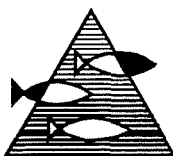


PROSJEKTRAPPORT

ISSN 0071-5638



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

MILJØ - RESSURS - HAVBRUK

Nordnesparken 2 Postboks 1870 5024 Bergen

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

Forskningsstasjonen

Flødevigen

4817 His

Tlf.: 37 05 90 00

Faks: 37 05 90 01

Austevoll

havbruksstasjon

5392 Storebø

Tlf.: 56 18 03 42

Faks: 56 18 03 98

Matre

havbruksstasjon

5198 Matredal

Tlf.: 56 36 60 40

Faks: 56 36 61 43

Distribusjon:

ÅPEN

HJ-prosjektnr.:

Oppdragsgiver(e):

Olje og energi-
departementet

Oppdragsgivers referanse:

Rapport:

FISKEN OG HAVET

NR.18 - 1997

Tittel:

KONSEKVENSER AV ET OLJESØL PÅ MARINE
ORGANISMER I DET NORDLIGE BARENTSHAV*Consequences of an oil spill on marine organisms in the
northern Barents Sea*

Senter:

Marint miljø

Seksjon:

Marin og eksperimentell
biologi

Forfatter(e):

Hassel, A., Loeng, H.,

Klungesøyr, J. og Fossum, P.

Antall sider, vedlegg inkl.:

70

Dato:

22. 12. 97

Sammendrag:

I forbindelse med konsekvensene av eventuell letevirksomhet etter olje i det nordlige Barentshavet har Havforskningsinstituttet etter oppdrag fra Olje- og energidepartementet sett på hvilke konsekvenser et eventuelt oljesøl på havoverflaten har på marine organismer. Under prosjekt har den såkalte SIMPACT-modellen blitt benyttet. Resultatene viser at skadene på plankton stort sett vil være størst om våren og sommeren, og at det under vintersesongen er minimale skader. Av fiskeressursene synes det som lodde og polartorsk vil bli mest skadelidende. Det gjelder spesielt dersom et uhell skulle finne sted om våren. Om høsten når larver av alle arter er til stede i området, blir skadene stort sett karakteriserer som ubetydelig eller små, men med unntak for lodde. Dette skyldes at larvene på dette tidspunktet stort sett er så store at de kan unngå olje. Rapporten har ikke sett på hvilke konsekvenser skadene på et lavt trofisk nivå vil ha for organismer høyere oppe i næringskjeden.

Emneord - norsk:

1. Olje
2. Plankton
3. Fisk

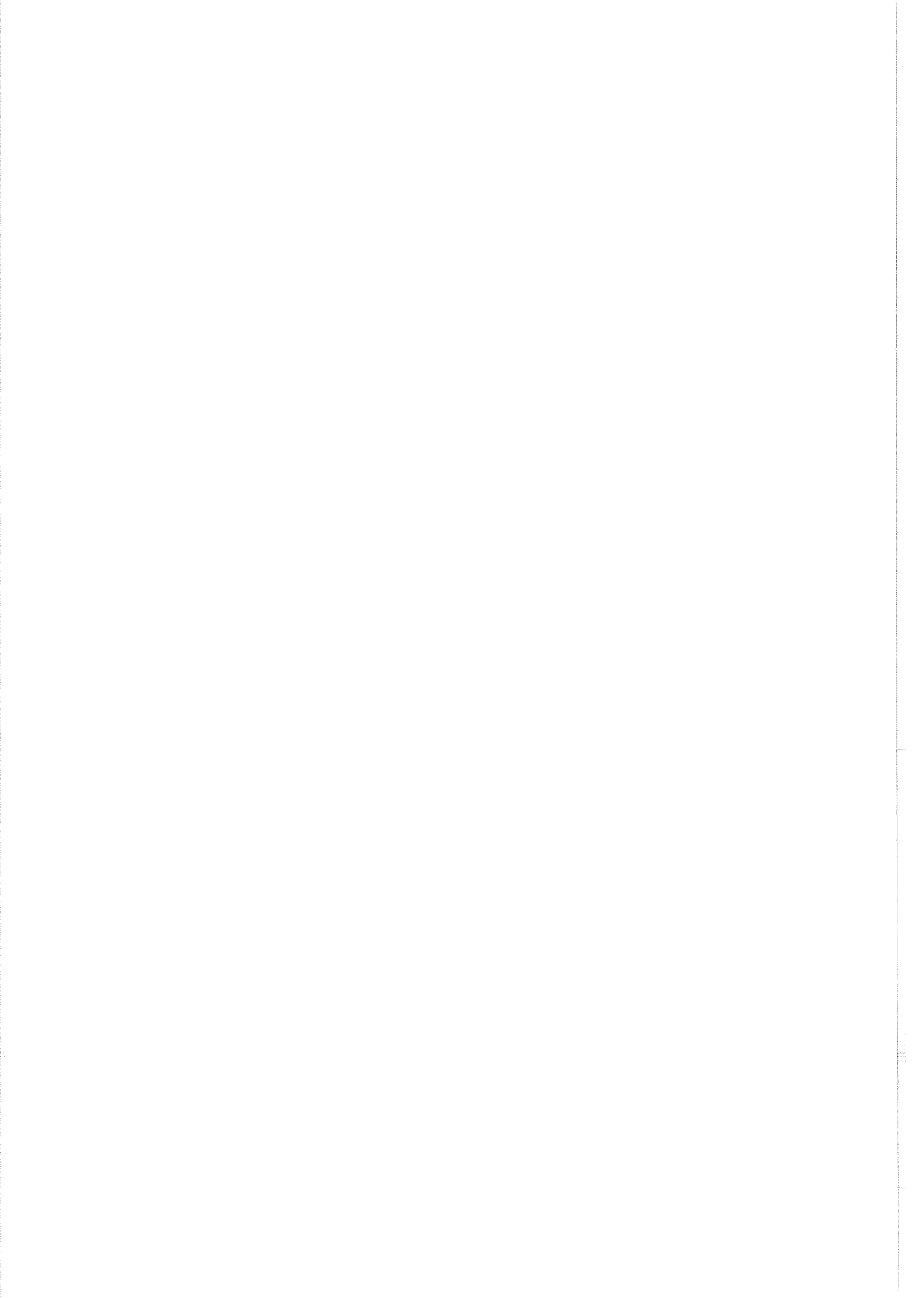
Prosjektleder

Emne ord - engelsk:

1. Oil
2. Plankton
3. Fish

Seksjonsleder

5178



1. INNLEDNING

Olje over en viss konsentrasjon er uønsket i det marine miljø fordi en del komponenter og kombinasjoner av komponenter kan virke toksisk på marine organismer. De toksiske effektene er avhengig av hvilken organisme det er tale om, oljens sammensetning og konsentrasjon, 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 oljefelt til oljefelt. 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 anriket 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). Oljens mer generelle egenskaper er kort beskrevet i Appendix 1.

Det eksisterer ikke noen enkel og entydig beskrivelse av hvordan olje virker inn på marine organismer. Imidlertid har oljeforurensning og oljens skjebne og virkninger i det marine miljø vært gjenstand for oppmerksomhet i lang tid. Den første grundige gjennomgang av problemområdet er gitt i en bok av Nelson-Smith (1972). En annen omfattende beskrivelse av olje på havet er gjort av Børresen (1993) som i sin bok oppsummerer resultatene fra eksperimenter som har undersøkt oljens innvirkning på marine organismer, og i tillegg sammenfatter resultatene fra utslipp som har funnet sted ved uhell. Bare en del av resultatene har direkte anvendelse på det arktiske miljø. Kögeler *et al.* (1994) har diskutert mer konkret hvordan olje virker inn på planteplanktonet i arktis uten å komme fram til en entydig konklusjon.

I forbindelse med konsekvensene av eventuell letevirkosomhet etter olje i det nordlige Barentshavet har Havforskningsinstituttet etter oppdrag fra Olje- og Energidepartementet sett på hvilke konsekvenser et eventuelt oljesøl på havoverflaten har på marine organismer. Forutsetningen for prosjektet har vært at SIMPACT-modellen (Anker-Nilsen & Kvenild 1996) ble benyttet. Dette er en modell som er spesielt utviklet for å se på konsekvensene av et oljesøl på sjøfugl, og som derfor er utviklet for å se på skader i horisontalplanet. Modellen er derfor ikke særlig godt egnet til konsekvensstudier av marine organismer som i tillegg til den horisontale utbredelsen også har varierende vertikalfordeling. Når så modellen som beregner drift av olje (SLIKMAP (Johansen *et al.* 1997)), også kun ser på horisontalfordeling og ikke tar hensyn til nedblanding i vannmassene, så vil det fremtvinge en del subjektive vurderinger for å få framstilt resultatene slik det har blitt bestemt av styringsgruppen for AKUP. Når dette er sagt, så tror vi at resultatene gir et relativt riktig bilde av de konsekvenser man må forvente på marine organismer med et eventuelt oljesøl i overflatelaget.

Olje- og energidepartementet har valgt tre posisjoner hvor utslipp kan finne sted, og det er ved hjelp av SLIKMAP beregnet drift av olje for en måned i hvert kvartal. Utslippsmengden som er brukt i modellen er 200 tonn/time i 10 døgn fra følgende posisjoner:

75°50' N	17°00' E	Sør for Sørkapp
75°50' N	25°00' E	Sør for Hopen
75°10' N	32°30' E	Sentralbanken

Månedene som ble valgt innenfor de ulike kvartaler er februar, mai, august og november. På grunnlag av tidligere rapporter har vi så sett på konsekvensene for marine organismer der hvor det har vært olje på overflaten. Ikke alle resurser er sårbare fordi de har evne til enten å unngå et oljesøl, eller de er forholdsvis resistente ovenfor olje. Denne rapporten bygger i stor grad på tidligere rapporter når det gjelder fordeling av marine organismer i tid og rom. Vi har konsentrert oss om den direkte effekten på organismene, og i mindre grad sett på den indirekte effekten av et oljesøl ved at deler av næringskjeden kan midlertidig bli ødelagt.

Rapporten har tre hovedavsnitt. Først delen beskriver datagrunnlaget for plante- og dyreplankton, fiskeegg og -larver som er benyttet i forbindelse med beregninger ved hjelp av SIMPACT-modellen. Det er her gitt en kort generell beskrivelse av den horisontale og vertikale fordeling av disse organismene og litt om hvordan man har kommet fram til den ressursfaktor som er benyttet i SIMPACT-beregningene. Den andre delen diskuterer utbredelsen av marine organismer i forhold til olje på havoverflaten, litt om oljens nedblanding i vannmassene og endelig litt om sårbarheten til de marine organismene. Det er dette som danner grunnlaget for fastsettelse av en sårbarhetsindeks for hver art som brukes i modellkjøringene. Den siste delen av rapporten presenterer og diskuterer resultatene fra SIMPACT-modellen.

2. UTBREDELSE AV PLANKTON OG FISKELARVER

Den viktigste betingelsen for å få skade på de marine resurser er overlapping i tid og rom mellom resurser og olje ved et eventuelt oljesøl. Organismer som i liten grad er i stand til å bevege seg ved egen hjelp, som plankton, fiskeegg og -larver, er mest utsatt for eksponering av olje ved et utslipp. Større larver, ungfisk og voksen fisk vil være i stand til å bevege seg slik at de ikke kommer i kontakt med et overflateutslipp av olje ved enten å bevege seg mot større dyp eller vekk fra området.

2.1. Utbredelse av plante- og dyreplankton.

Både den geografiske og sesongmessige fordeling av plante- og dyreplankton i Barentshavet er oppsummert hos Loeng *et al.* (1995). Oppblomstringen av planteplankton følger iskanten når den trekker seg nordover om sommeren, og lar seg lettest illustrere med resultatene fra modellsimuleringer som demonstrert hos Slagstad & Stokke (1994). 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. 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 utbredt. Under hovedblomstringen tømmes overflatelaget for næringsalter. Mot slutten av

diatomeblomstringen vil maksimum biomasse av planteplankton finnes i dyp mellom 20-40 m hvor også gradienten for næringssalter finnes. I det samme dypet finner man også den sterkeste vertikale gradienten i næringssaltene som igjen ligger noe dypere enn sprangsjiktet. Dette betyr at etterblomstringen vil være mindre utsatt oljens påvirkning enn selve hovedblomstringen.

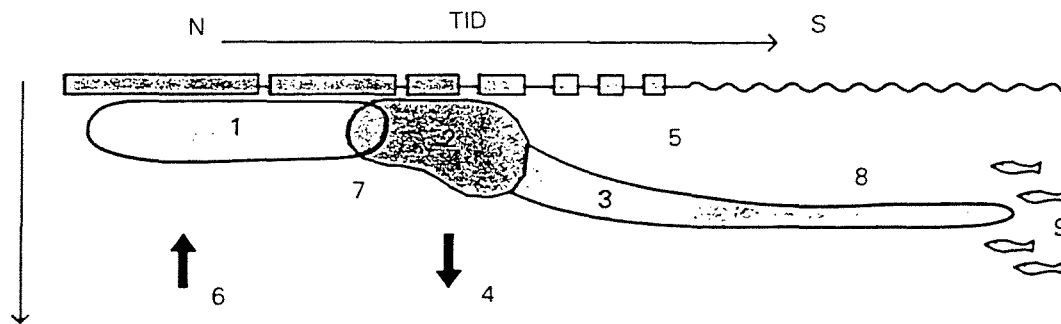


Fig. 1. Skjematisk fremstilling av produksjonsprosessen som er knyttet til iskanten. 1) førblomstring, 2) iskantblomstring, 3) sommerblomstring, 4) sedimentering av alger, 5) næringsfattig overflatelag, 6) overvintrende dyreplankton som vandrer opp, 7) dyreplankton som gyter, 8) ny generasjon dyreplankton utvikler seg, 9) lodde som beiter på dyreplankton. (Simplified picture of the ice edge bloom. 1) prebloom, 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 & Hassel 1986, Sakshaug et al. 1994)

Dyreplanktonet konsentrerer seg i overflatelaget tidlig om våren for å beite på de små flagellatene. Gytingen finner sted under diatomeoppblomstringen, 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.

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

Siden våroppblomstringen av planteplankton starter til forskjellige tider avhengig av vannmasser og lokalitet, så vil også gytingen hos dyreplankton foregå over et relativt stort tidsrom. De fleste artene gyter i mai og juni, men arter som hovedsakelig reproducerer i arktisk vann følger iskantblomstringen, som *Calanus glacialis*, har en forlenget gyteperiode (Tabell 1). Enkelte arter kan ha flere generasjoner i året, og for disse er det anført både vår og sommer. Dette gjelder spesielt for små kopepoder. Krillen derimot har en flerårig livssyklus.

Tabell 1. Størrelse, hovedvannmasse, tidspunkt for gyting og levealder for de viktigste artene av dyreplankton. Atlantisk vann (NAW) og arktisk vann (AW). 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. (Loeng et al. 1995)

Gruppe	Art/slekt	Maksimum lengde (mm)	Vannmasse	Hovedgyting	Livs-syklus (år)
Kopepoder	<i>Calanus 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>Thysanoessa 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>Meganyctiphanes norvegica</i>	45,0	NAW	mai-juni	3+
Amfipoder	<i>Themisto 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

2. 2. Datagrunnlag for SIMPACT- beregninger av dyreplankton

I forbindelse med SIMPACT-beregningene skal ressursene fordeles på ruter som er 25*25 km innenfor det området som er definert som Barentshavet Nord. Havforskningsinstituttets datagrunnlag både når det gjelder plankton og fisk er på en mye grovere skala. Derfor har det vært nødvendig å få omregnet ressursfordelingen til den gridstørrelsen som er nødvendig for modellen. Rådata på planktonarter er vanligvis angitt som antall individer/m², men middelerverdier beregnes for store områder fordi observasjonene er relativt spredt. Dataene for dyreplankton foreligger i form av biomasse (tørrvekt) i tre størrelsesfraksjoner, sortert på henholdsvis 2000 µm, 1000 µm og 180 µm. Langtidsserier av dyreplankton i Barentshavet har vist tydelige fluktuasjoner de siste ti årene. Siden begynnelsen av 90-tallet har biomassen målt i august-september blitt flerdoblet i alle områder, men i 1996 fant det sted en reduksjon fra 10 til under 7 g m⁻² (Fig. 2). SIMPACT-området inkluderer i hovedsaken områdene VI og VII i tillegg til en mindre del av IV og V. Årsakene til langtidsvariasjonene er flere. En grunn kan være variasjoner i innstrømningen av Atlanterhavsvann fra Norskehavet som transporterer organismer som står over terskeldypet mellom de to havområdene. Denne innstrømningen var stor i hele perioden 1989-1994. Fra 1995 begynte denne innstrømningen å avta noe. En annen faktor er beitepresset fra planktonspisende fisk som sild og lodde. Gjennom året er det også

betydelige forskjeller i biomassen som vist i Fig. 3. I januar er den gjennomsnittlige totale biomassen i vannsøylen lav, under 10 mg m^{-3} i atlantisk vann, mens vår- og sommersesongen viser den høyeste biomassen med over 25 mg m^{-3} . Verdiene for arktisk vann er noe usikre på grunn av få observasjoner i flere av sesongene, men det kan se ut som om tidspunktet for maksimum biomasse kommer senere i arktisk vann enn i atlantisk vann. De svarte feltene i Fig. 3 og 4 representerer større dyreplankton, dominert av *Calanus* kopepodittstadium IV-V og voksne. De hvite feltene representerer små kopepoder og larvestadier, og tidlige kopepodittstadier av *Calanus*. De minste formene er mest tallrike i tidsrommet april-september, særlig i de øvre 25 m, mens større overvintringsstadier av *Calanus* er i overvekt i januar-mars. De høyeste konsentrasjonene av dyreplankton finnes øverst vannsøylen (0-25 m) med over 70 mg m^{-3} tørrvekt i april-juni, mens konsentrasjonene under 25 m dyp gjennomsnittlig er betydelig lavere (Fig 4). Maksimum inntreffer først i de øverste 25 m og senere på dyp under 25 m. Årsaken til de høye verdiene i 25-0 m om våren skyldes oppblomstring av dyreplankton med høye konsentrasjoner i overflatelaget. På større dyp er biomassen mye lavere, og de gjennomsnittlige konsentrasjonene for hele vannsøylen eller vannsøylen under 25 m dyp blir derfor lave i sammenlikning. Konsentrasjonene av biomassen i hele vannsøylen kan derfor ikke betraktes som noe algebraisk gjennomsnitt av verdiene over og under 25 m.

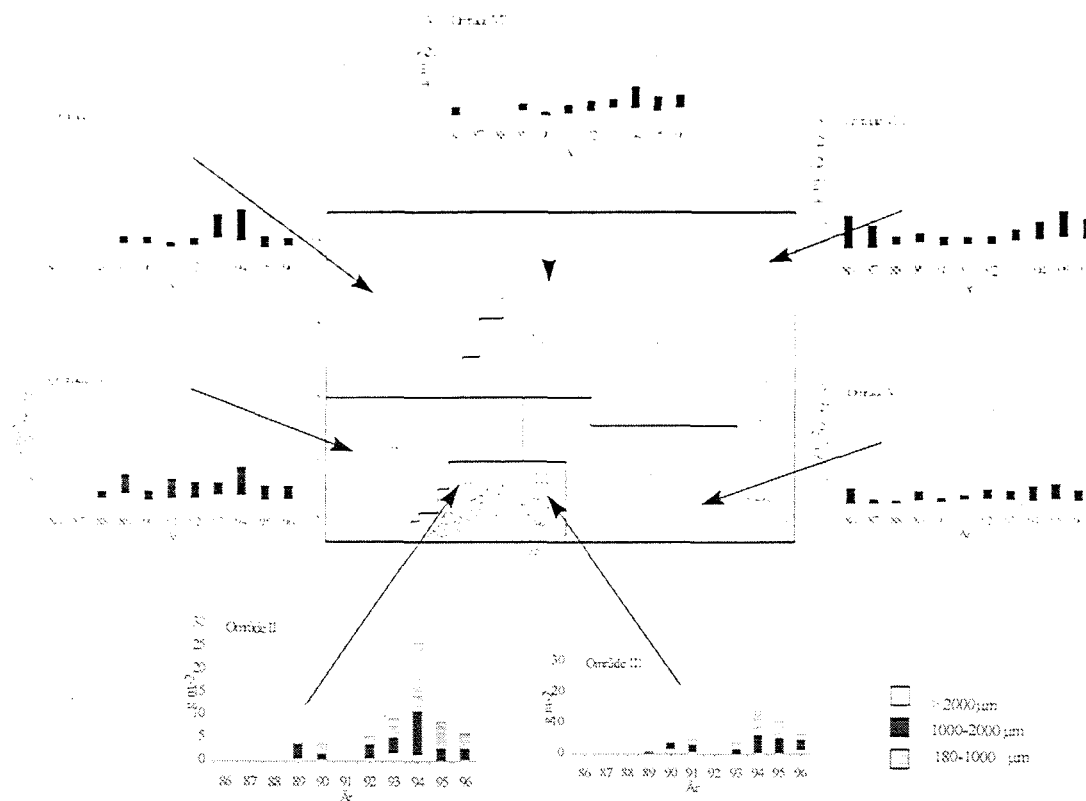


Fig. 2. Middelverdier av størrelsesfraksjonert dyreplankton-biomasse (g m^{-2} , askefri tørrvekt 1986-1990, tørrvekt 1991-1996) fra bunn til overflaten i ulike områder. Askefri tørrvekt tilsvarer ca. 80 % av tørrvekt.

Mean values of size separated zooplankton biomass (g m^{-2} , ash free dry weight 1986-1990, dry weight 1991-1996) from bottom to surface in different regions. Ash free dry weight is about 80% of dry weight. (Anon. 1997).

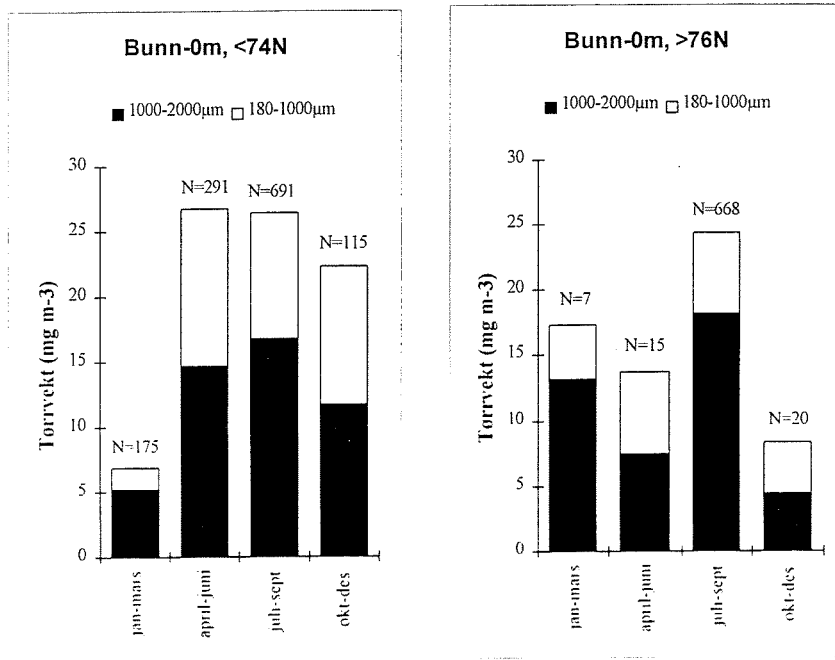


Fig. 3. Sesongmessige variasjon i dyreplankton biomasse i hele vannsøylen sør for 74°N (atlantisk vann) og nord for 76°N (arktisk vann). Gjennomsnittsverdier fra MOCNESS-håv.
Seasonal variability in zooplankton biomass in the water column south of 74°N (Atlantic water) and north of 76°E (Arctic water). Average values from MOCNESS-trawl.

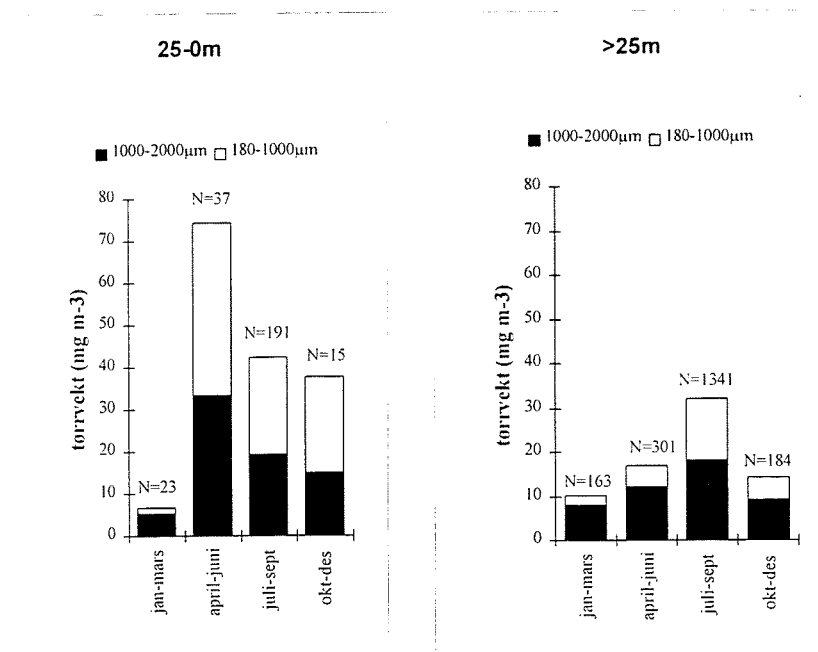


Fig. 4. Sesongmessige variasjoner i dyreplankton biomasse i overflatelaget (25-0 m) og i dypet (>25 m). Gjennomsnittsverdier fra MOCNESS-håv.
Seasonal variability in zooplankton biomass from 25-0 m and below 25 m depth. Mean concentrations obtained with MOCNESS-trawl.

Datagrunnlaget for utbredelse og mengde av marine organismer i det nordlige Barentshavet finnes i rapporter utarbeidet under første del av AKUP-prosjektet for Barentshavet Nord i tidsrommet 1993-1995. Den geografiske og sesongmessige fordeling av plante- og dyreplankton er oppsummert hos Loeng *et al.* (1995). Datagrunnlaget er for spinkelt til lage kart for ulike år og vi har derfor valgt å benytte en midlere fordeling av noen av de viktigste artene av dyreplankton (Dalpadado *et al.*, 1994; Dalpadado & Skjoldal, 1996). Det er disse verdiene som danner grunnlaget for ressursfraksjonen i den enkelte rute vi har benyttet som grunnlag for SIMPACT-modellen. Et eksempel på utfylling av geografiske ruter er vist i Tabell 2 basert på relative verdier for biomassedata. For noen av ressursene er datagrunnlaget mangelfullt, og kun et begrenset antall ruter er fylt ut. SIMPACT-modellen fordeler data fra de geografiske rutene over i SIMPACT-rutene slik at summen av ressursen i alle disse rutene er lik 1 (100 %).

Problemet med å benytte total biomasse av dyreplankton i SIMPACT er at det er vanskelig å fastsette noen felles sårbarhetsfaktor fordi planktonet er så uensartet. De viktigste komponentene er kopepoder, krill og amfipoder (Crustacea), og nøkkelarter fra disse tre gruppene er valgt ut til SIMPACT-kjøringen. Alle artene/gruppene er relativt godt undersøkt, men materialet viser generelt dårlig dekning vinterstid og i arktiske vannmasser.

2.2.1 Kopepoder.

De langt viktigste kopepodene i Barentshavet er *Calanus finmarchicus* og *C. glacialis*. Disse har sin hovedutbredelse i henholdsvis atlantisk og arktisk vann og bidraget til den totale biomassen kan komme opp i over 80 prosent om sommeren. Arten overvintrer på dypt vann og kommer om våren til overflaten for å gyte. Egg og larveutvikling foregår under planteplanktonets våroppblomstringen. De høyeste konsentrasjonene av kopepodnauplier finner vi i de øverste 25 m av vannsøylen, nettopp i den delen av vannsøylen som vil være mest utsatt for oljesøl (Fig. 5). Laboratorieforsøk har vist at voksne *Calanus* er relativt resistente overfor oljekomponenter (Booman *et al.* 1995), mens larvestadier og egg som stort sett finnes i de øverste 30 m av vannsøylen, sannsynligvis er mer sårbare. Voksne individer står mesteparten av året på forholdsvis dypt vann utenfor fysisk påvirkning av et oljesøl. På denne bakgrunn har en valgt å bruke gyteperioden og oppvekst av larvene (naupliusstadiene) som kriterium for når *Calanus* er en sårbar ressurs. Gytingen er knyttet til tidspunkt og utbredelse av våroppblomstringen i de forskjellige deler av Barentshavet (Fig. 6, delvis basert på kart fra Kögeler & Rey (in press)). I isdekket område er våroppblomstringen knyttet til iskantens tilbaketrekning, og i atlantisk vann starter den i mai-juni, først i vestlige områder. Det finnes en del data på konsentrasjoner av egg og larver i forskjellige områder og vannmasser i Barentshavet i tidsrommet 1986-1988 (Melle & Skjoldal 1994). Dekningen er dårligst i rent arktisk vann. Disse kvantitative data kombinert med antatt tid for våroppblomstring er brukt til å sette opp en tabell over relative mengder av *Calanus* i de forskjellige områdene fra april til september (Tabell 3). I februar og november er det ingen egg eller nauplier tilstede og overvintringsbestanden står på dypt vann. Følgelig er *Calanus* ikke sårbar for olje i overflatelaget på disse tidspunktene. I tabellen og i datasettet til SIMPACT-simuleringen er de to nærstående *Calanus*-artene slått sammen. I mai finner en begge artene under gytingen, i august er det hovedsakelig *C. glacialis* som gyter i de nordligste områdene langs iskanten. Tallene i Tabell 2 og Tabell 3 kan ikke sammenlignes, da begge tabellene inneholder relative verdier.

Tabell 2. Relativ fordeling av egg og nauplier av *Calanus spp.* i geografiske ruter i mai. Disse verdiene danner grunnlag for SIMPACT-beregningene. Skraverte områder indikerer land.
Relative distribution of eggs and nauplii of Calanus spp. in different areas around Svalbard (hatched area).

Lengde Bredde	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
8030	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
8000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
7930	7,7	7,7	7,7	7,7	2,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
7900	8,1	8,1	8,1	8,1	2,3	0,6	0,2				0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
7830	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	1,9	0,4	0,1						0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
7800	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	2,0	0,5	0,3	0,4	0,3	0,1		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
7730	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	2,6	2,1	1,3	1,0	0,5		0,4	0,7	0,7	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
7700	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	2,7	1,4	0,3	0,3	1,4	2,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	2,7	2,7	2,7	0,7	
7630	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	2,1	2,8	2,6	1,1	2,6	2,1	9,9	2,1	2,1	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	11,9	11,9	11,9	2,8	2,8	2,8
7600	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	2,2	2,2	2,2	10,3	10,3	2,2	2,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,2	2,2	9,3	9,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3
7530	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	2,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,3	10,7	9,6	9,6	9,6	12,8	12,8	12,8	
7500	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	2,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,4	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	9,9	9,9	9,9	9,9
7430	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	2,4	1,6	1,6	1,6	1,6	2,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	10,2
7400	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	2,9	1,7	1,7	2,5	2,5	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	2,9	2,9
7330	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	2,6	2,6	2,6	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	3,0	3,0	3,0	3,0
7300	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	3,1	3,1	3,1	3,1	

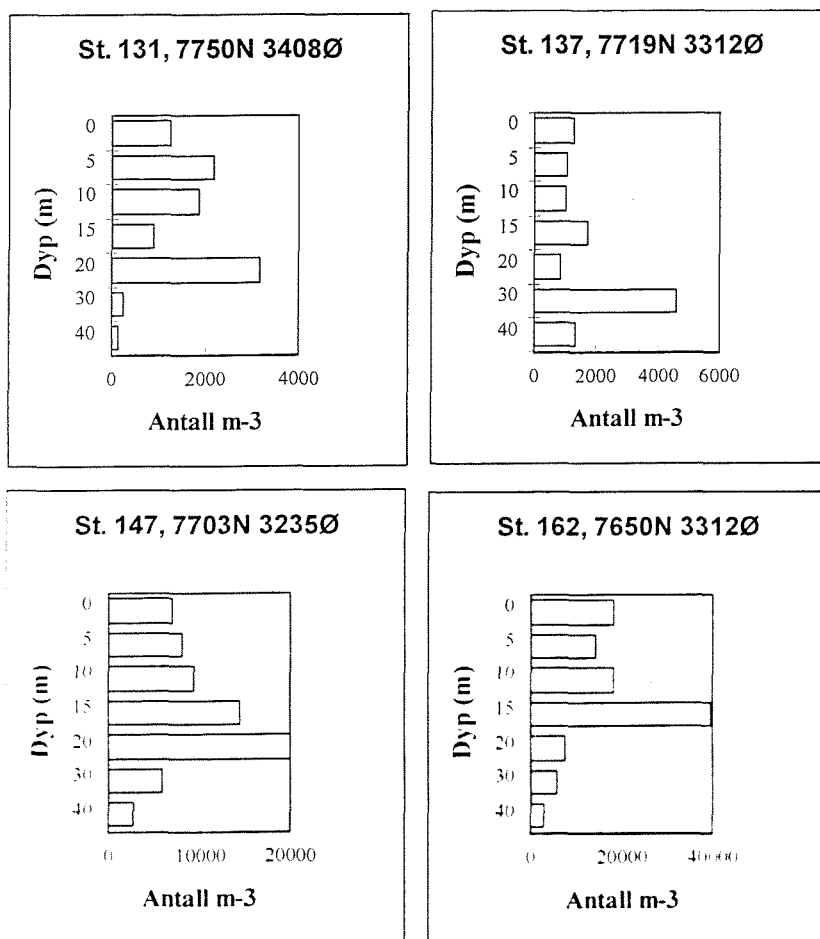


Fig. 5. Vertikalfordeling av kopepodnauplii i de øverste 40 m under isen i arktisk vann. Pumpeprøver fra M/S «Lance» i mai - juni 1983.

Vertical distribution of copepod nauplii from the upper 40 meters in Arctic water. Pump-samples collected during cruise with M.S. "Lance" in May-June 1983.

2.2.2. Krill.

Det er fire vanlig forekommende arter av krill i Barentshavet. Den største er storkrill, *Meganyctiphanes norvegica*. Denne er imidlertid knyttet til atlantiske vannmasser og finnes så godt som ikke i de områder som dekkes av modellkjøringen. *Thysanoessa raschii* er mest knyttet til de østlige områder og faller i hovedsaken også utenfor undersøkelsesområdet. *T. inermis* og *T. longicaudata* er tatt med som viktige krillressurser i det nordlige Barentshavet. Forekomstene av egg og larver er basert på data fra to tokt i henholdsvis mai 1989 og juli 1988 (Lofnes 1993). Datasettene dekker både atlantisk og arktisk vann, men kun deler av det totale området. Siden egg og larver av krill er mest knyttet til overflaten antas de å være en sårbar ressurs. Også for krill er gytingen knyttet til sommersesongen, og egg og larver er således ikke en utsatt ressurs i vinterhalvåret. Felles for de to krillartene er at utbredelsen er boreal og subarktisk og trenger bare i liten grad inn i arktisk vann i det nordlige Barentshavet. Selv om det mangler data i det nordligste området har en derfor antatt at konsentrasjonene av larver og voksne her har vært lik 0.

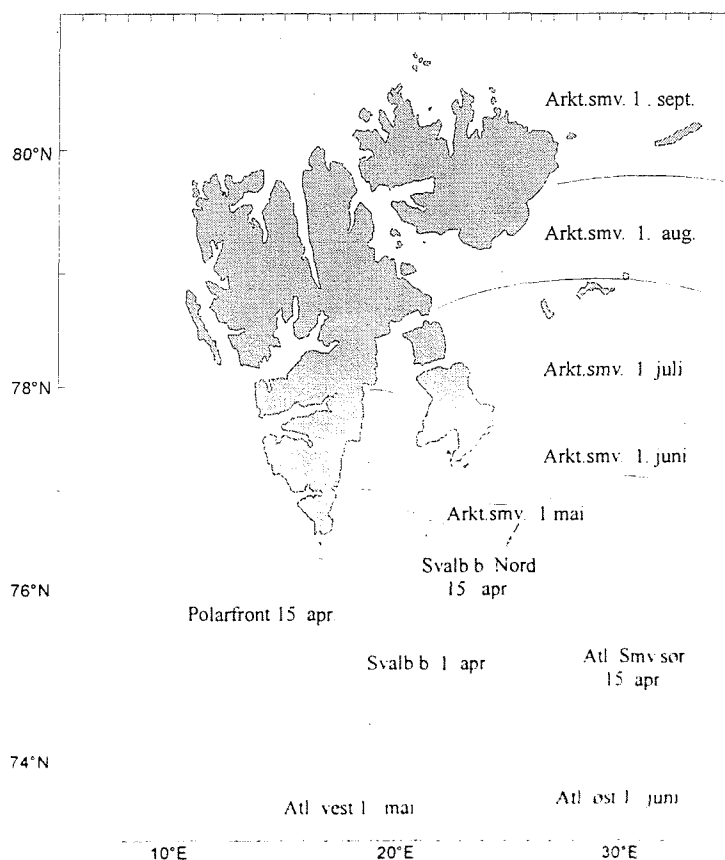


Fig. 6. Gytestart for *Calanus finmarchicus* og *C. glacialis*, basert på tidpunktet for våroppblomstringen og iskantens forflytning nordover.

Onset of spawning of Calanus finmarchicus and C. glacialis, based on time of phytoplankton bloom and average movement of the ice edge northward. (Etter Kögeler & Rey, in press)

Tabell 3. Relativ tilgjengelighet av *Calanus finmarchicus* og *C. glacialis* larver i forskjellige vannmasser i begynnelsen av mai og august. Verdiene er basert på observerte antall larver på sentrale stasjoner, korrigert for observasjonstidspunktet i forhold til datoene i tabellen.

Relative abundance of Calanus finmarchicus and C. glacialis larvae in different water masses in May and August. The values are based on observations, adjusted for time differences.

Vannmasse/lokalitet	Start blomstring	Calanus spp.	
		Mai	August
Atlantisk vann, vest	1. mai	7	0
Atlantisk vann, øst	1. juni	1,75	0
Svalbardbanken, sør	1. april	1	0
Svalbardbanken, nord	15. april	1,5	0
Polarfronten	15. april	1,5	0
Atlantisk smeltevann, sør	15. april	6,3	0
Atlantisk smeltevann, nord	1. mai	8,4	0
Arktisk smeltevann, mai	1. mai	2	0
Arktisk smeltevann, juni	1. juni	0,5	0
Arktisk smeltevann, juli	1. juli	0	0,5
Arktisk smeltevann, august	1. august	0	1
Arktisk smeltevann, september	1. september	0	0,25

2.2.3. Amfipoder.

En oversikt over utbredelse på amfipoder i Barentshavet er presentert av Dalpadado *et al.* 1994, og data fra denne rapporten er benyttet ved anvendelse av SIMPACT-modellen. Det er to viktige hyperide amfipoder i Barentshavet, den boreale og subarktiske *Themisto abyssorum* som er mest tallrik i sørvest, og den arktiske *T. libellula* med de høyeste konsentrasjonene rundt Polarfronten og nord for denne. De største tetthetene ble observert om sommeren og tidlig på høsten. Hos begge artene bærer hunnen eggene på seg i eggsekker, og den frigjør yngelen (2-3 mm) i mai-juni under våroppblomstringen. Det antas at yngelen er den mest sårbare i denne perioden. Det foreligger imidlertid ikke kvantitative data på yngelstadier i det nordlige Barentshavet, og utbredelsesdata på voksne individer er brukt som grunnlag for å fastsette utbredelsen av larver i sommersesongen.

2.3 Fordeling av fiskeegg og -larver.

De artene som er vurdert i denne rapporten er lodde, sild, polartorsk, torsk, hyse, uer og blåkveite. Dette er arter som enten er kommersielt viktige eller spiller en viktig rolle i økosystemet og som har en betydelig andel larver i området. Arter som har lite larver i området (sei) eller ikke har kommersiell interesse (gapeflyndre) er ikke tatt med. De artene som omtales i denne rapporten gyter langs norskekysten eller langs eggakanten mot Norskehavet og larvene driver inne i Barentshavet. De fleste av disse larvene er relativt store når de kommer inn i det aktuelle området i løpet av juli. Det er imidlertid unntak. Polartorsk gyter innenfor området som omhandles her, slik at alle stadier fra egg til store larver vil bli berørt. Lodde kan i enkelte år allerede i månedsskiftet mai/juni komme inn i området, og har da en lengde på ca. 20 mm. Når blåkveite som gyter langs eggakanten mot Norskehavet kommer inn i området er ingen informasjon om, men den vil trolig også kunne finnes allerede i månedsskiftet mai/juni.

2.3.1. Vertikalfordeling

De fleste av de kommersielt viktige fiskeartene i våre farvann gyter eggene sine pelagisk i tilknytning til spesielle fysiske parametre som virvler og fronter. To unntak er sild og lodde som gyter på bunnen. Eggene og senere plommeseckklarvene driver passivt av sted og vil være helt avhengige av de fysiske kreftene som råder. Egg og plommeseckklarver av arter med pelagiske egg og plommeseckklarver av arter som gytes på bunnen vil altså være utsatt for oljesøl på overflaten, mens eggene som gytes på bunnen vil være mer beskyttet. Etter hvert som larvene begynner å spise vil det optimale for dem være å fordele seg i vannmassene på en slik måte at de får tak i mest mulig mat til en minst mulig risiko (Giske & Aksnes 1992). Den måten de kan regulere dette på er ved å forflytte seg opp og ned i vannmassene (vertikalvandre) avhengig av lyset. Men dette er en dynamisk likevekt og de larvene som til en tid oppholder seg lengst nede kan senere bli brakt helt opp til overflaten. Det vil imidlertid stille seg inn en likevekt hvis de fysiske kreftene ikke er for sterke. Dette gjelder særlig for torskelarver. Når det gjelder andre arter, har vi relativt god kjennskap til hvordan sildelarver fordeler seg. Vi har bare sporadisk kjennskap til hvordan loddelarvene fordeler seg mens vertikalfordelingen av larver til arter som blåkveite, uer, polartorsk, hyse er helt ukjent. Det beste vi kan gjøre er å anta at vertikalfordelingen til hyse og polartorsk er sammenlignbar med torskens. Blåkveita gyter på bunnen langs eggakanten fra Vesterålen til Spitsbergen, sannsynligvis rundt årsskiftet (Kjell Nedreaas, Havforskningsinstituttet, pers. kom.), og 0-gruppen er senere fordelt langt vest i Barentshavet. Dette tyder på at spredningen av blåkveitelarver er liten, og derav at deres vertikalfordeling skiller seg fra de andre artene som her er nevnt. Etersom larvene vokser til, vil det være en tendens at de befinner seg høyere opp

i vannmassene, og yngel av sild og lodde befinner seg gjerne i de aller øverste meterne. Mye er imidlertid dårlig kjent om vertikalfordelingen til fiskelarver, og det vil framover være en viktig oppgave å få klarlagt dette, ikke minst for å få en bedre data til driftmodeller.

Fra juli og fram til september holder alle fiskelarver seg stort sett i de øvre 60 m, noen ganger ned mot 100 m. På denne tiden kommer larvene som er gytt langs Norskekysten eller eggakanten mot Norskehavet inn i den nordlige delen av Barentshavet. Arter som torsk og hyse søker etter hvert mot bunn, mens silda søker mot mer intermediære dyp. Den arten som holder seg lengst i overflatelaget er lodda, en art som har et utpreget døgnvandring. Når det er mørkt står den i slør i de øverste 50 m av vannsøylen, mens den står i stimer på større dyp når det er lyst. I følge Luka & Ponomarenko (1983) holder lodda til i dette dybdelaget hele den første vinteren.

2.3.2. Horisontalfordeling

Den eneste arten av stor økologisk betydning som har sitt gyteområde i den aktuelle delen av Barentshavet er polartorsken. Den vestlige komponenten av polartorsk har sitt gyteområde øst for Svalbard (Gjosæter & Anthonypillai 1995). Et forsøk på å bestemme lokaliteten mer nøyaktig ved hjelp av numerisk modellering, har ikke gitt noe entydig svar (Hansen & Adlandsvik 1996). Resultatene fra disse modellkjøringene viser at Svalbardbanken i området mellom Hopen og Edgeøya er det mest sannsynlige gyteområdet. Feltundersøkelser på Svalbardbanken i månedsskiftet februar/mars 1996 brakte ingen klarhet om gytetidspunktet i og med at det ikke ble funnet hverken egg eller larver fra polartorsk (Melle *et al.* 1996). Gyting foregår rundt mest trolig årsskiftet (Rass 1968) og larvene sprer seg utover Svalbardbanken og inn i Storfjorden (Hansen & Adlandsvik 1996). Om høsten er larvene fordelt utover store deler av Svalbardbanken og langs vestkysten av Spitsbergen (Fig. 7).

Fig. 7 viser at den største delen av 0-gruppen fra de kommersielt mest viktig artene befinner seg utenfor det området som omfattes av denne rapporten. De artene som imidlertid har eller kan ha en meget stor del av sine larver i området er først og fremst polartorsk og blåkveite. Polartorsken spiller som nevnt ovenfor en viktig økologisk rolle, mens blåkveite er en kommersielt utnyttet art i sterk tilbakegang. Arten har for tiden dårlig rekruttering, og størstedelen av 0-gruppen finnes i den vestlige delen av Barentshavet nord for Bjørnøya og langs vestkysten av Spitsbergen (Kjell Nedreaas, Havforskningsinstituttet, pers. kom). I enkelte år er det store konsentrasjoner av loddelarver og ung lodde i det aktuelle området. Hele området langs polarfronten på østsiden av Svalbardbanken er beiteområde for lodda og det samme gjelder Storfjordrenna. I motsetning til polartorsken, oppholder lodda seg hovedsakelig i de isfrie vannmassene om vinteren og våren.

Lengden av yngel og 0-gruppe under toktet i månedsskiftet august-september varierer fra år til år (Loeng *et al.* 1995) og variasjonen innen ett og samme år er også stor. Tabell 4 viser variasjonene i 1991. Dette året er valgt fordi det er det siste året med dekning så langt nord som Kong Karls Land. De siste årene har toktet bare dekket området nord til Hopen (76° 30' N). Som det framgår av Tabell 4 er det meste av yngelen større enn 20 mm, og torsk, hyse, lodde og sild har alle enn gjennomsnittslengde som er større enn 50 mm. Sammenlignet med andre år er torskelyngelen i 1991 blant de største som er observert, mens lengden av lodde, sild og hyse er like over gjennomsnittet. Imidlertid er det klart at yngelen i kalde år er betydelig mindre, og i de kalde årene 1977-81 var gjennomsnittslengden omtrent 20 mm mindre.

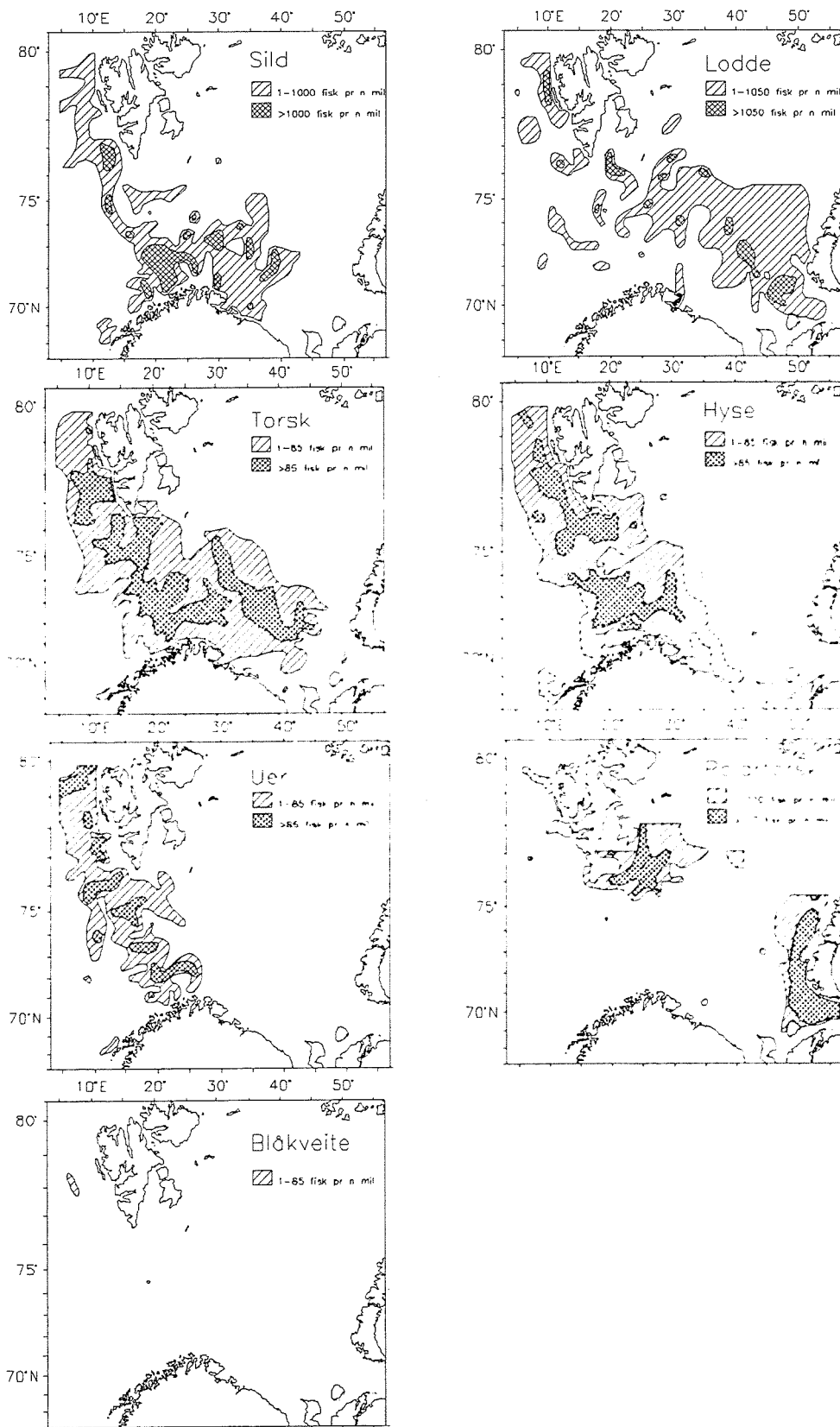


Fig. 7. Fordeling av 0-gruppe fisk i Barentshavet i månedsskiftet august/september 1991. *Distribution of 0-group fish in the Barents Sea during autumn 1991. (Modifisert etter Anon. 1991).*

Tabell 4. Lengde (mm) av 0-gruppe fisk i månedsskiftet august-september 1991 og prosentvis fordeling i lengdegrupper.

Length distribution of 0-group fish in percent in the Barents Sea in August-September 1991.
(Anon. 1991).

Lengde	Sild	Lodde	Torsk	Hyse	Polartorsk	Uer	Blåkveite
10- 14						+	
15- 19						+	
20- 24					+	0,4	
25- 29		+	+		+	5,5	
30- 34		0,2	+	0,1	1,0	33,8	
35- 39		3,1	0,1	0,1	7,5	31,6	
40- 44	+	12,7	0,3	0,4	31,2	19,2	
45- 49	+	31,3	1,4	0,9	54,8	7,9	
50- 54	+	22,1	3,8	2,0	4,6	1,6	
55- 59	0,9	19,9	5,6	3,5	0,9	0,1	16,7
60- 64	8,7	5,2	7,4	5,8	+		16,7
65- 69	13,6	2,4	9,3	8,7			16,7
70- 74	19,5	1,6	11,6	9,2			
75- 79	15,7	1,0	9,3	9,9			50,0
80- 84	14,0	0,3	11,4	13,4			
85- 89	8,8	0,1	10,8	11,5			
90- 94	6,7	+	12,0	10,3			
95- 99	3,3		8,6	6,5			
100-104	3,5		5,3	6,5			
105-109	3,4		2,1	4,1			
110-114	0,9		0,7	3,1			
115-119	0,1		0,2	1,5			
120-124	+		+	1,3			
125-129	+			0,6			
130-134				0,4			
135-139				0,1			
140-144				+			
Middel	7,9	5,2	8,0	8,4	4,5	3,7	7,0

2.4. Beregningsgrunnlaget for SIMPACT-beregninger på fiskelarver.

For fiskeegg og -larver har vi hovedsakelig feltdata fra det aktuelle området fra juni og august. I februar vil det være glasslodde (lodde som ikke har metamorfosert) tilstede i området og polartorsken har begynt å gyte. I mai måned vil noen loddelarver ha kommet inn i området. I tillegg vil det være yngel av polartorsk og vi antar at blåkveitas gyteprodukter vil befinne seg i den vestlige delen av området uten at det finnes data på dette. I august vil det i de fleste år være yngel av alle de utvalgte artene i området. Hovedtyngden av yngelen er på dette tidspunktet 3-10 cm lange (avsnitt 2.3.2 og Tabell 4). I november vil de fleste artene ha bunnslått seg, men det vil imidlertid være glasslodde igjen i de øvre vannlag. For å vise spennvidden i fordelingsmønsteret til artene har vi valgt å presentere data fra 1981 og 1983. Dette representerer et kaldt år (1981) og et varmt år (1983). Nord- og sørgrensen for artenes utbredelse vil flytte seg i fase med innstrømningen av varmt atlantisk vann. Forenklet betyr dette at vi har en mer østlig og nordlig fordeling av larver i Barentshavet i år med sterk

innstrømning av atlantehavsvann enn i år med liten innstrømning hvor fordelingen av 0-gruppe er mer vestlig.

Resultatene fra HIs tokter fordeler ressursene på ruter på 1 breddegrad ganger 2 lengdegrader eller 1/2 breddegrad ganger 1 lengdegrad avhengig av hvor mye informasjon som finnes om den enkelte art. Hver av rutene tildeles en verdi som forteller hvor stor andel av den enkelte ressurs som finnes innenfor ruten. Korreksjonsfaktorer for størrelsen av rutene på grunn av avtagende størrelse mot nord eller redusert sjøareal langs kystlinjen er lagt inn under utregning av ressursens størrelse i hver av rutene på samme måte som for plankton. Beregningene er gjort på EXCEL regneark og de korrigerede verdiene er relative verdier.

Når det gjelder lodda har vi også med året 1975. Lodda hadde en vestlig utbredelse i 1983 og en østlig utbredelse i 1975 og 1981. I 1983 fordelte loddeyngelen seg relativt homogent over den sørlige og vestlige delen av området. Ca halvparten av yngelen befant seg dette året innenfor området, resten stod sør og øst for området. I 1975 var all loddeyngelen innenfor området konsentrert i det sørøstlige hjørnet. Det aller meste av yngelen (minst 95%) befant seg i dette området.

2.4.1. Loddelarver i mai og glasslodde om vinteren

I enkelte år vil loddelarvene drive så raskt ut i Barentshavet at de vil nå det aktuelle området i slutten av mai eller begynnelsen av juni. 1989 var et år med mye loddelarver, og hvor loddelarver ble funnet i den sør-østlige delen av området allerede i slutten av mai. Dette året er derfor valgt som et eksempel under SIMPACT-beregningene. I dårlige år er tettheten av larver så lav at det er vanskelig å registrere dem innenfor området i det hele tatt på denne tiden av året.

I månedsskifte januar/februar finnes fortsatt en del lodde fra året før som ikke er ferdig med metamorfosen. For å illustrere fordelingen av glasslodde er årene 1980 (1979 årsklassen) med en stor loddebestand og 1989 (1988 årsklassen) med en liten bestand valgt ut. I 1980 ble det under vintertoktet målt totalt 84.000 tonn 1-gruppe lodde, hvorav 23.700 tonn var innenfor AKUP-området (dvs. 28%). I 1989 ble det under vintertoktet målt totalt 22.800 tonn 1-gruppe lodde, hvorav 21.210 tonn var innenfor området, det vil si hele 93%. Selv om den totale mengden av 1-gruppe lodde var fire ganger så stor i 1980 som i 1989, var mengden innenfor området omtrent den samme. Fordelingen innenfor området var også svært lik, og typisk for januar-mars, da unglodda står opp mot iskanten fra Bjørnøya og østover til Sentralbanken.

3. OLJENS EFFEKT PÅ MARINE ORGANISMER

3.1. Effekter av olje på plankton.

Det er få studier av effekter av et oljespill på plankton i åpent eller isfylte 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 *et al.* (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 hvordan de spesielle ytre forhold som lys og temperatur igjen virker inn på disse forhold.

Generelt vil et oljespill påvirke planteplanktonet på følgende måte (Køgeler *et al.* 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 isdekket områder. Årstiden vil også bety mye. Om vinteren vil olje i åpent farvann brytes ned hovedsakelig gjennom fysiske prosesser. De dårlige lysforholdene vil hindre fotooksidasjonen og dannelsen av giftige oksydasjonsprodukter. 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 isfylte 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 næringsalter 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 før disse er erstattet. Den andre faktoren er en eventuell forandring i artssammensetningen blant annet ved en mulig redusert oppblomstring av diatomeer (Rey 1993). Dette kan resultere i et dårligere næringsstilbud 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.

Filtrerende organismer av dyreplankton (f. eks. 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 amfipoder 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.* 1991)

3.2 Fiskens sårbarhet ovenfor olje

Det er flere stadier i fiskens unge liv, og de har forskjellig sårbarhet når de eksponeres for olje. Det første stadiet etter klekking av eggene er plommesekkklarve stadiet. Deretter følger larvestadiet som strekker seg fram til metamorfosen da larven omdanner seg til en ungfisk eller her 0-gruppe. Senere er det neste stadiet gytemodning, men det er ikke viktig i denne sammenheng. Det som er viktig er metamorfosestadiet da fisken gjerne kalles yngel. Her dannes skjell, blodlegemer, gjeller og andre viktige organer og fisken får et utseende som en voksen fisk. Den er nå mye mer i stand til å unnvike olje og bryte ned og skille ut olje-komponenter som bare trenger inn i gjellene mot tidligere gjennom hele larvens overflate. Det som er kompliserende er at de forskjellige artene metamorfoserer til ulik tid og ved ulik lengde. Torsken metamorfoserer med en størrelse på 12-15 mm mens silda metamorfoserer mellom 40 og 50 mm. Torsken er typisk ferdig metamorfosert i slutten av mai mens silda metamorfoserer i juli. Når så sårbarheten til de forskjellige artene varierer med sei og torsk som de mest sårbare, lodda middels og sild som minst sårbar på larvestadiet blir bildet enda mer komplisert. Vi har tidligere vist at torsk over 20 mm ikke får endret sitt oksygenopptak under påvirkning av olje. Vi antar at dette også gjelder for andre torskefisk selv om en kanskje kan stille et spørsmålsteget med langtidseffektene hvis yngelen får oljen i seg. Vi går imidlertid ut fra at 0-gruppe på denne størrelsen ikke beiter på oljedråper, men unnviker oljen mest mulig og derav ikke er sårbare når de har nådd denne størrelsen. Silda er ferdig metamorfosert når den er 50 mm og vi antar at den ikke er sårbar etter dette. Lodda derimot er mer problematisk. Den starter med å metamorfosere når den er omtrent 60 mm og er ikke ferdig før den er nær 100 mm. (Vesin *et al.* 1981). Dette skjer ofte ikke før den er nærmere et år gammel og den overvintrer i metamorfose eller yngelstadiet som det vi kaller «glasslodde».

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

Flere studier har vært gjennomført for å studere letale og subletale effekter av olje på fisk, i hovedsak laboratorieeksperimenter (f. eks. Rice 1985, Moe *et al.* 1993, Evenset & Hansen 1994). Det er imidlertid gjennomført svært få feltundersøkelser som studerer effekten av olje på fisk under arktiske forhold, og ingen av disse er fra Barentshavet. Feltundersøkelser fra andre områder, selv fra større oljespill, har generelt ikke kunnet påvise omfattende effekter på fisk som har passert yngelstadiet. Årsakene til dette kan være flere, for eksempel fluktreaksjoner ved sansing av olje, og relativt lave konsentrasjoner av olje få meter under oljeflaket. Den store utbredelsen og dynamikken i fiskebestandene gjør det også svært vanskelig å påvise eventuelle effekter og skille disse fra naturlige variasjoner og virkninger av

andre aktiviteter som for eksempel omfattende uttak gjennom fiske. På grunn av at sammenhengen mellom belastning og effekt av et oljesøl på fisk er så vanskelig å forstå under naturlige forhold, og fordi relevante feltundersøkelser i liten grad har vært utført, har det vært helt nødvendig å basere vurderinger av effekt på resultater fra kontrollerte laboratorieforsøk.

Laboratorieeksperimenter på fiskearter, som også har sin utbredelse i Arktis, viser at effekter av olje som påvirker en rekke funksjoner i fisk kan oppstå (Rice 1985). Fiskeegg og -larver er mer følsomme overfor oljespill enn voksne fisk, noe som skyldes at de er mer utsatt for eksponering og er mer følsomme overfor giftvirkningene. Larver til viktige fiskearter, som torsk og sild, utvikler seg nær overflaten hvor konsentrasjonene av olje er høyest. I tillegg har larvene i mindre grad enn voksne fisk muligheter for å unngå gjennom aktiv svømming.

Laboratorieforsøk ved Havforskningsinstituttet i regi av AKUP har pågått over flere år for å studere effektene av vannløselig fraksjon av olje på egg og larver av ulike fiskearter. Resultatene viser som tidligere nevnt at ulike arter har forskjellig toleranse overfor olje (Booman *et al.* 1995). Egg og larver til sei har lavest toleranse, lodde og torsk ligger noe høyere, mens sild har høyest toleranse av disse artene (Føyn & Serigstad 1989). Permanent nedsatt oksygenopptak ble målt selv etter kort tids eksponering (2-24 t) til 50 ppb (milligram pr. m³) vannløselig fraksjon av råolje, og det antas at dette kan føre til at organismene går til grunne (Føyn & Serigstad 1988). Slike konsentrasjoner kan forholdsvis lett oppnås under et ferskt (1-2 døgn) oljeflak anslagsvis ned til ca. 10 m, men dette vil kunne variere betydelig avhengig av oljens egenskaper, forvitningsprosesser, vind og bølgebevegelser. I hvor stor grad dette kan påvirke en populasjon vil være en funksjon av overlapp i fordelingen av fiskeegg og -larver og olje i tid og rom. Konklusjonen av ovennevnte undersøkelser er at det synes rimelig å bruke et konsentrasjonsnivå av olje i sjøvann på 50 ppb som en fornuftig nedre grense for biologisk effekt på fiskeegg og -larver.

Giftvirkningen av olje er størst like etter at utslippet har funnet sted, ved at de mest vannløselige komponentene i oljen kan skade organismer som ikke er i stand til å unnsnippe. De akutte giftvirkningene av olje kan forventes å avta betydelig allerede få døgn etter utslipp ved at de letteste og mest vannløselige komponentene enten løser seg i vannet og fortynnes eller fordampes til atmosfæren. Effekter av oljen som blir igjen (forvitret olje) vil avhenge av hvor effektiv nedblanding i vann er og dermed eksponeringen av sårbare ressurser til olje. Også dette er avhengig av oljens egenskaper og de fysiske forhold. Forvitret olje er i liten grad vannløselig og vil eventuelt blandes ned i vannet som oljedråper av ulik størrelse, eventuelt som vannløselige substanser etter fotokjemisk eller mikrobiell nedbrytning. På grunn av emulsjonsdannelser skal det ofte betydelige fysiske krefter til i form av vind og bølgebevegelser for at denne nedblanding skal kunne skje. Kunnskapen om biologiske effekter av forvitret olje på fiskeegg og -larver er svært begrenset. Det er imidlertid foreløpig ikke noe tungt faglig grunnlag til å konkludere med at forvitret olje er vesentlig mindre giftig enn fersk olje. Grenseverdien på 50 ppb for effekt bør derfor beholdes også for forvitret olje.

Undersøkelser har vist at det ofte er et omvendt forhold mellom vannløselighet og giftighet av oljehydrokarboner. Jo mindre vannløselige komponentene er, jo mer giftige er de. Den realiserte giftighet av olje for organismer i vann avhenger av hvor mye som løses og hvor giftig hver enhet som løses er. Den lett vannløselige komponenten av stoffer i olje utgjør en mindre andel. Denne kan utløses i vann og forårsake både akutt dødelighet og sublethale

biologiske virkninger. Hovedparten av olje er lite vannløselig og fordamper langsomt og dette er i utgangspunktet kanskje den giftigste delen av oljen. Avhengig av i hovedsak de fysiske miljøforholdene vil oljen gradvis transporteres ned i vannmassene ved fysisk innblanding, kjemisk og fotokjemisk oksydasjon, sedimentasjon og biologisk omdanning. Gjennom disse prosessene vil oljen kunne realisere sitt giftige potensiale over lang tid.

En kvantifisering av mulige skader på fiskeressursene ved et oljeutslipp kan baseres på å beregne graden av overlapping horisontalt og vertikalt mellom fordelingene av egg og larver og vann med skadelige oljekonsentrasjoner. Effekter av oljen vil avhenge av konsentrasjon og eksponeringstid, og det antas at larver som er påvirket av skadelige mengder olje vil gå til grunne. Skadelige konsentrasjoner av olje forekommer sjelden dypere enn 10 m. Imidlertid er ikke SIMPACT-modellen konstruert slik at den klarer å få fram konsentrasjonen av olje i vannsøylen, noe som gjør det vanskelige i å anvende eksisterende kunnskaper om skadelige konsentrasjoner for ulike organismer. Ved turbulent omrøring og vertikal forflytning av larver vil hele tiden nye larver befinne seg i det øvre oljeinfiserte laget. Det oljeinfiserte laget vil altså kunne ha effekter på egg og larver som opprinnelig befinner seg langt dypere enn tykkelsen av laget (Sætre & Bjørke 1988). Det synes derfor rimelig å regne med at hele det øvre vindblandete laget under et oljeflak er influert av olje.

Et annet sentralt punkt for å kunne vurdere mulige konsekvenser av oljesøl er hvor lenge fiskeyngelen er sårbar, det vil si hvor stor yngelen må være før den aktivt vil unngå et oljesøl og dermed eksponering. Tidligere undersøkelser har vist at bl.a. torskeyngel som er 20-30 mm er mindre følsom i form av redusert oksygenopptak enn mindre larver (Føyn & Serigstad 1988). Når yngelen har oppnådd denne størrelsen har den også ganske god egenbevegelse og det har vært antatt at yngelen vil søke unna oljen (Føyn & Serigstad 1989). Disse antagelsene har imidlertid ikke vært dokumentert gjennom kontrollerte studier. Nyere laboratorieundersøkelser av Serigstad *et al.* (1997) har vist at sildelarver i akvarier med olje på overflaten aktivt søker opp i oljen og går til grunne. I samme forsøksoppsett søker 50-60 mm torskeyngel ned til bunn og unngiker. Artsesifikke forskjeller i adferdsmønster overfor oljesøl synes derfor å være tilstede. Endelige konklusjoner av disse arbeidene foreligger ikke, men de foreløpige resultater kan bety at grensene for hvor lenge yngelen er sårbar bør forlenges til 50-100 mm. Det er et behov for å følge opp denne type studier slik at grensene for hvor lenge ulike fiskearter er sårbare blir bedre dokumentert. I dette arbeidet synes adferdstudier viktige.

3.3 Oppsummering av sårbarhet

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* hvor det er forhøyede konsentrasjoner, 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. De største konsekvensene for økosystemet vil man trolig få av et oljespill under våroppblomstringen når også dyreplanktonet finnes i tidlige stadier og fiskeegg og -larver av polartorsk kan være til stede.

Forutsatt at den enkelte organisme er en del av et hierarkisk organisert system, kan belastningen og effektene av olje forplante seg suksessivt fra et nivå til et annet; fra kjemiske prosesser på molekylært nivå, via enzymatiske og fysiologiske reaksjoner, og opp til individdødelighet med reduksjon av bestander/ populasjoner/ samfunn som endelig resultat.

Sårbarhet for olje blir således en funksjon av oljens skjebne og de ulike ressursenes egenskaper med hensyn på. fysiologi, ernæring, adferd, habitatvalg, reproduksjonsstrategi og livshistorie. Hver ressurstype - også ulike livsstadier innenfor enkeltstående grupper, vil derfor ha en mer eller mindre individuell form for sårbarhet.

Når det gjelder virkningene av olje på det pelagiske produksjonssystemet er disse vanskelig å kvantifisere. Systemet består blant annet av bakterier, planteplankton og dyreplankton. Olje kan virke inn negativt på hvert av disse elementene, eller på samvirket mellom dem. Forsøk som er utført antyder terskelverdier for oljeeffekter på plankton i området 50-100 ppb (FOH 1984). Sannsynligheten for at effekter på fiskeyngel kan oppstå ved at produktiviteten i selve næringskjeden endres i negativ retning ble av Fossum & Øiestad (1992) ansett som liten.

3.4 Oljens nedblanding i vannmassene

Nedblanding av olje vil øke konsentrasjonene i vannmassene og kunne påvirke fisken som befinner seg i dette dybdelaget. De tidligste stadiene i fiskens liv er mest sårbare for oljeforurensning (Fossum & Øiestad 1992). Olje kan være skadelig for fiskeegg og -larver enten ved direkte gifteffekt, eller indirekte ved innvirkning på larvenes næringsorganismer. I de fleste tilfelle med olje på havet vil begge disse virkningene kunne være tilstede.

En kvantifisering av mulige skader på fiskeressursene ved et oljeutslipp kan baseres på å beregne graden av overlapping horisontalt og vertikalt mellom fordelingene av egg og larver og vann med skadelige oljekonsentrasjoner. Effekter av oljen vil avhenge av konsentrasjon og eksponeringstid, og det antas at larver som er påvirket av skadelige mengder olje vil gå til grunne. Skadelige konsentrasjoner av olje forekommer sjelden dypere enn 10 m. Ved ekstremt dårlige værforhold kan imidlertid dette endres. Et eksempel på dette er utslippet av olje fra *Braer* som førte til forhøyede oljekonsentrasjoner i vannmassene ned til 100 m dyp (O'Sullivan 1994). Ved turbulent omrøring og vertikal forflytning av larver vil hele tiden nye larver befinne seg i det øvre oljeinfiserte laget. Det oljeinfiserte laget vil altså kunne ha effekter på egg og larver som opprinnelig befinner seg langt dypere enn tykkelsen av laget (Sætre & Bjørke 1988). Det synes derfor rimelig å regne hele det øvre vindblandete laget under et oljeflak som influert av olje.

3.4.1 Vertikal stabilitet i Barentshavet

Stabiliteten i vannsøylen endrer seg med årstiden og avhenger i tillegg av den vannmassen som er i det aktuelle området. I de isfrie områder av Barentshavet er vannmassene om vinteren ofte gjennomblandet helt ned til 200-300 m. Dette er den tiden av året det også er sterkest vind, og oljesøl på overflaten vil da kunne blande seg like dypt som ved *Braer* ulykken, det vil si ned til 100 m (O'Sullivan 1994). Stabiliteten i overflaten begynner å utvikle seg i de isdekte områder når ismeltingen starter, mens den i de isfrie områder starter når overflaten begynner å varmes opp fra atmosfæren. Hele denne prosessen er detaljert beskrevet hos Loeng *et al.* (1995). Det som kan slås fast her er at i de områder som har vært isdekket om vinteren er stabiliteten i haloklinen fra juni og fram til oktober så sterk at olje neppe vil kunne blandes ned til de underliggende vannmasser. Dybden på haloklinen er ca 5 m like etter at området blir isfritt, men det blir gradvis dypere utover sommeren og høsten og finnes da på 20-25 m dyp. Området over haloklinen er fullstendig gjennomblandet, og olje vil kunne blande seg inn i dette dybdelaget med de vindforhold som forekommer om sommeren. I de isfrie vannmasser får man en jevn gradient som starter i 10-20 m og går ned til 50-60 m utpå høsten. Det øvre vindblandete laget vil neppe nå dypere enn 20-30 m, og det er lite sannsynlig at olje i sommerhalvåret når dypere enn dette.

3.5 Valg av sårbarhetsindeks

Ved fastsettelse av en sårbarhetsindeks for marine organismer er det flere faktorer å ta hensyn til. Flere av disse faktorene er usikre på grunn av manglende kunnskap. På grunnlag av det som er beskrevet tidligere er følgende tre faktorer fokusert:

- oljens alder
- organismenes fordeling i vannsøylen i relasjon til vannmassenes stabilitet
- organismenes livsstadium og størrelse

Den totale sårbarhetsindeksen for marine organismer er en funksjon av disse tre faktorene. Skade på marine ressurser kan oppstå når kritiske stadier av de aktuelle organismer kommer i kontakt med olje/oljeholdig vann hvor konsentrasjonen av de skadelige komponentene er høy nok til å gi effekter. Forenklet kan dette beskrives i form av overlapping mellom kritiske stadier og kritiske oljekonsentrasjoner. Utgangspunktet for å velge 15 døgn som en grense ble i sin tid gjort etter undersøkelser i tilgjengelig litteratur og HIs egne undersøkelser og er forklart i avsnitt 3.2. En utfyllende beskrivelse for dette valget er også gitt i NOU (1980)

Om sommeren og høsten er organismenes fordeling i forhold til spranlaget blitt vurdert. Er arten fordelt nær overflaten og over spranlaget er dødligheten fullstendig. Er den aktuelle arten fordelt delvis over og delvis under spranlaget er dette tatt hensyn til. Om vinteren og våren har også vertikalfordelingen blitt vurdert ved at organismer i det vindblandete laget, de øvre 20-30 m, er blitt ansett som utsatt. I dette vannlaget oppholder egg og unge stadier av dyreplankton seg. Deler av fiskeyngelen befinner seg i det øvre vannlag, og vil kunne bli utsatt for olje. Denne brøkdelen er blitt vurdert for de enkelte arter og ulike aldersstadier. Samtidig er vertikalvandring blitt tatt hensyn til, som for lodde.

Hos fiskeyngelen har vi tatt hensyn til metamorfosen, og til artens motstandsdyktighet ut fra laboratorieforsøk. Lodde har på grunn av sin sene metamorfose fått en høyere verdi enn de fleste andre artene i august. En oversikt over sårbarheten til marine organismer er oppsummert i Tabell 4. Det presiseres at dette gjelder bare de yngste stadiene som anses som sårbare under et oljehell. Voksen fisk og stort dyreplankton har fått sårbarhetsindeksen satt til 0.

Tabell 4. Sårbarhetsindekser for de arter som er benyttet i denne rapporten. - indikerer at de stadier av arten som er tilstede ikke er sårbar.

Indices for how oil can influence on marine organisms discussed in this report.

Art	Februar	Mai	August	November
Dyreplankton				
Kopepoder	-	1,0	1,0	-
Krill	-	1,0	1,0	-
Amfipoder	-	1,0	1,0	-
Fisk				
Blåkveite	-	-	0,1	-
Hyse	-	-	0,1	-
Lodde	0,2	1,0	0,6	0,3
Polartorsk	1,0	0,6	0,1	-
Sild	-	-	0,1	-
Torsk	-	-	0,1	-
Uer	-	-	0,1	-

4. Resultater

SIMPACT-modellen er kjørt for alle tilfeller der en art har sårbarhetsindeks større enn null i Tabell 4. For plankton er modellkjøringen gjort på den midlere fordeling av arten, mens for fiskelarver er det gjort kjøring både for år med stor og liten utbredelse. For hvert tilfelle er det gjort en kjøring for hver av de tenkte utslippsstedene. Samtlige resultater er vist i Appendiks 2. For hvert scenario beregner modellen en områdeindeks, det vil si at den angir hvor stor del av arten som er innenfor området som blir skadet. Resultatene er oppsummert i Tabellene 5-7 som angir hvor stor prosentandel av den enkelte art innenfor området som blir skadet. Tabellene 8-9 angir hvorvidt denne skaden klassifiseres som ubetydelig (0-3%), liten (3-10%), middels (10-20%) eller stor (>20%). Når disse grensene er satt, er det tatt hensyn til at en stor del av ressursen befinner seg utenfor det området som er undersøkt her, slik at andelen av den totale ressursen blir mindre. Begrepene ubetydelig, liten, middels og stor er i samsvar med hva som er brukt i Olje- og energidepartementets sluttrapport (Aaserød & Loeng 1997). For de marine ressurser vil nok begrepene stor og meget stor vært mer korrekt for de to siste gruppene (10-20% og >20%). Nedenfor er det gitt en summarisk beskrivelse av resultatene fra de fire kvartalene slik de er presentert i Tabellene 5-9 og i Appendiks 2.

Vintersesongen

I januar er det bare «glasslodde» og larver av polartorsk som kan bli skadet i området. Fordelingen av polartorskklarver er tatt fra modellkjøring (Hansen & Ådlandsvik, 1997) mens for lodde er årene 1980 (1979 årsklassen) med en stor loddebestand og 1989 (1988 årsklassen) med en liten bestand valgt ut. I 1980 ble det under vintertoktet målt totalt 84.000 tonn 1-gruppe lodde, hvorav 23.700 tonn var innenfor AKUP-området (28%). I 1989 ble det under vintertoktet målt totalt 22.800 tonn 1-gruppe lodde, hvorav 21.210 tonn var innenfor området, det vil si hele 93%. Selv om den totale mengden av 1-gruppe lodde var fire ganger så stor i 1980 som i 1989, var biomassen innenfor området omtrent den samme. Fordelingen innenfor området var også svært lik i de to årene, og den er typisk for januar-mars, da unglodda står opp mot iskanten fra Bjørnøya og østover til Sentralbanken. Resultatene viser at bare det østligste utslippspunktet kan medføre skade på lodda. I 1980 ville knappe 5% av biomassen av den delen som var innenfor området blitt skadet, mens andelen i 1989 var 8 %.

På grunn av forskjellig fordelingsmønster de to årene ville bare 1% av den totale biomassen blitt skadet i 1980, mens i 1989 ville 7,5% av den totale bestanden av ettåringer blitt skadet ved et oljesøl.

Tabell 5. Områdeindeks for dyreplankton

Area index for zooplankton

Art	Måned	Vest	Midtre	Øst
<i>Calanus spp.</i>	Mai	10,3	5,3	8,8
	August	0,1	1,4	0,3
<i>T. inermis</i>	Mai	4,6	10,5	5,5
	August	0,8	4,0	16,4
<i>T. longicaudata</i>	Mai	2,4	5,5	4,5
	August	1,7	13,8	21,1
<i>T. abyssorum</i>	Mai	5,6	7,7	8,5
	August	6,9	9,8	10,4
<i>T. libellula</i>	Mai	0,7	10,4	21,0
	August	0,5	11,4	29,9

Tabell 6. Områdeindeks for 0-gruppe i august

Area index for 0-group fish in August

Art	År	Vest	Midtre	Øst
Blakveite	1981	2,3	0,7	0,0
	1983	1,1	0,4	0,0
Hyse	1981	2,2	0,7	0,2
	1983	0,6	1,2	0,7
Lodde	1975	0,0	0,0	11,2
	1981	0,7	4,4	13,4
	1983	6,2	6,9	7,2
Polartorsk	1981	1,6	3,3	0,3
	1983	2,3	0,1	0,0
Siid	1981	5,6	0,6	0,0
	1983	1,8	0,5	0,3
Torsk	1981	3,6	1,0	0,3
	1983	0,3	1,5	1,5
Uer	1981	5,4	1,3	0,0
	1983	1,3	0,8	0,0

Tabell 7. Områdeindeks for lodde og polartorsk i første, andre og fjerde kvartal.

Area indices for capelin and polar cod in 1. 2. and 4. quarter.

Art	År	Måned	Vest	Midtre	Øst
Lodde	1980	Februar	0,0	0,0	4,8
	1989	Februar	0,0	0,3	8,0
	1989	Mai	0,0	0,5	15,3
	1980	November	0,0	0,2	11,4
	1988	November	0,0	0,8	15,6
Polartorsk	Modell	Februar	1,3	6,9	5,6
	Modell	Mai	22,3	4,4	0,5

Tabell 8. Oversikt over beregnede konsekvenser for dyreplankton fra de tre utslippspunktene. 0: ubetydelig, 1: små, 2: middels, 3: store

Consequences of an oil spill on zooplankton. 0: insignificant, 1: small, 2: medium, 3: large

Utslippspunkt	Vestre punkt				Midtre punkt				Østre punkt			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<i>Calanus spp.</i>	-	2	0	-	-	1	0	-	-	1	0	-
<i>Thyssanoessa inermis</i>	-	1	0	-	-	0	2	-	-	1	2	-
<i>T. longicaudata</i>	-	0	0	-	-	1	2	-	-	1	3	-
<i>Themisto abyssorum</i>	-	1	1	-	-	1	1	-	-	1	2	-
<i>T. libellula</i>	-	0	0	-	-	2	2	-	-	3	3	-

Tabell 9. Oversikt over beregnede konsekvenser for fisklarver fra de tre utslippspunktene. 0: ubetydelig, 1: små, 2: middels, 3: store

Consequences of an oil spill on fish larvae. 0: insignificant, 1: small, 2: medium, 3: large

Utslippspunkt	Vestre punkt				Midtre punkt				Østre punkt			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blåkveite 1981	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-
Blåkveite 1983	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-
Hyse 1981	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-
Hyse 1983	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-
Lodde 1975	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	2	-
Lodde 1979 80	0	-	-	0	0	-	-	0	1	-	-	2
Lodde 1981	-	-	0	-	-	-	1	-	-	-	2	-
Lodde 1983	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	1	-
Lodde 1988:89	0	0	-	0	0	0	-	0	0	2	-	2
Polartorsk 1981	-	-	0	-	-	-	1	-	-	-	0	-
Polartorsk 1983	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-
Polartorsk, modell	0	3	-	-	1	1	-	-	1	0	-	-
Sild 1981	-	-	1	-	-	-	0	-	-	-	0	-
Sild 1983	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-
Torsk 1981	-	-	1	-	-	-	0	-	-	-	0	-
Torsk 1983	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-
Uer 1981	-	-	1	-	-	-	0	-	-	-	0	-
Uer 1983	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-

For polartorsk kan skadene på larver nå opp i 5-7% av totalmengden for midtre og østre lokalitet, noe som karakteriseres som små skader. Skadene etter et søl fra den vestre lokaliteten er ubetydelige. Det presiseres at fordelingen av polartorsklarver er basert på modellberegninger.

Vårsesongen

Mai og juni er hovedmånedene for gyting for de viktigste artene av dyreplankton. Da befinner de voksne individene seg i overflatelaget for å gyte, og gyteproduktene blir værende i dette vannlaget. Hos rauåte (*Calanus finmarchicus*) og ishavsåte (*C. glacialis*) som er de viktigste kopepodene, kan 5-10% av larvene bli ødelagt ved et oljesøl, og skadene er størst nærmest

utslippsstedet. På det samme nivået ligger også skadene på larver av krill og amfipoder. Den ene arten av amfipoder (*T. libellula*) har imidlertid en noe høyere skadeindeks for utslipp fra det østre utslippsstedet, hvor hele 21 % av den nye generasjonen blir skadet.

Av fiskelarver er det kun lodde og polartorsk i området på denne årstiden. Loddelarvene kan i enkelte år befinne seg i den sørøstligste delen av området på denne tiden, og eksemplet fra 1989 viser at 15% av larvene innenfor området ville blitt ødelagt under et utslipp fra den østre lokaliteten. Imidlertid er bare en svært liten del av den totale mengden av loddelarver innenfor det aktuelle området på denne tiden. Et uhell ved en av de to andre lokalitetene ville ikke medført skade av betydning. Siden det heller ikke i mai finnes observasjoner av polartorsk larver, er fordelingen tatt fra modellkjøringene til Hansen & Ådlandsvik (1996). Resultatene viser at fordelingen av disse unge larvene er slik at skaden vil være størst ved et uhell i den vestre lokaliteten, og at hele 25% av alle larvene vil kunne bli ødelagt, hvilket må karakteriseres som en svært stor skade.

Sommersesongen

I august varierer skadene på plankton mer enn i mai. Mens gytingen til ishavsaeta er begrenset til iskantsonen i nord og blir lite berørt av et oljesøl, så vil larver av krill og amfipoder få tildels større skader i august enn i mai (Tabell 5). Dette gjelder særlig for den østre lokaliteten hvor skadene kan bli store, mens skadene gjennomgående er mindre for den vestlige lokaliteten.

Det er sesongen hvor larver av alle viktige fiskearter er tilstede i området. Imidlertid synes det som om skadene stort sett er ubetydelige eller små. Størst er skadene på loddelarver fordi denne arten metamorfoserer mye langsommere enn de andre artene og dermed har en større sårbarhetsindeks enn de andre larvene. I to tilfeller vil skadene måtte karakteriseres som middels (1975 og 1981) for det østligste punktet, mens forøvrig er skadene ubetydelige eller små. For de andre artene er skadene ubetydelige eller små. Mens lodde fikk størst skade ved det østligste utslippspunktet, er de andre artene gjennomgående mest utsatt for skade ved et uhell i det vestligste punktet. Dette skyldes fordelingen av larver fra de ulike artene, og det vil også være til dels store variasjoner mellom årene. Bare polartorsk og blåkveite har alle larvene på 0-gruppe stadiet innenfor det aktuelle området. De andre artene er fordelt over et mye større område, og har som oftest er mindre enn 50% av 0-gruppen av den enkelte art innenfor det aktuelle området.

Høstsesongen

I november er det bare lodde som vil kunne bli skadelidene. Det finnes ikke observasjoner av loddas fordeling på denne tiden, men vi har benyttet fordelinger for januar som eksempel. Loddas holder seg på denne tiden hovedsakelig på østsiden av Svalbardbanken, og fordeling i rom er derfor ikke vesentlig forskjellig mellom november og februar. Tabell 7 viser at ved den østligste lokaliteten vil man kunne få middels skader, mens skadene vil være ubetydelige ved de andre lokalitetene. Med en tilsvarende fordeling som diskutert ovenfor under vintersesongen, kunne omtrent hele 9% av den totale biomasse av 1988-årsklassen av lodde blitt skadet.

4.1 Oppsummering

Resultatene ovenfor innbefatter kun den direkte effekt på organismene. Det er ikke tatt hensyn til hvilke konsekvenser skadene på et lavt trofisk nivå vil ha for organismer høyere oppe i

næringskjeden. SIMPACT er ikke anvendt på planteplankton. Hovedgrunnen er at det ikke finnes gode nok data til å lage et fordelingskart, hverken innenfor et enkelt år eller en gjennom-snittsfordeling over flere år. Imidlertid må man anta at skadene vil kunne bli store dersom uhellet skjer under våroppblomstringen når planteplanktonet befinner seg i overflatelaget. Videre er det grunn til å anta at dette får store konsekvenser for dyreplankton og for fiskeressursene i og med at næringsgrunnlaget blir svekket. Hvor store skadene vil bli er ikke mulig å kvantifisere. Et uhell om sommeren når etterblomstringen av planteplankton finner sted, vil imidlertid ikke bli særlig berørt fordi denne blomstringen foregår under sprangsjiktet som vil hindre at oljen blandes ned til planteplanktonet.

De minste organismene av dyreplanktonet vil få de største skadene om våren. Opptil 10% av planktonet i området vil da kunne gå til grunne og skadene må karakteriseres som små til middels. Dette er imidlertid bare en liten del av den totale biomassen i Barentshavet, og havstrømmene vil sørge for at nye organismer transporteres inn i området relativt raskt. Likevel vil man kunne få merkbar reduksjon av mattilbudet til de planktonspisende fiskartene. En del av de større organismene vil imidlertid kunne få de større skader om sommeren enn hva de vil få om våren (Tabell 5). Særlig amfipoder, men også krill, vil kunne få middels til store skader. Dette gjelder i første rekke ved utslipp fra den østlige, og dernest den midtre lokaliteten. Dette skyldes at disse artene først og fremst finnes i området rundt polarfronten på østsiden av Svalbardbanken og i Hopendypet. Imidlertid vil også disse organismene bli fraktet inn i området igjen ved hjelp av havstrømmene. På den annen side har disse organismene lengre livssyklus, slik at en skade også vil kunne få konsekvenser for de kommende 1-2 årene.

For fiskeressursene vil et oljesøl bare relativt sjelden ha store direkte konsekvenser. Et slikt unntak er eksemplet med lodde i november 1988 og januar 1989 da en relativt stor andel av den totale biomassen fra en årsklasse stod innenfor området. Et annet eksempel er egg og larver av polartorsk tidlig på året. De fleste andre artene kommer inn i den nordlige delen av Barentshavet om sommeren, og deres sårbarhet betydelig redusert på dette tidspunktet. De fleste årene vil den største andelen av årsklassen befinne seg utenfor det aktuelle området, og den prosentvis skaden på den totale biomasse av en art vil være liten. Imidlertid er det umulig å si noe eksakt om hvor stor en skade på 0-gruppe stadiet vil få for en voksen bestand. For torsk har Sundby *et al.* (1989) vist at årsklassens styrke bestemt på dette tidspunktet. Det vil med andre ord si at den prosentvise reduksjonen man får på 0-gruppen vil kunne følge arten når den vokser opp. Imidlertid vil mange andre faktorer komme inn som kan forsterke eller mest sannsynlig minske effekten. Slike forhold er mattilbud og tetthetsavhengig vekst, noe som igjen vil avhenge av bestandens størrelse. Med unntak av lodde så er skadene på den delen av ressursen som er innenfor området mindre enn 6%, for de aller fleste scenarioene er skaden mindre enn 2%. Imidlertid må man være klar over at fordeling enkelte år kan føre til en større skadeprosent. Totalt sett betyr dette at bare en ubetydelig eller små deler av 0-gruppe vil gå til grunne. Man må imidlertid være klar over at den prosentvise andelen som kan bli skadet på 0-gruppe stadiet ikke behøver å si noe de økonomiske konsekvensene av et uhell. En ubetydelig skade på en sterk årsklasse kan bety mer enn en liten skade på en svak årsklasse når man kommer fram til den tid at biomassen tas ut under fiske.

5. REFERANSER

- Aaserød, M. I. & Loeng, H.(red) 1997. Oljeleting i det nordlige Barentshavet. Sammenfatning av mulige virkninger for miljø, naturressurser og samfunn. Olje- og energidepartementet, Oslo, oktober 1997.
- Anker-Nilssen, T. & Kvenild, L. 1996. *SIMPACT* versjon 3.0b. Brukerveiledning med oppdatering av modellbeskrivelse. Norsk institutt for naturforskning, Trondheim, 25s.
- Anon. 1991. Preliminary report on the international 0-group fish survey in the Barents Sea and adjacent water in August-September 1991.
- Anon. 1993. OLF Miljøprogram. Fase II. Sammendragsrapport. Oljeindustriens Landsforening.
- Anon. 1997. Miljørapport. Fisken og Havet, Særnummer 2 - 1997.
- Aunaas, T., Olsen, A. & Zachariassen, K.E. 1991. The effects of oil and oil dispersants on the amphipod *Gammarus oceanicus* from Arctic waters. *Polar Research* 10 (2): 619-630
- Booman, C., Midtøy, F., Smith, A. T., Westrheim, K. & Føyn, L. 1995. Effekter av olje på marine organismer - særlig på fiskelarvens første næringsopptak. *Fisken og Havet* nr. 9-1995. 110s + vedlegg 30s.
- Børresen, J. A. 1993. *Olje på havet*. Ad Notam Gyldendal AS, Norway
- Børresen, J. A., Christie, H. & Aaserød, M. I. 1988. Åpning av Barentshavet Syd, Troms II, Troms III og sydlig del av Finnmark Vest for petroleumsvirksomhet. Konsekvensutredning. *Olje- og Energidepartementet*. Oslo.
- 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., Borkner, N. & Skjoldal, H.R. 1994. Distribution and life history of *Themisto* (Amphipoda) spp., north of 73°N in the Barents Sea. *Fisken og Havet* nr. 12-1994. 42 pp.
- Dalpadado, P. & Skjoldal, H.R. 1996. Abundance, maturity and growth of the krill species *Thysanoessa inermis* and *T. longicaudata* in the Barents Sea. *Mar Ecol Prog Ser.* vol. 144: 175-183.
- Evenset, A. & Hansen, S. 1994. Hydrokarboner i arktiske næringskjeder: opptak, biotransformasjon, ekskresjon og effekter. *Akvaplan-niva*, Tromsø, 66 s.
- FOH. 1984. The fate and significance of oil in the sea. Final report from the Norwegian Marine Pollution Research and Monitoring Programme (FOH) 1976-84. The Ministry of Environment, Oslo.

Fossum, P. & Øiestad, V. 1992. Sluttrapport fra Havforskningsinstituttets egg- og larveprogram - HELP (1985-1991), Havforskningsinstituttet, 79s.

Føyn, L. & Serigstad, B. 1988. Oil exploration in new offshore fields. Fish larvae as the critical component in the assessment of potential consequences for the fish resources. Coun. Meet. int. Coun. Explor. Sea, 1988 (E:18): 1-8.

Føyn, L. & Serigstad, B. 1989. Fish stock vulnerability and ecological evaluations in light of recent research. Proceedings 1st. Internat. Conf. on Fisheries and Offshore Petroleum Exploitation.

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.

Giske, J. & D.L. Aksnes. 1992. Ontogeny, season and trade-offs: vertical distribution of the mesopelagic fish *Murollicus muelleri*. *Sarsia* 77:253-261.

Gjosæter, H. & Anthonypillai, V. 1995. Utbredelse av polartorsk i Barentshavet. *Fisken og Havet* 195 (23). 56 sider

Hansen, R. & Ådlandsvik, B. 1996. Application of a hydrodynamical model on transport of larvae of polar cod in the northern Barents Sea. *Fisken og Havet*, 27. 64 sider

Humphrey, B., Green, D.R., Fowler, B.R., Hope, D. & 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.

Johanesen, Ø., Skognes, K., Melsom, A., Ulstad, C. & Sætra, Ø. 1997. SLIKMAP-beregninger for isfylte farvann. OCEANOR rapport R-97005, Trondheim, 47s.

Kögeler, J. and Rey, F. (in press). Spatial distribution of phytoplankton in the Barents Sea. Submitted to *Int. J. of Remote Sensing*.

Kögeler, J., Evensen, A., Anselme, B. & Killi, B., 1994. Planteplankton i det nordlige Barentshavet. *Akvaplan-niva rapport nr: APN 432.94.503.01b* ; 64 s.

Loeng, H., Dalpadado, P., Booman, C., Hassel, A., Melle, W. & Rey, F. 1995. Geografisk og sesongmessig fordeling av plante- og dyreplankton i det nordlige Barentshavet. Sluttrapport. *FiskenHav*, 1995 (30), 48 s.

Loeng, H. & Hassel, A. 1986. Loddas næringsforhold ved iskanten. Sluttrapport. Havforskningsinstituttet rapport nr. FO8606, 15pp.

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. Hovedoppgave i marinbiologi. Institutt for fiskeri- og marinbiologi, Universitetet i Bergen, september 1993. 90 pp. + vedlegg.

Luka, G.I. & Ponomarenko, V.P., 1983. Seasonal and daily migrations and structure of capelin concentrations in the Barents Sea. ICES C.M. 1983/H:27. 16 pp

Melle, W and Skjoldal, H.R. 1994. Spawning and development of *Calanus* in the Barents Sea. C.M. 1994/L:22, Ref. D. Biological Oceanography Committee. 43 pp.

Melle, W., Hassel, A. & Knudsen, T. 1996. Hydrografi og planktonøkologi over Svalbardbanken om vinteren: Et mulig gytefelt for den vestlige bestandskomponenten av polartorsk. Havforskningsinstituttet, Rapport juli 1996. 48 sider.

Moe, K., Lystad, E., Nesse, S. & Selvik, J.R. 1993. Skadevirkninger av akutte oljesøl . Marint miljø. Statens forurensningstilsyn (SFT), 114 p.

Nelson-Smith, A., 1972. Oil pollution and marine ecology. Elek Science. London. 260 pp

NOU. 1980. Muligheter og konsekvenser ved petroleumfunn nord for 62° N. NOU 1980. nr 25

O'Sullivan, R.W. 1994 (ed.). The Environmental Impact of the Wreck of the *Braer*. The Ecological Steering Group on the oil spill in Shetland. The Scottish Office, Edinburgh. 207 s.

Rass, T. S. 1968. Spawning and development of polar cod. Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. 158: 135-137

Rey, F., 1993. Planteplanktonet og dets primærproduksjon i det nordlige Barentshavet. FiskerHav. 1993 (10): 1-39.

Rice, S.D. 1985. Effects of Oil on Fish, s. 157-182. Petroleum Effects in the Arctic Marine Environment (F.R. Egelhardt, red.). Elsevier Appl.Sci. Publ., London.

Sakshaug, E., Bjørge, A., Gulliksen, B. Loeng, H. & Mehlum, F. (red.) 1992. Økosystem Barentshavet. Universitetsforlaget, Oslo. 304s.

Serigstad, B., Stenevik, E. K., Mjøs, S. A. & Johnsen, R. I. 1997. Effektstudier av Trollolje på marine organismer i de frie vannmasser. Spesiell fokus på hvordan dispergeringsmidler påvirker giftighet og influensområde. Ocean Climate, Rapport, 58s. ISBN 82-7461-143-1

Shiu, W. Y., Bobra, M., Bobra, A.M., Maijanen, A., Suntio, L. & Mackay, D. 1990. The water solubility of crude oils and petroleum products. *Oil Chem. Pollut.* 7: 57-84.

Slagstad, D. & Stokke, S., 1994. Simulering av strømfelt, hydrografi, isdekke og primærproduksjon i det nordlige Barentshavet FiskerHav. 1994 (9):1-47

Sundby, S., Bjørke, H., Soldal, A. & Olsen, S. 1989. Mortality rates during the early life stages and year-class strength of Northeast Arctic cod (*Gadus morhua* L.): ICES rapp. Proc.-Verb., 191:351-358.

Sætre, R. & Bjørke, H. 1988. Oljevirkksomheten på Møre. Konsekvenser for fiskeressursene. HELP- rapport Nr. 19, 25 s.

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.

Vesin, J.-P., Leggett, W. C. & Able, K.,W.,1981. Feeding Ecology of Capelin (*Mallotus villosus*) in the Estuary and Western Gulf of St. Lawrence and its Multispecies Implications. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38:257-267

APPENDIX 1.

GENERELLE EGENSKAPER TIL OLJE

Olje som frigjøres i vannmassene vil umiddelbart inngå i en serie prosesser som over tid vil endre oljens sammensetning og kjemisk-fysiske egenskaper. Disse forvittrings- eller aldriingsprosessene vil samtidig være av betydning for organismenes eksponering for og respons på oljen.

Spredning og drift. Et oljesøl vil som funksjon av egen vekt og flyteeenskaper umiddelbart spre seg på havoverflaten i utslippets nærområde. I utslippets randområder vil det raskt dannes en tynn oljefilm ("blueshine"; 0,5-1,0 mm), mens tykkelsen på selve oljeflaket vil ligge i størrelsesorden 0,1-3 mm (Sakshaug et al. 1992). Den videre horisontale drift vil være en funksjon av vind, strøm og jordrotasjon. Transporthastigheten for drift i åpent hav kan anslås til 3% av vindhastigheten, mens flakets drivretning tilsvare ca. 15° avbøyning til høyre for vindretningen.

Fordampning. Fordampning innebærer tap av de letteste og mest flyktige komponenter til atmosfæren. Fordampningsraten er bestemt av vindhastighet, temperatur og overflateareal. For Ekofisk råolje, vil ca. 70% av fordampningen foregå i løpet av de første 24 timer etter utslippet. Så og si alle de letteste komponentene vil være fordampet i løpet av de første 3-4 døgn, og for en typisk Nordsjøolje representerer da gjenværende mengde olje på havet mellom 40 og 60% av de opprinnelige oljemengder (FOH 1984).

Løselighet. Løselighet innebærer utvasking av hydrokarbonkomponenter på molekylær skala, hvor løseligheten i sjøvann varierer fra meget høy til nærmest uløselig. I den grad komponentene går i løsning vil dette i hovedsak foregå før oljen danner vann-i-olje emulsjon. Under et ferskt oljeflak vil den vannløselige fraksjonen (WSF) overveiende bestå av aromater/polare forbindelser (90-95%) og i mindre grad mettede, tyngre komponenter. Etter få dager vil dette forholdet være motsatt, og konsentrasjonen av total WSF vil være falt til en brøkdel av utgangskonsentrasjonen (10-20%).

Dispergering og nedblanding; Emulsjonsdannelse. Dette er prosesser knyttet til bølgenergi, hvor oljen brytes opp i dråper (olje-i-vann emulsjon) og samtidig forårsaker en vertikal transport av olje til de underliggende vannmasser. Avhengig av vindstyrken, kan olje transporteres til relativt store dyp. Ved *Braer*-sølet ble olje blandet ned til minst 100 m dyp (The Scottish Office 1993). Ved en vindstyrke på 14-20 m/s (stiv til sterk kuling), vil nedblandingsraten for en Nordsjøolje ligge i størrelsesorden 24-45% (FOH 1984). I tillegg blandes vannråper inn i oljen (vann-i-olje emulsjon); en tykkoljefase kan etter kort tid (24 timer) inneholde opp til 80-90% vann (Daling 1991). Dette vil naturlig nok medføre en tilsvarende økning i det volum som oljevernberedskapen skal håndtere. I Barentshavet vil vind av samme styrke som nevnt ovenfor være relativt hyppig i vinterhalvåret samtidig med at stabiliteten er lav.

Sedimentasjon. Vertikal transport er i første rekke bestemt av oljens egenvekt/ alder og bølgeenergien. For åpent hav er det antatt at sedimentasjonsratene er såvidt begrensede at kontaminering på dypere vann og på havbunnen vil være av liten betydning. Oljdråper kan imidlertid binde/ klebe seg til partikler i vannsøylen eller fra land, slik at den samlede oppdrift

blir negativ. Dette kan, som i tilfellet *Braer*, føre til en langt mer betydelig kontaminering av dypere deler av sjøsonen. Kombinert effekt av høy bølgeenergi og innblanding av partikler i oljen var trolig årsaken til at ca. 30% av de totale oljemengdene fra *Braer* sedimenterte på havbunnen ned til 100 m dyp (The Scottish Office 1993).

Biodegradering innebærer de naturlige forekommende mikroorganismenes (bakterier og sopp) evne til nedbrytning/ omsetning av oljehydrokarboner. Prosessen vil starte umiddelbart etter at olje er tilført vannmassene, hvor ratene er en funksjon av oljens kjemiske sammensetning, temperatur, næringssalter og tilgjengeligheten av oksygen og andre elektronakseptorer. Rettkjedete og lavmolekylære hydrokarboner er lettest nedbrytbare, mens forgrenede og tyngre molekyler, som feks. PAH, vil degraderes langsomt.

Fotooksidasjon innebærer en rekke kompliserte oksidasjonsreaksjoner initiert av sollys i UV-spektrret og i nærvær av oksygen. Reaksjonene er mest uttrykt for aromatene, med dannelse av overveiende polare forbindelser som fenoler, alkoholer samt flere syrekomponenter (Daling & Brandvik 1991). Fotooksidasjon bidrar trolig relativt lite til det samlede budsjettet i nedbrytningsprosessen, men kan spille en viktig rolle ved å frigjøre komponenter som da lettere kan brytes ned på annen måte. Flere av sluttproduktene fra fotooksidasjon kan være langt giftigere enn forbindelsene var i utgangspunktet.

Litteratur

Daling, P. 1991. Forvitring av oljesøl på sjøen, kjemisk dispergering og oljens vannløselige fraksjoner. S. 36-52 i: Moe, K.A. & Futsæter, G. (red.) "Rapport fra et arbeidsmøte hos SFT 26. sept. 1991." Olje- og energidepartementet/ AKUP. 66 pp.

Daling, P. & Brandvik, P.J. 1991. Characterization and prediction of the weathering properties of oils at sea - A manual for the oils investigated in the DIWO project. DIWO report no. 16/ IKU rapport nr. 02.0786.00/16/91.

FOH. 1984. The fate and significance of oil in the sea. Final report from the Norwegian Marine Pollution Research and Monitoring Programme (FOH) 1976-84. The Ministry of Environment, Oslo.

Sakshaug, E., Bjørge, A., Gulliksen, B. Loeng, H. & Mehlum, F. (red.) 1992. Økosystem Barentshavet. Sluttrapport fra Pro Mare prosjektet. NAVF/ Norges Fiskeriforsknings-råd/ Miljøverndep. Mesna-Trykk, Lillehammer.

O'Sullivan, R.W. 1994 (ed.). The Environmental Impact of the Wreck of the *Braer*. The Ecological Steering Group on the oil spill in Shetland. The Scottish Office, Edinburgh. 207 s.

Sætre, R. & Bjørke, H. 1988. Oljevirkksomheten på Møre. Konsekvenser for fiskeressursene. HELP- rapport Nr. 19, 25 s.

The Scottish Office 1993. An interim report on survey and monitoring, May 1993. The ecological steering group on the oil spill in Shetland, The Scottish Office, Environmental department. 45 pp.

APPENDIKS 2.

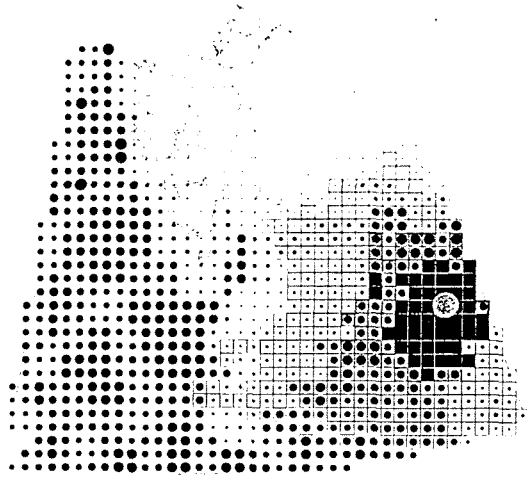
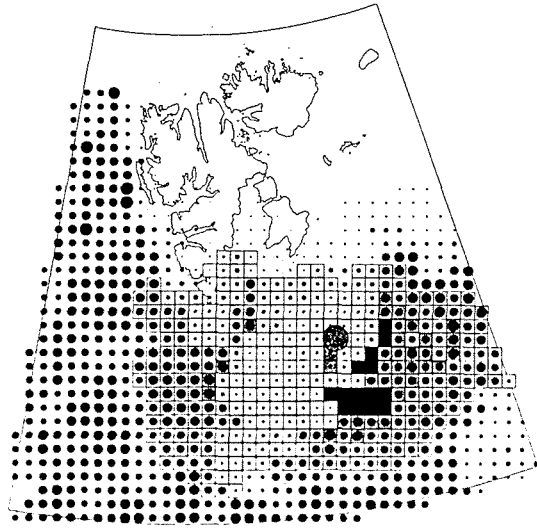
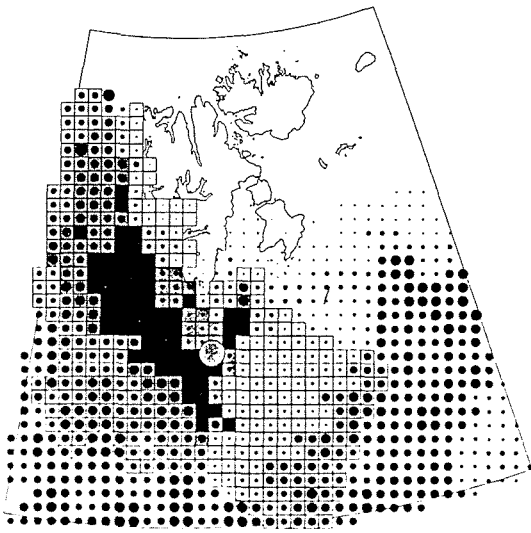
RESULTATER FRA SIMPACT-MODELLEN

SIMPACT-modellen er kjørt for alle arter som har en sårbarhetsindeks >0 i Tabell 4 (side 22). Alle tre utslippspunkter (side 2) er benyttet. Resultatet av alle disse modellkjøringene er vist i form av figurer i dette appendikset. Resultatet er oppsummert i Tabellene 5-7 (side 23). På figurene er skaden delt i 4 grupper etter Olje- og energidepartementets gradering: ubetydelig, liten, middels og stor. Som påpekt i hovedrapporten burde de to siste etter HIs oppfatning vært karakterisert som stor og meget stor. Skalaen er som følger når den totale ressurs innenfor hele området er satt til 1 (100 %):

0.0 - 0,03	ubetydelig
0.031 - 0.10	liten
0.101 - 0.20	middels
0.021 - 1.0	stor

I tillegg til skadeomfanget i de enkelte ruter, er den relative fordeling av hver ressurs vist som svarte fyllte sirkler. Størrelsen på sirklene angir den relative mengden av ressursen innenfor den enkelte rute. Områdeindeksen for hver figur finnes samlet i Tabellene 5-7 (side 23).

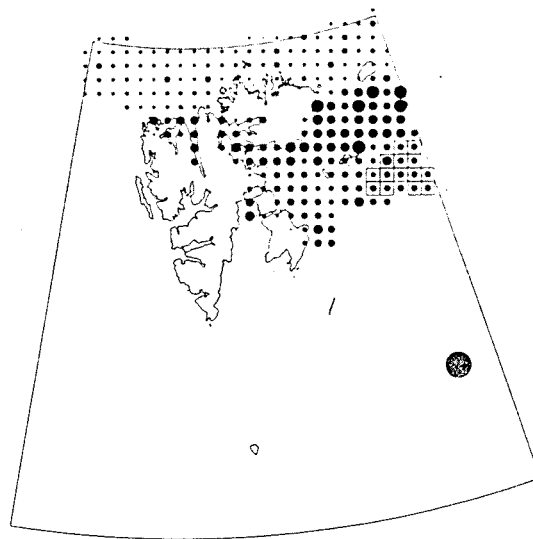
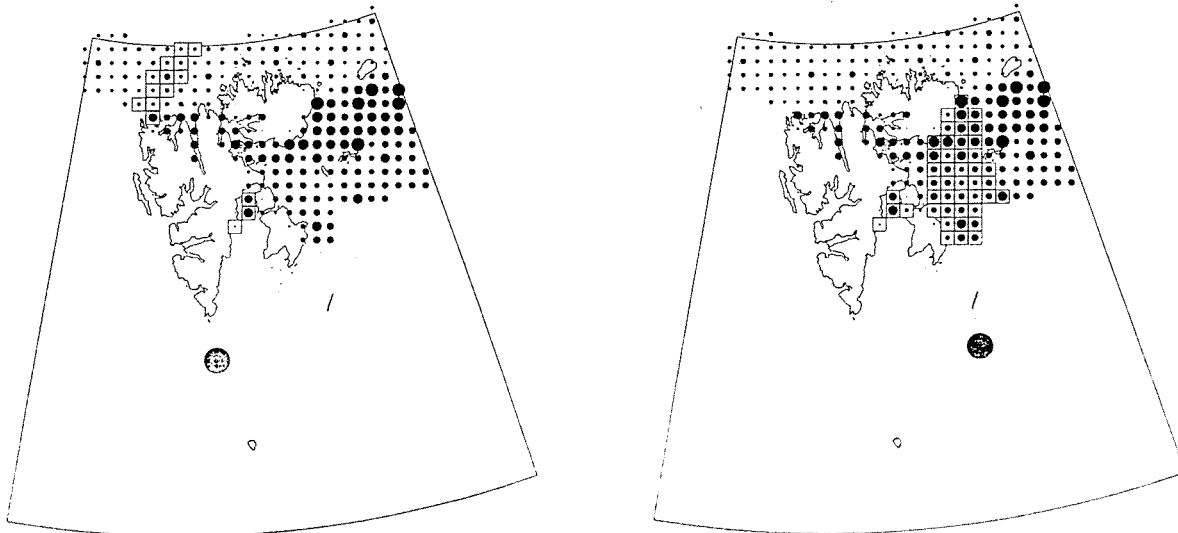
Det er en side for hver art i det enkelte kvartal. Alle tre utslippspunktene er tatt med slik at **vestre** utslippspunkt er oppe til venstre, **midt**re utslippspunkt oppe til høyre og **østre** utslippspunkt nederst. Utslippspunktets posisjon er markert med en stor grå sirkel.



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 1 a, b, c. Art: *Calanus finmarchicus / glacialis* Stadium: egg/larver Data fra: mai

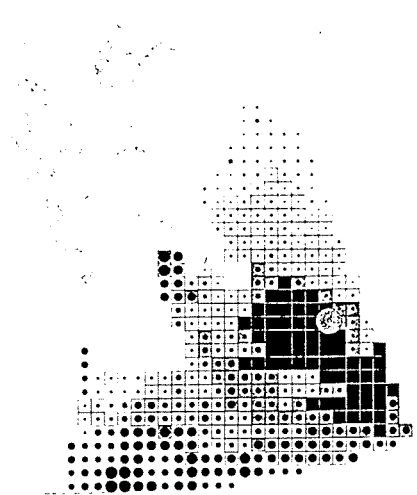
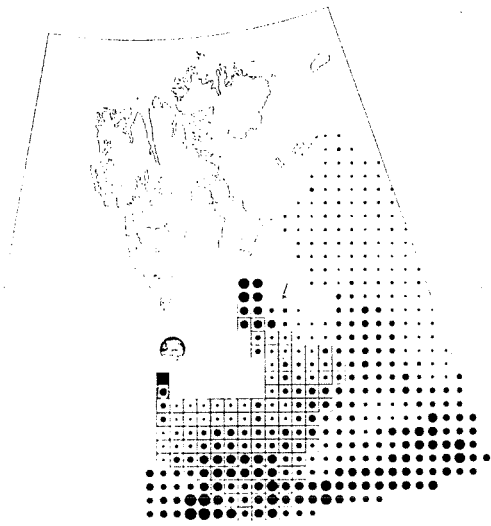
Oljeutslipp 2 .kvarartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 2 a, b, c. Art: *Calanus finmarchicus / glacialis* Stadium: egg/larver Data fra: august

Oljeutslipp 3 . kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 3 a, b, c. Art: *Thysanoessa inermis*

Stadium: voksne Data fra: flere år

Oljeutslipp 2 .kvartert

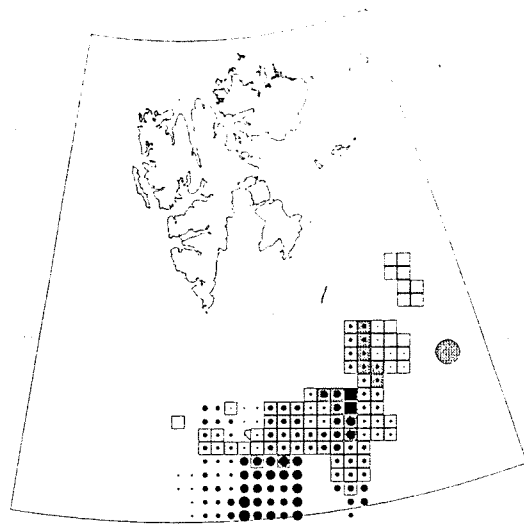
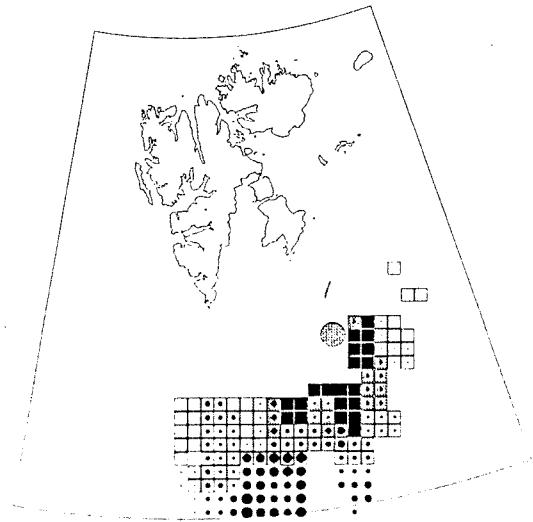
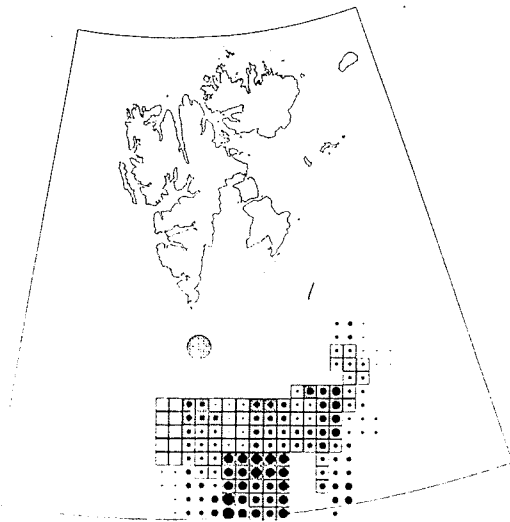


ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 4 a, b, c. Art: *Thysanoessa inermis*

Stadium: voksne Data fra: flere år

Oljeutslipp 3 .kvarartal



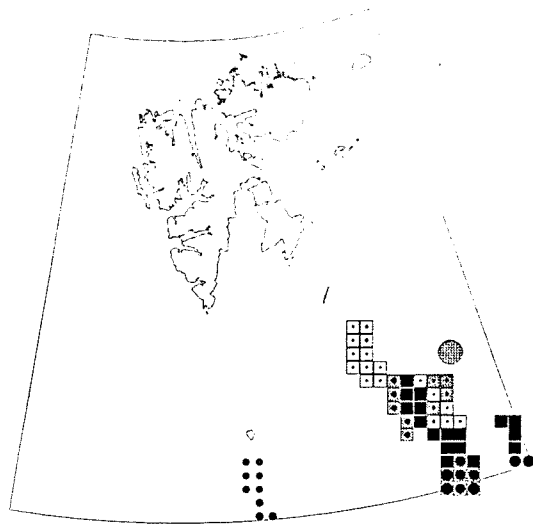
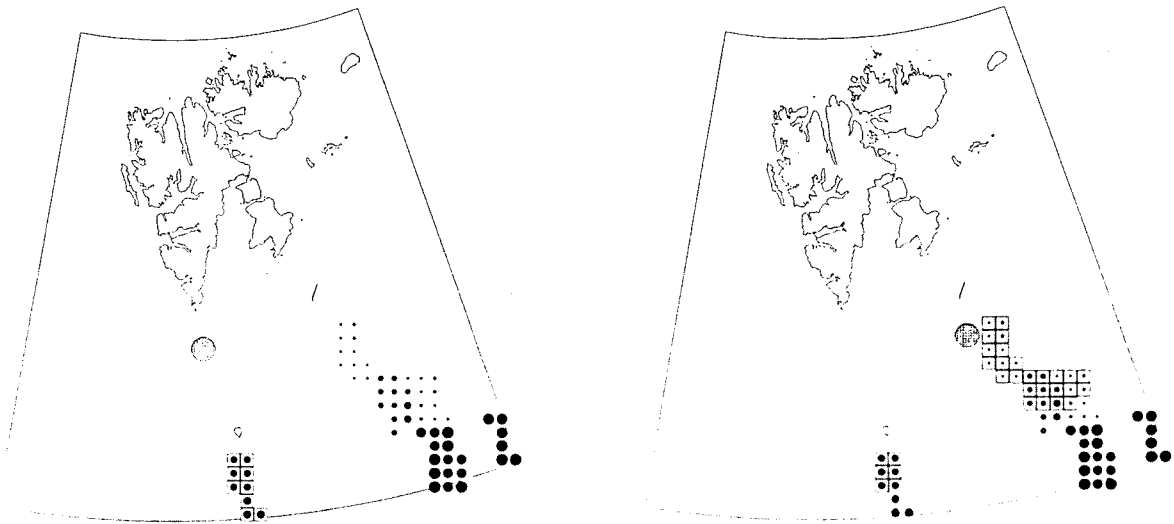
ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 5 a, b, c. Art: *Thysanoessa inermis*

Stadium: larver

Data fra: mai

Oljeutslipp 2 .kvartert



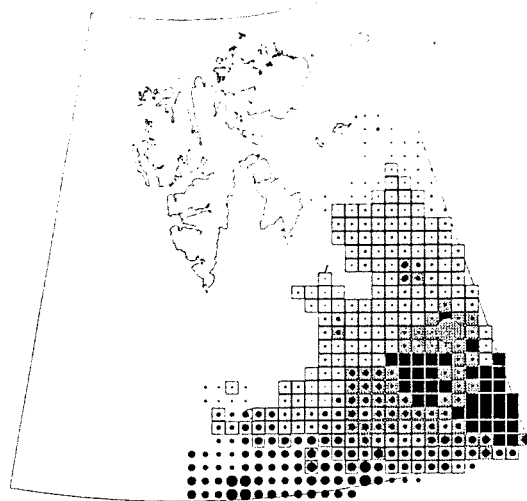
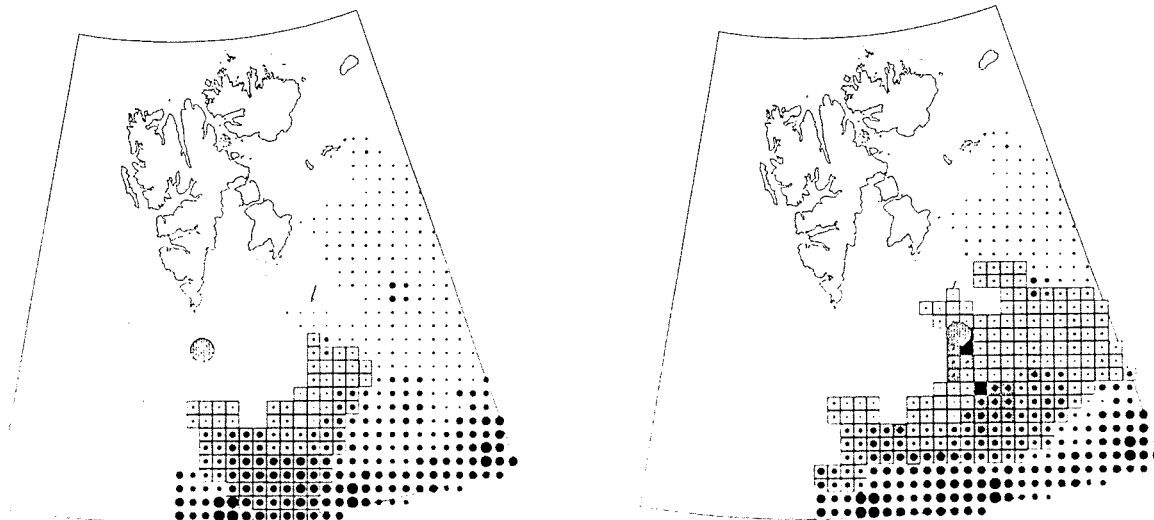
ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 6 a, b, c. Art: *Thysanoessa inermis*

Stadium: larver

Data fra: juli

Oljeutslipp 3 . kvartal

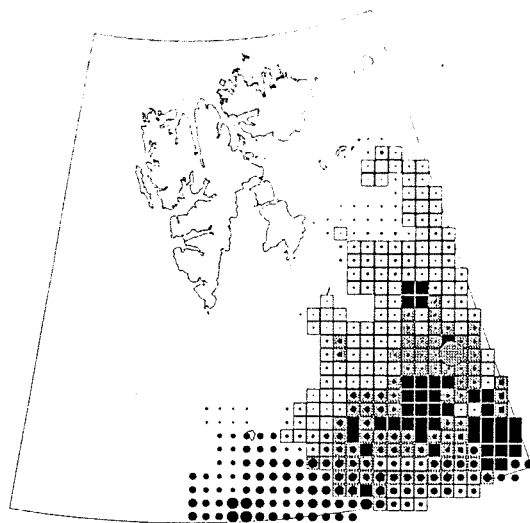
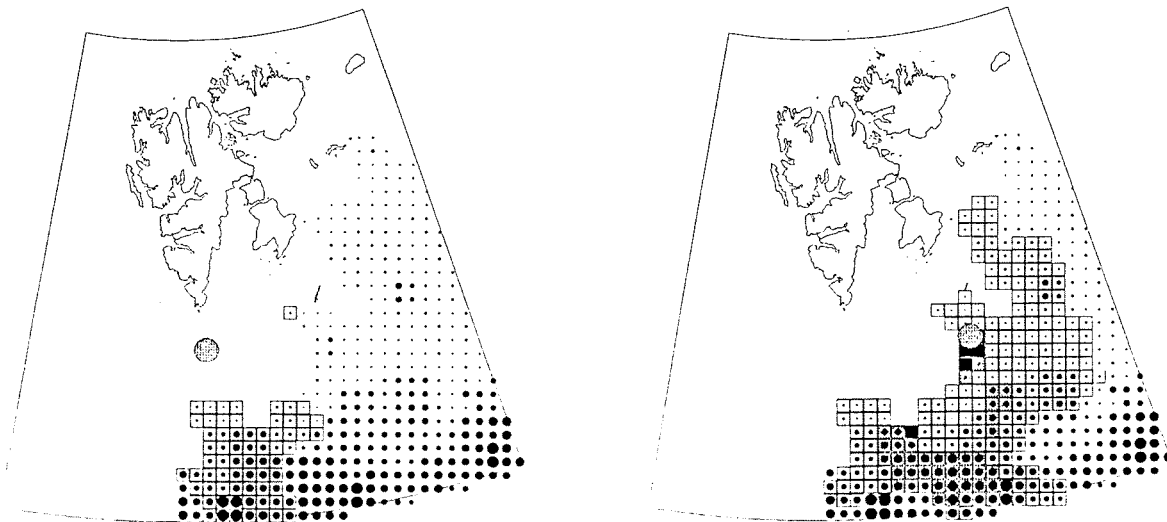


ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 7 a, b, c. Art: *Thysanoessa longicaudata*

Stadium: voksne Data fra: flere år

Oljeutslipp 2 . kvartal



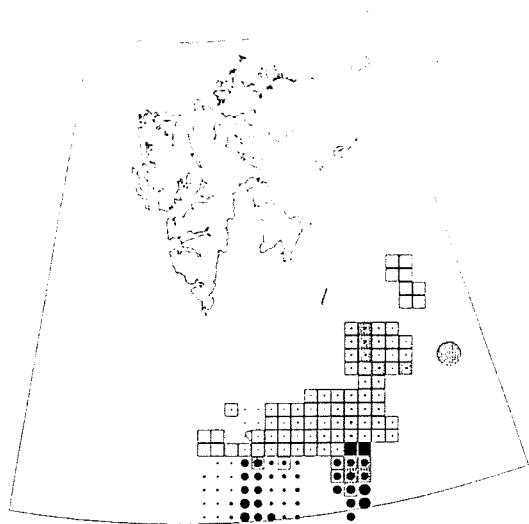
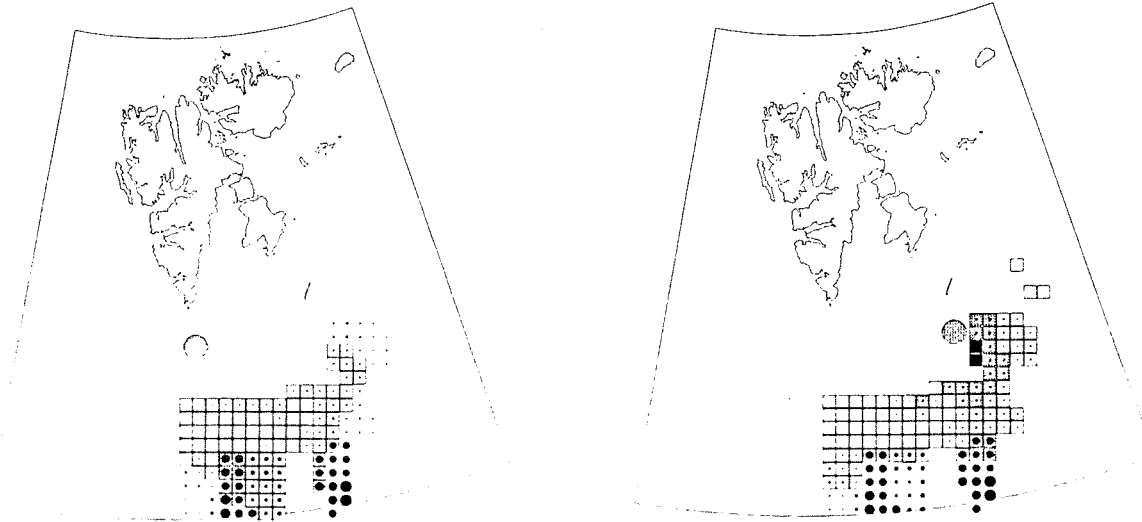
ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 8 a, b, c. Art: *Thysanoessa longicaudata*

Stadium: voksne

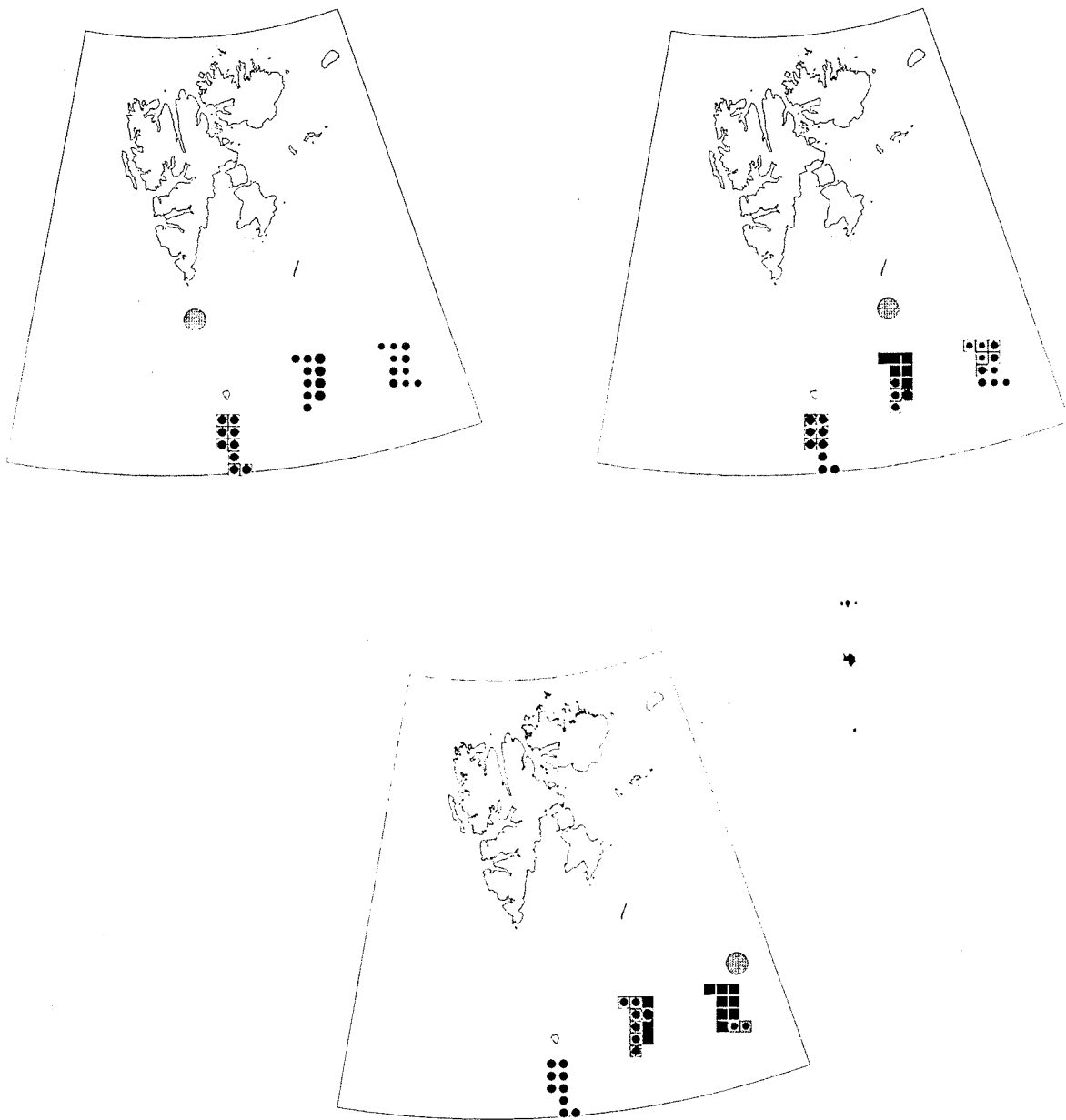
Data fra: flere år

Oljeutslipp 3 . kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 9 a, b, c. Art: *Thysanoessa longicaudata* Stadium: larver Data fra: mai Oljeutslipp 2 . kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 10 a, b, c. Art: *Thysanoessa longicaudata*

Stadium: larver

Data fra: juli

Oljeutslipp 3 . kvartal

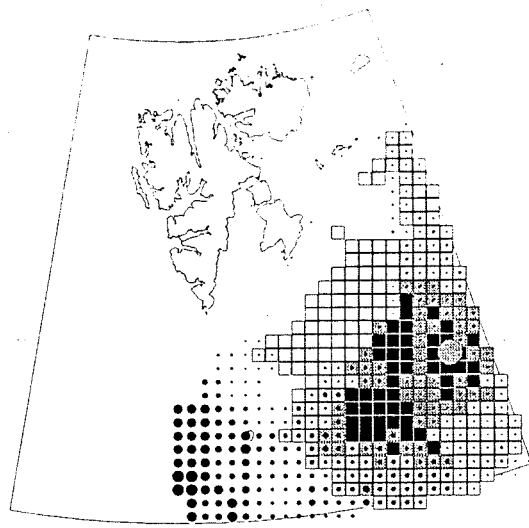
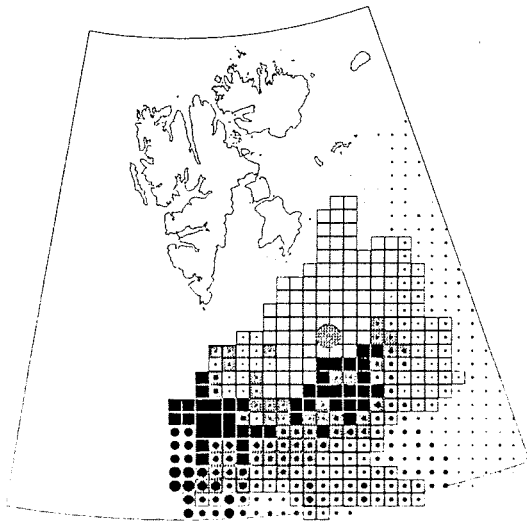
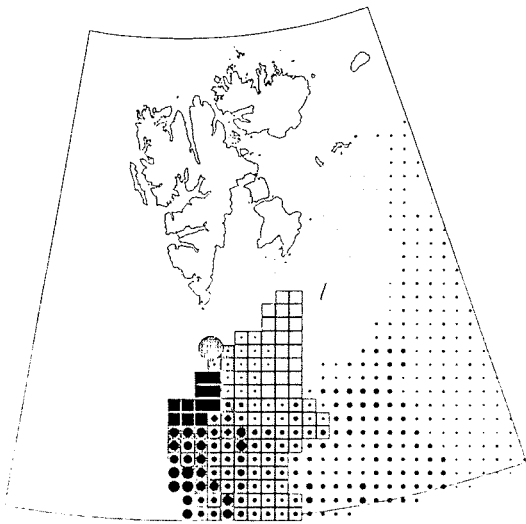


ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 11 a, b, c. Art: *Themisto abyssorum*

Stadium: voksne Data fra: flere år

Oljeutslipp 2 . kvartal



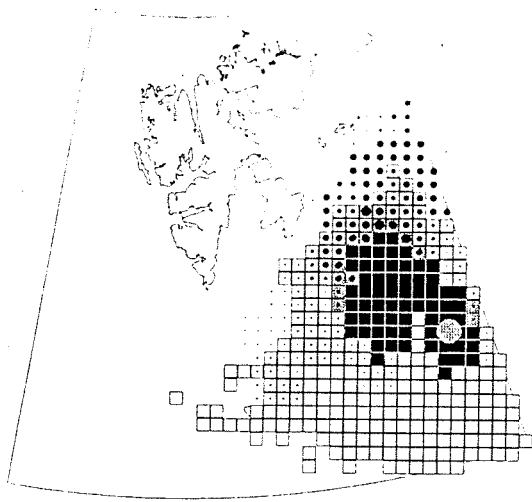
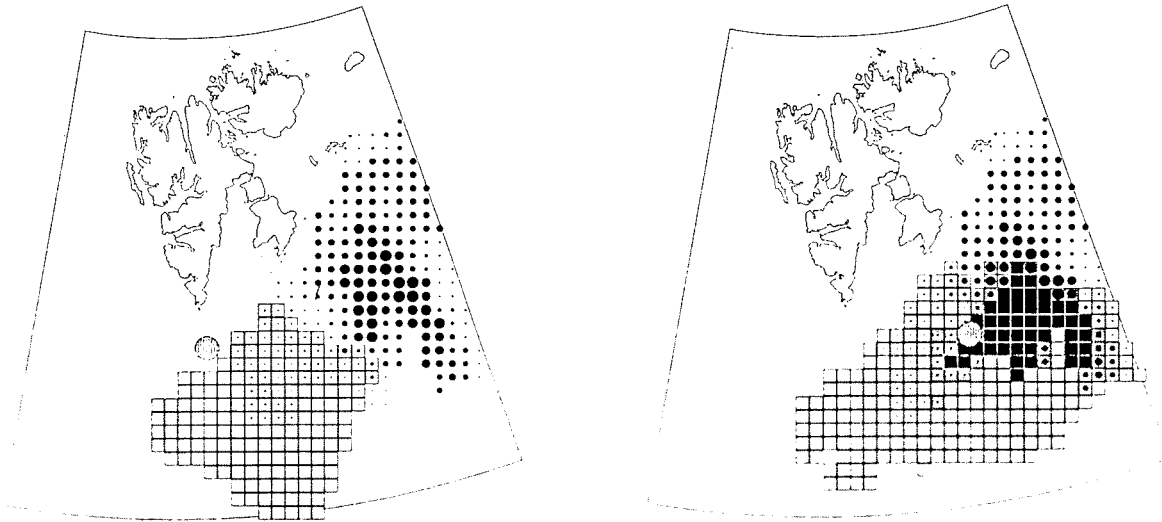
ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 12 a, b, c. Art: *Themisto abyssorum*

Stadium: voksne

Data fra: flere år

Oljeutslipp 3 . kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 13 a, b, c. Art: *Themisto libellula*

Stadium: voksne Data fra: flere år

Oljeutslipp 2 . kvartal

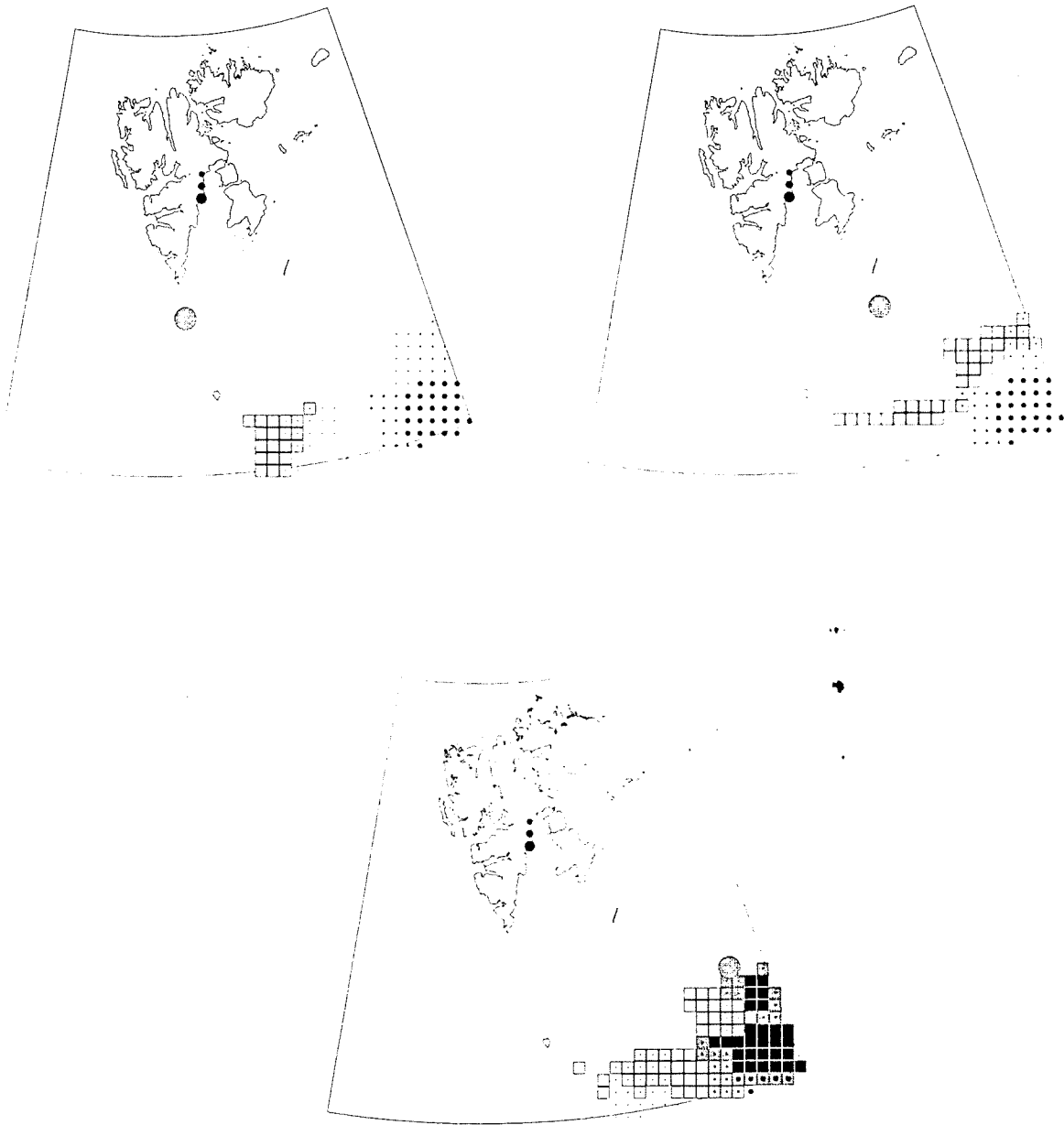


ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 14 a, b, c. Art: *Themisto libellula*

Stadium: voksne Data fra: flere år

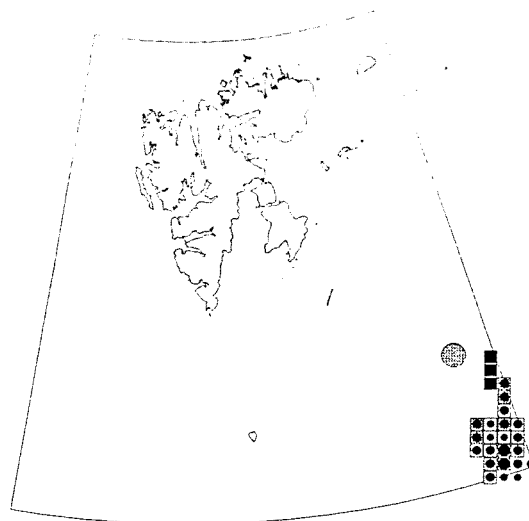
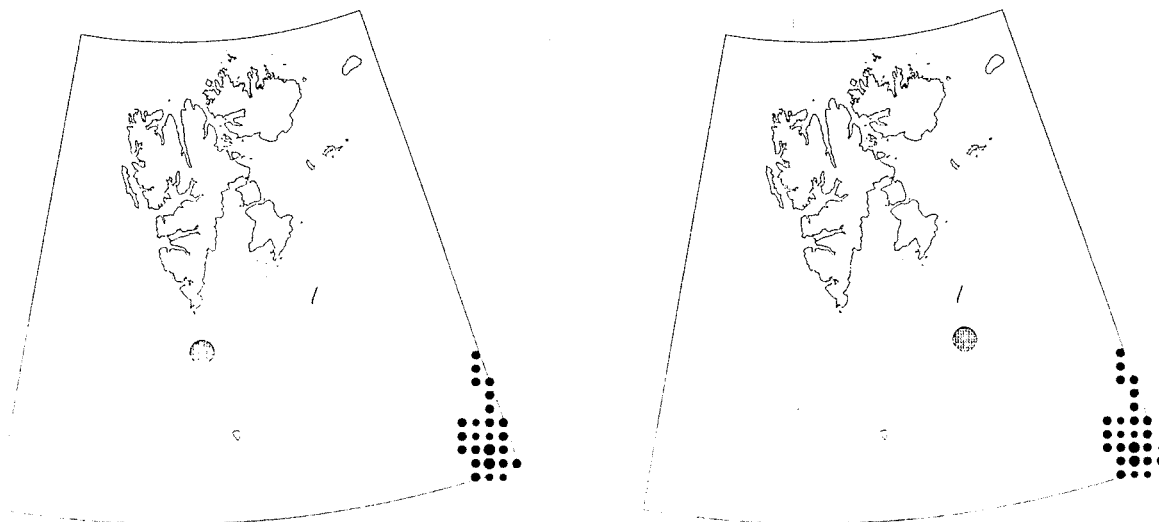
Oljeutslipp 3 .kvarartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 15 a, b, c. Art: Lodde

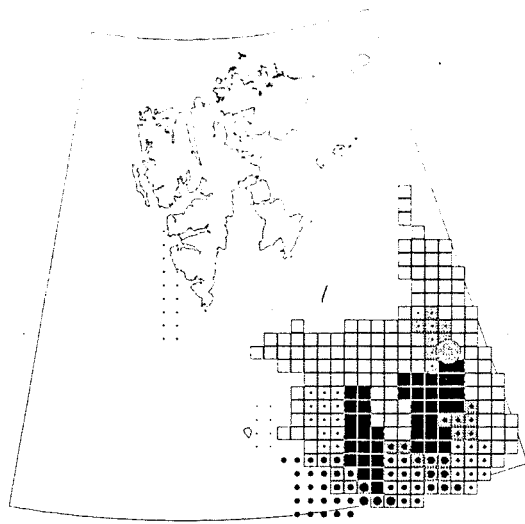
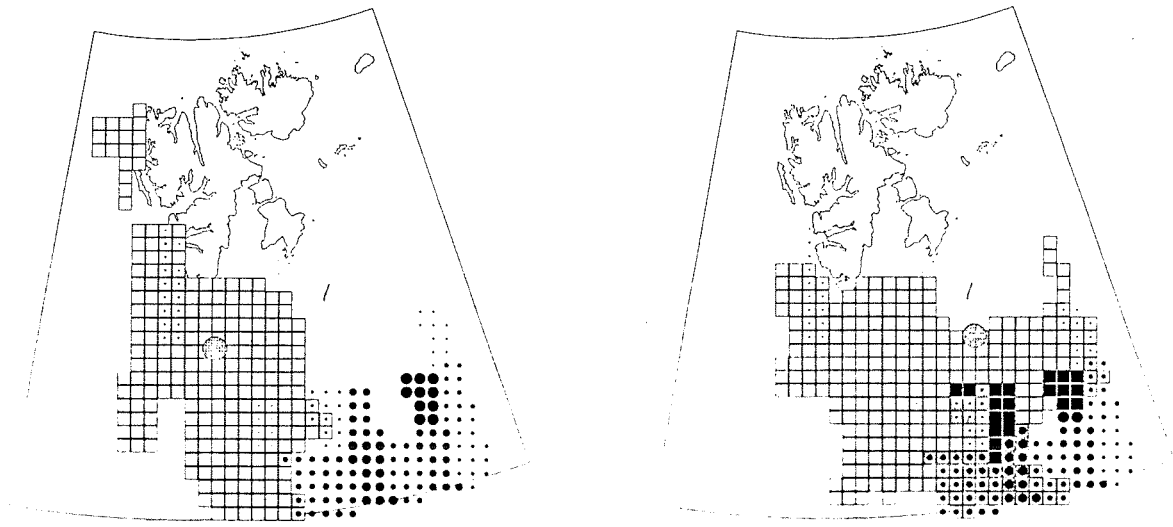
Stadium: larver Data fra: mai 1989 Oljeutslipp 2 . kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 16 a, b, c. Art: Lodde

Stadium: larver Data fra: august 1975 Oljeutslipp 3 . kvartal



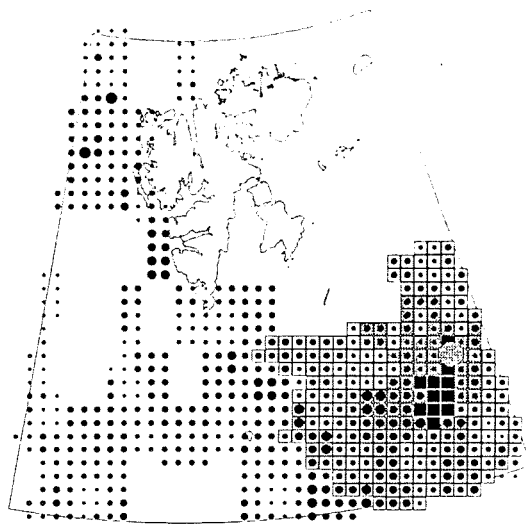
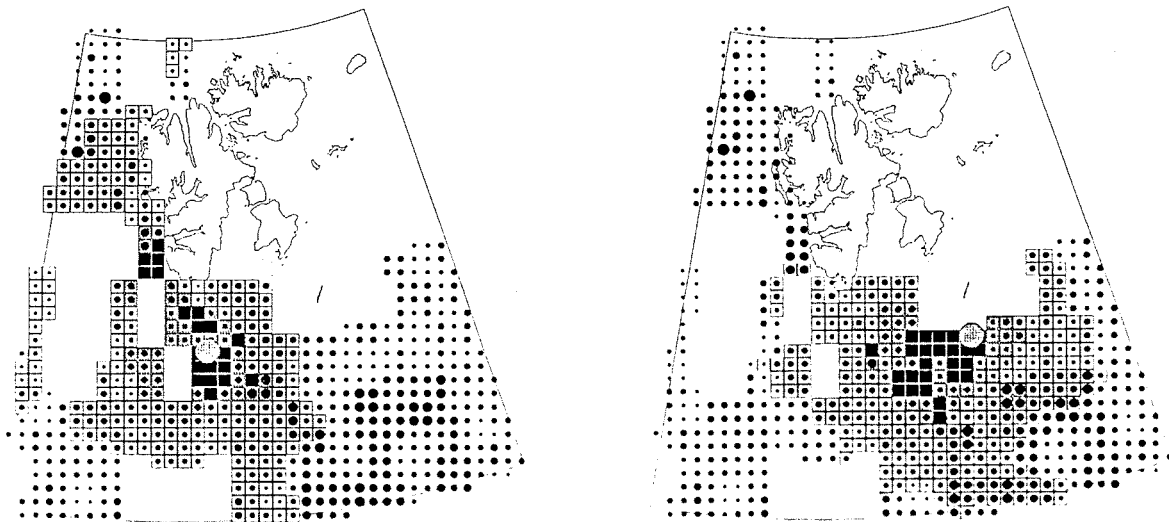
ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 17 a, b, c. Art: Lodde

Stadium: larver

Data fra: august 1981

Oljeutslipp 3 . kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 18 a, b, c. Art: Lodde

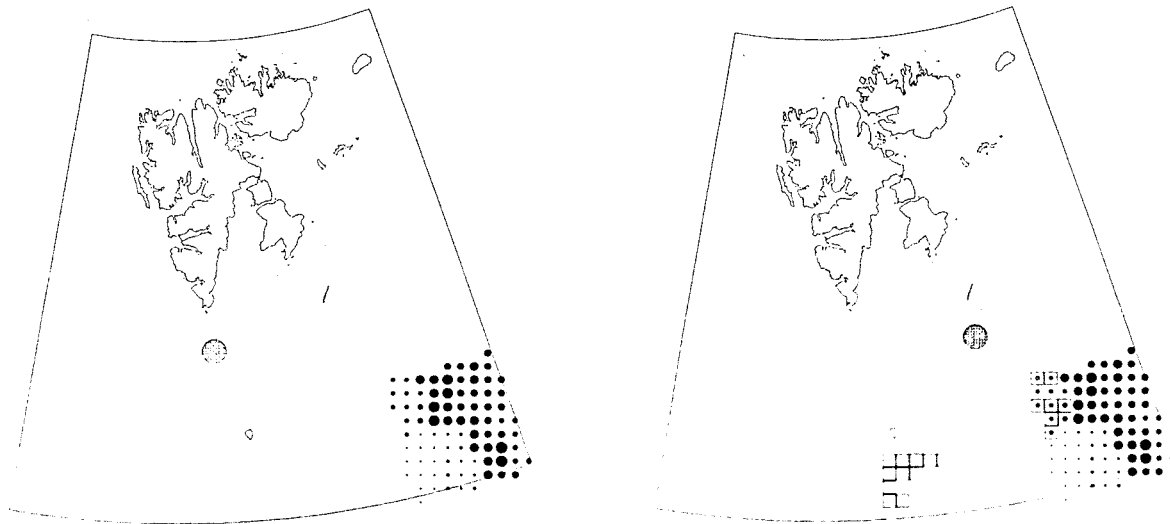
Stadium: larver Data fra: august 1983a Oljeutslipp 3 . kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 19 a, b, c. Art: Lodde

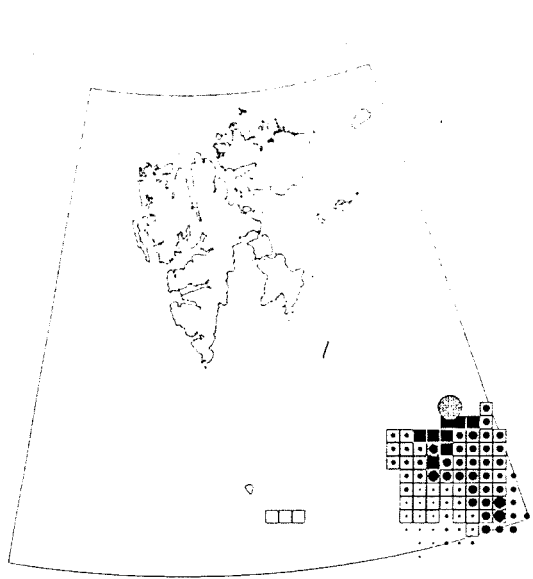
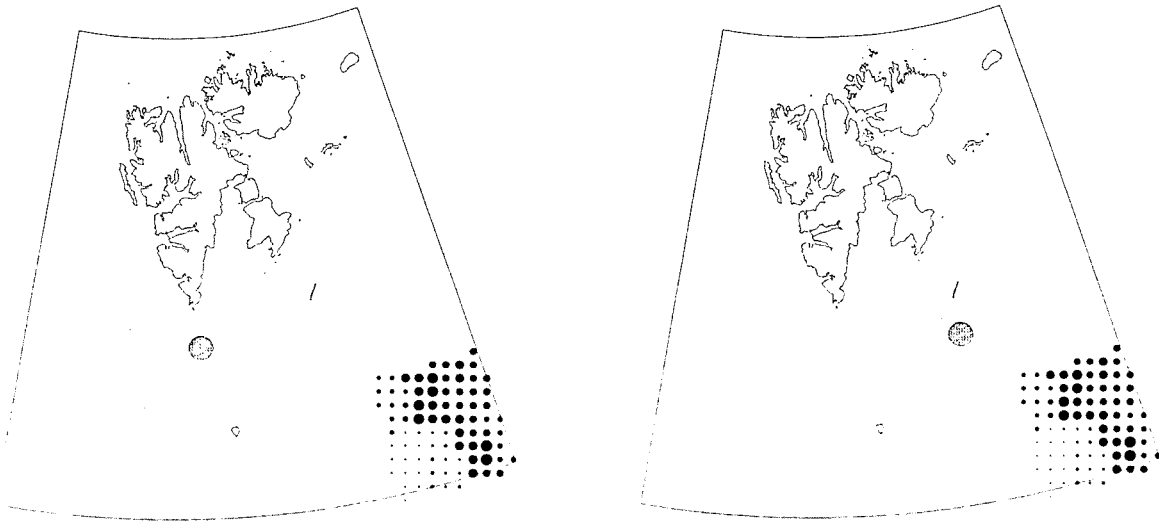
Stadium: larver Data fra: august 1983b Oljeutslipp 3 .kvarter



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 20 a, b, c. Art: Lodde

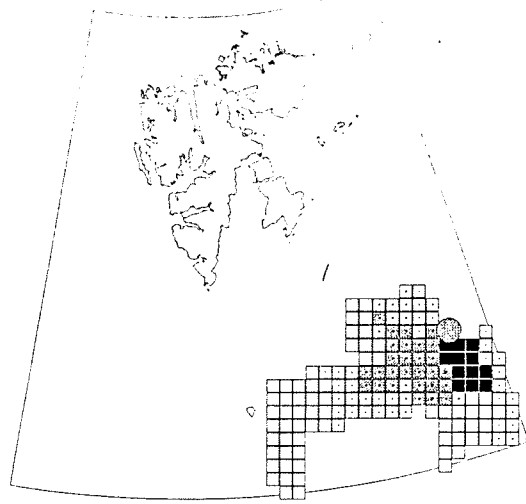
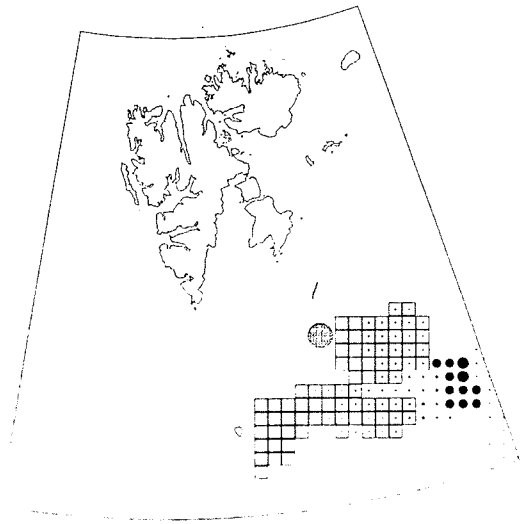
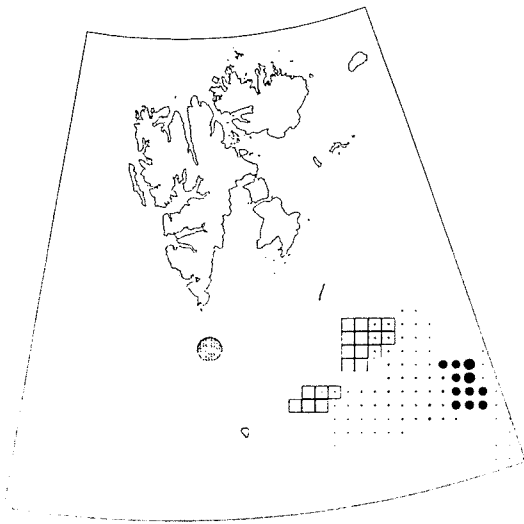
Stadium: 1-åringer Data fra: januar 1980 Oljeutslipp 4 .kvarartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 21 a, b, c. Art: Lodde

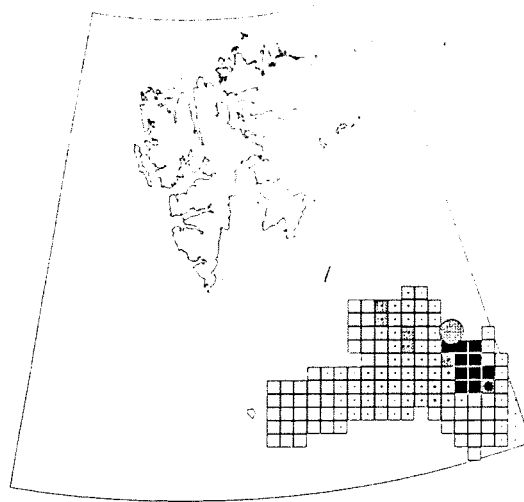
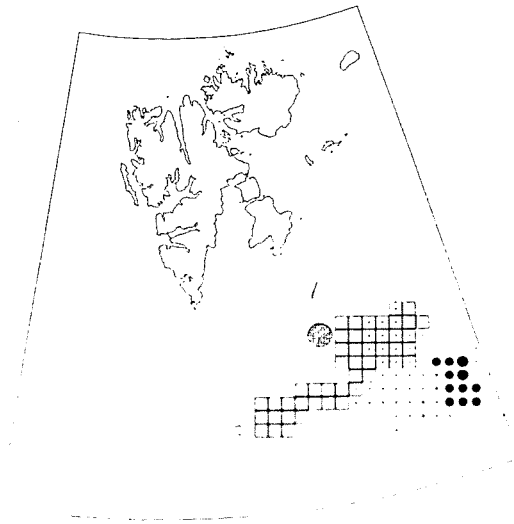
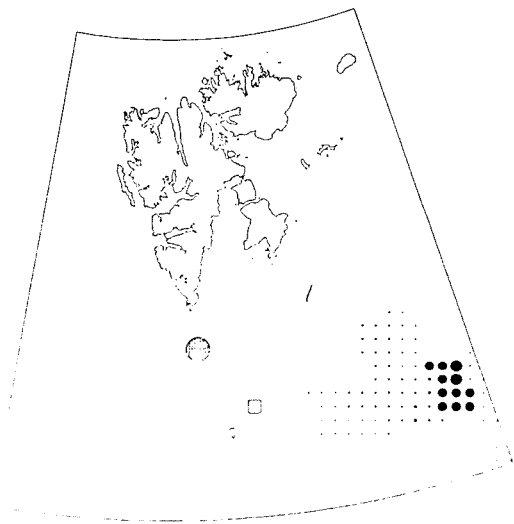
Stadium: 1-åringer Data fra: januar 1980 Oljeutslipp 1 .kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 22 a, b, c. Art: Lodde

Stadium: 1-åringer Data fra: februar 1989 Oljeutslipp 4 .kvarartal

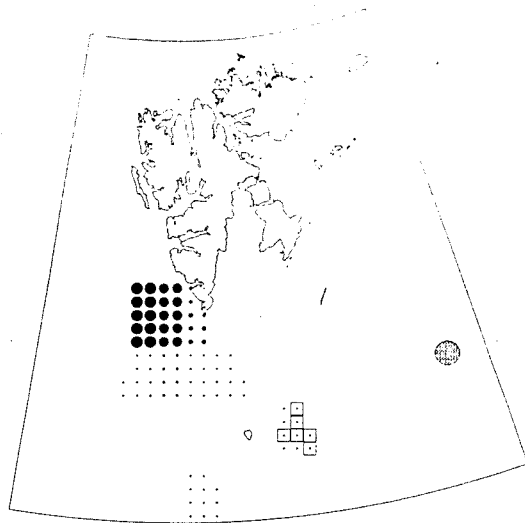
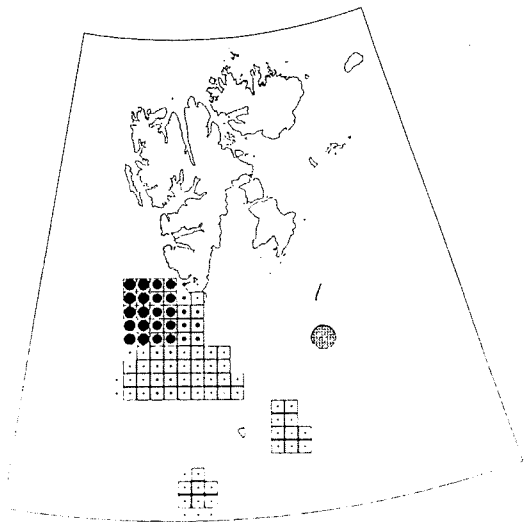
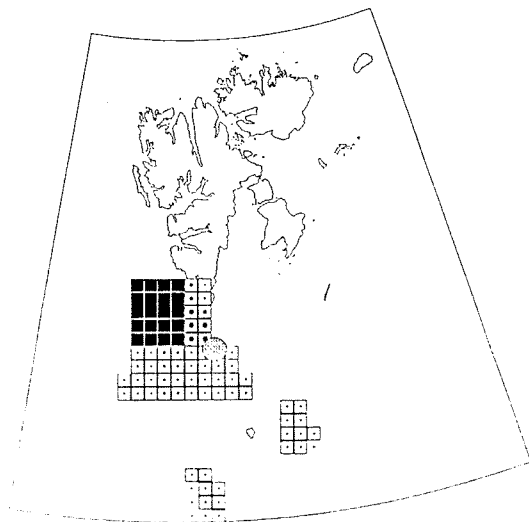


..
*
.

ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 23 a, b, c. Art: Lodde

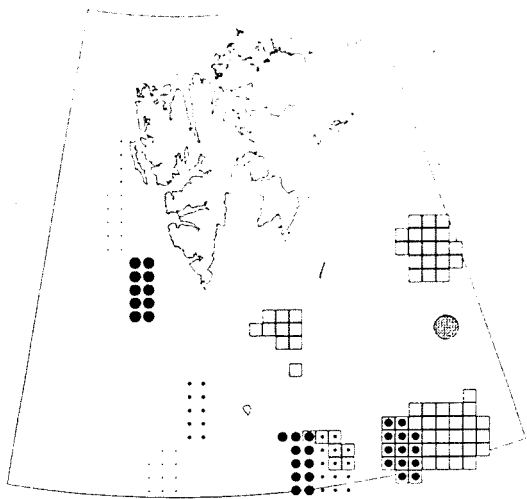
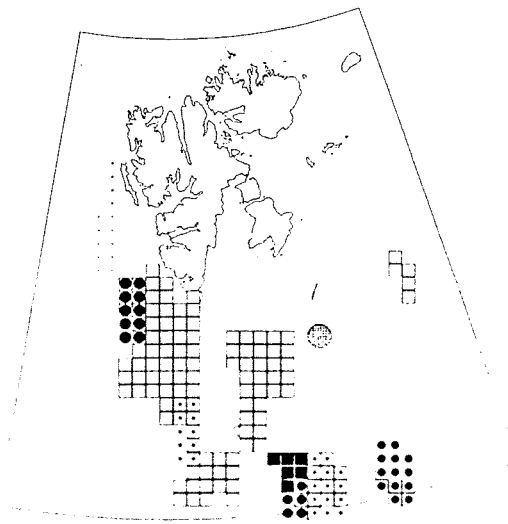
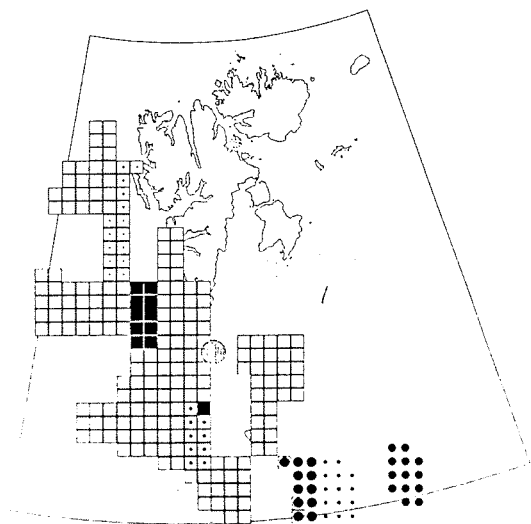
Stadium: 1-åringer Data fra: februar 1989 Oljeutslipp 1 .kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 24 a, b, c. Art: Sild

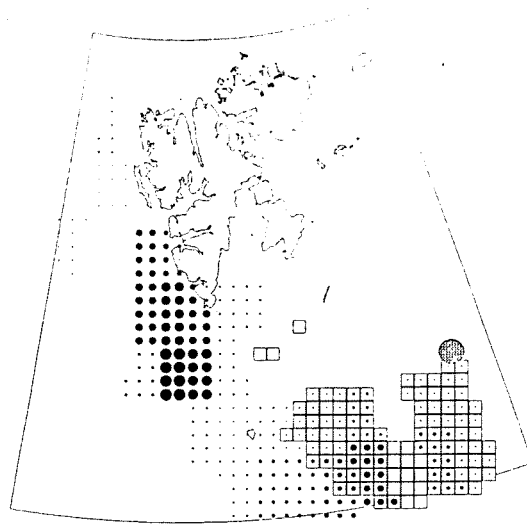
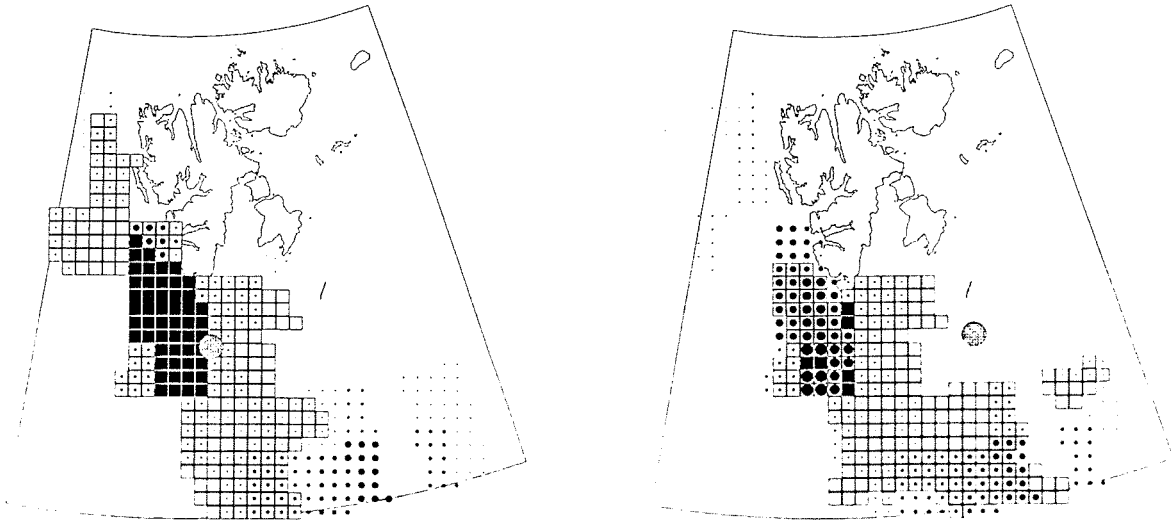
Stadium: larver Data fra: august 1981 Oljeutslipp 3 .kvartert



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 25 a, b, c. Art: Sild

Stadium: larver Data fra: august 1983 Oljeutslipp 3 . kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 26 a, b, c. Art: Torsk

Stadium: larver

Data fra: august 1981

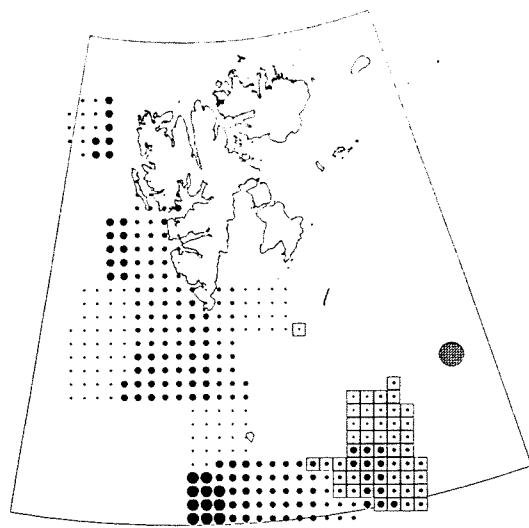
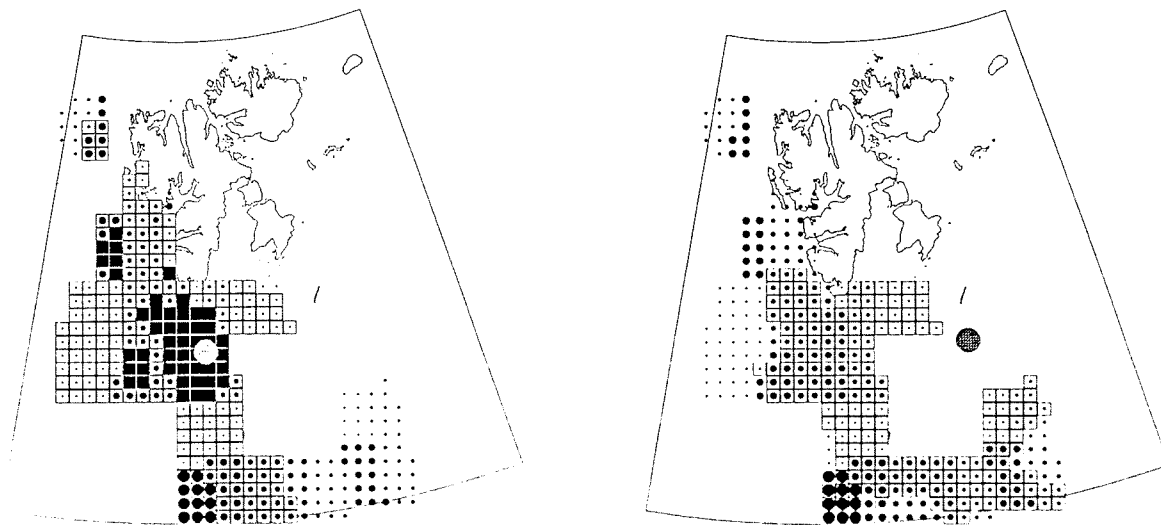
Oljeutslipp 3 . kvartal



ubetydelige små middels store

Figur A 27 a, b, c. Art: Torsk

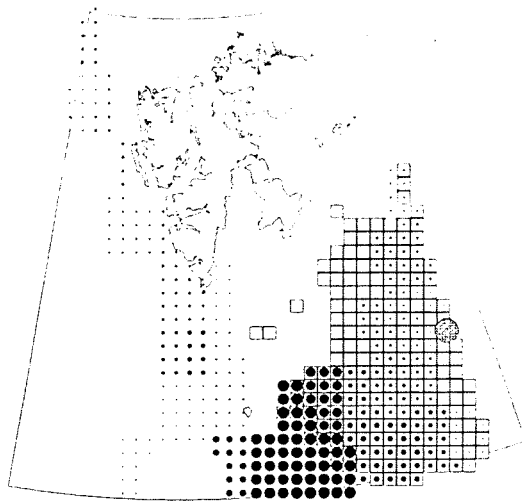
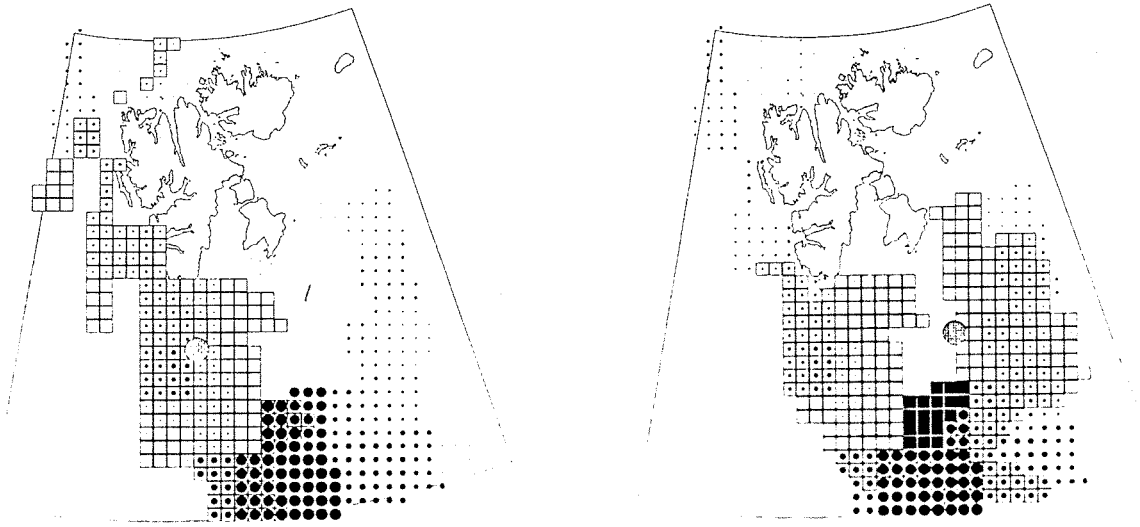
Stadium: larver Data fra: august 1983 Oljeutslipp 3 .kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 28 a, b, c. Art: Hyse

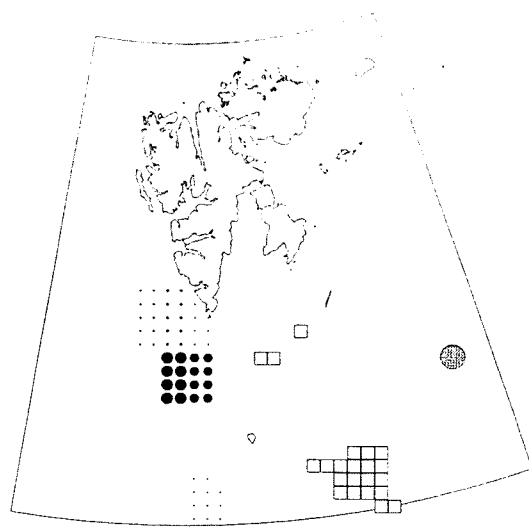
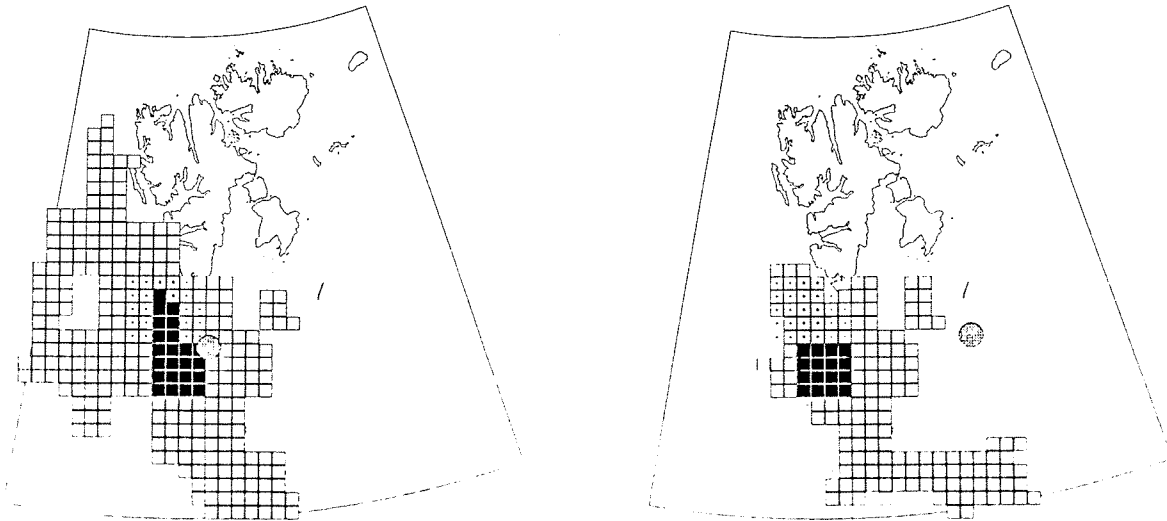
Stadium: larver Data fra: august 1981 Oljeutslipp 3 . kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 29 a, b, c. Art: Hyse

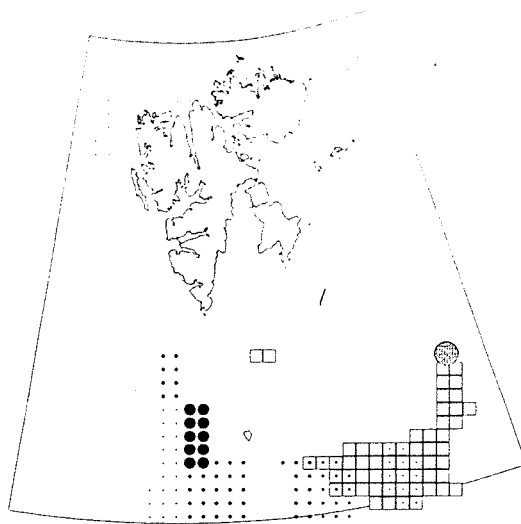
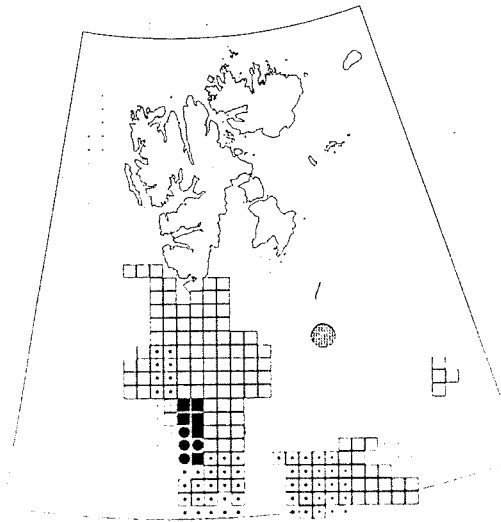
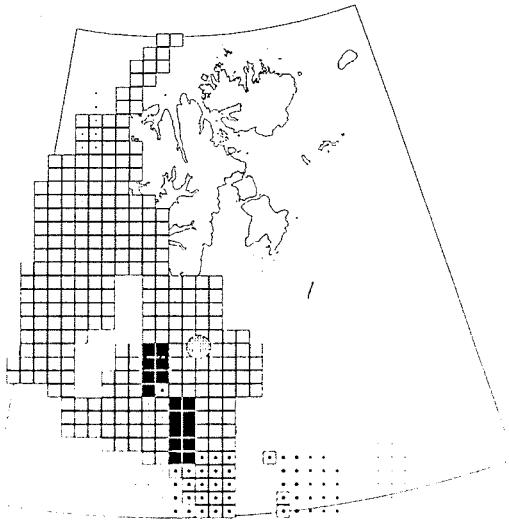
Stadium: larver Data fra: august 1983 Oljeutslipp 3 .kvarter



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 30 a, b, c. Art: Uer

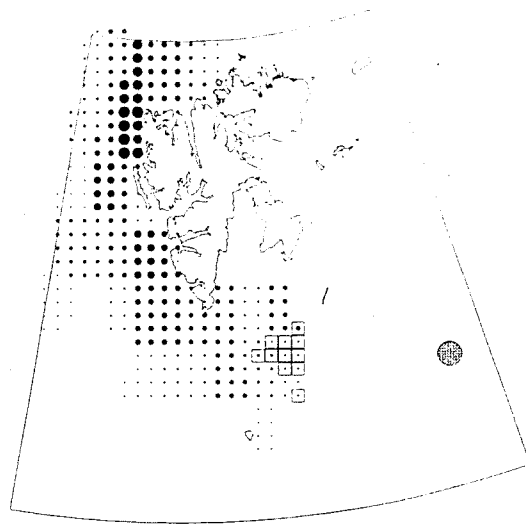
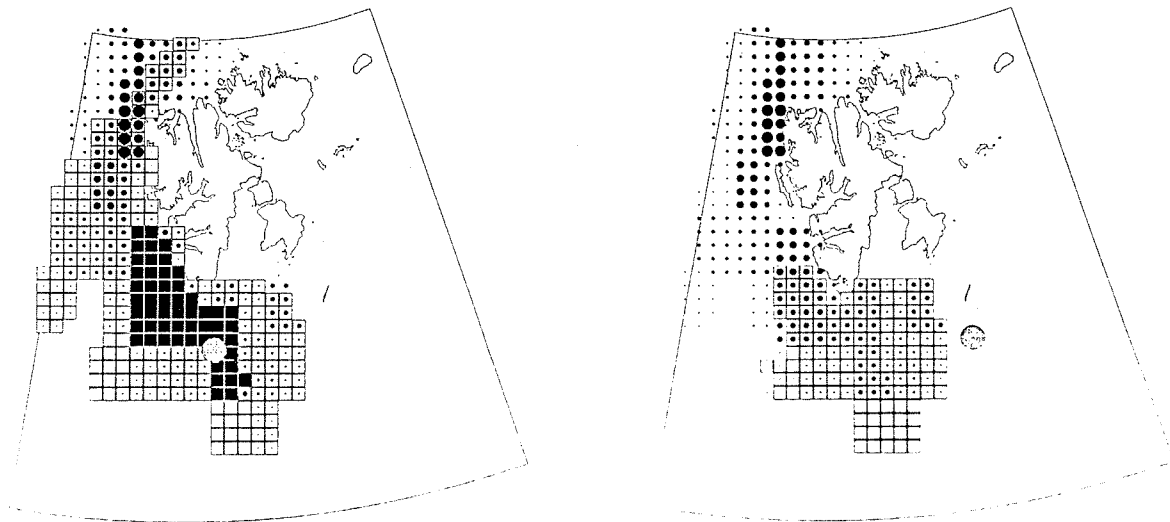
Stadium: larver Data fra: august 1981 Oljeutslipp 3 . kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 31 a, b, c. Art: Uer

Stadium: larver Data fra: august 1983 Oljeutslipp 3 . kvartal



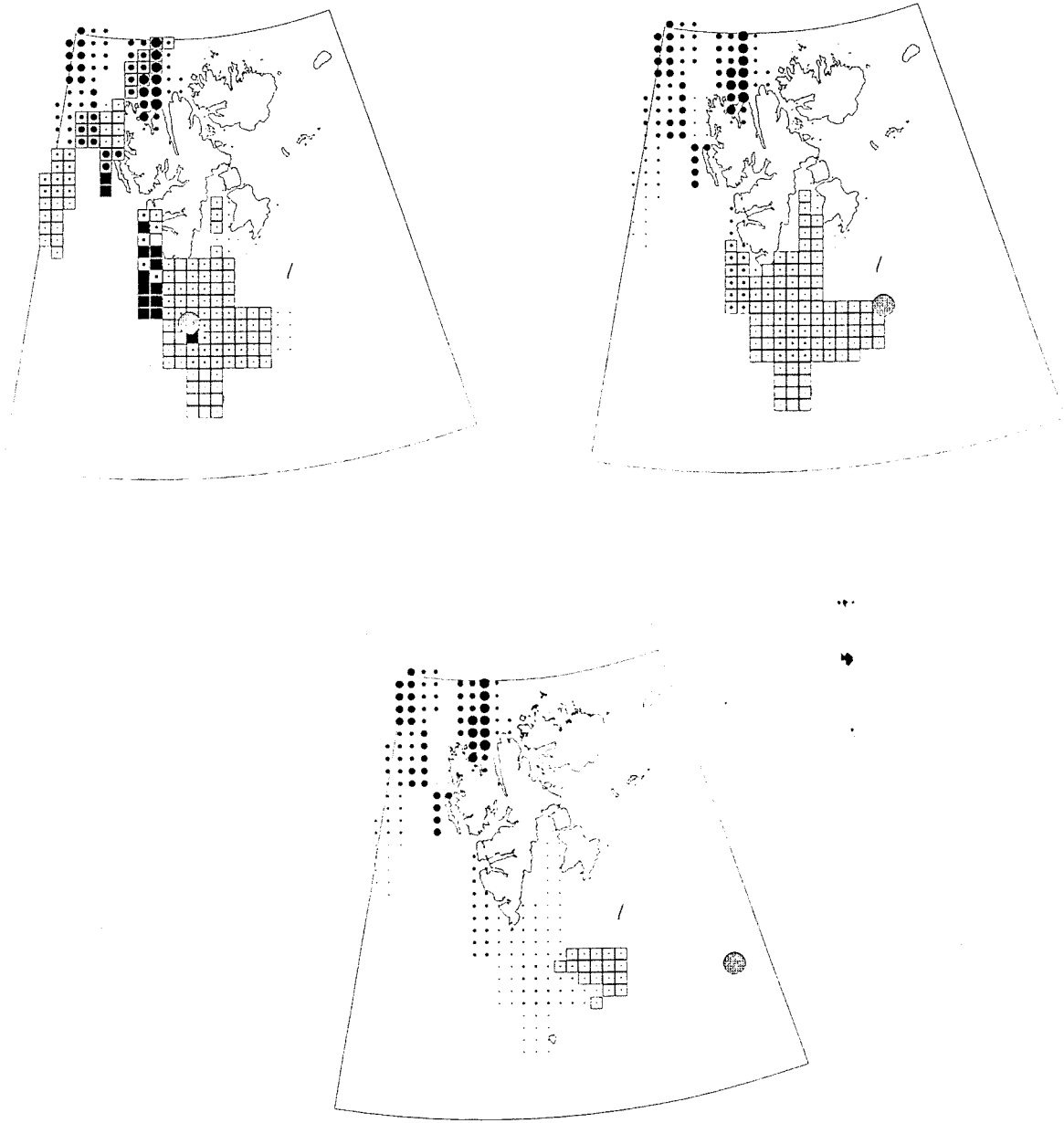
ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 32 a, b, c. Art: Blåkkeite

Stadium: larver

Data fra: august 1981

Oljeutslipp 3 . kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 33 a, b, c. Art: Blåkveite

Stadium: larver

Data fra: august 1983 Oljeutslipp 3 .kvarter



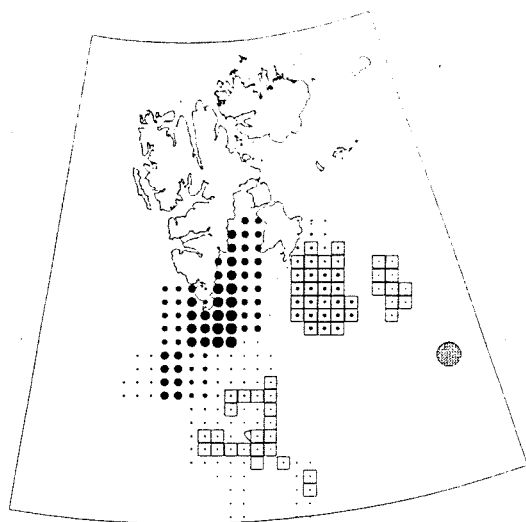
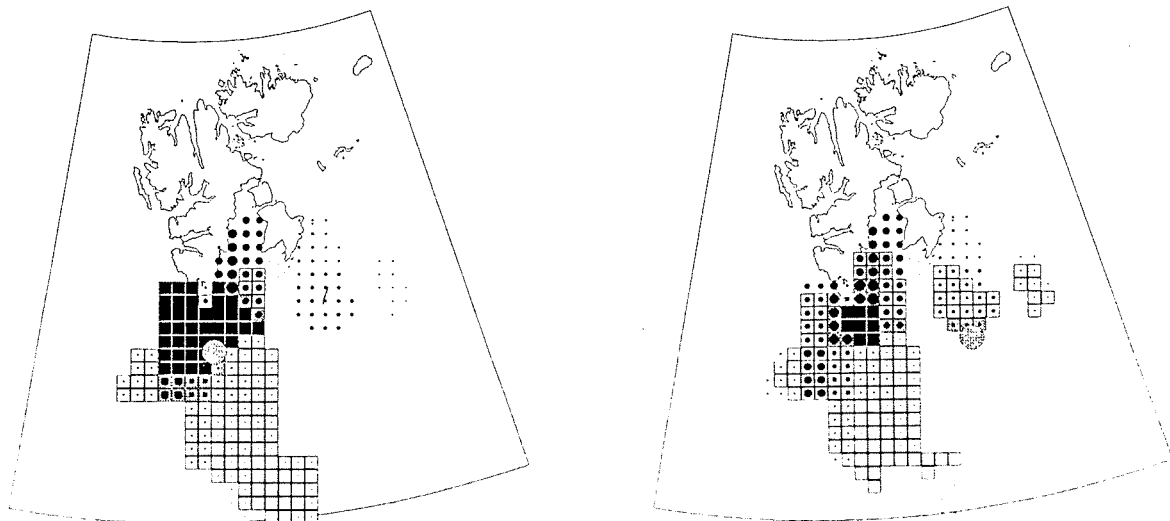
ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 34 a, b, c. Art: Polartorsk (modellert)

Stadium: larver

Data fra: mars

Oljeutslipp 1 . kvartal



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 35 a, b, c. Art: Polartorsk (modellert)

Stadium: larver

Data fra: juni

Oljeutslipp 2 . kvartal



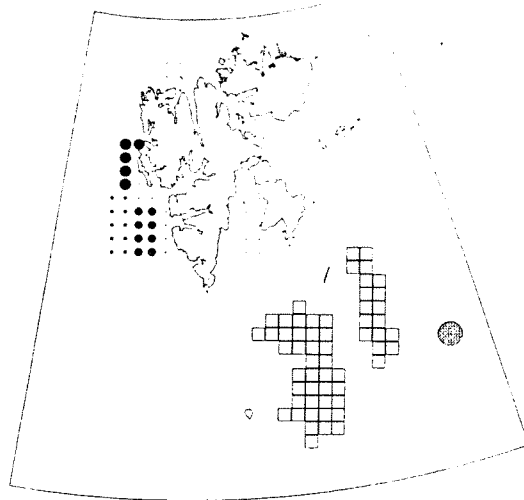
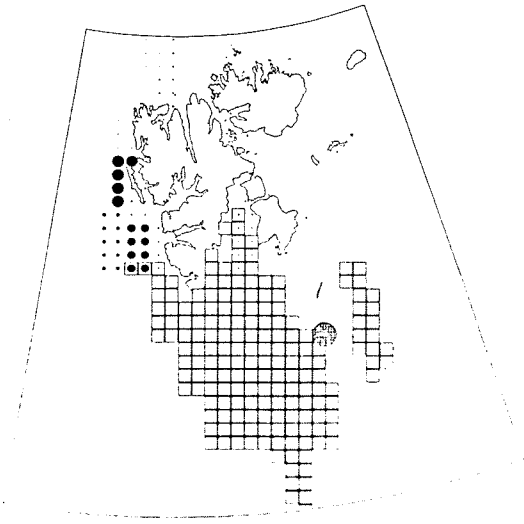
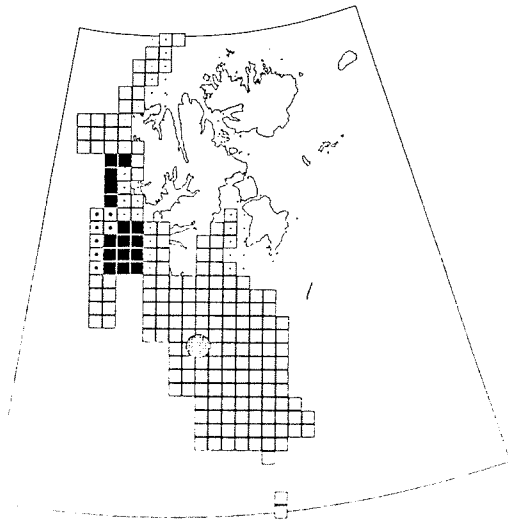
ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 36 a, b, c. Art: Polartorsk

Stadium: larver

Data fra: august 1981

Oljeutslipp 3 .kvarter



ubetydelige små ■ middels ■ store

Figur A 37 a, b, c. Art: Polartorsk

Stadium: larver

Data fra: august 1983 Oljeutslipp 3 . kvartal