

FISKEN OG HAVET, NR. 10 - 1993

ISSN 0071-5638

**PLANTEPLANKTONET OG DETS  
PRIMÆRPRODUKSJON  
I DET NORDLIGE BARENTSHAVET**

*PHYTOPLANKTON AND ITS PRIMARY  
PRODUCTION IN THE NORTHERN BARENTS SEA*

Av

**Francisco Rey**

**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**

September 1993

## INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD/FOREWORD	3
SAMMENDRAG/SUMMARY	4
1. INNLEDNING	5
2. OSEANOGRAFISKE FORHOLD	6
3. HOVEDKOMPONENTENE I PLANTEPLANKTON	16
4. PLANTEPLANKTONDYNAMIKK	22
5. PLANTEPLANKTONETS PRIMÆRPRODUKSJON	27
6. PRIMÆRPRODUKSJONENS SKJEBNE	29
7. BIOLOGISKE REGIONER	32
8. EFFEKTER AV OLJE	34
9. LITTERATUR	37

## FORORD

Denne rapporten er et av flere bidrag til et utredningsprosjekt for Arbeidsgruppen for Konsekvensutredninger av Petroleumsvirksomhet (AKUP). Prosjektet har tittelen "Geografisk og sesongmessig fordeling av plante- og dyreplankton" ( Prosjekt nr. 2.2.3.) og hører under AKUPs utredningsprogrammet "Barentshavet Nord".

Prosjektet gjennomføres av forskere ved Havforskningsinstituttet, Universitetet i Bergen, Norges Fiskerihøgskole, SINTEF og Akvaplan-NIVA under ledelsen av forsker Harald Loeng, Havforskningsinstituttet.

Rapporten er en kort oppsummering av dagens viten om planteplanktonets økologi i det nordlige Barentshavet. Det ligger mange årsverk og toktdøgn bak denne viten som i hovedsak stammer fra Havforskningsinstituttets egne økologiske programmer i Barentshavet (1979-1983) og det nasjonale forskningsprogram ProMare (1984-1989). Rapporten er skrevet uten at det er gitt referanser i teksten, men litteraturlisten bak viser den litteratur denne rapporten støtter seg til.

Jeg vil gjerne takke alle kolleger som jeg har samarbeidet med i disse årene. Særlig takk til Magnar Hagebø og Fernando Mora som har bidratt med alle kjemiske analyser og databehandling. Takk også til Harald Loeng og Egil Sakshaug for kommentarer og språksrettelser til rapporten og til Julio Erices som har hjulpet med figurene.

Bergen, august 1993.

## FOREWORD

*This report is one of several contributions to a project report for the Working Group on Consequences Analyses of Petroleum Activities (AKUP). The project report is called "Geographical and seasonal distribution of phyto - and zooplankton" (project nr. 2.2.3.) and is a part of AKUP's program "The northern Barents Sea".*

*The project is being carry out by scientists at the Institute of Marine Research, Bergen, the University of Bergen, the Norwegian College of Fisheries, SINTEF and Akvaplan-NIVA under the leadership of Harald Loeng, Institute of Marine Research.*

*The present report is a brief overview of tthe current knowledge on the phytoplankton ecology in the northern Barents Sea. There are several years work and many cruises behind this knowledge that originates mainly from the Institute of Marine Research's own ecological programs in the Barents Sea (1979-1983) and the Norwegian national Program on Marine Arctic Ecology ProMare (1984-1989). The report has been written without references in the text but the literature list at the end contains most the literature the report is based on.*

*My thanks to all the colleagues I have collaborated with during these years. I would like specially to thank Magnar Hagebø and Fernando Mora for their contributions with chemical analyses and computation work. I would like also to thank Harald Loeng and Egil Sakshaug for comments and Julio Erices for helping with the figures and drawings.*

*Bergen, August 1993.*

## SAMMENDRAG

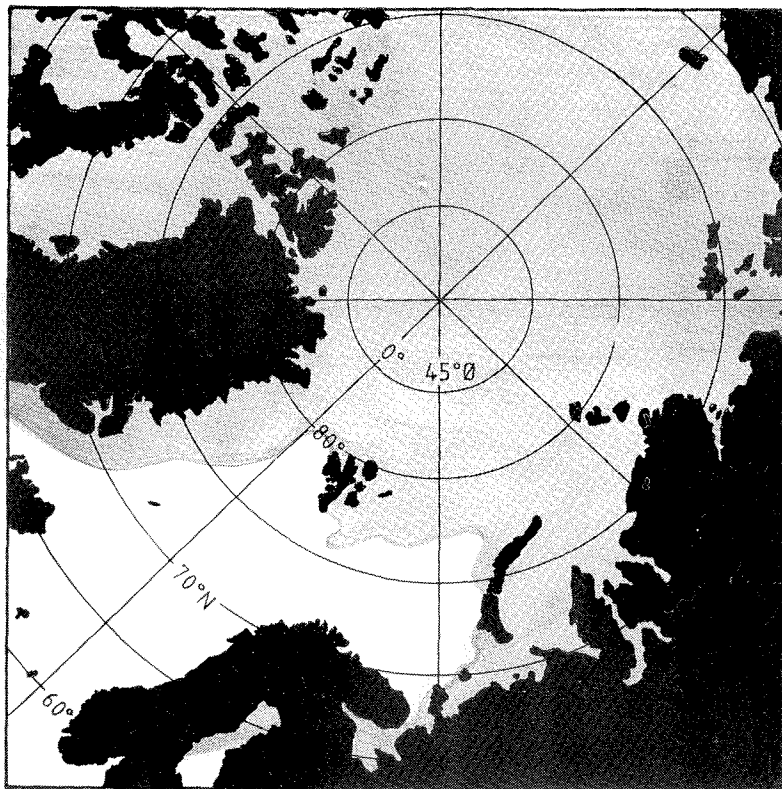
Rapporten summerer opp eksisterende informasjon om planteplanktonets økologien i det nordlige Barentshavet. Fysisk oseanografiske og meteorologiske forhold i sterk grad kontrollerer dynamikken i planteplanktonets utvikling gjennom de forskjellige sesonger. Særlig viktig i denne sammenheng er dannelsen av et stabilt overflatelag om våren som betingelse for utviklingen av våroppblomstringen. Denne er hovedsakelig dominert av to forskjellige arter, diatomeen *Chaetoceros socialis* og prymnesiofyten *Phaeocystis pouchetii*. Våroppblomstringen utgjør omtrent 60% av den årlige primærproduksjonen som anlåes til å være ca 90 gC m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup>. Primærproduksjonens skjebne ser ut til å være sterk avhengig av de klimatiske forhold, særlig ved iskanten. I varmere år går mesteparten av primærproduksjonen videre i det pelagiske næringsnett. I kaldere år synker en stor andel av produksjonen ut av den eufotiske sonen og ned i vannsøylen og gir grunnlag til enten et mesopelagisk eller et benthisk næringsnett. Basert på utviklingen av planteplanktonet, fire biologiske regioner i det nordlige Barentshavet blir identifisert: Atlanterhavsvann i de sentrale deler, Atlanterhavsvann i de østlige deler, iskantsonen og Svalbardbanken. Rapporten gir også en kort oversikt over effekter av olje på planteplanktonet. Våroppblomstringen ved iskanten betraktes som den mest utsatte prosess i tilfelle et oljespill.

## SUMMARY

*This report summarize the current knowledge about the phytoplankton ecology in the northern Barents Sea. The physical oceanographical and meteorological conditions are found to exert a strong control on the development of phytoplankton through the different seasons. Specially important is the formation of a stratified upper layer during spring as a condition for the development of the spring bloom. The spring bloom is dominated mainly by two species, the diatom Chaetoceros socialis and the prymnesiophyte Phaeocystis pouchetii. The spring bloom make up to about 60% of the yearly primary production estimated to be about 90 gC m<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>. The fate of the primary production seems to be strongly dependent on the prevailing climatic conditions, specially at the ice edge. During warm years most of the primary production ends in the pelagic foodweb. During cold years an important part of the primary production sinks out of the euphotic zone and ends either in a mesopelagic or a benthic foodweb. Based on the pattern of development of phytoplankton, four distinct biological regions are identified in the northern Barents Sea: the Atlantic water in the central part, the Atlantic water in the eastern part, the ice edge zone and the Svalbard bank. The report gives also a short overview over the effects of oil on phytoplankton. The spring bloom at the ice edge is identified as the most exposed process to an eventual oilspill.*

## 1. INNLEDNING

Barentshavet er, med sin total fangst av fisk på bortimot 2-3 millioner tonn i året, det nordligste hav i verden av fiskerimessig betydning. En av årsakene til dette ligger i det faktum at Barentshavet, sammen med Norskehavet, er de eneste havområdene nord for 70°N som er delvis isfrie året rundt (Fig. 1) Dette skyldes transporten av varmere Atlanterhavsvann inn i området. I tillegg er Barentshavet et grunnhav, noe som gir bedre oppvekstmuligheter til flere arter, både pelagiske og demersale, enn for eksempel det dype Norskehavet.



Figur 1. Gjennomsnittlig vinter isdekke i Nordpolbassenget.  
(Average winter ice coverage in the North Pole basin)

Grunnlaget for den biologiske produksjonen i de øverste trinn i næringsnettet i Barentshavet er, som i alle hav, planktonet. Begrepet plankton omfatter et stort antall organismer, både planter og dyr, som har til felles at de svever fritt i vannmassene. De to hovedkomponentene av plankton er planteplankton (mikroskopiske og encellede alger) og dyreplankton. Det er de førstnevnte som er det reelle grunnlaget for alt liv i havet ved at de, med hjelp av solenergi, tar opp karbondioksid, vann og andre næringsstoffer og omformer disse til energirike organiske forbindelser.

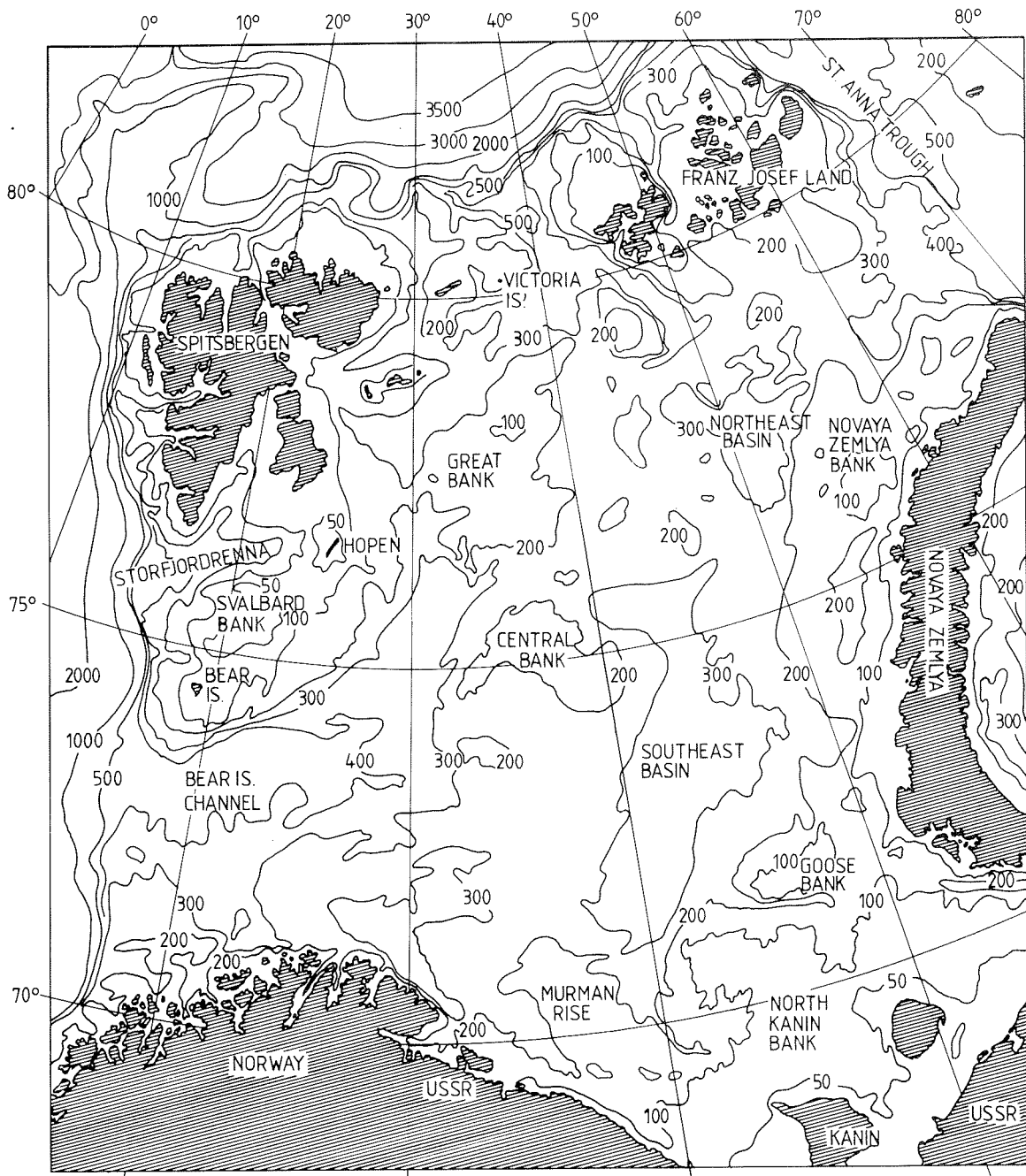
I denne rapporten oppsummeres den viten vi har pr. idag om utviklingen av planteplanktonet og dets produksjon i forhold til de fysiske og biologiske prosesser som påvirker dem. Rapporten beskriver først de fysiske miljøforholdene og deres betydning for planteplankton. Deretter beskrives hovedkomponentene og planteplanktonets dynamikk og primærproduksjon. Rapporten avsluttes med et avsnitt om oljens effekter på planteplankton.

## **2. OSEANOGRAFISKE FORHOLD.**

Planteplanktonets sesongsutvikling i et gitt område er sterkt påvirket av de lokale fysiske-oseanografiske og meteorologiske forhold. Vannmasser, isforhold, vertikal blanding og stabilitet er forhold som påvirker planteplanktonets vekst. Derfor starter denne rapporten med en oversikt av hovedtrekkene i disse forhold i Barentshavet.

### **2.1. Topografi og grenser.**

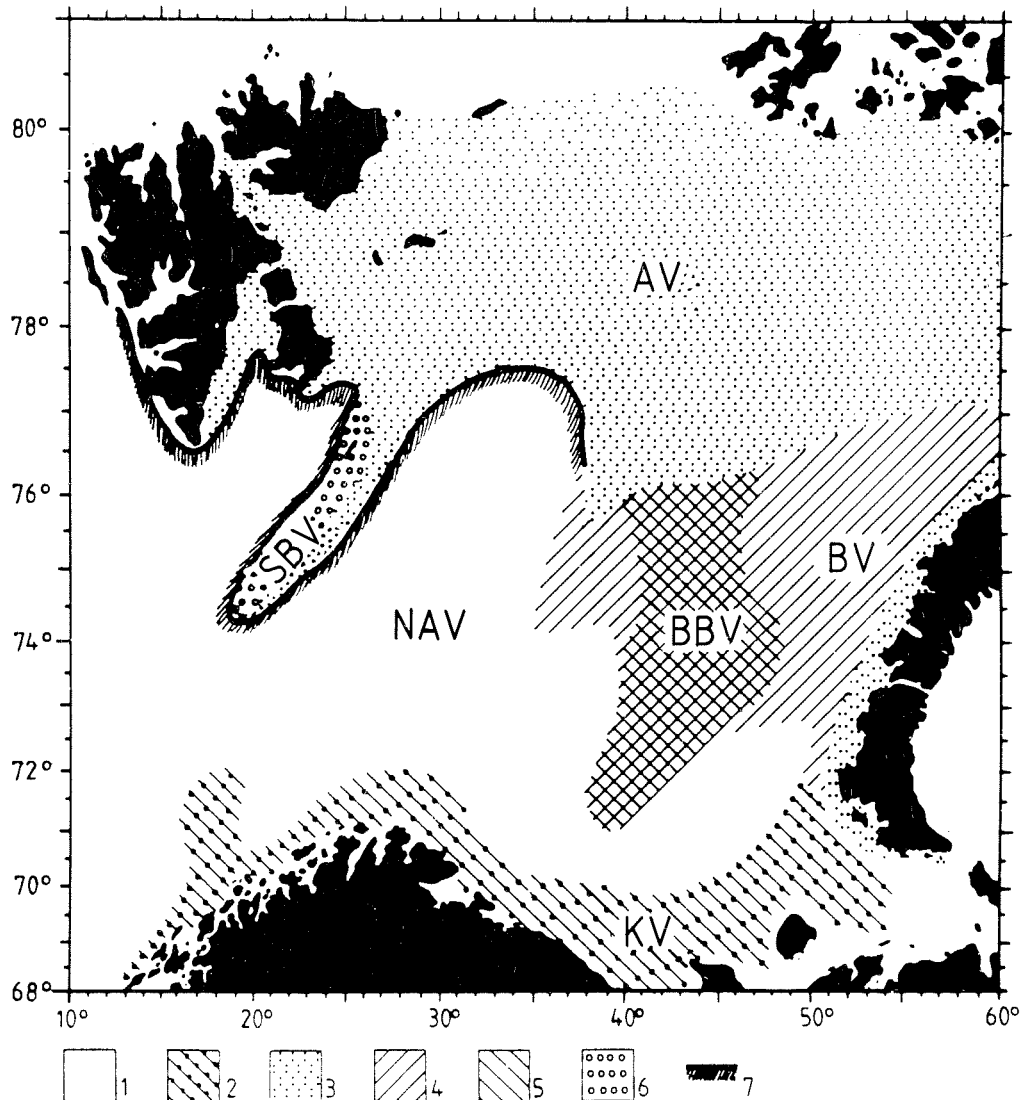
Barentshavet er et sokkelhav med et gjennomsnitt dyp på 230 meter og en total overflate på 1.4 millioner km<sup>2</sup> når følgende grenser tas i betraktning: i nord en linje fra nordspissen av Novaja Zemlja til Frans Josef Land og videre til nordspissen av Svalbard. I sør den norske og russiske kysten. I øst Novaya Zemlya og i vest kontinentalskråningen mot Norskehavet. De dypeste delene befinner seg i grenseområdene mot Norskehavet og Polhavet (Fig. 2). Bjørnøyrenna markerer seg i den sørvestlige delen med dyp ned mot 500 meter. Andre markerte dypområder er Hopen dypet som er Bjørnøyrennas forsettelse mot nord, og Storfjordrenna i vest. I den østlige delen av Barentshavet er det to større basseng: Sørøst- og Nordøstbassenget, som skilles fra Bjørnøyrenna av et grunnere område. Det grunneste området i Barentshavet strekker seg fra Edgeøya via Hopen til Bjørnøya og kalles Svalbardbanken. Mesteparten av dette området er grunnere enn 100 meter og store deler er grunnere enn 50 meter. Andre grunne områder er Storbanken og Sentralbanken, begge med dyp mindre enn 200 meter, og bankene langs Novaja Zemlja som har dyp mindre enn 100 m. Også i sørøst er det store områder som er grunnere enn 100 meter. Ved norskekysten finnes det dessuten en rekke grunn- og dypområder. På grunn at dypene generelt er små, har bunntopografien stor innflytelse på vannmassenes fordeling og bevegelse, spesielt i de sørlige områdene og ved Svalbardbanken.



Figur 2. Barentshavets bunntopografi, dyp i meter. Fra Loeng, 1992.  
*(Bathymetry of the Barents Sea, depth in metres. From Loeng, 1992)*

## 2.2. Vannmasser.

Barentshavet har tre hovedtyper av vannmasser : Atlanterhavsvann, Kystvann og Arktisk vann. I tillegg dannes det under bestemte forhold forskjellige lokale vannmasser ( Fig. 3).



Figur 3. Hovedvannmasser i Barentshavet. Fra Loeng, 1992. 1= (Nord) Atlanterhavsvann (NAV); 2= Kystvannet (KV); 3= Arktiskvann (AV); 4= Barentshavetsvann (BV); 5= Barentshavets bunnvann (BBV); 6= Svalbardbanken vann (SBV); 7= Polarfronten.  
( Main water masses in the Barents Sea. From Loeng, 1992. 1= (North) Atlantic Water (NAV); 2= Coastal Water (KV); 3= Arctic Water (AV); 4= Barents Sea Water (BV); 5= Bottom Water (BBV); 6= Spitsbergenbanken Water (SBV); 7= Polar front )

**Atlanterhavsvann** er definert som vann med saltholdighet på mer enn 35.0. Denne vannmassen strømmer inn i Barentshavet mellom Fugløya og Bjørnøya og her er saltholdigheten vanligvis mellom 35,05 og 35,15. Temperaturen i denne vannmassen varierer mellom 3,5 og 6 °C. Både temperaturen og saltholdighet avtar innover i Barentshavet. Derfor



betrakter man i praksis vann med en saltholdighet på mer enn 34,95 og temperatur over 3°C som Atlanterhavsvann for Barentshavet vedkommende. I et sør-nord snitt i Barentshavet finner man denne vannmasse mellom kystvannet i sør og det Arktisk vannet i nord og som regel fyller Atlanterhavsvannet de sentrale deler av Barentshavet så langt øst som til 40° Ø.

**Kystvannet**, som navnet tilsier, befinner seg langs den nordnorske kysten. Vannmassen har lavere saltholdighet enn Atlanterhavsvannet, mens temperaturen er omtrent den samme. Kystvannet ligger som en kile mellom kysten og Atlanterhavsvannet. Om vinteren er kilen dyp og smal, mens den om sommeren er grunn og bred.

**Arktisk vann** har temperatur under 0°C og saltholdighet mellom 34,4 og 34,8. Det befinner seg i den nordlige del av Barentshavet, men noe går også ut av Barentshavet langs skråningen til Svalbardbanken.

Som produkt av forskjellige fysiske prosesser som blanding, ismelting og nedkjøling dannes det også lokale vannmasser. Blant disse kan vi nevne : Barentshavsvann, bunnvann, smeltevann og Svalbardbankvann. Tabell 1 viser en oversikt over alle vannmassene som man finner i Barentshavet.

Tabell 1. Oversikt av vannmassene i Barentshavet. Fra Loeng (1991).  
( *Water masses in the Barents Sea . From Loeng (1991)*)

<b>Hovedvannmasser</b>		t°C	S
Kystvannet	(KV)	>2.0	<34.7
(Nord) Atlanterhavsvann	(NAV)	>3.0	>35.0
Arktiskvann	(AV)	<0.0	34.3-34.8
<b>Lokale vannmasser</b>			
Smeltevann	(SV)	>0.0	<34.2
Svalbardbankvann	(SBV)	1.0-3.0	<34.4
Bunnvann	(BBV)	<-1.5	>35.0
Barentshavsvann	(BV)	-1.5-2.0	34.7-35.0
Polarfrontvann	(PV)	-0.5-2.0	34.8-35.0

Et annet område av biologisk betydning i Barentshavet er Polarfronten. Dette er området mellom det varmere Atlanterhavsvannet og det kalde Arktisk vannet, hvor begge vannmasser blandes. Polarfrontens midlere posisjon følger bunntopografien og går fra vestsiden av Svalbardbanken og sør for Bjørnøya hvoretter den bøyer nordover i retning Storbanken og til slutt går sørøstover og rund Sentralbanken. I den vestlige del av Barentshavet er Polarfronten markert og flytter seg lite. I den østlige delen danner Polarfronten en bred og lite markert

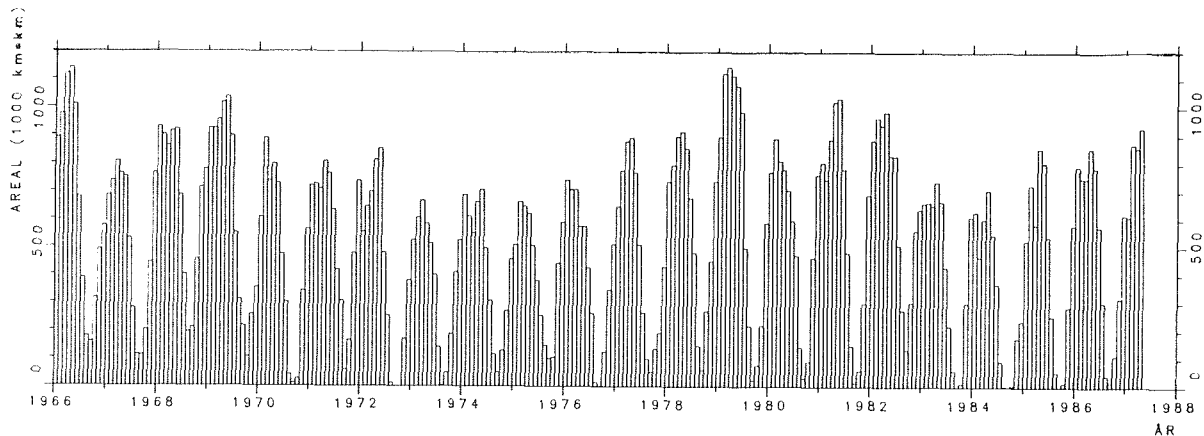
overgangssone mellom de to vannmassene.

Siden denne rapporten omfatter det nordlige Barentshavet har vi satt som grense 73°N. Av denne grunn har vi ekskludert Kystvannet i det som følger.

### 2.3. Isforhold.

Isen i Barentshavet dekker ved maksimal utbredelse omlag 1 million km<sup>2</sup>. d.v.s. ca. 70% av området totale overflate. Mesteparten av isen er ettårsis, men det finnes også små og spredte mengder av flerårsis som stammer fra Polhavet eller fra is som har oversomret i Barentshavet. Variasjonene i isforhold i Barentshavet henger sammen med sirkulasjonsmønstre for hovedvannmassene og på lengre sikt havstrømmenes varmekapasitet og styrke. Det er en nær sammenheng mellom varmemengden i det instrømmende Atlantershavsvannet og mengden av is i Barentshavet om vinteren og våren.

Den sesongmessige variasjonen i isdekket i Barentshavet er markert forskjellige fra år til år. I årene 1973-1975 var for eksempel det maksimale isarealet bare rundt 680 tusen km<sup>2</sup>, mens det i 1969 og 1979 var rundt 1 million km<sup>2</sup> ( Fig. 4). Dette innebærer en endring av isarealet på mer enn 50% over en periode på bare fire år.

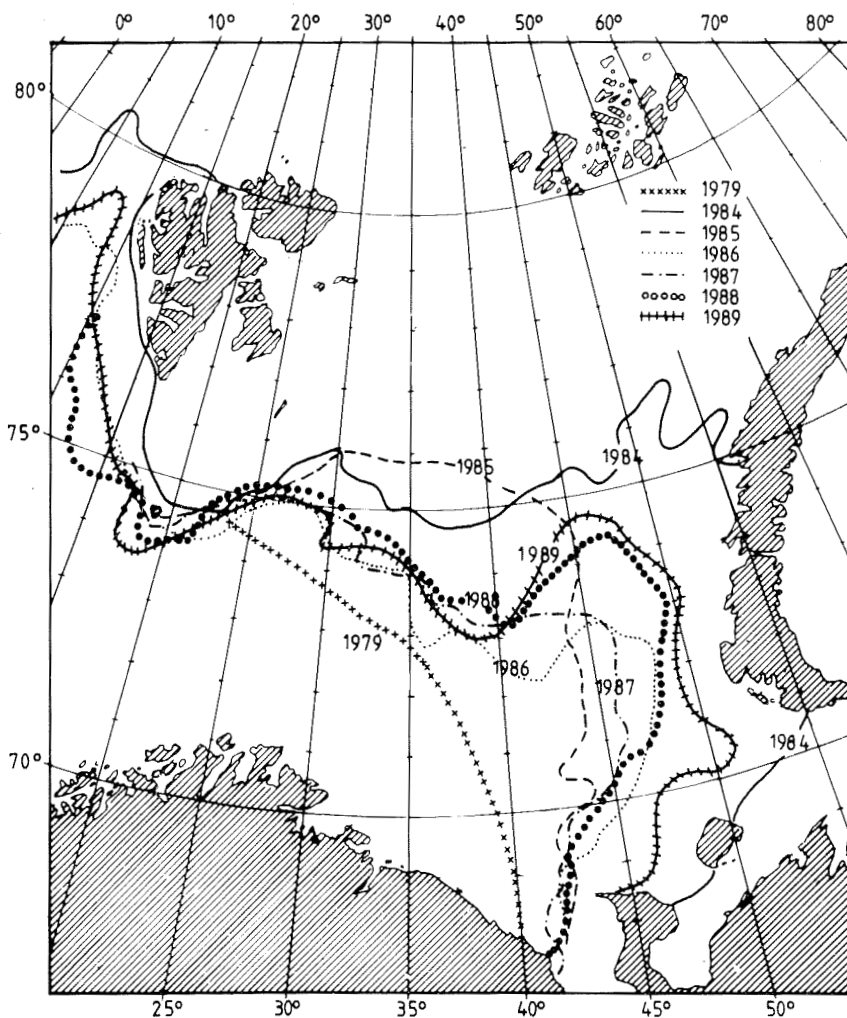


Figur 4. Månedlig middelareal (km<sup>2</sup>) av isfeltene i Barentshavet i perioden 1966-1986. Fra Vinje i Sakshaug *et al.*, 1992.  
( *Monthly middle surface of ice covering (km<sup>2</sup>) in the Barents Sea in the period 1966-1986. From Vinje in Sakshaug *et al.*, 1992)*

Selv om det kan være store variasjoner i isutbredelsen fra år til år, så er de sesongmessige variasjonene ganske like (Fig. 4). Isdekket er vanligvis maksimalt i tidsrommet mars-mai. Issmeltingen starter når lufttemperaturen overstiger isens frysepunkt, vanligvis i løpet av mai. I den første fasen går issmeltingen langsomt, og isgrensen flytter seg sakte nordover. Først i

siste halvdel av juli og i hele august foregår den største issmeltingen og den raskeste forflytting av isgrensen nordover. Minimumsdekket observeres som regel i september eller tidlig i oktober. Når isfrysingen starter flytter isgrensen seg relativt raskt sørover og allerede ved årsskiftet kan den i enkelte år ha nådd nesten maksimal utbredelse.

De største variasjonene i maksimal isutbredelse fra år til år finnes i den østlige delen av Barentshavet, mens variasjonene i den vestlige delen er små ( Fig. 5). Dette skyldes at den maksimale isutbredelsen stort sett følger den oseaniske Polarfronten i og med at sør og vest for fronten finner man varmt Atlanterhavsvann. Hvis isen kommer i kontakt med Atlanterhavsvann, vil den smelte, og det dannes et overflatelag med lav saltholdighet. Dette laget vil være skilt fra det underliggende varme laget med et kraftig sprangsjikt. Når ny is transporteres sørover inn i det samme området, vil den derfor ikke straks komme i kontakt med Atlanterhavsvannet og vil derfor ikke smelte like fort som den første isen. I kalde år kan transporten av is være så stor at deler av Atlanterhavsvannet også vil være dekket av is i lange perioder (eks. 1979 og 1981).



Figur 5. Årlig maksimum isdekke i Barentshavet om vinteren i perioden 1984-1989. Fra Loeng, 1992. ( *Maximum ice coverage in the Barents Sea during winter in the period 1984-1989. From Loeng, 1992* )

Utbredelsen av is om sommeren avhenger bare av de meteorologiske forholdene, spesielt solinnstrålingen. Om sommeren er isen bare i kontakt med det kalde Arktiske vannet og absorpsjon av strålevarme i den øverste del av vannmassene bidrar også til smeltingen.

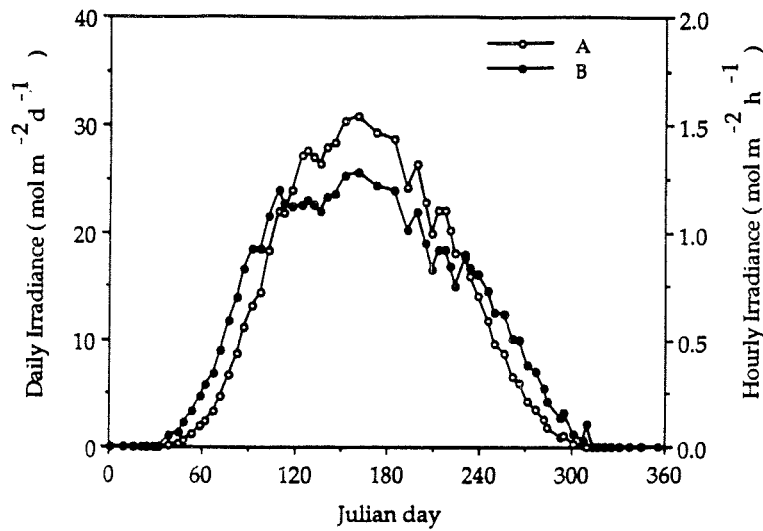
## 2.4. Solstråling.

Den biologiske produksjonen i havet drives av solenergi i form av elektromagnetiske stråling. Selv om man tradisjonelt har brukt begrepet lys for å referere til denne energien, er dette misvisende. Lyset avgrenses per definisjon av følsomheten til det menneskelige øye, som har høyeste følsomhet ved fargene grønn og gul (ca. 550 nanometer) og avtar sterkt mot de blå og røde deler av spektret. Plantene på sin side kan bruke solenergi i et bredere spektrum, fra ca. 380 ( fiolett ) til 700 (infrarød) nanometer. Denne strålingen defineres vanligvis som Fotosyntetisk Aktiv Stråling (PAR) og måles i  $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ .

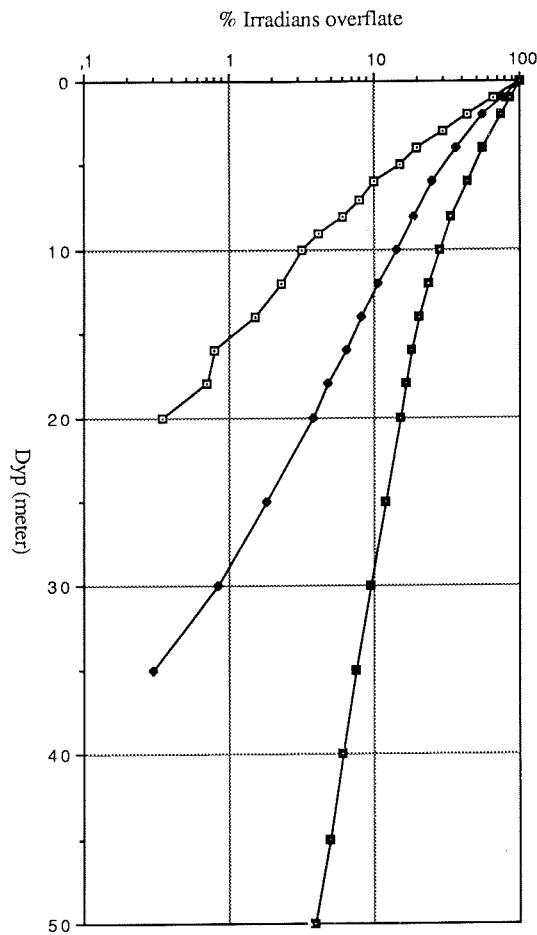
Solstrålingen svekkes i atmosfæren. Bare ca. 42% av den totale solstrålingen som når jordas overflate er fotosyntetisk aktiv. I høyere breddegrad betyr solhøyden mye for hvor sterkt atmosfæren demper solstrålingen. Når solen står lavt på himmelen, må strålingen passere et tykkere luftlag slik at den direkte strålingen dempes mye sterkere enn når solen står høyt . Høy luftfuktighet i havområder demper strålingen ytterligere.

I Barentshavet gjør den relativt høye fuktigheten og passasjer av atmosfæriske lavtrykk med tett skydekke at strålingen som regel er lavere enn forventet i forhold til breddegraden. Den sterkeste observert fotosyntetiske aktiv strålingen er ca.  $1400 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ , mens det teoretiske maksimum for 1. juni er  $1800 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ . På grunn av skydekket er imidlertid den gjennomsnittlige maksimumsstrålingen på havflaten i mai-juni bare rundt  $600 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ , og gjennomsnittet for døgnet i samme periode bare  $350 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ . Innstrålingen kan også integreres i tid og blir da uttrykket i  $\mu\text{mol}$  per time eller døgn og flateenhet. Figur 6 viser sesongvariasjoner i solstråling ved Bjørnøya. Lokalisert ved  $74^{\circ}30'N$  representerer målingene ved Bjørnøya tilnærmet middelveidene for Barentshavet.

Noe av solstrålingen som når havflaten reflekteres tilbake til atmosfæren. Refleksjonen avhenger av solhøyden, hvor mye av strålingen som er direkte eller indirekte og av havflatens tilstand. Refleksjonen er størst ved lav solhøyde og havblikk. Etter at strålingen har trengt gjennom havflaten , svekkes den ytterligere av vannets egne absorpsjonsegenskaper og av partiklene i vannet ( Fig. 7). Svekningskoeffisienten kan variere fra  $0,05 \text{ m}^{-1}$  om vinteren i vann med lite partikkelinnhold til over  $0,3 \text{ m}^{-1}$  om våren når algeoppblomstringen når sitt maksimum. Dette betyr at bare 1% av overflatestrålingen er tilbake på henholdsvis 92 og 15



Figur 6. Gjennomsnittlig (1970-1989) sesongmessig fordeling av fotosyntetisk aktiv stråling (PAR) ved Bjørnøya. A. Total døgstråling. B. Gjennomsnittlig stråling pr time. Fra Rey, 1992. (Average (1970-1989) seasonal distribution of photosynthetically active radiation (PAR) at Bjørnøya. A. Total daily irradiance. B. Average hourly irradiance (lit hours). From Rey, 1992)



Figur 7. Vertikalfordeling av irradians (PAR) i Barentshavet uttrykt som prosent av overflateirradians. A. Om vinteren. B. Ved begynnelsen av våroppblomstringen. C. Ved full våroppblomstringen. (Vertical distribution of irradiance (PAR) in the Barents Sea as percentage of surface irradiance. A. Inwinter. B. At the start of the spring bloom. C. At the maximum of the spring bloom)

meters dyp. Dypet hvor man finner 1% av overflatestrålingen kalles for kompensasjonsdypet og representerer den nederste grense for netto algevekst. Det er interessant å merke seg at med en gjennomsnittlig døgnverdi på  $350 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$  ved havoverflate og en antatt refleksjon på 10% stemmer dypene for 1% stråling ganske bra med kompensasjonsdypet når man antar at det laveste strålingnivået som begrenser algeveksten er ca  $1-3 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ .

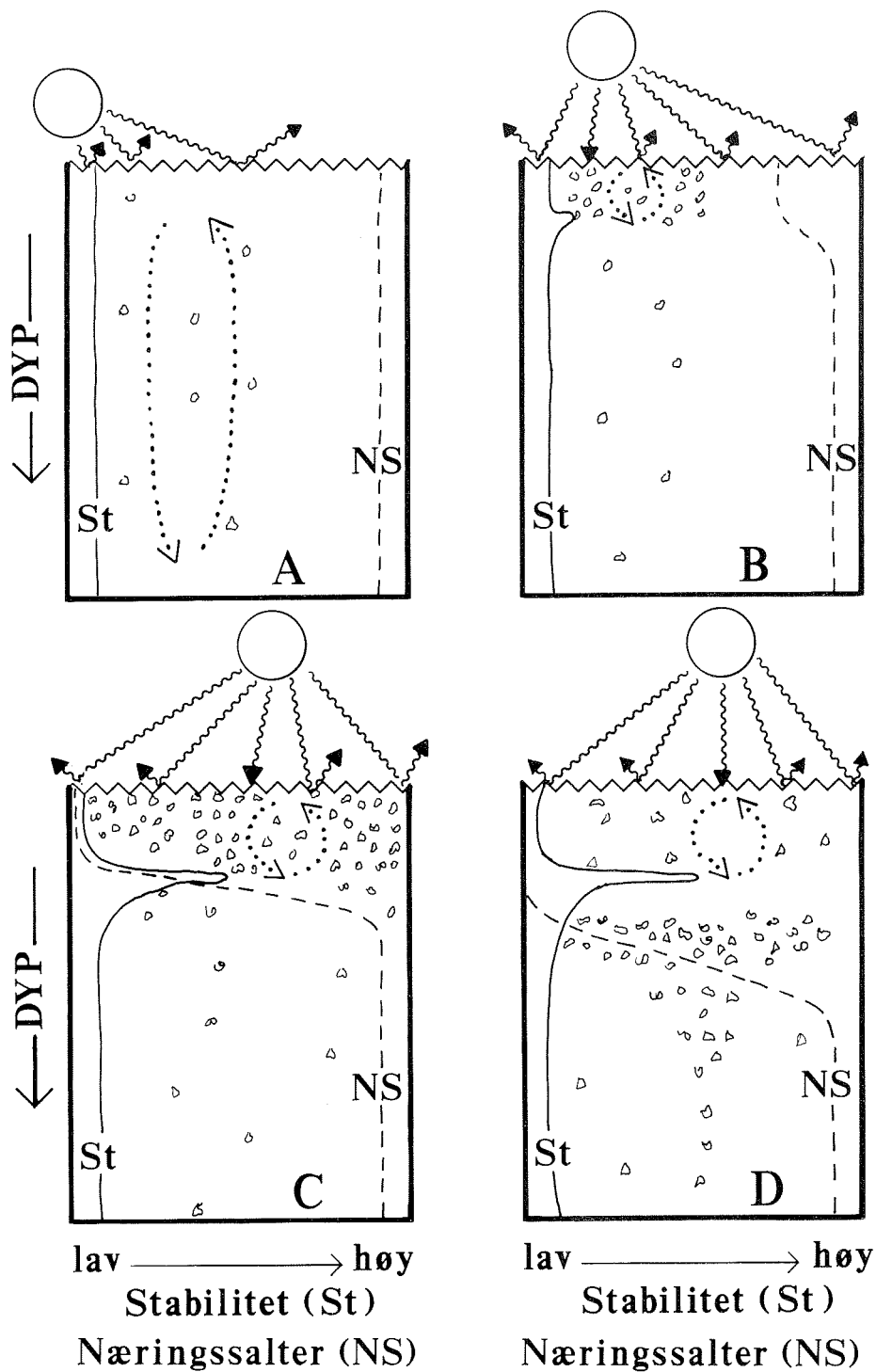
## 2.5. Vertikalblanding og stabilitet.

Strålingsmengden som når havoverflaten er ikke den eneste faktoren som kontrollerer veksten av planteplanktonet. Av like stor eller kanskje større betydning er muligheten som disse algene har for å utnytte energien i vannsøylen. Planteplanktonet følger vannbegjærsene og er i stadig bevegelse opp og ned i vannsøylen ( Fig. 8). Det medfører at de opplever et "lysmiljø" som varierer fra sterkt lys nær overflaten til fullt mørke på større dyp. Jo dypere vertikalblandingen av vannmassene går, jo dårligere "lysforhold" vil algene oppleve i gjennomsnitt. Men vertikalblandingen er også viktig når det gjelder tilførsel av dypt næringsrikt vann til overflaten hvor algene ved hjelp av lyset kan utnytte dem.

Om vinteren er Atlanterhavsvannet gjennomblandet fra overflaten til 200-300 meter dyp (Fig. 8A). Denne gjennomblandingen er hovedmekanismen for tilførselen av næringsalter til overflatelagene. Om våren blir overflatevannet varmet opp og det dannes en tetthetsgradient (Fig. 8B). Da blir vannmassene i den øvre del av vannsøylen stabile, d.v.s, vertikalblandingen blir hindret. Etter hvert som oppvarmingen forsetter utover sommeren, blir stabiliteten sterkere og lagdelingen tydeligere ned til stadig større dyp (Figs. 8C, 8D).

Ved iskanten blir vannmassene stabile ved at isen smelter og store mengder ferskvann frigjøres. Smeltingen foregår på to måter: Is som kommer i kontakt med Atlanterhavsvann, smelter nedenfra på grunn av den høye temperaturen i sjøen. Denne smeltingen er mest utpreget senvinters og om våren i år når isdekket strekker seg sør for Polarfronten. Smeltingen av is i Atlanterhavsvann forårsaker en mye tidligere og sterkere stabilisering av vannmassene enn i isfrie områder. Dette får som følge at våroppblomstringen starter tidligere og utvikler seg meget hurtig.

I Arktisk vann nord for Polarfronten er det varmetilførsel fra atmosfæren og stråling som får isen til å smelte. Derfor starter smeltingen senere der. I startfasen er smeltevannslaget 5-10 m tykt og godt gjennomblandet. Dette laget blir skilt fra de underliggende vannmasser med et markert sprangsjikt. I løpet av sommeren blir smeltevannslaget 15-20 m tykt og sprangsjiktet forblir markert.



Figur 8.

Skjematisk fremstilling av effekten av vertikalstabiliteten på planteplankton og næringssaltene vertikalfordelingen i Barentshavet. Pilene viser området med vertikalblanding i overflatelaget. A. Vintersituasjon. B. Tidlig vårsituasjon. C. Våroppblomstringssituasjon. D. Sommersituasjon.

(Schematic illustration of the effects of vertical stability on the vertical distribution of phytoplankton and nutrients in the Barents Sea. The arrows show areas where vertical mixing occurs. A. Winter situation. B. Early spring situation. C. Spring bloom situation. D. Summer situation).

Straks avkjølingen av overflatelaget begynner om høsten, starter nedbrytingen av stabiliteten. Prosessen pågår inntil vannmassene når frysepunktet slik at sjøis begynner å danne seg. Når sjøvannet fryser til, skilles det ut salt som gjør at vannet blir tyngre, og dette bidrar til å aksellerere vertikalblandingen. I løpet av vinteren blir vannmassene gjennomblandet igjen til 200-300 meters dyp, det vil i store deler av Barentshavet si helt ned til bunnen. Denne gjennomblandingen høyrer konsentrasjonene av næringssalter i de øvre vannlag, slik at man når et næringssalt maksimum før stabiliseringen begynner igjen neste vår.

### **3. HOVEDKOMPONENTENE I PLANTEPLANKTONET.**

I Barentshavet finnes bortimot 200-300 planteplanktonarter og rundt halvparten av dem er diatomeer (kiselalger). Deres utbredelse i Barentshavet bestemmes i sterk grad av Polarfronten, tilstrømmingen av ferskvann fra de sibirske elvene, samt isleggingen og ismeltingen. Selv om det kan være nyttig å skille mellom "arktiske" arter på den ene siden og algesamfunn som er karakteristiske for Atlanterhavsvann på den andre, så bør man være klar over at artene ikke bare finnes i den ene eller andre vannmassen.

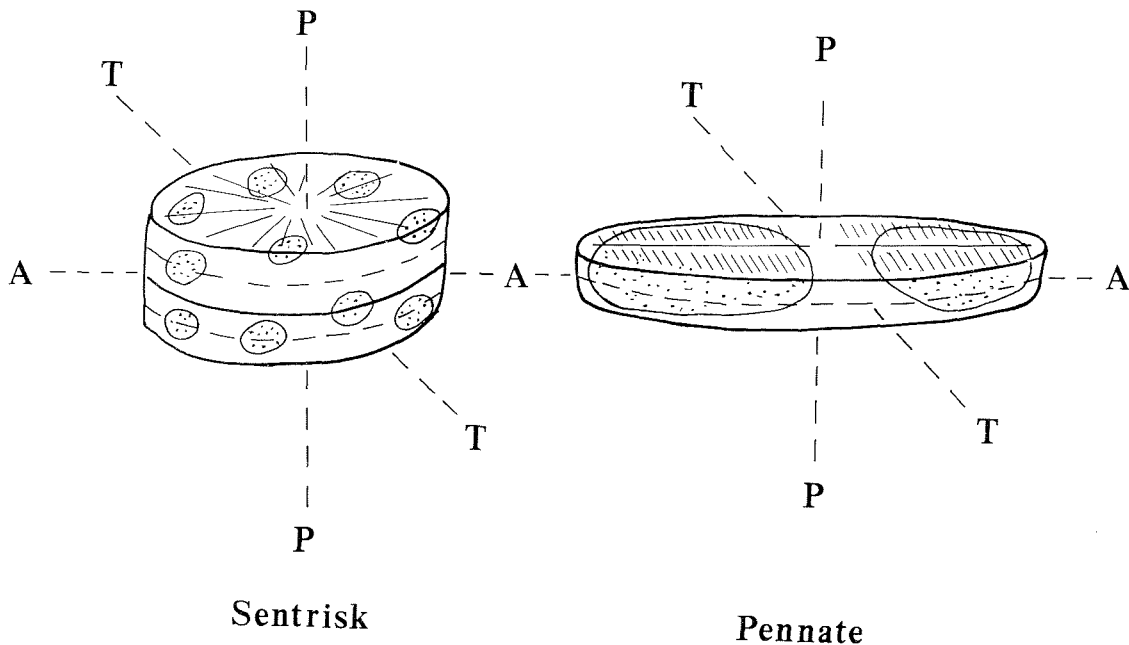
På grunn av havstrømmene er det fra tid til annen import av arter som ikke er typiske for Barentshavet, men de fleste artene finner man igjen år etter år. Fra et biologisk synspunkt er de fysiske og kjemiske egenskaper til Arktisk vann og Atlanterhavsvann ikke særlig forskjellige, slik at arktiske arter i prinsippet kan utmerket godt vokse i Atlanterhavsvann og omvendt. Det er hovedsakelig algenes utgangsbestandene om vinteren og deres innbyrdes konkurranse om næringssaltene som bestemmer hvilke arter somer til stede eller dominerer i den kommende vekstsesongen.

Praktisk talt alt planteplanktonet er encellede organismer og har evnen til å fotosyntetisere: de er autotrofe. I det siste har man fått større bevis på at flere algeartene i tillegg også kan ernære seg heterotrofisk (bruk av organiske forbindelser) dersom behovet for det er til stede. Dette er i hovedsak vanlig hos små nakne flagellater, men man vet pr idag ikke hvor stor utbredelse disse artene har i Barentshavet. Flere av de artene som er blitt observert i Barentshavet har imidlertid vist denne evnen i andre områder. Dersom dette er tilfelle også i Barentshavet kan man forvente at fenomenet er mer utbredt om vinteren når lysforholdene er ekstremt dårlige eller om sommeren etter at vinternæringssaltene er blitt brukt opp.

Den dominerende algegruppen i Barentshavet, som i mange andre områder, er diatomeene (kiselalgene). De er spesielt viktig under våroppblomstringen hvor de kan nå konsentrasjoner opp til flere milliarder celler pr kubikkmeter sjøvann. Kiselalgene trenger, i motsetning til de andre viktige algegruppene, silikat i tillegg til nitrat og fosfat. Taksonomisk sett høyrer



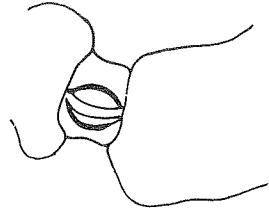
diatomeene til klassen Bacillariophyceae og deles vanligvis i to hovedgrupper (orden): Pennales (pennate diatomeer) og Centrales (sentriske diatomeer). Ved siden av de morfologiske forskjellene mellom de to gruppene (Fig. 9), foretrekker de også i store trekk forskjellige habitater. Mens de slekter som er sterkest representert i marint plankton alle er sentriske, er det flest pennate slekter blant fastsittende diatomeer. Diatomeene varierer sterkt i størrelse fra noen få mikrometer til flere hundre mikrometer. De mest dominerende diatomeene i Barentshavet er 10 til 50  $\mu\text{m}$  store.



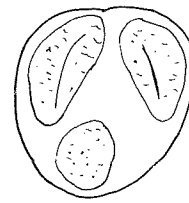
Figur 9. Skjematisk fremstilling av forskjellene mellom sentriske og pennate diatomeer. AA= apikalaksen. PP= Pervalvaraksen. TT= Transapikalaksen. Sentriske diatomeer har en sirkular omriss og en struktur bygget mot et punkt (konvergens av aksene). Pennate diatomeer har en stavform og en struktur bygget mot en linje (apikalaksen).  
(Schematic illustration of the differences between centric and pennate diatoms. AA= apical axis. PP= Pervalvar axis. TT= Transapical axis. Centric diatoms are acircular in form and have a structure built towards a point (convergence of the axes). Pennate diatoms have the form of a rod and a structure built towards a line (apical axis)).

En annen viktig komponent er de nakne flagellatene. Dette er en heterogen gruppe som omfatter representanter fra forskjellige klasser. Den viktigste i Barentshavet er klassen Prymnesiophyceae. Disse er omkring 5-10  $\mu\text{m}$  i diameter med to like flageller og et haptonema. Haptonemaet er en festetråd som er karakteristisk for denne klassen, som også er kjent under navnet Haptophyceae. Til denne klassen hører *Phaeocystis pouchetii* som sammen med den sentriske diatomeen *Chaetoceros socialis* er de to viktigste artene i Barentshavet (Fig. 10). Selv om begge artene er ganske ulike i mange sammenheng, viser de et felles trekk i det de kan danne store kolonier. Disse koloniene er også morfologiske ulike, men de ser ut til å ha den samme hovedfunksjon: å øke flyteevnen.

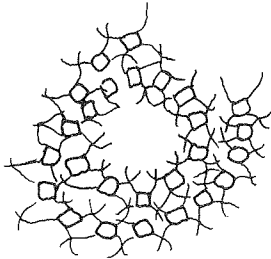
Den tredje viktige gruppen er dinoflagellatene (klasse Dinophyceae). Cellene i



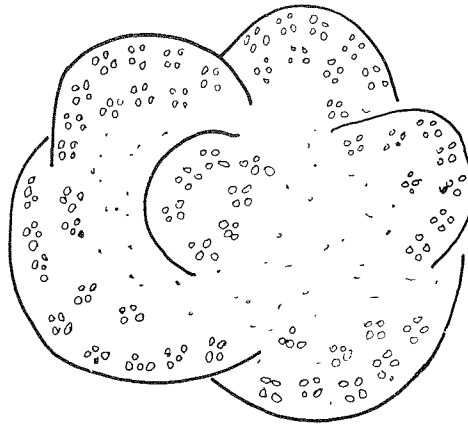
enkelt celle ( 6-12  $\mu$  m )



enkelt celle ( 4-8  $\mu$  m )



**koloni**  
( noen få hundre  $\mu$  m )



**koloni**  
( opp til flere hundre  $\mu$  m )

**A**

**B**

Figur 10. Tegning av de to viktigste planteplankton artene i Barentshavet. A. *Chaetoceros socialis*. B. *Phaeocystis pouchetii*.  
( Drawings of the two most important phytoplankton species in the Barents Sea. A. *Chaetoceros socialis*. B. *Phaeocystis pouchetii*.)

denne gruppen har to ulike flageller som typisk ligger i en tverrfure og en lengdefure. Av denne grunnen kalles de også fureflagellater. Noen arter har en fast cellevegg som er sammensatt av celluloseplater ( thecate arter), mens andre har en myk cellevegg bestående av membraner ( athecate arter). Et annet viktig trekk er at omtrent halvparten av representantene er heterotrofe, dvs de ernærer seg av organiske forbindelser. Dette vanskeliggjør gruppens taksonomiske plassering og er en av hovedårsakene til at man for tiden forsøker å unngå benevnelsen "plante" eller "dyr" i forbindelse med mikroorganismer til fordel for "protist" som betyr en enkeltcellete eukarioter ( med cellekjerne) . Selv om dinoflagellatene sjelden blomstrer opp i Barentshavet i like store mengder som diatomeene eller *Phaeocystis*, er de tilstede året rundt i moderate mengder og spiller sannsynligvis en betydelig, men for tiden uavklart, rolle i økosystemet.

I tillegg til de taksonomiske klassene nevnt ovenfor forekommer det i Barentshavet representanter for mange andre klasser, de fleste av dem under grupperingen nakne flagellater. Disse er for det meste svært små organismer, som regel mindre enn 10 µm i diameter, som er tilstede året rundt. P.g.a. vanskeligheter med å identifisere dem i fikserte prøver plasseres de

Tabell 2. Typiske planteplanktonarter i Barentshavet. Gruppetilhørighet i parentes: Chryso = Chrysophyceae; Crypto = Cryptophyceae; Dino = Dinophyceae; Prym = Prymnesiophyceae; Pras = Prasinophyceae. Artene uten anmerking er alle diatomeer (Bacillariophyceae) (*Typical phytoplankton species in the Barents Sea. Groups in parentheses: Chryso = Chrysophyceae; Crypto = Cryptophyceae; Dino = Dinophyceae; Prym = Prymnesiophyceae; Pras = Prasinophyceae. Species without a group name are diatoms (Bacillariophyceae).*)

Type	Art	Spesielle egenskaper
Våralger	<i>Bacterosira fragilis</i>	
	<i>Chaetoceros convolutus</i>	
	<i>Chaetoceros furcellatus</i>	
	<i>Chaetoceros karianus</i>	Kan vokse i isen. Svalbardbanken.
	<i>Chaetoceros septentrionalis</i>	Kan vokse i isen.
	<i>Chaetoceros socialis</i>	Kolonidannende; dominerende
	<i>Eucampia groenlandica</i>	
	<i>Micromonas pusilla</i>	(Pras)
	<i>Nitzschia pseudodelicatissima</i>	Kan vokse i isen.
	<i>Phaeocystis pouchetii</i>	(Prym) Kolonidannende; dominerende
	<i>Porosira glacialis</i>	Kan vokse i isen
	<i>Thalassiosira gravida</i>	Kan vokse i isen
	<i>Thalassiosira hispida</i>	
<i>Thalassiosira hyalina</i>		
Sommeralger	<i>Arcocellulus cornucervis</i>	Dominerende i 1980/81.
	<i>Cachonina niei</i>	(Dino)
	<i>Ceratium arcticum</i>	(Dino)
	<i>Chaetoceros debilis</i>	
	<i>Chaetoceros decipiens</i>	
	<i>Chaetoceros lacinosius</i>	
	<i>Chrysochromulina</i> spp.	(Prym)
	<i>Dinobryon balticum</i>	(Chryso)
	<i>Gymnodinium lohmanni</i>	(Dino)
	<i>Katodinium rotundatum</i>	(Dino)
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	
	<i>Leucocryptos marina</i>	(Crypto)
	<i>Prorocentrum balticum</i>	(Dino)
	<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>	
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	Også vanlig om våren	
<i>Thalassiosira poroseriata</i>		
Isalger	<i>Achnantes taeniata</i>	Vanlig også i plankton
	<i>Amphiprora hyperborea</i> (?)	En del også i plankton
	<i>Gyrosigma/Pleurosigma</i>	Vanlig også i plankton
	<i>Melosira arctica</i>	Kun i flerårsis
	<i>Navicula pelagica</i>	Vanlig også i plankton
	<i>Navicula vanhoeffenii</i>	En del også i plankton
	<i>Nitzschia cylindrus/grunowii</i>	Vanlig også i plankton
<i>Nitzschia frigida</i>	Sjelden i plankton	

fleste av disse organismer som “restpost” under en ubestemt gruppe, som oftest kalt “monader” eller “flagellater”. Normalt finner man disse organismer i konsentrasjoner under en milliard celler per kubikkmeter, men enkelte ganger, og særlig etter våroppblomstringen kan de oppnå konsentrasjoner opp til flere milliarder. Til tross for disse store mengdene har disse organismer, pga av deres størrelse, lite betydning for den totale planteplanktonbiomassen i Barentshavet. Sansynnlignvis spiller de en betydelig, men ennå udefinert rolle, i energiomsetningen i økosystemet. Tabell 2 viser en oversikt over de vanligste planteplankton artene man finner i Barentshavet.

Til tross for at det til enhver tid forekommer et stort antall forskjellige mikroorganismer, er det bare noen få av dem som dominerer planteplanktonets biomasse i Barentshavet. Blant disse er diatome slekter som *Chaetoceros*, *Nitzschia*, *Thalassiosira* og prymnesiofyten *Phaeocystis pouchetii*.

Som regel er planteplanktonets biomasse om vinteren lav og dominert av små flagellater. Dette vises i Tabell 3 som omfatter data samlet i januar og mars 1984 ved ialt 17 stasjoner tatt ved Fugløya-Bjørnøya snittet og Vardø-Nord snittet. Det første snittet representerer innløpet til Barentshavet mens det andre representerer både Kystvannet og Atlanterhavsvannet i Barentshavet.

Tabell 3. Hovedgrupper av planteplanktonet i Barentshavet om vinteren. Konsentrasjon i celler per liter. (*Main phytoplankton groups in the Barents Sea during winter. Concentration in cells per liter*)

Gruppe	januar 1984	mars 1984
Cryptophyceae	1500	1400
Dinophyceae	13000	5000
Prymnesiophyceae	2000	200
Bacillariophyceae	100	1500
Flagellater	70000	55000
Monader	380000	1250000

Om våren skjer det en kraftig forandring i artssammensetning som følge av våroppblomstringen. I tidsrommet 1979-1985 var oppblomstringens første fase dominert av diatomeene. Dette førte til en kraftig reduksjon i silikatkonsentrasjonen. Siden silikat og nitrat blir brukt opp i noenlunde like mengder, resulterer diatomeoppblomstringen i en uttømming av silikat mens det fortsatt var nok nitrat igjen for videre vekst. Det var da at *Phaeocystis* overtok som dominerende komponenten i planteplanktonsamfunnet. Dette vises tydelig i datane fra et snitt tatt fra iskanten og sørover i mai-juni 1984 i de sentrale deler av Barentshavet ( Tabell 4 ). Diatomeene var fullstendig dominerende ved iskanten mens *Phaeocystis* økte i mengde et

stykke fra iskanten. Det faktum at de høyeste algekonsentrasjonene ble funnet et stykke ned i vannsøylen indikerer at oppblomstringen var allerede på retur langs hele snittet. Det er også interessant å la merke til at mere typiske isager som *Nitzschia cylindrus*, *N. grunowii* og *Navicula pelagica* var tilstede i nærheten av iskanten, men ikke lengre sør. Dette antyder at disse artene sansynligvis har hatt sin opprinnelse ved iskantoppblomstringen men at de også kan overleve godt i åpent vann. Andre mer typiske pelagiske diatomeer som *Thalassiosira* spp. ble også funnet i nærheten av iskanten. Den dominerende diatomeen, *Chaetoceros socialis*, var tilstede langs hele snittet men gikk ned i mengde fra iskanten og sørover.

Tabell 4. Hovedarter ved våroppblomstringen i sentrale deler av Barentshavet. Juni 1984. Konsentrasjoner i millioner celler per liter.  
(*Main species during the spring bloom in the central parts of the Barents Sea. June 1984. Concentrations in millions cells per liter.*)

		<i>C. socialis</i>	<i>N. cylindrus</i>	<i>N. pelagica</i>	<i>Thalassiosira</i>	<i>P. pouchetii</i>
	Dyp					
Iskanten	5 m	1.70	0.07	<0.01	<0.01	0.02
77°10'N	30 m	10.01	0.51	0.10	0.07	0.40
77°00'N	5 m	0.35	0.01	-	<0.01	0.02
	30 m	16.60	0.04	0.01	<0.01	-
76°50'N	5 m	0.03	0.50	0.10	0.31	3.00
	30 m	0.15	1.10	0.10	0.16	1.50
76°45'N	5 m	0.05	0.22	0.13	0.18	1.28
	25 m	0.66	-	0.79	0.77	4.27
76°35'N	35 m	0.42	0.02	<0.01	0.01	1.73
76°20'N	10 m	0.21	-	<0.01	<0.01	0.06
76°10'N	10 m	<0.01	0.02	<0.01	0.01	-
76°00'N	10 m	-	-	<0.01	-	-
	40 m	1.00	-	<0.01	0.17	3.51
75°50'N	10 m	0.02	-	-	<0.01	-
	40 m	1.85	-	-	0.22	3.85
75°30'N	10 m	0.08	-	-	<0.01	0.02
	30 m	0.03	-	-	-	-
75°10'N	10 m	0.01	-	-	<0.01	-
	40 m	0.07	-	-	-	-
74°50'N	33 m	0.20	-	-	0.14	-

Det samme mønsteret ble funnet langs et sør-nord snitt (45°Ø), men her var de relative konsentrasjonene langt høyere. Dette tyder på at våroppblomstringen her begynte senere enn i de sentrale deler av Barentshavet. Også *Phaeocystis* ble funnet i høyere konsentrasjoner i forhold til *C. socialis* enn hva som var tilfelle langs det første snittet. Man bør være varsom når det gjelder å bruke celledtall som indikasjon på planteplankton biomassen. Cellestørrelse har også stor betydning i beregning av biomassen. Man betrakter cellevolumet som en bedre indikator for biomasse. Selv om det er store sesongmessige så vel som romsmessige, variasjoner i cellestørrelse, er det som regel et 1:6 forhold mellom cellevolumet til *Phaeocystis*

og *C. socialis*. Tilnærmet samme forholdet finner vi også mellom cellevolumet til *C. socialis* og *Thalassiosira* -artene. Dette betyr , for eksempel at etthundre tusen celler *Thalassiosira* tilsvarer i volum ca. sekshundre tusen celler *C. socialis* og ca. 3,6 millioner celler *Phaeocystis*. Utrengnet som biovolum har dermed diatomeene lang større betydning for biomassen enn det celledtallene tilsier .

Utover sommeren finner man at de typiske vårartene forsvinner og gir plass til et vidt spektrum av andre arter. I overflatelaget er det hovedsakelig flagellatene som dominerer. Blant de mest typiske er det flere dinoflagellater som *Cachonina niei*, *Prorocentrum balticum*, *Gyrodinium* spp., *Dinophysis* spp. Andre vanlige sommerslekter er *Chrysochromulina*, *Dinobryon* og *Leucocryptos* . Et felles trekk for de fleste av disse slektene er at mange av deres representanter også er istand til å ernære seg heterotrofisk og dermed ikke er helt avhengig av videre tilførsel av uorganiske næringssalter. Diatomeene er også tilstede om sommeren, men da gjerne under sprangsjiktet. Artssammensetningen er også forskjellig fra den om våren, og typiske arter er *Chaetoceros septentrionalis* og *Nitzschia pseudodelicatissima*.. Dette planteplanktonsamfunnet fortsetter til høsten da det forsvinner med det økende vindstresset som bryter ned sommersprangsjiktet og forårsaker en kraftig vertikalblanding av vannmassene.

De planteplanktonsamfunnene som er beskrevet ovenfor gjentar seg med mindre variasjoner fra år til år og kan sies å være typiske for det nordlige Barentshavet. Det er interessant å bemerke at artene som er typiske for farvannene lengre sør, som for eksempel *Skeletonema costatum* om våren og *Emiliania huxleyi* om sommeren, sjelden finnes i betydelige mengder i dette området. Unntaket er det sørlige Barentshavet mot norskekysten, i områdene som domineres av Kystvannet. Der kan disse artene bli transportert inn via strømsystemet. Likevel kan det i enkelte år hende at arter mer typiske for områder lengre sør kan bli tilført de sentrale deler av Barentshavet. Dette hendte sommeren 1980 da store mengder av diatomeen *Arcocellulus cornucervis* ble funnet i store deler av Barentshavet. Siden da har denne arten blitt bare sporadisk observert.

#### **4. PLANTEPLANKTONDYNAMIKK**

Vertikalblanding er en av de viktigste fysiske prosesser som kontrollerer planteplanktonets utvikling. Dette skjer i form av kontroll over næringssaltene , algenes tilgang på solenergi og fordelingen av algebiomasse. Om vinteren er vertikalblandingen i Barentshavet hovedsakelig en funksjon av avkjølingen av det øvre vannlag, økende vindstress og isdannelse. Kombinasjonen av disse ytre krefter fører til en dyp omrøring av vannmassene (Fig.8A), i mange tilfeller helt ned til bunnen. Denne omrøringen er hovedmekanismen for fornyelsen av næringssaltene som blir utgangspunktet for planteplanktonets vekst i neste vekstsesongen.

Fornyelsen av næringssaltene foregår ganske fort og allerede i februar-mars er næringssaltnivåene i overflatelagene på sitt maksimum. Utgangsverdiene for de forskjellige næringssaltene varierer noe fra vannmasse til vannmasse ( Tabell 5).

Tabell 5. Typiske vinterverdier for næringssalter i Barentshavet. Konsentrasjoner i mmol m<sup>-3</sup>.  
(*Typical winter values for nutrients in the Barents Sea. Concentrations in mmol m<sup>-3</sup>*)

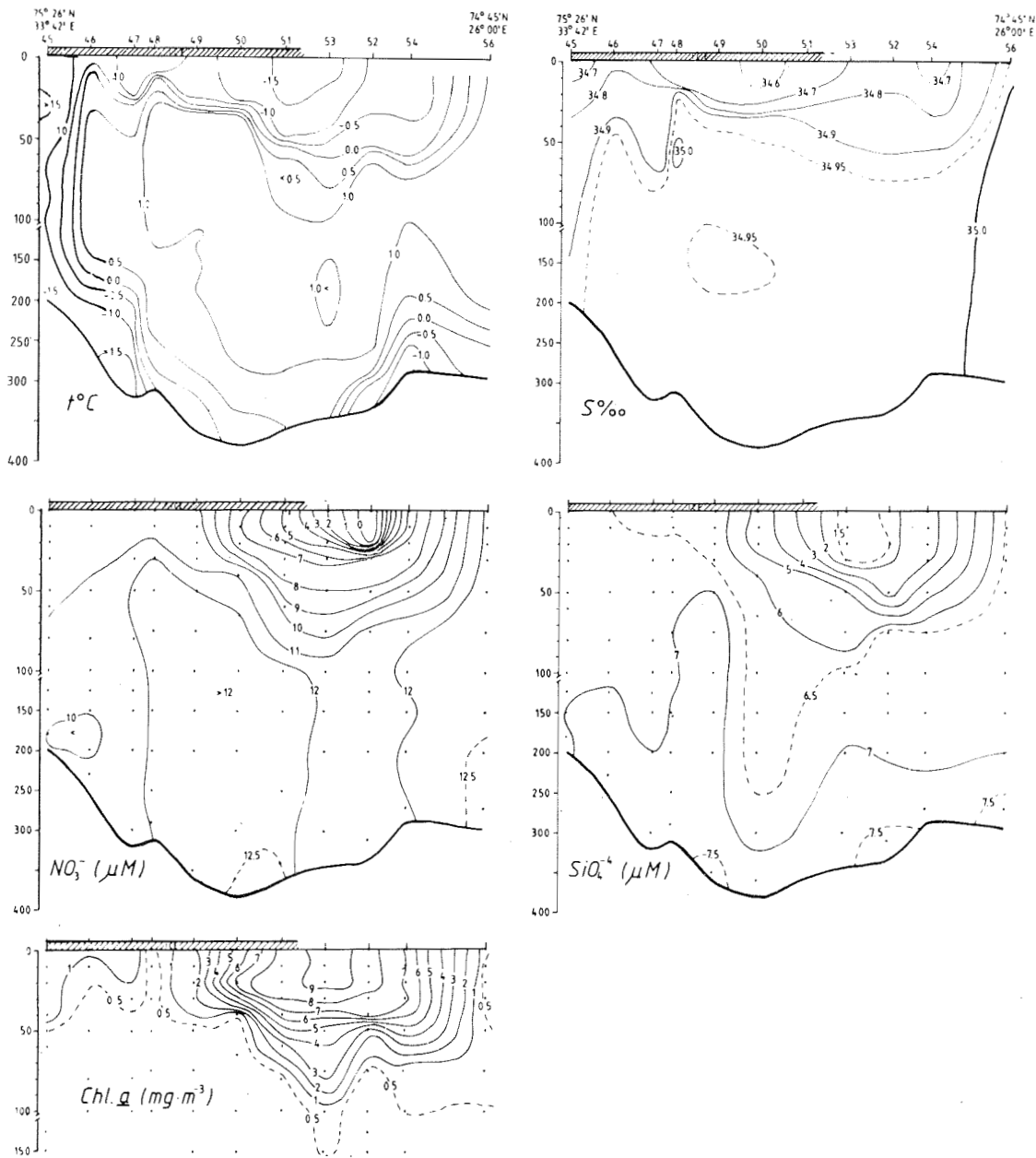
	Atlantehavsvann	Arktisk vann
Nitrat	12.0	10.5
Fosfat	0.9	0.8
Silikat	5.8	5.0
N/P	13.3	13.1
N/Si	2.1	2.1

Den kraftige vertikalblanding om vinteren fører også til en dyp fordeling av de få mikroorganismene som finnes i vannsøylen ( Fig. 8A). Dette sammen med den markerte mørkeperioden, gjør at planteplanktonbestanden forblir på et minimum hele vinteren. Mesteparten av mikroorganismene har et heterotrofisk levesett og de få fotosyntetiserende cellene befinner seg i en eller annen form for hvilestadium.

Langs norskekysten starter våroppblomstringen når den fotosyntetisk aktive strålingen når verdier omkring 10 mol m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>. Disse nivåene oppnås i de sentrale deler av Barentshavet allerede i mars ( Fig. 6), men oppblomstringen starter ikke før omtrent en måned senere. Grunnen til denne forsinkelsen er den fortsatt lave stabiliteten som hindrer algene i å forbli i det øverste laget. Dette betyr ikke nødvendigvis null vekst hos planteplanktonet, men heller at tapene pga. at algene blir ført til store dyp, med dårlig lysforhold, er større eller lik algeveksten. Det eneste unntak er de grunne områdene ved Svalbardbanken som blir isfrie omkring månedsskiftet mars-april. Banken er så grunn ( ned til 25 m dyp) at oppblomstringen starter, som den første i det nordlige Barentshavet, allerede når isen begynner å brytes opp rundt Bjørnøya.

Den nødvendige stabiliteten som skal til for at oppblomstringen skal settes igang i de øvrige områdene oppnås, som nevnt ovenfor, på forskjellige måter. Den økte innstrålingen gjennom våren har to effekter. På den ene siden fører ismeltingen langs iskanten til dannelsen av et tynt lag med ferskere og lettere smeltevann. Dette laget blir skilt fra det underliggende tyngre sjøvannet gjennom en kraftig tetthetsgradient (sprangsjikt). Etterhvert som ismeltingen fortsetter og isen trekker seg nordover, blir dette overflatelaget ytterligere oppvarmet og tetthetsgradienten tilsvarende forsterket. Da ligger forholdene til rette for våroppblomstringen. Men dette bildet kan variere fra år til år. I kalde år med mye nordøstlige vind vil isen bli

transportert sør forbi Polarfronten og komme i kontakt med det varme Atlanterhavsvannet. Da vil denne isen smelte fortere og danne et overflatelag med lav saltholdighet på et tidligere tidspunkt enn normalt og med en tilsvarende tidlig oppblomstring. En annen variant har vi når innstrømming av Atlanterhavsvann er så stor at den "dukker" under det Arktiske vannet ved Polarfronten, som for eksempel ved nordsiden av Bjørnøya. Da dannes det et to-lags system med det kalde og mindre salte Arktisk vann på toppen av det relativt varmere men saltene Atlanterhavsvannet ( Fig. 11). Skillet mellom de to vannmassene er så nært overflaten og sterk at planteplanktonoppblomstringen kan begynne uten at det er et smeltevannlag tilstede. Den påfølgende ismeltingen vil bare forsterke overgangen mellom vannmassene.



Figur 11. Vertikalfordelingen av temperatur, saltholdighet, nitrat, silikat og klorofyll *a* i et snitt fra åpent vann til isdekte områder i de sentrale deler av Barentshavet. April 1986. (Vertical distribution of temperature, salinity, nitrate, silicate and chlorophyll *a* along a section from open water to ice covered areas in the central part of the Barents Sea. April 1986).



Dannelsen av et øvre stabilt lag i Atlanterhavsvannet foregår, som tidligere nevnt, mye saktere enn ved iskanten. Men også her er det regionale forskjeller avhengig av vannets temperatur på det tidspunktet oppvarmingen starter. I de vestlige deler av Barentshavet er overflatetemperaturen om våren som regel 4 til 6°C varmere enn i den østlige delen. Dette vil føre til at stratifiseringen vil starte først i de vestlige deler og dermed også våroppblomstringen. Tidsforskjellen i oppstarting av oppblomstringen i disse to områder er ikke blitt nøye beregnet men antas å være ca. to uker.

Ved siden at tidsdifferansen, ligger den største forskjellen mellom Atlanterhavsvann og isdekte områder i dannelsen av stabiliteten i overflatelaget. Overflatelaget er dypere i Atlanterhavsvannet enn i områder som har vært dekket av is. Samtidig er tetthetsgradienten til de underliggende vannmasser langt svakere i Atlanterhavsvannet. Dette har store konsekvenser for våroppblomstringens dynamikken i disse to områdene. Etter at lagdelingen er dannet vil potensialet for ny produksjon i overflatelaget være sterkt avhengig av mengden næringssalter som er til stede. I et tynt overflatelag blir utgangsmengden av næringssalter lavere enn i et dypere overflatelag. Samtidig vil selve utviklingen av oppblomstringen bli mye kraftigere enn i et dypt lag pga. at algene holdes hele tiden i et bedre lysmiljø. Konsekvensene av dette er at oppblomstringen som regel tar til tidligere og er mye kraftigere i Arktisk vann enn i Atlanterhavsvann, mens den totale produksjonen blir høyere i det sistnevnte. Forskjellene i tetthetsgradienten har også betydning for eventuell ny produksjon etter at næringssaltene i overflatelaget er blitt brukt opp. I Arktisk vann fungerer den kraftige sjiktningen som et hinder for tilførsel av nye næringssalter til overflatelaget fra de underliggende vannmasser. Den svake sjiktningen i Atlanterhavsvann gjør transporten av nye næringssalter mulig over et lengre tidsrom, noe som øker ytterligere produksjonspotensialet.

Forbruket av de enkelte næringssaltene avhenger i sterk grad av planteplanktonets artssammensetning. Samtlige fotosyntetiserende organismer i Barentshavet har behov for både fosfat og nitrat, mens diatomeene trenger silikat i tillegg. Dersom diatomeene dominerer under oppblomstringen blir deres biomasse begrenset av silikatkonsentrasjonen. Nitrat og silikat tas opp av diatomeene med noenlunde lik hastighet. Siden forholdet mellom nitrat og silikat (N:Si) i Barentshavet om vinteren er ca. 2 (Tabell 5), betyr dette at etter diatomeenes oppblomstring blir det igjen ca 5-6  $\mu\text{M}$  nitrat tilgjengelig for vekst av andre alger, for eksempel, *Phaeocystis pouchetii*. I noen tilfeller når *P. pouchetii* dominerer oppblomstringen, blir nitraten brukt opp mens det blir noe silikat igjen. Dette silikat overskuddet blir som regel brukt opp i løpet av sommeren men med langt mindre hastighet enn under en diatomeoppblomstringen. Grunnen til dette er sansynligvis at diatomeene henter nitrogenet enten fra regenererte forbindelser som ammonium eller fra nitrat som langsomt tilføres overflatelaget fra underliggende vannmasser.

Både før og under selve oppblomstringen er planteplanktonet noenlunde jevnt fordelt med

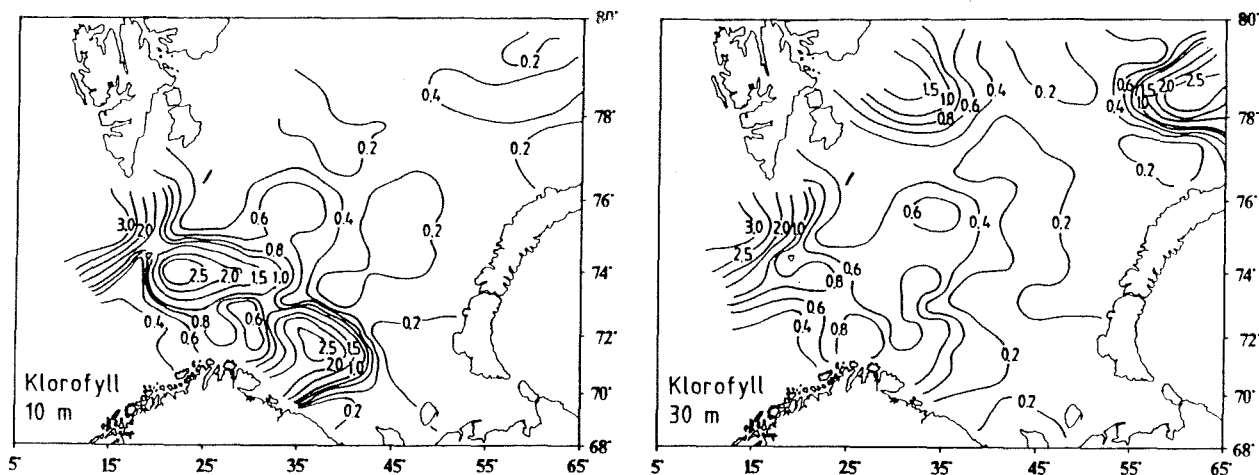
dypet i overflatelaget. Som regel er biomassekonsentrasjonen pr volumenheter noe større i Arktisk vann enn i atlantisk vann, mens den integrerte biomasse i hele blandingslaget er større i sistnevnte. Biomassen uttrykt som klorofyll *a* når vanligvis maksimale konsentrasjoner omkring 10-12 mg m<sup>-3</sup>. Det totale integrerte klorofyll *a* i blandingslaget kan nå verdier mellom 300-400 mg m<sup>-2</sup>. Hvor mye denne klorofyllmengde tilsvarer i karbon avhenger av mange faktorer, som algenes fysiologiske tilstand, algenes lysadaptering, artssammensetningen, osv. Grovt omregnet vil denne biomasse tilsvare mellom 15-20 gC m<sup>-2</sup> i *Phaeocystis* dominerte oppblomstringer og 8-10 gC m<sup>-2</sup> under diatomeoppblomstringer.

Våroppblomstringen i Arktisk vann følger isens tilbaketrekking gjennom hele sommeren. På denne måten blir nye vannmasser rike på næringssalter frigjort for produksjon. Denne iskantoppblomstringen følger iskanten som et flere kilometer bredt belte så lenge lysforholdene er tilstrekkelig for planteplanktonvekst. Konsekvensen av dette er at iskantoppblomstringen nord i Barentshavet starter sent og varer kortere enn lengre sør.

Våroppblomstringen avsluttes som regel etter at næringssaltene er blitt brukt opp. Planteplanktonbiomassen i overflatelaget går kraftig ned og blir erstattet av små flagellater, mens de dominerende artene under oppblomstringen synker ned i vannsøylen. Denne synkingen er ganske typisk for Barentshavet og skjer i form av et biomassemaksimum som følger næringssaltgradienten nedover i dypet forbi sprangsjiktet (Fig. 8D). Dette maksimum kan være ganske kraftig i de arktisk vannmassene og observeres gjennom større deler av sommeren. Dette maksimum er ikke en fysisk oppkonsentrering av biomasse, men representere reell vekst og forsvinner ganske fort når det når dyp hvor lysforholdene ikke lenger er tilstrekkelige for algevekst. I Atlanterhavsvannet er maksimumet også tilstede men er ikke så fremtredende som i Arktisk vann.

I overflatelaget, særlig i Arktisk vann, gjør mangelen på nye næringssalter at videre vekst i dette laget må basere seg hovedsakelig på regenererte næringssalter. En ny type algesamfunn utvikler seg i dette laget dominert av små flagellater, som regel mindre enn 10 µm. Deres hovednæring stammer fra nitrogenforbindelser som ammonium og urea som resirkuleres i systemet via beiting av små heterotrofiske flagellater. I Atlanterhavsvann utvikler seg et liknende system, men her kan også diatomeene fortsatt utgjøre en vesentlig del av biomassen. Dette skjer sansynligvis pga. tilførsel av nye næringssalter gjennom det svake sprangsjiktet.

Den romlige fordelingen av planteplanktonets biomasse i en sensommer situasjon i Barentshavet vises i Fig. 12. Her kan man tydelig se at biomassen i overflatelaget (10 m) fortsatt er relativt høy i den sørvestlige delen av området mens den er lav i hele området nord for 73°N. Horisontal fordelingen ved 30 meter dyp viser et maksimum i det nordlige



Figur 12. Horizontal fordeling av klorofyll a ( $\text{mg m}^{-3}$ ) ved 10 og 30 meters dyp i Barentshavet. September 1992.  
(Horizontal distribution of chlorophyll a ( $\text{mg m}^{-3}$ ) at 10 and 30 meters depth in the Barents Sea. September 1992.)

Barentshavet. Dette maksimum representerer det som er igjen av iskantoppblomstringen.

Denne sommersituasjonen preger Barentshavet helt til høsten når økende vindstress og avkjøling av overflatelaget igjen fører til nedbryting av sprangsjiktet og en gjennomblending av vannmassene. Selv om næringssaltkonsentrasjonene igjen blir høye, hemmer det lave strålingsnivået planteplanktonveksten, og overgangen til en vintersituasjon finner sted.

## 5. PLANTEPLANKTONETS PRIMÆRPRODUKSJON.

Kunnskap om mengden av uorganisk karbon som planteplanktonet er istand til å binde opp til organiske forbindelser via fotosyntese er av største betydning for å vurdere et havområdes produktivitet. En første idé om et områdets produktivitet kan gis ved å beregne potensialet for ny produksjon basert på næringssalter akkumulert om vinteren. Barentshavet har om vinteren nitrat konsentrasjoner opp til  $12 \mu\text{M}$  i Atlanterhavsvannet og  $10 \mu\text{M}$  i Arktisk vann. Med et gjennomsnitt C/N verdi for planteplankton lik 6 og et overflate blandingslag på 20 og 40 meter, vil man med disse utgangsverdiene, ha en basisproduksjon på henholdvis  $15$  og  $35 \text{ gC m}^{-2}$ . Mesteparten av denne produksjonen vil foregå under våroppblomstringen som hovedsakelig er nitrat basert. I tillegg vil sommerproduksjonen, basert på regenererte næringssalter utgjøre ca. 40% av årsproduksjonen slik at denne vil være ca  $25$  og  $60 \text{ gC m}^{-2}$  for henholdvis Arktisk vann og Atlanterhavsvann. I virkeligheten vil nitrat, som regel, bli forbrukt ned til langt større dyp. I perioden 1979-1984 tilsvarte det totale forbruk av nitrat i et sør-nord snitt (fra 73 til

78°N) i de sentrale deler av Barentshavet en ny produksjon av ca. 49 og 55 gC m<sup>-2</sup> og en årsproduksjon av ca. 80 og 90 gC m<sup>-2</sup> for Arktisk og Atlanterhavsvann.

Måling av primærproduksjonen med radioaktivt karbon metoden har gitt årsproduksjons verdier som er ganske lik de teoretiske. Men sesongvariasjonene i primærproduksjonen er naturlig nok ganske store. Om vinteren er primærproduksjonen ganske lav, nærmest det teknisk målbare, mellom 50 til 100 mgC m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>. Senere, når lysforholdene er tilstrekkelige, men stratifiseringen ennå lav, er primærproduksjonen blitt målt til omkring 100 til 200 mgC m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>. Det er ikke før våroppblomstringen tar til at primærproduksjonen øker betraktelig. Selv om variasjonene er relativt store, vil primærproduksjonen i denne perioden bli så stor som 1-2 gC m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>. Enkelte år har man målt verdier så store som 3 til 4 gC m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>, særlig i Atlanterhavsvann. Disse høye verdiene opprettholdes kun noen få dager siden den store biomassen som akkumuleres i løpet av produksjonsperioden etterhvert reduserer på en ganske effektiv måte lysets gjennomstrengelighet i vannsøylen. Etter våroppblomstringen og gjennom hele sommeren er primærproduksjonen ganske stabil mellom 400 til 600 mgC m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>. Fra august til oktober finner man en ytterligere reduksjon i primærproduksjonen til verdier mellom 150-250 mgCm<sup>-2</sup>dag<sup>-1</sup>. Denne reduksjonen forsetter utover høsten, og fra november finner man igjen typiske vinterverdier.

Basert på et gjennomsnitt av primærproduksjonsmålinger gjennomført i tidsrommet 1979-1989 finner man at den integrerte produksjon fram til 1. juni er 56 gC m<sup>-2</sup>, mens den totale årsproduksjon er 89 gC m<sup>-2</sup>. Disse verdiene er ganske like de som man kan forvente fra den observerte forbruk av nitrat (ny produksjon). Det er vanskelig utfra disse målingene å beregne årsproduksjonen for de forskjellige vannmasser siden mengder målepunkter i hvert av dem varierer sterkt. De fleste målingene har blitt gjennomført i Atlanterhavsvann og i Arktisk vann like nord for Polarfronten. Man kan forvente at årsproduksjonen helt nord i Barentshavet er lavere, noe som vil trekke den gjennomsnittlige produksjonen for Barentshavet noe ned. Også de isfrie og isdekte områdene øst for 35°Ø er blitt lite undersøkt. Man antar at primærproduksjonen i de isfrie områdene i øst er noenlunde på samme nivå, muligens noe lavere, enn i de sentrale delene, mens man er litt usikkert på forholdene i de isdekte områdene. Sansynligvis viser de det samme mønsteret som man finner i Arktisk vann nord for Polarfronten.

Den forsinkelsen med breddegrad man finner i iskantoppblomstringen nord for Polarfronten, gjør at våroppblomstringen har større betydning for årsproduksjonen dess lengre nord man kommer. Dette betyr også at andelen av nitratbasert primærproduksjon (ny produksjon) i forhold til regenerert produksjon også blir større.

Man har heller ikke tatt i betraktning primærproduksjonen fra isalgene før isen smelter. Selv om man ikke har direkte målinger av denne type primærproduksjon i Barentshavet, kan man anta at denne ikke er særlig forskjellig fra den i Polarbassenget, hvor det er blitt funnet at årsproduksjonen er ca.  $1 \text{ gC m}^{-2}$ . Dersom samme verdiene anvendes for Barentshavet, betyr dette at isalgenes primærproduksjonen bidrar lite til den totale årsproduksjonen.

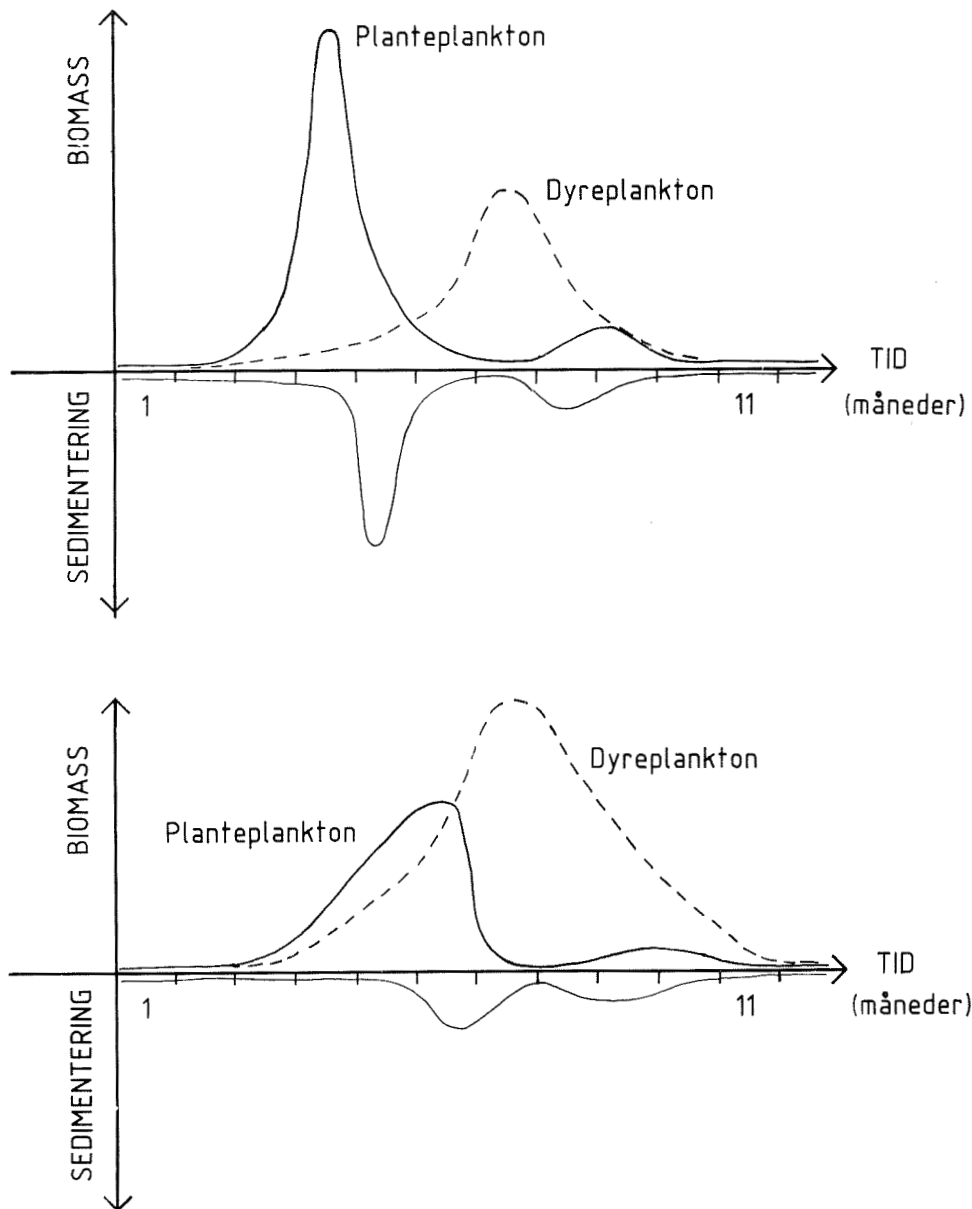
Matematisk modellering av primærproduksjonen i Barentshavet viser en relativt bra kvalitativt overensstemmelse med feltobservasjonene. Men modellene er ennå ikke istand til å produsere realistiske kvantitative prognoser for primærproduksjonen. For eksempel har ny produksjon blitt beregnet til ca. det dobbelte av den observerte. En av de mest avanserte modeller har beregnet ny produksjon til å være ca.  $90 \text{ gC m}^{-2}$  i Atlanterhavsvann. Basert på vinterverdier for nitrat på  $12 \mu\text{M}$  og et gjennomsnitt C:N forhold i planteplanktonet på 6 vil denne beregnet ny produksjon tilsvare komplett forbruk av nitrat ned til 105 meter dyp. Dette er helt urealistisk sammelignet med nitrat observasjoner gjort de siste ti år i Barentshavet. Som regel vil ikke vannsøylen bli helt tømt for nitrat dypere enn til 30-50 meter. Når modellen regner ut et forbruk av nitrat som er det dobbelte av det observerte, må man tolke dette slik at under våroppblomstringen tilføres planteplanktonet like mye næringssalter som i hele vinter perioden. Dette stemmer ikke med det vi vet idag om hydrografiske og meteorologiske forhold i Barentshavet. Siden modellene er et kraftig verktøy i økologiske studier er det fortsatt behov for ytterligere innsats på dette feltet.

Variasjonene i årsproduksjonen fra år til år ser ut å være små i de isfrie deler av Barentshavet. Langt større er variasjonene i tid for utviklingen av primærproduksjonen gjennom året. I varme år er utviklingen langsom og produksjonsperioden, særlig under våroppblomstringen, strekker seg lang over lengre tid enn i et normalår og med lavere primærproduksjonshastigheter (Fig. 13). I kalde år er det motsatt, med en tidlig og kraftig våroppblomstring og en raskt overgang til mer moderate verdier som er typiske for sommersesongen. I de isdekte områdene er variasjonene sannsynligvis langt større siden størrelsen for våroppblomstringen er sterkt avhengig av isutbredelsen om vinteren, hvor tidlig ismeltingen begynner og når tilbaketrekking av isen starter om sommeren.

## **6. PRIMÆRPRODUKSJONENS SKJEBNE.**

Veien primærproduksjonen går videre i økosystemet har stor betydning for dets karakterisering. Tidligere mente man at mesteparten av primærproduksjonen gikk videre til høyere trinn i de pelagiske næringsnettene. Idag vet man at dette ikke er tilfelle og at en vesentlig del av produksjonen kan sedimentere ut av den eufotiske sonen ned til større dyp eller til bunnen. Sedimentering er dermed like viktig som beiting når det gjelder å bestemme

skjebnen til biogent materiale. Slik sett er disse konkurrerende prosesser.



Figur 13. Skjematisk fremstilling av forbindelser mellom sesongmessige variasjoner i planteplankton biomass, dyreplankton biomass og sedimentering i Barentshavet. A. I et kaldt år. B. I et varmt år.  
*(Schematic illustration of the relationships among the seasonal variations in phytoplankton biomass, zooplankton biomass and sedimentation. A. During a cold year. B. During a warm year.)*

Hvor mye som beites ned av dyreplanktonet avhenger bl.a. av i hvilken grad det er match eller mismatch mellom alge- og dyreplanktonbestander, ellers sagt med andre ord, i hvilken grad begge bestander overlapper i tid og rom. Hvis match, er plante- og dyreplanktonets utviklingen slik at størstedelen av biogene materialet blir beitet ned. Dette gir lite sedimentering. Hvis mismatch, er situasjonen den motsatte. På den annen side kan sedimenteringen av fekalier og

dyrerester bli større når beitingen er stor.

Samspeilet mellom beiting og sedimentering er også av betydning for hvilken type økosystem som er dominerende. Gjennom kraftig beiting vil mye av primærproduksjonen bli oppbevart i det øverste lag av vannsøylen og være grunnlag for et pelagisk økosystem. Ved lavt beitetrykk vil mesteparten av materialet synke ut av det øverste laget og danne grunnlaget for mesopelagisk produksjon eller et benthisk økosystem dersom materialet når bunnen.

Beitetrykket er ikke bare avhengig av mengden dyreplankton alene. Artssammensetningen i planteplanktonet kan også være av betydning. Spesielt viktig er dette i Barentshavet, hvor våroppblomstringen kan domineres av to vidt forskjellige arter. Kolonier av *Phaeocystis pouchetii* er kjent for å produsere organisk stoff som virker avvisende ovenfor beiteorganismer. Dette kan forårsake en selektiv beiting på andre alger, som for eksempel diatomeene, til fordel for *Phaeocystis* egen vekst. Denne avvisningen er sterkest når *Phaeocystis*-koloniene er i god fysiologisk tilstand, dvs. i sterk vekst. Når koloniene begynner å bli næringsbegrenset, blir de sterkt angrepet av bakterier og mikrozooplankton og en oppløsningsprosess settes i gang. På dette stadiet kan koloniene også bli sterkt beitet ned av makrodyreplankton. Som konsekvens av dette kan en *Phaeocystis*-oppblomstring utvikle seg over en lengre periode før den blir eventuell beitet ned. På denne måten kan også tidsforskjellen mellom våroppblomstringen og dyreplanktonutviklingen bli redusert og muligheter for en mismatch minsket tilsvarende. Dette gjelder spesielt i kalde vannmasser.

Også mengden av overvintrende dyreplankton kan bidra til en selektiv beiting. Fra Barentshavet finnes det indirekte bevis på at et stort beitetrykk tidlig på året holder diatomeenes oppblomstringen i sjakk og legger forholdene til rette for en oppblomstring av *Phaeocystis*. Størrelsen på dyreplanktonets overvintringsbestand, i allefall i den atlantisk delen av Barentshavet, ser ut til å være på sin side sterkt avhengig av advektiv transport inn fra Norskehavet.

Sedimentering av biogent materiale er som regel mest intens i slutten av oppblomstringen. I Barentshavet kan de to mest vanlig artene, *Chaetoceros socialis* og *Phaeocystis pouchetii*, alene utgjøre 70-75 % av det totale sedimenterte materialet. Sedimenteringshastigheten kan på en annen side, være forskjellig mellom de to artene. *Chaetoceros socialis* og andre diatomeer har den egenskapen at de kan produsere hvilesporer eller hvilestadier på slutten av oppblomstringen. Disse stadiene karakteriseres av tykke silikatrike cellevegger som øker synkehastigheten. Men selv om diatomeene som regel har en større synkehastighet enn *Phaeocystis*, har man enkelte ganger i Barentshavet observert at massive oppblomstringer av *Phaeocystis*, bare i løpet av noen få dager kan sedimentere ut av den eufotiske sonen.

Sedimenterende materiale brytes ned på sin vei nedover i vannsøylen. Celleaggregater kan for eksempel bli bevokst av bakterier eller spist av mikro- og makrodyreplankton. Hvor stor nedbrytingen blir, avhenger av synkehastigheten. Hvis den er liten, vil materialet som når bunnen være langt mer nedbrutt enn hvis den er stor. Om sommeren, og spesielt i perioder uten algeoppblomstringer er materialet mer nedbrutt og synkehastigheten liten. Fekalier og detritus dominerer da fremfor alger. Om våren tvertimot er den relative synkehastigheten høyere, og mye av det materialet som synker ut av den eufotiske sone består av relativt friske celler.

Det daglige tapet av planktonalger i den eufotiske sone pga. sedimentering kan være betydelig om våren, men varierer mye fra dag til dag og fra sted til sted. De daglige tapsratene for bestander av henholdsvis *C. socialis* og *P. pouchetii* (på basis av celletall) var i gjennomsnitt 18 og 33% under våroppblomstringen i 1984. Dette betyr at bestandsstørrelsen til de enkelte artene blir kraftig kontrollert av sedimentering under oppblomstringen. Slike høye rater betyr nemlig at hele bestanden kan synke ut av den eufotiske sonen i løpet av en uke.

Den relative betydningen av beiting og sedimentering for primærproduksjonens skjebne varierer fra år til år. Beitingen er av større betydning når utviklingen av våroppblomstringen er sakte og strekker seg over en lengre tidsrom. Sedimentering er viktigst når oppblomstringen er kraftig og av kort varighet. Våroppblomstringen i Atlanterhavsvannet sør for Polarfronten er av den første type mens oppblomstringen ved iskanten er av den siste type. Variasjoner fra år til år i havklimaet kan forårsake variasjoner i isdekket og dermed være med på å bestemme hvilken prosess som dominerer i et bestemt år. Iskantsonen nær Polarfronten er det området som vil bli mest påvirket av disse variasjonene. Varme år med mindre isdekke og høyere vanntemperatur vil favorisere en tett kopling mellom våroppblomstringen og dyreplanktonets utvikling ( Fig. 13). Da vil beitingen være den kontrollerende faktor for våroppblomstringens skjebne. Kalde år med større isdekke og lavere vanntemperatur vil forårsake en tidlig oppblomstring og sen dyreplanktonutvikling. Da vil mesteparten av våroppblomstringen synke ut av den eufotiske sonen ( Fig. 13). I de åpne delene av Barentshavet vil forskjellen mellom varme og kalde år sansynligvis være mindre. Også nord for Polarfronten vil forskjellen være mindre. Her derimot vil kalde år forårsake en forsinkelse i iskantoppblomstringen med en tilsvarende mindre dyreplanktonproduksjon.

## **7. BIOLOGISKE REGIONER I DET NORDLIGE BARENTSHAVET.**

Basert på utviklingen av planteplanktonet, og i sær våroppblomstringsdynamikken, kan det nordlige Barentshavet deles i fire hovedregioner som faller sammen med områder med forskjellige hydrografiske forhold slik man skulle forvente utfra den innflytelse som de fysiske





Figur 14. Biologiske regioner i Barentshavet. I. Atlanterhavsvann i de sentrale deler. II. Atlanterhavsvann i de østlige deler. III. Iskantoppblomstringen. IV. Svalbardbanken. V. Kystvannet.  
 (Biological regions in the Barents Sea. I. Atlantic water in the central part. II. Atlantic water in the eastern part. III. Ice-edge bloom. IV. Spitsbergenbank. V. Coastal water).

prosesser har på oppblomstringens dynamikk. Disse fire regioner er ( Fig. 14) :

**Atlantehavsvann i de sentrale deler av Barentshavet (I).** Her dannes vertikalblandinglaget ved oppvarmingen. Denne prosessen er langsom og fører til et dypt blandingslag. Våroppblomstringen begynner i første halvdel av mai og utvikler seg langsomt utover mai og juni. Oppblomstringen domineres som regel av diatomeene, men i enkelte år også av *Phaeocystis* . Årsprimærproduksjonen er relativt høy og mesteparten finner veien til pelagiske høyere trofiske nivåer.

**Atlantehavsvann i de østlige deler av Barentshavet (II).** Her er prosessene de samme som i de sentrale deler, men pga. av lavere temperaturer vil oppblomstringen være forsinket fra to til tre uker.

**Iskantoppblomstringen (III)** . Issmeltingen forårsaker her et grunt blandingslag og en kraftig pyknoklin. Våroppblomstringen tar til allerede i midten av april og har kort varighet. Oppblomstringen domineres som regel av diatomeer. Årsproduksjonen er lavere enn i de isfrie delene mens en større andel synker ut av den eufotiske sonen. Iskantoppblomstringen følger isens tilbaketrekking nordover gjennom hele sommeren og dens start blir tilsvarende forskjøvet i tid.

**Svalbardbanken (IV).** Arealmessig er banken av lite betydning i forhold til hele Barentshavet. Allikevel gjør de spesielle forholdene her det nødvendig å skille den fra de øvrige områdene. De hydrografiske forhold gjør at vannmassene over banken er gjennomblandet året rundt. Til tross for dette starter våroppblomstringen tidligere enn i alle andre områder, allerede i månedskiftet mars-april dvs umiddelbart etter at området blir isfritt. Dette skyldes de små dypene som tillater at algene får bedre lysbetingelser tidlig på året. Oppblomstringen domineres hovedsakelig av diatomeer. Årsprimærproduksjonen er kanskje den høyeste i hele Barentshavet og mesteparten av den går til benthos.

I tillegg til disse regionene finnes det i Barentshavet en femte region, **Kystvannet (V)** som ikke omfattes av denne rapporten.

## 8. EFFEKTER AV OLJE.

Effektene av olje på planteplankton er sterkt avhengig av hvilken form oljen befinner seg i. Et oljespill i åpent farvann vil som regel spre seg raskt utover vannflaten pga. hydrostatisk krefter og overflatespenningen. Denne prosessen kan bli forsinket av flere faktorer, bl.a. fordamping av de letteste komponenter, oppløsning, emulsjonsdannelsen, dispersjon, sedimentering, osv. Den grad

disse faktorene påvirker oljens sammensetning avhenger av de hydrografiske og meteorologiske forhold i spillområdet. I tillegg vil oljens sammensetning og mengde bli påvirket av fotooksidasjonen og mikrobiell nedbrytingen.

Olje i isfylte farvann oppfører seg på mange måter forskjellig fra olje i åpent hav. Dette er i stor grad avhengig av isens beskafenheter og henger først og fremst sammen med at isen legger hindringer i veien slik at mange av de fysiske faktorer nevnt før får begrenset virkning. For det første vil olje under isen fordampe mindre enn i åpent vann. Videre vil oljen samle seg i tykke (5-15 mm) lag i grenseflaten mellom is og vann. Her vil oljen forsøke å komme seg så høyt opp under isen som mulig.

Disse prosesser gjør at oljeseffekter på marine organismer, inkludert planteplankton, kan være forskjellige alt etter om et oljespill skjer i åpent farvann eller i isdekte områder. Årstiden når et oljespill skjer har da også stor betydning. Om vinteren vil oljen i åpent farvann brytes ned hovedsakelig gjennom fysiske prosesser. De hyppige og kraftige lavtrykkspassasjene i Barentshavet vil bidra til at mesteparten av oljen fordamper raskt eller løser seg opp i vannet. De dårlige lysforholdene vil hindre fotooksidasjonen og dannelse av giftige komponenter. Samtidig vil de høye næringssaltkonsentrasjonene bidra til en effektiv mikrobiell nedbryting av oljen. Tatt i betraktning at planteplanktonbiomassen er liten i denne sesongen vil effektene være minimale. I isdekte områder kan situasjonen bli annerledes. Oljen under isen vil bli nedkjølt slik at isen forsetter å vokse på undersiden av oljelaget og således kapsler oljen inn i isen. Oljen vil da bli værende i isen til den smelter om våren. På denne måten forsinkes eventuelle effekter samtidig som oljen inne i isen eller under den vil forhindre utviklingen av den typiske isalgeflora som finner sted tidlig om våren. Denne floraen i ettårsisen kan utgjøre en betydelig bidrag til iskantoppblomstringen som finner sted når isen smelter.

Våroppblomstringen av planteplankton er den mest utsatte prosessen i tilfelle et oljespill. Den utgjør mer en 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 den sterkere solinnstrålingen vil fremskynde fotooksidasjonen og dermed produksjonen av giftige komponenter. Ved siden av dette er det to andre faktorer som kan påvirke våroppblomstringen. Den ene er konkurransen om næringssaltene som kommer til å finne sted mellom algene og oljenedbrytende bakterier. Får man bakteriell nedbryting av større mengder olje i vannmasser i en periode like før våroppblomstringen, vil bakterieproduksjonen føre til uttømming av næringssaltene lokalt. En algeoppblomstring kan da bare komme i gang etter ny tilførsel av næringssalter eller remineralisering av næringssaltene som er blitt bundet i bakteriene. Den andre faktoren er en eventuell forandring i artssammensetningen. Dette kan for eksempel skje gjennom en forandring i isalge samfunnet, i den grad det virker som inkokulum for iskantoppblomstringen. I åpent farvann vil de vanlige våralgene, diatomeene, sannsynligvis få konkurranse av andre mikroalger som er i stand til å utnytte organiske

komponenter. I et slik tilfelle vil man forvente en reduksjon av diatomeenes biomasse, og dette kan resultere i et mindre næringstilbud til de viktigste dyreplankton artene, nemlig copepodene.

Om sommeren utvikler det seg en tetthetsgradient (pyknoklinen) over hele Barentshavet som skiller overflatelaget fra de dypere vannlagene. Denne gradienten er sterkest nord for Polarfronten, i vannmassene som var dekket av isen om vinteren. Som resultat av den kraftig våroppblomstringen er overflatelaget tomt for næringssalter, og planteplanktonveksten er hovedsakelig basert på regenererte næringssalter. Planteplanktonbiomassen er lav og dominert av små flagellater. I en slik situasjon kan et oljespill ha betydelige konsekvenser for sommerens primærproduksjon. For det første vil de vanligvis rolige værforholdene i området redusere blandingen av oljen ned i vannsøylen. For det andre vil det sterke sollyset øke fotooksidasjonsprosessen betraktelig og dermed andelen av giftige oljekomponenter. For det tredje vil mangelen på næringssalter begrense omfanget av den mikrobielle nedbrytingen med mindre det er en stor beiteaktivitet som kan frigjøre næringssalter. Alt dette kan ha betydelige konsekvenser for algene, med en kraftig reduksjon i veksten som resultat. Likevel vil et oljespill om sommeren ikke ha så stor betydning for den årlige produksjon siden sommerproduksjonen bare er ca. 30-40 % av årsproduksjonen og strekker seg over en periode på 3-4 måneder.

Om høsten og tidlig på vinteren vil økende vind og lavere temperaturer forårsake nedbryting av pyknoklinen og en økning i vertikalblanding av vannmassene. Planteplanktonbiomassen og vekst er igjen lave og et eventuelt oljespill vil ikke ha noen særlig betydning for disse.

Disse vurderinger om eventuelle effekter av oljen på planteplanktonet er bare av generell karakter. Den virkelige situasjonen er sikkert langt mer komplisert pga. av de omfattende interaksjoner som finnes sted mellom de forskjellige leddene i næringsnett. Likevel er det mest sannsynlig at våroppblomstringen ved iskanten og i isen er de mest utsatte prosesser under et oljespill. Dette gjelder ikke bare selve planteplanktonet, men også de øvrige deler av økosystemet som er sterkt avhengig av dets eksistens. På grunn av de relativt høye veksthastighetene (en fordobling av biomassen på 1-3 dager) vil planteplanktonet raskt vokse igjen etter å ha vært utsatt for oljens negative påvirkninger. Langt mer usikre er konsekvensene som en forandring i planteplanktonets artssammensetning kan ha for økosystemet.

## 9. LITTERATUR.

Litteraturlisten de publikasjoner som har vært bakgrunnsstoff for denne rapporten. En langt mer fyldig liste finnes i boken "Økosystem Barentshavet" ( se SAKSHAUG *et al.*,1992) som er en populærvitenskapelig presentasjon av Barentshavets økologi.

- BÅMSTEDT, U., EILERTSEN, H.C., TANDE, K.S., SLAGSTAD, D. and SKJOLDAL, H.R. 1991. Copepod grazing and its potential impact on the phytoplankton development in the Barents Sea. Pp. 339-353 in SAKSHAUG, E., HOPKINS, C.C.E. and ØRITSLAND, N.A. eds. *Proceedings of the ProMare Symposium on Polar Marine Ecology, Trondheim, 12-16 May 1990. Polar Research 10(1)*.
- DROBYSHEVA, S.S., NESVETOVA, G.I., NESTEROVA, V.N., RYSHOV, V.M. and CHEPURNOV, A.N. 1988. Division of the Barents Sea in view of primary and plankton production formation type. *ICES CM / L:7*, 20 p.
- EILERTSEN, H.C., TANDE, K.S. and TAASEN, J.P. 1989. Vertical distribution of primary production and grazing by *Calanus glacialis* (Jaschnov) and *C. hyperboreus* (Krøyer) in Arctic waters ( Barents Sea ). *Polar Biol. 9* , 253-260.
- EILERTSEN, H.C., TANDE, K.S. and HEGSETH, E.N. 1989. The potential of herbivorous copepods for regulating the spring phytoplankton bloom in the Barents Sea. *Rapp.P.-v.Reun.Cons.Perm.Int.Explor.Mer, 188* ,154-163.
- ESTEP, K.W., NEJSTGAARD, J.C., SKJOLDAL, H.R. and REY, F. 1990. Predation by copepods upon natural populations of *Phaeocystis pouchetii* as a function of the physiological stage of the prey. *Mar.Ecol.Prog.Ser. 67* , 235-249.
- HASLE, G.R. 1990. Arctic plankton diatoms: dominant species, biogeography. Pp. 53-56 in MEDLIN, L.K. and PRIDDLE, J. eds. *Polar marine diatoms*. British Antarctic Survey, Cambridge.
- KRISTIANSEN, S. and FARBROT, T. 1991. Nitrogen uptake rates in the phytoplankton and in the ice algae in the Barents Sea. Pp. 187-192 in SAKSHAUG, E., HOPKINS, C.C.E. and ØRITSLAND, N.A. eds. *Proceedings of the ProMare Symposium on Polar Marine Ecology, Trondheim, 12-16 May 1990. Polar Research 10(1)*.
- LOENG, H. 1991. Features of the physical oceanography of the Barents Sea. Pp. 5-18 in SAKSHAUG, E., HOPKINS, C.C.E. and ØRITSLAND, N.A. eds. *Proceedings of the ProMare Symposium on Polar Marine Ecology, Trondheim, 12-16 May 1990. Polar Research 10(1)*.
- MELLE, W., SKJOLDAL, H.R., HASSEL, A. and REY, F. 1987. Reproduction of zooplankton in relation to initiation of the spring phytoplankton bloom in the Barents Sea. *ICES C.M. 1987/L:30*, 26 p.
- REY, F. 1991. Photosynthesis-irradiance relationships in natural phytoplankton populations of the

- Barents Sea. Pp. 105-116 in SAKSHAUG, E., HOPKINS, C.C.E. and ØRITSLAND, N.A. eds. *Proceedings of the ProMare Symposium on Polar Marine Ecology, Trondheim, 12-16 May 1990. Polar Research 10(1)*.
- REY, F. and LOENG, H. 1985. The influence of ice and hydrographic conditions on the development of phytoplankton in the Barents Sea. Pp. 49-63 in GRAY, J.S. and CHRISTIANSEN, M.E. eds. *Marine Biology of polar regions and effect of stress on marine organisms*. John Wiley & Sons, London.
- REY, F. and SKJOLDAL, H.R. 1987. Consumption of silicic acid below the euphotic zone by sedimenting diatom blooms in the Barents Sea. *Mar.Ecol.Prog.Ser. 36*, 307-312.
- 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 populations dynamics of commercial fish stocks in the Barents Sea*. Institute of Marine Research, Bergen, Norway.
- SAKSHAUG, E. and SLAGSTAD, D. 1992. Sea ice and wind: Effects on primary productivity in the Barents Sea. *Atmosphere-ocean 30* (4):579-591.
- SAKSHAUG, E., BJØRGE, A., GULLIKSEN, B., LOENG, H. and MELUHM, F. 1992. eds. *Økosystem Barentshavet*. Norges Allmennvitenskapelige Forskningsråd, Norges Fiskeriforskningsråd, Miljøverndepartementet, 304 s.
- SKJOLDAL, H.R. and REY, F. 1989. Pelagic production and variability of the Barents Sea ecosystem. Pp. 241-286 in SHERMAN, K. and ALEXANDER, L. eds. *Biomass yields and geography of large marine ecosystems*. AAAS Selected Symposium 111, Westview Press, Boulder, Colorado.
- 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 populations dynamics of commercial fish stocks in the Barents Sea*. Institute of Marine Research, Bergen, Norway.
- SLAGSTAD, D. and STØLE-HANSEN, K. 1991. Dynamics of plankton growth in the Barents Sea: model studies. Pp. 173-186 in SAKSHAUG, E., HOPKINS, C.C.E. and ØRITSLAND, N.A. eds. *Proceedings of the ProMare Symposium on Polar Marine Ecology, Trondheim, 12-16 May 1990. Polar Research 10(1)*.
- SYVERTSEN, E. 1991. Ice algae in the Barents Sea: types of assemblages, origin, fate and role in the ice-edge phytoplankton bloom. Pp. 277-287 in SAKSHAUG, E., HOPKINS, C.C.E. and ØRITSLAND, N.A. eds. *Proceedings of the ProMare Symposium on Polar Marine Ecology, Trondheim, 12-16 May 1990. Polar Research 10(1)*.
- THINGSTAD, T.F. 1990. ed. *Olje i Barentshavets økosystem. En oppsummering av resultater fra forskningsprogrammet ProMare med relevans for vurdering av konsekvenser av oljevirkosomhet i Barentshavet Nord*. AKUP Rapport, 40 s.
- USACHEV, P.I. 1961. Fitoplankton u severnogo polyusa (Posboram P.I. Shirshova na pervoi

dreifuyuschgei stantsii "Severnyi polyus" 1937-1938). *Trudy Vsesoyuznogo  
Gidrobiologicheskogo Obshchestva 11* , 189-208, Akademiya nauk SSSR.

WASSMANN, P., PEINERT, R. and SMETACEK, V. 1991. Patterns of production and sedimentation in the boreal and polar Northeast Atlantic. Pp. 209-228 in SAKSHAUG, E., HOPKINS, C.C.E. and ØRITSLAND, N.A. eds. *Proceedings of the ProMare Symposium on Polar Marine Ecology, Trondheim, 12-16 May 1990. Polar Research 10(1)*.