis* blir den dominerende algen. Dette betyr at som regel dominerer diatomeene ved iskanten mens *Phaeocystis* øker i mengde et stykke fra iskanten. Når de høyeste algekonsentrasjonene blir funnet et stykke ned i vannsøylen, indikerer det at oppblomstringen allerede er forbi i overflatelaget fordi næringssaltene her er oppbrukt. Det samme mønster finnes både i de sentrale og

mer østlige deler av Barentshavet. Det er verdt å merke seg at man i de frie vannmasser nær iskanten finner en del typiske isalger som sannsynligvis har hatt sin opprinnelse fra iskantoppblomstringen (Rey 1993).

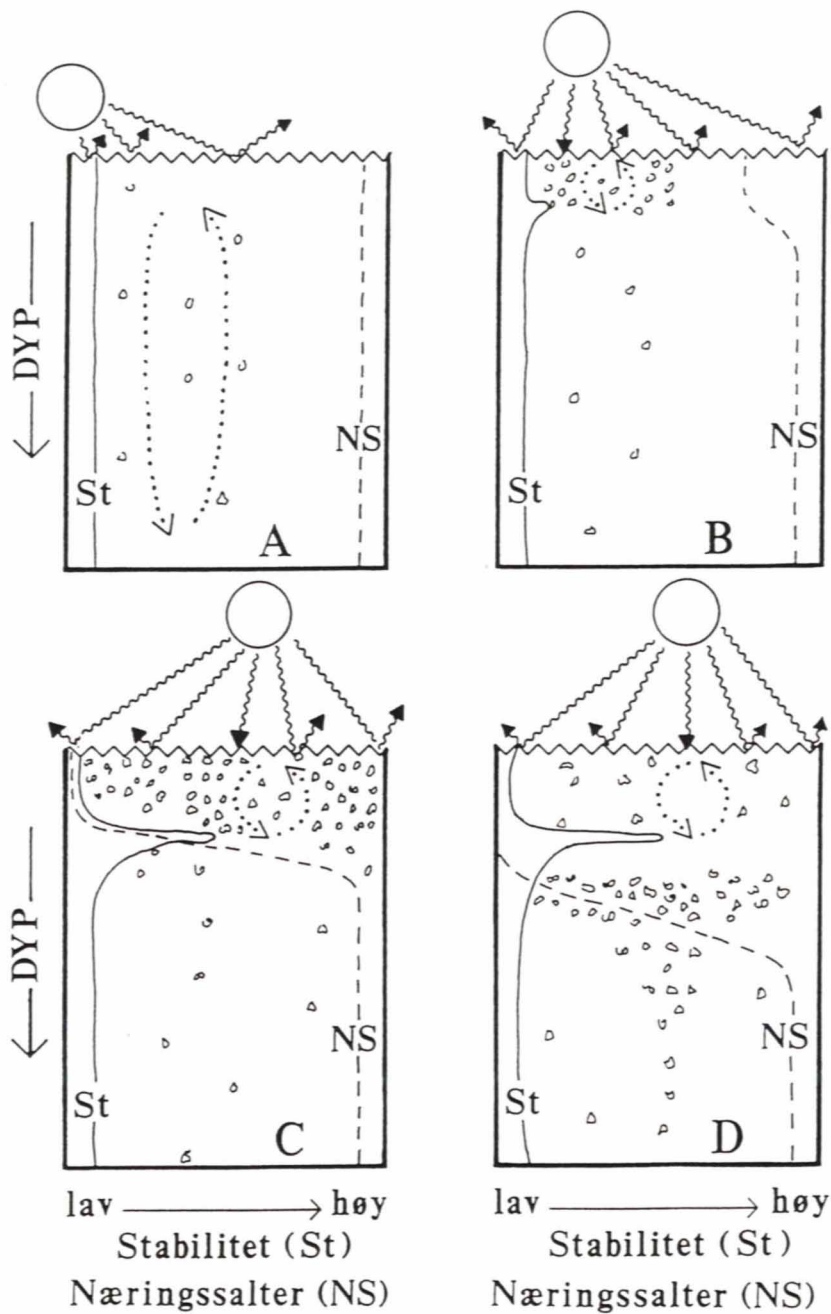


Fig. 3.1. Skjematisk fremstilling av effekten av vertikalstabiliteten (St) på planteplankton og næringsalter (NS) i Barentshavet. Pilene viser område med vertikalblanding som når overflaten. A: Vinter, B: Tidlig vår, C: Våroppblomstring, D: Sommer.

(Schematic illustration of the effect of vertical stability on the vertical distribution of phytoplankton and nutrients in the Barents Sea. The arrows show areas with vertical mixing that reach the surface. A: Winter, B: Early spring, C: Spring bloom situation, D: Summer. (Rey 1993).

De typiske vårartene forsvinner utover sommeren og gir plass for et vidt spekter av andre arter. Overflatelaget domineres hovedsaklig av flagellater, og blandt de mest typiske er flere dinoflagellater. Av andre sommerslekter kan *Chrysochromulina* nevnes. Et fellestrekk for de fleste sommerslektene er at mange av deres representanter er istand til å ernære seg heterotrofisk og dermed ikke er avhengig av videre tilførsel av uorganiske næringssalter (Rey and Loeng 1985). Dypere nede, under sprangsjiktet, finner man diatomeene, men med arter som er forskjellig fra de som dominerte om våren. Dette planktonsamfunnet fortsetter utover høsten inntil det forsvinner ved at stabiliteten i vannmassene brytes ned.

Det planktonsamfunnet som er beskrevet ovenfor gjentar seg med mindre variasjoner fra år til år og er typisk for det nordlige Barentshavet. Det kan være av interesse å nevne at det er en annen artssammensetning her enn i mer sørlige norske farvann. Imidlertid kan typiske sørlige arter i enkelte år bli ført med strømsystemene til de sentrale deler av Barentshavet (Rey 1993).

3. 2 Planktonodynamikk

Vertikalblanding og stabilitet (beskrevet i avsnitt 2.3) er de fysiske faktorer som betyr mest for planteplanktonets utvikling. Dette skjer gjennom fordeling av næringssalter, algenes tilgang på solenergi og fordelingen av algenes biomasse. Om vinteren tilføres overflatelaget næringssalter, og allerede i februar-mars har nivået i overflatelaget nådd sitt maksimum. Typiske verdier er gitt i tabell 2.

Tabell 2. Typiske vinterverdier for næringssalter i Barentshavet. Konsentrasjoner i mmol m⁻³
(*Typical winter values of nutrients in the Barents Sea. Values given in mmol m⁻³*) (Rey 1993).

| | Atlanterhavs- vann | Arktisk vann |
|--------------|-----------------------|-----------------|
| Nitrat (N) | 12,0 | 10,5 |
| Fosfat (P) | 0,9 | 0,8 |
| Silikat (Si) | 5,8 | 5,0 |
| N/P | 13,3 | 13,1 |
| N/Si | 2,1 | 2,1 |

Vertikalblandingen om vinteren medfører også at de mikroorganismene som finnes i vannsøylen blandes ned i dypet. Størstedelen av mikroorganismene har et heterotrofisk levesett og de få fotosyntetiserende cellene er i et hvilestadium. Oppblomstringen starter når vannmassene stabiliseres om våren (avsnitt 2.3), og algene tilføres tilstrekkelig solenergi.

Forbruket av næringssalter avhenger sterkt av planteplanktonets arts-sammensetning. Samtlige fotosyntetiserende organismer i Barentshavet har behov for både fosfat og nitrat, mens diatomene i tillegg også trenger silikat. Siden diatomeene bruker nitrat og silikat i samme omfang, vil deres oppblomstring

begrenses av mengden silikat. Omtrent halvparten av nitratet er dermed tilgjengelig for andre alger som f.eks. *Phaeocystis pouchetii*, som ikke er avhengig av silikat. I år når *P. pouchetii* dominerer blir det derimot et overskudd av silikat som blir oppbrukt utover sommeren av diatomeer som henter nitrogen fra regenererte forbindelser eller fra underliggende vannmasser.

Våroppblomstringen i Arktisk vann følger isens tilbaketrekning gjennom hele sommeren. Iskantoppblomstringen følger iskanten som et flere kilometer bredt belte så lenge lysforholdene er tilstrekkelig for algeveksten. Det betyr at oppblomstringen starter senere dess lengre nord man kommer og at sesongen her blir kortere. Modellresultatene presentert av Slagstad og Stokke (1994) viser også denne utviklingen tydelig (Fig. 3.2).

3.3 Planteplanktonets primærproduksjon og skjebne

Det er svært vanskelig å få sikre mål for produktiviteten i et område. En fremgangsmåte er å beregne produksjonen på grunnlag av mengden næringssalter i vannsøylen (Tabell 2). Produksjonen deles vanligvis opp i to faser. Våroppblomstringen, som er begrenset til den øverste del av vannsøylen, og sommerblomstringen, som foregår hovedsaklig under sprangsjiktet men delvis også i overflatelaget basert på regenerert næringssalter. I de områder som omfattes i denne rapporten er produksjonen om våren beregnet til 49 gC m^{-2} i arktisk vann nord for Polarfronten og 55 gC m^{-2} i Atlanterhavsvannet sør for fronten. Årsproduksjonen er beregnet til henholdsvis 80 og 90 gC m^{-2} i de to vannmassene (Rey 1993).

Målinger av primærproduksjonen med radioaktivt karbon har gitt verdier som ligger tett opptil de teoretiske. Basert på primærproduksjonsmålinger gjennomført i tidsrommet 1979-1989 fant man en gjennomsnittlig integrerte produksjonen fram til 1. juni på 56 gC m^{-2} , mens den totale årsproduksjonen var 89 gC m^{-2} . (Rey 1993). Målingene er i første rekke basert på målinger i Atlanterhavsvannet og i Arktisk vann like nord for Polarfronten. I de aller nordligste deler av Barentshavet, hvor isen forsvinner seint, er produksjonen lavere. Dette går tydelig fram av de modellkjøringer som er gjort av Slagstad og Stokke (1994). Fig. 3.3 viser simulert årsproduksjon i et sør-nord snitt, fra Nordkappbanken gjennom Hopen-dypet og til Storbanken. Det er to ting å merke ved resultatene fra modellkjøringene. Det er stor forskjell i produksjon mellom varme og kalde år, med betydelig høyere produksjon i de varme årene. Dette gjelder særlig områdene rundt Polarfronten. Dette stemmer overens med de observasjoner som er beskrevet av Rey *et al.* (1987). Årsproduksjonen beregnet fra modellen stemmer godt overens med de teoretiske og målte verdier.

Om vinteren ligger den daglige produksjonen mellom $50-100 \text{ mgC m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$, men den øker betraktelig når våroppblomstringen starter. $1-2 \text{ gC m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ er vanlige verdier i denne perioden, men verdier opp til $3-4 \text{ gC m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ er målt enkelte år, særlig i Atlanterhavsvann. Etter at våroppblomstringen er ferdig, ligger verdiene mellom $400-600 \text{ mg m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$. Fra september går produksjonen nedover mot vinterverdiene (Rey 1993).

I tillegg til den pelagiske produksjonen kommer primærproduksjonen av isalger. Denne er imidlertid lav, anslagsvis $1 \text{ gC m}^{-2} \text{ år}^{-1}$, noe som er lite sammenlignet den øvrige produksjonen (Rey 1993).

Primærproduksjonen går enten videre til høyere trinn i det pelagiske næringsnettverket eller produksjonen sedimenteres ut av den eufotiske sonen og til

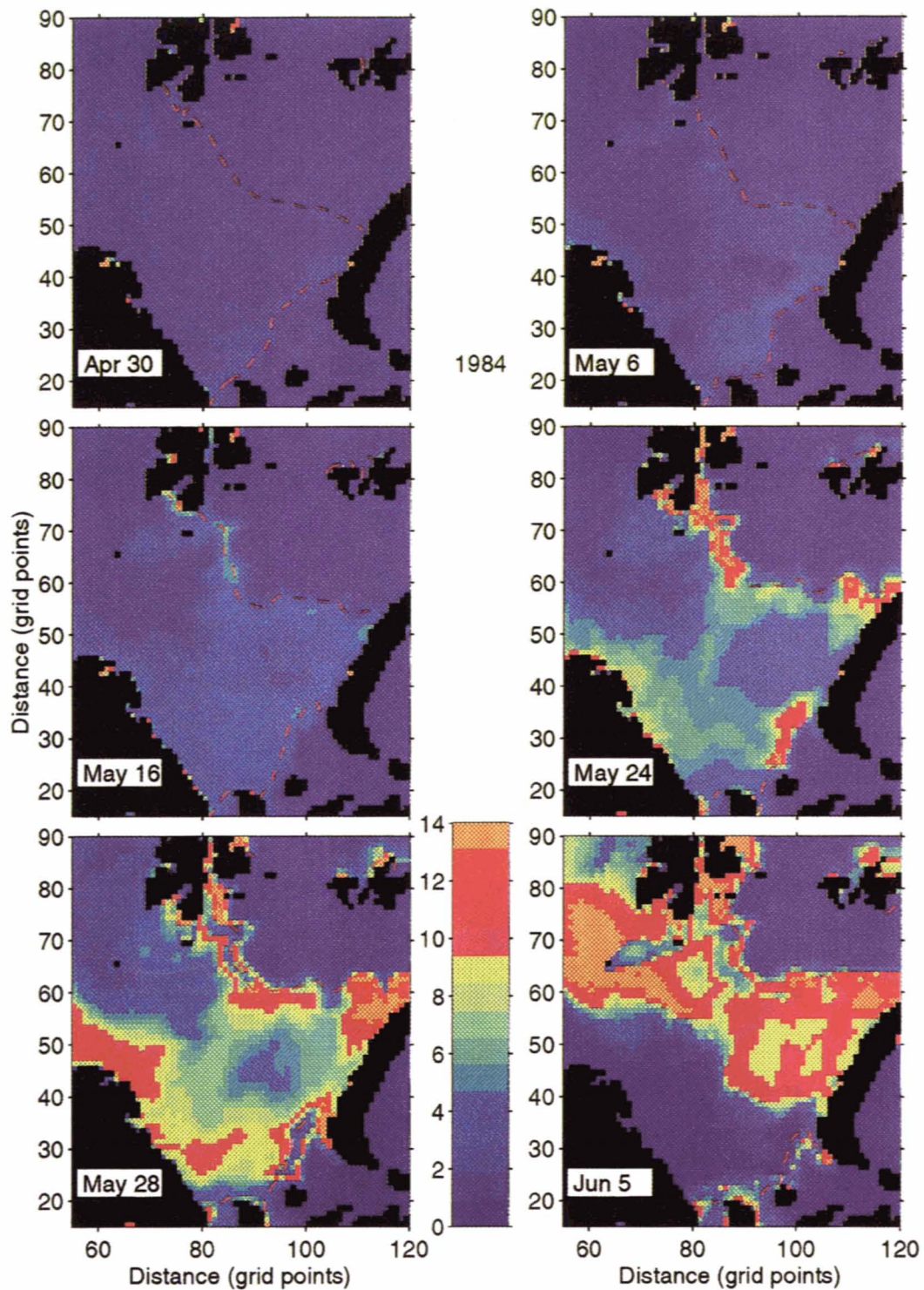


Fig. 3.2 Simulert konsentrasjon av klorofyll (mg Klo m⁻³) nær overflaten i perioden mars-september 1984. Den stiplede røde linjen indikerer isgrensen. (Simulated concentration of chlorophyll (mg Chl m⁻³) at the surface at selected dates spring and summer 1984. The broken red line indicate the ice border). (Slagstad og Stokke 1994)

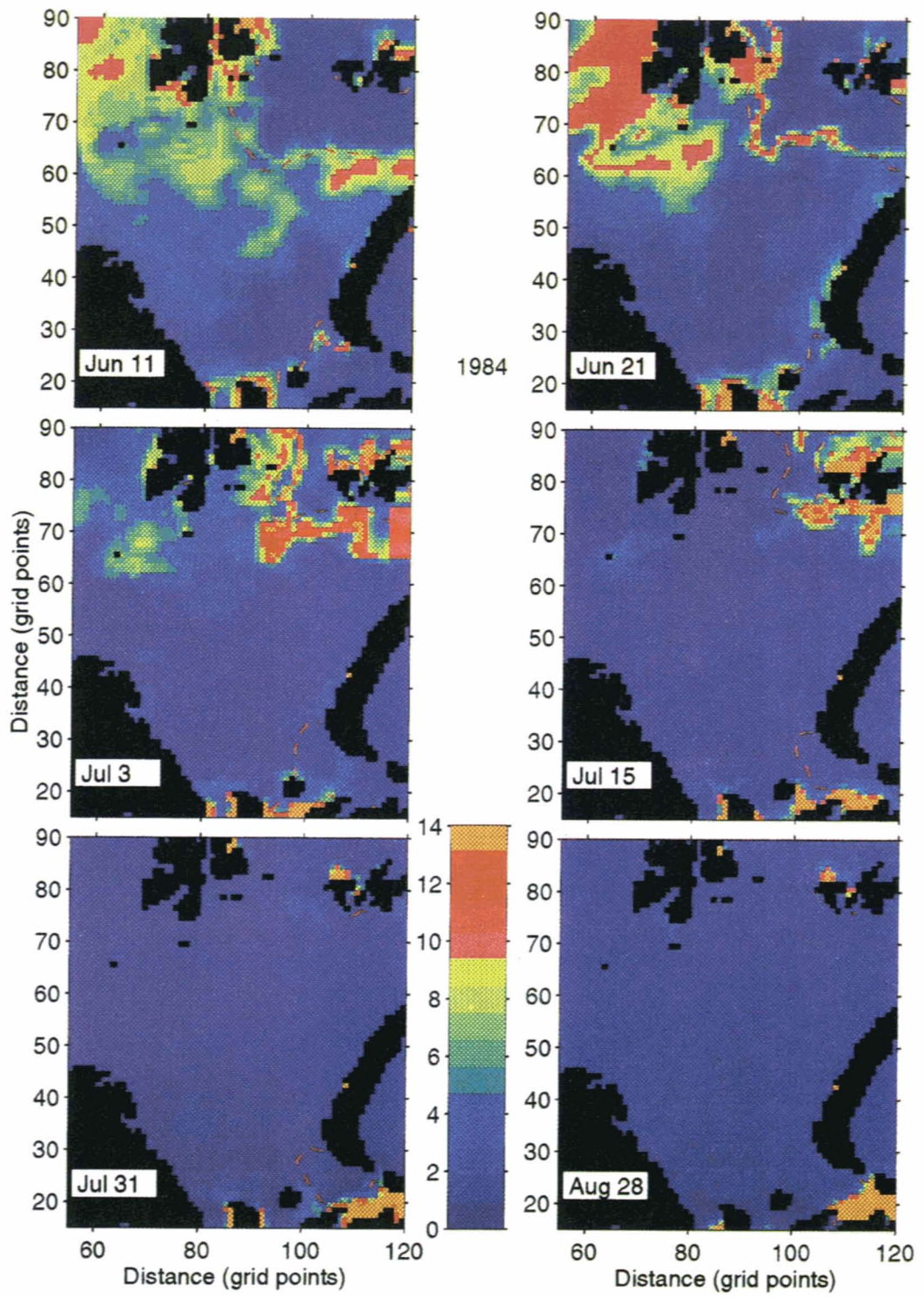


Fig. 3.2 Forts.
(Continued)

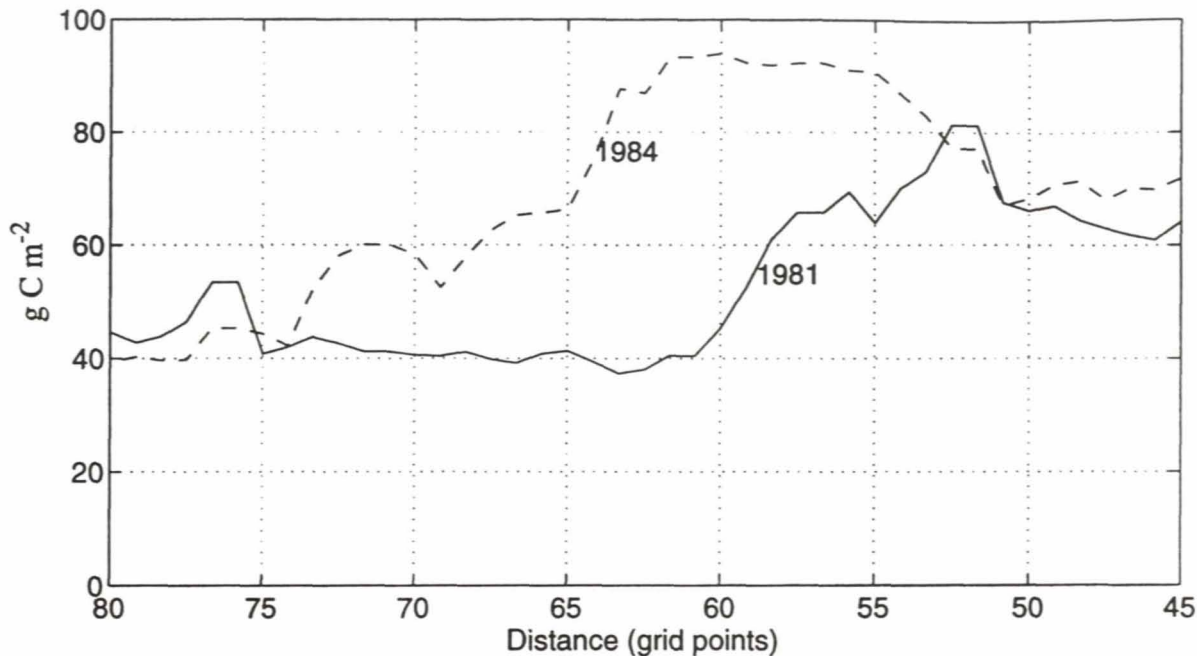


Fig. 3.3. Simulert årsproduksjon av planteplankton i et sør-nord snitt som går gjennom Hopen-dypet i et varmt år (1984) og et kaldt år (1981). Sør er til høyre på figuren og Polarfronten ligger mellom "grid point" 60 og 65.

Simulated annual primary production along a south (right)-north section for a warm year (1984) and a cold year (1981). The Polar Front is situated between grid point 60 and 65. (Slagstad og Stokke 1994)

dypere vannlag eller helt ned til bunnen. Hvor mye som beites av dyreplanktonet avhenger av i hvilken grad det er en overlapping i tid og rom mellom plante- og dyreplankton. Her spiller de fysiske forhold en viktig rolle. Fig. 3.4 viser at en kort og intens oppblomstring gir større sedimentering enn når oppblomstringen strekker seg over et lengre tidsrom. Vår oppblomstringen i Atlanterhavsvannet sør for Polarfronten er av den siste typen, mens den i Arktisk vann er kort og intens. Variasjoner i havklimaet kan forårsake variasjoner i isdekke og dermed bestemme hvilken prosess som dominerer. Atlanterhavsvannet sør for Polarfronten er det området som er mest påvirket. Både observasjoner (Skjoldal *et al.* 1987) og modeller (Slagstad og Stokke 1994) viser at varme år favoriserer en tett kobling mellom oppblomstringen av plante- og dyreplankton. I kalde år starter oppblomstringen av dyreplankton senere og mye av planteplanktonet sedimenteres før det blir beitet.

Samspillet mellom beiting og sedimentering er av betydning for hvilken type økosystem som er dominerende (Rey 1993). Gjennom beiting vil mye av primærproduksjonen gå til det pelagiske økosystem, men dersom beitestrykket er lavt vil en stor del av primærproduksjonen gå til det bentiske økosystem. Beitestrykket er avhengig av hvilken art som dominerer oppblomstringen og av mengden dyreplankton. Fra Barentshavet finnes det indirekte bevis for at et stort beitepress tidlig på året på grunn av en stor overvintringspopulasjon av dyreplankton, vil kunne holde en diatomee-oppblomstring i sjakk og dermed bane vei for *P. pouchetii*. Generelt sett gir oppblomstringer av diatomeer en lavere sedimentering enn oppblomstringer av *P. pouchetii*.

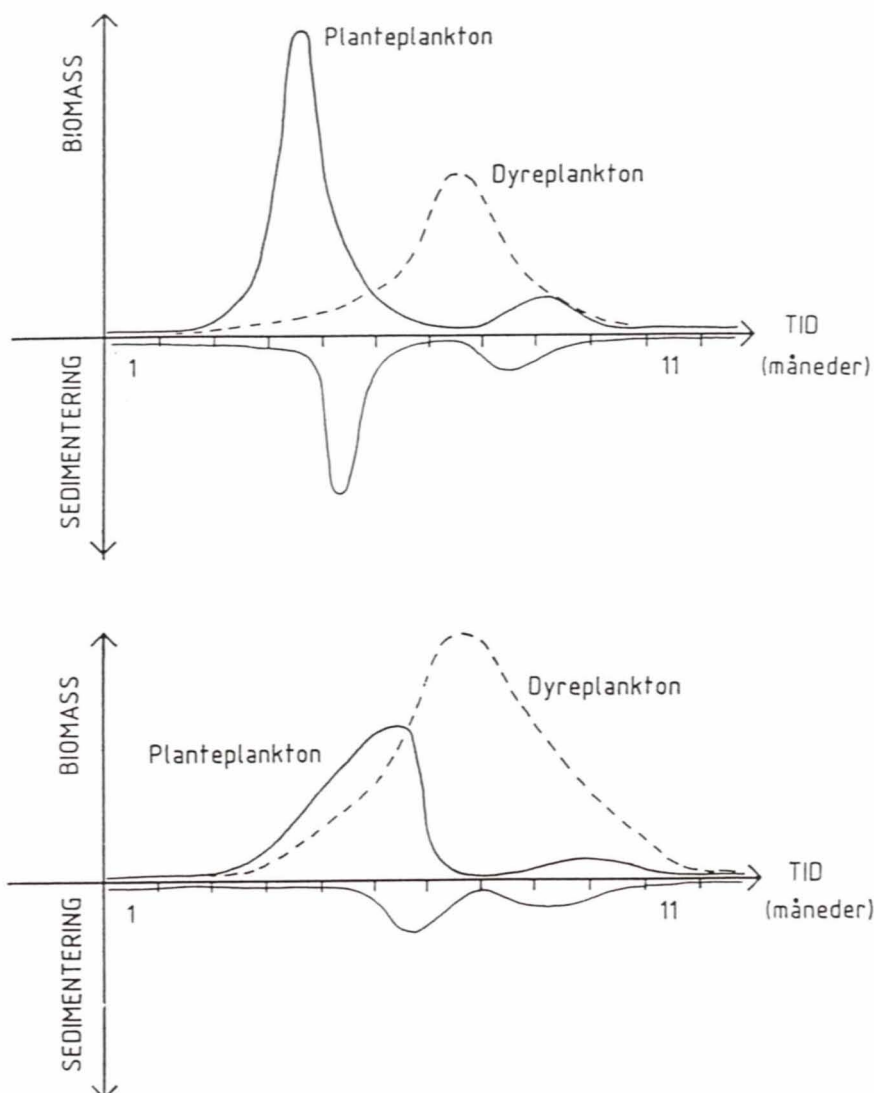


Fig. 3.4. Skjematisk fremstilling av sammenhengen mellom sèssongmessige variasjoner i planteplankton biomasse, dyreplankton biomasse og sedimentering i et kaldt år (øverst) og et varm år (nederst)
(Schematic illustration of the relationship between variations in phytoplankton biomass, zooplankton biomass and sedimentation in a cold year (upper) and a warm year) (Rey 1993).

3.4 Biologiske regioner

Basert på utviklingen av planteplanktonet, og i sær våroppblomstringsdynamikken, kan den delen av det nordlige Barentshavet som omfattes av denne rapporten deles i tre hovedregioner som beskrevet nedenfor. I tillegg er det to andre regioner i Barentshavet slik som vist på Fig 3.5 (Rey 1993).

Region 1 omfatter de områder hvor Atlanterhavsvannet dominerer. Her dannes stabilitet ved oppvarming fra atmosfæren. Denne prosessen er langsom og fører til et dypt blandingslag. Våroppblomstringen begynner i første halvdel av ma

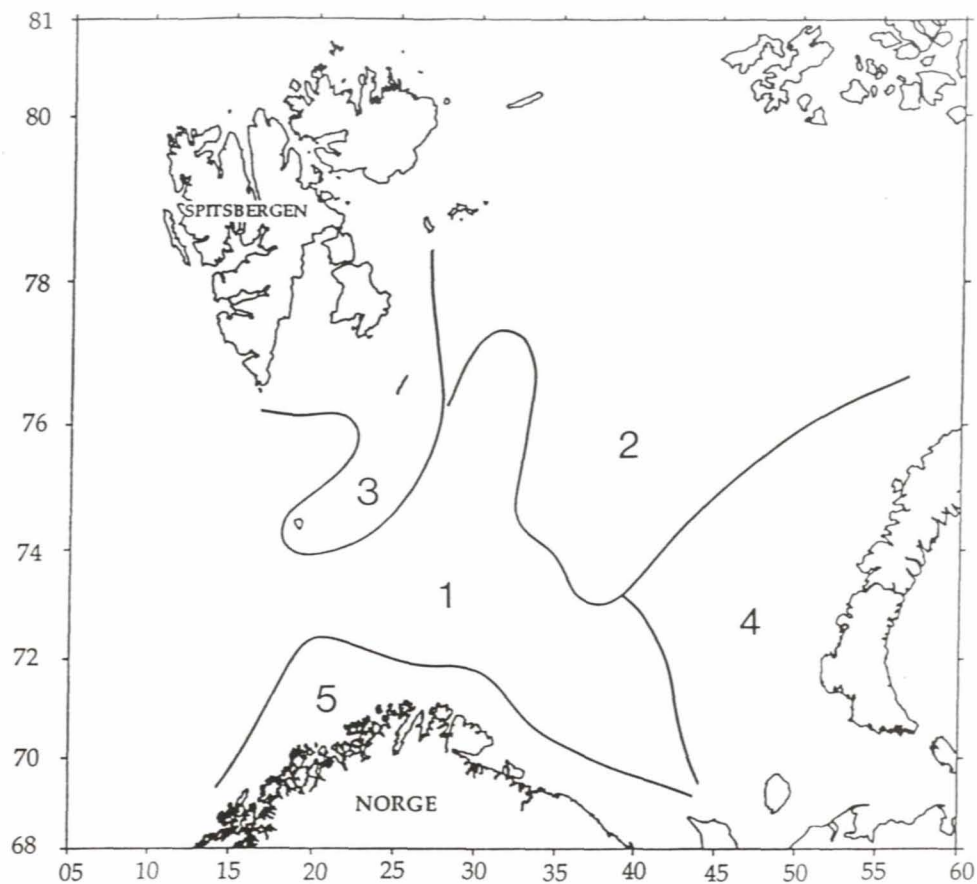


Fig. 3.5. Biologiske regioner i Barentshavet. 1) Atlanterhavsvann, 2) Område med iskantoppblomstring, 3) Svalbardbanken, 4) Barentshavsvann og 5) Kystvann. (Biological regions in the Barents Sea. 1) Atlantic water, 2) Area with ice edge bloom, 3) Svalbard Bank, 4) Barents Sea Water, 5) Coastal water (Rey 1993).

og utvikler seg langsomt. Oppblomstringen domineres som regel av diatomeer, men i enkelte år også av *Phaeocystis*. Årsproduksjonen er høy og mesteparten finner veien til høyere trofiske nivå i den pelagiske næringskjeden.

Region 2 er isdekket om vinteren. Ismeltingen forårsaker her et grunt blandingslag og et kraftig sprangsjikt. Våroppblomstringen (iskantoppblomstringen) tar til allerede i midten av april og har kort varighet. Oppblomstringen domineres som regel av diatomeer. Årsproduksjonen er lavere enn i de isfrie områdene og en større andel synker ut av den eufotiske sonen. Iskantoppblomstringen følger isens tilbaketrekning gjennom sommeren, og blomstringen starter derfor senere dess lengre nord man kommer.

Region 3 er begrenset til Svalbardbanken. Arealmessig er Svalbardbanken av liten betydning i Barentshavet, men de fysiske forhold gjør at den skiller seg klart fra de øvrige områder i Barentshavet. Over de grunne områdene er vannmassene gjennomblandet hele året. Til tross for dette starter våroppblomstringen tidligere enn i andre områder, allerede i månedsskiftet mars/april. De grunne områdene gjør at algene får tilstrekkelig lys uten etablering av stabilitet. Oppblomstringen domineres hovedsaklig av diatomeer, og årsproduksjonen er sannsynligvis den høyeste i hele Barentshavet. Det meste av produksjonen sedimenteres og går til det benthiske systemet.

3.5. Fjernmåling av planteplankton i Barentshavet

Køgeler *et al.* (1994) undersøkte hvorvidt oppblomstringen av planteplankton kunne kartlegges ved hjelp av satellittbilder. Til dette formålet ble bilder fra det optiske måleinstrumentet Coastal Zone Color Scanner (CZCS) ombord i NIMBUS-7 satellitten undersøkt for perioden 1979-1985. Dessverre er det slik at satellittfjernmåling har store begrensninger. Man får ikke bilder fra områder som er overskyet, noe som medfører lav dekningsgrad for Barentshavet. For månedene fra april til august i årene 1979-85 fikk man bare 32 bilder som dekket deler av Barentshavet tilfredsstillende. Dessuten får man informasjon bare fra de øverste 20 m av vannsøylen, det vil i praksis si den delen som ligger over sprangsjiktet i det nordlige Barentshavet.

Sommersituasjonen i blomstringen er vanskelig å bekrefte med satellittbilder på grunn av begrenset optisk dyp. Fjernmåling er derfor ikke egnet til å estimere primærproduksjonen i et økosystem som Barentshavet, hvor en vesentlig del av den nye produksjonen skjer utenfor observasjonsområdet til satellittene. Fjernmåling er derimot et bra redskap for å kartlegge hvor og når blomstringen av planteplankton starter og utstrekningen av den (Køgeler *et al.* 1994).

Det finnes ingen CZCS-bilder som dekker Barentshavet med jevne mellomrom gjennom året. Likevel viser datamaterialet at det er tydelige regionale forskjeller i klorofyllkonsentrasjoner og signifikante forskjeller fra år til år (Køgeler *et al.* 1994). For illustrasjon er det i Fig. 3.6. vist et bilde sammensatt av hele datasettet. Bildet viser noen av konklusjonene i rapporten til Køgeler *et al.* (1994). Klorofyll-konsentrasjonene i overflatevannet er størst i kystvannet og i Atlanterhavsvannet sør for Polarfronten. Konsentrasjonene var også høye langs kysten av Novaya Zemlya og Svalbard. Høye verdier på Svalbardbanken er i tråd med resultatene fra Rey (1993) og Slagstad og Stokke (1994).

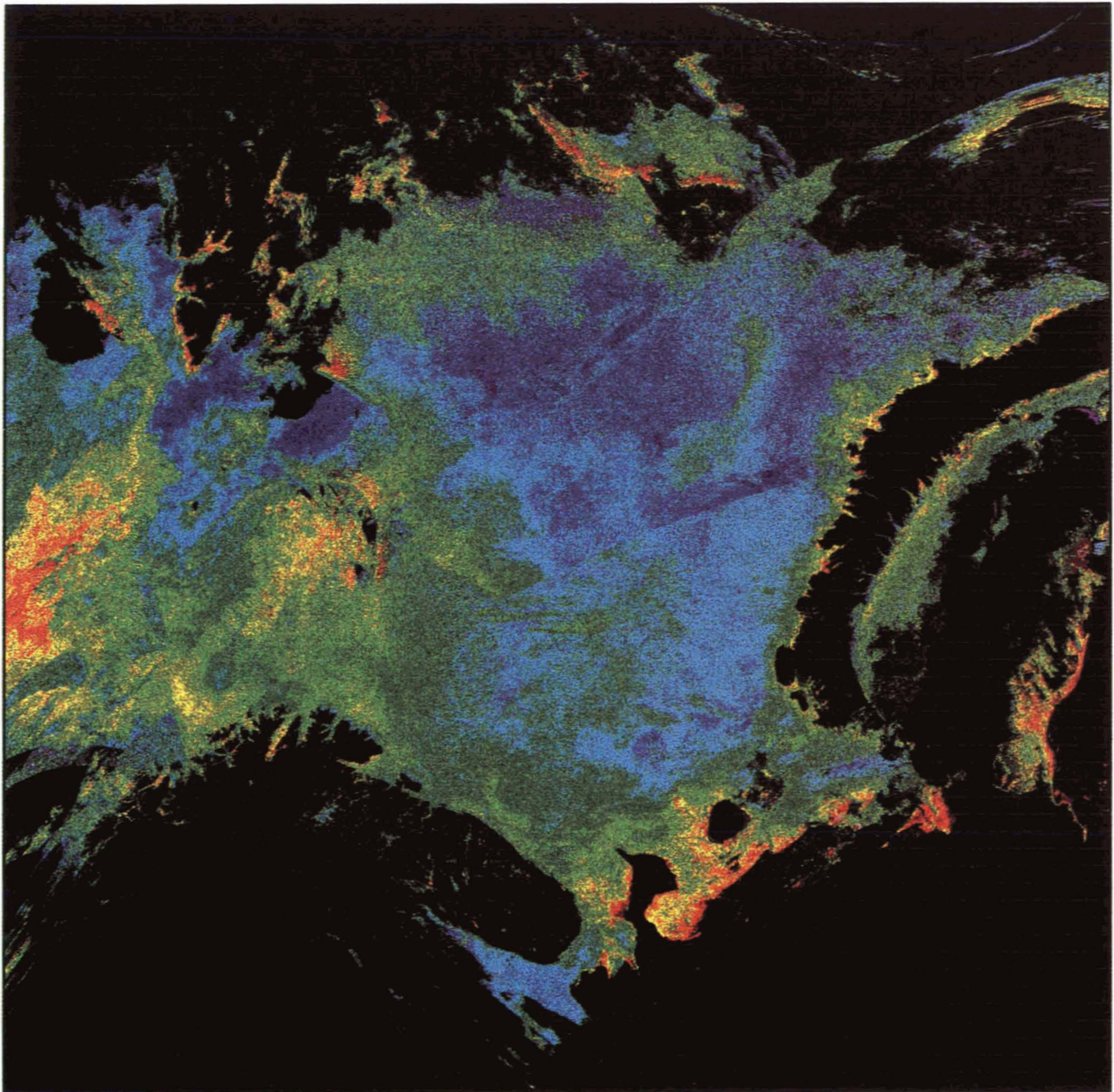
4. DYREPLANKTON

Dyreplanktonet er sekundærprodusentene i havet. Det utgjør en viktig del av dietten for arter som lodde, polartorsk, sild, torsk, hyse og uer (Lund 1981, Panasenko 1984, Mehl 1989, Ajiad and Pushchaeva 1991, Skjoldal og Hassel 1991, Dalpadado 1993, Melle *et al.* 1994). Dette kapitlet gir en kort oppsummering av fordeling, biomasse, livssyklus, vekst og modning hos de mest dominerende dyreplanktongruppene kopepoder, krill og amfipoder i Barentshavet og bygger i alt vesentlig på følgende delrapporter fra prosjektet: Dalpadado *et al.* (1994), Santos (1994), Hassel (1995), Melle (1996) og Dalpadado and Skjoldal (1995).

4.1. Viktige dyreplanktongrupper i Barentshavet

Rauåte, *Calanus finmarchicus*, tilhører gruppen calanoide kopepoder, og er økologisk sett den viktigste arten i Barentshavet. Dens hovedutbredelse er i Atlanterhavsvann, men den forekommer også i arktiske vannmasser hvor den på grunn av miljøforholdene reproducerer dårligere. Om sommeren kan den utgjøre opptil 90 % av den totale biomassen av dyreplankton. Gytingen finner sted tidlig om våren, og er sammen med larveutviklingen knyttet til oppblomstringen av planteplankton (Melle and Skjoldal 1994).

En nær beslektet kopepod er *C. glacialis*, som er tilpasset lave temperaturer i arktisk vann. *C. hyperboreus* er den største Calanus-arten i Barentshavet med en maksimal totallengde på 10 mm. Denne er ikke så tallrik som de to andre artene.



Concentration of chlorophyll-a (mg/m³)



Fig. 3.6. Konsentrasjoner av planteplankton målt som klorofyll-a i Barentshavet ved hjelp av CZCS. Bildet er et gjennomsnitt for månedene fra april til august i årene 1979-85.

(Phytoplankton concentration measured as chlorophyll-a in the Barents Sea. The image gives an average for the summer months 1979-85) (Køgeler et al. 1994)

Pseudocalanus (1-2 mm) benytter som *Calanus* opplagret voksester som næringsressurs om vinteren, dette gir en karakteristisk rødfarge som mangler hos den omnivore *Metridia longa* (Grønvik og Hopkins, 1984). Disse artene er vanlige i både atlantiske og arktiske vannmasser i Barentshavet. En rent karnivor kopepod, *Euchaeta*, finnes fortrinnsvis i kalde vannmasser, og helst på dypt vann. En annen gruppe kopepoder er de cyclopoide, små kopepoder på ca. 1 mm hvorav *Oithona* er den vanligste slekten. Til tross for sin beskjedne størrelse er den økologisk viktig. Den forekommer i relativt stort antall, og med fire generasjoner i året blir årsproduksjonen høy.

Ved siden av kopepodene er det krillen som bidrar mest til biomassen av dyreplanktonet. *Thysanoessa inermis*, *T. longicaudata* og *T. raschii* kalles "småkrill" og de to første er de mest vanlige i Barentshavet (Dalpadado og Ikeda 1989, Dalpadado og Skjoldal 1991, 1995). Småkrillen kan utgjøre inntil 45 % av dyreplanktonet målt i vekt. *T. inermis* og *T. longicaudata* foretrekker atlantiske vannmasser og finnes sjelden i det nordlige Barentshavet (Hassel 1986, Dalpadado og Skjoldal 1991), mens *T. raschii* er mer utbredt i de grunne områdene i sørøst. *Meganyctiphanes norvegica* er med sin lengde på opptil 45 mm kalt "storkrill", og er utbredt i de sør-vestlige og kystnære deler av Barentshavet. *T. inermis* og *T. raschii* er hovedsakelig herbivore, *T. longicaudata* og *M. norvegica* er karnivore og lever mest av annet dyreplankton.

Blant de pelagiske amfipodene er to arter vanlig: *Themisto libellula* og *T. abyssorum* (Dalpadado et al. 1994). Begge tilhører gruppen hyperiide amfipoder. Disse er typiske rovdyr som livnærer seg av kopepoder og andre planktonorganismer. Selv er de viktige i dietten hos fisk og ikke minst hos pattedyr som ringsel og grønlandssel.

Pilorm eller chaetognather er transparente og hurtigsvømmende rovdyr som hovedsakelig beiter på kopepoder, de vanligste artene i Barentshavet er *Sagitta elegans* og *Eukrohnia hamata*. De kan tidvis utgjøre en stor del av planktonbiomassen i dypet. Vanninnholdet er imidlertid svært høyt.

Blant bløtdyrene er vingesneglene *Limacina helicina* (flueåte) og *L. retroversa* (kruttåte) tallrike. Den største av de to artene, flueåta, er arktisk og finnes oftest i øvre del av vannsøylen, mens den mindre kruttåta har en mer sørlig utbredelse i atlantiske vannmasser. Begge disse artene har skall, mens den større hvalåta (*Clione limacina*) er en nakensnegl.

Appendikulariene filtrerer vann gjennom et svært finmasket fangstnett og spiser bakterier og andre mikroorganismer. De er selv føde for blandt annet fisk og fungerer derfor som et direkte bindeledd i næringskjeden mellom mikroorganismer og høyere predatorer. Vanlige appendikularier i Barentshavet er *Fritillaria borealis* og *Oikopleura vanhoeffeni*.

Maneter, hydromeduser og kammaneter er ofte kalt "geleplankton" på grunn av sin konsistens og store vanninnhold. Vanlige store maneter er *Cyanea capillata* (brennmanet) og *Periphylla periphylla*. Begge er relativt vanlige i atlantisk vann. Mindre meduser er *Aglantha digitale* i atlantiske vannmasser og *Sarsia principes* i arktiske. Kammanetene er kjent for masseoppblomstringer, disse er rovdyr og beiter effektivt på små kopepoder, delvis også på amfipoder og krill. *Mertensia ovum* er utbredt nord for polarfronten, *Bolinopsis infundibulum* er arktisk-boreal, mens *Beroë cucumis* er vanligst i Atlanterhavsvann (Hassel 1995).

4.2. Dyreplankton biomasse

Fig. 4.1 viser gjennomsnittlig biomasse av dyreplankton om høsten i perioden 1986-1995 (Hassel 1995, Anon 1996). Selv om dyreplanktonmengdene synes å variere mellom årene er det en klar tendens til en økning i biomassen fra sist i åttiårene til et maksimum i 1994 (13 g m^{-2}). Dette er en dobling i forhold til i 1989. Variasjonene i biomasse kan skyldes endringer i det innstrømmende Atlanterhavsvannet til Barentshavet. Mengden atlantisk vann kan påvirke både fordeling og populasjonsstørrelse av *C. finmarchicus* og annet dyreplankton (Skjoldal and Rey 1989). De observerte variasjonene kan også skyldes en redusert beiting fra viktige predatorer som lodde (Skjoldal *et al.* 1992, Dalpadado and Skjoldal 1995). Bestanden av lodde var på et ekstremt lavt nivå i 1993 og 1994, med henholdsvis 0,6 og 0,2 mill. tonn.

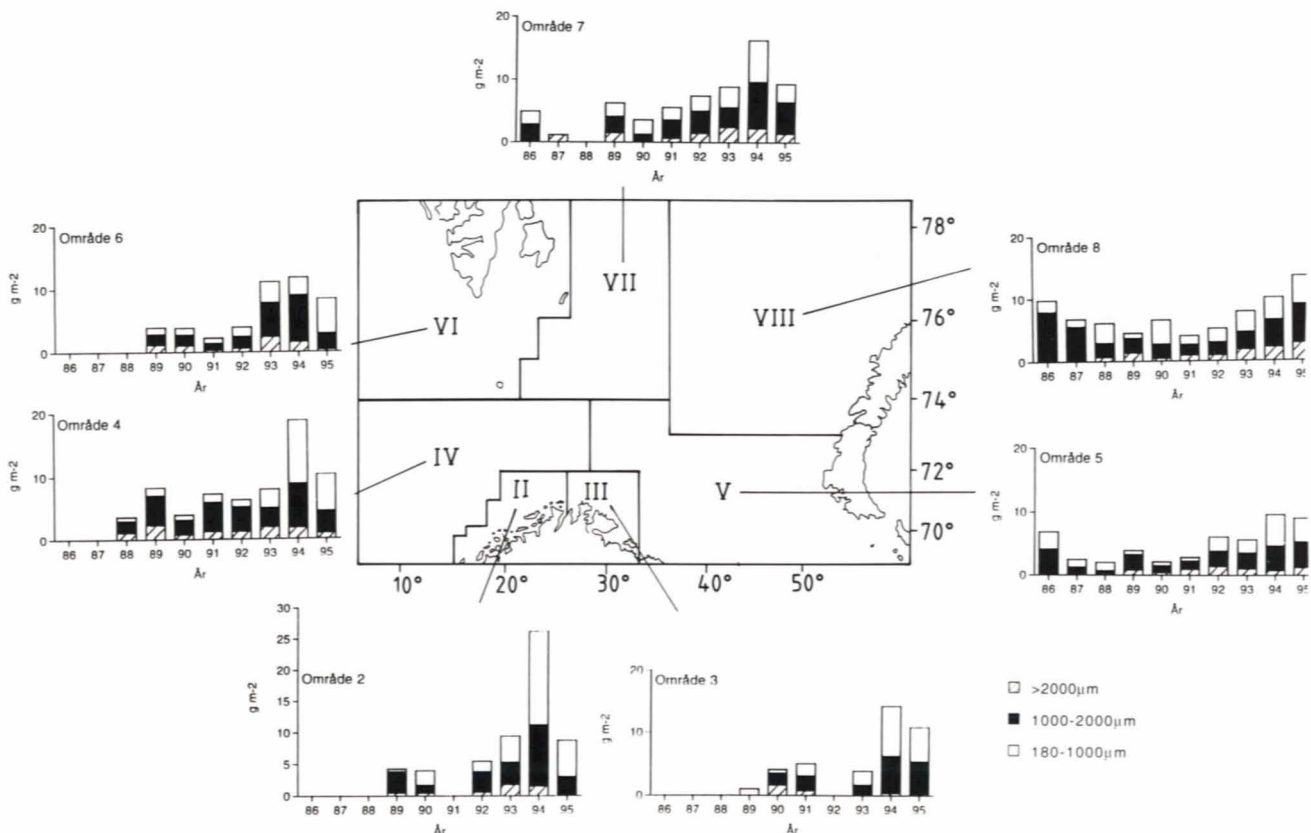


Fig. 4.1. Gjennomsnittlig biomasse (askefri tørrvekt 1986-1990 og tørrvekt 1991-1995), g m^{-2} fra bunn til overflaten i forskjellige områder av Barentshavet. (Average biomass (ash free dry weight 1986-1990 and dry weight 1991-1994), g m^{-2} from bottom to surface in different areas in the Barents Sea (Anon. 1996)

Sesongvariasjoner

Utviklingen av dyreplanktonet i den isdekte delen av Barentshavet starter ved iskanten under oppblomstring av planteplanktonet og følger iskanten etter hvert som den trekker seg nordover om sommeren. Etter hvert som isen smelter frigjøres nye områder for produksjon. Dess lenger en kommer ut fra iskanten, dess lenger har dyreplanktonet kommet i utviklingen. Under Pro Mare ble et sør-nord orientert snitt sentralt i Barentshavet undersøkt til forskjellige årstider, med vekt

på sommersesongen (Fig. 4.2). I mai var det vanligvis lav biomasse overalt, mindre enn 5 g askefri tørrvekt m^{-2} (Hassel 1995). I juni ble det observert økende biomasse ved iskanten og Polarfronten, mens et maksimum ble funnet i atlantisk vann sør for fronten. Lavere stadier av *Calanus finmarchicus* var tallrike og ga et vesentlig

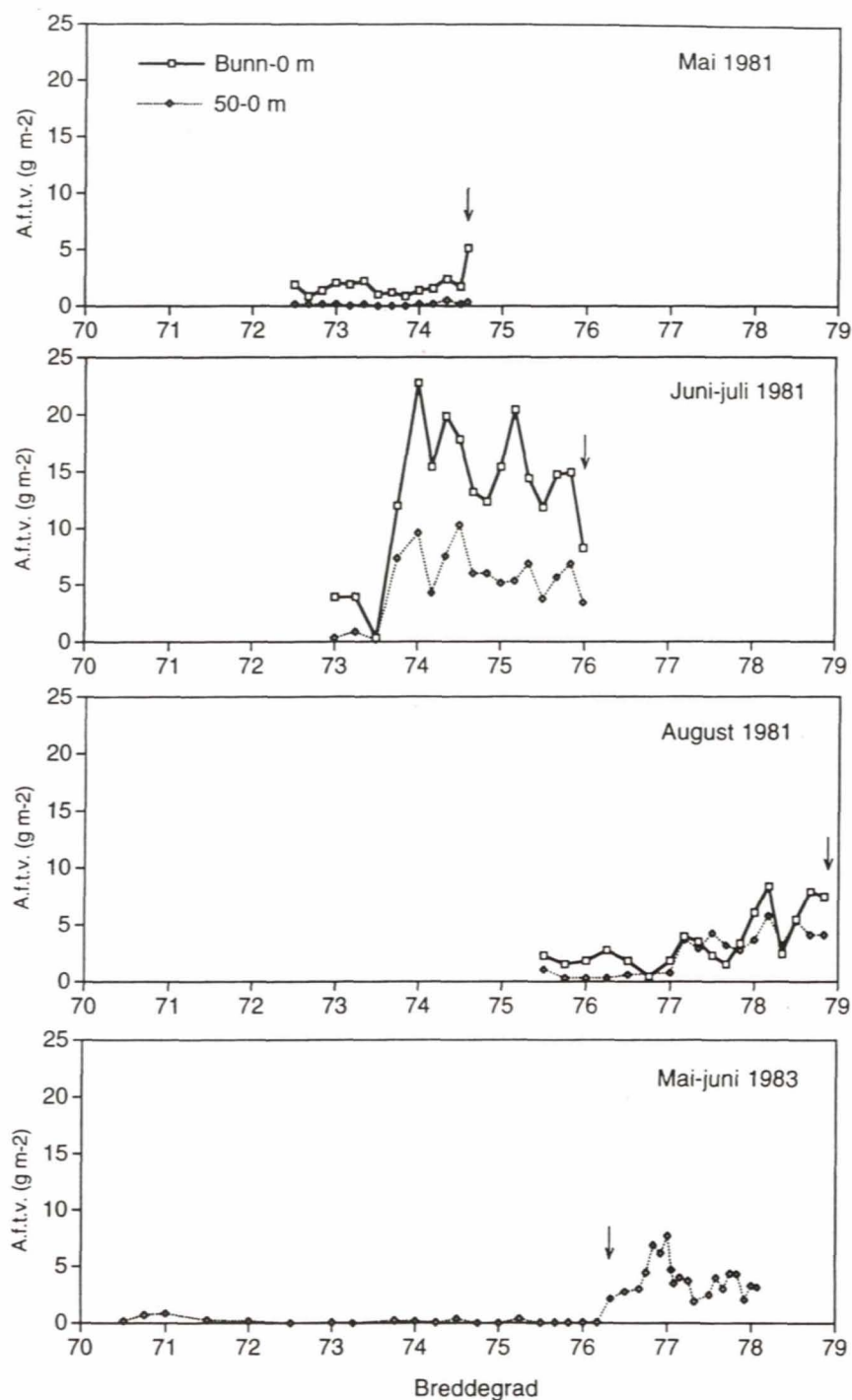


Fig. 4.2. Askefri tørrvekt ($g\ m^{-2}$) omregnet fra volum. Prøvene er tatt med håv og iskantens beliggenhet er vist med piler.

(Ash free dry weight ($g\ m^{-2}$) converted from volume. The samples are taken by vertical net hauls. The position of the ice border is indicated by arrows) (Hassel 1995).

bidrag til den samlede biomassen. I august når isgrensen ligger helt nord i Barentshavet, var planktonet nær iskanten dominert av *Calanus* midt i livsløpet. Lenger sør i områder som tidligere hadde vært isdekket, var det mindre plankton. I juni 1983 ble det i samme snittet funnet en god del dyreplankton i de øverste 50 m nord for iskanten, dominert av voksen *Calanus* (Gjøsæter *et al.* 1983).

Vertikalfordeling

Om vinteren har dyreplanktonet i regelen en dypere fordeling enn om våren og sommeren. I den nordlige delen av Barentshavet er den dype vinterfordelingen likevel ikke så klar som for eksempel i Norskehavet (Hassel *et al.* 1986 og avsnitt 4.3). Om våren kommer dyreplanktonet opp mot overflaten og beiter på planteplanktonet. Etter hvert som planteplanktonet går dypere vil dyreplanktonet følge etter (Gjøsæter *et al.* 1983). I mai finner man typisk biomassen konsentrert i 20-40 m dyp med 50-100 mg m⁻³, med avtagende verdier mot bunnen (Hassel 1995). I august står dyreplanktonet gjerne nær bunnen, og dypere enn 200 m i atlantisk vann. Også i arktisk vann er det lite plankton i overflaten om høsten, med unntak av vingesneglen *Limacina helicina* som det finnes en del av.

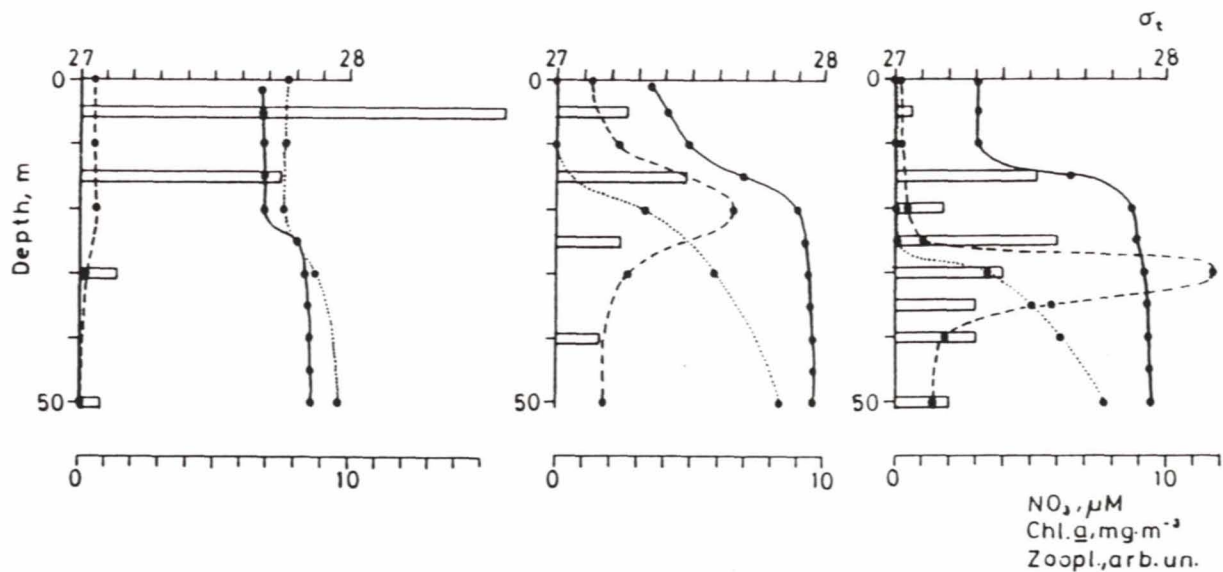


Fig. 4.3. Vertikalfordeling av klorofyll-a (•-----•), nitrat (•.....•), tetthet (•———•) og dyreplankton (søyler i relative enheter) i isdekket vann fra en tidlig fase i oppblomstringen (venstre) til en senere fase (høyre).
(Vertical distribution of chlorophyll (•-----•), nitrate (•.....•), density (•———•) and zooplankton (bars, in relative units) in ice covered water from an early stage (left) to a late stage of bloom (right) (Hassel 1995).

4.3. Utbredelse og reproduksjon hos *Calanus* spp.

Geografisk utbredelse

Noe forenklet kan man si at *Calanus*-artene fordeler seg etter vannmassene. *Calanus finmarchicus* er mest tallrik i Atlanterhavsvann. Gjennomsnittlig antall

overvintrede i månedene januar til mars i atlantisk vann ligger mellom 1000 og 10000 m⁻² (Melle 1996). Dette er omlag samme antall overvintrende som ble funnet i Norskehavet, men langt høyere enn hva som ble funnet over den norske kontinentalsokkelen (Wiborg 1954, Østvedt 1955). I polarfrontområdet er antall overvintrede *C. finmarchicus* omlag som i atlantisk vann (Melle 1996). I arktisk vann mangler vi data for vinterperioden, men det lave antall i april antyder at det er svært få *C. finmarchicus* som overlever overvintringen i denne vannmassen. Senere på våren og sommeren ligger antall individer m⁻² overflate av den nye generasjonen mellom 100 000-300 000 (Fig. 4.4). Mot de arktiske vannmasser i nord avtar tetthetene av *C. finmarchicus*, mens fore-komstene av *C. glacialis* gradvis øker, og i rent arktisk vann dominerer *C. glacialis* (Fig. 4.4). Overvintrings-populasjonene av *C. glacialis* øker fra mindre enn 1 500 individer m⁻² i atlantisk vann til mellom 2 000 og 5 000 m⁻² i Polarfrontområdet. Av årets rekrutter finnes det mellom 15 000 og 20 000 m⁻² i alle tre vannmasser når populasjonene når sitt maksimale antall. Resten av sommeren er det mindre enn 10 000 rekrutter m⁻² overflate. Det er svært få unge rekrutter i atlantisk vann (Melle 1996). Dette kan indikere en rekrutteringssvikt for arten i denne vannmassen.

Calanus hyperboreus finnes både i atlantiske og arktiske vannmasser i Barentshavet. Der er imidlertid sjelden mer enn 1 000 individer m⁻² av noen stadier. (Melle 1996). De største forekomster av arten finner vi i arktisk vann. Der er nesten ingen unge stadier i atlantisk vann som også var tilfelle for *C. glacialis*.

Vertikalfordeling

Tidligere undersøkelser, blandt annet fra Norskehavet og norskekysten har vist at *Calanus finmarchicus*, *C. glacialis* og *C. hyperboreus* finnes i dypet om vinteren og kommer opp mot overflaten om våren og sommeren (Melle 1996). Nær overflaten beiter de og forbereder seg til en ny overvintring (flerårig livssyklus), eller de beiter og gyter for så å dø (ett-årig livssyklus). *C. hyperboreus* er spesiell i det den muligens gyter i dypet mens egg og nauplier stiger mot de øvre vannlag. De unge stadiene av *Calanus*-artene holder seg nær overflaten så lenge planteplanktonproduksjonen er stor. Deretter vandrer de som kopepoditter mot dypet for å overvintre. Nøyaktig hvilke stadier som starter nedvandringen, når og hvorfor er ikke klarlagt. I varme vannmasser kan *C. finmarchicus* utvikle seg til voksne individer som gyter direkte uten å gjennomgå en overvintring (flere generasjoner pr. år).

I nordlige deler av Barentshavet er det ikke funnet en tilsvarende dyp fordeling av *Calanus* om vinteren. Vertikalprofiler fra enkelte lokaliteter i atlantisk vann og fra Polarfrontområdet viste at *C. finmarchicus*, *C. glacialis* og *C. hyperboreus* i januar var jevnt fordelt i vannsøylen fra 250 m til overflaten, eller at maksimum ble funnet i ulike dyp (Fig. 4.5). Det synes å være et generelt mønster at disse artene finnes i de frie vannmasser under overvintringen og ikke trykker mot bunnen som forventet fra observasjoner fra andre områder.

Etter hvert som blomstringen kommer igang om våren samles overvintrings-populasjonene av de tre *Calanus*-artene i de øvre, produktive vannlag. Oppvandring skjer like før og i den tidlige blomstringfasen og da finnes det eksempler der hele populasjonen er samlet over sprangsjiktet (Fig. 4.6) eller fordelingen kan være mer jevn, og vinterlignende. På blomstringsstasjonene var de høyeste konsentrasjonene av *C. finmarchicus* og *C. glacialis* vanligvis over sprangsjiktet,

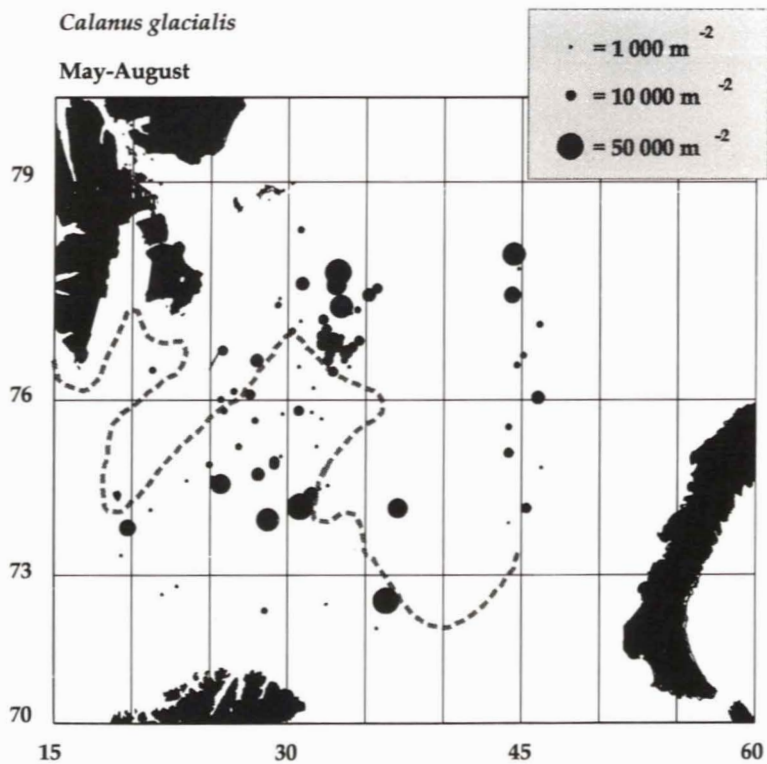
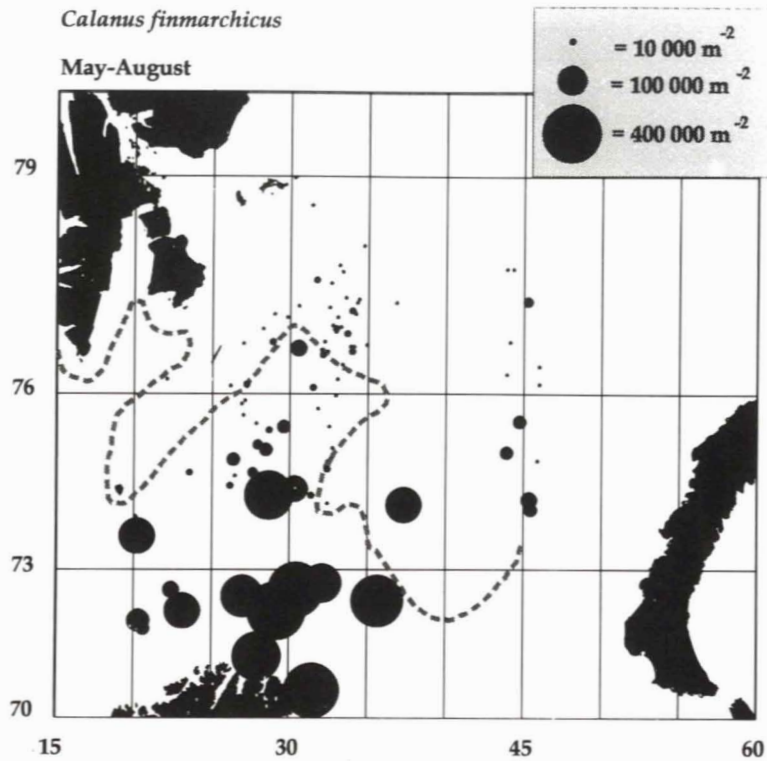


Fig. 4.4. Utbredelse av kopepoditter av *Calanus finmarchicus* (øverst) og *C. glacialis* (nederst) i Barentshavet i årene 1983-1992.
(Distribution of copepodites of *C. finmarchicus* (upper) and *C. glacialis* (lower) in the Barents Sea during the period 1983-1992) (Melle 1996).

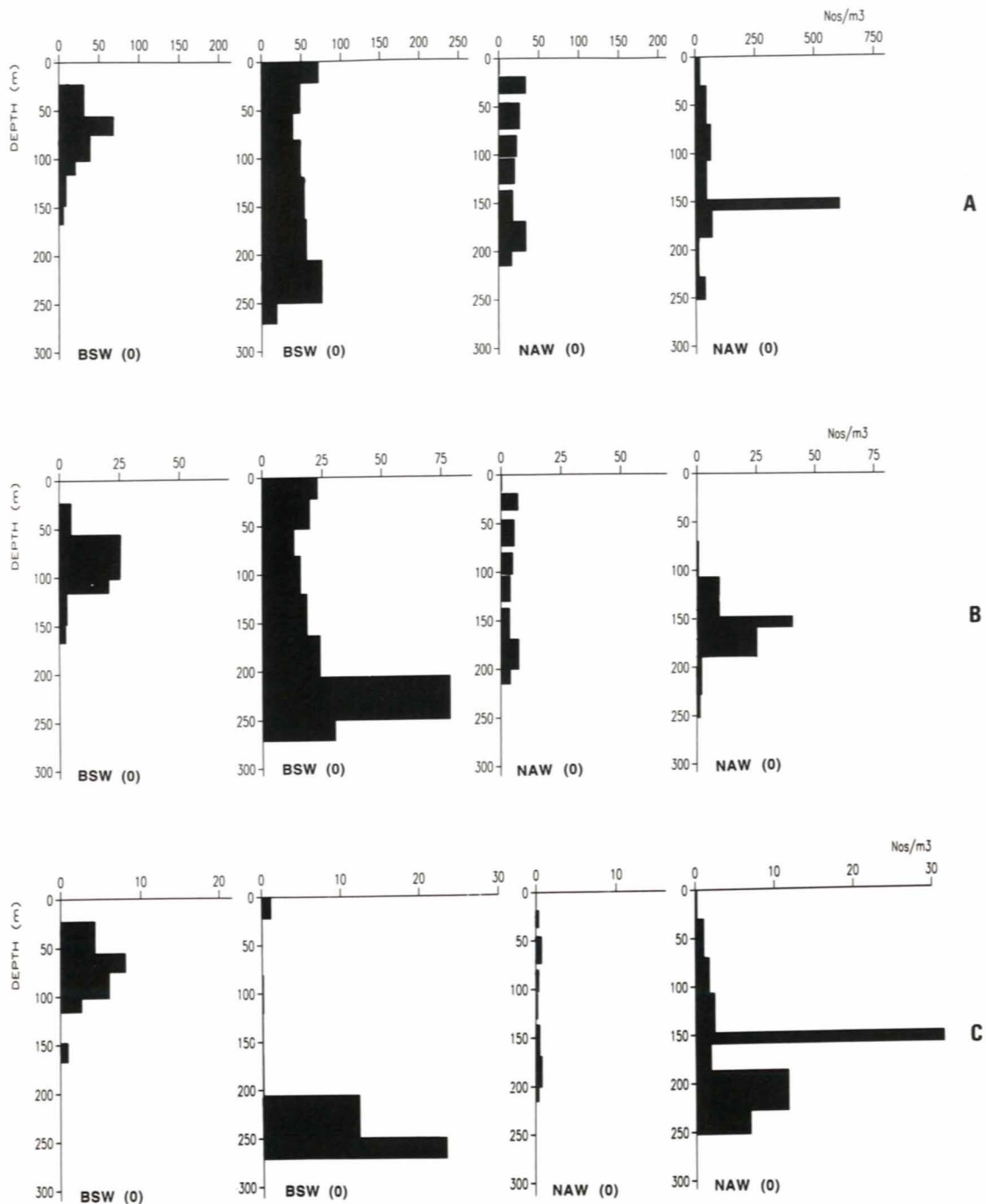


Fig. 4.5. Typisk vertikalfordelinger av A) *C. finmarchicus*, B) *C. glacialis* og C) *C. hyperboreus* i Barentshavet i januar i Atlanterhavsvann (NAW) og Barentshavsvann (BSW). Tallene i parentes representerer blomstringssituasjonen: (0)-før blomstring.

(Typical vertical distributions of A) *C. finmarchicus*, B) *C. glacialis* and C) *C. hyperboreus* in the Barents Sea in January in Atlantic Water (NAW) and Barents Sea Water (BSW). The numbers indicate the bloom situation. (0)-pre bloom). (Melle 1996)

mens på senblomstringsstasjonene ble som oftest de høyeste konsentrasjonene av overvintringsbestanden funnet nær sprangsjiktet (Fig. 4.6). Hos *C. glacialis* på senblomstringsstasjonene var det ikke mulig å skille mellom første gangs overvintrere og årets generasjon (Melle 1996).

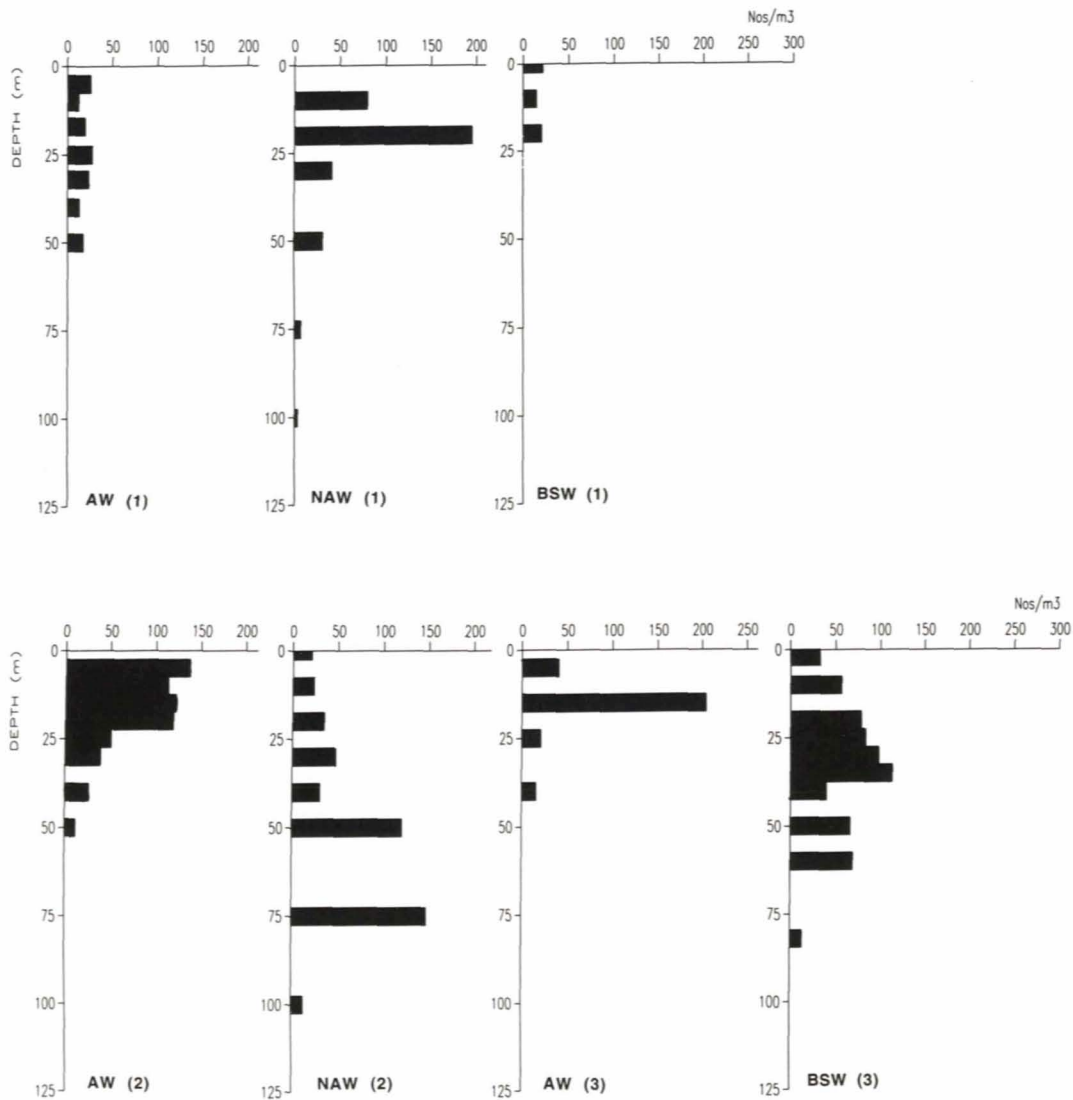


Fig. 4.6. Vertikalfordeling av overvintringspopulasjon av *Calanus finmarchicus* i ulike vannmasser i Barentshavet om våren og sommeren. Arktisk vann (AW), Atlanterhavsvann (NAW) og Barentshavs-vann (BSW). Tallene i parentes representerer blomstringssituasjonen: (1)-tidlig blomstring, (2)-blomstring, (3)- sen blomstring.

(Vertical distribution of overwintering generation of *C. finmarchicus* in the Barents Sea during spring and summer. Arctic Water (AW), Atlantic Water (NAW) and Barents Sea Water (BSW). The numbers indicate the bloom situation (1)-early bloom, (2)-bloom and (3)-late bloom). (Melle 1996).

Årets generasjoner

Det er vist at eggene gytt av *C. finmarchicus* før og under tidlig blomstring i Barentshavet har en relativt jevn fordeling i de øvre 100 m (Melle and Skjoldal 1989). På blomstring- og senblomstrings-stasjonene var vertikalfordelingene av egg og klorofyll nærmest identiske. Naupliene, alle stadier sett under ett, fordelte seg på samme måte som eggene i vannsøylen. Der var dog en tendens til noe grunnere fordeling av de eldste stadiene.

Kopepoditter av årets generasjon hos *C. finmarchicus* og *C. glacialis* viser en fordeling som er nær knyttet til klorofyllfordelingene (Fig. 4.7). På før- og tidligblomstrings-stasjonene når klorofyllmengdene var lave og sprangsjiktet svake var de unge kopepoditt-stadiene relativt jevnt fordelt i de øvre 100 m av vannsøyla (Fig. 4.7). Under blomstringen i det vindblandete laget stod kopepoditter av *C. finmarchicus* og *C. glacialis* i det samme laget (Fig. 4.7). På senblomstrings-stasjonene der klorofyllmaksimum var i eller like under sprangsjiktet var kopepodittene også konsentrert rundt dette (Fig. 4.7).

Konklusjonen må derfor bli at beitende stadier av *C. finmarchicus* og *C. glacialis* finnes generelt nært tilknyttet klorofyll maksimum, og det synes å være en nærmere tilknytning hos de tidlige og mest hurtigvoksende stadier (nauplier) enn hos de eldre stadier.

Gyting

C. finmarchicus og *C. glacialis* gyter i forbindelse med våroppblomstringen av planteplankton (Melle and Skjoldal 1994). *C. finmarchicus* gyter som ett-åring i Atlanterhavsvann, mens *C. glacialis* har sitt hovedgyteområde i Arktisk vann. Der gyter arten som to-åring i nær tilknytning til planteplanktonets våroppblomstring som følger iskanten nordover.

C. hyperborus har en ganske annen reproduksjonsstrategi og gyter eggene om vinteren. Disse utvikler seg til nauplier som er klar til fødeopptak i det våroppblomstringen starter. Denne reproduksjonsstrategien synes å ha størst suksess i områder med en typisk iskantoppblomstring (Melle and Skjoldal 1994).

4.4. Krill: fordeling, vekst og modning

Fordeling

Fordelingsmønstre av eldre og voksne stadier av krill er beskrevet av Santos (1995) basert på langvarige russiske studier (PINRO, Murmansk) og Dalpadado and Skjoldal (1995). *Thysanoessa inermis* og *T. longicaudata* er de dominerende artene, mens *T. raschii* og *Meganyctiphanes norvegica* sjeldent blir funnet i de vestlige og sentrale delene av Barentshavet. Resultatene viser høye tettheter av *T. inermis* og *T. longicaudata* (0,1-1 krill m⁻³) langs skråningen mellom Bjørnøya og Hopen.

Horisontalfordelingen av de to dominerende krillartene *T. inermis* og *T. longicaudata* er vist i Fig. 4.8 som gjennomsnittsmengder for undersøkelsesperioden 1984-1992 (Dalpadado and Skjoldal 1995). Deres undersøkelser viser at ingen av de krillartene som ble observert i Barentshavet er reelle arktiske arter, de blir i liten grad observert i arktiske vannmasser i det nordlige Barentshavet. Store mengder *T. inermis* og *T. longicaudata* (opptil 100-200 krill pr. m²) ble funnet i skråningen og tilhørende dypvannsområder sør og sørvest for Svalbardbanken. Mengdene var vanligvis høyere om vinteren enn i andre deler av året.

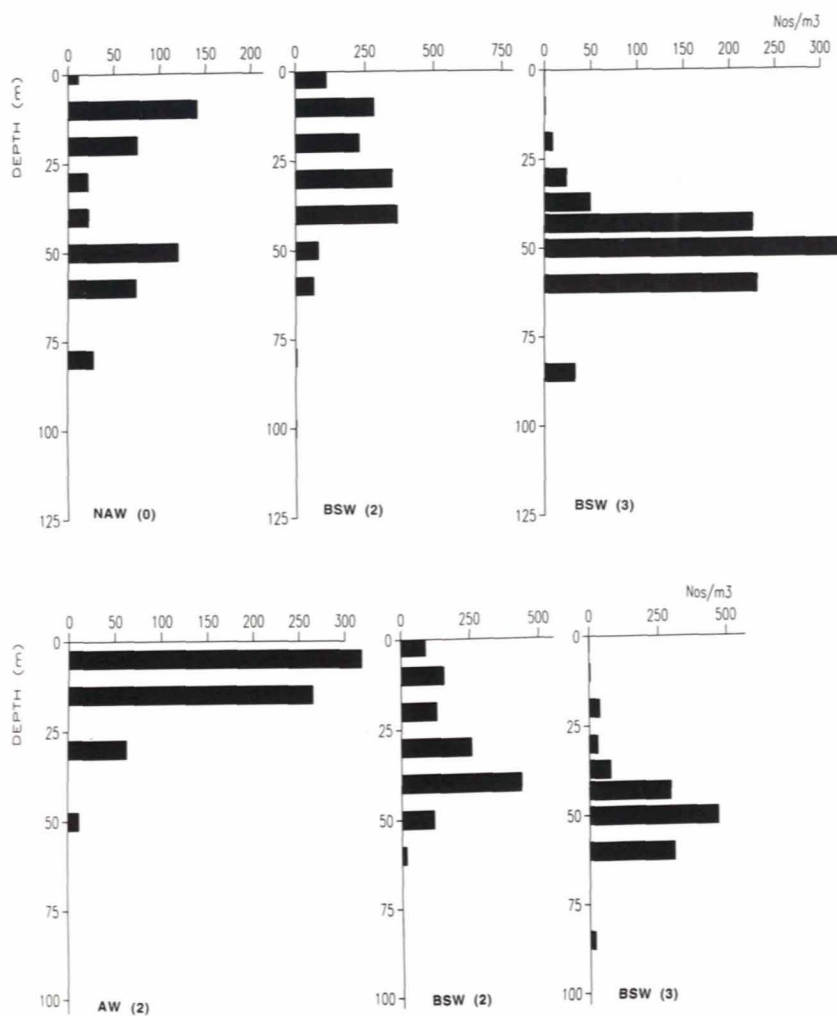
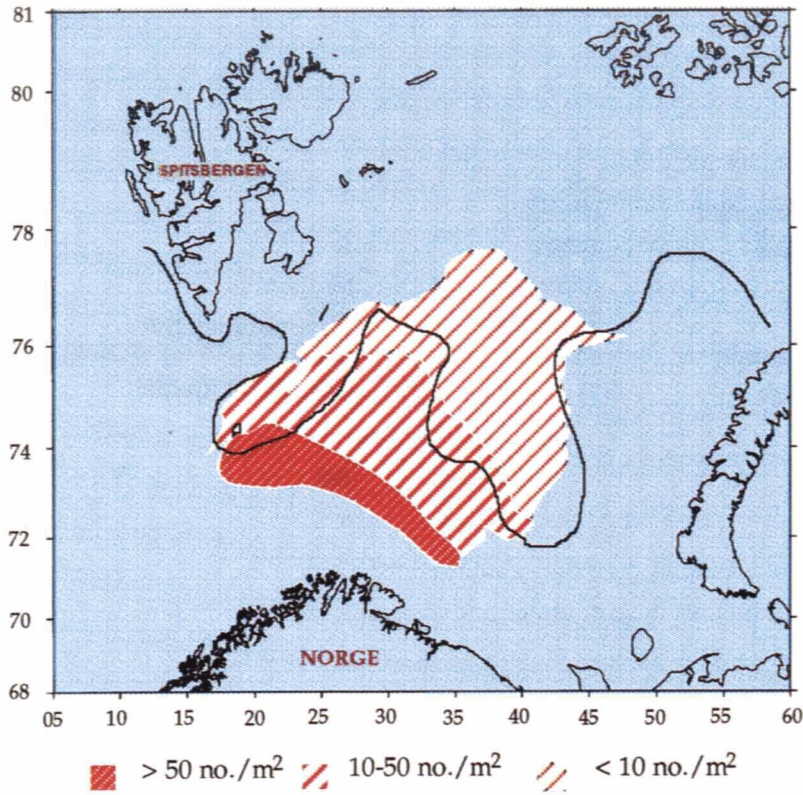


Fig. 4.7. Vertikalfordeling av årets generasjon av *Calanus finmarchicus* (øverst) og *C. glacialis* (nederst) i Barentshavet om våren og sommeren. Arktisk vann (AW), Atlanterhavsvann (NAW) og Barentshavsvann (BSW). Tallene i parentes representerer blomstringssituasjonen: (0)-før blomstring, (2)-blomstring, (3)- sen blomstring.

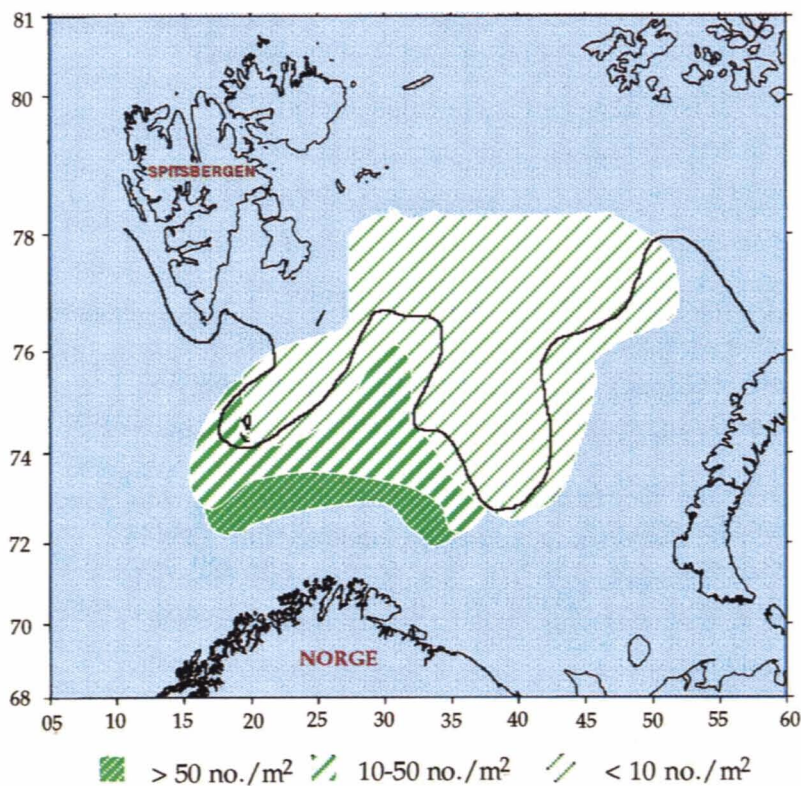
(Vertical distribution of the new generation of *Calanus finmarchicus* (upper) and *C. glacialis* (lower) in the Barents Sea during spring and summer. Arctic Water (AW), Atlantic Water (NAW) and Barents Sea Water (BSW). The numbers indicate the bloom situation (0)-pre bloom, (2)-bloom and (3)-late bloom). (Melle 1996).

Fig. 4.9 og 4.10 fra Santos (1995) viser fordeling av egg og larver av *T. inermis* og *T. longicaudata* i Barentshavet. Disse figurene er basert på observasjoner av Lofnes (1993). Han fant de største mengdene egg og larver av *T.inermis* og *T.longicaudata* i atlantiske vannmasser, og hans undersøkelser viste små mengder egg og larver av *T. raschii* og *M. norvegica* i de vestlige og sentrale deler av havet. Dette støtter de russiske undersøkelsene (Santos 1995) og studiene foretatt av Dalpadado og Skjoldal (1995).

Thysanoessa inermis



Thysanoessa longicaudata



Figur 4.8. Horisontalfordeling av *Thysanoessa inermis* og *T. longicaudata* i Barentshavet. Gjennomsnittlig antall m^{-2} for alle tokt, 1984 - 1992. Heltrukket linje viser polarfronten. Merk at det ikke ble tatt prøver utenfor de skraverte områdene. Figuren viser således ikke den totale utbredelsen i Barentshavet.

(Horizontal distribution of *Thysanoessa inermis* and *T. longicaudata* in the Barents Sea, based on average numerical abundance ($no. m^{-2}$) from all cruises, 1984 - 1992. The solid line indicates the Polar Front. Note that samples were not obtained outside the hatched areas, and the figure therefore does not show the total distribution area in the Barents Sea) (Dalpadado and Skjoldal 1995).

Thysanoessa inermis Egg og larve

Enhet: Antall pr. stasjon (Units: no./station)

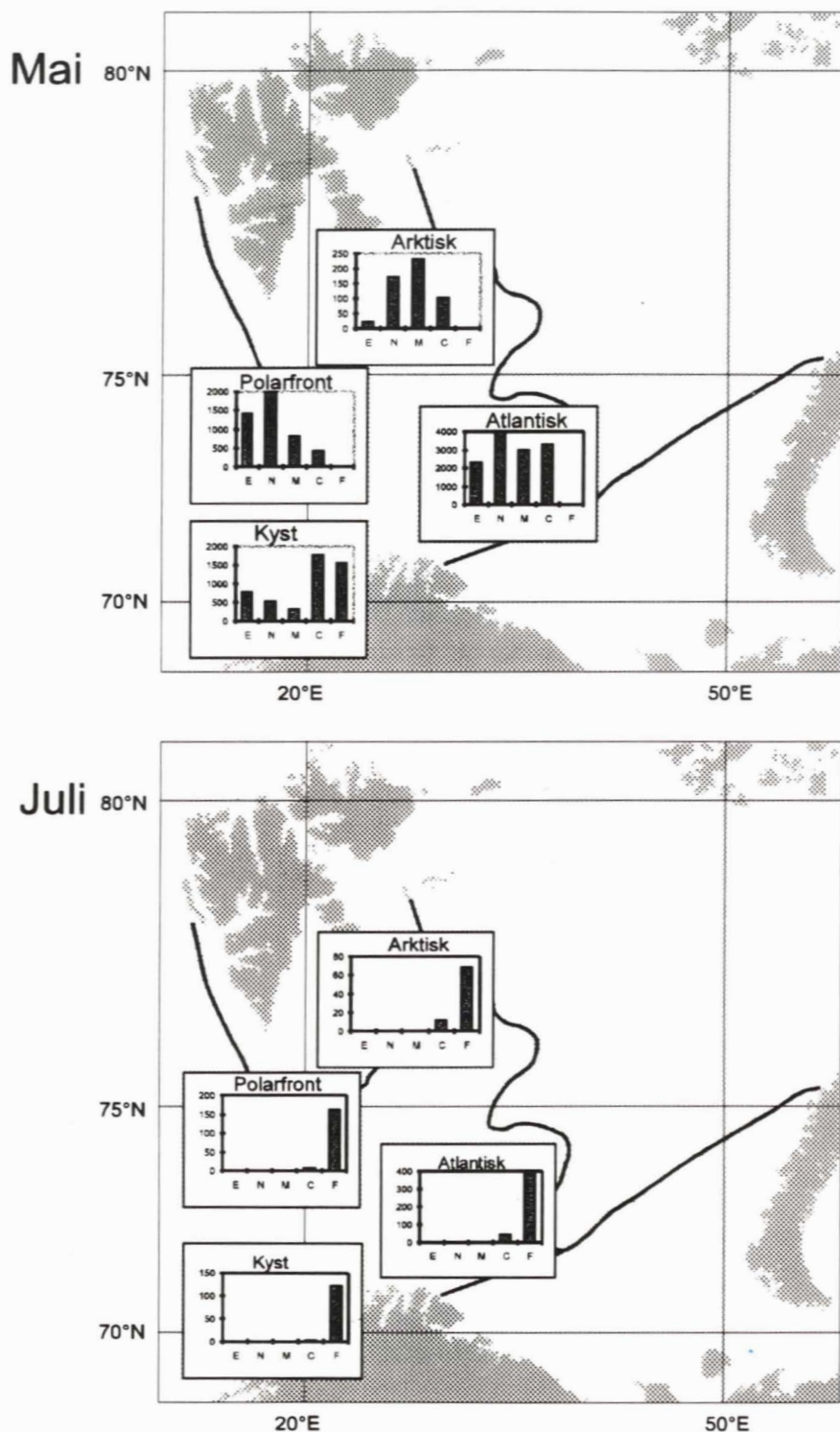


Fig. 4.9. Fordeling av egg og larver av *T. inermis* i kystvann, atlantisk vann, arktisk vann og i Polarfronten i Barentshavet i mai og juli. Enheter: antall pr.stasjon av de forskjellige stadier. E-egg, N-nauplier, M-metanauplii, C-Calyopes og F-Furcilia. (Distribution og eggs and larvae of *T. inermis* in Coastal, Atlantic and Arctic waters and in the Polarfront in the Barents Sea in May and July). (Santos 1994)

Thysanoessa longicaudata egg og larver

Enhet: Antall pr. stasjon (Units: No./station)

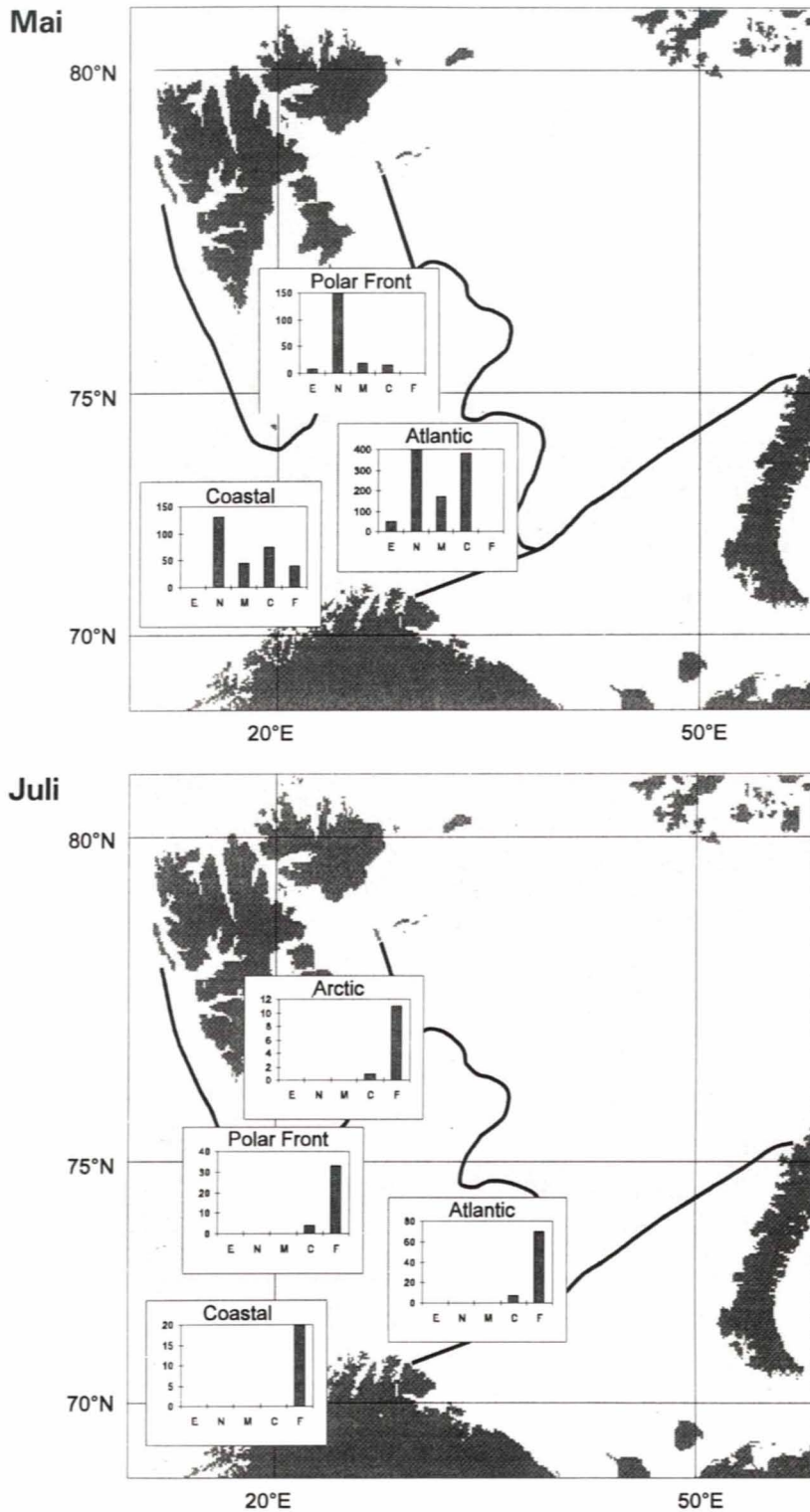


Fig. 4.10. Fordeling av egg og larver av *T. longicaudata* i kystvann, atlantisk vann, arktisk vann og i Polarfronten i Barentshavet i mai og juli. Enheter: antall pr. stasjon av de forskjellige stadier. E-egg, N-naupliar, M-metanauplii, C-Calyopes og F-Furcilia.

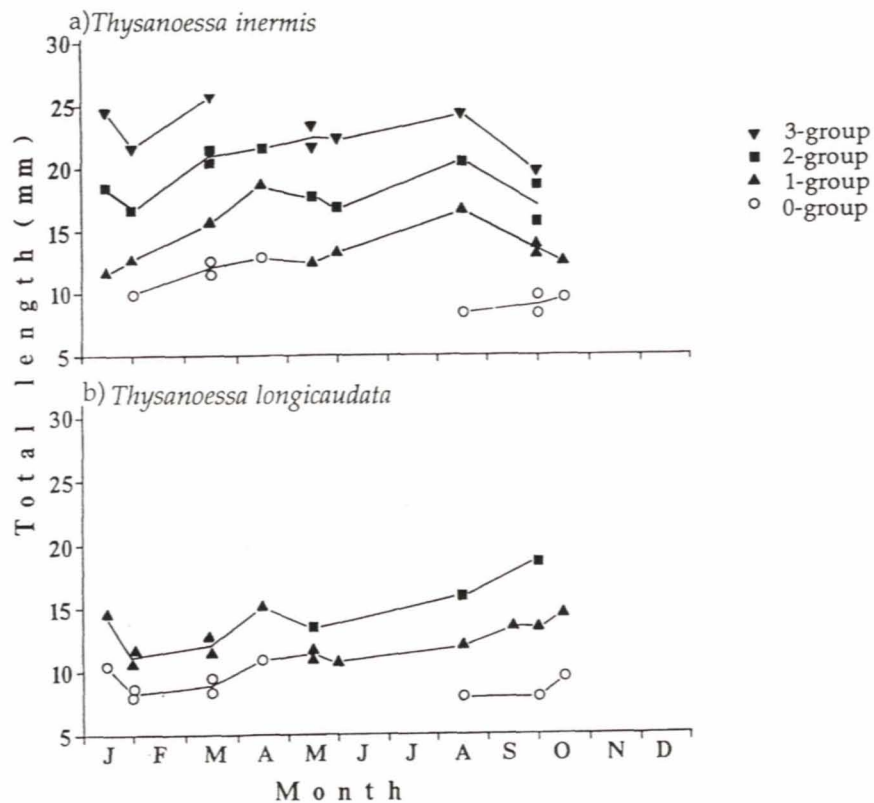
(Distribution of eggs and larvae of *T. longicaudata* in Coastal, Atlantic and Arctic waters and in the Polarfront in the Barents Sea in May and July). (Santos 1994)

Modning og gyting

Dalpadado and Skjoldal (1991, 1995) og Santos (1995) viser at både *T. inermis* og *T. longicaudata* reproduserer i Barentshavet og at disse to artene har en lik reproduksjonssyklus. Den viktigste gyteperioden er mai og juni, og faller sammen med oppblomstringen av planteplankton om våren. Hovedgytingen hos *M. norvegica* synes å foregå utenfor Barentshavet.

Vekst og livslengde

Santos (1995) oppsummerer vekstkarakteristika hos *T. inermis*, *T. longicaudata*, *T. raschii* og *M. norvegica* i det nordlige Barentshav. Krill synes å ha et vekstmønster som oscillerer og er nært knyttet til primærproduksjons-syklusen (Dalpadado and Skjoldal, 1991). Studiene av Dalpadado og Skjoldal (1995) indikerer en livslengde på 3 til 4 år for *T. inermis*, mens *T. longicaudata* kan leve opp til 2 år (Fig. 4.11). Andre undersøkelser viser en livslengde på 3+ år og 2 år for henholdsvis *M. norvegica* og *T. raschii* (Santos, 1995).

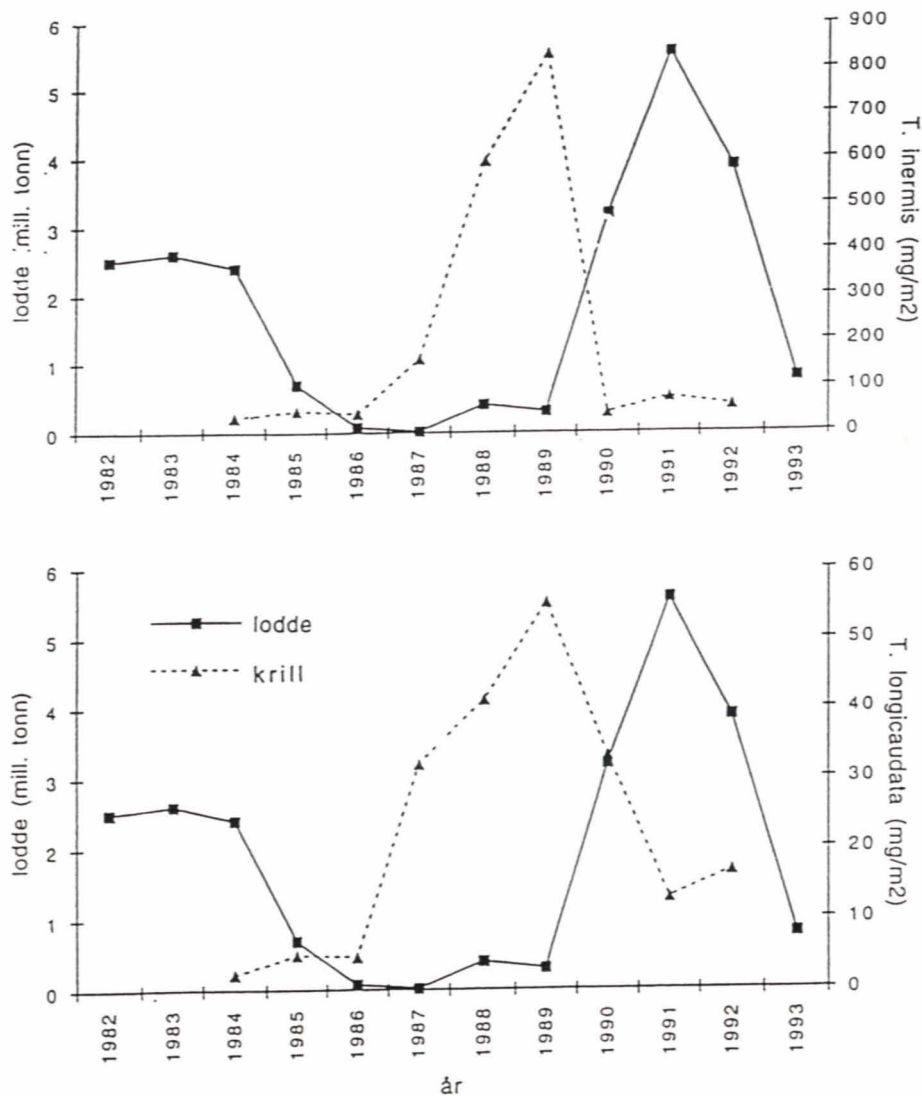


Figur 4.11. *Thysanoessa inermis* og *T. longicaudata*. Sesongvariasjoner i middel­ lengde av de enkelte kohorter separert i lengdefrekvens-analyser. De identifiserte kohortene er allokeret til aldersgrupper.

(*Thysanoessa inermis* and *T. longicaudata*. Seasonal variation in mean length of individual cohorts separated in length frequency analysis. The identified cohorts have been ascribed as age groups) (Dalpadado and Skjoldal 1995).

Krillforekomster, mengde og vekst i forhold til størrelsen av loddebestanden.

Dalpadado og Skjoldal (1995) har undersøkt forholdet mellom lodde som predator og krill som byttedyr i perioden 1984-1992 (Fig. 4.12). Krillen forekommer delvis i det samme området som lodda befinner seg på den tiden den tar til seg næring, spesielt i perioden fra vinter til tidlig sommer. Krillen er et viktig byttedyr for lodda i Barentshavet, og mengden krill som blir spist av lodde (13-16 cm) beregnet i kalorier varierer fra 28 til 98% av den totale dietten i de ulike sesongene. De høyeste andelen av krill ble funnet om våren, de laveste om høsten. Deres undersøkelser viser at da bestanden av eldre lodde ble kraftig redusert fra 1984 til 1987, skjedde det en samtidig vekst i mengden av *T. inermis* og *T. longicaudata*.



Figur 4.12. Variasjon i biomasse (mg tørrvekt m⁻²) av *Thysanoessa inermis* a) og *T. longicaudata* b) og bestandstørrelse (millioner tonn) av lodde (to-åringer og eldre) fra 1982-1992.

(Variation in biomass (mg dry weight m⁻²) of *Thysanoessa inermis* a) and *T. longicaudata* b) and the stock size of two year and older capelin (million tons) from 1982-1992) (Dalpadado and Skjoldal 1995).

Når så loddebestanden igjen tok seg opp fram mot 1991, ble det observert en reduksjon i krillmengdene. Disse resultatene viser at det er en klar sammenheng mellom mengdene av lodde og krill i Barentshavet, og antyder at krillpopulasjonene i stor grad er kontrollert av predasjon. Dalpadado *et al.* (1994) fant en tilsvarende trend med hensyn til variasjon i forekomst av amfipoder (*Themisto* spp.) og mengden av lodde i tidsrommet fra 1984 til 1992.

4.5. Amfipoder: fordeling, vekst og modning

Fordeling

To arter hyperiide amfipoder dominerer i det vestlige og sentrale Barentshavet; *Themisto abyssorum* og *T. libellula*. *T. abyssorum* var spesielt vanlig i subarktiske vannmasser, *T. libellula* i arktiske. En nær beslektet art, *T. compressa*, var mer sjelden og ble observert i atlantiske vannmasser.

Horisontalfordelingen av *T. abyssorum* og *T. libellula* er vist i Fig. 4.13, basert på gjennomsnittsmengder (individer m⁻²) fra samtlige tokt (Dalpadado *et al.*, 1994). *T. abyssorum* har en vid utbredelse og ble observert både i subarktiske og arktiske vannmasser, med en overvekt i subarktiske områder. Mengden av *T. abyssorum* var relativt lav i arktisk vann, mens høye forekomster, opptil 122 individer m⁻², ble funnet i dypvannsområdene sør og sørvest for Svalbard-banken.

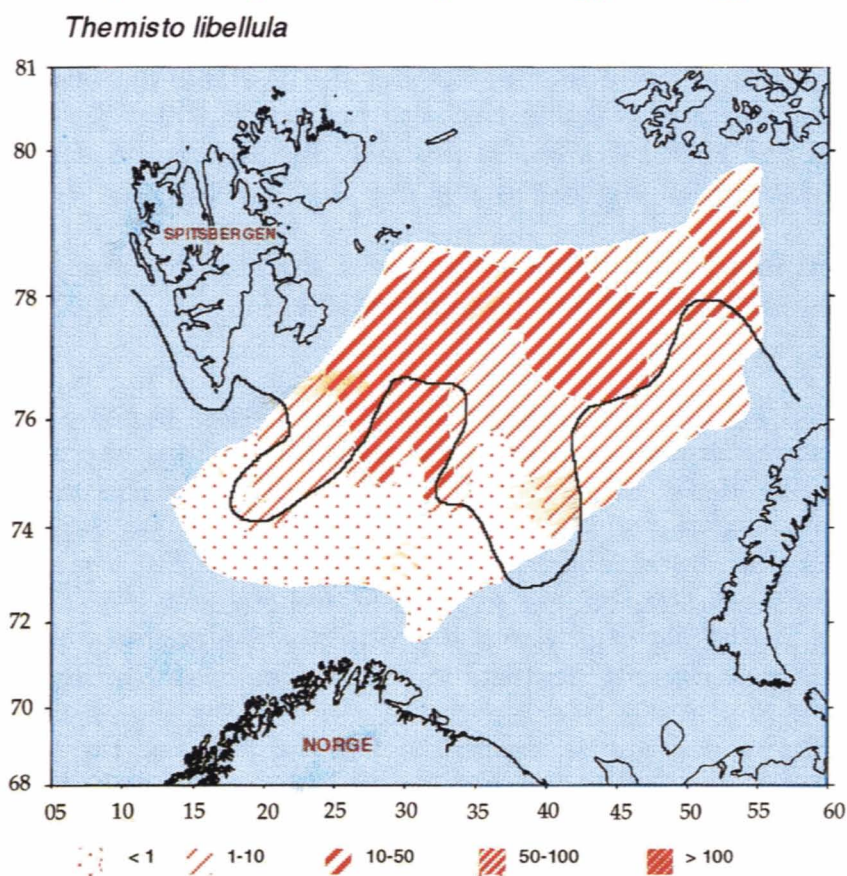
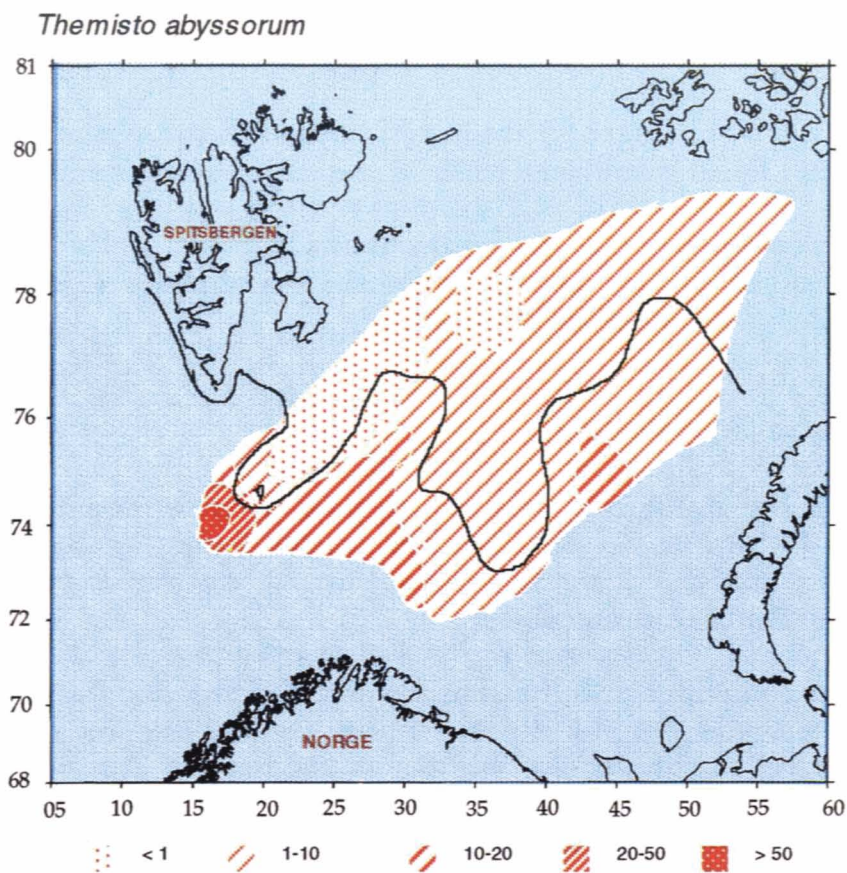
Fordelingen av *T. libellula* synes å være nært knyttet til de ulike vannmassene i Barentshavet. *T. libellula* var ikke tilstede på de fleste stasjonene tatt i atlantiske vannmasser. I polarfront-området nær 76°N og 30-32°Ø, ble det observert høye tettheter opptil 430 individer m⁻² (Tabell 1 i Dalpadado *et al.*, 1994). De største mengdene ble funnet somrene 1987 og 1988. *T. libellula* ble funnet på samtlige stasjoner i arktiske vannmasser, gjennomsnittsmengdene i disse områdene var 15,9 individer m⁻².

T. compressa ble funnet svært sjelden, og bare i atlantiske vannmasser. Gjennomsnittsmengden for samtlige tokt var 1,04 individer m⁻².

Modning og gyting

T. libellula, som lever i kaldere vannmasser enn *T. abyssorum*, synes å starte gytingen tidligere og å ha en forlenget gyteperiode fra mars til juli. Begge artene har en gyteperiode som i hovedsak faller sammen med oppblomstringen av planteplankton om våren. *T. abyssorum* blir moden ved en lengde på 9-12 mm, gyter én gang og dør deretter. Modne hunner av *T. libellula* (25-34 mm) ble observert i januar mens hunner som bar på nyklekket avkom kun ble funnet i mars. Reproduksjonen av *T. libellula* skjer nær det produktive polarfront-området. Siden mattilbudet er heller lite i de rent Arktiske vannmassene, er det mulig at *T. libellula* ikke reproducerer i de sentrale delene av den Arktiske sonen, men heller i de mer perifere delene. Oppløst organisk materiale kan være en viktig del av næringen for små amfipoder som blir frigjort fra yngelkammeret om vinteren (Dunbar 1957).

Det ble ikke observert modne hunner av *T. compressa* i undersøkelsene beskrevet i Dalpadado *et al.* (1994). Imidlertid ble det funnet modne hanner med lange antenner (et kjennetegn på modningsgrad) somrene 1987 og 1989.

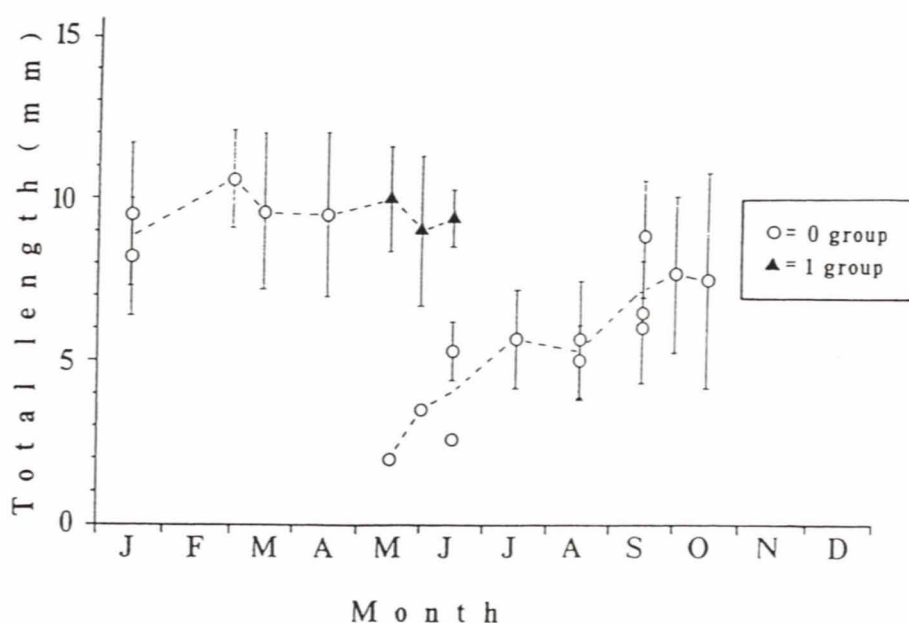


Figur 4.13. Horizontalfordeling av *Themisto abyssorum* og *T. libellula* i Barentshavet. Gjennomsnittlig antall m^{-2} for alle tokt, 1984 - 1992. Heltrukket linje viser polarfronten. Merk at det ikke ble tatt prøver utenfor de skraverte områdene. Figuren viser således ikke den totale utbredelsen i Barentshavet. (Horizontal distribution of *Themisto abyssorum* and *T. libellula* in the Barents Sea, based on average numerical abundance (no. m^{-2}) from all cruises, 1984 - 1992. The solid line indicates the Polar Front. Note that samples were not obtained outside the hatched areas, and the figure therefore does not show the total distribution area in the Barents Sea) (Dalpadado et al. 1994).

Vekst og livslengde

Dalpadado *et al.* (1994) antyder en levealder på ett år hos *T. abyssorum* (Fig. 4.14). De beskriver en første kohort med gjennomsnittslengde på 2-3,5 mm i mai-juni som består av individer som nylig er kommet ut av yngelkammeret (0-gruppe), og en kohort nummer to med gjennomsnittslengde 9-10,5 mm (1-gruppen). I august/september har 0-gruppe-amfipoden nådd en lengde på 5-6 mm. Det ble ikke observert noen markert lengdevekst i perioden januar til mai. Den største gjennomsnittslengden av en kohort var 10,7 mm, observert i mars.

Det er vanskeligere å få en forståelse av vekstmønsteret hos *T. libellula* basert på Bahttacharya's analyser av lengdefrekvens-histogrammer, dette fordi de har en mer utstrakt gyteperiode. Imidlertid antyder lengdefrekvensdata summert fra flere år fra atlantiske vannmasser og polarfronten en levealder for denne arten opp til to år (Dalpadado *et al.*, 1994).



Figur 4.14. *T. abyssorum*. Sesongvariasjon i middel lengde av kohorter adskilt i lengde-frekvens analyse. Vertikale streker representerer to ganger standardavvik. (*T. abyssorum*. Seasonal variation in mean length of cohorts separated in length frequency analysis. Vertical bars represent two times standard deviation) (Dalpadado *et al.* 1994).

5. KORT OPPSUMMERING AV HOVEDTREKKENE

Som påpekt i tidligere avsnitt følger oppblomstringen av planteplankton iskanten når den trekker seg nordover om sommeren. Det betyr at oppblomstringen av planteplankton starter senere dess lengre nord man kommer, og det samme gjelder reproduksjonen av dyreplankton. Hele prosessen knyttet til produksjonen kan enklest oppsummeres ved hjelp av Fig. 5.1. Denne figuren viser på samme tid et øyeblikksbilde av situasjonen i et snitt som går fra sør til nord, og utviklingen i en og samme lokalitet fra den er isdekket til en tid etter at den er isfri. I fasen før

planteplanktonets blomstring, dominerer små flagelater i vannmassene. Hovedblomstringen foregår i overflatelaget nær iskanten og er vanligvis dominert av diatomeer, men flagellaten *Phaeocystis pouchetii* kan av og til være utbredd. Under hovedblomstringen tømmes overflatelaget for næringsalter. Mot slutten av diatomeblomstringen vil maksimum biomasse av planteplankton finnes i dyp mellom 20-40 m. I det samme dypet finner man også den sterkeste vertikalgredienten i næringsaltene som igjen ligger noe dypere enn sprangsjiktet. Den delen av planteplanktonet som ikke blir spist av dyreplankton sedimenteres.

Dyreplanktonet konsentrerer seg i overflatelaget tidlig om våren for å beite på de små flagellatene. Gytingen finner sted under diatome-oppblomstringen, og den nye generasjonen ernærer seg på denne og etterblomstringen. Dyreplanktonet blir igjen beitet på av lodde som har sin næringsvandring mot nord om sommeren og høsten.

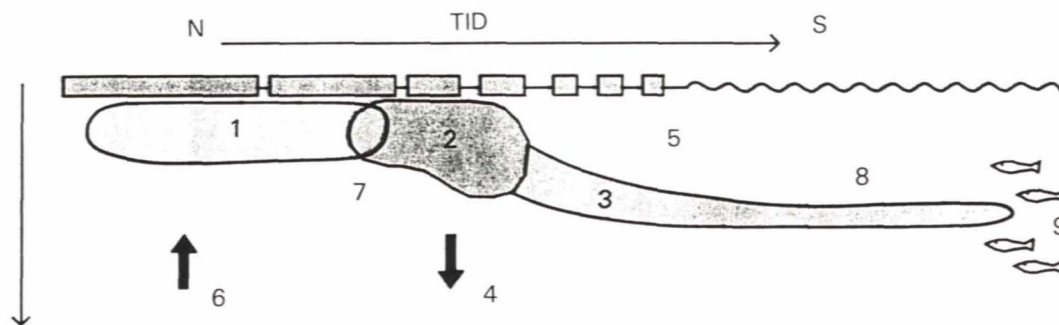


Fig. 5.1. Skjematiske fremstilling av produksjonsprosessen som er knyttet til iskanten. 1) før blomstring, 2) iskantblomstring, 3) sommerblomstring, 4) sedimentering av alger, 5) næringsfattig overflatelag, 6) overvintrende dyreplankton som vandrer opp, 7) dyreplankton som gyter, 8) ny generasjon dyreplankton utvikler seg, 9) lodde som beiter på dyreplankton.

(Simplified picture of the ice edge bloom. 1) pre bloom, 2) ice edge bloom, 3) late bloom, 4) sedimentation of phytoplankton, 5) surface layer depleted for nutrients, 6) zooplankton ascending to the surface, 7) zooplankton spawning, 8) development of a new generation of zooplankton, 9) capelin feeding on zooplankton. (Loeng og Hassel 1986, Sakshaug et al. 1994)

I de isfrie vannmassene er det Atlanterhavsvannet som dominerer. Her dannes stabilitet ved oppvarming fra atmosfæren. Denne prosessen er langsom og fører til et dypt blandingslag. Vår oppblomstringen begynner i første halvdel av mai og utvikler seg langsomt. Oppblomstringen domineres som regel av diatomeer, men i enkelte år også av *Phaeocystis*. Også her er gytingen av dyreplankton tilpasset blomstringen av planteplankton på samme måte som beskrevet for de isdekte områdene.

Siden vår oppblomstringen av planteplankton starter til forskjellige tider avhengig av vannmasser og lokalitet, så vil også gytingen hos dyreplankton foregå over et reelt stort tidsrom. Tabell 3 oppsummerer hovedgytingen for noen av de viktigste artene av dyreplankton. For de fleste er mai og juni de viktigste

månedene, men for de som hovedsaklig reproduserer i arktisk vann så blir gyteperioden lengre fordi den følger iskantblomstringen. Enkelte arter kan ha flere generasjoner i året, og for disse er det anført både vår og sommer.

Tabell 3. Størrelse, hovedvannmasse, tidspunkt for gyting og levealder for de viktigste artene av dyreplankton. Fordelingen av atlantisk vann (NAW) og arktisk vann (AW) er vist i Fig. 2.2. Den vannmassen som står sist blir bare i liten grad benyttet av arten.

(Maximum length, watermasses, spawning period and life time for the most important zooplankton species in the Barents Sea. The watermasses are explained in Fig. 2.2)

| Gruppe | Art/slekt | Maksimum lengde (mm) | Vannmasse | Hovedgyting | Livssyklus (år) |
|-----------|------------------------|----------------------|-----------|-------------|-----------------|
| Kopepoder | <i>C. finmarchicus</i> | 2,8* | NAW | mai-juni | 1 |
| | <i>C. glacialis</i> | 4,0* | AW | mai-juli | 2 |
| | <i>C. hyperboeus</i> | 6,0* | AW | feb.-juli | 1+ |
| | <i>Metridia</i> spp. | 2,5* | NAW / AW | vår-sommer | |
| | <i>Pseudocalanus</i> | 0,9* | NAW | vår-sommer | |
| | <i>Oithona</i> spp. | 1,4 | NAW | vår-sommer | |
| Krill | <i>T. inermis</i> | 32,0 | NAW / AW | mai-juni | 3-4 |
| | <i>T. longicaudata</i> | 20,0 | NAW / AW | mai-juni | 2+ |
| | <i>T. raschii</i> | 27,0 | NAW / AW | mai-juni | 2 |
| | <i>M. norvegica</i> | 45,0 | NAW | mai-juni | 3+ |
| Amfipoder | <i>T. libellula</i> | 40,0 | AW / NAW | mars-juli | 2 |
| | <i>T. abyssorum</i> | 16,0 | NAW / AW | mai-juni | 1 |
| | <i>T. compressa</i> | 25,0 | NAW | mai-juni | 1 |

* cephalothoraxlengde av hunner

6. EFFEKTER AV OLJE PÅ PLANKTON

Olje er uønsket i det marine miljø over en viss konsentrasjon fordi den stort sett virker toksisk på alle ledd i den marine næringskjeden. De toksiske effektene er avhengig av hvilken organisme det er tale om, hvordan oljens sammensetning og konsentrasjon er, og i hvilken grad oljen har gjennomgått kjemisk nedbrytning (Sakshaug *et al.* 1994).

Råolje er en blanding av flere tusen organiske komponenter, hovedsakelig hydrokarboner, men sammensetningen kan variere mye fra felt til felt. Egenvekten er vanligvis lavere enn 1,0 og vannløseligheten er forskjellig for de forskjellige

komponentene i råoljen (GESAMP 1993). Når råolje blir spilt på havoverflaten, vil en fraksjon løses ut i vannet. Denne fraksjonen vil ha en annen sammensetning enn den opprinnelige råoljen og vil være anrikt med de mer vannløselige lavmolekylære alifatiske og aromatiske komponentene (Shiu et al. 1990). Selv om mengdene olje som løses i vannet vanligvis er små i forhold til hele oljemassen, er denne fraksjonen ansvarlig for en viktig del av oljens giftighet ovenfor akvatiske organismer (Shiu et al. 1990). Konsentrasjonen av dispergert olje ved kontinuerlig utslipp av produsert vann fra offshore installasjoner skal reduseres ved hjelp av oljeseparatorer slik at den ikke overstiger den pålagte maksimumsverdien (40 mg/liter). Imidlertid blir produsert vann ikke rensert for oppløste komponenter (Anon. 1993).

Dette prosjektet har ikke direkte studert effekter av et eventuelt oljespill hverken i åpent eller isfyllte farvann. Imidlertid er det mulig på grunnlag av det vi vet om plankton å si noe om når planktonet er mest utsatt. Både Rey (1993) og Køgeler (1994) har relativt kort beskrevet hvordan oljen kan virke inn på planteplanktonet. Sistnevnte har gjennom litteraturstudier sett på hvordan olje kan virke inn på fotosyntese og vekst og sett på hvordan de spesielle ytre forhold som lys og temperatur igjen virker inn på disse forhold.

Generelt vil et oljespill påvirke planteplanktonet ved følgende forhold (Køgeler 1994):

- Oljen fysisk dekker algene
- Oljens toksiske enkeltkomponenter kan trenge inn i algene og direkte eller indirekte forstyrre livsviktige biokjemiske prosesser
- Olje på overflaten vil redusere lysintensiteten
- Oljefilm på overflaten kan redusere gassutveksling mellom hav og atmosfære.

Effekten av olje på marine organismer kan være forskjellig alt etter om et oljespill skjer i åpent farvann eller i isdekte områder. Årstiden vil også bety mye. Om vinteren vil olje i åpent farvann brytes ned hovedsaklig gjennom fysiske prosesser. De dårlige lysforholdene vil hindre fotooksidasjonen og dannelsen av giftige oksydationsprodukter. Samtidig vil de høye næringssaltkonsentrasjonene danne grunnlag for en effektiv mikrobiell nedbryting av oljen. Ved at biomassen av planteplankton er lav på denne tiden, vil konsekvensene av et oljesøl på planteplankton om vinteren være minimale (Rey 1993). I isfyllte farvann kan effekten bli en annen ved at oljen blir værende i isen til den smelter. Dette kan få effekt på isalgefloraen.

Våroppblomstringen er den mest utsatte prosessen for planteplanktonet i tilfelle et oljespill. Våroppblomstringen utgjør mer enn halvparten av den totale primærproduksjonen i Barentshavet og er konsentrert i en periode på to til tre uker. De rene toksiske effektene kan bli større enn om vinteren siden sollyset vil fremskynde fotooksidasjonen og dermed produksjonen av giftige komponenter. I tillegg er det to andre faktorer som er av betydning. Den ene vil være konkurransen om næringssalter mellom planteplankton og oljenedbrytende bakterier. Får man bakteriell nedbryting av større mengder olje like før våroppblomstringen, vil bakterieproduksjonen føre til uttømming av næringssaltene lokalt. En oppblomstring vil i tilfelle ikke starte for disse er erstattet. Den andre faktoren er en eventuell forandring i artssammensetningen blandt annet ved en mulig redusert oppblomstring av diatomeer (Rey 1993). Dette kan resultere i et mindre nærings-tilbud til dyreplanktonet.

Et oljespill om sommeren vil ikke ha så stor betydning for den årlige produksjonen som under våroppblomstringen. Imidlertid kan konsekvensene for det planktonet som blir berørt være stor, fordi effekten av et oljespill på denne tiden vil være større enn om våren på grunn av prosesser knyttet til redusert blanding, økt fotooksidasjon og begrenset mikrobiell nedbryting (Rey 1993). Om høsten og tidlig vinter vil et oljespill ha liten betydning for planteplanktonet.

De planktoniske stadier av marin fisk er generelt sett den organismegruppe som er mest sårbar for vannløselige hydrokarboner, med en dødelig konsentrasjonsområde på 0,1-1 mg pr. liter. De er etterfulgt av pelagiske og bentiske krepsdyr (1-10), voksen fisk (5-50) og snegler og skjell (5-500 mg pr. liter) (Craddock 1977). Fiskelarver som blir kontinuerlig eksponert til den vannløselige fraksjonen av råolje (WSF) i en konsentrasjon av 50-250 µg pr. liter fra eggstadiet kan få redusert vekst, som for eksempel hos torsk (Tilseth *et al.* 1984). Temperatur har innvirkning både på oljens tilgjengelighet i vannet og på selve følsomheten hos fiskelarver. Følsomheten varierer også med art og stadium, der plommeseckklarver er mest sårbare på grunn av deres begrensede bevegelighet. Voksen fisk kan detektere og unngå oljeholdig vann.

Filtrerende organismer som for eksempel dyreplankton (hoppekreps, larver av bunndyr) kan fange opp dispergerte oljepartikler med størrelse opp til ca 0,1 mm. Olje kan derfor komme inn i fordøyelsessystemet sammen med planteplanktonet de filtrerer. Olje som absorberes på denne måten, vil kunne gi direkte giftvirkninger eller kan bli lagret i fettvev og i neste omgang bli overført til dyr som spiser forurenset plankton (Sakshaug *et al.* 1994). Med andre ord kan forvitret olje være like problematisk som fersk olje. Forurensning som rammer dyreplanktonet vil kunne få alvorlige konsekvenser for hele det marine økosystemet (Sakshaug *et al.* 1994). Følsomheten for de vannløselige komponenter av råolje hos krepsdyr som krill og *Themisto* (Amphipoda, Hyperidea) er forholdsvis høy og kan sammenlignes med følsomheten hos fiskelarver. Voksne kopepoder er derimot mer resistente, med 24 timers LC₅₀ verdier over 7 mg WSF pr. liter (LC₅₀ = fra "Lethal Concentration", er den konsentrasjon som forårsaker 50% dødelighet etter eksponering i den angitte tidsperioden) (Booman *et al.* 1995). Det ser ut til å være store forskjeller i sårbarhet mellom forskjellige arter av orden Gammaridea (Amphipoda). Booman *et al.* (1995) rapporterte 100% dødelighet ved eksponering til ca. 2 mg WSF pr. liter i 24 timer, mens 96 timers LC₅₀ verdien for *Gammarus oceanicus*, også en arktisk gammarid, var på ca. 2 mg WSF pr. liter (beregnet etter data fra Aunaas *et al.* 1990).

De fleste av de rapporterte konsentrasjonsverdier av vannløselige komponenter ved oljeutslipp (referert av Børresen *et al.* 1988, Børresen 1993) er lavere enn de konsentrasjoner som er kritiske for voksent dyreplankton og for fiskeegg og -larver. Disse organismene kan imidlertid bli utsatt for skadelige doser av disse komponentene ved en økning i eksponeringstiden. En økning i konsentrasjonen og skadelige doser av de vannløselige komponenter kan også forekomme over kort tid ved bruk av dispergeringsmidler (Humphrey *et al.* 1987).

Det kan konkluderes med at selv om de vannløselige komponenter er blant de mest giftige i råolje, vil utslipp av disse komponenter enten ved akutt eller ved kontinuerlig utslipp, ikke forårsake omfattende skade på bestander av voksent dyreplankton. Det er imidlertid mindre kjent i hvilken grad egg og larver av dyreplankton er mer sårbare for olje enn voksent dyreplankton. De tidlige stadier av polartorsk og krepsdyret *Themisto* som er tilknyttet isen, der konsentrasjonene kan

være forhøyet, vil kunne bli utsatt. Det foreligger imidlertid mangelfull informasjon om hvilken konsentrasjoner som kan forekomme under slike forhold.

Vurderingene ovenfor er stort sett av generell karakter. Den reelle situasjon vil trolig være mer komplisert på grunn av de mange interaksjoner som finner sted mellom de ulike leddene i næringskjeden. Størst konsekvenser for økosystemet vil man trolig få av et oljespill under våroppblomstringen når også dyreplanktonet finnes i tidlige stadier og fiskeegg og -larver (f. eks. av polartorsk) kan være til stede.

REFERANSER

- Ajiad, A. M. and T. Ya. Pushchaeva, 1991. The daily feeding dynamics in various length groups of the Barents Sea capelin. Interrelations between fish populations in the Barents Sea. Pp. 181-192, in B. Bogstad and S. Tjelmeland (eds.): *The Proceedings of the 5th PINRO/IMR Symposium, Murmansk, 12-16th August 1991*.
- AKUP, 1991. Utredningsprogram for områder i nordlige Barentshav. Vurdering av konsekvenser av oljevirkosomhet i isfylte farvann. *Olje- og energi-departementet*, september 1991
- Anon. 1993. *OLF Miljøprogram. Fase II. Sammendragsrapport*. Oljeindustriens Landsforening.
- Anon. 1996. Miljørapport 1996. *FiskenHav. Særnr 2-1996* (i trykk).
- Aunaas, T., Olsen, A. & Zachariassen, K.E. 1991. The effects of oil and oil dispersants on the amphipod *Gammarus oceanicus* from Arctic waters. P. 619-630 in Sakshaug, E. Hopkins, C.C.E. & Øritsland, N.A. ed. *Proceedings of the Pro Mare Symposium on Polar Marine Ecology, Trondheim, 12-16 May 1990. Polar Research* 10 (2).
- Blindheim, J. 1989. Cascading of Barents Sea Bottom Water into the Norwegian Sea. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 188: 49-58
- Booman, C., Midtøy, F., Smith, A. T., Westrheim, K. and Føyn, L. 1995. Effects of oil on marine organisms with particular reference to first feeding of fish larvae. *FiskenHav*. 9. 142 pp.
- Børresen, J. A., Christie, H. and Aaserød, M. I. 1988. Åpning av Barentshavet Syd, Troms II, Troms III og sydlig del av Finnmark Vest for petroleumsvirkosomhet. Konsekvensutredning. *Olje- og Energidepartementet*. Oslo.
- Børresen, J. A. 1993. *Olje på havet.. Ad Notam Gyldendal AS, Norway*.

- Craddock, D. R. 1977. Acute toxic effects of petroleum on arctic and subarctic marine organisms. P. 1-93 in Malin, D. C. ed. *Effects of Petroleum on Arctic and Subarctic Marine Environments and Organisms*. 321 pp. Academic Press, New York.
- Dalpadado, P. 1993. Some observations on the feeding ecology of Norwegian spring spawning herring *Clupea harengus* along the coast of Norway. *ICES C. M. /L:47*: 1-11
- Dalpadado, P., Borkner, N. and Skjoldal, H. R., 1994. Distribution and life history of *Themisto* (Amphipoda) spp., north of 73° in the Barents Sea. *FiskenHav*. 1994 (12): 1-42.
- Dalpadado, P. and T. Ikeda, 1989. Some observations on moulting, growth and maturation of krill (*Thysanoessa inermis*) from the Barents Sea. *J. Plankton Res.* 11: 133-139
- Dalpadado, P. and H. R. Skjoldal, 1991. Distribution and life history of krill from the Barents Sea. *Polar Res.* 10 (2): 443-460.
- Dalpadado, P. and H. R. Skjoldal, 1995. Distribution and life cycle of krill, north of 73° N in the Barents Sea. *FiskenHav*. 1995 (16), 50 pp.
- Dunbar, M. J., 1957. The determinants of production in Northern Seas: A study of the biology of *Themisto libellula* (Mandt.). *Can. J. Res.*, 35 (6): 797-819
- GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). 1993. *Impact of oil and related chemicals on the marine environment*. IMO, London.
- Gjøsæter, H., Hassel, A., Loeng, H., Rey, F., and Skjoldal, H. R. 1983. Preliminære resultater fra tokt i Barentshavet med M/S "Lance" og F/F "G. O. Sars" i mai/juni 1983. *Havforskningsinstituttet i Bergen, Rapport nr. FO 8310*: 1-21 + 6 pp. appendiks.
- Grønvik, S. and Hopkins, C. C. E. 1984. Ecological investigations of the zooplankton community of Balsfjorden, northern Norway: Generation cycle, seasonal vertical distribution, and seasonal variations in body weight and carbon and nitrogen content of the copepod *Metridia longa* (Lubbock). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 80: 93-107.
- Hassel, A. 1986. Seasonal changes in zooplankton composition in the Barents Sea, with special attention to *Calanus* spp. (Copepoda). *Journal of Plankton Research* 8 (2): 329-339.
- Hassel, A., 1995. Dyreplankton i Barentshavet. *FiskenHav*. 1995 (1): 1-38.

- Hassel, A., Loeng, H., Rey, F. og Solberg, T. 1984. Resultater fra tokt med F/F «G.O. Sars» i Barentshavet 4-19.8.1984. *Havforskningsinstituttet Rapport FO 8410*. 32 s + appendiks.
- Hassel, A., Loeng, H. og Skjoldal, H. R. 1986. Marinøkologiske undersøkelser i Barentshavet i januar 1985. *Havforskningsinstituttet rapport nr. FO8604*, 33 pp + 4 appendix
- Humphrey, B., Green, D.R., Fowler, B.R., Hope, D. and Boehm, P.D. .1987. The fate of oil in the water column following experimental oil spills in the Arctic marine nearshore. *Arctic* 4 (Supp. 1): 124-132.
- Kögeler, J., Evensen, A., Anselme, B. og Killi, B., 1994. Planteplankton i det nordlige Barentshavet. *Akvaplan-niva rapport nr: APN 432.94.503.01b* ; 64 s.
- Loeng, H. 1991. Features of the physical oceanographic conditions in the Barents Sea. *Polar Research*, 10 (1):5-18.
- Loeng, H. og Hassel, A. 1986. Loddas næringsforhold ved iskanten. Sluttrapport. *Havforskningsinstituttet rapport nr. FO8606*, 15pp.
- Loeng, H., Ozhigin, V., Ådlandsvik, B. and Sagen, H. 1993. Current measurements in the northeastern Barents Sea. *ICES, C.M. 1993/C:41*, 22pp.
- Lofnes, S. P., 1993. Reproduksjon hos krill i Barentshavet. Distribusjon og lengdeundersøkelser av egg og larver av krill, i juli 1988 og mai 1989, relatert til vannmasser og algebiomasse. *Master of Science thesis, Institute of Fisheries and Marine Biology, High Technology Center, Bergen, Norway*. 90 pp.
- Lund, A., 1981. Ernæring hos lodde, *Mallotus villosus* (Müller), i Barentshavet. *M. Sc thesis, Inst.of Fish. Biol.*, Bergen, Norway. 128 pp.
- Mehl, S. 1989. The Northeast Arctic cod stock's consumption of commercially exploited prey species in 1984-1986. *Rapp. P. -v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 188: 185-205
- Melle, W. 1996. *Calanus* spp. utbredelse og økologi i Nord-Atlanteren med særlig vekt på Barentshavet. *FiskenHav. 1996* (in prep).
- Melle, W., Røttingen, I. and Skjoldal, H. R. (1994). Feeding and migration of Norwegian spring spawning herring in the Norwegian Sea. *ICES C. M. 1994/R:9*, 24 pp.
- Melle, W. and Skjoldal, H.R. 1989. Zooplankton reproduction in the Barents Sea: Vertical distribution of eggs and nauplii of *Calanus finmarchicus* in relation to spring phytoplankton development. In J.S. Ryland & P.T. Tyler (ed.): *Reproduction, Genetics and Distributions of Marine Organisms*. Olsen & Olsen, Fredensborg, Denmark.

- Melle, W. and Skjoldal, H. R. 1994. Spawning and development of *Calanus* spp. in the Barents Sea. ICES C.M./L:22, Ref D. 43pp
- Panasenko, L. G. 1984. Feeding of the Barents Sea capelin. ICES C. M. /H:6, 1-6
- Rey, F., 1993. Planteplanktonet og dets primærproduksjon i det nordlige Barentshavet. *FiskenHav.* 1993 (10): 1-39.
- Rey, F. and Loeng, H. 1985. The influence of ice and hydrographic conditions on the development of phytoplankton in the Barents Sea. p.49-63 in Gray, J.S. and Christiansen, M.E. (eds). *Marine Biology of Polar Regions, and Effects of Stress on Marine Organisms.* John Wiley & Sons Ltd.
- Rey, F., Skjoldal, H.R. and Slagstad, D. 1987. Primary production in relation to climatic changes in the Barents Sea. pp. 29-46 in Loeng, H.(ed). *The effect of oceanographic conditions on distribution and population dynamics of commercial fish stocks in the Barents Sea. Proceedings from the third Soviet-Norwegian symposium, Murmansk 26-28 May 1986.* Institute of Marine Research, Bergen.
- Sakshaug, E., Bjørge, A., Gulliksen, B., Loeng, H. og Mehlum, F. 1994. *Økosystem Barentshavet.* Universitetsforlaget, 304 pp.
- Santos, J. dos, 1994., Krill in the Barents Sea: biology and regional distribution. *Akvaplan-niva rapport nr: APN 432.94.503.02a ; 43 pp.*
- Shiu, W. Y., Bobra, M., Bobra, A.M., Maijanen, A., Suntio, L. and Mackay, D. 1990. The water solubility of crude oils and petroleum products. *Oil Chem. Pollut.* 7: 57-84.
- Skjoldal, H. R. and F. Rey, 1989. Pelagic production and variability of the Barents Sea ecosystem. Pp. 241-286 in K. Sherman and L. M. Alexander (eds.): *Biomass yields and geography of large marine ecosystems.* American Association for the Advancement of Science, Selected Symposium III. Westview Press, Boulder, Colorado, USA.
- Skjoldal, H. R., H. Gjørseter and H. Loeng, 1992. The Barents Sea ecosystem in the 1980s: ocean climate, plankton, and capelin growth. *ICES mar. Sci. Symp.* 195: 278-290.
- Skjoldal, H. R. og Hassel, A. 1991. Næringsforholdene for lodde og sild i Barentshavet. *Havforskningsinstituttet, rapport nr. 1/1991/HSM,* 25 pp.
- Skjoldal, H. R., Hassel, A., Rey, F. and Loeng, H. 1987. Spring phytoplankton development and zooplankton reproduction in the central Barents Sea in the period 1979-1984. pp. 59- 89 in Loeng, H.(ed). *The effect of oceanographic conditions on distribution and population dynamics of commercial fish stocks in the Barents Sea. Proceedings from the third Soviet-Norwegian symposium, Murmansk 26-28 May 1986.* Institute of Marine Research, Bergen

- Slagstad, D. og Stokke, S., 1994. Simulering av strømfelt, hydrografi, isdekke og primærproduksjon i det nordlige Barentshav. *FiskenHav*. 1994 (9): 1-47.
- Tilseth, S., Solberg, T. and Westerheim, K. 1984. Sublethal effects of the water-soluble fraction of Ekofisk crude Oil on the early larval stage of cod (*Gadus morhua* L.). *Marine Environmental Research* 11:1-16.
- Wiborg K.F. 1954. Investigations on Zooplankton in Coastal and Offshore waters off Western Northwestern Norway. *Rep. Norw. Fish. Invest.* 11 (1): 1-246.
- Østvedt, O. J. 1955. Zooplankton investigations from weathership M in the Norwegian Sea 1948-49. *Hvalrådets Skr.* 40: 1-93.
- Ådlandsvik, B. and Loeng, H. 1991. A study of the climatic system in the Barents Sea by a wind-driven model. *Polar Research*, 10 (1): 45-49