

**FISKEN OG HAVET, NR. 3 - 1993**  
ISSN 0071-5638

**EFFEKTER AV SEISMISK SKYTING  
PÅ FANGST OG FANGSTTILGJENGELIGHET  
AV TORSK OG HYSE**

Av

**Arill Engås, Svein Løkkeborg, Egil Ona og Aud Vold Soldal**

**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**

Mars 1993

# INNHALDSFORTEGNELSE

Side

## SAMMENDRAG

1. INNLEDNING .....	5
2. HØRSEL HOS FISK I RELASJON TIL LYD FRA LUFTKANONER .....	7
3. MATERIALE OG METODER .....	13
3.1 Forsøksområdet .....	13
3.2 Akustisk kartlegging .....	14
3.3 Fangstforsøk .....	20
3.4 Data-analyser .....	24
3.5 Seismisk skyting .....	26
3.6 Støttemålinger .....	27
4. RESULTATER .....	29
4.1 Akustisk mengdeberegning .....	29
4.2 Trålfangster .....	42
4.3 Linefangster .....	58
4.4 Mageprøver .....	68
4.5 Lydmåling .....	70
4.6 Strømmålinger og STD-målinger .....	73
5. DISKUSJON .....	74
5.1 Har seismisk aktivitet effekt på fangst og fangsttilgjengelighet av torsk og hyse? .....	74
5.2 Avstandseffekt .....	79
5.3 Effekt over tid .....	81
6. KONKLUSJON .....	82
7. TAKK .....	84
8. REFERANSER .....	85
APPENDIX A - G .....	88-111

## SAMMENDRAG

I mai 1992 ble det på Nordkappbanken, Barentshavet, gjennomført fiskeforsøk med trål og line og akustisk kartlegging av fiskefordelingen før, under og etter seismisk aktivitet for å finne svar på følgende problemstillinger:

- 1) Har seismisk luftkanonskyting effekt på fangst og fangsttilgjengelighet av torsk og hyse?
- 2) Hvor langt fra det seismiske området kan en påvise en eventuell effekt?
- 3) Hvor lenge etter endt seismisk aktivitet kan en påvise en eventuell effekt?

Fiskeforsøkene ble gjennomført med en tråler og et autolinefartøy innenfor et område på 40 x 40 nautiske mil (nm) **før** (7 døgn), **under** (5 døgn) og **etter** (5 døgn) seismisk aktivitet. Begge fartøyene benyttet kommersielle fiskeredskaper. Totalt ble det gjennomført 62, 67 og 60 trålhal, henholdsvis før, under og etter seismisk aktivitet. Trålhalene ble fordelt på fire avstander fra det seismiske skyteområdet: 1) Innenfor skytefeltet; 2) 1 - 3 nm fra skytefeltet; 3) 7 - 9 nm fra skytefeltet; og 4) 16 - 18 nm fra skytefeltet. Linestubbene ble satt i fire tilsvarende posisjoner i forhold til skytefeltet. Totalt ble det halt 56, 40 og 35 linestubber, henholdsvis før, under og etter seismisk aktivitet.

Innenfor samme område og tidsperiode ble det også gjennomført akustisk kartlegging av fiskefordeling og mengde fisk med en annen tråler. Den akustiske kartleggingen ble gjennomført ved at en krysset gjennom skyteområdet på kurslinjer ut til 20 nm. I tillegg ble det gjennomført detaljert kartlegging innenfor skyteområdet før og under seismisk aktivitet. Det ble tatt prøver av den akustisk registrerte fisken med en standard prøvetakingstrål.

Den seismiske luftkanonskytingen (5 døgn) ble gjennomført innenfor et område på 3 x 10 nm i sentrum av området der fiskeforsøkene ble gjennomført. Riggingen av kanonfeltet og den praktiske gjennomføringen av skytingen ble gjennomført etter samme retningslinjer som under normale 3-dimensjonale tokt for oljeindustrien.

Den akustiske kartleggingen og fangstforsøkene med trål og line på Nordkappbanken viser at seismisk skyting med luftkanoner virker inn på fiskefordeling og fangstrater for torsk og

hyse, ikke bare lokalt innenfor området der skytingen foregikk, men også i betydelige områder omkring.

Fangstene i trål og på line bestod i all hovedsak av torsk og hyse, med torsk som den dominerende arten. Fangstratene både for torsk og hyse i trål gikk ned innenfor hele undersøkelsesområdet ut til ytterkantene 18 nm fra skytefeltet. I gjennomsnitt for hele området sett under ett, ble fangstraten halvert da skytingen tok til. Størst var reduksjonen i sentrum, d.v.s. inne i det seismiske skytefeltet. Her ble gjennomsnittsfangsten for begge arter redusert med ca. 70% under skyting. Reduksjonen i trålfangstene var stort sett i overensstemmelse med de akustiske observasjonene, som viste en reduksjon på ca. 45% i totalmengden av torsk og hyse innenfor undersøkelsesområdet. Reduksjonen i akustisk mengde var også størst i sentralområdet.

Reduksjonen i fangstratene for torsk på line var lavere enn for trål. Nedgangen var på 44% inne i det seismiske området, med en gradvis mindre påvirkning av fangstene ut mot ytterkanten av feltet. På de linestubbene som ble satt lengst borte fra skytefeltet (16-18 nm) ble det ikke påvist noen nedgang i fangstratene for torsk. For hyse ble det påvist en vektreduksjon pr. stubb på ca. 50% over hele undersøkelsesområdet.

Både i trål- og linefangstene og i de akustiske mengdemålingene ble det funnet en relativt sterkere reduksjon i stor (> 60 cm) enn i liten (< 60 cm) fisk. Imidlertid ble også antallet småfisk redusert med ett unntak; mengden av små torsk økte i linefangstene under skyting.

Verken den akustiske kartleggingen eller trålforsøkene viste at mengden av torsk og hyse økte i 5 døgn etter endt seismisk aktivitet. Det ble imidlertid påvist en endring i lengdefordelingen i trålfangstene imot tilstanden før skyting. På line ble det observert en økning i torskefangstene i slutten av forsøksperioden, men ikke i hysefangstene.

## 1. INNLEDNING

Siden tidlig på 60-tallet har det vært utført seismisk skyting med luftkanoner på den norske kontinentalsokkelen for å kartlegge olje- og gassressurser på havbunnen. Omfanget av denne aktiviteten har vært sterkt økende. For eksempel ble det "skutt" ca. 40.000 linjekilometer i 1974. I 1991 var en oppe i 329.000 linjekilometer (Anon. 1991). I 1992 regnet en med å ha tilsvarende aktivitetsnivå som året før. I tillegg til at innsatsen på de tradisjonelle leteområdene i Nordsjøen har økt, er letearealet betydelig utvidet i og med at områdene nord for 62° N i sterkere grad er kommet i søkelyset når det gjelder petroleumsvirksomhet. Ettersom leteområdene utvides og leteintensiteten økes, blir stadig flere av våre viktigste fiskefelt utsatt for seismisk aktivitet, og skytevirksomheten kommer ofte i konflikt med fisket.

I fiskerikretser har det i en årrekke vært hevdet at fangstratene går ned når et seismisk fartøy kommer til et fiskefelt og begynner sin skyteaktivitet, angivelig fordi støyen fra luftkanonene skremmer fisken bort. Det finnes imidlertid lite dokumentert viten om hvordan seismisk aktivitet påvirker fiskens atferd og fangsttilgjengelighet. Akustisk kartlegging og fangstforsøk i Nordsjøen indikerte at fiskefordelingen endret seg under påvirkning av seismisk aktivitet (Dalen & Raknes 1985). Det var imidlertid for liten konsentrasjon av fisk i det undersøkte området til å kunne trekke helt sikre konklusjoner om skremmeeffekten på fisk. Forsøk utenfor kysten av California viste at fangstraten for forskjellige uerarter på lineredskap ble redusert til det halve under påvirkning av en enkelt luftkanon (Skalski et al. 1992). Undersøkelser av innsamlede fangstdata fra linefartøyer og trålere før, under og etter seismisk skyting i norske farvann, viste at fangstene av torsk på line og som bifangst i reke-trål ble redusert under seismisk aktivitet (Løkkeborg & Soldal 1993). De innsamlede fangstdataene hadde imidlertid store mangler. Det var blant annet vanskelig å bedømme hvor langt fra det seismiske fartøyet en eventuell skremmeeffekt virket, og hvor lang tid det ville ta før fangstene normaliserte seg etter at skytingen var avsluttet. Det ble derfor konkludert med at et kontrollert, fullskala feltforsøk var nødvendig for å kunne dokumentere effektene av seismisk skyting på fullgodt vis.

I 1990 søkte Fangstseksjonen, Havforskningsinstituttet (den gang Fiskeriforskning, Fangstseksjonen), Norges Fiskeriforskningsråd (NFFR) om midler til å gjennomføre et feltforsøk for å klarlegge hvordan støy fra luftkanoner virket inn på fangsttilgjengeligheten til fisk. Det bevilgete beløpet for 1991 (stilt til rådighet for NFFR fra Oljeindustriens Landsforening, Olje- og energidepartementet og Oljedirektoratet) var imidlertid ikke tilstrekkelig til å gjennomføre et faglig forsvarlig fullskala feltforsøk. Derfor ble det dette året istedet samlet inn fangstdata fra fiskefartøyer som hadde fisket i områder der det samtidig foregikk seismisk aktivitet, for om mulig å dokumentere eventuelle effekter på fangstrater i praktisk fiske. Slik viten ville også gi oss nyttig informasjon for planlegging av et framtidig fullskala feltforsøk.

For 1992 ble det bevilget nye midler fra NFFR (midlene stilt til rådighet for NFFR som ovenfor) som dekket lønns- og driftsutgifter for de planlagte feltforsøkene samt leie av et seismisk fartøy og et fartøy for akustisk kartlegging av fisk. I tillegg tildelte Fiskeridirektøren prosjektet en forskningskvote av torsk og bifangst som gjorde det mulig å inngå en leieavtale med to kommersielle fiskefartøyer om forsøksfiske. Havforskningsinstituttet gikk også inn med en betydelig egeninnsats. I mai 1992 ble så feltforsøkene gjennomført på Nordkapp-banken utenfor Finnmark.

Feltforsøkene skulle gi svar på følgende spørsmål:

- 1) Har seismisk aktivitet effekt på fangst og fangsttilgjengelighet av torsk og hyse?
- 2) Hvor langt fra det seismiske skytefeltet kan en påvise eventuelle effekter?
- 3) Hvor lenge etter seismisk skyting kan en påvise eventuelle effekter?

## 2. HØRSEL HOS FISK I RELASJON TIL LYD FRA LUFTKANONER

Fisk hører og reagerer på lyd og benytter også lyd til å kommunisere seg imellom (Tavolga et al. 1981). Det er eksperimentelt påvist at fisk er følsomme både for trykk og partikkelbevegelsen til lydsignalet, og at den derved kan oppfatte både lydstyrke og retning (Hawkins 1981). Vi skal her vurdere hvor godt fisk kan oppfatte lyd fra seismiske kilder og hvordan en kan forvente at fisken reagerer på slik lyd, basert på tilgjengelig litteratur. Kapitlet omfatter ikke resultater fra denne undersøkelsen og kan derfor leses som en selvstendig enhet.

Det som er avgjørende for at en fisk skal oppfatte et lydsignal, er først og fremst lydstyrken og frekvensen til signalet, men også pulsvarighet og naturlig bakgrunnsstøy. Fordi lydintensiteten avtar med avstand på grunn av geometrisk spredning og absorpsjon, vil avstanden mellom lydkilden og fisken ha stor betydning for om fisken skal oppfatte lyden. Fysiske forhold i sjøen, som temperaturskiktning og bunntopografi kan påvirke transmisjonstapet, og derved også hvor langt lyden høres.

Trykkvariasjonene i en lydimpuls vil hos fisk lettest bli registrert i svømmeblæren, som her virker som en forsterker, eller resonanskasse, for det indre øre. Lydens retning bestemmes ved hjelp av otolittenes relative bevegelse (Popper & Platt 1983; Saidel & Popper 1983), fordi tregheten i disse er større enn fiskekroppen ellers når lyden forplantes gjennom fisken. Fisken kan også bestemme retningen til lyden ved hjelp av fasedifferanser på samhørende otolittpar.

Følsomheten for enkeltfrekvenser og bredden av det frekvensspekter av lyden som oppfattes, varierer med fiskeslag, men optimalområdet for de fleste arter ligger mellom infralyd, < 20 Hz (Sand & Karlsen 1986) og 700 Hz (Platt & Popper 1981; Buerkle 1968; Chapman & Hawkins 1973; Offut 1974). Noen få arter har god hørsel så høyt som til 2000 Hz (Hawkins 1981). Fisk uten svømmeblære, som makrell, flatfisk og endel bunndvelende fiskeslag, har dårligere hørsel enn arter med velutviklet svømmeblære (Hawkins 1981).

Torsk og sildefisk har velutviklet svømmeblære og god hørsel (Hawkins 1981). Det er tidligere vist at følsomheten hos torsk er best i frekvensområdet 60-310 Hz (Chapman & Hawkins 1973), med maksimal sensitivitet ved 160 Hz, der høreterskelen ligger på omlag 80 dB re 1  $\mu$ Pa. Sand & Karlsen (1986) viste imidlertid senere at torsk også er sensitiv for infralyd.

Dersom lydsignalet ligger innenfor det hørbare området, vil en økning av lydstyrken øke fiskens mulighet til å oppfatte signalet, men dette blir også påvirket av pulsvarigheten. Jo kortere pulvarighet, jo høyere må signalet være for at fisken skal kunne høre det (Hawkins 1981). For svært korte pulslengder fant Hawkins (1981) at deteksjonsterskelen var 25 dB høyere enn for kontinuerlig lyd. Det er imidlertid tvilsomt at pulsvarigheten av luftkanonlyd (20-40 ms) er kort nok til å påvirke deteksjonsterskelen. Fisk som torsk og hyse kommuniserer nemlig selv med sammenlignbare pulslengder (20-200 ms) (Hawkins & Rasmussen 1978).

Fisk reagerer også sterkere på pulset lyd enn på et sammenhengende lydsignal (Blaxter et al. 1981), og et lydsignal med rask stigetid virker mer skremmende enn lange stigetider til samme nivå (Schwarz 1985). Nylig ble det påvist at lavfrekvente lydstimuli (5 - 10 Hz) virket spesielt skremmende på laksefisk, og at fisken vanskelig vendte seg til slik lavfrekvent lyd (Knudsen et al. 1992).

Det som til sist setter en effektiv grense for hvor langt fisken kan høre et gitt signal, er den naturlige bakgrunnstøyen i sjøen. I godt, stille vær kan støynivået i den hørbare delen av spekteret ligge mellom 60 dB re 1  $\mu$ Pa/Hz og 90 dB re 1  $\mu$ Pa/Hz. For at fisken skal detektere andre lyder enn bakgrunnstøy, må lydsignalet ligge omlag 20 dB over den naturlige støyen, eller ved omlag 100 dB re 1  $\mu$ Pa/Hz når terskelen refereres til spektralnivå.

Med bakgrunn i dette generelle materialet om fiskens hørselsevne, kan vi nå gjøre en grov vurdering om hvorvidt fisk kan oppfatte lydsignalet fra seismiske luftkanoner, på hvilken avstand vi forventer at fisken hører lyden over bakgrunnstøyen, og hvordan den reagerer.

Malme et al. (1986) fant at enkle luftkanoner produserer et frekvensspekter fra 5 - 200 Hz (-20 dB) og 5 - 150 Hz for arrayer (oppbygde felt av kanoner i faste posisjoner med samme



eller tidskontrollert avfyringstidspunkt). På et lavere nivå genererer kanonene energi helt opp mot 500 Hz. Lydtrykket på enkeltfrekvenser eller bånd varierer, mens maksimalnivået for de fleste ligger innefor 10 - 80 Hz. Dette betyr at frekvensmessig er det en god overlapping mellom lyden produsert av luftkanoner og sensitivetsområdet for hørselen til marin fisk generelt.

I frie, dype farvann, som der vår undersøkelse skjer, vil lyden fra luftkanonene i første fase forplantes fritt, med tilnærmet sfærisk spredning. Lydintensiteten avtar raskt med avstand fra lydkilden. Eksempelvis er lydintensiteten 100 m fra en luftkanon redusert til 1/10000 (-40 dB) i forhold til referanseintensiteten, 1 m fra kanonen. Rent fysisk er dette beskrevet gjennom sonarligningen på sin enkleste form:

$$I_r = I_0 (10^{-\alpha R/R^2}) b(\theta)$$

der  $I_r$  er mottatt lydintensitet i avstand  $R$ ;  $I_0$  er utsendt intensitet på akustisk akse, tilbake-regnet til referanseavstanden, 1 m;  $\alpha$  er absorpsjonskoeffisienten; og  $b(\theta)$  er direktiviteten i en vinkel  $\theta$  ut fra akustisk akse.

Omgjør vi denne til logaritmisk form:

$$LN = KN -(20 \log R + \alpha R) + 10 \log[b(\theta)],$$

der  $LN$  er lydnivå i avstand  $r$ ;  $KN$  er Kildenivå;  $(20 \log R + \alpha R)$  er transmisjonstap  $TT$  over avstand  $R$ ; og  $10 \log b(\theta)$  er direktiviteten (i dB); kan vi anslå lydnivå som funksjon av avstand når vi kjenner  $KN$ , absorpsjonen og retningen vi ønsker å beregne i.

Lydfeltet fra enkle luftkanoner er tilnærmet sirkulært, omnidirektivt, som betyr at lyden blir spredt tilnærmet likt i alle retninger, og beregninger viser at selv store array har lav direktivitet, typisk  $60 - 70^\circ$  åpningsvinkel på  $-10$  dB nivå (Malme et al. 1986). Dette avgjøres av den totale arraydimensjonen i begge retninger i forhold til bølgelengden til signalet, antall og plassering av kanoner, og av avfyringstidspunkt på de enkelte kanonene i arrayet. Vi kan med rimelig presisjon for de vurderingene vi her skal gjøre anta at lydintensiteten utsendt horisontalt er omlag 10 dB lavere enn på akustisk akse, d.v.s. at når

$\theta$  er større enn  $45^\circ$ , setter vi  $b(\theta) = 0,1$ . Den neste forenklingen vi skal gjøre er å se bort fra absorpsjon på disse lave frekvensene ( $\alpha$  ved 1000 Hz er 0,06 dB/km, og lavere under 1000 Hz).

Vi sitter nå igjen med en svært forenklet modell for beregning av lydnivået som funksjon av avstand når vi kjenner kildenivået:

$$LN = KN - 20 \log R - 10$$

Dersom en vil ha et mer nøyaktig uttrykk for lydnivået, må en utvide modellen til å ta hensyn til bunndyp, bunnsstrat og temperaturskiktning vertikalt og horisontalt. Dette er delvis gjort av Malme et. al (1986), men også her uttrykkes det klart at en slik modell ikke kan erstatte direkte målinger.

Kildenivået  $KN$  for enkle luftkanoner og arraykonfigurasjoner er også undersøkt og tabulert av Malme et al. (1986). De oppgir 212 dB re 1  $\mu\text{Pa}$  som typiske verdier for enkle kanoner og 250 dB re 1  $\mu\text{Pa}$  for arrayer. Greene (1985) rapporterer et kildenivå på 255 dB re 1  $\mu\text{Pa}$  for et 20 kanons array som han brukte i sine undersøkelser. I alle tilfeller refereres det her til det effektive kildenivået, beregnet direkte fra spisstrykket fra kilden, målt på akustisk akse:

$$KN = 20 \log (P_S / 2P_R)$$

der  $P_S$  er spisstrykket ("peak-to-peak"-trykket) tilbakeregnet til 1 m avstand og  $P_R$  er referansetrykket, 1  $\mu\text{Pa}$ . Hvis  $P_S$  er gitt i enheten bar, må denne omregnes til microPascal (1 bar =  $10^{11}$   $\mu\text{Pa}$ ).

For vår undersøkelse vil luftkanonfeltet ha et typisk kildenivå på omlag  $250 \pm 3$  dB re 1  $\mu\text{Pa}$ . På spektralnivå tilsvarer dette 210 re 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$ .

Fiskeøret integrerer lydtrykket over hele sitt frekvensmessige følsomhetsområde, slik at det totale lydtrykket som oppfattes av fisken er tilnærmet det samme som spisstrykket i luftkanonsignalet.

Siden det meste av materialet som omfatter bakgrunnsstøy og fartøystøy er gitt på spektralnivå, har vi valgt å gjøre sammenligninger og avstandsberegninger direkte på maksimalverdien fra de ulike spektrene.

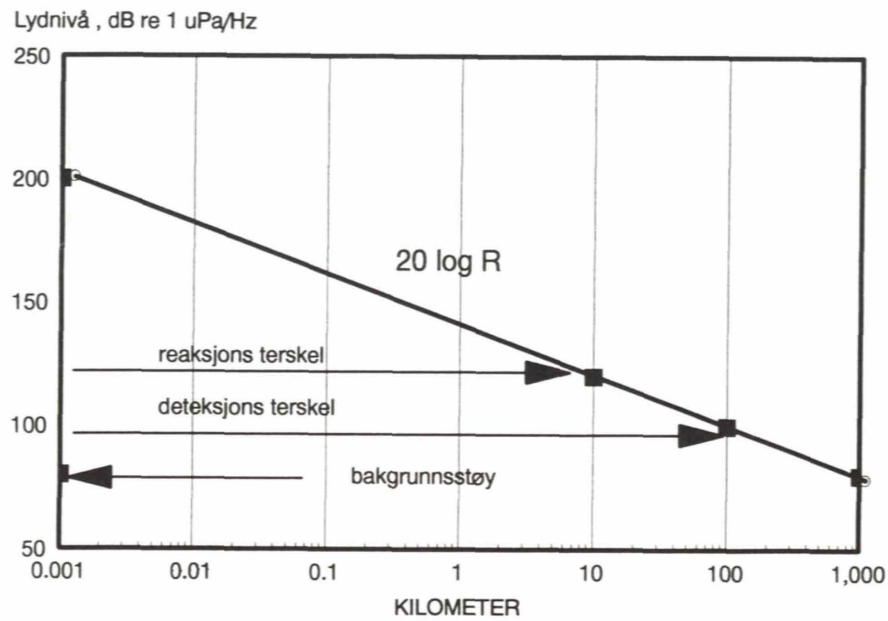
Dersom bakgrunnsstøyen innenfor hørselsområdet til fisk er 80 dB re 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$  og fiskens effektive deteksjonsterskel for signaler fra luftkanoner er omlag 100 dB re 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$ , vil fisken kunne høre et kanonfelt over betydelige avstander (Tabell 2.1, Figur 2.1). Et luftkanonfelt med et kildenivå på 210 dB re 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$  vil for eksempel kunne høres av fisken over 100 km. Direktivitetstapet er da inkludert.

Selv om fisken kan høre lyden, er det i denne sammenhengen viktigere å anslå grensen for når fisken vil forandre sin atferd på grunn av lyden fra luftkanoner. Denne ligger vanligvis betydelig over deteksjonsgrensen. Det er kjent fra undersøkelser av fisks atferd i forhold til fartøystøy (Olsen et al. 1983; Ona 1988; Ona & Godø 1990; Engås et al. 1991) at fisk reagerer med unnvikelse når lydnivået fra maskineri og propell overstiger et visst nivå. Typiske kildenivå for fartøystøy i det hørbare området for fisk er 150 - 160 dB re 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$ , og lokal unnvikelse av stor torsk er observert opptil 100 m fra fartøyet (Ona 1988), eller ved omlag 110 - 120 dB re 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$ . For slik støy ser det derfor ut til at fisken reagerer når nivået øker ca. 20 dB over det vi har definert som deteksjonsnivået. Det er også kjent at reaksjonsgrensen kan være avhengig av årstid og fiskens tilstand. Reaksjonsterskelen for fartøystøy stemmer godt overens med resultater fra eksperimentelle eksponeringsforsøk med luftkanon på uer, der en fant atferdsforandringer ved et spisstrykk på 150 - 167 dB re 1  $\mu\text{Pa}$  (Skalski et al. 1992), tilsvarende 110-127 dB re 1  $\mu\text{Pa}$  på spektralnivå.

Dersom vi benytter 120 dB re 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$  som forventet reaksjonsterskel her, kan vi grovt anslå reaksjonsavstand som funksjon av kildenivå (Tab. 2.1, Fig. 2.1).

Tabell 2.1. Eksempel på forventet deteksjons og reaksjonsavstand hos fisk som funksjon av kildenivå for luftkanonfelt. Antatt transmisjonstap: 20 logR.

KILDENIVÅ (dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$ )	DIREKTIVITET (dB)	DETEKSJONSAVSTAND (100 dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$ ) (km)	REAKSJONSAVSTAND (120 dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$ ) (km)
220	-10	316	31,6
210	-10	100	10
200	-10	31,6	3,2



Figur 2.1. Lydnivå som funksjon av horisontal avstand fra et luftkanonfelt (array), med fiskens omtrentlige deteksjons- og reaksjonsnivå for slik lyd angitt. Kildenivå, bakgrunnstøy, deteksjons- og reaksjonsterskler er angitt på spektralnivå.

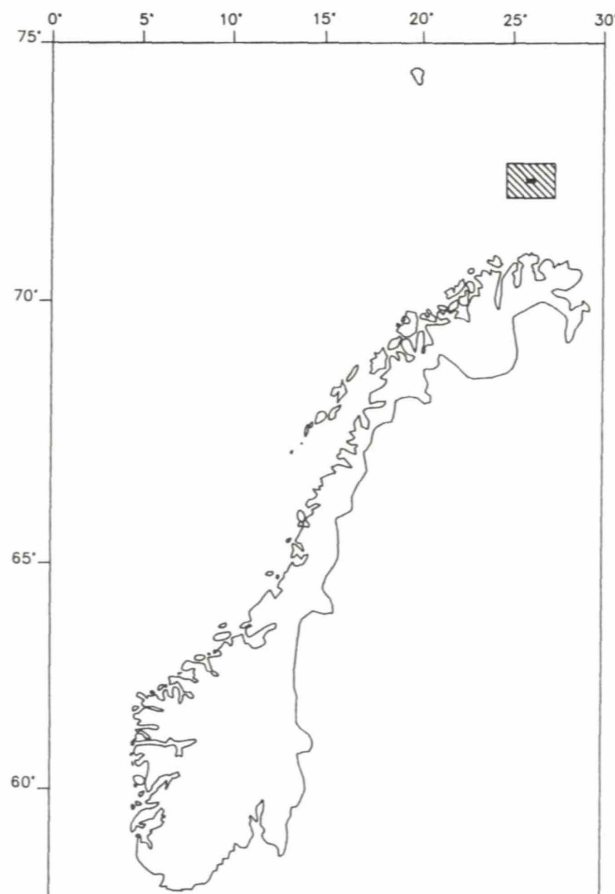
Vi gjør oppmerksom på at anslagene er basert på det som er tilgjengelig av litteratur omkring hørsel hos fisk samt en enkel transmisjonsmodell, og at tallene ikke må blandes med forventet effekt på fangst. Det som tydelig fremkommer av tabellen og figuren er at: (1) Fisk kan høre luftkanoner på betydelige avstander, 30 - 300 km; og (2) Fisk forventes å reagere med endring av atferd over store avstander, anslagsvis 3 - 30 km, begge deler avhengig av kanonenes kildenivå og fiskens reaksjonsterskel. Grunnet for å velge en skala på vårt undersøkelsesområde på 40 x 40 nm er lagt ut fra disse forventningene, men også utfra erfaringer fra tidligere undersøkelser (Dalen & Raknes 1985; Løkkeborg 1991; Løkkeborg & Soldal 1993).

### 3. MATERIALE OG METODER

#### 3.1 Forsøksområdet

For at forsøkene skulle bli mest mulig realistiske, ble skytingen gjennomført slik den vanligvis blir i 3-dimensjonale seismiske undersøkelser. På grunnlag av opplysninger fra Geco-PracLa, Stavanger, angående normalt surveyopplegg, ble det beregnet at vi kunne dekke et område på 3 x 10 nm (5,5 x 18,5 km) med det seismiske fartøyet innenfor en periode på fem døgn.

Utfra betraktninger om forventet kildenivå fra luftkanonoppsettet, demping av lyd i vann og kunnskaper om hørsels- og reaksjonsterskler hos fisk (se kapittel 2), bestemte en seg for å foreta fangstforsøk 18 - 20 nm (33 - 37 km) til hver side for det seismiske skytefeltet. Forsøksområdet ble da totalt ca. 40 x 40 nm (74 x 74 km), med skyteområdet som midtpunkt (Fig. 3.1.1). Sentrum av forsøksfeltet ble lagt på 72°20'N og 26°00'Ø.



Figur 3.1.1. Forsøksområdet (skravert) på Nordkappbanken, med skyteområdet sentralt.

Nysleppen, Barentshavet, var opprinnelig satt opp som aktuelt område for å gjennomføre forsøkene. Prøvefiske i forkant av forsøksstart viste at det ikke var tilstrekkelig fisk i dette området til å gjennomføre det oppsatte forsøksprogram. Nordkappbanken ble istedet valgt, fordi området tilfredstilte de krav til fangstforhold, fiskefordeling og homogenitet som vi på forhånd hadde satt til forsøksfeltet. Fiskefartøyer som hadde fisket i området like før forsøksstart, kunne rapportere om jevne og gode fangster av torsk og hyse med stor spredning i fangstenes størrelsesfordeling. Området har gode driftsforhold både for trål og line, og bunndypet er forholdsvis jevnt (250-280 m). Forsøkene ble gjennomført i tiden 30. april - 18. mai 1992. Værforholdene i forsøksperioden var gode.

## **3.2 Akustisk kartlegging**

### **Fartøy**

Ferskfisktråleren "Stallo" (F-84-H, 299 Brt, 1200 BHk) ble leid i tilsammen 20 døgn, fra 30. april - 19. mai 1992, for å utføre kartlegging av fiskemengde i et spesifisert område innenfor og rundt det seismiske skytefeltet. Den var utstyrt med en SIMRAD ES-400 ekkolodd og SCANMAR trålinstrumentering, samt RAYSTAR 2000 GPS satelittnavigator.

### **Akustisk utstyr og kalibrering**

Forskningsekkoloddet SIMRAD EK500 ble montert på brua og forbundet med fartøyets egen splittstråle svinger (ES38-29), GPS navigator, ekkogramprinter, bærbar PC (TOSHIBA 3100) over serielinje og SUN Sparc 2 arbeidsstasjon over ethernet for logging av rådata i tolkestasjon (Bergen Ekko Integrator (BEI)). For ekkoloddfrekvensen 38 kHz tilsvarende dette det utstyret som i dag benyttes på Havforskningsinstituttets forskningsfartøyer (Knudsen, 1990). Utstyret ble funksjonstestet 30. april 1992 og kalibrert under gode forhold i Olderfjord, Finnmark, 1. mai 1992 ved bruk av kalibreringsmål med kjent målstyrke (Cu 60,0 mm, TS = -33,6), i henhold til kalibreringsprosedyrer beskrevet av Nes (1991) og Foote et al. (1987). Kalibreringsdata og innstillinger av ekkolodd og ekkointegrator er gitt i Tabell 1, Appendix

A. Støy/fartsmålinger for "Stallo" viste lav støy på ekkoloddfrekvensen når farten var under ca. 10 kn. Et typisk eksempel på registreringer av torsk og hyse fra "Stallo" er vist i Figur 3.2.1.

### **Prøvetaking**

"Stallo" var rigget for bunntåling med en Campelen 1800 prøvetakingstrål (Fig. 1, Appendix B), med rockhopper trålgear, 40 m sveip og V-dører. Trålen er brukt som standard prøvetakingstrål ved Havforskningsinstituttet (Engås & Gødø 1989). Trålingen fra "Stallo", som i hovedsak skulle støtte de akustiske målingene, ble tatt i tilfeldige posisjoner langs kursen innenfor hvert delområde. Totalt ble det tatt 94 stasjoner (Fig. 3.3.1). Dørspredningen for prøvetakingstrålen var ca. 54 m, med en midlere trålhøyde på ca. 3,8 m.

### **Toktopplegg og kurser**

For best mulig å kunne ivareta målsetningen med den akustiske delen av undersøkelsen, valgte vi å krysse skyteområdet systematisk ut til en radius på 20 nm fra senteret, der krysningspunktet sentralt ble variert fra legg til legg. I tillegg ble det indre området tettere kartlagt med kortere nord/syd kurser før og under skyting. Realisert kursnett for de enkelte periodene er gitt i Figur 3.2.2. Utenom to kortere avbrudd på grunn av dårlig vær og et stopp fra 6.5. (02.40 GMT) til 7.5. (08.40 GMT), for møte med seismikkfartøyet i Hammerfest, ble de akustiske dataene innsamlet kontinuerlig.



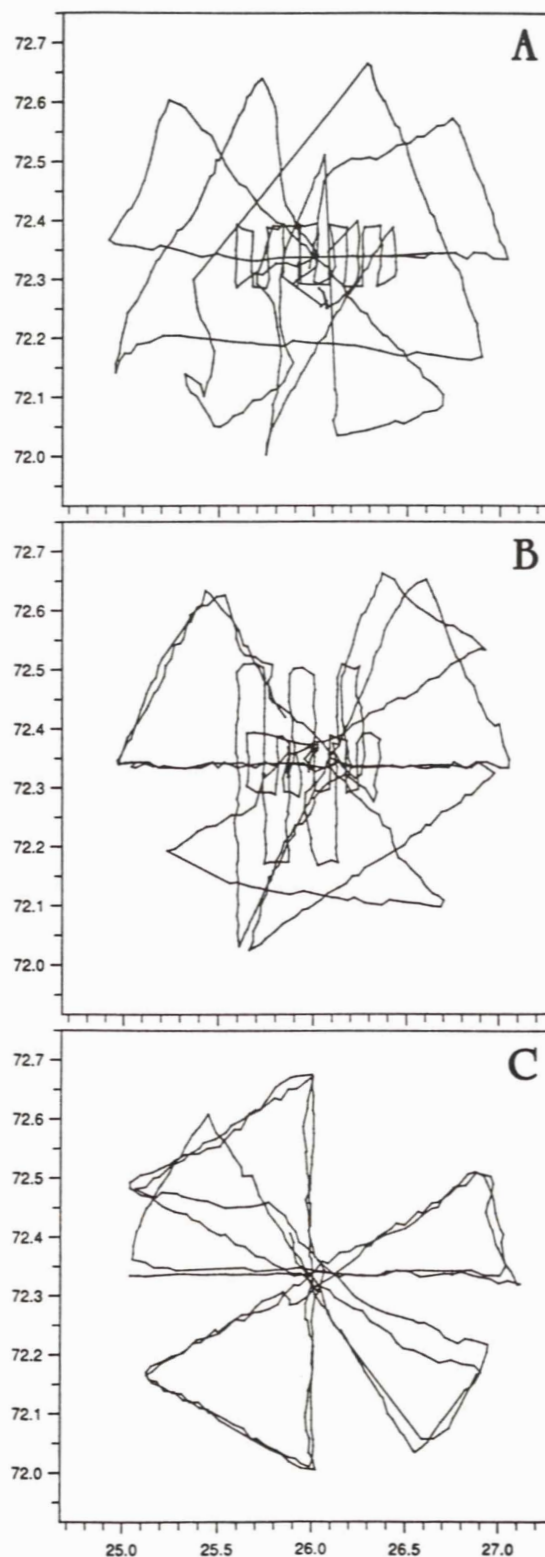


## Bearbeiding av akustiske data og mengdeberegninger

Basert på trålfangstene og ekkogrammer, ble den akustiske registreringen under tolkingen splittet på artskategoriene **torsk/hyse**, **lodde**, **sild**, **plankton** og **0-gruppe yngel** og lagret med 1 nm oppløsning horisontalt og 50 m vertikalt. I bunnkanalen (nederste 10 m) er oppløsningen i databasen 2 m. Tolkingen ble utført daglig under toktet. Artskategorien **torsk/hyse** er senere oppsplittet ved bruk av fangstene i prøvetakingstrålen i henhold til størrelsesfordelingens relative akustiske bidrag (ref. Appendix A).

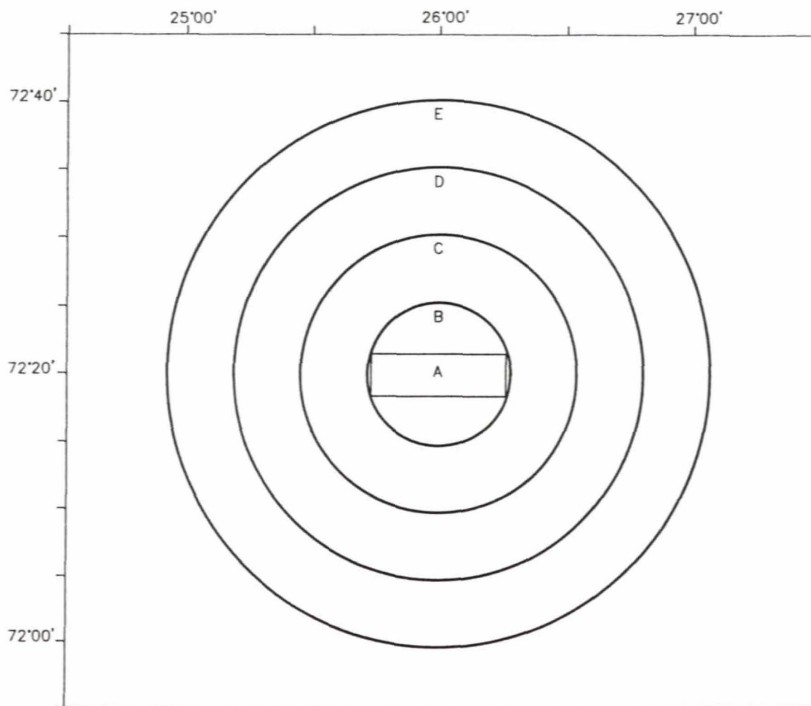
Under den videre bearbeidingen har en slått sammen integratorkanalene for torsk og hyse til en pelagisk del og en bunndel og satt disse ut i fordelingskartene. Mengden av andre arter utgjorde en svært liten del av totalen, og er derfor ikke videre analysert.

En har videre delt undersøkelsesområdet opp i 5 deler (Fig. 3.2.3): Et indre (skytteområdet) på 3 x 10 nm (A), og videre i sirkulære belter, hvert med 5 nm bredde (B, C, D, E). Gjennomsnittlig akustisk tetthet for den pelagisk delen, bunndelen og totalt er beregnet for alle områder, innenfor tre tidsperioder: før, under og etter den seismiske skytingen. Gjennomsnittlig akustisk



Figur 3.2.1. Kursnett for de akustiske undersøkelsene med M /Tr "Stallo", før (A), under (B) og etter (C) skyting. Koordinatene er gitt i desimalgrader.

tetthet for hele området (F) innenfor en sirkel på 20 nm fra senter i skytefeltet, er også beregnet.



*Figur 3.2.3. Områdeinndeling for den akustiske mengdeberegningen.*

De akustiske arealtetthetsmålene for torsk og hyse er omregnet til mengde, antall og vekt, i 5 centimeters grupper ved å beregne gjennomsnittlig målstyrke TS fra trålfangstene i henhold til målstyrkerelasjoner benyttet for disse artene i Barentshavet (Appendix A). Ettersom det akustiske tetthetsmålet gir et godt mål for relativ mengdefordeling over tid og rom, er omregningen til antall og vekt bare gjort for totalområdet, og ved å slå sammen trålfangstene fra hver tidsperiode.

Middelvekt for hver lengdegruppe er beregnet fra individuelle lengde/vekt data for torsk og hyse fra hele 1992-sesongen i den sør-vestlige delen av Barentshavet (se Appendix C, Fig. 3 og 4). Det ble brukt ulike lengde-vektrelasjoner for omregning av lengdedata fra trålfangstene på "Stallo" og linefangstene på "Loran". For linedata ble det benyttet en funksjon beregnet på grunnlag av målinger som ble gjort ombord på "Anny Kræmer" under forsøket (Appendix C, Fig. 1 og 2). På grunn av maskeseleksjon i trålen, inneholdt fangstene

forsøket (Appendix C, Fig. 1 og 2). På grunn av maskeseleksjon i trålen, inneholdt fangstene i hovedsak fisk over 30-40 cm. Disse målingene kunne derfor ikke gi noen opplysninger om sammenheng mellom lengde og vekt for mindre fisk. I fangstene fra prøvetakingstrålen på "Stallo" utgjorde fisk under ca. 40 cm hovedmengden av fangstene, og det ble her valgt å bruke lengde/vekt-relasjoner fra Havforskningsinstituttets bestandsovervåkningsprogram for Barentshavet.

### Statistiske beregninger

Akustiske data er innsamlet kontinuerlig langs en legg, og nærliggende målinger er ofte autokorrelerte. Det finnes pr. i dag ingen anbefalt, eksakt metode for beregning av variansen knyttet til middelverdien av tetthet innenfor et gitt område fra slike survey (Simmonds et al. 1991). Vi har i resultattabellene angitt to typer varians, i begge tilfeller gitt i % av middelverdien:

Var. A: Dette er en rett fram beregning av klassisk varians for normalfordelte data, der vi har antatt at hver måling innenfor et gitt areal er uavhengig og tilfeldig. Normalt vil dette underestimere den sanne variansen, fordi vi ikke har fjernet eventuell autokorrelasjon i dataene. Den er beregnet som :

$$Var. A = \frac{s}{z\sqrt{n}}$$

der (s) er standard avvik, z er middelverdi og n er antall observasjoner. Variansen er uttrykt som % av middelverdien.

Var. B: En ny metodikk som ennå ikke er tatt i bruk som et standard verktøy for variansestimering i bestandsmåling, er bruk av geostatistikk. Metodikken er beskrevet av Pettigas & Poulard (1989) og Pettigas (1990) og sammenlignet med andre metoder for beregning av varians av Simmonds et al. (1991). Metoden har vist seg å gi realistiske estimater av varians sammenlignet med data fra gjentatte survey i avlukkede fjorder, og den fjerner effekten av autokorrelasjon i dataene.

Den er her uttrykt gjennom estimeringsvariansen ( $\sigma_E^2$ ) og gitt i prosent av middelverdien:

$$\text{Var. } B = \frac{\sigma_E}{z}$$

### 3.3 Fangstforsøk

Tråleren "Anny Kræmer" (T-35-T, 477 Brt, 2400 BHk) og autolinefartøyet "Loran" (M-19-G, 144 Brt, 865 BHk) var leid for å gjennomføre fiskeforsøkene etter våre spesifikasjoner. Fartøyene benyttet samme redskaper som under ordinært fiske.

#### Trålforsøk

Trålen som ble benyttet var en standard fisketrål, Alfredo nr. 3 (Appendix B, Fig. 2). Den var rigget med 145 m sveiper og V-dører (7,8 m<sup>2</sup>, 2200 kg). Maskestørrelsen i trålposene (tvillingposer) ble målt med et ICES maskeviddemål (5 kg trykkbelastning) til 146 og 147 mm. På grunn av maskinhavari måtte "Anny Kræmer" avbryte forsøket og gå til havn for reparasjon i ca. to døgn i perioden før det seismiske fartøyet ankom feltet. Trålforsøkene hadde derfor et opphold mellom 3.5. kl. 17.00 (GMT) og 5.5. kl. 21.00 (GMT).

Hvert trålhal varte 1/2 time og tauefarten var 3,5 kn (1,8 m/s). Trålgeometri ble målt med en Scanmar avstandssensor på dørene og en høydesensor midt på kuletelna. Dørspredningen ble målt til ca. 150 m, og den vertikale åpningen til trålen var ca. 4,2 m. Sveipeareal for hvert trålhal, d.v.s. avstanden mellom tråldørene multiplisert med tauet distanse, ble da 0,142 nm<sup>2</sup>.

Forsøket ble delt opp i tre tidsperioder: **før** (7 døgn), **under** (5 døgn) og **etter** (5 døgn) skyting. Totalt ble det foretatt 62, 67 og 60 hal, henholdsvis før, under og etter seismisk aktivitet (Fig. 3.3.1). Av disse ble fire hal tatt utenfor undersøkelsesområdet (ca. 28 nm (50,4km) fra skytefeltet), to før og to under skyting. De resterende ble fordelt på 4 avstander

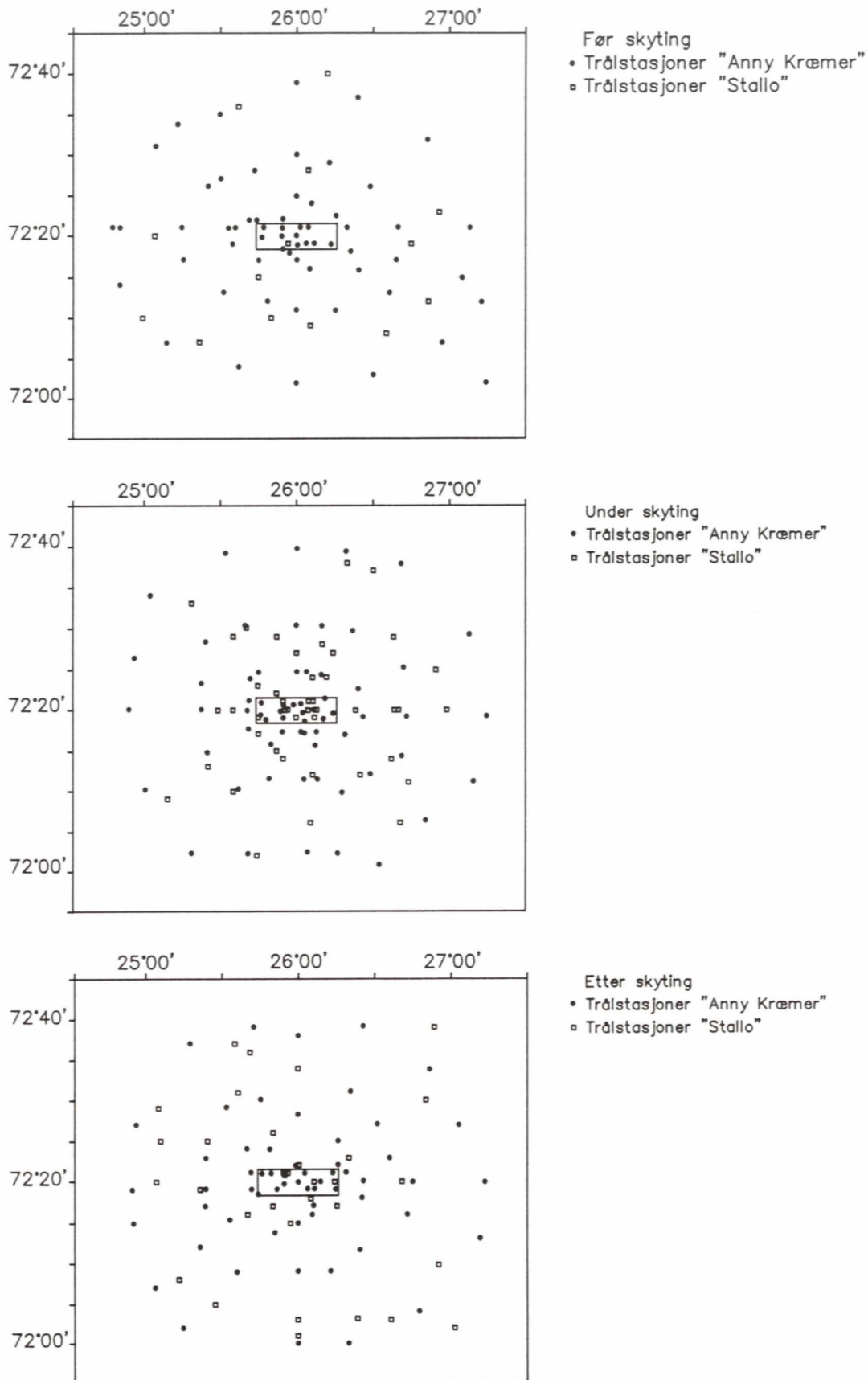
fra det seismiske skyteområdet: **0**) Innenfor området, **1**) 1 - 3 nm (1,8 - 3,5 km) fra skyteområdet, **7**) 7 - 9 nm (13 - 16,7 km) fra skyteområdet, **16**) 16 - 18 nm (29,6 - 33,3 km) fra skyteområdet. Dekningsgraden (totalt sveipeareal i forhold til totalt areal av skytefeltet (3 x 10 nm) av de trålhal som ble tatt **innenfor skyteområdet** var 5,7%, 6,6% og 5,2%, henholdsvis før, under og etter skyting.

En forsøkte å fordele trålhalene slik at forsøksfeilen på grunn av mulige geografiske ulikheter i fisketetthet innenfor forsøksområdet skulle bli så liten som mulig, og slik at en skulle kunne beregne sammenhengen mellom endringer i fangst og avstand fra skyteområdet. Det ble lagt vekt på at rekkefølgen i trålhalene ikke skulle påvirke resultatene. For eksempel varierer fangstratene som oftest mellom dag og natt. Derfor ble kurslinjene lagt opp slik at andelen av daghal ble tilnærmet lik for hver tid/avstands-kombinasjon. For å utjevne effekten av geografiske og tidsmessige variasjoner, fulgte en kurslinjer fra sentrumsområdet og ut mot ytterkanten av området. Retningen på kurslinjene ble variert tilfeldig hver dag.

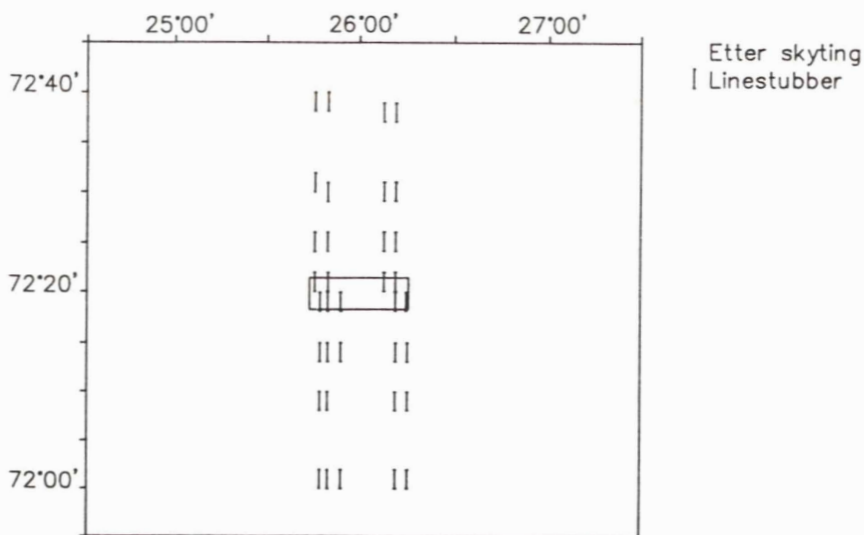
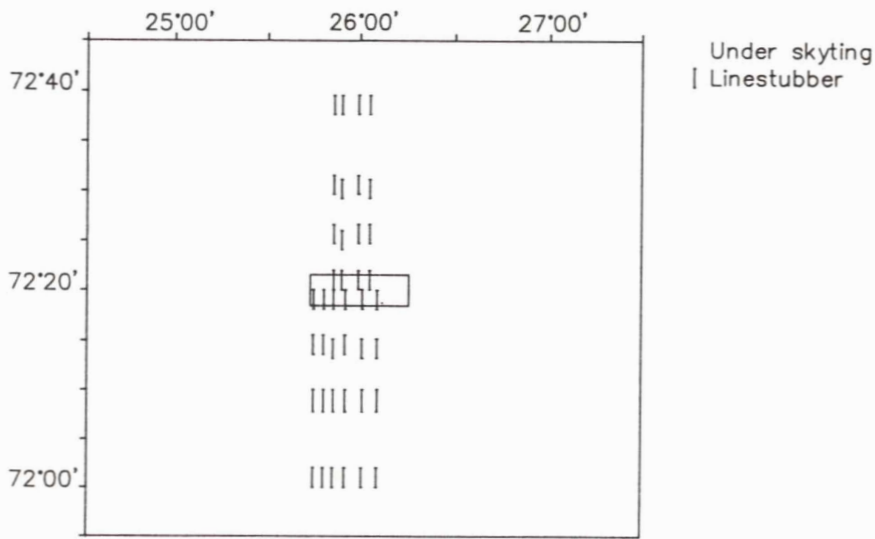
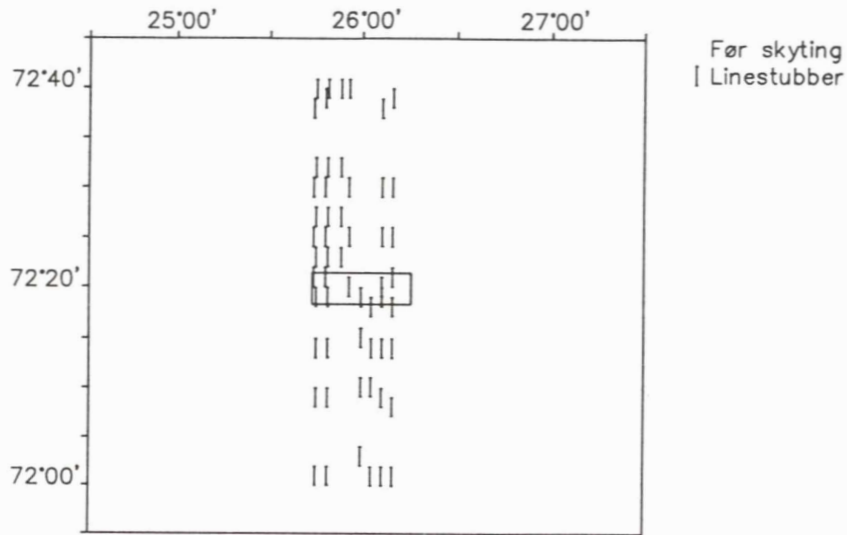
### Lineforsøk

Linefartøyet brukte Mustad Quick Snap line (7 mm), rigget med 2-slått forsyn nr. 14 med EZ-krok (kval. 39975, nr. 12/0). Hver stubb besto av 3000 krok, der avstanden mellom hver krok var 1,3 m (stubblelengde 3900 m). Lina ble egnet med 50% makrell og 50% akkar. Agnbredden var ca. 30 mm.

Totalt ble det driftet med åtte stubber hver dag. Som for trålhalene ble linestubbene satt i fire ulike avstander i forhold til skytefeltet (Fig. 3.3.2), d.v.s. to stubber ved hver avstand daglig. I figurtekstene er de fire posisjonene kalt **1000** (inne i skytefeltet), **2000** (1 - 3 nm avstand), **3000** (7 - 9 nm avstand) og **4000** (16 - 18 nm avstand). Siden de to stubbene som ble satt samme dag ved samme avstand fra skytefeltet sto relativt nær hverandre (0,5 nm (0,9 km) Ø-V avstand), ble disse to sett på som en enhet under variansanalysene. For line er det derfor bare en observasjon ved hver avstand pr. dag. Som for trål ble den innerste stubben satt inne i skytefeltet. De øvrige ble satt langs en kurslinje ut fra sentrumsområdet. I motsetning til trål gikk imidlertid disse kurslinjene bare rett nord og rett sør fra sentrum. Dette ble gjort for å utjevne effekten av strømretningen gjennom hele forsøksperioden. Totalt ble det halt 56, 40



Figur 3.3.1. Fordelingen av tråhalene som ble tatt i undersøkelsesområdet før, under og etter skyting. Startpunktet for hvert hal er markert. "Anny Kræmer" fisket med standard torskestrål (Alfredo nr. 3) og "Stallo" med Havforskningsinstituttets prøvetakingstrål (Campelen 1800).



Figur 3.3.2. Linestubbenes plassering i forsøksområdet før, under og etter skyting.

og 35 stubber, henholdsvis før, under og etter seismisk aktivitet. Linestubbene ble satt mellom kl. 02.00 og kl. 08.00 (GMT) hver dag. Ståtiden på stubbene varierte fra 6 til 18 timer. For at ikke ståtiden skulle ha innvirkning på resultatene, ble ståtiden på stubbene variert på samme måte før, under og etter seismisk aktivitet.

### Biologiske prøver

Fisken fra trål- og linefangstene ble artsbestemt og lengdemålt (avrundet nedover til nærmeste hele cm) med unntak av noen få store trålhal (over ca. 1000 kg) der det ble tatt ut en delprøve for måling. Ombord på "Anny Kræmer" ble totalvekten av hver art registrert, og det ble foretatt individmålinger av lengde og vekt (rund vekt) av torsk og hyse. Lengde-vektrelasjonen ble beregnet for begge arter for å kunne beregne vekten av linefangstene utfra lengdemålingsdata, da linebåten ikke hadde elektronisk vekt ombord. Lengde-vektrelasjonene for torsk og hyse beregnet under toktet er gitt i Appendix C, Figur 1 og 2.

Det ble daglig tatt mageprøver av torsk på en tilfeldig valgt trål- og linestasjon. På linebåten ble det også tatt mageprøver av hyse. Magene ble frosset ned og analysert i ettertid.

## 3.4 Data-analyser

### Trål

For å undersøke om seismisk aktivitet har effekt på fangstratene for fisk i trål, ble følgende modell benyttet for torsk og hyse:

$$(1) \quad y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

der  $y$  er fangst i kg pr. trålhal (log-transformert);  $\mu$  er fangstforventningen;  $\alpha_i$  er avstandseffekten;  $\beta_j$  er effekten av tid i forhold til seismisk skyting;  $(\alpha\beta)_{ij}$  er samspill mellom tid og avstand; og  $\varepsilon_{ijk}$  står for tilfeldig variasjon. Årsaken til at en bruker logaritmisk istedet for



lineær skala, er at variansen ofte er proporsjonal med kvadratet av gjennomsnittet for marine fangstdata (Pennington 1983, Pennington & Vølstad 1991) og at log-transformasjon derved vil stabilisere variansen (se f.eks. Snedecor & Cochran 1980). Videre kan vi forvente at en eventuell effekt av seismisk aktivitet vil være proporsjonal med tettheten og dermed lineær i forhold til log-skalaen.

Forsøksoppsettet var tilnærmet balansert (Tabell 3.4.1) og modellen (1) passet dermed til anvendelse av type III kvadratsummer med multifaktor varians-analyse (Statgraphics STSC, Inc. 1991). Den tilnærmede balansen i forsøksoppsettet gjør tolkningen av faktorene i analysen relativt ukomplisert.

## Line

For å analysere eventuelle effekter av seismisk virksomhet på linefangstene, benyttet en de samme statistiske modeller som for trål. For modellen (1) er  $y$  gjennomsnittsfangsten i kg (log-transformert) for de to stubbene som var satt i samme avstand samme dag. Igjen er  $\mu$  fangstforventningen;  $\alpha_i$  er avstandseffekten;  $\beta_j$  er effekten av tid i forhold til seismisk skyting;  $(\alpha\beta)_{ij}$  er samspillseffekten; og  $\varepsilon_{ijk}$  er tilfeldig variasjon. Man bør merke seg at forsøksområdet for line er et underområde i forhold til trålforsøkene (se Fig. 3.3.1 og 3.3.2). Forsøksoppsettet for line er tilnærmet balansert (Tabell 3.4.2).

Tabell 3.4.1. Antall kombinasjoner av tid og avstand i trålforsøket.

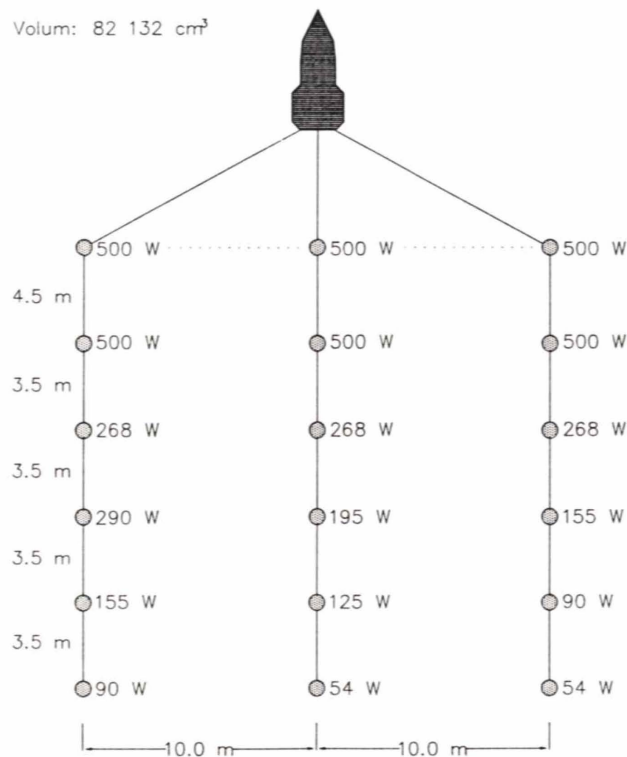
Tid	Avstand			
	0	1	7	16
Før	12	16	16	16
Under	15	16	17	17
Etter	12	16	16	16

Tabell 3.4.2. Antall kombinasjoner av tid og avstand i lineforsøket.

Tid	Avstand			
	1000	2000	3000	4000
Før	7	7	7	7
Under	5	5	5	5
Etter	5	5	4	5

### 3.5 Seismisk skyting

Den seismiske skytingen ble gjennomført fra 8.5. 1992 kl. 00.09 (GMT) til 12.5. kl. 17.58 (GMT). Oppdraget ble utført av firmaet Geco-Prakla, Stavanger, med det seismiske fartøyet R/V "Akademic Shatskiy". Riggingen av luftkanon-oppsettet er vist i Figur 3.5.1. Luftkanonene ble tauet på 6 m dyp. Rigging av kanonfeltet og den praktiske gjennomføringen av skyteoppdraget ble utført etter samme retningslinjer som under normale 3-dimensjonale tokt for oljeindustrien. Det ble ikke benyttet lyttekabler, fordi dette ikke var av interesse for forsøkene. Samtidig forenklet dette snuoperasjonen når fartøyet nådde enden av en kurslinje og skulle starte på neste.



Figur 3.5.1. Rigging av luftkanonfeltet på "Akademik Shatskiy".

Det seismiske skytefeltet (3 x 10 nm (5,5 x 18,5 km), Fig. 3.1.1) var posisjonert i sentrum av selve forsøksområdet. Totalt hadde en planlagt å skyte 45 kurslinjer, hver på 10 nm, med en avstand på 125 m mellom hver kurslinje. Det ble skutt 36 av de planlagte linjene, mens 9 ble utelatt fordi kontraktstiden var utløpt (se Appendix D). Skytingen ble utført i en hastighet på 4,8 knop, og det ble skutt hvert 10. sekund, d.v.s. hver 25 m.

## 3.6 Støttemålinger

### Lydmålinger

Det ble gjennomført lydmålinger under avfyring av luftkanonoppsettet for å kunne relatere eventuelle skremmeeffekter på fisk til lydnivå og frekvensspekter fra kanonfeltet. Målingene ble utført fra "Stallo" som lå oppankret inne i forsøksfeltet med stanset maskineri. En hydrofon (Brüel og Kjær, type 8104) ble hengt ut på 80 m dyp og signalene fra denne logget på en digital båndopptaker (Sony Dat Pro II) for senere analyse. Avstanden fra "Stallo" til "Akademic Shatskiy" ble målt med radar og visuelt bedømt innenfor minste radaravstand, 50 m. Utstyret ble kalibrert (Brüel og Kjær kalibrator, type 4229) før og etter målingene.

I tillegg ble de fire fartøyene lydmålt i to forskjellige situasjoner:

"Akademic Shatskiy": Under fri fart (ca. 12 kn) og i samme hastighet som ble benyttet under skyting med luftkanonfeltet (4,8 kn).

"Anny Kræmer": Under fri fart (ca. 10 kn) og under tråling (ca. 3,5 kn).

"Loran": Under fri fart (ca. 10 kn) og under samme hastighet som under haling av lina (ca. 2 kn).

"Stallo": Under fri fart (ca. 10 kn) og under tråling (3 kn).

De to første fartøyene ble lydmålt på Nordkappbanken, mens de to sistnevnte ble lydmålt i Sørøysundet i nærheten av Hammerfest. "Anny Kræmer" og "Akademic Shatskiy" ble lydmålt etter samme prosedyre som nevnt ovenfor. Under måling av "Stallo" og "Loran" ble en sjark benyttet som måleplattform. Ellers var forsøksoppsettet som for de andre fartøyene. Før og etter alle lydmålingene ble det foretatt registreringer av bakgrunnsstøynivået.

I ettertid ble lydspektrene fra fartøyene analysert i 1/3-oktavband på en Brüel og Kjær, type 2143, sanntidsanalysator, mens opptakene som ble gjort under detonasjon av luftkanonfeltet

ble analysert på en Brüel og Kjær frekvensanalysator, type 2143 FFT, og på et Philips lagringsscope.

### **Strømmålinger**

Det er kjent at fangstratene på line kan reduseres sterkt under kraftig strøm. For å ha kontroll med denne faktoren ble det foretatt strømmålinger i perioden 4.5. - 17.5. En strømmåler (SD 2000) ble oppankret 10 m over bunnen i senter av det seismiske skytefeltet.

### **STD-målinger**

Forplantningen av lyd fra den seismiske kilden kan påvirkes av den vertikale lydshastighetsprofilen i vannmassene, ved at særlig den horisontalt rettede energien fra luftkanonfeltet kan avbøyes oppover mot overflaten eller nedover mot bunnen. For å kunne vurdere dette, ble det fra M/Tr "Stallo" tatt tilsammen 11 STD-stasjoner inne i undersøkelsesområdet. En portabel mini STD (Gytre 1991) som måler salinitet (konduktivitet), temperatur og trykk, ble senket med anbefalt hastighet (1 m/s) til omlag 10 m over bunnen.

## 4. RESULTATER

### 4.1 Akustisk mengdeberegning

Forholdene for akustisk mengdemåling av torsk og hyse på Nordkappbanken var nærmest optimale i undersøkelsesperioden. Figur 4.1.1c viser fordelingen av torsk og hyse samlet, gitt i akustiske enheter for arealtetthet, med tetthetskonturer indikert. Fordelingen av total mengde er rimelig jevn i hele området, med høyest tetthet i den nord-vestlige og sør-østlige delen av området og lavere tetthet i nord og nordøst.

I figur 4.1.1a og 4.1.1b er totalmengden oppdelt i en pelagisk og en bunn-nær del. Disse viser at den pelagiske delen utgjorde hovedandelen, og at den bunn-nære delen hadde en litt annen horisontal fordeling enn det som fremgår av totalmengden. Der det var lavere tetthet i den pelagiske delen, for eksempel i øst, var tettheten nær bunnen høyest. Hovedtyngden av fisken stod i de nederste 50 m av vannsøylen, med omlag 30% av totalmengden i bunnkanalen, og fordelingskartet over total mengde gir det beste bildet av det reelle fordelingsmønsteret av torsk og hyse før skyting.

Tetthetsfordelingen var uten 0-verdier i hele undersøkelsesområdet, og de akustiske middelverdiene hadde liten varians (Tabell 4.1.1 - 4.1.3). Eksempelvis har det akustiske tetthetsestimater for torsk og hyse i hele undersøkelsesområdet, d.v.s. i området innenfor en radius på 20 nm fra senter, en middelverdi på  $\langle s_A \rangle = 129,8 \text{ m}^2/\text{nm}^2$  og en varians på  $\pm 5,4\%$ . Den lave variansen er et resultat av at fisken var jevnt fordelt, men også av at den høye dekningsgraden har beskrevet strukturen i tetthetsfordelingen.

Tetthet og fordeling av torsk og hyse under den seismiske skytingen er vist i Figur 4.1.2 og for perioden etter skyting i Figur 4.1.3. En kan klart se en betydelig tetthetsreduksjon i hele området, særlig sentralt, innenfor omlag 5 nm fra senter av skyteområdet og i nordvest. Et rimelig godt bilde på fordelingsmønsteret under skyting er gitt av en kurs, legg, tvers gjennom skytefeltet i øst - vest retning 9. mai (Fig. 4.1.4), med lavest tetthet inne i selve skytefeltet, eller 5 nm til hver side fra senter, med gradvis økende tetthet til hver side. I perioden etter

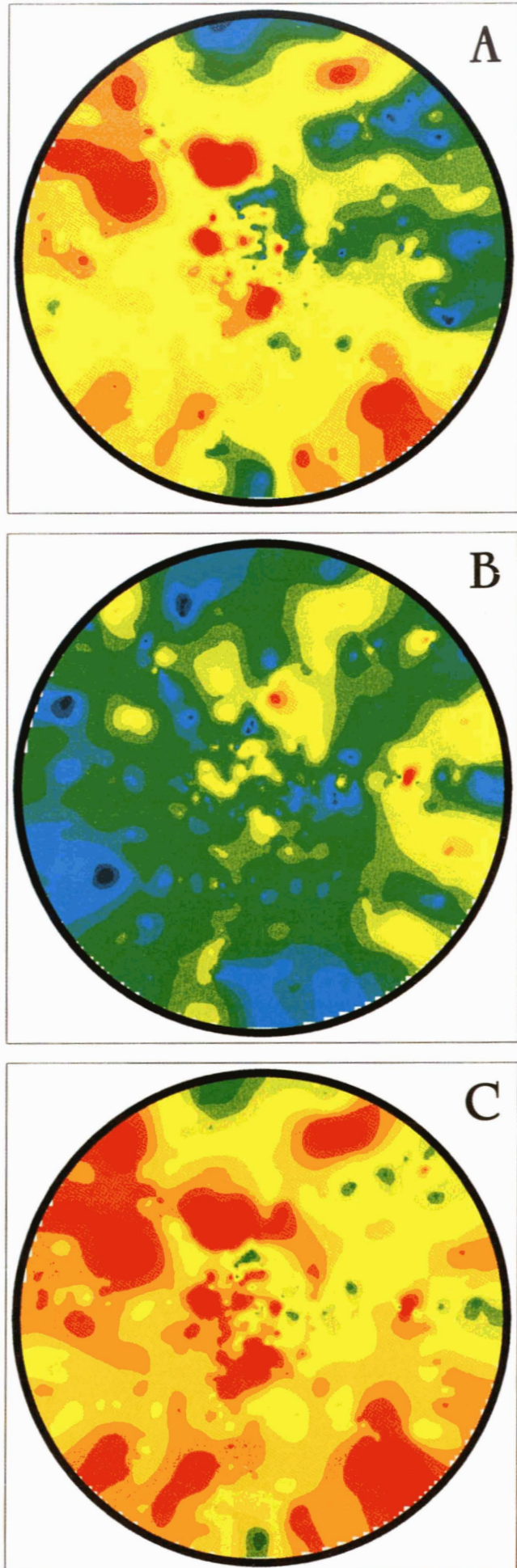
skyting (ref. Fig. 4.1.3), skjedde en ytterligere reduksjon i totalmengde, men også en gradvis utjevning av tettheten horisontalt.

Et bedre bilde på den reelle effekten på total akustisk mengde av torsk og hyse kan fåes ved å bryte dataene opp radielt, uten å ta hensyn til horisontale forskjeller i tetthet. Dette er gjort i Figur 4.1.5 for totalområdet og Figur 4.1.6 områdevis i sirkulære belter (ref. også Tabell 4.1.1 til 4.1.3 der de akustiske dataene er oppsummert på område og tid ). Total akustisk tetthet for hele området er redusert fra et gjennomsnitt på 129,8 til 72,0 under skyting, eller en relativ reduksjon på 45%. For perioden etter skyting er middelveidien 46,2, som tilsvarer en reduksjon fra utgangspunktet på 64%. En viss avstandseffekt var tilstede under skyting, med lavere tetthet enn gjennomsnittet innenfor 5 nm og i skyteområdet, og høyere tetthet utenfor 10 nm fra sentrum (Fig. 4.1.6). Denne effekten ble utjevnet etter skyting, da tettheten var tilnærmet lik i alle avstander.

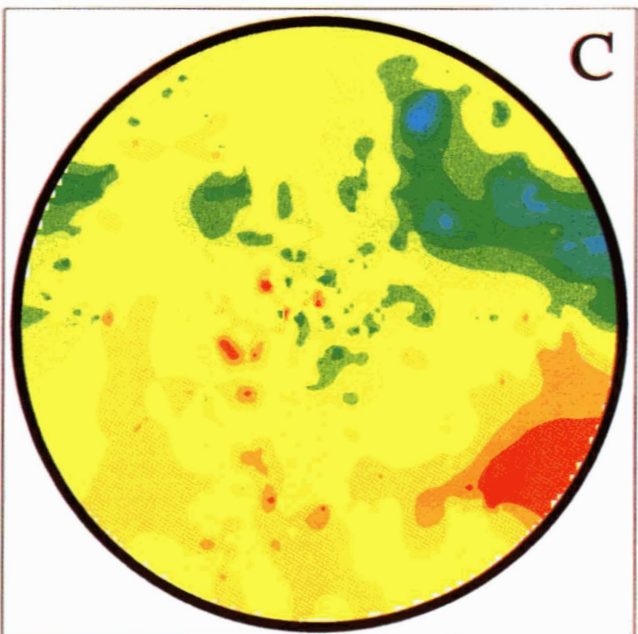
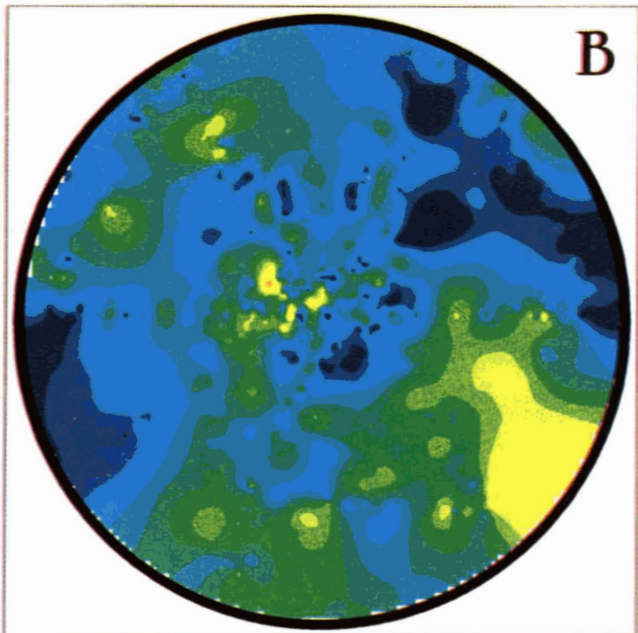
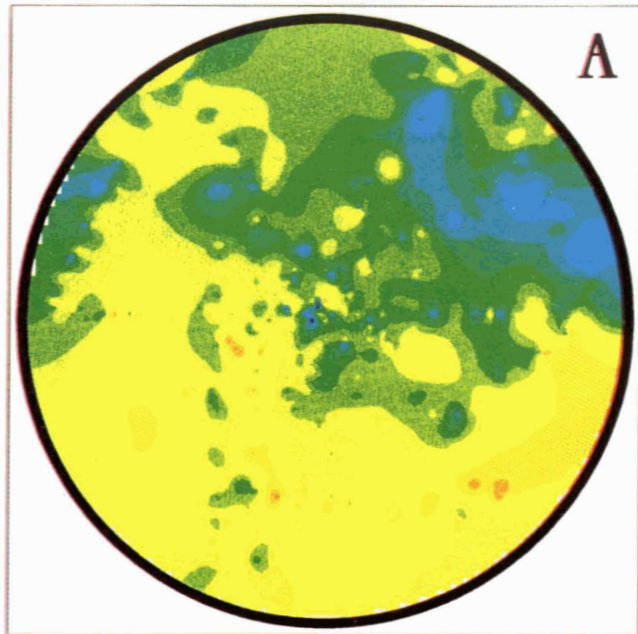
Vertikalt var reduksjonen større i den pelagiske delen enn i bunnkanalen, henholdsvis på 47 og 39% (Fig. 4.1.7), som kan bety at endel av den fisken som før skytingen sto rett over bunnkanalen ble trykket ned i denne under skyting. Hovedtrekket var likevel en horisontal transport av fisk ut av området, med en kraftig reduksjon av total tetthet.

Det akustiske målet for tetthet kan ikke direkte omregnes til mengde i tonn eller antall, da stor fisk gir et relativt større bidrag til dette målet enn liten fisk. Her benyttes lengde- og artsfordelingene for torsk og hyse i prøvetakingstrålen for å gjøre om både arts- og lengdefordelingen til absolutte antallsfordelinger, og videre til vekt for begge arter. Dette er nærmere beskrevet i Appendix A.

Mengdeberegningene viste at det var omlag 33.000 tonn torsk og 6.000 tonn hyse totalt innenfor hele undersøkelsesområdet på 1.257 nm<sup>2</sup>, eller 31 tonn fisk pr. nm<sup>2</sup> i gjennomsnitt for hele området. Oppdeling av total vekt på område blir nå proporsjonal med de akustiske tetthetsmålene innenfor samme periode, slik at en innenfor skyteområdet på 3 x 10 nm, hadde 834 tonn torsk og hyse, hvorav 85% var torsk. Omregnet til reell vekt for hele området ble mengden torsk redusert fra 33.000 tonn før skyting til 16.500 tonn under skyting, og videre til 9.700 tonn etter skyting (Fig. 4.1.8). Tilsvarende ble mengden hyse for samme område redusert fra 6.000 tonn til 3.200 tonn under skyting og 3.100 tonn etter skyting.

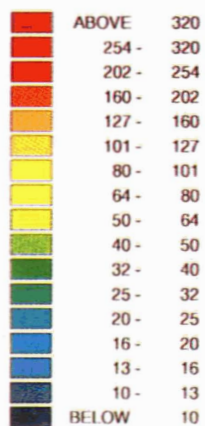


Figur 4.1.1. Fordeling av torsk og hyse i absolutte akustiske tetthetsenheter [ $m^2/nm^2$ ] før seismisk skyting. Pelagisk (A), bunn (B) og total (C). Bunnkanal = 10 m. Området vist har en diameter på 40 nautiske mil, med senter i  $72^{\circ}20'N$   $26^{\circ}00'Ø$ .

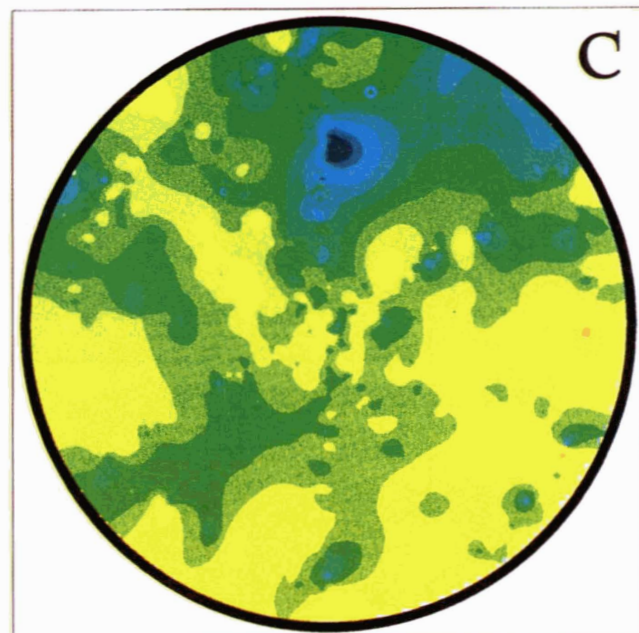
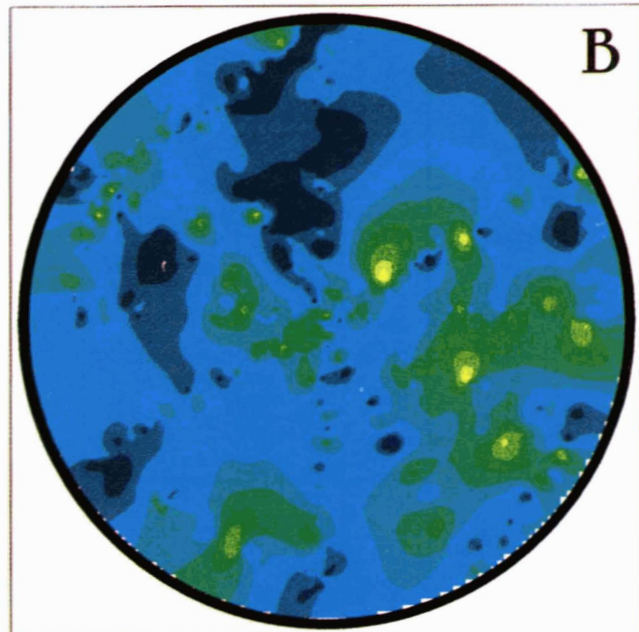
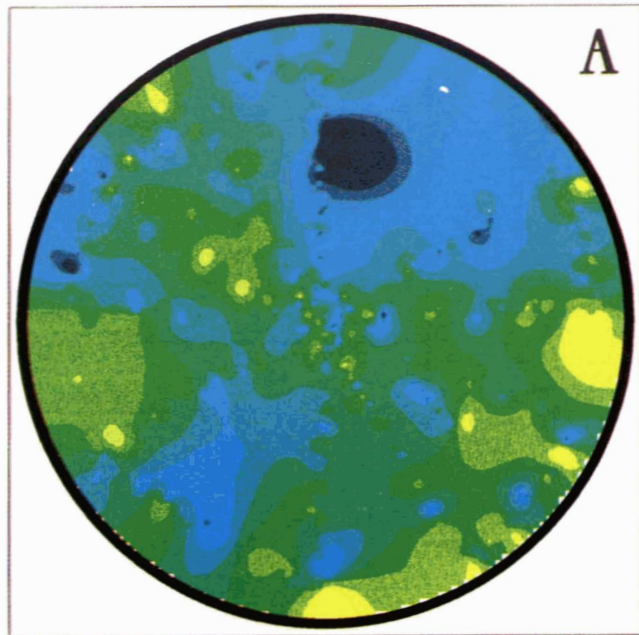


Figur 4.1.2. Fordeling av torsk og hyse i absolutte akustiske tetthetsenheter [ $m^2/nm^2$ ] under seismisk skyting. Pelagisk (A), bunn (B) og total (C). Bunnkanal = 10 m. Området vist har en diameter på 40 nautiske mil, med senter i  $72^{\circ}20'N$   $26^{\circ}00'\text{Ø}$ .

ACUSTIC DENSITY

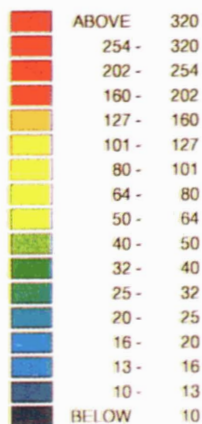






Figur 4.1.3. Fordeling av torsk og hyse i absolutte akustiske tetthetsenheter [ $m^2/nm^2$ ] etter seismisk skyting. Pelagisk (A), bunn (B) og total (C). Bunnkanal = 10 m. Området vist har en diameter på 40 nautiske mil, med senter i  $72^{\circ}20'N$   $26^{\circ}00'\text{Ø}$ .

ACUSTIC DENSITY



Tabell 4.1.1. Akustiske målinger av gjennomsnittlig fisketetthet av torsk og hyse før skytingen startet beregnet på områdebasis, angitt i midlere arealtilbakespredningskoeffisient  $s_A$ , med beregnet varians fra henholdsvis vanlig statistikk og geostatistikk gitt i % av middelveidien. Antall milverdier brukt i hvert område, areal (N) og dekningsgrad (DG) er angitt. Dekningsgraden er beregnet etter Aglen (1983).

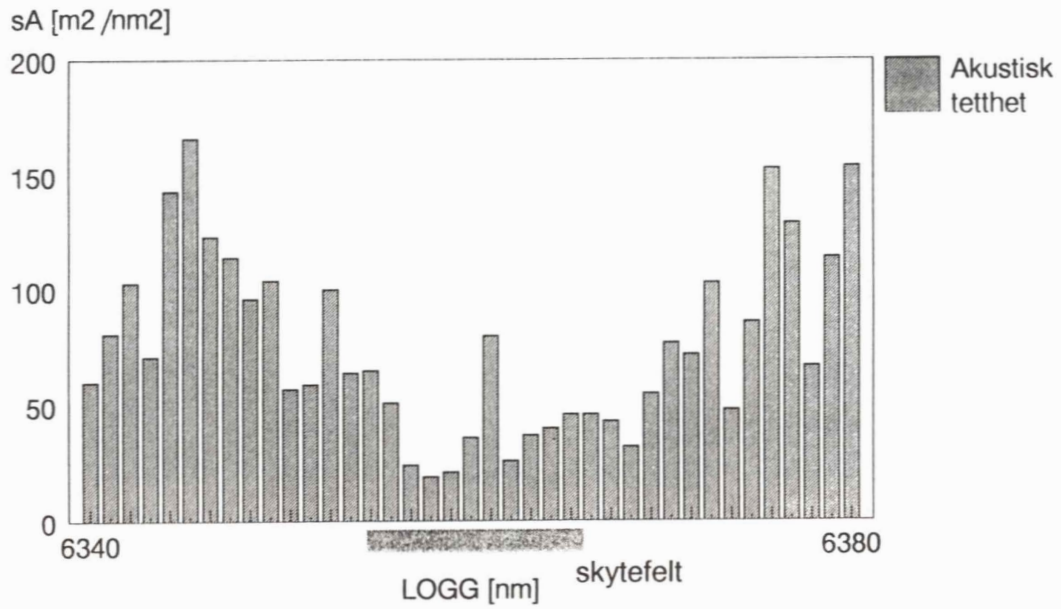
Område	Område A 3x10 nm			Område B < 5 nm			Område C 5-10 nm			Område D 10-15 nm			Område E 15-20 nm			Område F < 20 nm		
Mål	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB
Enhet	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%
Total før skyting	116,3	8,7	8,5	130,5	5,8	6,7	127,8	7,4	9,8	127,8	4,5	5,5	132,5	4,3	4,7	129,8	2,8	5,4
Pelagisk før skyting	79,0	11,1	10,6	90,3	7,3	8,6	90,1	9,7	13,5	87,2	5,3	6,7	95,0	5,3	5,8	90,9	3,5	7,6
Bunn før skyting	37,3	6,7	5,4	40,2	4,7	4,2	37,7	6,4	7,2	40,6	8,4	8,4	37,4	6,1	6,1	38,9	3,2	10,0
N	63			132			117			111			137			497		
Areal nm <sup>2</sup>	30			78,5			235,6			392,7			549,8			1256,6		
DG	11,5			14,9			7,6			5,6			5,8			14,0		

Tabell 4.1.2. Akustiske målinger av gjennomsnittlig fisketetthet av torsk og hyse **under** skyting beregnet på områdebasis, angitt i midlere arealtilbakespredningskoeffisient  $s_A$ , med beregnet varians fra henholdsvis vanlig statistikk og geostatistikk gitt i % av middelveidien. Antall milverdier brukt i hvert område, areal (N) og dekningsgrad (DG) er angitt. Dekningsgraden er beregnet etter Aglen (1983).

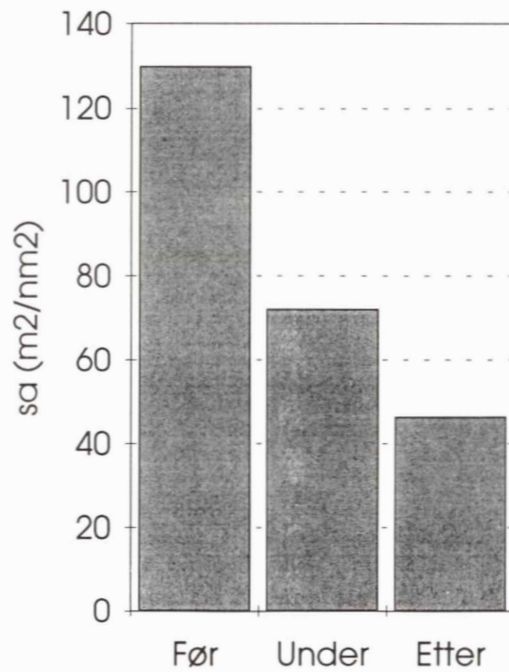
Område	Område A 3x10 nm			Område B < 5 nm			Område C 5-10 nm			Område D 10-15 nm			Område E 15-20 nm			Område F < 20 nm		
Mål	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB
Enhet	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%
Total før skyting	65,4	5,5	4,9	62,8	3,9	5,0	72,2	3,4	3,4	82,6	4,1	4,9	78,6	4,3	4,7	72,0	2,1	8,0
Pelagisk før skyting	39,4	6,1	5,1	40,0	4,1	5,9	49,5	3,9	4,0	56,8	5,1	6,6	54,3	5,1	6,9	48,4	2,3	10,9
Bunn før skyting	26,1	8,2	8,2	22,8	6,0	6,0	22,7	4,0	4,0	25,8	5,1	5,1	24,4	6,5	6,5	23,7	2,9	2,9
N	99			226			149			119			121			615		
DG	18,1			25,5			9,7			6,1			5,1			17,0		

Tabell 4.1.3. Akustiske målinger av gjennomsnittlig fisketetthet av torsk og hyse **etter** skyting beregnet på områdebasis, angitt i midlere arealtilbakespredningskoeffisient  $s_A$ , med beregnet varians fra henholdsvis vanlig statistikk og geostatistikk gitt i % av middelverdien. Antall milverdier brukt i hvert område, areal (N) og dekningsgrad (DG) er angitt. Dekningsgraden er beregnet etter Aglen (1983).

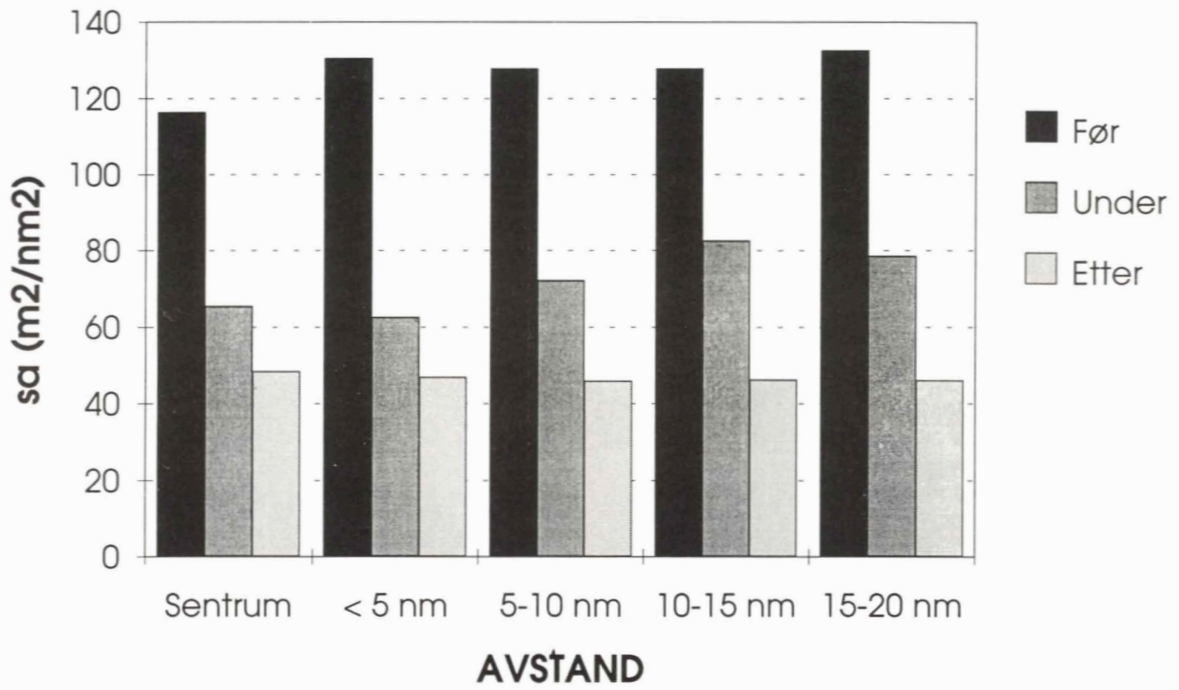
Område	Område A 3x10 nm			Område B < 5 nm			Område C 5-10 nm			Område D 10-15 nm			Område E 15-20 nm			Område F < 20 nm		
Mål	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB	$\langle s_A \rangle$	VarA	VarB
Enhet	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%	(m <sup>2</sup> /nm <sup>2</sup> )	%	%
Total før skyting	48,4	4,9	4,8	46,9	3,3	3,4	45,9	4,3	4,2	46,3	4,2	4,4	46,1	2,9	4,7	46,2	1,8	3,7
Pelagisk før skyting	26,6	6,5	6,6	26,4	4,4	4,2	26,7	4,3	4,0	28,0	4,4	4,3	28,4	3,3	5,1	27,6	2,0	3,0
Bunn før skyting	21,7	5,5	5,8	20,6	4,3	4,7	19,1	7,0	7,2	18,2	6,6	7,2	17,7	4,0	5,8	18,6	2,6	4,7
N	56			105			95			94			232			526		
DG	10,2			11,8			6,1			4,7			9,9			14,8		



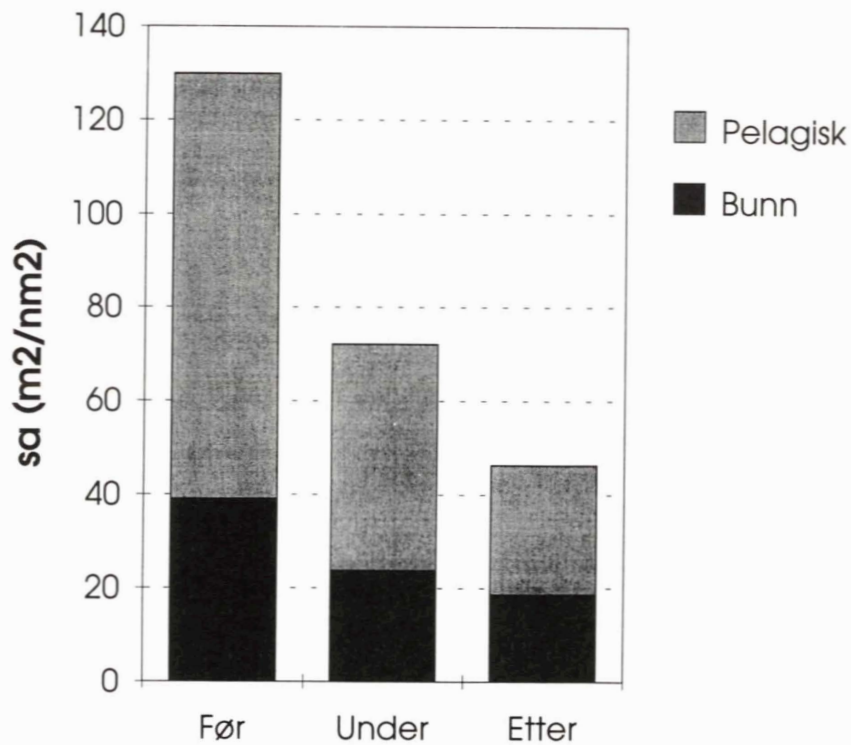
Figur 4.1.4. Akustiske totalverdier for torsk og hyse med 1 nm oppløsning, samlet på en rett kurs, eller legg, tvers gjennom sentrum av området i øst - vest retning under skyting, 9. mai. Fartøylogg vises langs x-aksen.



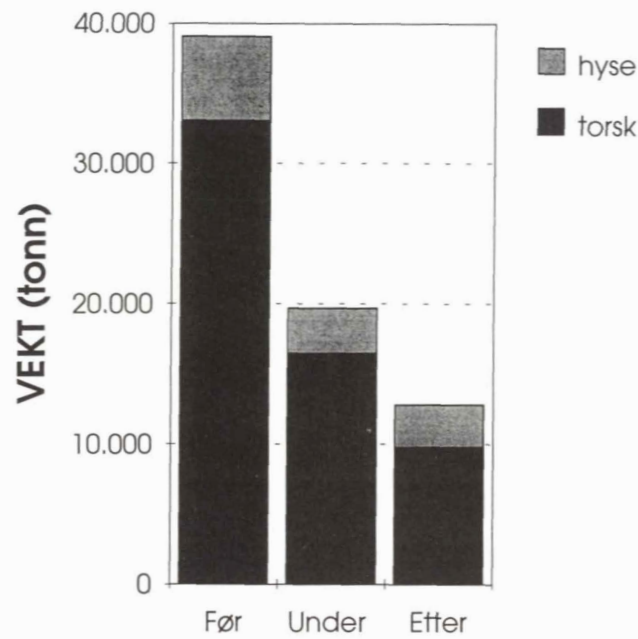
Figur 4.1.5. Total akustisk tetthet innenfor hele undersøkelsesområdet, før, under og etter skyting.



Figur 4.1.6. Total akustisk tetthet fordelt på avstand fra skytefeltet, før, under og etter skyting.

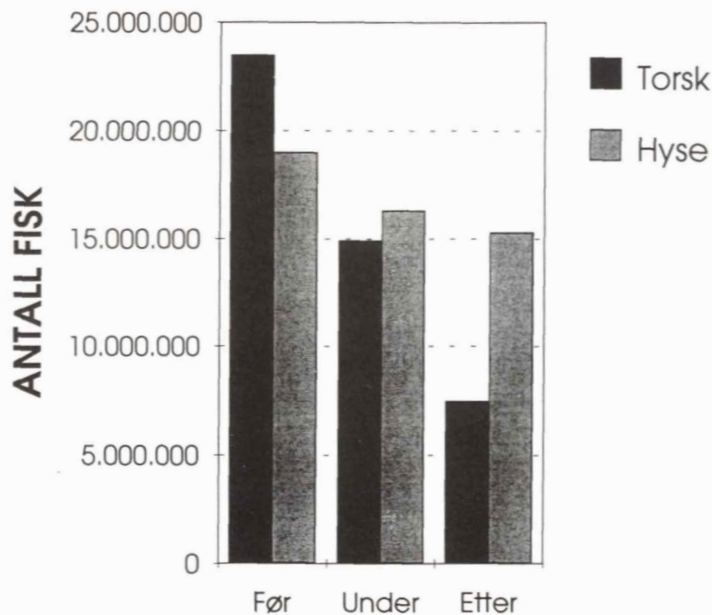


Figur 4.1.7. Akustisk tetthetsfordeling oppdelt i pelagisk og bunn-nær del.

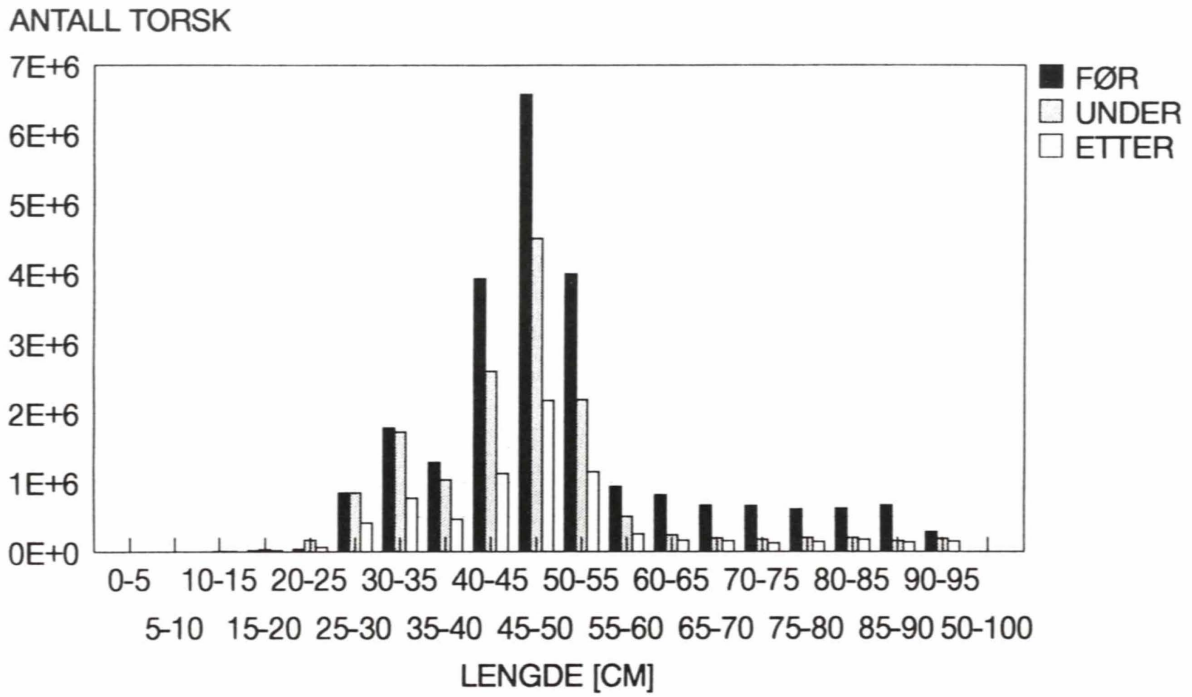


Figur 4.1.8. Totalmengde torsk og hyse i vekt, før under og etter skyting.

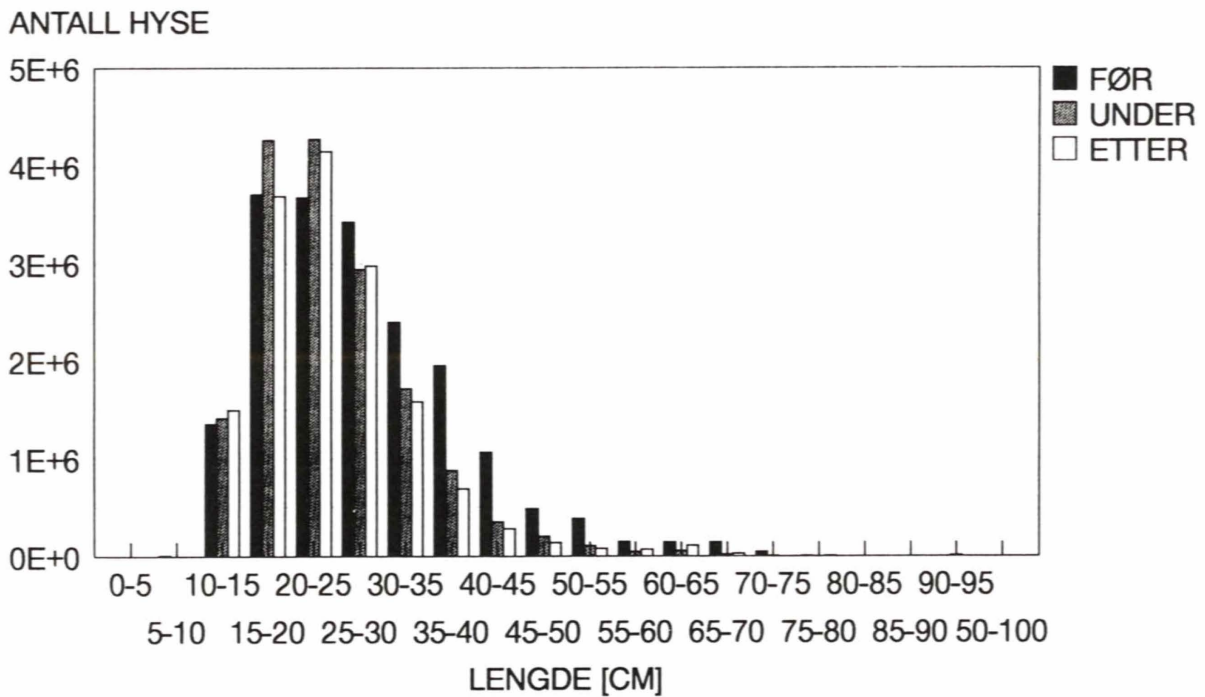
Antallsfordelingen for begge arter i alle tre periodene (Fig. 4.1.9) viser en svakere reduksjon enn vektfordelingen, noe som klart fremkommer også av lengdefordelingen i fangstene (Fig. 4.1.10 og 4.1.11). Her er det tydelig at torsk større enn 60 cm sto for en større del av vektreduksjonen enn den mindre fisken (Fig. 4.1.12). Det samme var tilfelle for hyse større enn 30 cm.



Figur 4.1.9. Totalantall torsk og hyse, før, under og etter skyting.

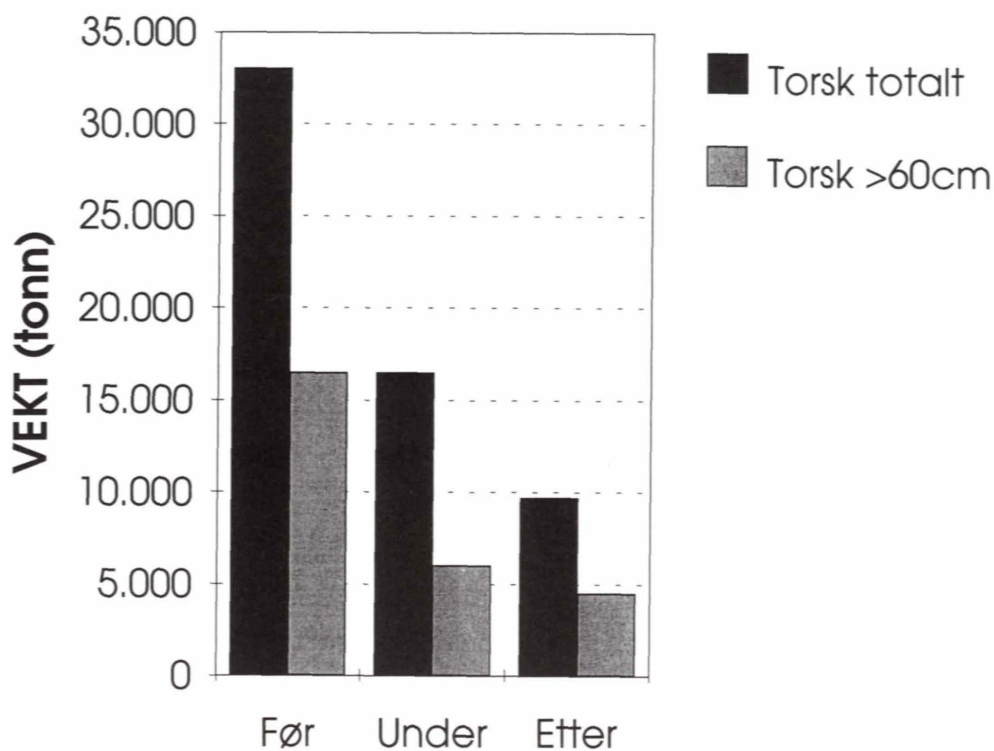


Figur 4.1.10. Lengdefordeling av torsk fra prøvetakingstrålen, før, under og etter skyting. Stasjoner slått sammen: Før: st. 1-14, Under: st. 15-60, Etter: st. 62 - 94.



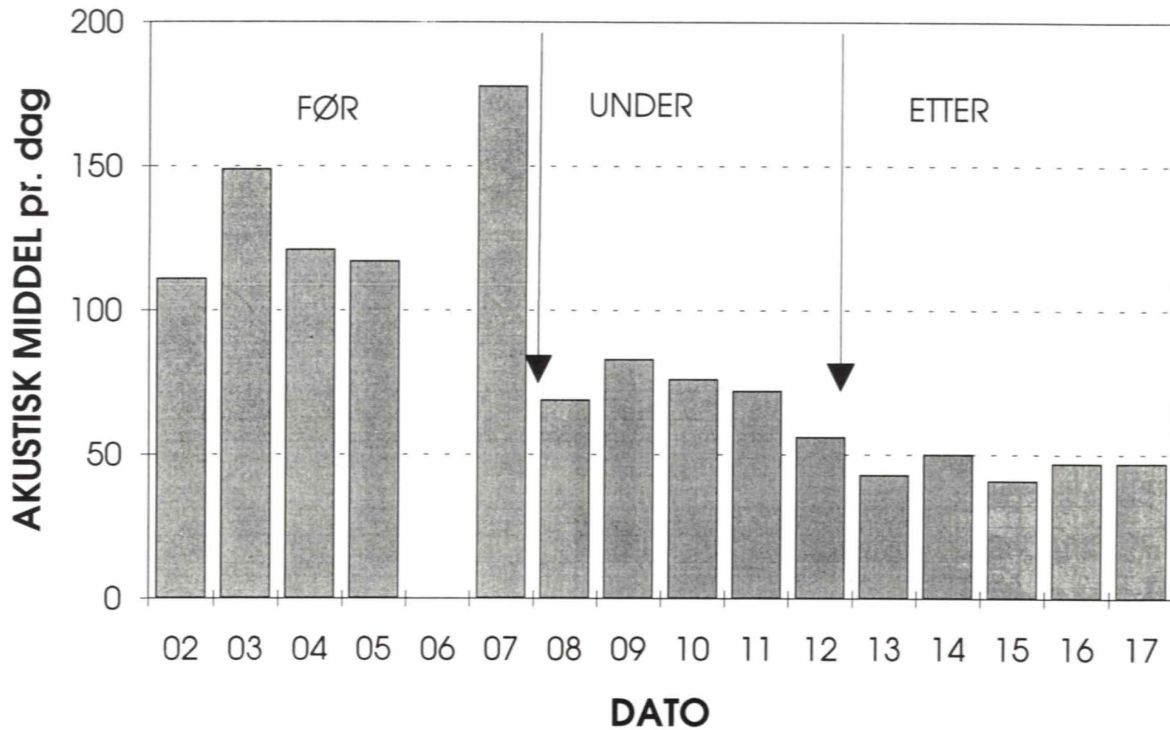
Figur 4.1.11. Lengdefordeling av hyse fra prøvetakingstrålen, før, under og etter skyting. Stasjoner slått sammen: Før: st. 1-14, Under: st. 15-60, Etter: st. 62 - 94.





Figur 4.1.12. Relativ, vektbasert andel av torsk større enn 60 cm fanget i prøvetakingstrålen, før, under og etter skyting.

En høyere tidsoppløsning for hele perioden (Fig. 4.1.13), der middelerdi for akustisk tetthet er beregnet for hver dag, viser at fiskemengden i området var stabilt høy, uten tidstrend i perioden før skyting, med maksimalverdi dagen før skyting, 7. mai. Effekten av den seismiske skytingen var umiddelbar, og så rask at vi knapt registrerte selve fallet akustisk. Under selve skytingen var det en klar tidstrend i dataene mot lavere tetthetsverdier, med en utflating i perioden etter skyting.



Figur 4.1.13. Akustisk mengde, gjennomsnitt pr. dag, uavhengig av posisjon, gjennom hele perioden, 1. - 17.5.1992. 6.5 : Møte med seismikkfartøyet i Hammerfest.

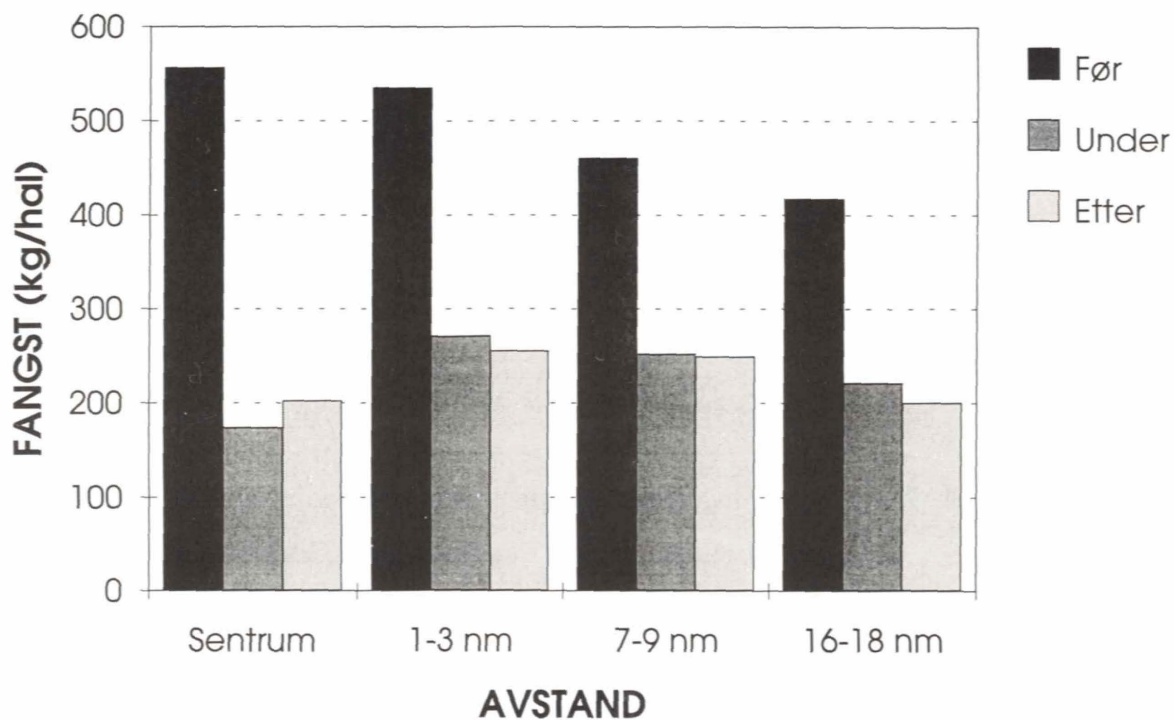
## 4.2. Trålfangster

### Fangstenes størrelse

Torsk utgjorde hovedtyngden av fangstene både i trål og på line. Ombord på tråleren "Anny Kræmer" var i gjennomsnitt mer enn 90% av fangsten torsk. Nest viktigste art var hyse. I tillegg fikk en enkeltindivider av sei, uer, flekksteinbit, blåsteinbit, rognkjeks, blåkveite, gapeflyndre og skate.

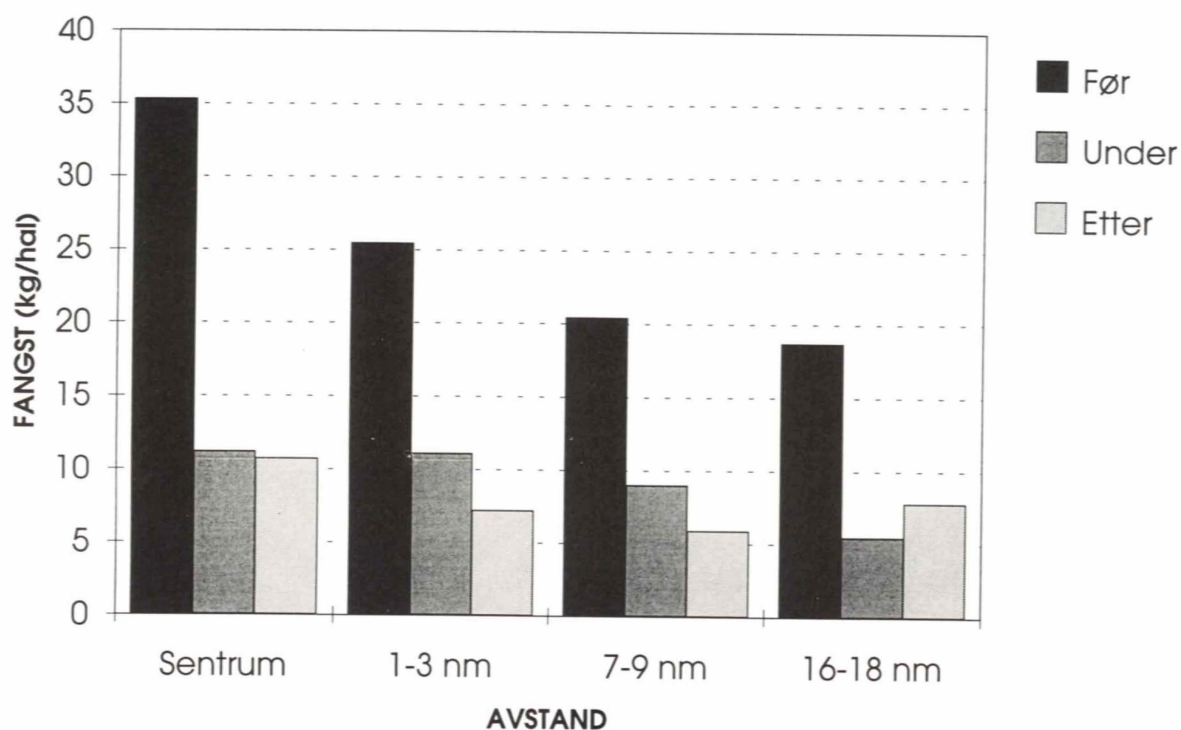
Figur 4.2.1 og Tabell 1 i Appendix E viser den gjennomsnittlige vekten av torsk pr. hal ombord på "Anny Kræmer" før, under og etter skyting, gruppert etter avstand fra skytefeltet. Resultater fra de statistiske analysene er vist i Appendix F. Fangstene var betydelig høyere før skytingen tok til enn under og etter skyting i alle avstander fra skytefeltet (se Appendix

F, Tabell 1). Størst var reduksjonen innenfor skytefeltet, der gjennomsnittsfangsten av torsk gikk ned fra 556 ( $\pm$  56) kg før skyting til 173 ( $\pm$  19) kg under og 202 ( $\pm$  14) kg etter skyting. Fangstraten for torsk under skyting ble altså redusert med 71% fra nivået før skyting. Også i halene som ble tatt 1 - 3, 7 - 9 og 16 - 18 nm fra sentrumsområdet, var reduksjonen i fangstene betydelig. Her var reduksjonen fra 45 til 50% i forhold til før skyting. Det går også fram av figuren at det ikke ble observert noen økning i fangstratene for torsk etter at skytingen opphørte.



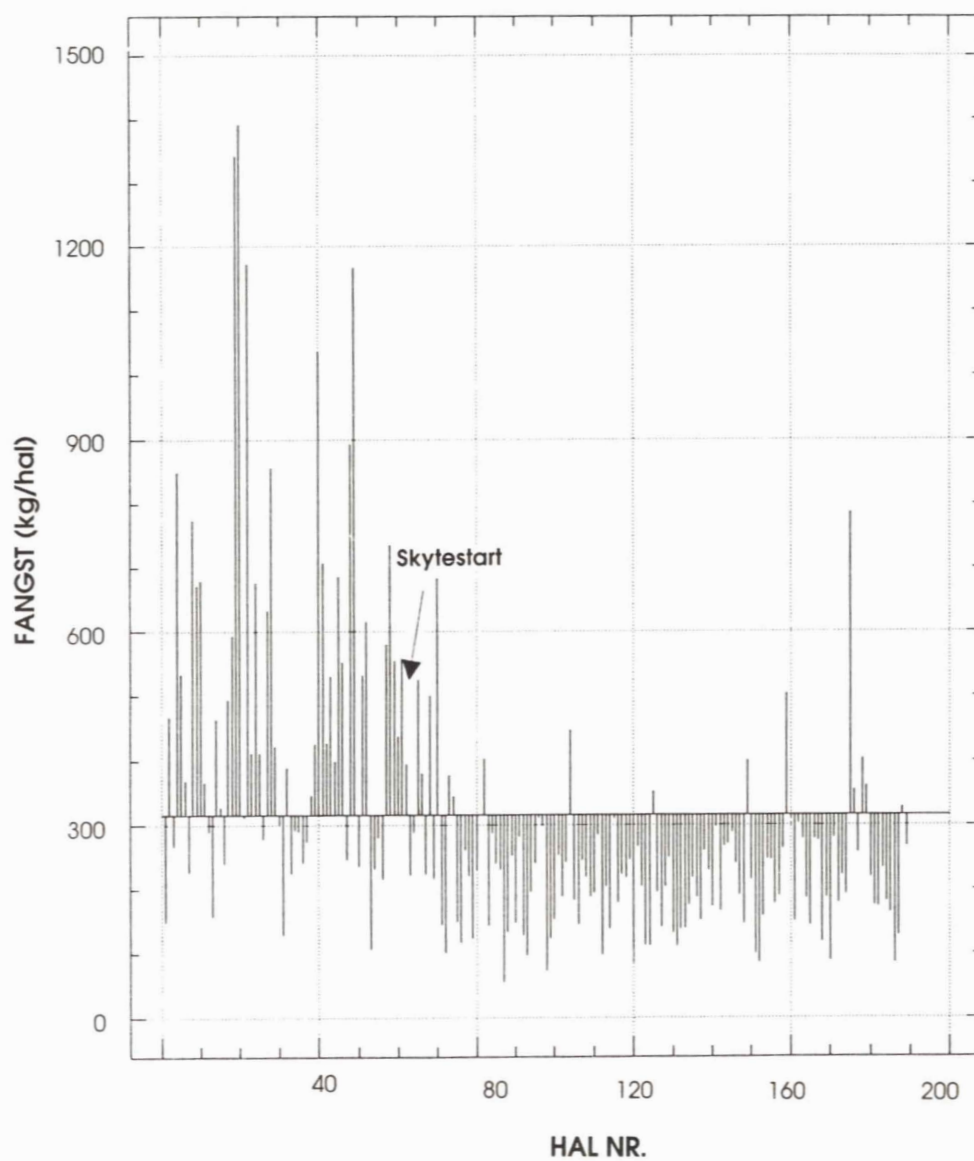
Figur 4.2.1 . Gjennomsnittlige fangstrater for torsk i trål før, under og etter skyting ordnet etter avstand fra skytefeltet.

Fangstene av hyse utgjorde i mengde under 10% av totalfangstene. Imidlertid var også fangstene av hyse signifikant mindre under og etter skyting enn før skytingen tok til (Appendix F, Tabell 2). Innenfor skytefeltet var fangstene under skyting redusert med 68% i forhold til før skyting (Fig. 4.2.2 og Tabell 2 i Appendix E). Også i de andre avstandene var fangstene signifikant mindre under og etter skyting. Her var reduksjonen fra før til under skyting henholdsvis 56%, 56% og 70 % ved 1 - 3, 7 - 9 og 16 - 18 nm avstand. Heller ikke for hyse ble det funnet noen økning i fangstrater etter at skytingen var avsluttet.

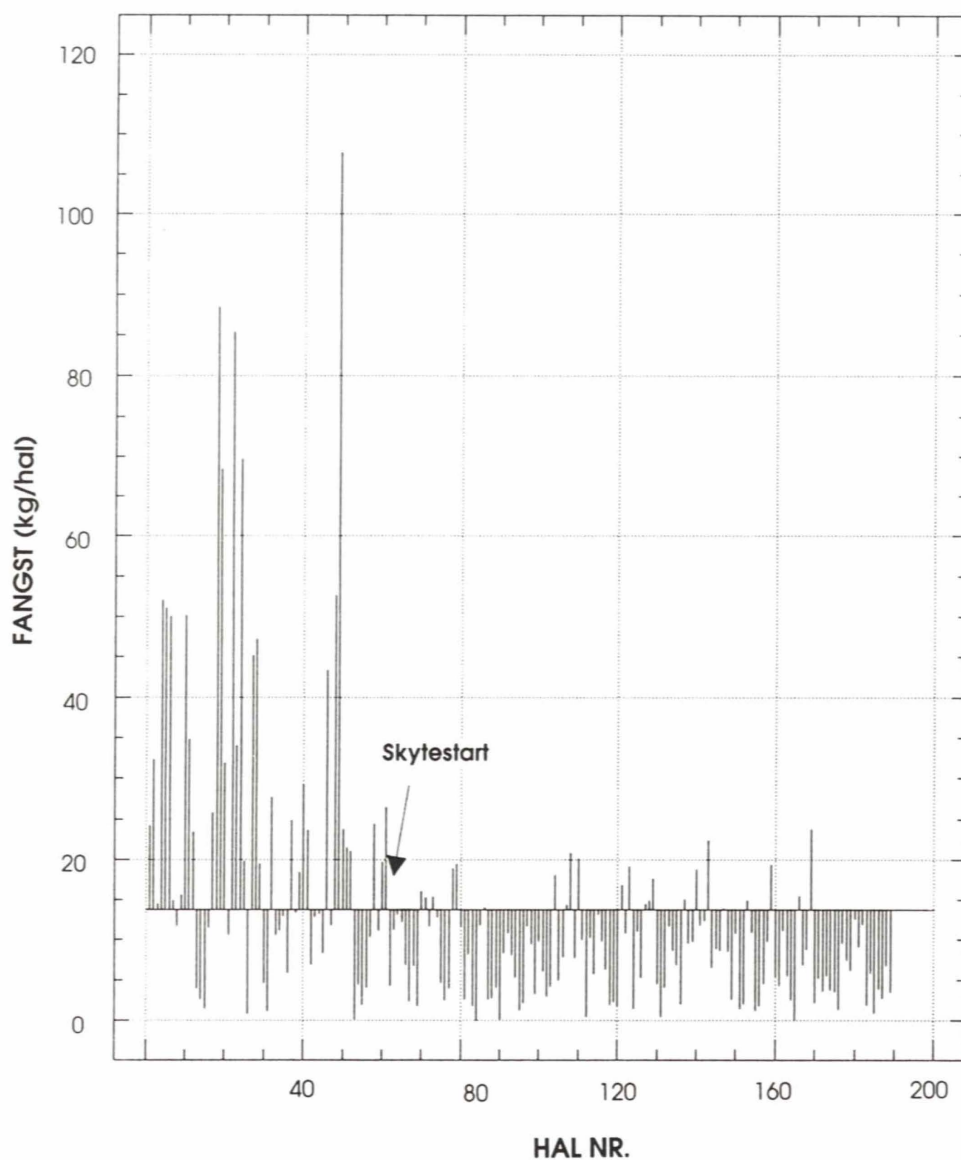


Figur 4.2.2. Gjennomsnittlige fangstrater for hyse i trål før, under og etter skyting ordnet etter avstand fra skytefeltet.

Figur 4.2.3 og 4.2.4 viser tidsutviklingen av fangstratene for torsk og hyse i trål, der fangstene er vist som avvik fra totalgjennomsnittet for hele forsøksperioden. Trålhalene er inntegnet i kronologisk rekkefølge, og det er ikke tatt hensyn til avstand fra skytefeltet. Figurene viser at det var en betydelig variasjon i fangstmengde fra hal til hal gjennom hele forsøksperioden, men en ser likevel tydelig at fangstraten falt rett etter skytestart. Det lave nivået ble opprettholdt gjennom hele skyteperioden (hal 63 til 130) og også i dagene etter at den seismiske virksomheten hadde opphørt. Tidsforløpet var ganske likt for torsk og hyse, selv med langt lavere fangstrater for hyse. Den brå fangstreduksjonen som framgår av tidsforløpsfiguren, falt for begge arter sammen med tidspunktet for skytestart.



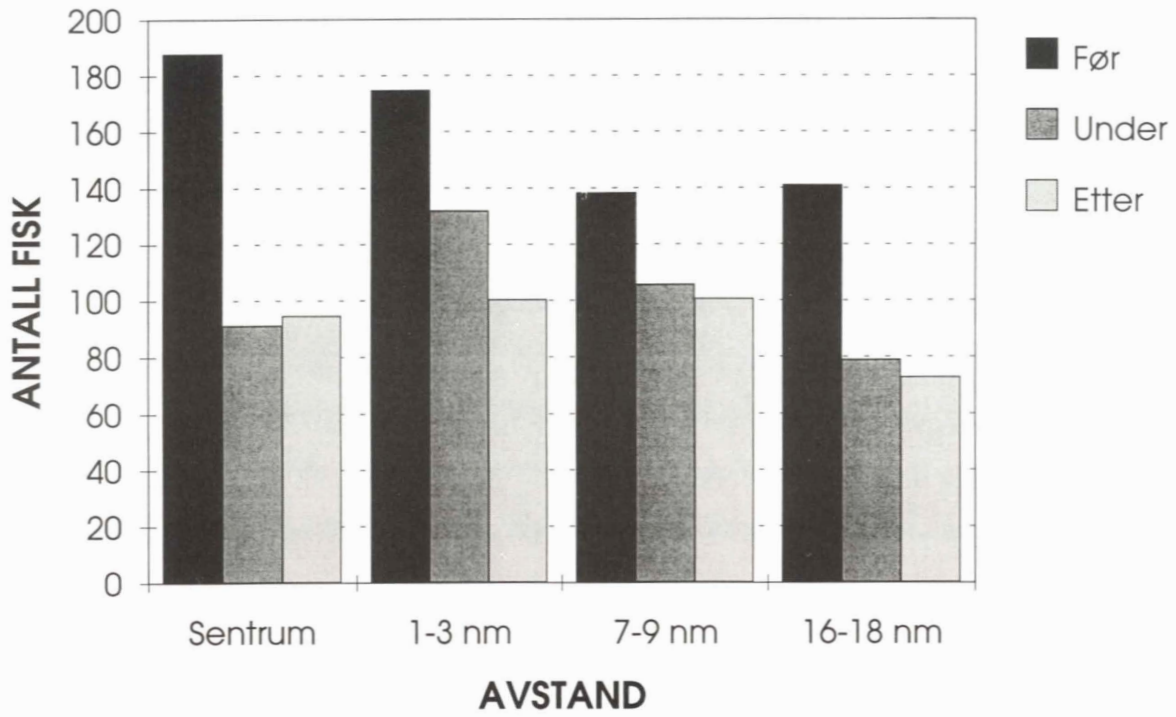
Figur 4.2.3. Fangstratene for torsk i alle trålhalene som ble tatt med "Anny Kræmer" ordnet i kronologisk rekkefølge. Fangstene er vist som avvik fra gjennomsnittet (horisontal linje) for hele forsøksperioden.



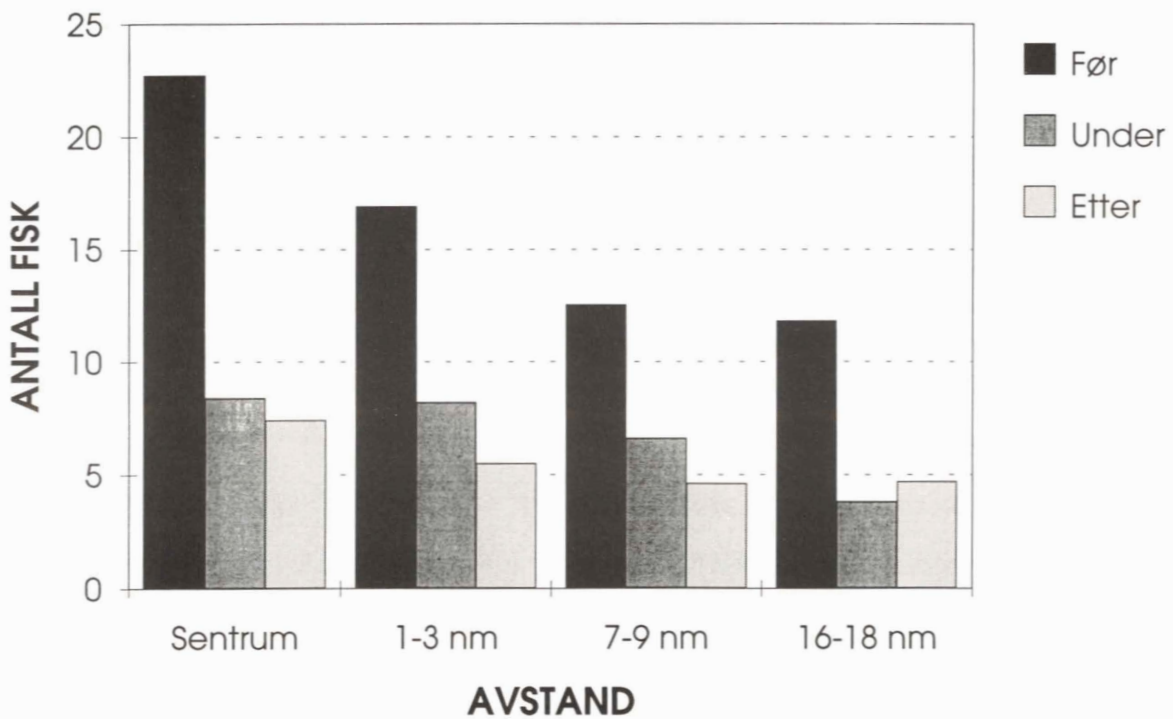
Figur 4.2.4. Fangstratene for hyse i alle trålhalene som ble tatt med "Anny Kræmer" ordnet i kronologisk rekkefølge. Fangstene er vist som avvik fra gjennomsnittet (horisontal linje) for hele forsøksperioden.

### Lengdefordeling og antall fisk i fangstene

Antallsreduksjonen i fangstene var vesentlig mindre enn vektreduksjonen (Fig. 4.2.5 og 4.2.6). Mens vektreduksjonen for torsk innenfor skyteområdet var på 71%, og omlag 50% ut til 18 nm fra skytefeltet, var reduksjonen i antall 46% i sentrum og 35 - 50% i områdene rundt. For hyse var det gjennomgående 5% større reduksjon i vekt enn i antall over hele forsøksområdet.



Figur 4.2.5. Gjennomsnittlig antall torsk i trålfangstene før, under og etter skyting ordnet etter avstand fra skytefeltet.



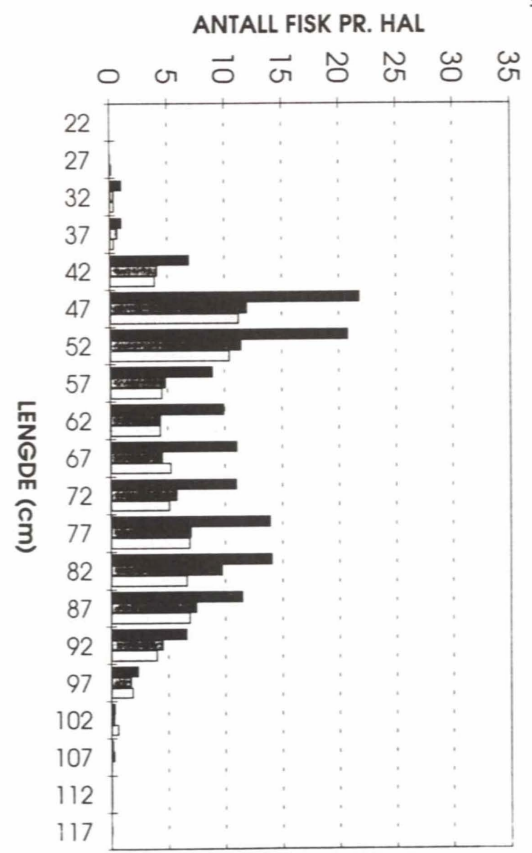
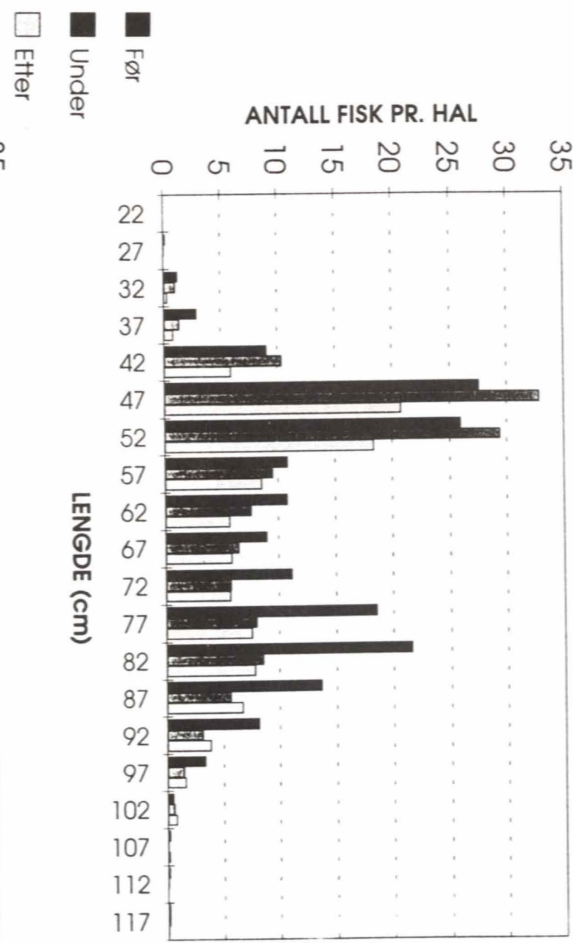
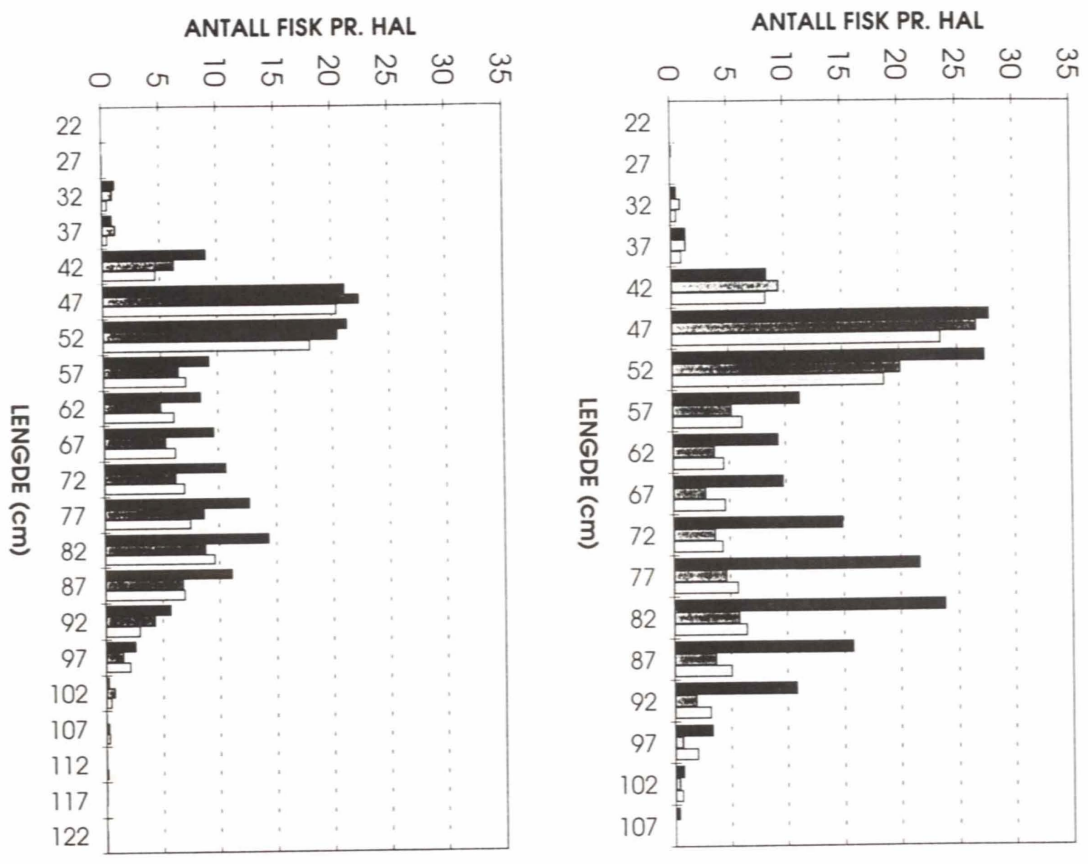
Figur 4.2.6. Gjennomsnittlig antall hyse i trålfangstene før, under og etter skyting ordnet etter avstand fra skytefeltet.

Figur 4.2.7 og 4.2.8 viser lengdefordelingskurver for torsk og hyse. Det meste av torsken som var fanget med kommersiell trål var mellom 40 og 100 cm lang. Lengdefordelingskurven for torsk før skyting var tydelige bimodal (hadde to topper), med ett maksimum ved omlag 50 cm og ett ved ca. 80 cm. Lengdespekteret for hyse var mindre, med hovedtyngden av antallet mellom 35 og 70 cm. Også lengdefordelingskurven for hyse hadde tendens til en bimodal fordeling, om enn ikke så markert som for torsk, med topper ved ca. 50 og 60 cm. Både for torsk og hyse endret lengdefordelingen seg gjennom forsøksperioden. Endringene var størst innenfor skytefeltet, med en gradvis reduksjon mot ytterkanten av forsøksområdet. Den mest markante endringen for torsk var at det øverste maksimum (fra ca. 60 cm og oppover) nesten forsvant. Endringene for fisk under 60 cm var mindre. For hyse var det en jevnere reduksjon i alle størrelsesgrupper (Fig. 4.2.8 a - d).

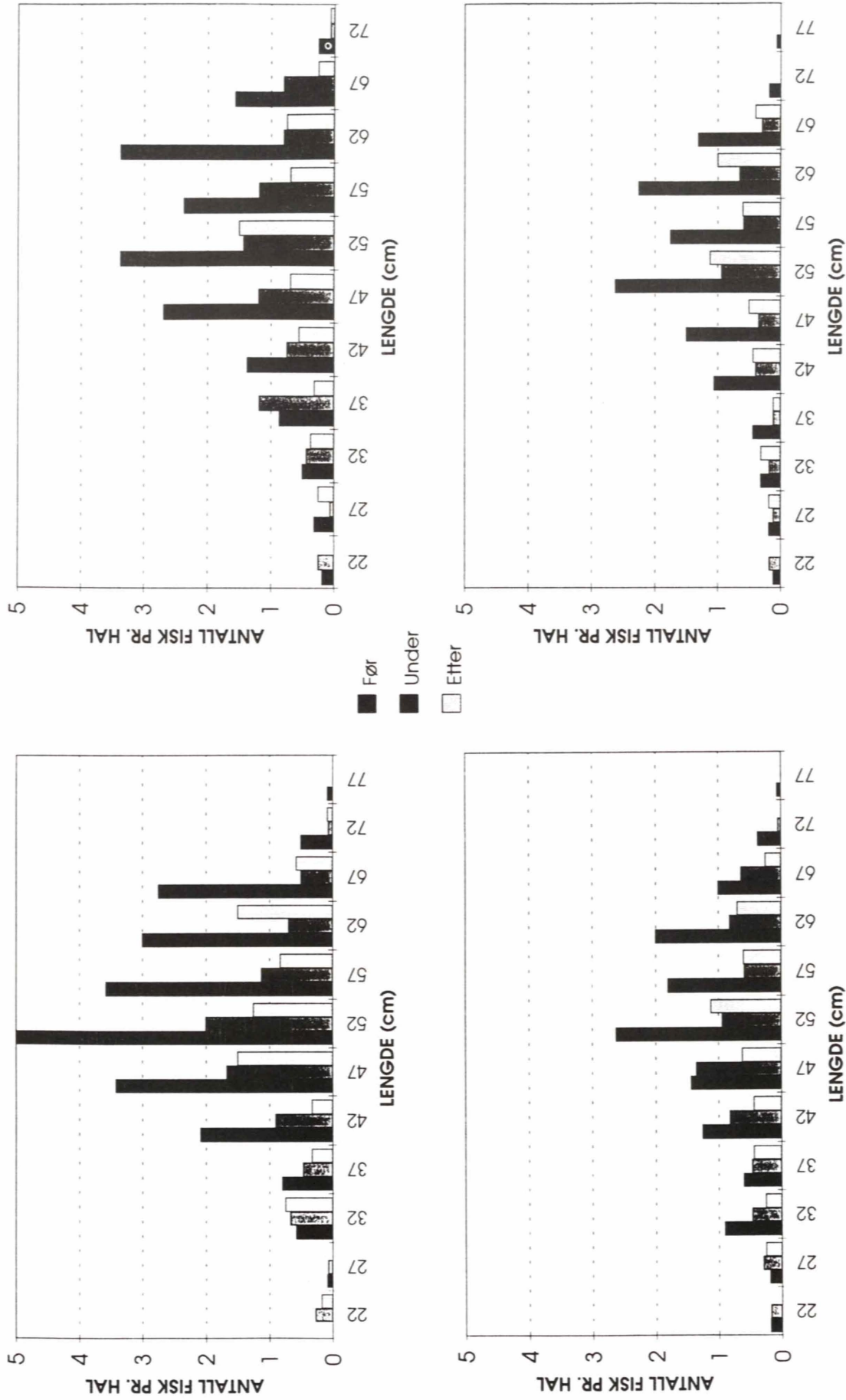
De observerte endringene i lengdefordeling da den seismisk skytingen tok til, forklarer hvorfor vektreduksjonen i fangstene var større enn antallsreduksjonen. I Figur 4.2.9 a og b og 4.2.10 a og b (se også Tabell 3 og 4 i Appendix E) har en splittet opp fangsten av torsk og hyse i to størrelsesgrupper, små (<60 cm) og store (>60 cm), på grunnlag av den to-toppede lengdefordelingen for torsk. Antallet små torsk ble moderat redusert under innflytelse av luftkanonene. For stor fisk, derimot, som påvirker vekten av fangstene i størst grad, skjedde det en sterk reduksjon i antall da skytingen tok til. Innenfor skyteområdet var antallet stor torsk pr. trålhal i gjennomsnitt  $110 \pm 11,4$  før skyting. Etter at skytingen tok til, falt antallet til  $27 \pm 3,2$ . Også i halene som ble tatt i ulike avstander utenfor skytefeltet, var det en betydelig fangstreduksjon i antallet store torsk. For hyse var reduksjonen fordelt over hele lengdespekteret (Tabell 4 i Appendix E) i alle avstander fra skytefeltet, men også her var reduksjonen noe større for stor fisk.

At stor og liten fisk reagerer ulikt på den seismiske skytingen, forårsaker også forandringer i den gjennomsnittlige individvekten for fisk i trålfangstene gjennom forsøksperioden. Gjennomsnittsvekten av torsk og hyse er vist i Figur 4.2.11 og 4.2.12 (se også Appendix F, tabell 5 og 6). Før skytingen tok til var størrelsen på torsken relativt ensartet over hele forsøksområdet. Etter at skytingen startet ble vekten betydelig redusert inne i skyteområdet og i områdene nær ved. Forandringene i gjennomsnittsvekt ble imidlertid gradvis mindre jo lenger ut mot ytterkantene en kom, og i den ytterste posisjonen var det ingen signifikant

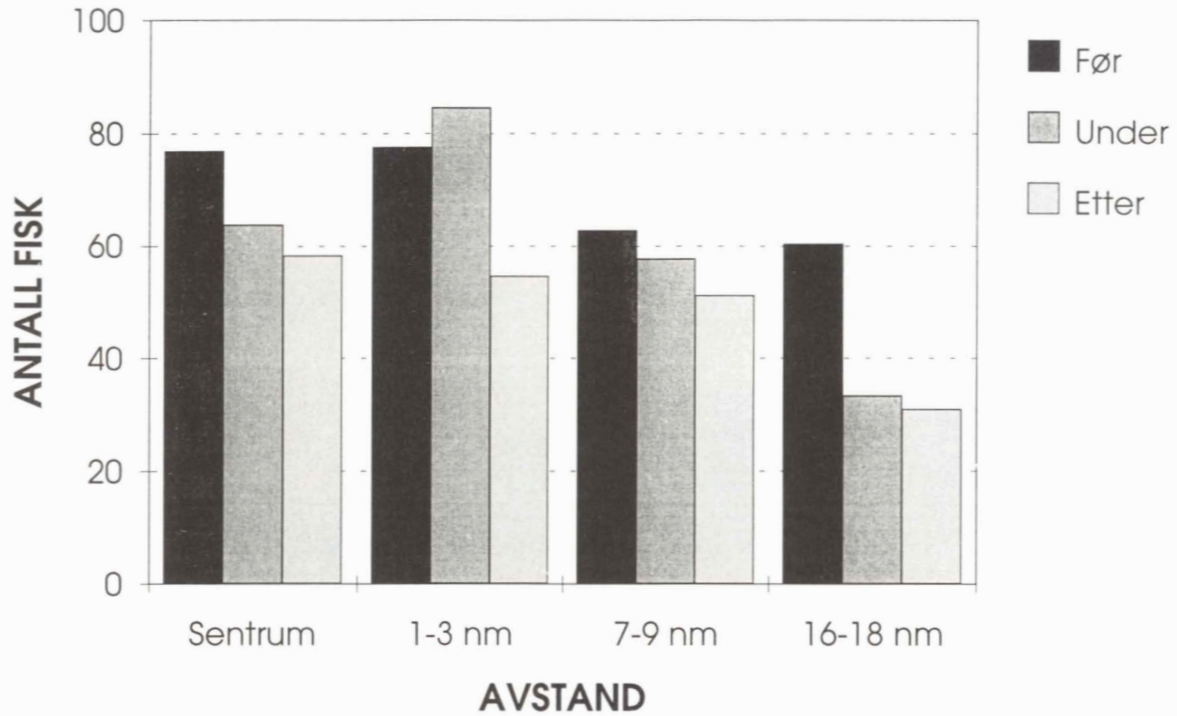




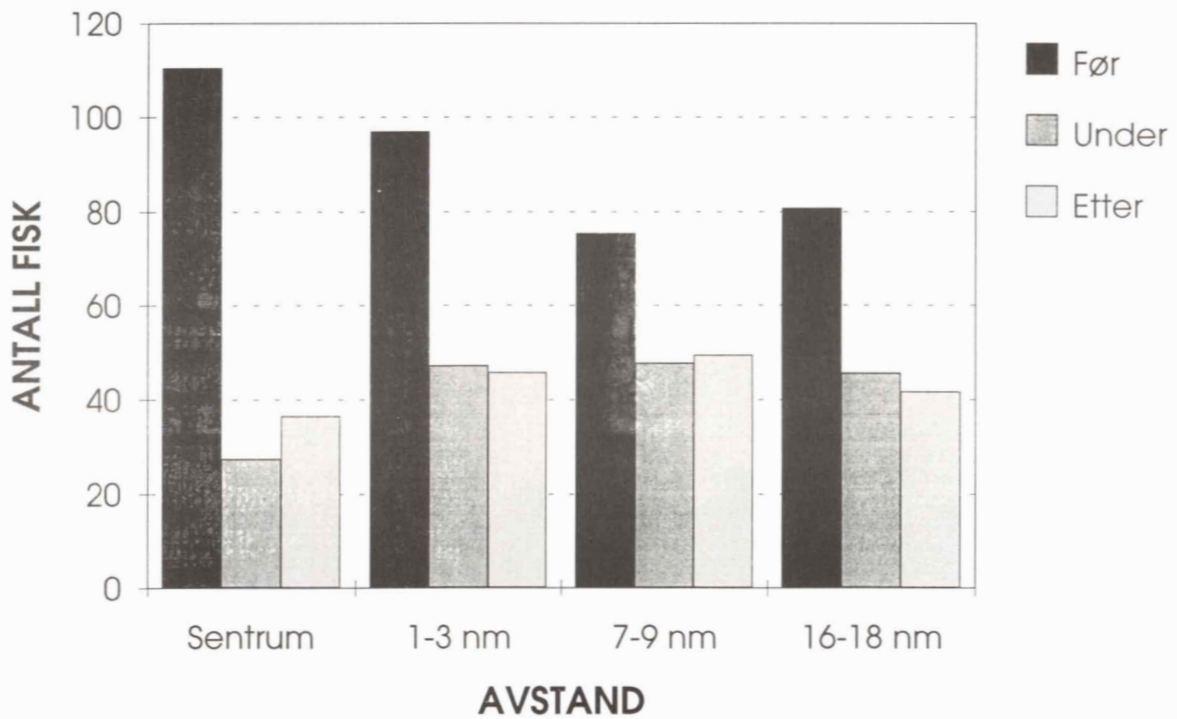
Figur 4.2.7. Lengdefordelingen (cm) for torsk i trålfangstene før, under og etter skyting. a) Inne i skytefeltet, b) 1 - 3 nm avstand, c) 7 - 9 nm avstand, d) 16 - 18 nm avstand.



Figur 4.2.8. Lengdefordelingen (cm) for hyse i trålfangstene før, under og etter skyting. a) Inne i skytefeltet, b) 1 - 3 nm avstand, c) 7 - 9 nm avstand, d) 16 - 18 nm avstand.

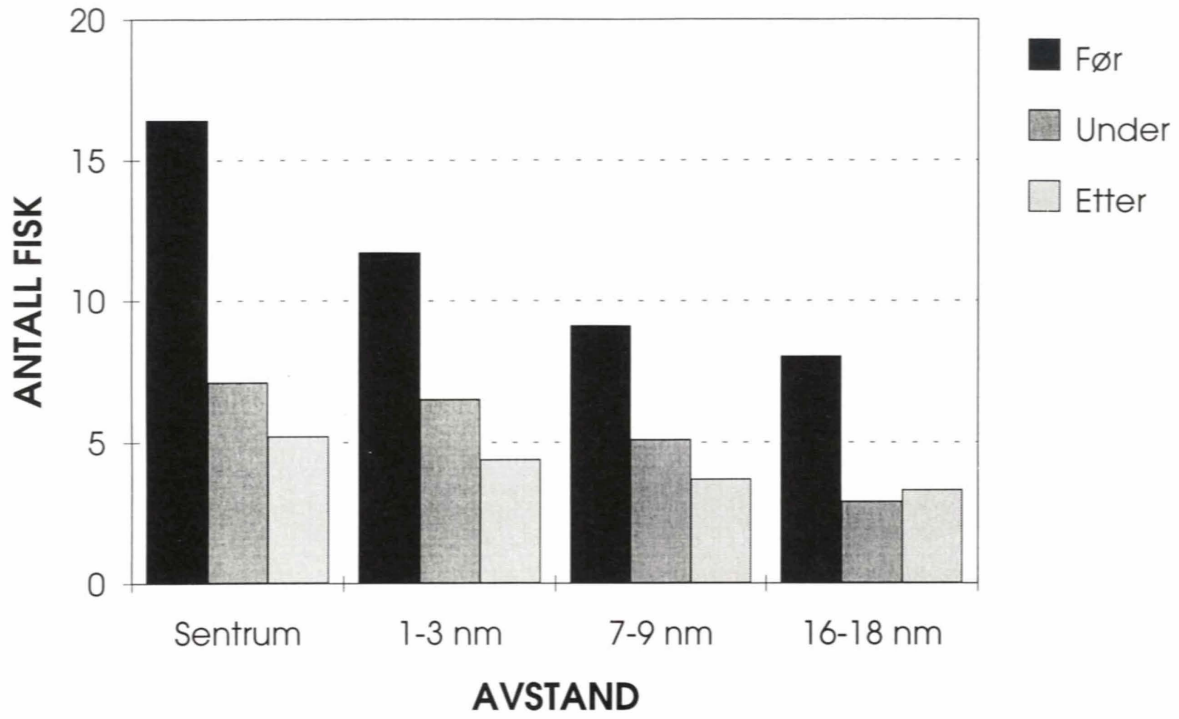


a)

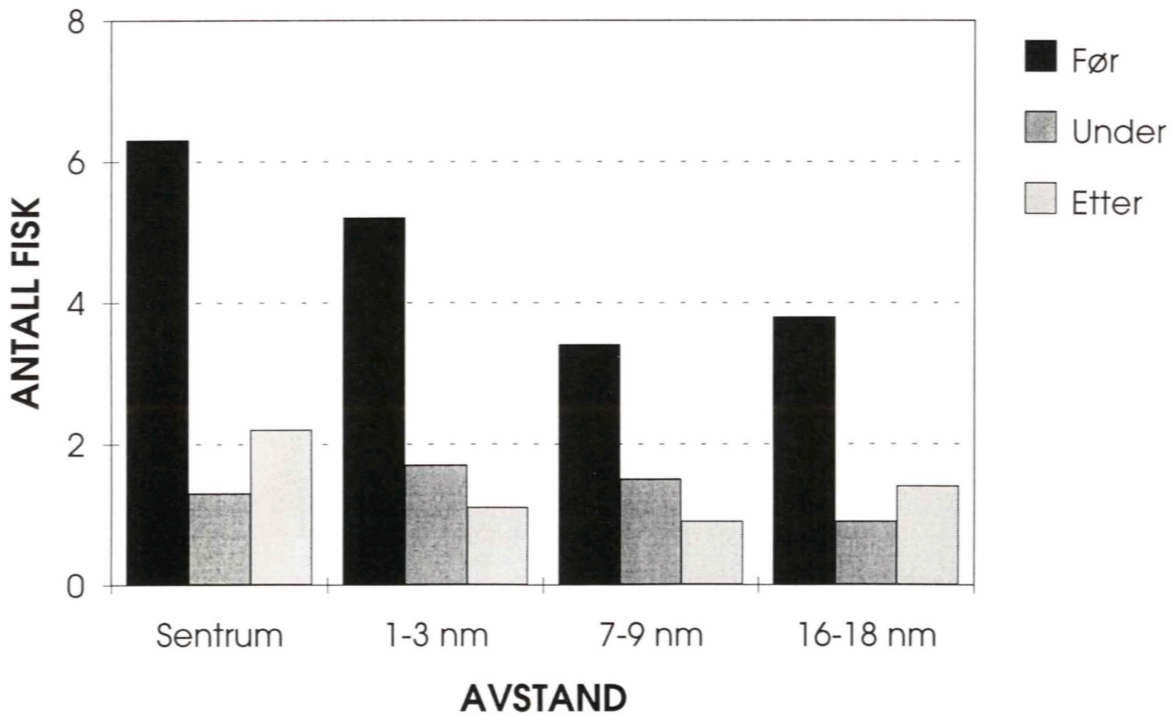


b)

Figur 4.2.9. Antall a) små (<60 cm) og b) store ( $\geq 60$  cm) torsk i trålfangstene før, under og etter skyting.

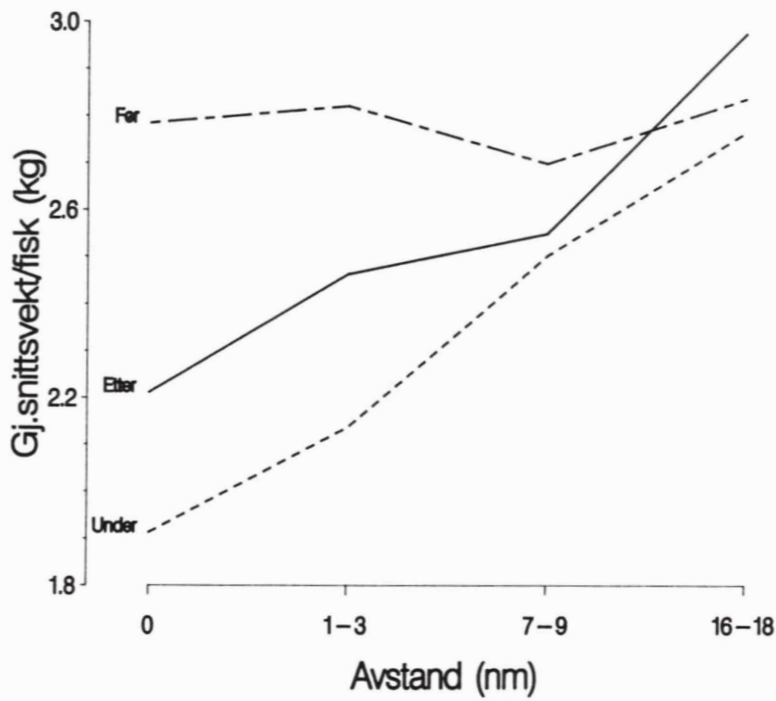


a)

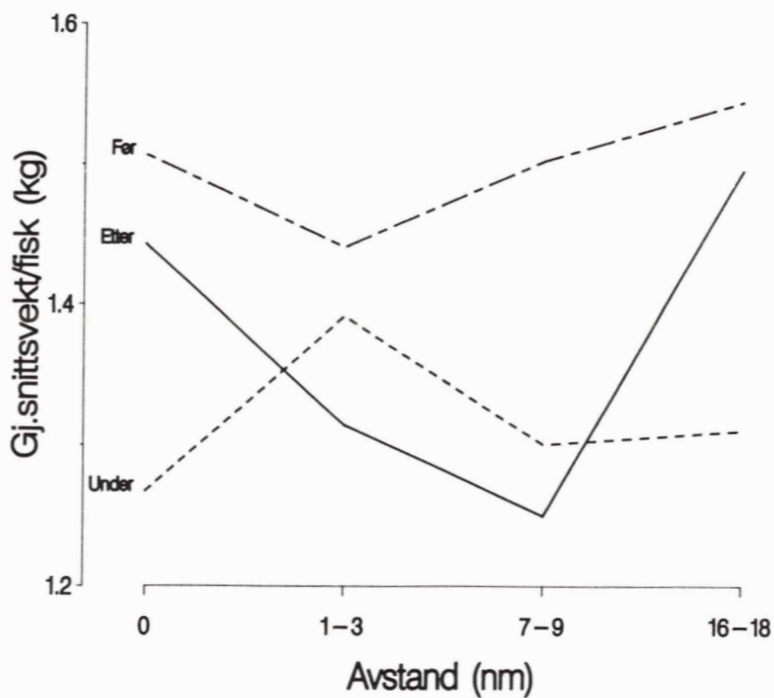


b)

Figur 4.2.10. Antall a) små (<60 cm) og b) store ( $\geq 60$  cm) hyse i trålfangstene før, under og etter skyting.



Figur 4.2.11. Gjennomsnittlig individvekt av torsk i trålfangstene før, under og etter skyting ordnet etter avstand fra skytefeltet.



Figur 4.2.12. Gjennomsnittlig individvekt av hyse i trålfangstene før, under og etter skyting ordnet etter avstand fra skytefeltet.

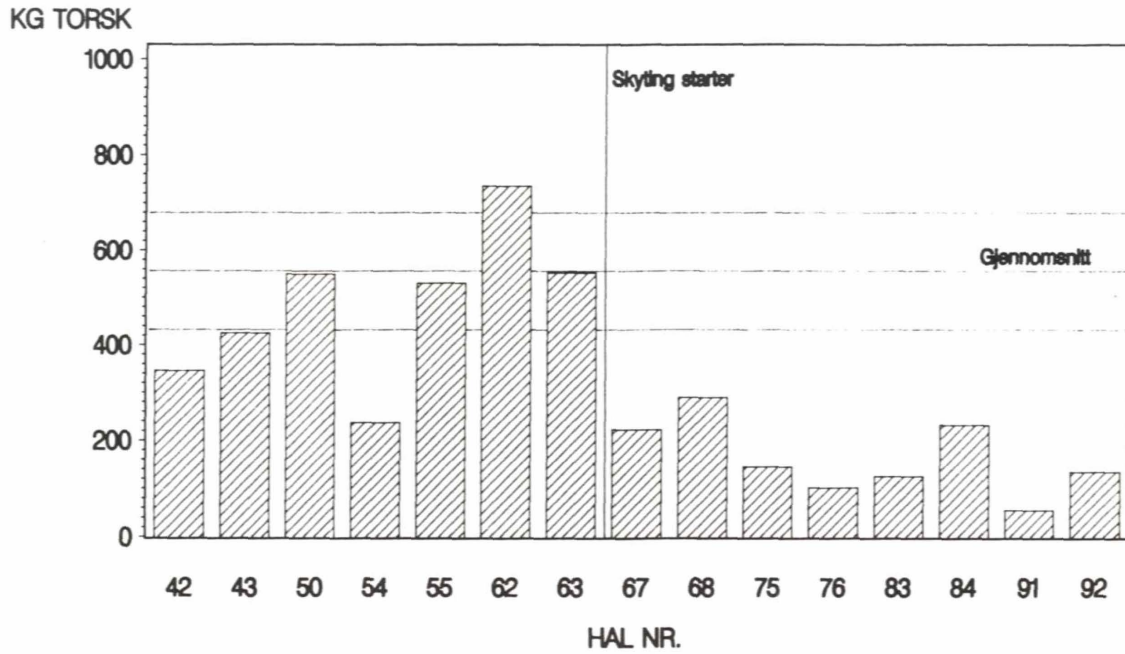
endring. Både forandringene i tid og ulikhetene med økende avstand til skytefeltet var signifikante. Etter at skytingen opphørte ble denne vektgradienten fra sentrum ut mot periferien noe utvisket, noe som trolig er et uttrykk for en begynnende tilbakeføring av fiskefordelingen mot tilstanden som var før skytingen tok til.

Også hos hyse ble den gjennomsnittlige individvekten redusert under påvirkning av skytingen, men her ble det observert en nedgang over hele forsøksområdet, og man så ingen entydig tendens til normalisering etter at skytingen var avsluttet.

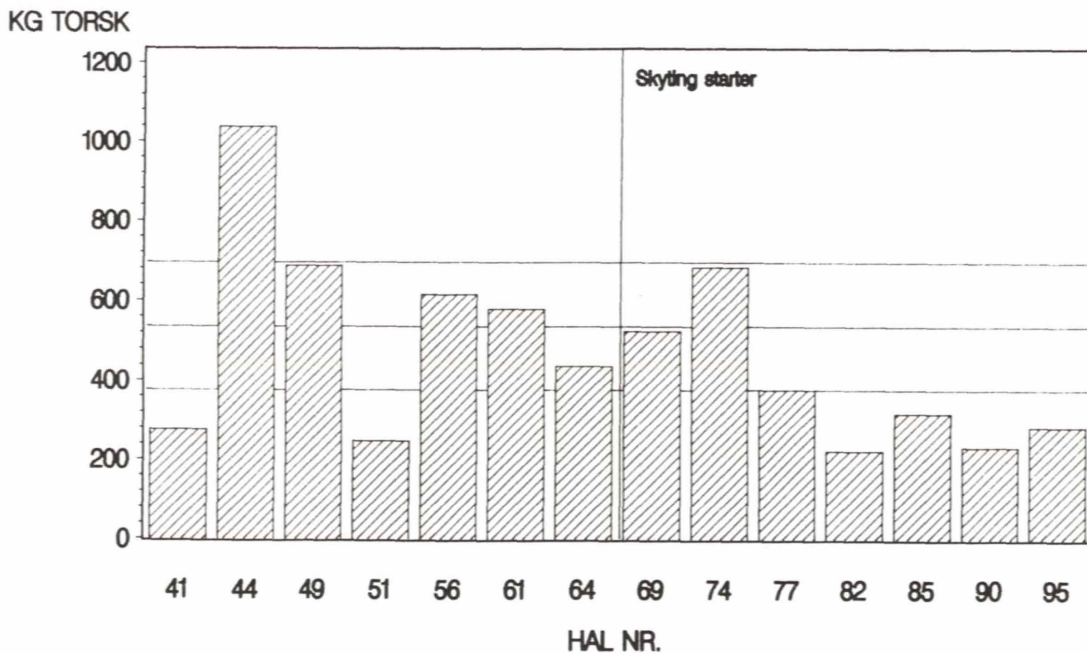
### **Fangst i de første halene etter skytestart**

Figur 4.2.13 - 4.2.16 viser fangstratene for torsk på "Anny Kræmer" de to siste dagene før og de to første dagene etter skytestart ved de ulike avstandene fra skytefeltet. Det første trålhalet som ble gjort under påvirkning av den seismiske skytingen, ble tatt inne i skytefeltet bare én time etter at "Akademic Shatskiy" hadde avfyrt det første skuddet. Fangstraten for dette halet (hal nr. 67, Fig. 4.2.13.) var under halvparten av gjennomsnittet for perioden før skyting. Inne i skytefeltet falt altså fangstene momentant da skytingen startet og holdt seg lavt resten av forsøksperioden.

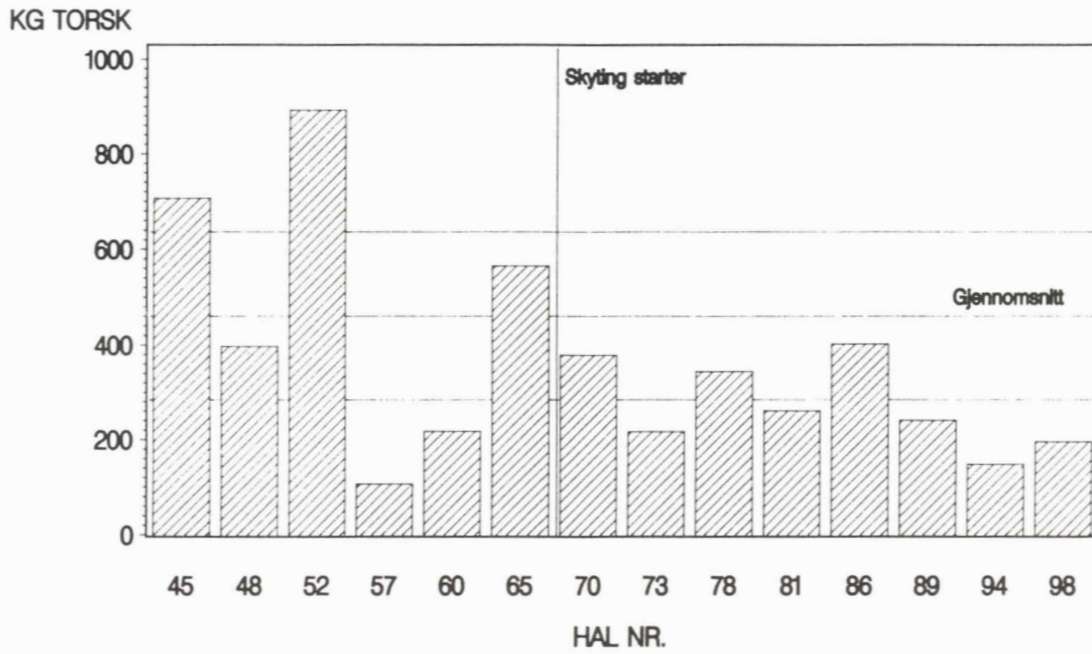
I avstanden 1 - 3 nm fra skytefeltet var ikke effekten på fangstratene like umiddelbar som inne i området. Fangstene i de to første halene som ble tatt etter at skytingen hadde startet (hal nr. 69 tatt 3 timer og nr. 74 tatt 10 timer etter skytestart) skilte seg lite ut fra gjennomsnittet for perioden før skyting. Hal nr. 74 lå til og med noe over gjennomsnittet. Deretter sank fangstraten raskt. Ved de to ytterste avstandene var reduksjonen i fangst mer gradvis over hele forsøksperioden.



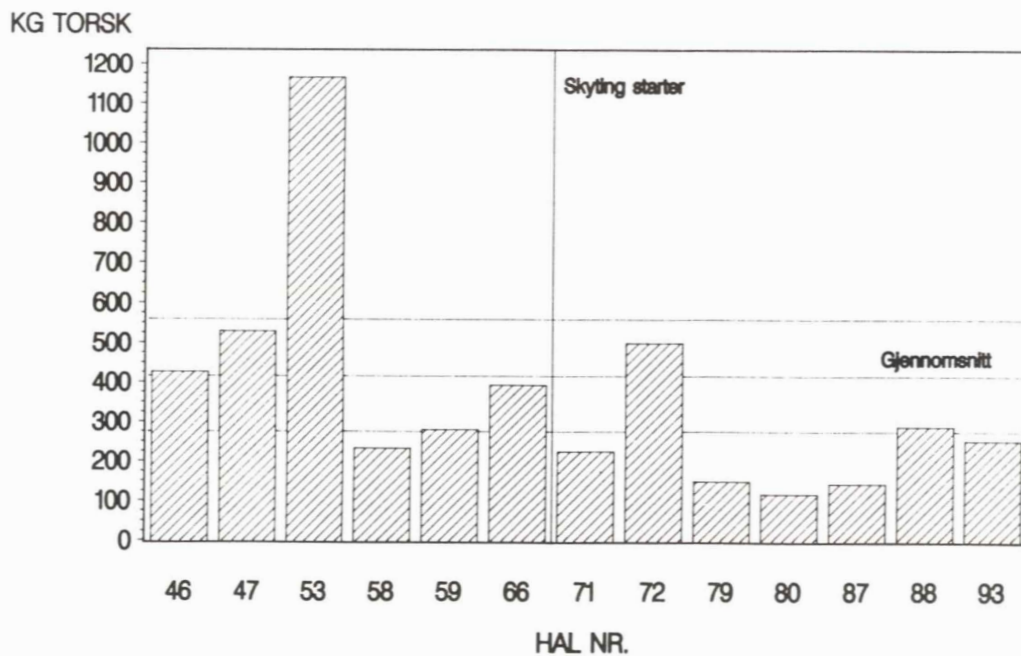
Figur 4.2.13. Fangstrater for torsk ved avstand 0 de to siste dagene før og de to første dagene etter skytestart. Gjennomsnitt og konfidensintervall for fangstratene i perioden før skyting er tegnet inn.



Figur 4.2.14. Fangstrater for torsk ved avstand 1 de to siste dagene før og de to første dagene etter skytestart. Gjennomsnitt og konfidensintervall for fangstratene i perioden før skyting er tegnet inn.



Figur 4.2.15. Fangstrater for torsk ved avstand 7 de to siste dagene før og de to første dagene etter skytestart. Gjennomsnitt og konfidensintervall for fangstratene i perioden før skyting er tegnet inn.

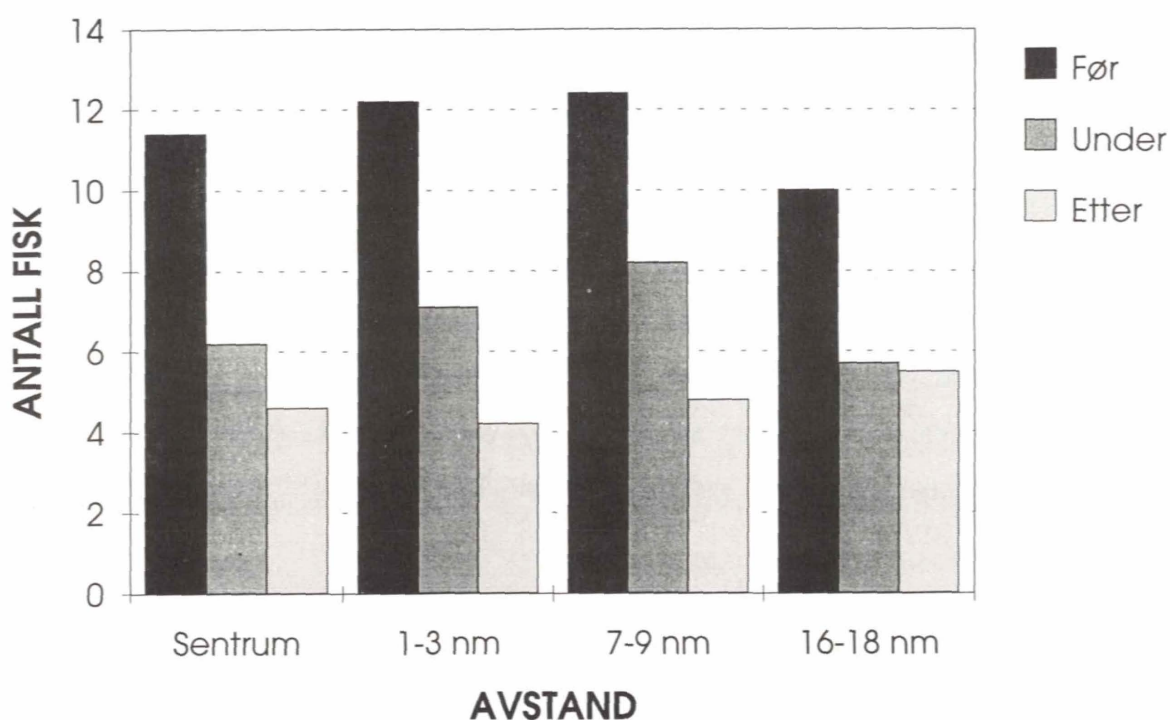


Figur 4.2.16. Fangstrater for torsk ved avstand 16 de to siste dagene før og de to første dagene etter skytestart. Gjennomsnitt og konfidensintervall for fangstratene i perioden før skyting er tegnet inn.



## Andre arter

Med unntak av for gapeflyndre ble det ikke funnet noen sammenheng mellom seismisk skyting og fangstmengde for andre arter enn torsk og hyse. Imidlertid var fangstene så små og variable at de ikke ga grunnlag for en statistisk vurdering. Fangsten av gapeflyndre så ut til å bli redusert under skyting (Fig. 4.2.17). Antallet ble tilnærmet halvert da skytingen tok til. Imidlertid fortsatte antallet å synke også etter at skytingen var avsluttet.



Figur 4.2.17. Gjennomsnittlig fangst av gapeflyndre før, under og etter skyting.

Gapeflyndre har ingen kommersiell betydning i de norske fiskeriene, og det har derfor umiddelbart liten interesse å studere hvordan denne arten reagerer på seismisk aktivitet. Imidlertid kan en betrakte gapeflyndra som en representant for flatfisk-gruppen, som skiller seg fra torskefisk bl.a. ved ikke å ha svømmeblære.

## 4.3 Linefangster

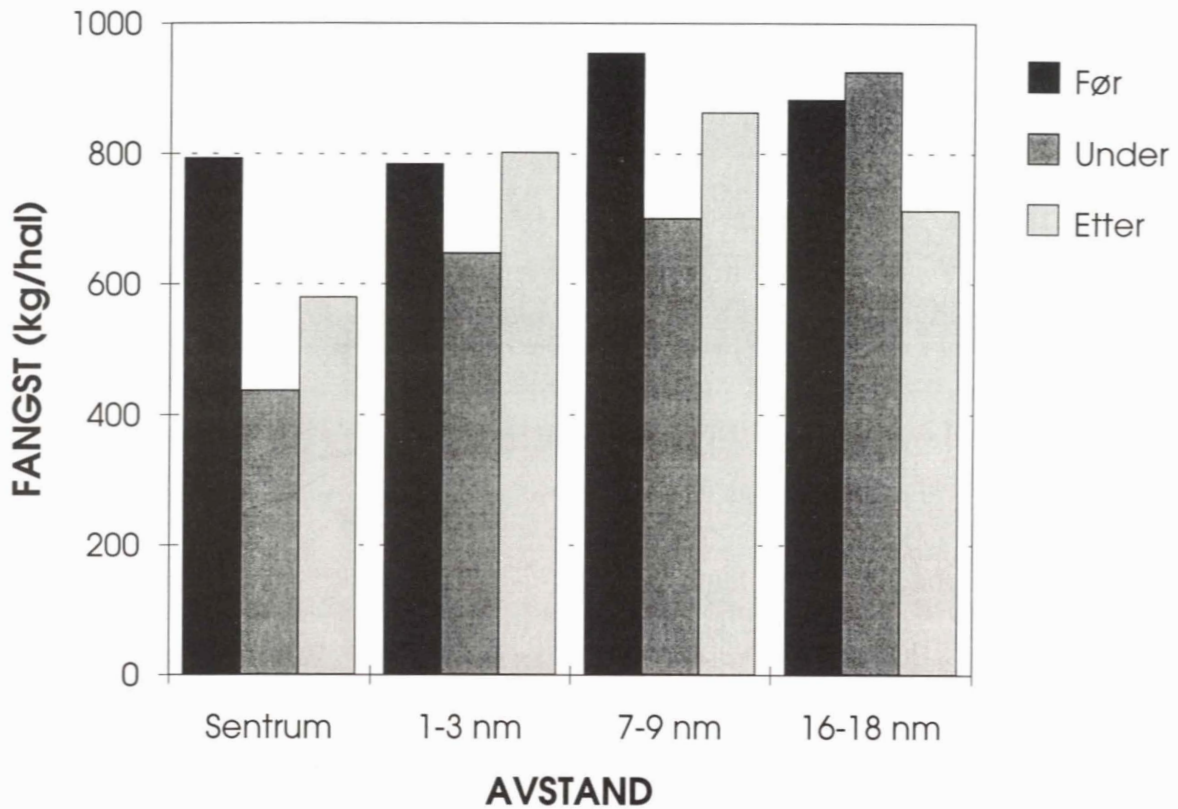
### Fangstenes størrelse

Fisken i fangstene ombord på linebåten "Loran" ble bare lengdemålt, ikke veid. Vekten ble omregnet fra lengdemålene ved hjelp av lengde/vektrelasjoner som ble målt ombord på tråleren "Anny Kræmer" (Appendix C, Fig. 1 og 2). Den viktigste arten i fangstene var torsk, men innslaget av hyse var større i linefangstene enn i trålfangstene, særlig tidlig i forsøksperioden (ca. 25% av vekt).

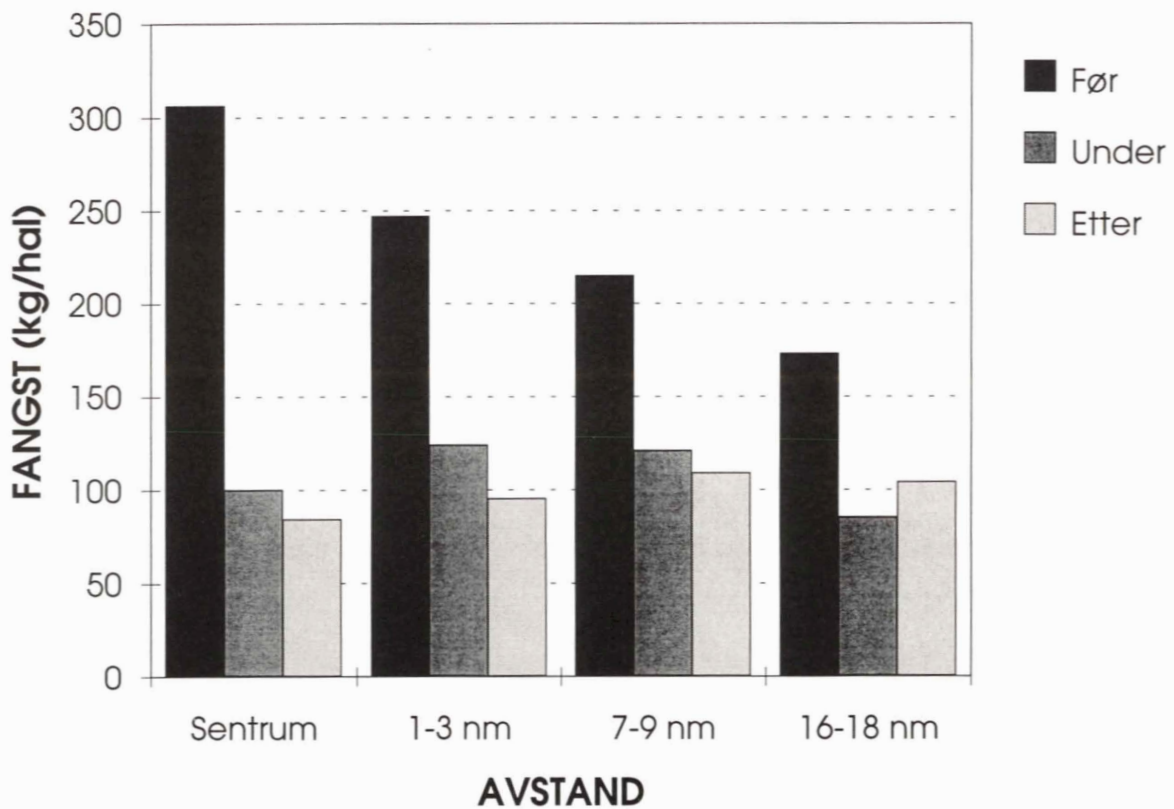
Figur 4.3.1 (se også Tabell 5 i Appendix E) viser mengden av torsk i linefangstene før, under og etter seismisk skyting gruppert etter avstand fra skytefeltet. Statistiske analyser for fangstdata fra "Loran" er vist i Appendix F, Tabell 3 og 4. I det sentrale forsøksområdet gikk fangsten av torsk ned med 44% da skytingen tok til, men reduksjonen var mindre ut mot periferien av forsøksområdet (16% og 25% i henholdsvis 1 - 3 og 7 - 9 nm avstand). I den ytterste posisjonen (16 - 18 nm avstand) var det ingen signifikant reduksjon i vekten av torsk. I motsetning til trål, var det en tendens til at fangstratene for torsk på line økte etter at skytingen hadde opphørt. I de tre innerste posisjonene var økningen henholdsvis +33%, +24% og +23% i gjennomsnitt, mens det var en reduksjon på 23% i den ytterste posisjonen.

For hyse gikk fangstene signifikant ned under skyting (Appendix F, Tabell 4). Reduksjonen var på ca. 50% for hele området i gjennomsnitt. Det var en reduksjon i fangstene helt ut til ytterkanten av feltet, men nedgangen var størst i sentrumsområdet (Fig. 4.3.2 og Tabell 6 i Appendix E). I motsetning til resultatene for torsk var det ingen tegn til økning i fangstene etter at skytingen hadde opphørt.

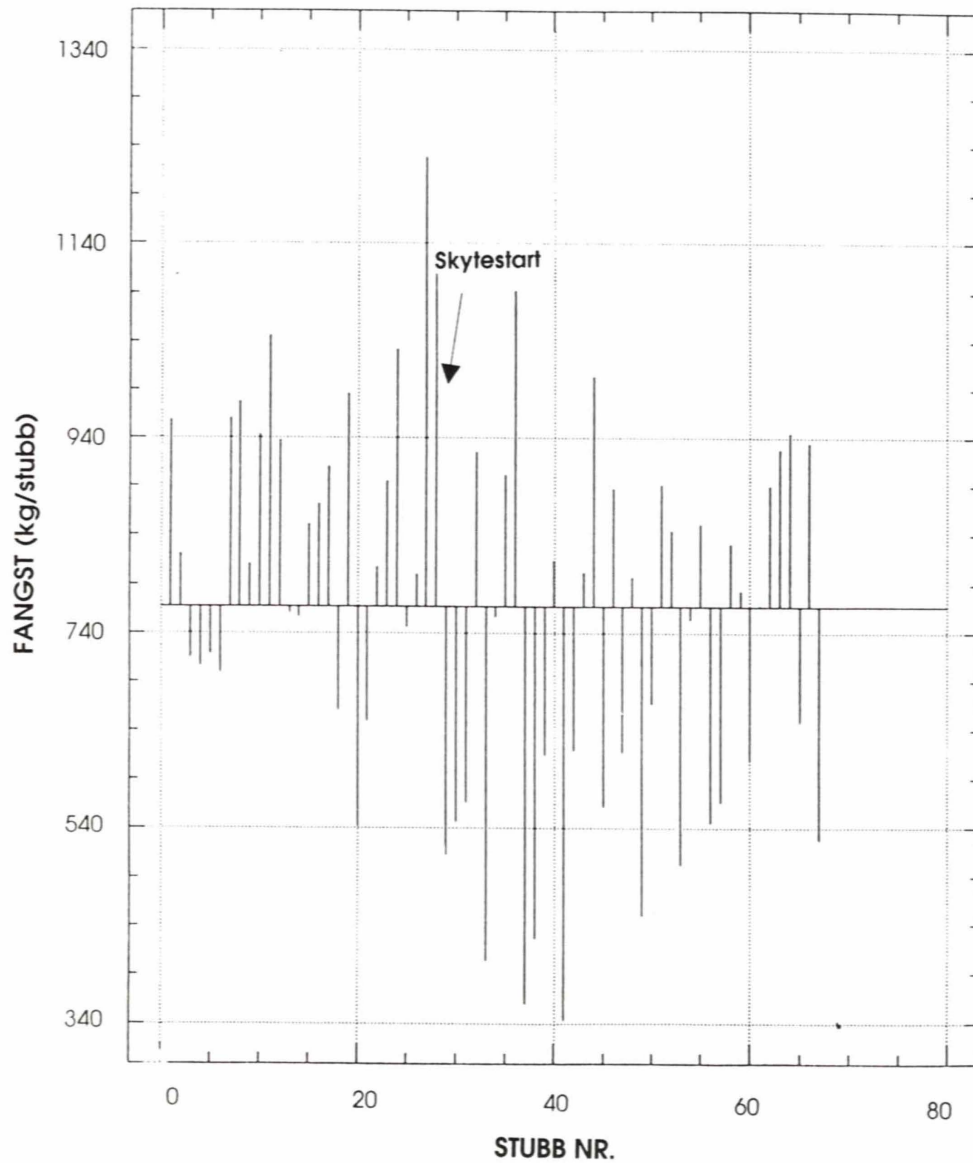
Figur 4.3.3 og 4.3.4 viser tidsutviklingen for fangstene av torsk og hyse på line. Fangsten er ordnet i kronologisk rekkefølge etter tidspunkt for haling, og er vist som avvik fra det totale gjennomsnitt gjennom hele forsøksperioden. Fangstene av torsk ble, på samme måte som i trål, tydelig redusert rundt tidspunktet da den seismiske aktiviteten tok til. Det var imidlertid stor variasjon i fangstmengde fra linestubb til linestubb. En må ta i betraktning at linestubber satt i alle avstander fra skytefeltet er tatt med i figuren, og, som tidligere nevnt, var det ingen reduksjon i fangst i periferien av forsøksområdet. Dette vil medvirke til større variabilitet enn i tilsvarende figur for trål.



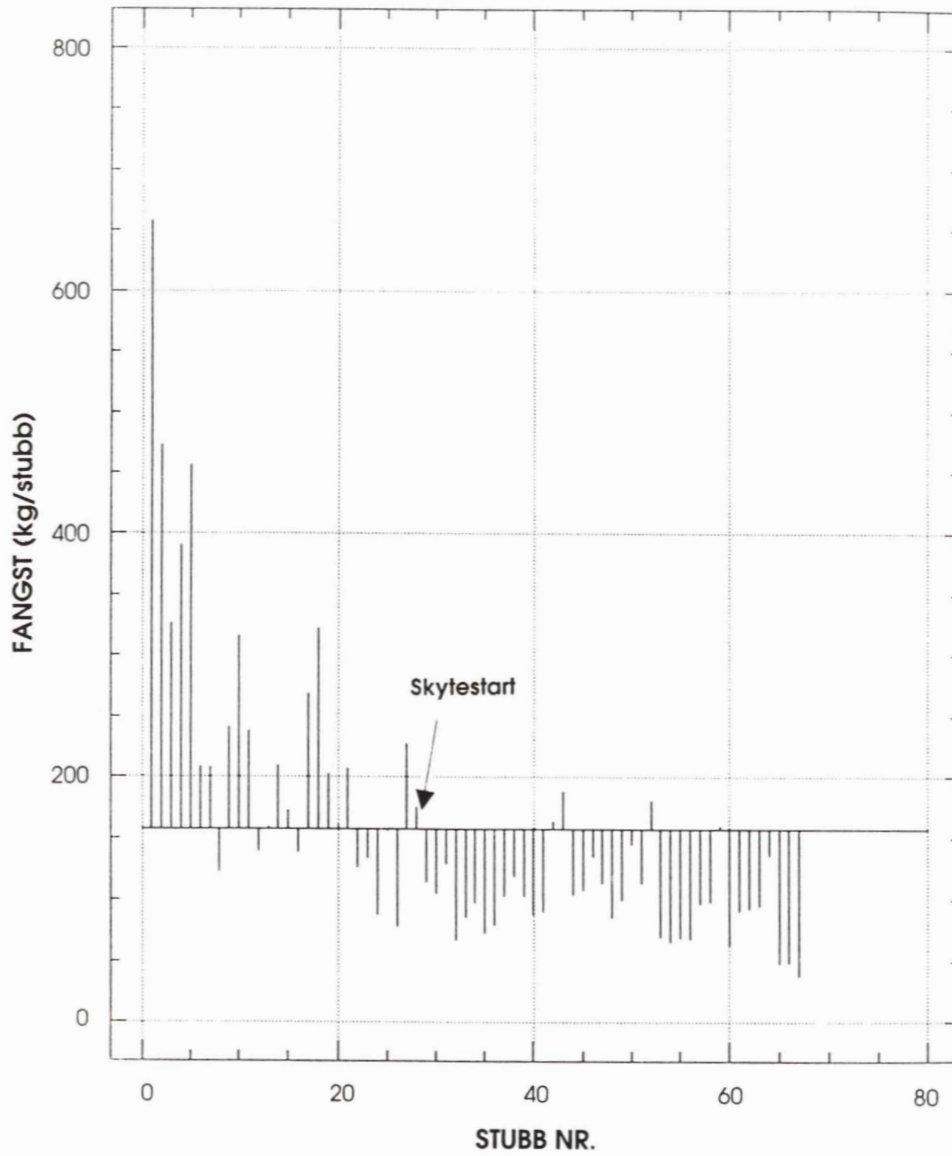
Figur 4.3.1. Gjennomsnittlige fangstrater for torsk i linefangstene før, under og etter skyting ordnet etter avstand til skytefeltet.



Figur 4.3.2. Gjennomsnittlige fangstrater for hyse i linefangstene før, under og etter skyting ordnet etter avstand til skytefeltet.



Figur 4.3.3. Fangstratene for torsk på linestubbene ordnet i kronologisk rekkefølge. De to linestubbene som ble tatt ved samme avstand samme dag er regnet som en enhet. Fangstene er vist som avvik fra gjennomsnittet (horisontal linje) for hele forsøksperioden.

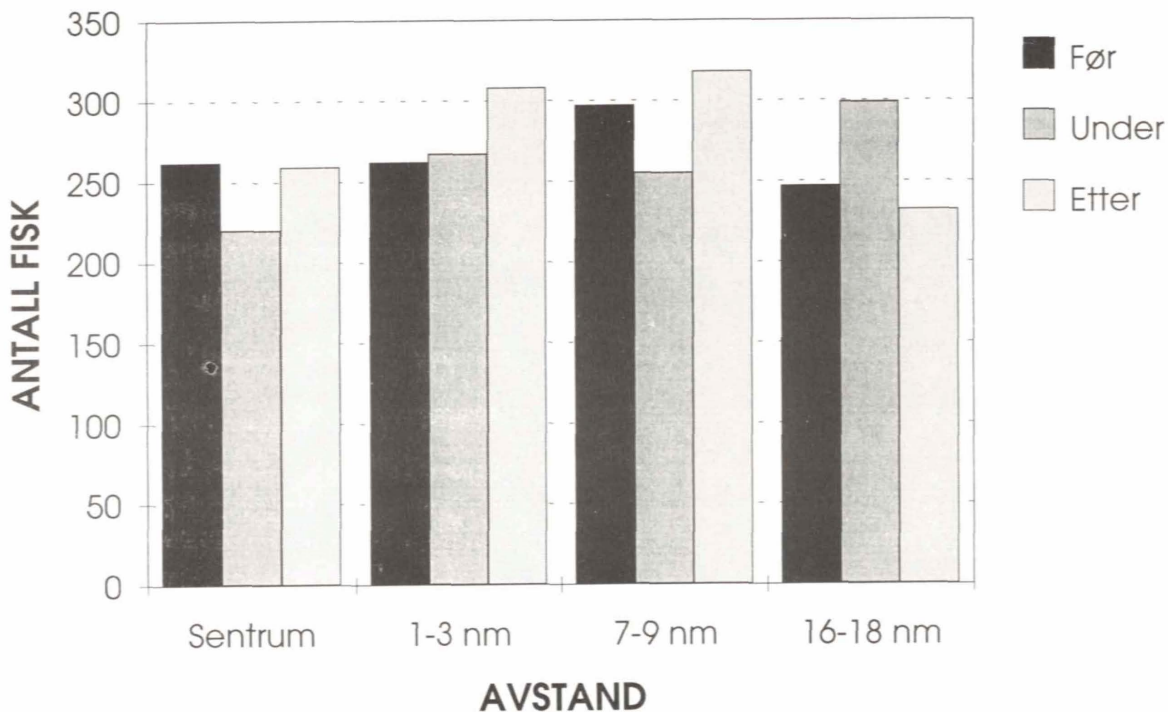


Figur 4.3.4. Fangstratene for hyse på linestubbene ordnet i kronologisk rekkefølge. De to linestubbene som ble tatt ved samme avstand samme dag er regnet som en enhet. Fangstene er vist som avvik fra gjennomsnittet (horisontal linje) for hele forsøksperioden.

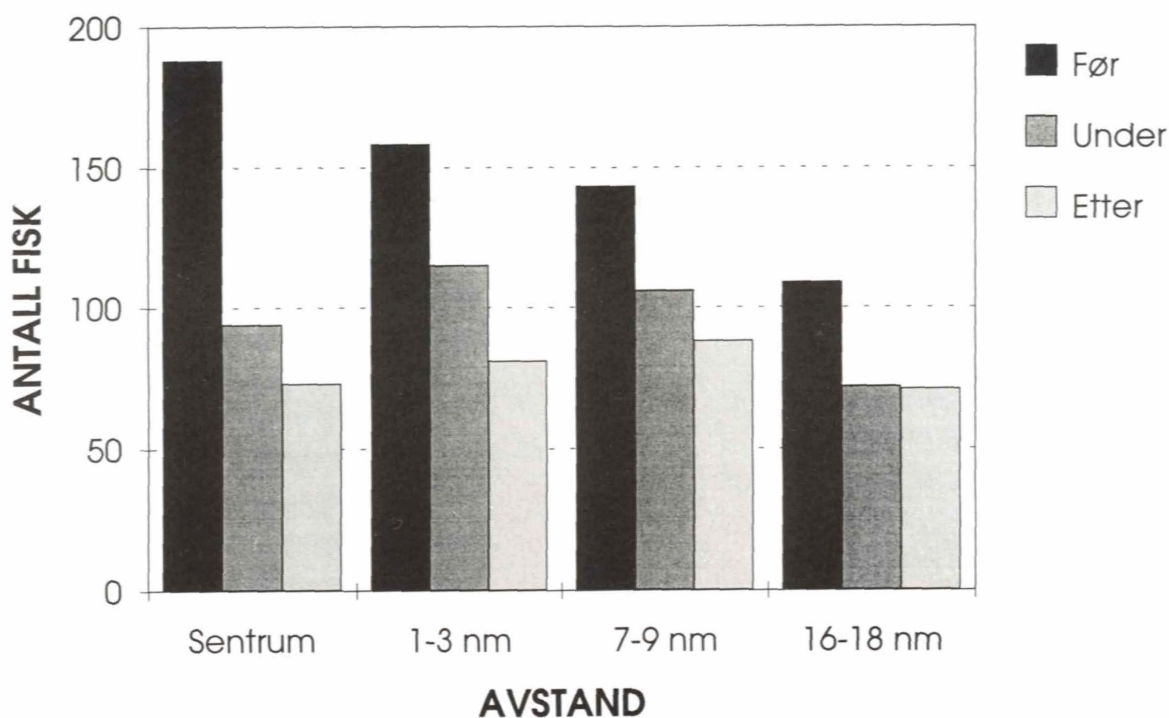
Det kan synes som om det var en viss negativ trend i de gjennomsnittlige fangstratene for hyse på line gjennom forsøksuken før skytingen startet. Imidlertid var variabiliteten i fangstene svært stor i denne perioden. Da skytingen tok til, ble variabiliteten i fangstratene langt mindre, og de stabiliserte seg på et lavt nivå.

### Lengdefordeling og antall fisk i fangstene

For torsk i linefangstene fantes et tilsvarende forhold mellom vekt- og antallsreduksjon som i trål. Mens reduksjonen i vekt av torsk inne i sentrumsområdet var på 44%, var det bare 26% reduksjon i antall samme sted (Figur 4.3.5). Tilsvarende forhold mellom antall- og vektreduksjon var det også i de andre avstandene. Også i linefangstene ble dette forårsaket av endringer i lengdefordelingen i fangstene da skytingen tok til. Reduksjonen i antall hyse varierte mellom 25 og 50% (Figur 4.3.6), mens vektreduksjonen var omtrent 50% over hele området.



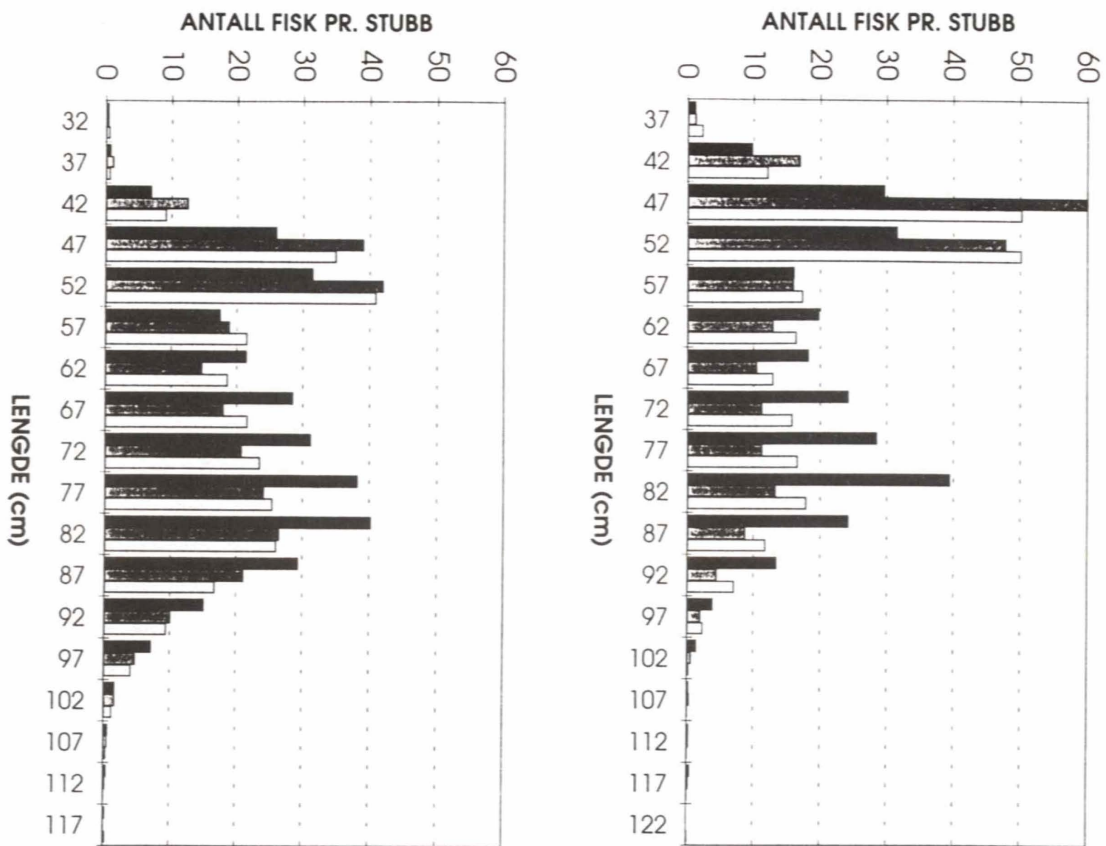
Figur 4.3.5. Gjennomsnittlig antall torsk i linefangstene før, under og etter skyting ordnet etter avstand fra skytefeltet.



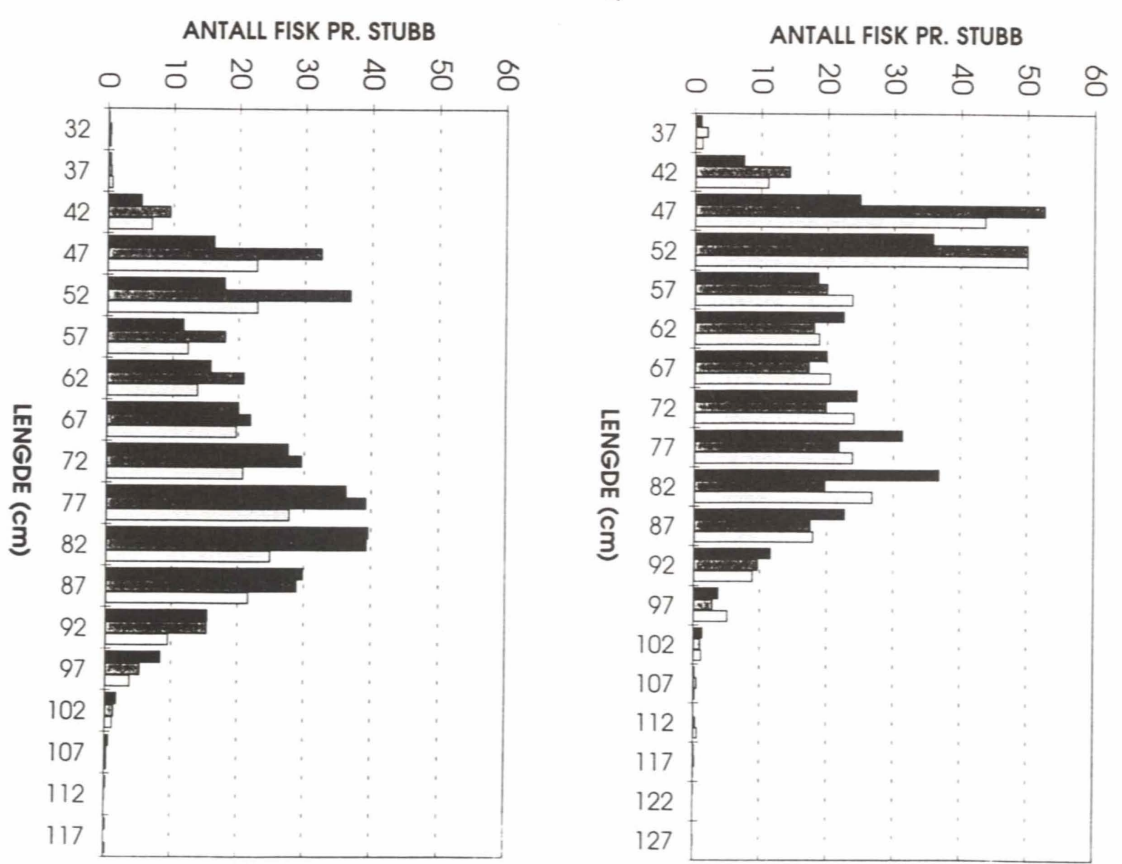
Figur 4.3.6. Gjennomsnittlig antall hyse i linefangstene før, under og etter skyting ordnet etter avstand fra skytefeltet.

Lengdefordelingen for både torsk og hyse var bimodal (to-toppet) også i linefangstene (Fig. 4.3.7 og 4.3.8). Lengdespekteret for torsk lignet mye på det i trål, med en topp ved ca. 50 cm og en ved ca. 80 cm. Hyse hadde en bredere fordeling i line- enn i trålfangstene og en klarere bimodal fordeling med maksimum ved 40 og 60 cm. Da skytingen startet, skjedde det klare endringer i lengdespekteret både for torsk og hyse. For torsk flatet toppen ved ca. 80 cm ut, mens den ved 60 cm ble høyere. For hyse skjedde en reduksjon over hele lengdespekteret, men nedgangen var sterkest for fisk over 50 cm.

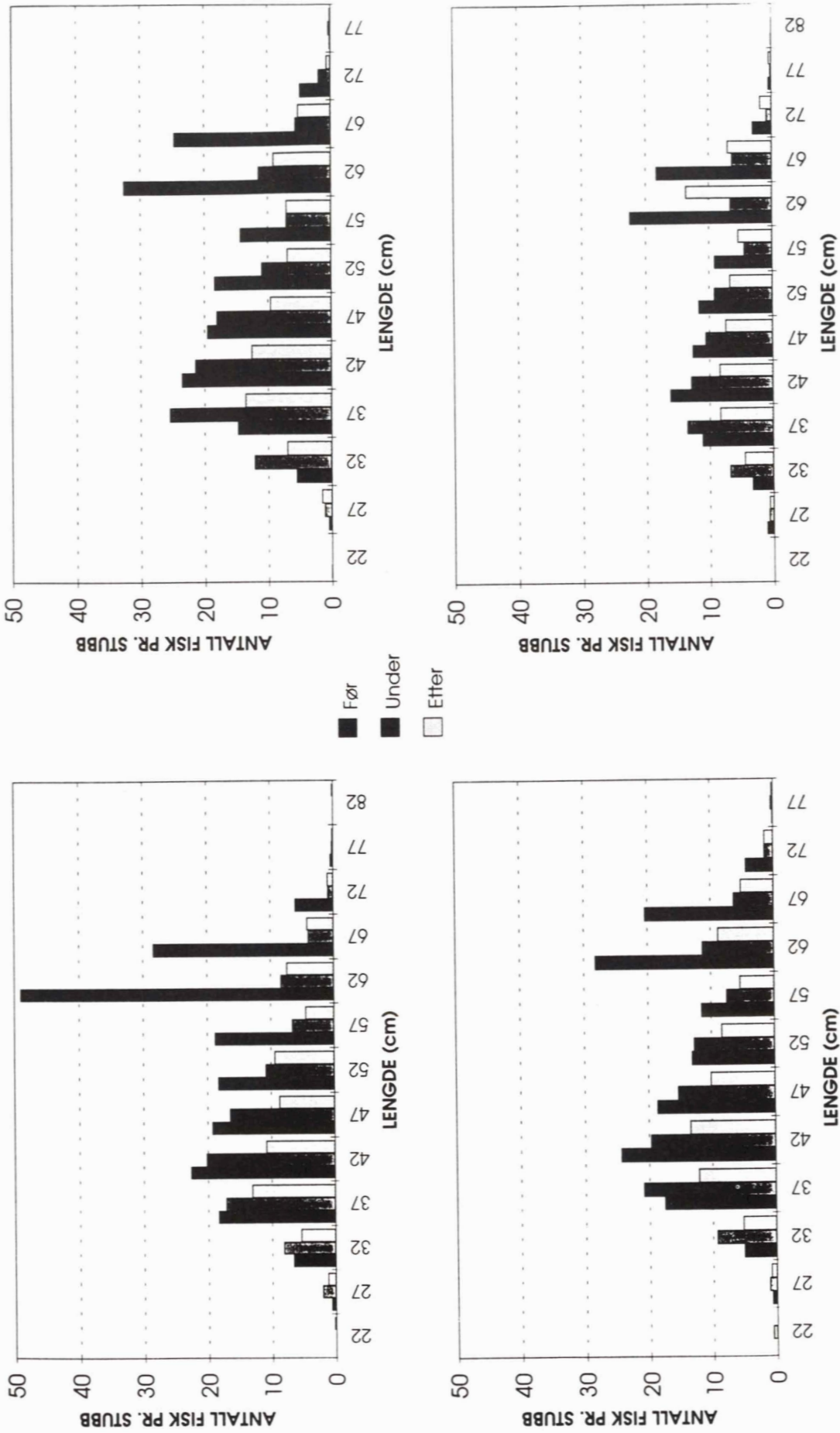
Figur 4.3.9 og 4.3.10 viser antall torsk og hyse over og under 60 cm i linefangstene før, under og etter skyting (se også tabell 7 og 8 i Appendix E). Antallet stor torsk innenfor skyteområdet ble redusert med 57%. Det var også en signifikant reduksjon i de to lokalitetene nærmest skytefeltet (27 og 34%), mens det ikke var noen endring på den ytterste avstanden. Det så imidlertid ut til å skje en viss økning i fangtene av stor torsk etter at skytingen tok slutt. For torsk mindre enn 60 cm var det imidlertid en økning i antall fisk pr. stubb under skyting sett i forhold til før skytingen tok til. Denne økningen var på henholdsvis 65, 60, 36 og 90% på de ulike avstandene.



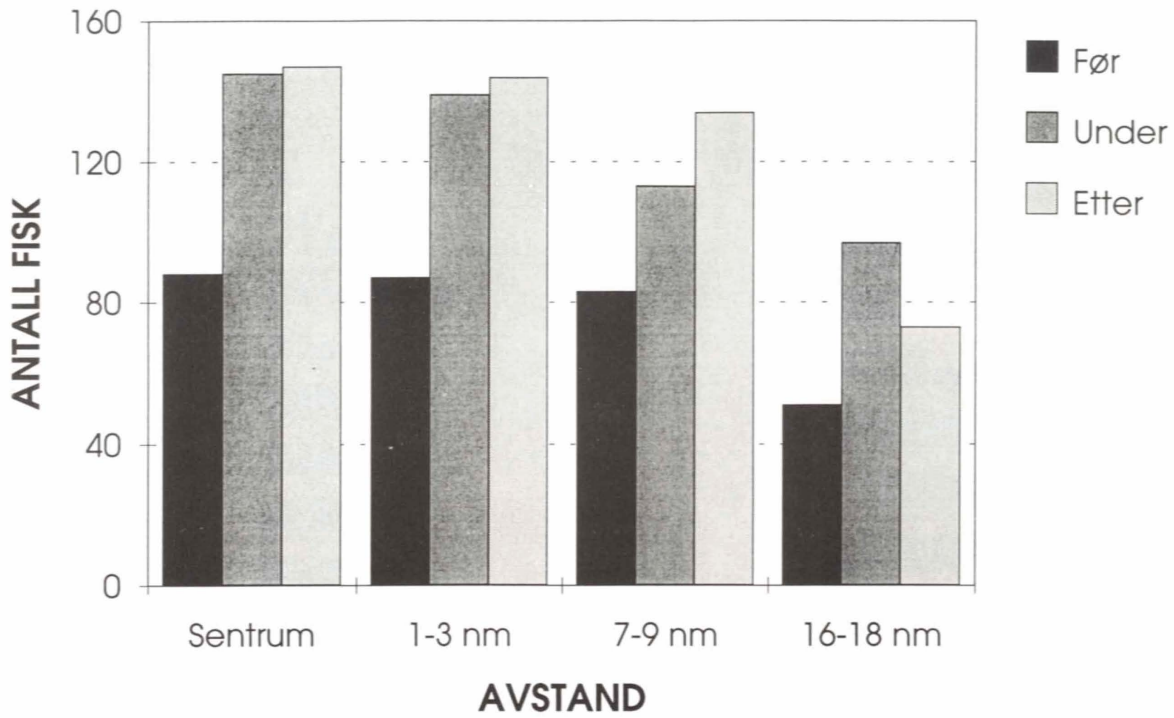
Figur 4.3.7. Lengdefordelingen (cm) for torsk i linefangstene før, under og etter skyting. a) 16 - 18 nm avstand. d) 16 - 18 nm avstand.



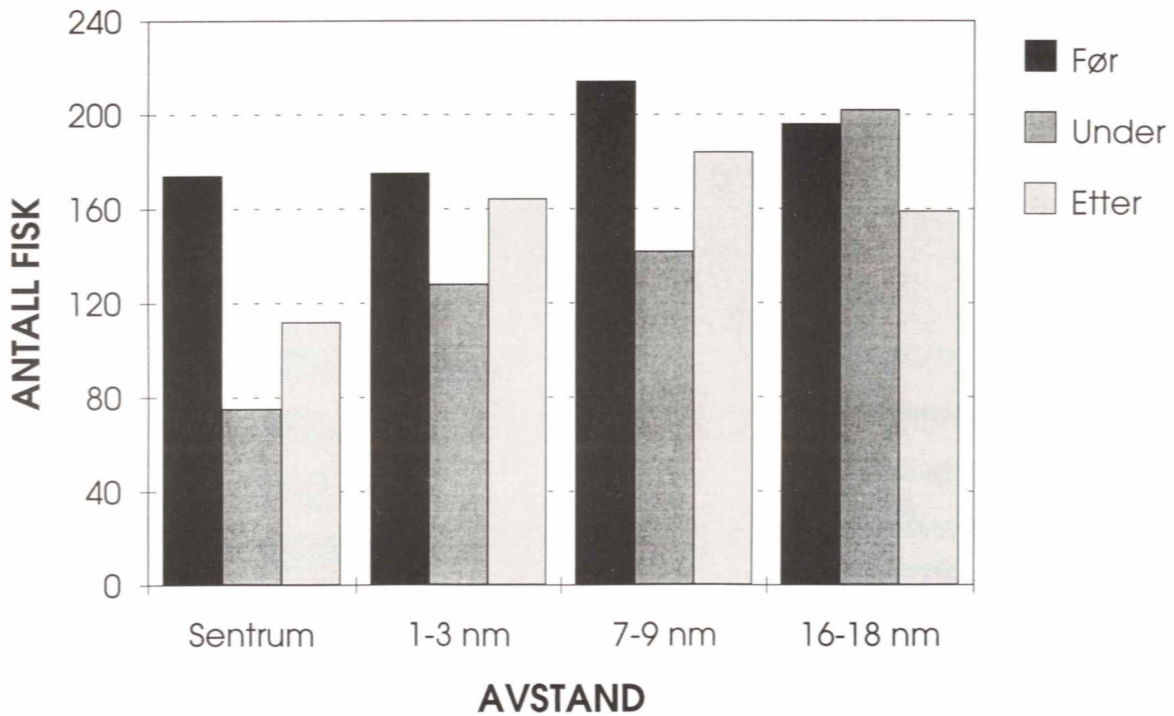




Figur 4.3.8. Lengdefordelingen (cm) for hyse i linefangstene før, under og etter skyting. a) Inne i skytefeltet, b) 1 - 3 nm avstand, c) 7 - 9 nm avstand, d) 16 - 18 nm avstand.

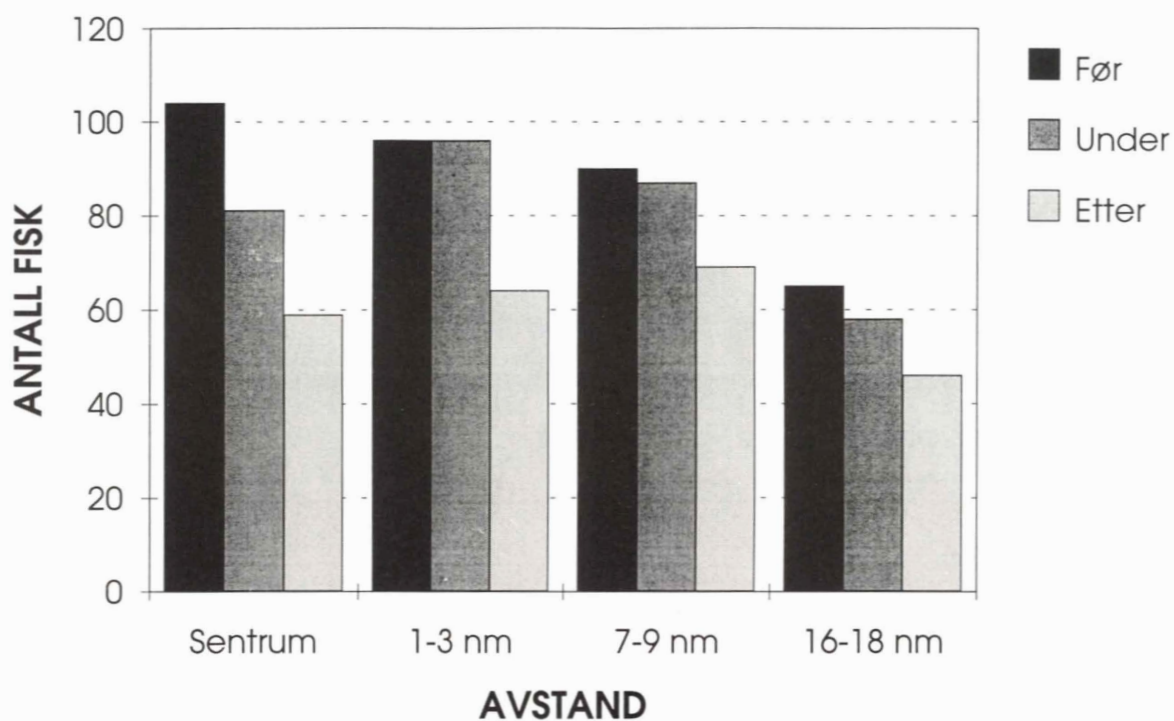


a)

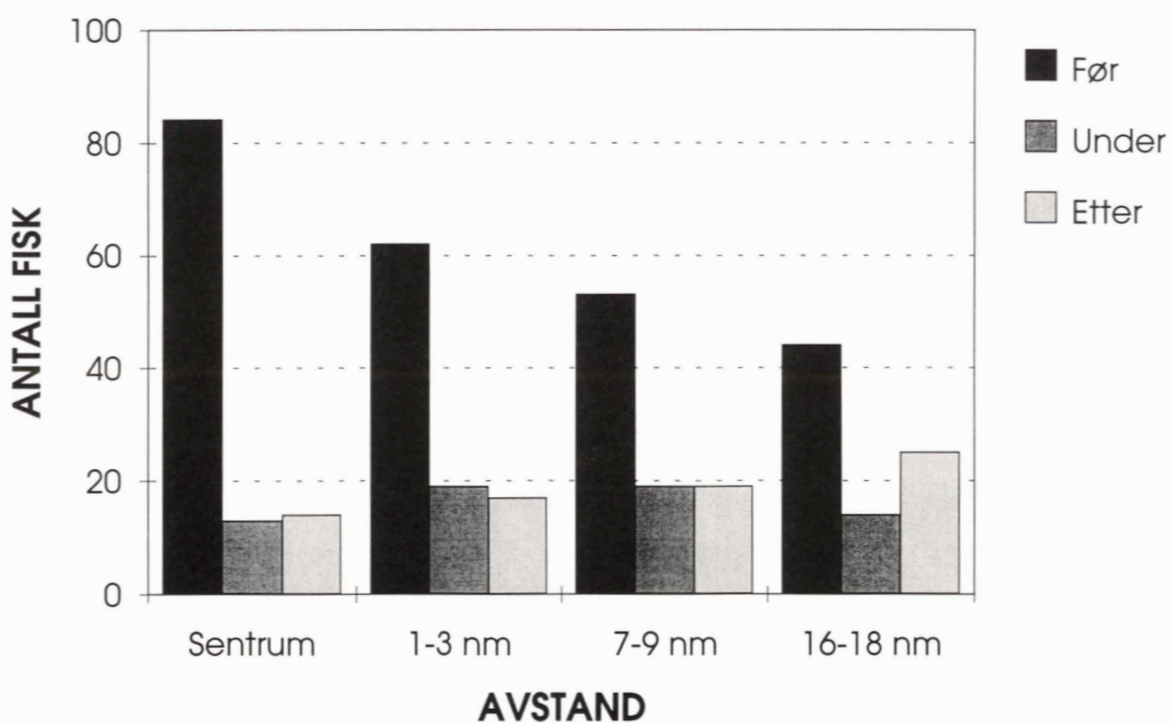


b)

Figur 4.3.9. Antall a) små (<60 cm) og b) store ( $\geq 60$ cm) torsk i linefangstene før, under og etter skyting.



a)



b)

Figur 4.3.10. Antall a) små (<60 cm) og b) store ( $\geq 60$  cm) hyse i linefangstene før, under og etter skyting.

For hyse var det en dramatisk reduksjon i antall stor fisk under skyting (Fig. 4.3.10b). Antallsreduksjonen innenfor skytefeltet var på hele 85%, mens reduksjonen i de andre avstandene var henholdsvis 69, 64 og 68% (Tabell 8, Appendix E). Etter at skytingen var avsluttet holdt fangstratene seg på omlag samme nivå som under skyting. For mindre fisk var forskjellene mellom før og under skyting små (Fig. 4.3.10a), men det var totalt sett en reduksjon i antall fra før til under skyting på henholdsvis 22, 0, 3 og 11% i de ulike avstander. Denne nedgangen fortsatte etter at skytingen opphørte, med en reduksjon fra under til etter skyting på henholdsvis 27, 33, 21 og 21%.

#### 4.4 Mageprøver

På linebåten "Loran" ble det tatt mageprøver av torsk og hyse hver dag. På tråleren "Anny Kræmer" ble det tatt daglige mageprøver av torsk. Generelt var det lavt innhold av mat i magene både hos torsk og hyse gjennom hele forsøksperioden. Mellom 91 til 95 % av den trålfangede torsken hadde tomme mager (Tabell 4.4.1). I linefangstene var mellom 73 og 79% av magene fra torsk og 45 til 54% av magene fra hyse tomme.

Fyllingsgraden, som er et mål på mengden av innhold i magene i en skala fra 1 (tom) til 5 (full), forandret seg lite gjennom forsøksperioden for begge arter og i begge redskaper (Tabell 4.4.2). Den lå lavt (1,09 - 1,17 i gjennomsnitt) for torsk fra trålfangstene. Umiddelbart så det ut til at torsken som ble tatt på line hadde tatt til seg mer føde enn den som var tatt i trål. Her var fyllingsgraden fra 1,4 til 1,5. Årsaken til denne forskjellen var imidlertid at en del av torsken som ble tatt på line hadde rester av lineagnet (akkar og makrell) i magen. Dersom en ekskluderer mageprøver som inneholdt agnrester, var det ingen forskjell på fyllingsgraden for torsk tatt på line og i trål. Fyllingsgraden for hyse fra linefangstene var noe høyere enn for torsk; fra 1,53 til 1,63 dersom en ser bort fra agnrester.

Tabell 4.4.1. Antall og prosentvis fordeling (parentes) av torsk og hyse med og uten mageinnhold i prøvene fra trål- og linefangstene.

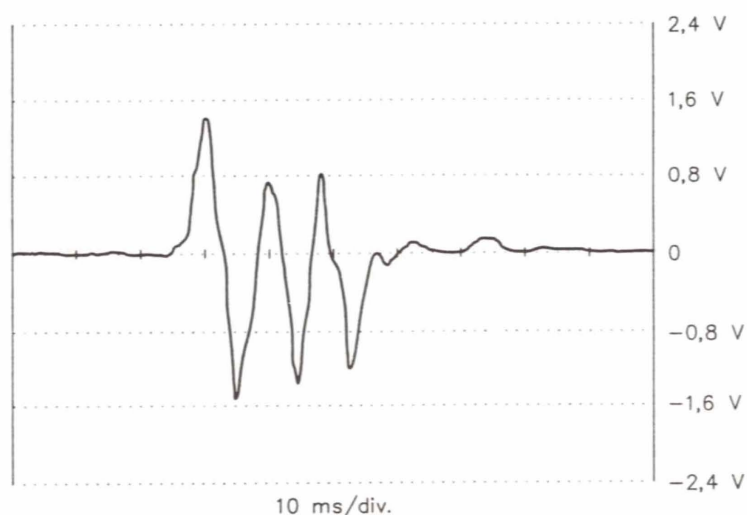
	TORSK						HYSE		
	Line			Trål			Line		
	Før	Under	Etter	Før	Under	Etter	Før	Under	Etter
Tomme	61 (74,4)	67 (73,6)	60 (78,9)	82 (93,2)	134 (95,0)	84 (91,3)	26 (45,6)	43 (53,8)	30 (50,0)
Med innhold	21 (25,6)	24 (26,4)	16 (21,1)	6 (6,8)	7 (5,0)	8 (8,7)	31 (54,4)	37 (46,2)	30 (50,0)
Derav agnrester	16 (19,5)	14 (15,4)	9 (11,8)	-	-	-	4 (7,0)	4 (5,0)	4 (6,7)

Tabell 4.4.2. Gjennomsnittlig fyllingsgrad ( $\pm$  standard feil) i mageprøvene fra torsk og hyse. Fyllingsgrad: 1 = tom mage, 5 = full mage.

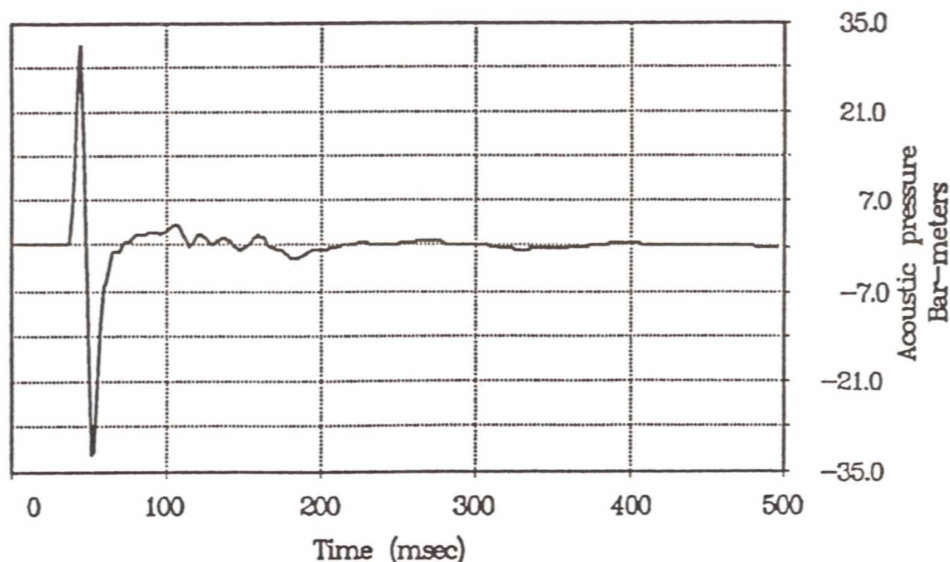
	TORSK			HYSE	
	Line		Trål	Line	
	Totalt	Agnrester ekskludert		Totalt	Agnrester ekskludert
Før	1,51 $\pm$ 0,11	1,11 $\pm$ 0,06	1,13 $\pm$ 0,06	1,74 $\pm$ 0,12	1,53 $\pm$ 0,08
Under	1,51 $\pm$ 0,11	1,24 $\pm$ 0,08	1,09 $\pm$ 0,04	1,68 $\pm$ 0,10	1,54 $\pm$ 0,08
Etter	1,42 $\pm$ 0,10	1,18 $\pm$ 0,07	1,17 $\pm$ 0,07	1,80 $\pm$ 0,13	1,63 $\pm$ 0,12

## 4.5 Lydmåling

Lydmålingene av de seismiske skuddene er gjort med hydrofonene på 80 m dyp, og Figur 4.5.1 viser pulsformen på et skudd målt i 165 m avstand fra kilden. Spissverdien ble beregnet til 248,7 dB re 1  $\mu\text{Pa}$  som høyeste verdi for de skuddene vi har opptak av. Ettersom målepunktet lå ca.  $65^\circ$  ut fra akustisk akse, var nivået noe høyere enn forventet ut i fra kanonfeltets oppgitte lydnivå på akustisk akse, 250 dB re 1  $\mu\text{Pa}$  (Fig. 4.5.2). Det ble også observert en variasjon i spissverdi fra skudd til skudd på omlag 3 dB.



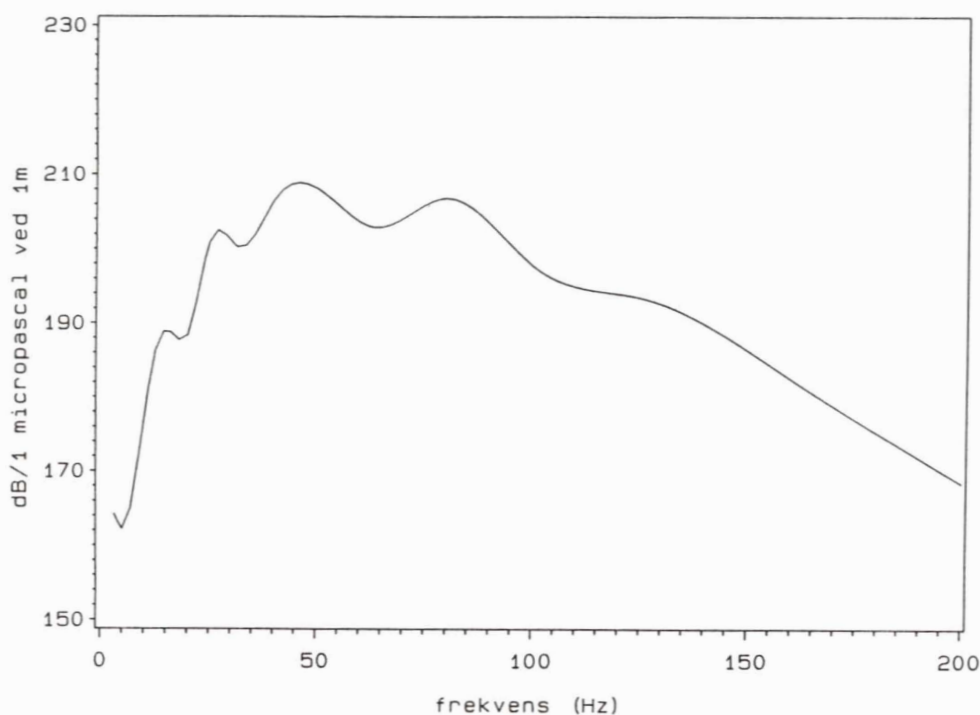
Figur 4.5.1. Målt pulsform for ett skudd fra luftkanonfeltet på "Akademic Shatskiy".



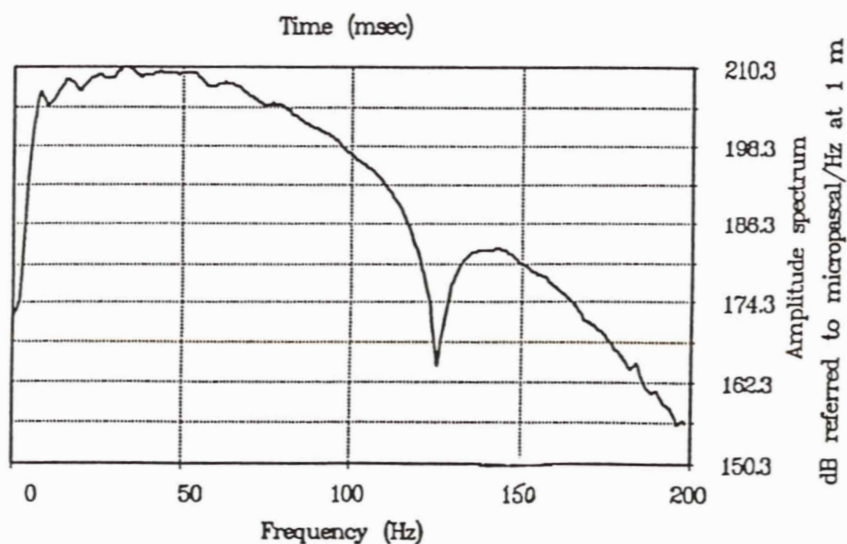
Figur 4.5.2 . Pulsform fra luftkanonkilde oppgitt av Geco Prakla.

Den målte pulsformen avviker endel fra den oppgitte, noe som sannsynligvis er et resultat av interferenseffekter mellom den direkte og den overflaterreflekterte lyden. Frekvensmessig var

det et bra samsvar mellom målt og oppgitt lydspekter (Fig. 4.5.3 og 4.5.4). Hovedtyngden av energien i pulsen lå innenfor området 10-150 Hz.

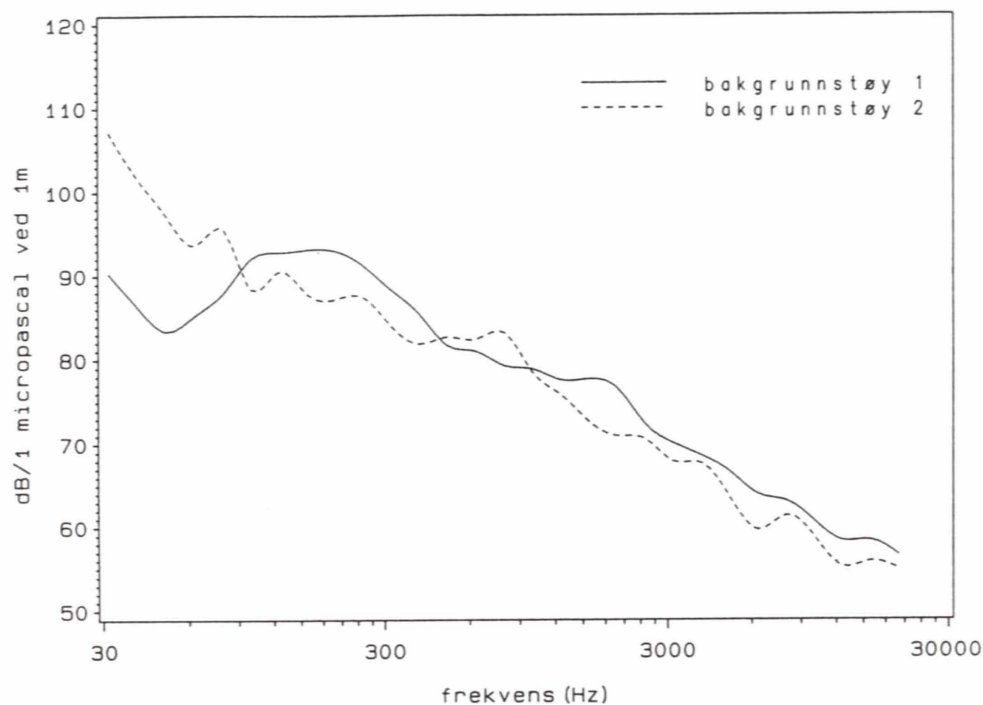


Figur 4.5.3. Målt frekvensspekter fra luftkanonfeltet på "Akademic Shatskiy".

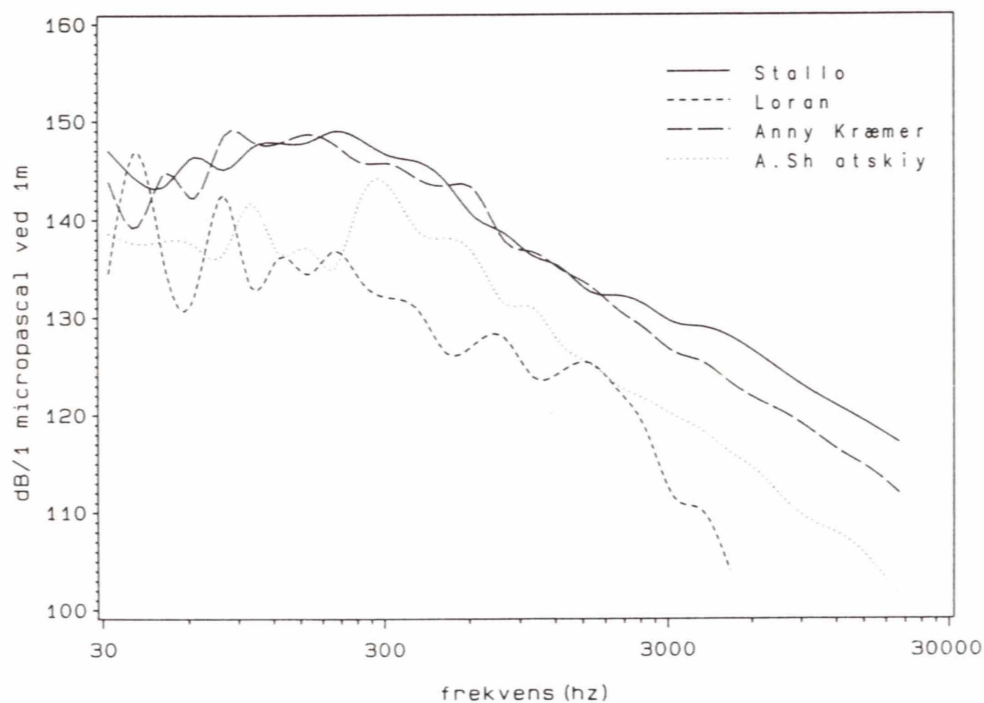


Figur 4.5.4. Frekvensspekter fra luftkanonkilde oppgitt av Geco Prakla.

Lydnivået fra kanonene på spektralnivået lå ca. 120 dB over bakgrunnstøynivået (Fig. 4.5.5) og ca. 60 dB over støynivået fra "Stallo" og "Anny Kræmer" i trålsituasjonen sammenlignet på spektralnivå. Figur 4.5.6 og 4.5.7 viser støyspekteret fra alle fartøyene ved henholdsvis trål/arbeidsfart og under frifartskjøring.

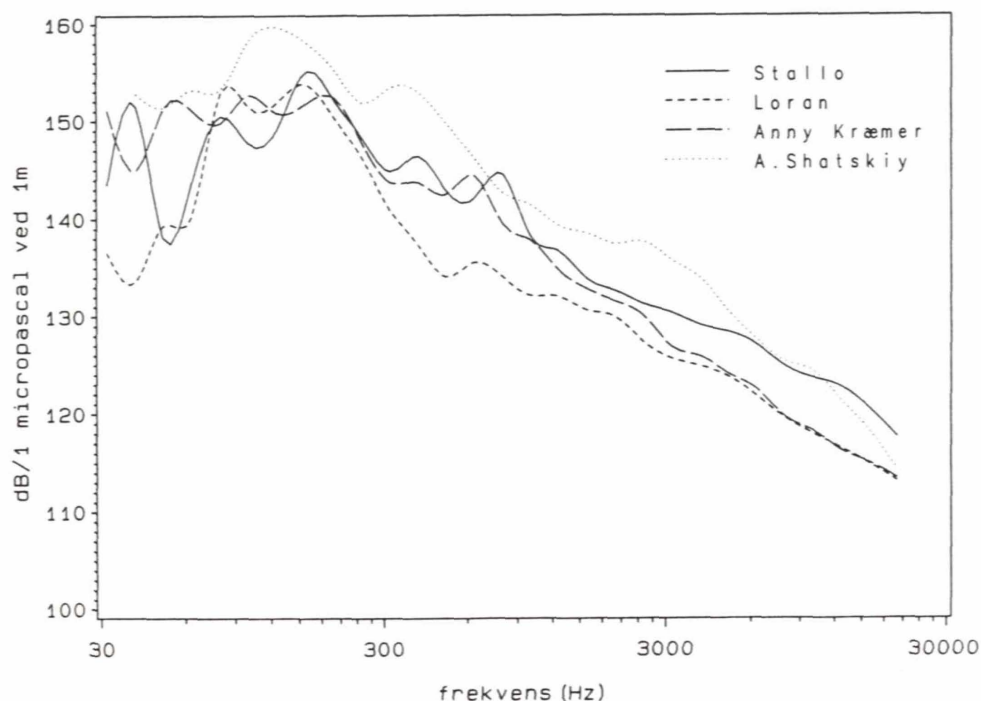


Figur 4.5.5. Bakgrunnsstøy-nivået på Nordkappbanken (1) og i Sørøysundet (2) under lydmåling av luftkanonfelt og fartøyer.



Figur 4.5.6. Frekvensspekter under arbeidssituasjon for fartøyene som deltok i forsøket. "Anny Kræmer" og "Stallo" målt under tråling. "Loran" målt under haling av line. "Akademic Shatskiy" målt i den hastighet som brukes under skyting med luftkanoner.





Figur 4.5.7. Frekvensspekter for alle fartøyene som deltok i forsøket målt under frifarts-kjøring.

Støymessig var "Stallo" og "Anny Kræmer" rimelig like både i trål- og frifartskjøring, med et maksimalnivå under fri fart på omlag 153 - 155 dB re 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$  i frekvensområdet 60-200 Hz. "Akademic Shatskiy" hadde et maksimalnivå på 160 dB re 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$  under frifartskjøring ved 90-200 Hz, men lå vesentlig lavere under operasjon. Under frifartskjøring lå støynivået fra "Loran" på tilsvarende nivå som fra trålerne, mens støynivået var over 10 dB lavere i arbeidssituasjonen.

## 4.6 Strømmålinger og STD-målinger

Strømhastigheten 10 m over bunnen var gjennomsnittlig 12 cm/s, hovedsakelig i nordlig retning (se Appendix G, Fig. 1 og 2). Selv om det ble påvist variasjon gjennom døgnet, som antas å være tidevannsstrøm, ble det ikke påvist noen markerte forskjeller mellom tidsperiodene som kan ha påvirket linerresultatene forskjellig før, under og etter seismisk aktivitet.

Typisk temperatur-, salinitets- og lydastighetsprofiler i undersøkelsesområdet er vist i Appendix G, Figur 3. Lydastigheten varierer fra 1467 m/s til 1471 m/s, og det er på dette grunnlaget forventet et tilnærmet lineært, direkte lydbaneforløp i undersøkelsesområdet.

## 5. DISKUSJON

### 5.1 Har seismisk aktivitet effekt på fangst og fangsttilgjengelighet av torsk og hyse?

#### Effekten på fangstrater

Den akustiske kartleggingen og fangstforsøkene med trål og line på Nordkappbanken viste at seismisk skyting med luftkanoner virker inn på fiskefordeling og fangstrater for torsk og hyse, ikke bare lokalt innenfor området der skytingen foregår, men også i betydelige områder omkring.

Fangstratene både for torsk og hyse i trål ble halvert innenfor det totale undersøkelsesområdet på 40 x 40 nm da skytingen tok til. Størst var reduksjonen i sentrum, d.v.s. inne i det seismiske skytefeltet, med hele 70% i forhold til før skyting. Reduksjonen i trålfangstene var stort sett i overensstemmelse med de akustiske observasjonene, som viste en reduksjon på ca. 45% i totalmengden av torsk og hyse innenfor undersøkelsesområdet. Også nedgangen i akustiske verdier var størst i sentralområdet.

Reduksjonen i fangstratene for torsk på line var ikke like store som i trål. Nedgangen var på 44% inne i det seismiske området, men med en gradvis mindre påvirkning av fangstene ut mot ytterkanten av feltet. På de linestubber som ble satt lengst borte fra feltet (16 - 18 nm), ble det ikke påvist noen nedgang i fangstratene for torsk. For hyse ble det påvist en vektreduksjon pr. stubb på ca. 50% over hele undersøkelsesområdet.

Fangstprinsippet for trål og line er svært forskjellig. Trål er et aktivt redskap som i prinsippet fanger all fisk over en viss størrelse som kommer mellom tråldørene i trålens høyde, dersom en ser bort fra unnvikelses- og sveipe-effekter. I vårt tilfelle vil det si i en bredde på 150 m mellom tråldørene og en vertikal åpning på 4,2 m. Line er et passivt redskap som baserer seg på at fisken aktivt søker til redskapet. Fisk sanser luktstoffer fra lineagnet over et større område avhengig av utvasking av luktstoffer, vannets hastighet etc., og beveger seg til redskapet dersom den er interessert i å ta til seg føde. Lina kan nå et metningspunkt i

fangstmengde, fordi den ikke kan fange mer fisk når alle kroker er opptatt eller agnet nedbeitet (Skud 1978). Dette gjør lina til et redskap som ikke nødvendigvis gir et riktig bilde av totalmengden fisk i et område.

En kan tenke seg to årsaker til at fangsten av torsk i ytterkant av området reduseres på trål, men ikke på line. For det første ser man en viss tetthetsgradient i mengde fra sentrum utover mot ytterkanten av området under skyting. Selv om mengden av torsk reduseres i periferien av området, kan en tenke seg at antall fisk som står tilbake er stort nok til å opprettholde fangsten på line; med andre ord, at lina ikke gir et reelt bilde av totalmengden i området. En annen årsak til disse forskjellene kan være ulikheter i fiskens reaksjon på støyen fra den seismiske skytingen, avhengig av avstand fra lydkilden. Nivåforskjellen i lydbildet mellom sentrum og 16 - 18 nm er stor, og lyden vil helt klart virke mer ubehagelig og skremmende på fisken nær lydkilden. En kan anta at atferdsmønsteret til fisken, deriblant beiteatferden, påvirkes mer nær skytefeltet enn lenger vekk, noe som kan føre til at en mindre andel av fisken søker seg til lina i det sentrale forsøksområdet.

Den reduksjonen som ble observert i fangstratene for torsk og hyse på Nordkappbanken, er i hovedsak overensstemmende med det som er funnet i andre undersøkelser. Løkkeborg og Soldal (1993) fant en 50 - 80% reduksjon i fangsten av torsk på linestubber som stod plassert inne i et seismisk undersøkelsesområde utenfor Finnmark. Det ble også funnet en reduksjon på ca. 80% i bifangsten av torsk i rekefiske innenfor og nær inntil (opp til 5 nm avstand) seismiske skytefelt øst av Bjørnøya og utenfor Øst-Finnmark. Løkkeborg og Soldal (1993) fant imidlertid også en økning i bifangsten av torsk i konsumfiske etter sei på Storegga under to kortvarige seismiske skytesekvenser (3 og 9 timer). Denne økningen er forklart med en "plog-effekt" som vi vil diskutere nærmere under kapittelet "Effekter på fiskens atferdsmønster". Skalski et al. (1992) observerte en 50% reduksjon i linefangstene av ulike uer-arter utenfor Californiakysten under påvirkning av en enkelt luftkanon.

### **Effekten på stor og liten fisk**

Ved å splitte opp fangsten i to størrelsesgrupper (større og mindre enn 60 cm eller ca. 2 kg), gikk det fram at den store fisken forsvant fra trål- og linefangstene i større grad enn

småfisken. Mens også antallet småfisk av torsk ble redusert i trål, økte antallet på line. Også de akustiske undersøkelsene viste at begge størrelsesgruppene ble redusert, men at den relativt største reduksjonen skjedde for fisk større enn 60 cm. Også for hyse var reduksjonen større for stor enn for liten fisk i begge redskapstyper og de akustiske estimatene, selv om det ble påvist nedgang i begge størrelsesgrupper.

Årsaken til at antall små torsk i linefangstene øker noe istedet for å reduseres slik som i trål og i de akustiske observasjonene, kan en anta ligger gjemt i disse redskapenes fangstevne og fangstmetode. Mens trål- og akustikkdataene gir et mer direkte mål på bestandsstørrelsen, spiller fiskeatferd en sterk rolle for fangst med line. Hva som fanges på line kan bl.a. være et resultat av konkurranseforhold mellom ulike arter og størrelsesgrupper. Som nevnt var det særlig den store fisken som forsvant da skytingen tok til. Dette betyr at den minste fisken får redusert konkurranse i kampen om føde, i dette tilfelle i form av lineagnet, og en kan dermed lett få en økning av antall småfisk på lina selv om totalantallet fisk i området er noe redusert.

En kan også stille spørsmål om hvorfor en større andel av den store enn den små fisken forsvant. En teori er at større fisk oppfatter lyden fra luftkanonene som mer ubehagelig enn mindre fisk, f.eks. på grunn av resonanseffekter i svømmeblæra. Dersom den luftfylte svømmeblæra kommer i sterke egensvingninger, må en anta at dette oppfattes som ubehagelig for fisken. Resonansfrekvensen er avhengig av svømmeblæras (og dermed fiskens) størrelse. Jo større fisk, jo lavere er resonansfrekvensen. Imidlertid ligger resonansfrekvensen for en trykk-kompensert torsk som er 1 m lang på ca. 600 Hz (Hawkins 1977; Løvik & Hovem 1979). Hovedtyngden av energien i luftkanon-spekteret ligger under 150 Hz. Ved så høye frekvenser som fra 600 Hz og oppover, er energien vesentlig lavere. Det skulle derfor være liten grunn til å anta at resonansfenomener kan forårsake forskjeller i atferdsmønsteret til stor og liten fisk.

En annen forklaring er at ulikhetene kan komme av størrelsesavhengige forskjeller i fiskens svømmeevne. Den store fisken har selvsagt større mulighet til å komme seg vekk fra lydkilden på grunn av større svømmeevne. Dersom fisken reagerer på skuddene fra luftkanonfeltet med rolig unnvikelse, kan en anta at den svømmer vekk med såkalt "cruising speed". For en torsk på 30 cm vil dette si en svømmefart på ca. 0,6 m/s, mens en fisk på 70 cm vil ha en hastighet på 1 m/s (Wardle 1977). Ved slike hastigheter kan torsken svømme uten å bli utmattet.

Reagerer fisken med panikk, kan den sette opp større fart, men bare over en kort tidsperiode. Forutsetter vi at fisk som sto inne i skytefeltet da skytingen tok til, svømmer ut av feltet med "cruising speed", vil en fisk på 30 cm kunne bevege seg 52 km eller 28 nm i løpet av ett døgn og en på 70 cm 86 km eller 47 nautiske mil. Begge vil altså kunne nå ytterkanten av forsøksområdet på under et døgn uten panikkartet svømming. Det er derfor lite trolig at det er svømmeevnen som gjør at fisk mindre enn 60 cm ser ut til å unnvike i mindre grad enn større fisk. Utfra dette må en konkludere med at en ikke har noen forklaring på ulikhetene i respons hos stor og liten fisk.

### **Effekten på fiskens atferdsmønster**

Det har tidligere vært hevdet (Dalen & Raknes 1985) at bunnfisk som torsk og hyse reagerer på støy ved å trekke ned mot bunnen hvor den holder seg inaktiv så lenge den er skremt. Dette burde føre til at fisken ble lettere tilgjengelig for bunntrål som aktivt fanger fisk som står ved bunnen og i de nederste 4 m av vannsøyla. Linefangstene burde derimot bli redusert, fordi denne typen fiskeri baserer seg på at fisken aktivt søker etter føde.

Forsøkene på Nordkappbanken støttet ikke opp under en slik hypotese. Den akustiske kartleggingen viste at fiskemengden både i den pelagiske og bunnære delen av vannsøyla ble redusert. Dersom fisken var skremt så nær til bunnen at den ikke kunne detekteres akustisk (akustisk "dødzone"), burde det relative forholdet mellom målt akustisk tetthet i bunnkanalen og fangstratene for bunntrål forandre seg under skyting. Dette var ikke tilfelle. Korrelasjonen mellom fangstene i bunntrål og fisketetthet målt akustisk i bunnkanalen var svært høy ( $r = 0,84$ ), og det relative forholdet mellom fangst og akustikk var likt i alle tre periodene ( $p = 0,534$ ).

Innenfor skyteområdet gikk fangstratene ned umiddelbart etter at skytingen tok til. Ved 1 - 3 nm avstand fra feltet var fangstratene i de to første halene som ble tatt i denne sonen da skytingen tok til, minst like store som før skyting. Trolig kan dette forklares ved en "plogeffekt" rundt det seismiske fartøyet. Fisken reagerer på lyden ved en diagonal bevegelse ned og bort fra støykilden. Mens fisken er i bevegelse kan det oppstå en midlertidig opphoping av fisk i området rundt lydskilden. Denne effekten vil være kortvarig og forsvinne

så snart fisken har fått tid til å svømme vekk fra området. Slik dykkerespons på lydstimuli er beskrevet både i småskalaforsøk (Engås et al. 1991) og ved studier av fisks reaksjon overfor fartøystøy i feltsituasjon (Olsen et al. 1983; Ona 1988; Ona & Godø 1990). En økning i bifangsten av torsk under tråling etter sei på Storegga etter kortvarig seismisk skyting er blitt forklart utfra et slikt reaksjonsmønster (Løkkeborg & Soldal 1993).

Dersom fisken var blitt liggende inaktiv på bunnen etter å ha blitt skremt av en støykilde, skulle mageinnholdet gå ned i løpet av forsøksperioden fordi den ikke lenger ville søke aktivt etter næring. Mageprøvene fra fisken på Nordkappbanken under forsøkene ga ingen indikasjon på dette. Det var generelt et lavt innhold av mat i magene gjennom hele forsøksperioden, og det ble ikke funnet endringer i fyllingsgraden eller andel mager med innhold mens forsøkene pågikk.

### **Effekter av fangstinnsats**

Det kan være grunn til å stille spørsmål om den store innsatsen med fiskeredskaper innenfor forsøksområdet kan forklare nedgangen i fangstene som ble observert. Den relativt største innsatsen (antall trålhal og linestubber pr. arealenhet) hadde en innenfor det seismiske området. Før skyting ble det gjennomført 13 trålhal og dratt 14 linestubber innenfor dette området. For trål tilsvarte dette et uttak på ca. 7 tonn torsk og 0,5 tonn hyse og for line ca. 13 tonn torsk og 4 tonn hyse. Utfra beregnet sveipeareal for trålen, har en dekket 5,7% av arealet i det indre området, d.v.s. at en har tatt ut ca. 6% av fisken nær bunnen (opp til 4,2 m høyde) dersom en har fanget all fisk mellom dørene. For line er det vanskelig å beregne noe sveipeareal. De akustiske beregningene viser imidlertid at det var ca. 110 tonn større torsk (> 60 cm) nær bunnen innenfor området før skyting. I trål- og linefangstene var ca. 13 tonn av fisken over 60 cm. Dette betyr at vi maksimalt tok 10% av den delen av fisken som sto nær bunnen. Totalt sett sto det ca. 710 tonn fisk inne i sentralområdet. Totalfangsten var på 20 tonn, eller mindre enn 3% av totalen.

Ut fra fangstinnsatsen kunne vi forvente en svak reduksjon i fangstene over tid, noe som særlig datasettet for hyse antyder. Imidlertid viser fangstforsøkene at den seismiske aktiviteten forårsaket en fangstreduksjon som langt oversteg det dette fangstuttaket kunne forårsake.

Dersom reduksjonen utelukkende skulle skyldes fangst, burde en også forvente en fortsatt nedgang i fangstene etter at den seismiske skytingen var avsluttet. Både i de akustiske mengdeberegningene og i trålfangstene av torsk fant man en utflating av nivået etter skyting. I linefangstene var det til og med en tendens til økning. Hysefangstene viste imidlertid en fortsatt svak nedgang i begge redskaper, noe som kan antyde en viss utfiskingseffekt.

En reduksjon i bestanden på grunn av fangst burde dessuten føre til en jevn, gradvis nedgang i fangstene over hele forsøksperioden. En sterk og brå reduksjon i fangstene rett etter at den seismiske skytingen startet kan ikke forklares utfra utfiskingseffekt. Totalt sett vil en i alle slike forsøk være utsatt for mindre feil i forbindelse måling av effekten av forsøksopplegget. Men med en stor utgangsbestand, som her på 33.000 tonn fisk, må en anta at et totalt fangstutbytte på ca. 100 tonn har hatt en minimal effekt på resultatet.

## **5.2 Avstands-effekt**

### **Forventet reaksjonsdistanse**

En av problemstillingene vi i utgangspunktet ønsket å svare på ved forsøket på Nordkapp-banken var i hvor stor avstand fra skytefeltet en kunne påvise en eventuell effekt på fangstene. Størrelsen på forsøksområdet (40 x 40 nm) ble fastlagt utfra en forventning om hvor langt unna fisk ville kunne reagere på en lydkilde med et kildenivå tilsvarende et luftkanonoppsett og på erfaringer fra tidligere undersøkelser.

På bakgrunn av et lydtrykk på 210 dB re 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$  på spektralnivå og et transmisjonstap på  $20 \log R$ , vil lydnivået 18 nm fra luftkanonene være omlag 120 dB re 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$ . I følge kapittel 2 vil fisk kunne oppfatte dette lydnivået, og det ble forventet en reaksjon ut til omlag 5,4 nm (10 km).

De akustiske observasjonene og trålfangstene viste imidlertid at fisken ble påvirket over et større område enn vi hadde forventet ut fra antatt kildenivå og reaksjonsdistanse. I trålfangstene var det en signifikant fangstreduksjon over hele forsøksområdet, helt ut til 18 nm fra skytefeltet. For line var det en signifikant nedgang i hyse-, men ikke i torskefangstene

på den ytterste stubben (16 - 18 nm fra skytefeltet). Ved de øvrige posisjonene ble det påvist reduksjon i fangstene både av torsk og hyse.

Som tidligere nevnt ble det påvist atferdsendringer ved et totalt lydnivå på 150 - 167 dB re 1  $\mu$ Pa hos uerarter (*Sebastes* sp.) som ble utsatt for støy fra en enkelt luftkanon (Pearson et al. 1992). Dette tilsvarer omlag 110 - 130 dB re 1  $\mu$ Pa på spektralnivået, eller tilsvarende det beregnede lydnivå ved ytterkanten av undersøkelsesområdet. Dette kan tyde på at det vi har antatt som forskjell mellom deteksjons- og reaksjonsnivå for luftkanonstøy er mindre enn forventet.

### **Effekten av fartøystøy**

Under hele forsøksperioden var det stor trafikk av fartøyer i forsøksområdet, særlig inne i skytefeltet. En kan stille spørsmål om fartøystøyen har vært med på å skremme fisken ut av området. Som tidligere nevnt er det påvist at fisk reagerer med unnvikelse når lydnivået fra propell og maskin er over et visst nivå (se f.eks. Olsen et al. 1983; Ona 1988; Engås et al. 1991; Ona & Godø 1990). At fartøystøyen kan ha ført til lokal unnvikelse, kan en ikke se bort fra, men det er flere faktorer som viser at dette neppe kan forklare den observerte reduksjonen i fisketetthet og fangstrater.

Det ble fisket intensivt innenfor sentrumsområdet i dagene før og under den seismiske skytingen. En reduksjon i bestand og fangst som følge av fartøyunnvikelse skulle vise seg som en jevn, moderat nedgang. Imidlertid ble det observert en brå og betydelig fangstreduksjon nettopp idet det seismiske fartøyet tok til å skyte. Fiskefartøyene og det akustiske fartøyet krysset gjennom hele forsøksområdet i transekter fra ytterkant til ytterkant. For en fisk på bunnen vil lydpåvirkningen totalt sett fra disse fartøyene ikke være retningsbestemt. Fartøystøy ville dermed neppe bevirke en netto utvandring av området, men heller kortvarige lokale forflytninger i tilfeldige retninger rundt fartøyene. At selve unnvikelsen overfor fartøystøy er av lokal karakter med en varighet på 8 - 10 minutter er også vist eksperimentelt (Ona 1988; Ona & Godø 1990; m.fl.).



I ytterkant av området var dekningsgraden både med akustikk og fangstforsøk mye lavere enn inne i sentrum. Her var fartøypåvirkningen så lav at en effekt på bestanden er lite sannsynlig. Likevel ble det påvist en reduksjon både i trålfangster og akustisk målt fiskemengde. Et viktig poeng er at for fisk nær bunnen ligger lydnivået fra luftkanonfeltet over støynivået fra fartøyene over hele området, selv ut mot 18 nm. Sammenlignet direkte på spektralnivå vil støyen ved bunnen rett under et fiskefartøy ligge rundt 110 dB re 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$ , eller akkurat over fiskens deteksjonsterskel, mens lydnivået fra luftkanonen vil ligge på omlag 120 dB re 1  $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$ . Støyen fra kanonfeltet vil altså overstige fartøystøyen, selv i ytterkant av forsøksområdet.

### 5.3 Effekt over tid

En annen problemstilling vi i utgangspunktet ønsket å få svar på, var i hvor lang tid etter at et skyteprogram var avsluttet en eventuell effekt på fisketetthet og fangstrater vil være ved. Den akustiske kartleggingen viste ikke noen økning i tettheten av torsk og hyse i de fem dagene etter at skytingen var opphørt. Det ble heller ikke funnet noen økning i trålfangstene innenfor denne perioden. Imidlertid kan man ane en normalisering i fiskens størrelsesfordeling etter at skytingen opphørte. Under skyting var det en markant nedgang i gjennomsnittsstørrelsen av fisken i fangstene. Nedgangen var størst i sentrum og minkende ut mot periferien. Disse forskjellene avhengig av avstand fra skytefeltet var i ferd med å jevne seg ut da forsøket ble avsluttet, trolig ved at fisken som fortsatt sto i området hadde begynt en tilfeldig spredning.

På line ble det observert en økning i fangstene av torsk i slutten av forsøksperioden, men ikke i hysefangstene. Dette er også en indikasjon på at forholdene begynte å normalisere seg på feltet noen dager etter at forsøkene var avsluttet. Fangst på line avhenger som tidligere nevnt av at fisken aktivt søker mot agnet. Selv om fisketettheten, slik den avbildes i trålfangster og ved hjelp av akustisk mengdemåling, ikke øker, kan fangstraten på line øke ved at fisken endrer sin beiteatferd mot lineagnet. En kan tenke seg at den øker sitt næringsøk når skremmeeffekten fra luftkanonene opphører.

Totalt sett kan man si at det ikke var indikasjoner på normalisering i trålfangstene etter fem døgn, mens linefangstene endret seg i positiv retning. I vinterfisket etter torsk med line utenfor kysten av Finnmark viste innsamlede fangstdata fra fiskefartøy som fisket nær til et seismisk fartøy at fangstene normaliserte seg ca. et døgn etter at skytingen opphørte (Løkkeborg & Soldal 1993). Også bifangsten av torsk i reke-trål økte til nivået før skytingen startet i løpet av ett døgn da det seismiske fartøyet forlot feltet (Løkkeborg & Soldal 1993). Det kan neppe gis noe entydig svar på hvor lang tid det vil ta før fangstene er tilbake på det nivå de var før den seismiske aktiviteten startet. Trolig vil dette variere med sesong, lokalitet, skytingens varighet, m.v. Faktorer som næringsforholdene på stedet, om fisken er på vandring, etc., vil ganske sikkert spille en viktig rolle.

## 6. KONKLUSJON

Forsøkene på Nordkappbanken viste at seismisk skyting med luftkanoner har effekt på fiskefordeling og fangstrater for torsk og hyse, ikke bare lokalt innenfor området der skytingen foregikk, men også i områdene omkring.

Totalmengden av torsk og hyse i undersøkelsesområdet målt ved hjelp av akustikk ble redusert med 45% fra før til under skyting. Reduksjonen var størst innenfor og ut til 5 nm fra sentrum av skyteområdet. Fiskemengden gikk ned både i den pelagiske og den bunnære delen (de nederste 10 m) av vannsøylen.

Resultatene fra fangstforsøkene stemte godt overens med de akustiske mengdeberegningene. Da skytingen tok til, ble fangstratene for torsk i trål og hyse i trål og på line redusert med ca. 50% i gjennomsnitt for hele forsøksområdet. Størst var imidlertid reduksjonen inne i skyteområdet, der nedgangen i trålfangstene var på 70% i forhold til før skyting. Reduksjonen i fangstratene for torsk på line var imidlertid mindre. Inne i skytefeltet fant man en reduksjon på 44%, gradvis minkende ut mot ytterkantene av feltet. På den ytterste lineposisjonen (16 - 18 nm) ble det ikke funnet endringer i fangstraten for torsk.

Vektreduksjonen i trål- og linefangstene var større enn antallsreduksjonen både for torsk og hyse. Dette skyldtes at reduksjonen i fangstratene var større for fisk større enn 60 cm enn fisk mindre enn 60 cm. På line ble det observert en økning i antallet små torsk under skyting. Årsaken til at stor fisk påvirkes sterkere av seismisk skyting enn småfisk er ukjent.

Akustisk kartlegging og fangstratene i de første trålhalene som ble tatt etter at skytingen hadde startet, antydte at fisken reagerte på støyen fra luftkanonene ved å svømme ut til siden for lydskilden og ut av forsøksområdet. Det ble ikke funnet holdepunkter for hypotesen om at fisken fortsatt befinner seg inne i området, men fordelt på en slik måte at den ikke er tilgjengelig for fangst.

I forsøksperioden var fangsttinningsraten stor innenfor forsøksområdet, spesielt inne i skytefeltet. Imidlertid var fangstuttaket ikke stort nok til å kunne forklare den store reduksjonen som ble påvist i akustisk målt fiskemengde og i fangstratene for trål og line. Reduksjon i fiskemengde som følge av fangstuttak vil medføre en gradvis nedgang i fangstratene. Det samme vil unngåelse fra området forårsaket av støy fra fartøyene som deltok i undersøkelsen. Forsøkene viste imidlertid en sterk og brå nedgang i fangstmengde som falt sammen med tidspunktet for skytestart. Denne reduksjonen kan neppe forklares ut fra fangstuttak eller fartøyunngåelse alene.

Størrelsen på forsøksområdet, 40 x 40 nm, ble fastsatt ut fra betraktninger om hvor langt unna et luftkanonfelt fisk vil kunne høre og reagere på det utsendte lydsignalet. Det ble imidlertid funnet effekt på fiskefordeling og fangstrater over et større område enn det som på forhånd var forventet. Både i de akustiske mengdeberegningene og i trålfangstene ble det funnet en reduksjon over hele forsøksområdet ut til 18 nm. Linefangstene av torsk ble imidlertid ikke redusert ved den ytterste lineposisjonen (16 - 18 nm). Forsøkene gir derfor ikke et eksakt svar på hvor yttergrensen for fangstpåvirkningen ligger.

Undersøkelsen kan heller ikke gi svar på hvor lang tid en effekt av seismisk skyting vil vare ved etter at skytingen er opphørt. Det ble ikke påvist økning i fiskemengde i området i de fem dagene forsøkene pågikk etter at skytingen var opphørt. Det eneste unntaket var en liten økning i fangstratene av torsk på line. En endring i lengdefordelingen i trålfangstene tydet på en viss normalisering av tilstanden etter skyting.

## 7. TAKK

Takk til Geco-Pracla for godt samarbeid under planlegging og gjennomføring av undersøkelsen. Takk til mannskapene på "Akademic Shatskiy", "Anny Kræmer", "Loran" og "Stallo" for god innsats under feltforsøkene. Videre vil vi takke våre medarbeidere på tokt: Kåre Hansen, Ingvald Svellingen, Bjørn Totland, Anne Britt Skar Tysseland og Jan Tore Øvredal, samt alle andre som har bidratt til ferdigstillelsen av denne rapporten. En spesiell takk til Elen Hals for redigering av rapporten.

Vi vil takke Dr. Michael Pennington, National Marine Fisheries Service, Woods Hole, USA, for hjelp til de statistiske beregningene av fangstdata. Takk også til Dr. Kenneth Foote, Havforskningsinstituttet, for hjelp til statistiske beregninger av akustiske data.

## 8. REFERANSER

- Aglen, A. 1983. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied. *FAO Fish Rep. 300*: 293-298.
- Anon. 1991. Oljedirektoratets årsberetning 1991. Oljedirektoratet, Stavanger.
- Blaxter, J.H.S., Gray, J.A.B. and Denton, E.J. 1981. Sound and startle response in herring shoals. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 61(4): 851-870.
- Buerkle, U. 1968. An audiogram of the Atlantic cod, *Gadus morhua* L. *J. Fish. Res. Board Can.*, 25: 1155-1160.
- Chapman, C.J. and Hawkins, A.D. 1973. A field study of hearing in cod, *Gadus morhua* L. *J. Comp. Physiol.*, 85: 147-167.
- Dalen, J. and Raknes, A. 1985. Scaring effects on fish from three-dimensional seismic surveys. Report FO 8504, Institute of Marine Research, Bergen, Norway, 22 pp.
- Engås, A. and Godø, O.R. 1989. Escape of fish under the fishing line of a Norwegian sampling trawl and its influence on survey results. *J. Cons. int. Explor. Mer*, 45: 269-276.
- Engås, A., Misund, O.A., Soldal, A.V., Horvei, B. and Solstad, A. 1991. Fish Behaviour and Vessel Noise: Catch Data Comparisons, Noise Analysis, and Playback Experiments. In: A. Engås: *The Effects of Trawl Performance and Fish Behaviour on the Catching Efficiency of Sampling Trawls*. Dr. Philos-Thesis, University of Bergen, Institute of Fisheries and Marine Biology, Bergen, Norway: 59-68.
- Foote, K.G., Knudsen, H.P., Vestnes, G., MacLennan, D.N. and Simmonds, E.J. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. ICES Cooperative research report, 144, 69 pp.
- Greene, C.R. 1985. A pilot study of possible effects of marine seismic airgun array operation on rockfish plumes. Prepared for the Seismic Steering Committee by Greeneridge Sciences, Inc., Santa Barbara, California.
- Gytte, T. 1991. A new system for automatic STD data acquisition from randomly positioned observers. *ICES C.M. 1991/C:21*.
- Hawkins, A.D. 1977. Fish sizing by means of swimbladder resonance. *Rapp. P.-v. Réun. ons. int. Explor. Mer*, 170: 122-129.
- Hawkins, A.D. 1981. The hearing abilities of fish. In: W.N. Tavolga, A.N. Popper and R.R. Fay (eds.) *Hearing and sound communication*. Springer-Verlag, New York, pp. 109-133.

- Hawkins, A.D. and Rasmussen, K.J. 1978. The calls of gadoid fish. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 58: 891-911.
- Knudsen, H.P. 1990. The Bergen Echo Integrator: an introduction. *J. Cons. int. Explor. Mer*, 47: 167-174.
- Knudsen, F., Enger, P.S. og Sand, O. 1992. Awareness reactions and avoidance responses to sound in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *J. Fish Biol.* 40: 523-534.
- Løkkeborg, S. 1991. Effects of a geophysical survey on catching success in longlining. *ICES C.M. 1991/B:40*, 9 pp.
- Løkkeborg, S. and Soldal, A.V., 1993. The influence of seismic exploration with airguns on cod (*Gadus morhua*) behaviour and catch rates. *ICES mar. Sci. Symp.*, 196 (under trykking.)
- Løvik, A. and Hovem, J.M. 1979. An experimental investigation of swimbladder resonance in fishes. *J. Acoust. Soc. Am.*, 66(3): 850-854.
- Malme, C.I., Smith, P.W. and Miles, P.R. 1986. Characterization of geophysical acoustic survey sounds. OCS Study MMS-86-0032. Prepared by BBN Laboratories Inc., Cambridge, Massachusetts, for Batelle Memorial Institute under Contract No. 14-12-001-30273 to the Department of Interior, Mineral Management Service, Pacific Outer Continental Shelf Region, Los Angeles, California, 88 pp.
- Myrberg, A.A. 1980. Fish bio-acoustics: its relevance to the not so silent world. *Environ. Biol. Fishes*, 5(4): 297-304
- Nes, H. 1991. Operator Manual for Simrad EK-500, Scientific Echo Sounder. Rapport P2170E, Simrad, Horten, oktober 1991.
- Offut, G.G. 1974. Structures of the detection of acoustic stimuli in the Atlantic cod, *Gadus morhua*. *J. Acoust. Soc. Am.*, 56: 665-671.
- Olsen, K., Angell, J., Pettersen, F. and Løvik, A. 1983. Observed fish reactions to a surveying vessel with special reference to herring, cod, capelin and polar cod. *FAO Fish. Rep.*, 300: 131-138.
- Ona, E. 1988. Observations of cod reaction to trawling noise. ICES FAST WG-meeting, Oostende, 20-22 April 1988. 10 pp.
- Ona, E. and Godø, O.R. 1990. Fish reaction to trawling noise: the significance for trawl sampling. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int Explor. Mer*, 189: 159-166.
- Pearson, W.J., Skalski, J.R. and Malme, C.I. 1992. Effects of sounds from a geophysical survey device on behaviour of captive rockfish (*Sebastes* sp.). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49: 1343-1356.

- Pennington, M. 1983. Efficient estimators of abundance, for fish and plankton surveys. *Biometrics*, 39: 281-286.
- Pennington, M. and Vølstad, J.H. 1991. Optimum size of sampling unit for estimating the density of marine populations. *Biometrics*, 47: 717-723.
- Pettigas, P. 1990. Geostatistics for fish acoustic surveys: precision of the abundance estimate and survey efficiency. ICES C.M. 1990. 27 pp.
- Pettigas, P. and Poulard, J.C. 1989. Applying stationary geostatistics to fisheries: a study on hake in the Bay of Biscay. ICES C.M. 1989/G:62, 21 pp.
- Platt, C. and Popper, A.N. 1981. Fine structure and function of the ear. In: W.N. Tavolga, A.N. Popper and R.R. Fay (eds.) *Hearing and sound communication*. Springer-Verlag, New York, pp. 4-38.
- Popper, A.N. and Platt, C. 1983. Sensory surface of saccule and lagena in the ears of ostariophysan fishes. *J. Morphol.*, 176(2): 121-130.
- Sand, O. and Karlsen, H.E. 1986. Detection of infrasound by the Atlantic Cod. *J. Exp. Biol.*, 125: 197-204.
- Saidel, W.M. and Popper, A.N. 1983. The saccule may be the transducer for directional hearing of nonostariophysine teleosts. *Exp. Brain Res.*, 50(1): 149-152.
- Schwarz, A.L. 1985. The behaviour of fishes in their acoustic environment. *Environ. Biol. Fishes*, 13(1): 3-15.
- Simmonds, E.J., Williams, N.J., Gerlotto, F. and Aglen, A. 1991. Survey design and analysis procedure: a comprehensive review of good practice. ICES C.M. 1991/B:54, 135 pp.
- Skalski, J.R., Pearson, W.H. and Malme, C.I. 1992. Effects of Sounds from a Geophysical Survey Device on Catch-per-Unit-Effort in a Hook-and-Line Fishery for Rockfish (*Sebastes* spp.) *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49: 1357-1365.
- Skud, B.E. 1978. Factors affecting longline catch and effort: III. Bait loss and competition. *Int. Pac. Halib. Comm. Sci. Rep.*, 64: 25-50.
- Snedecor, G.W. and Cochran, W.G. 1980. *Statistical methods*. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 507 pp.
- Tavolga, W.N. Popper, A.N. and Fay, R.R. (eds.) 1981. *Hearing and sound communication*. Springer-Verlag, New York, 608 pp.
- Wardle, C.S. 1977. Effects of swimming speeds in fish. In: T.J. Pedley (ed.) *Scale Effects of Size on Swimming Speeds in Fish*. Academic Press, New York, pp. 299-313.

## AKUSTISK METODIKK

Standardisert metodikk for akustisk mengdemåling av fisk er fulgt i undersøkelsen. Metoden er grundig beskrevet i tekstbøker, som Forbes & Nakken (1972), Johannesson & Mitson (1983), MacLennan & Simmonds (1992) og Simmonds et al. 1991. For klargjøring er det her gitt en kort skisse av de enkelte elementene som inngår.

Ekkointegreringsmetoden baserer seg på en rent fysisk måling av arealtetthet av fisk, som er mulig når ekkoloddet er kalibrert og nøyaktig kompenserer for geometrisk spredning og absorpsjon av utsendt lydimpuls og mottatt ekko. Hvordan dette utføres i EK-500 ekkolodd og i BEI ekkointegrator er i detalj beskrevet av Nes (1992) og Knudsen (1990).

Ekkointegreringsligningen:

$$\rho_A = \frac{s_A}{\langle \sigma \rangle}$$

består, når vi benytter et kalibrert ekkolodd bare av tre størrelser:

$\rho_A$  - arealtettheten av fisk (antall fisk/nm<sup>2</sup>)

$s_A$  - midlere målt akustisk tilbakespredningskoeffisient (m<sup>2</sup>/nm<sup>2</sup>)

$\langle \sigma \rangle$  - middlere akustisk tilbakespredningsvernsnitt fra en enkelt fisk (m<sup>2</sup>)

Arealtilbakespredningskoeffisienten ( $s_A$ ) måles ved å summere alle ekko, her gitt ved volum-, tilbakespredningskoeffisienten ( $s_V$ ), innenfor et spesifisert dybdeintervall fra  $z_1$  til  $z_2$ , og videre akkumulere (integre) denne over ett gitt antall lydutsendinger (ping):

$$s_A = 4\pi(1852)^2 \int_{z_1}^{z_2} s_V dz$$

Ved å dividere denne summen med antall ping over en gitt utseilt distanse, f.eks. 1 nm, har vi fått et kvantitativt mål for midlere "akustisk" tetthet, gitt som en gjennomsnitt over mange, ofte flere tusen, enkeltmålinger, avhengig av pingrate og båtfart.



Målehyppigheten, eller rapporteringshyppigheten, både vertikalt og horisontalt velges av operatøren, og vil være avhengig av formålet med undersøkelsen. Rådataene blir i alle tilfeller lagret pingvis, med full, 1 m vertikal oppløsning, slik at etteranalyser er mulig på samme datasett.

Det akustisk tilbakespredningstverrsnittet av en enkelt fisk av den art og størrelse vi har målt på er uttrykt ved  $\langle \sigma \rangle$ . Dette er det gjennomsnittlige "bidraget" hver enkelt fisk har gitt under ekkointegreringen, og vi trenger derfor denne verdien for å regne om de "akustiske" tetthetene til reell fisketetthet. Tilbakespredningstverrsnittet uttrykker målets evne til å reflektere, spre lyd tilbake mot svingeren, og er derfor både avhengig av størrelse og refleksjonsevne.

Middelverdier for akustisk spredningstverrsnitt, eller midlere "målstyrke", er kjent for en rekke arter som funksjon av størrelsen på fisken, både fra ekperimentelle målinger og fra målinger gjort in situ ved bruk av splittstråledelen i EK-500 (Foote 1987; MacLennan & Simmonds 1992). Fra slike målinger av enkeltfisk av ulike størrelser av torsk og hyse har Havforskningsinstituttet etablert en størrelsesavhengig målstyrkefunksjon for disse artene som nå blir benyttet under mengdemåling av torsk og hysebestanden i Barentshavet:

$$TS = 20 \log L - 68 \quad (\text{dB})$$

der TS er målstyrken, "target strength", og L er fiskens lengde i cm. Innsatt for en 100 cm lang torsk, blir den midlere målstyrken -28 dB. Ettersom dette er en logaritmisk skala, må vi regne om denne størrelsen til en lineær enhet, etter Urick (1975) definisjon av målstyrke:

$$TS = 10 \log (\langle \sigma \rangle / 4\pi )$$

eller omvendt

$$\langle \sigma \rangle = 4\pi 10^{(0,1TS)}$$

Dette betyr at vi må ha både art og størrelsesdata fra tråling for å gjøre en nøyaktig akustisk mengdeberegning dersom vi må benytte tråldata for estimering av fiskens midlere målstyrke.

## Tolking av ekkogram og ekkointegratordata

Etter at ekkogramregistreringene og trålfangstene er klare for et gitt område, blir ekkogrammene vist på tolkestasjonen og ekkointegratorsystemet BEI (Knudsen 1990) for tolking. I denne prosessen blir registreringene og de akustiske målingene kanalvis i biter på 5 nm oppdelt i fiskeslag basert på en rekke tolkekriterier og blandingen i trålfangstene. Et basisgrunnlag for tolkemethodikken brukt ved Havforskningsinstituttet er gitt av Dalen & Nakken (1983). En ytterligere raffinering av denne metoden er nå mulig i Bergen Ekko Integrator (BEI), der terskling kan skje instantant på ekkogrammbildet, og en hensiktsmessig ny vertikal kanaloppdeling kan gjøres. Fiskeslag som lett lar seg skille akustisk gjennom ekkoregistreringens utseende, styrke og plassering, blir skilt direkte i tolkeprosessen, mens fiskeslag som er blandet og vanskelige å skille fordi de akustisk sett er like, blir skilt i ettertid med data fra trålfangstene.

## Trålfangster

Trålfangstene innenfor for et gitt enhetsareal, representative for de akustiske verdiene, blir ofte slått sammen, der vektingen mellom trålstasjonene er avhengig av om prøvemengden er representativ for fisketetthet eller bare for lengde. Når trålfangstene er kodet i henhold til Havforskningsinstituttets prøvetakingsinstruks, har en standardprogrammer for mendeberegning av hver lengdegruppe på artsbasis, og videre til oppdeling på aldersbasis.

Forenklet til en art beregnes mengden i hver lengdegruppe slik:

Gitt en samlet akustisk middelvei for en art i et enhetsareal som  $\langle s_A \rangle$  ( $m^2/nm^2$ ) og fangstinformasjon fra alle trålhøi i perioder, der antall fisk i en gitt lengdegruppe  $i$  er  $n_i$ , beregnes det totale antallet i hver lengdegruppe etter :

$$N_i = \frac{s_A(n_i)L_i^2 A}{\langle \sigma_i \rangle \sum_{i=1}^{i=k} n_i L_i^2}$$

der  $\langle \sigma_i \rangle$  blir beregnet fra målstyrkeligningen for middellengden i lengdegruppen. Vi har nå effektivt korrigert for at små fisk har en lavere målstyrke enn stor fisk, eller på lineært nivå at størrelsen på det akustiske spredningstverrsnittet er proporsjonalt med kvadrert fiskelengde.

Tilsvarende er totalmengde i vekt beregnet fra:

$$W = \sum N_i \bar{w}_i$$

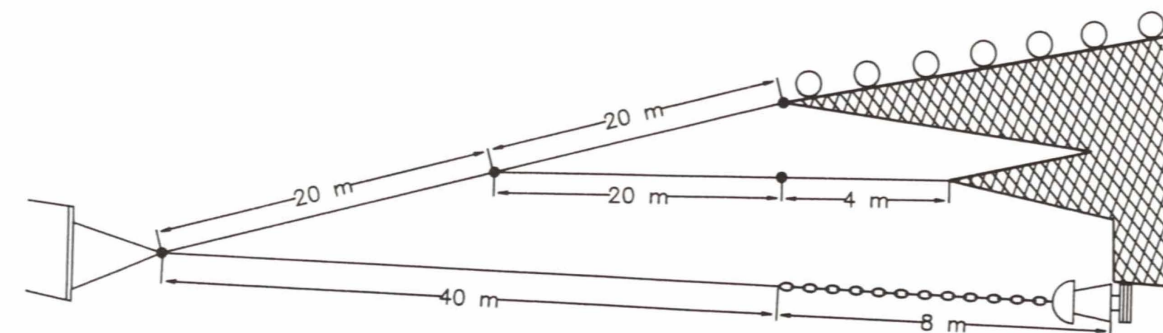
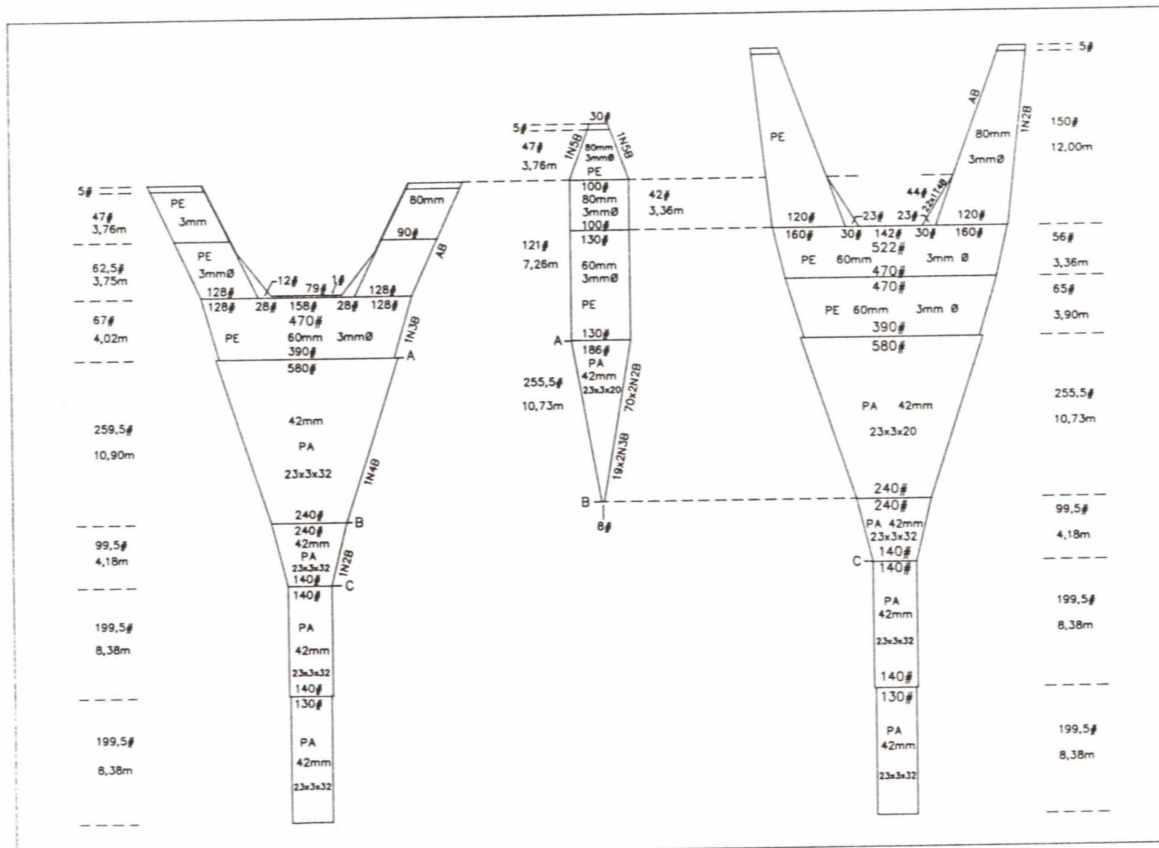
der middelvekten for hver lengdegruppe blir beregnet fra individuelle lengde/vekt data på fisken, målt under toktet. Dersom en artskategori utgjør to arter som skal splittes ved hjelp av trålfangsten, blir uttrykket tilsvarende, men med totalsummen av kvadrert lengde for begge arter under brøken.

Tabell 1. Innstillinger og kalibreringsverdier for EK-500, Olderfjord 1.5.92.

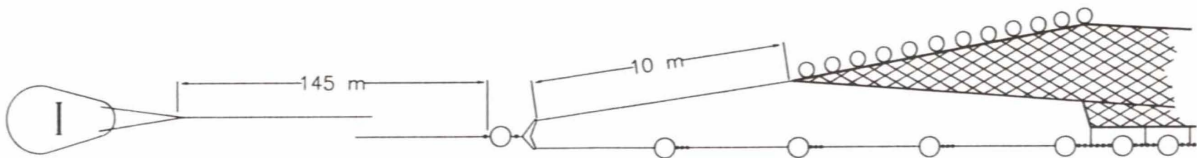
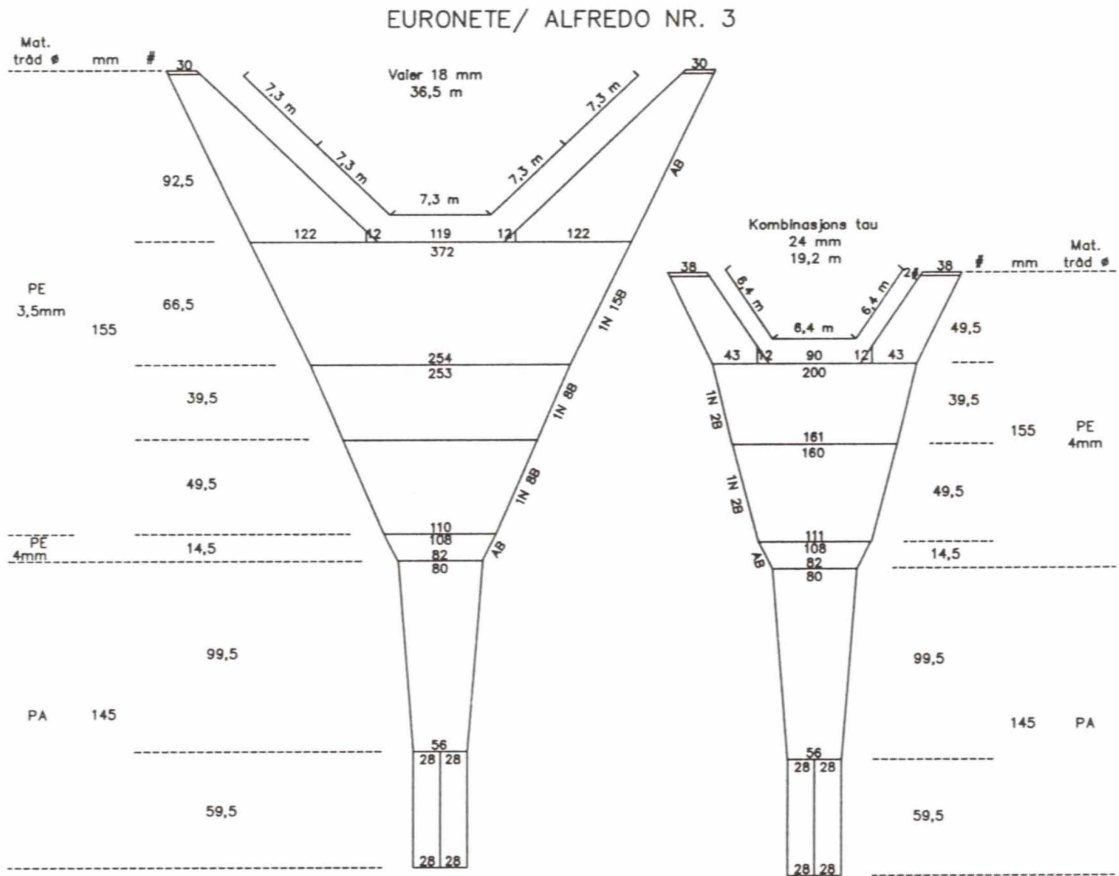
PARAMETER/FUNKSJON	INNSTILLINGER	BEMERKNING
	VERDI	
Frekvens	38 kHz	
Absorpsjonskoeffisient	10 dB/km	$\alpha$ , 38 kHz, sjøvann
Tids Variert Forsterkning	20logR	(TVG - faktor)
Område (mest brukt)	0 - 500 m	Ref. svingerdyp 3,5 m
Puls lengde	Medium	1,0 msec
Båndbredde	Wide	3,3 kHz (filter)
Sendereffekt	2000 W	Maksimum
Vinkel Sensitivitet	21,9	fase/reell vinkel
2 Way Beam Angle (10log( $\psi$ ))	-20,0 dB (for svinger ES38-29)	Effektiv, ideell strålevinkel
PARAMETER	KALIBRERINGER	BEMERKNING
	INNSTILLING	
Sv - transducer gain	26,6 dB	for integrering
TS - transducer gain	26,8 dB	for TS måling
3 dB Beam width	7,2°	for TS måling
Alongship offset	0,0°	for TS måling
Athwardship offset	0,0°	for TS målinger

**Referanser**

- Dalen, J. & Nakken, O. 1983. On the application of the echo integration method. *ICES C.M.* 1983/B:19. 30 pp.
- Foote, K.G. 1987. Fish target strengths for use in echo integrator surveys. *J. Acoust. Soc. Am.* 82(3): 981-987.
- Forbes, S.T. & Nakken, O. 1972. Manual for methods for fisheries survey and appraisal. Part 2. The use of acoustic instruments for fish detection and abundance estimation. *FAO Man. Fish. Sci.* (5), 138 pp.
- Johannesson, K.A. & Mitson, R.B. 1983. Fisheries acoustics: a practical manual for biomass estimation. *FAO Fish. Tech. Pap.* 240. 249 pp.
- MacLennan, D.N. & Simmonds, E.J. 1991. *Fisheries Acoustics*. Chapman Hall, London, England. 336 pp.
- Urick, R.J. 1975. *Principles of underwater sound*. 2. ed., Mc. Graw-Hill Book Company, New York, 1975. 384 pp.

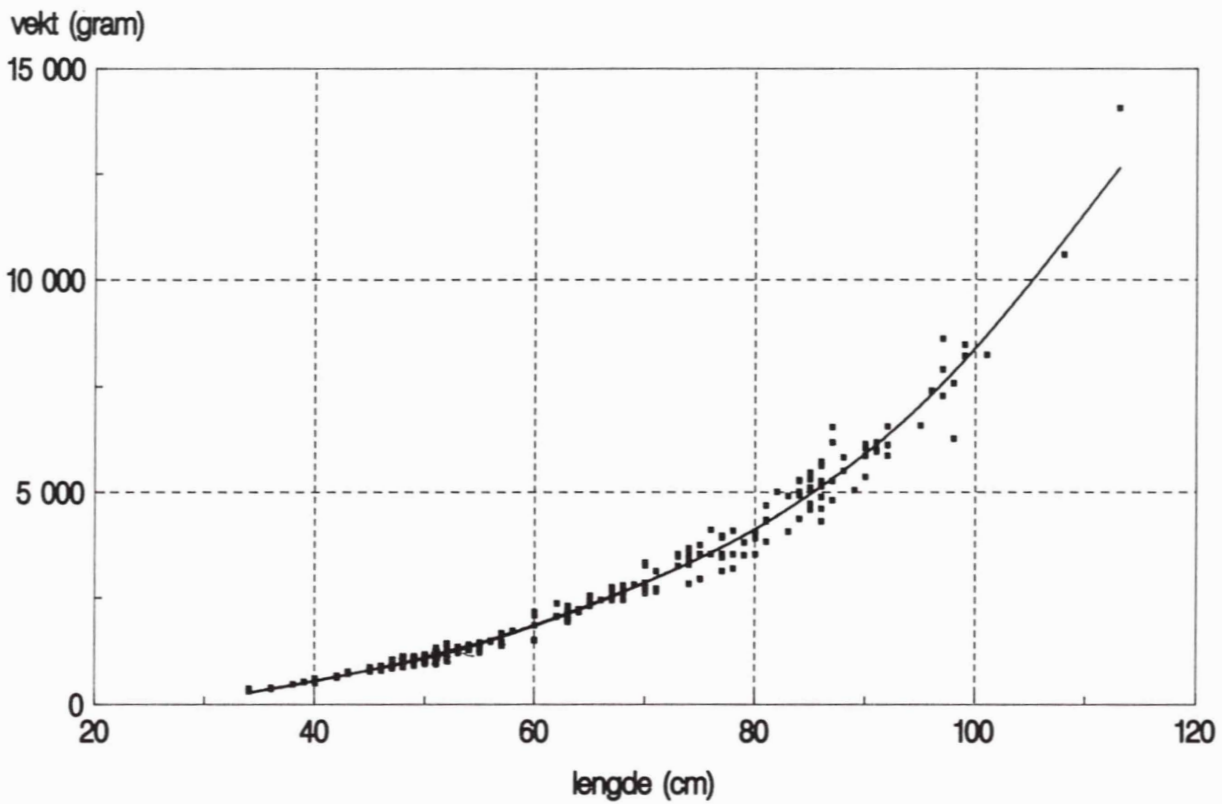


Figur 1. Standard prøvetakingstrål, Campelen 1800, og spesifikasjon av rigging.

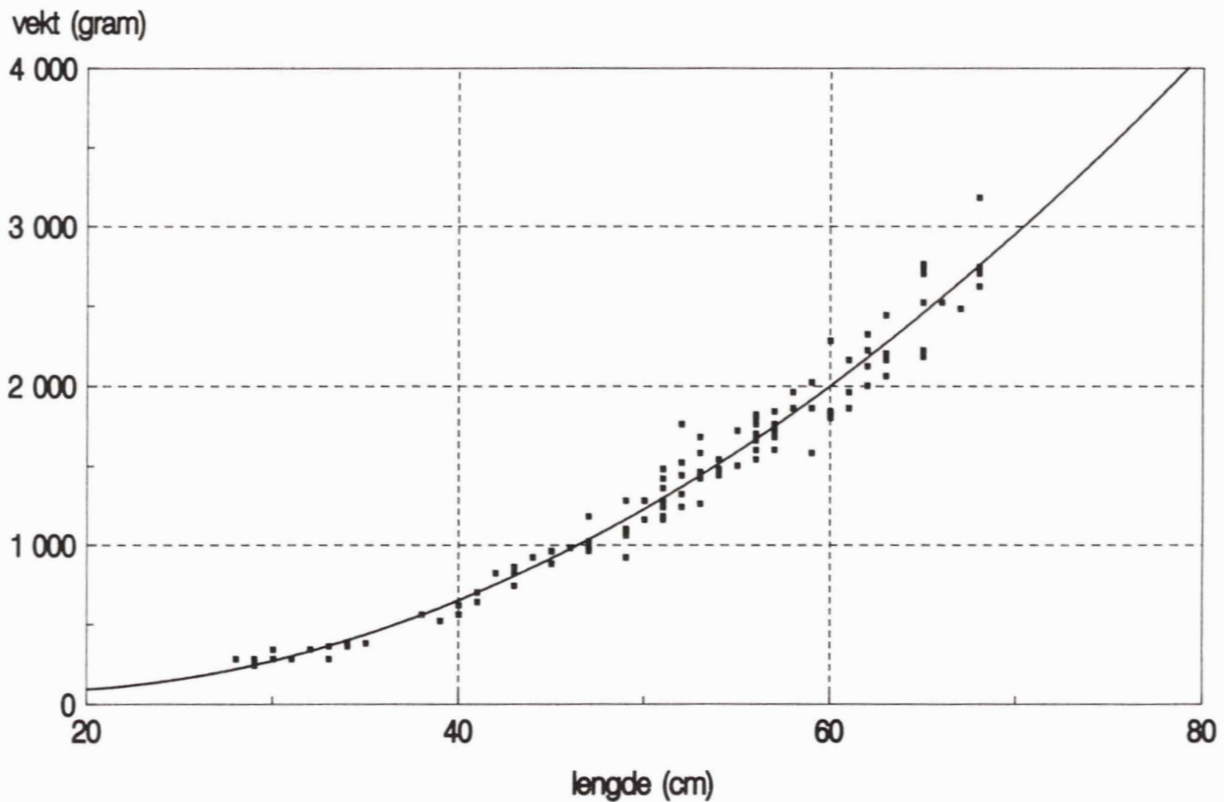


Figur 2. Standard fisketrål, Alfredo nr. 3, og spesifikasjon av rigging.

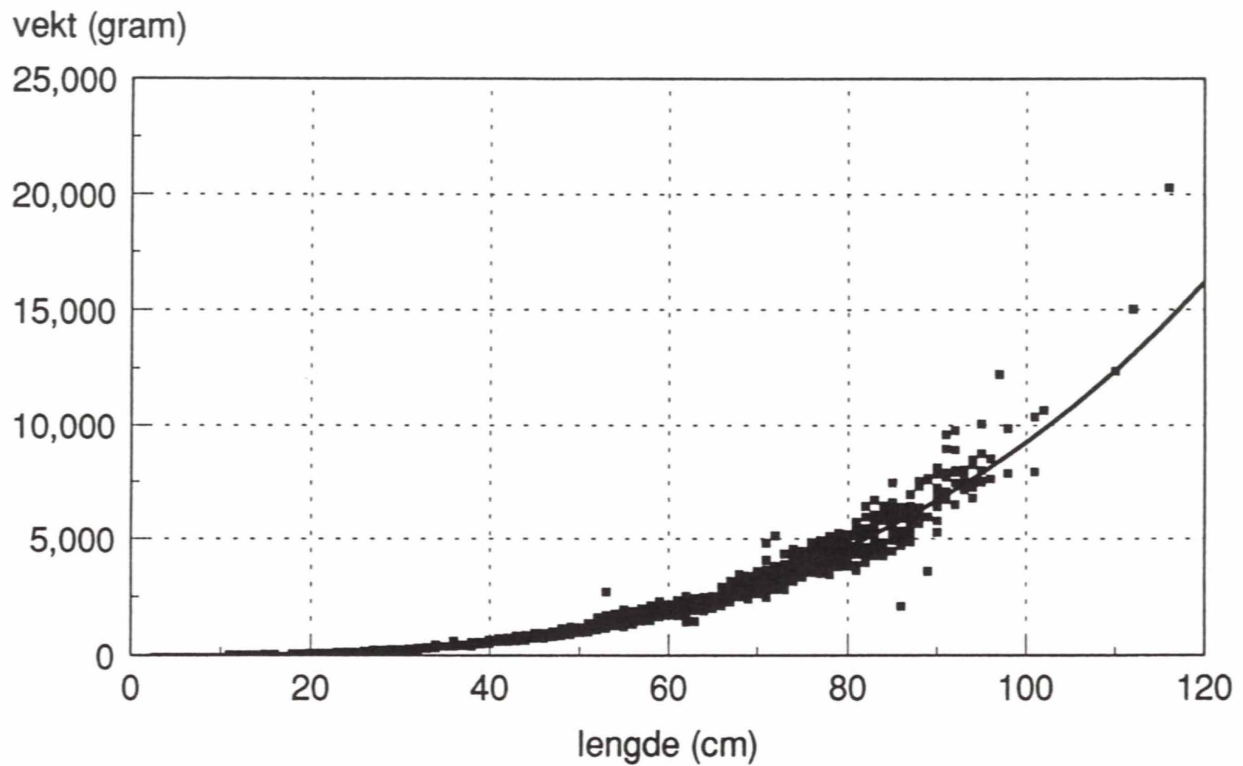
## APPENDIX C



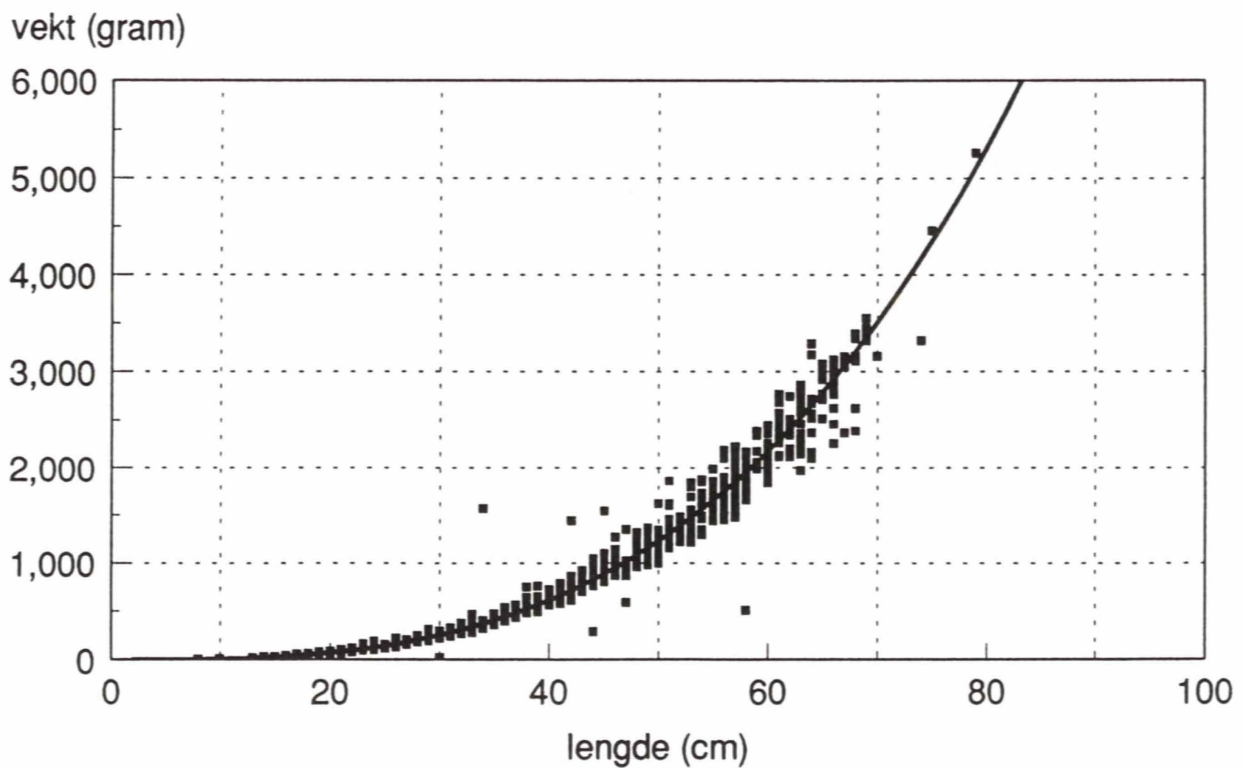
Figur 1. Lengde og vekt for torsk tatt med trål ombord på "Anny Kræmer".



Figur 2. Lengde og vekt for hyse tatt med trål ombord på "Anny Kræmer".

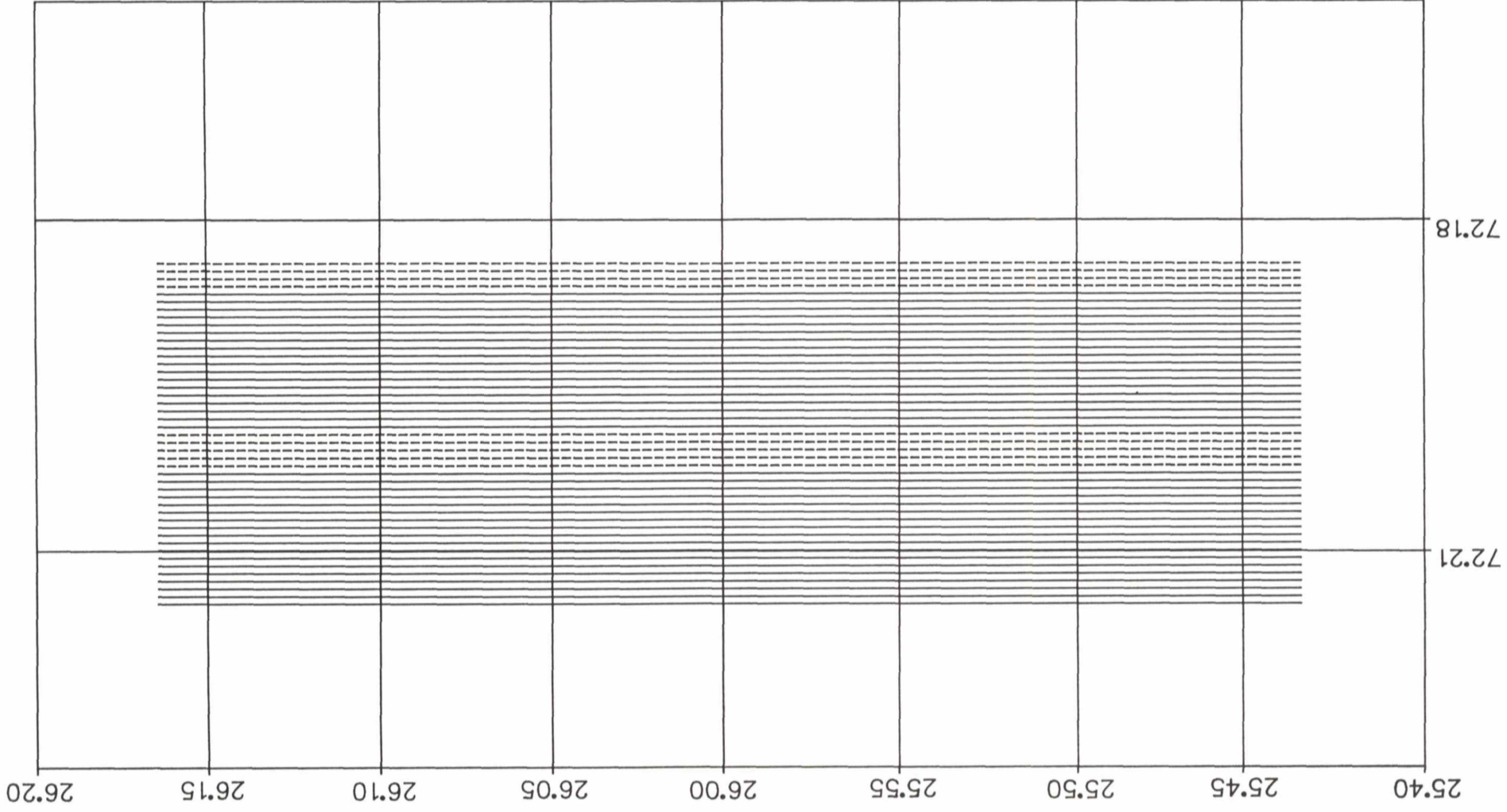


Figur 3. Lengde/vekt relasjon for torsk i sør-vestre del av Barentshavet, 1992. Kilde: Bunnfiskavd., Havforskningsinstituttet. Tilpasning:  $w = 6,30 E - 3 L^{3,083}$ , vekt i gram, lengde i cm.



Figur 4. Lengde/vekt relasjon for hyse i sør-vestre del av Barentshavet, 1992. Kilde: Bunnfiskavd., Havforskningsinstituttet. Tilpasning:  $w = 6,26 E - 3 L^{3,115}$ , vekt i gram, lengde i cm.





Figur 1. "Akademic Shatskiy"'s kurslinjer under forsøksperioden. Stiplede linjer er kurser som ikke ble skutt på grunn av kontraktstidens utløp.

Tabell 1. Gjennomsnittsvekt av torsk i trålfangstene på "Anny Kræmer" gruppert etter tid i forhold til skyting og avstand fra skytefeltet. N = antall trålhal, nm = nautiske mil (avstand fra skytefelt).

	I skytefelt			1-3 nm			7-9 nm			16-18 nm		
	N	Fangst (kg/hal)	Standard feil	N	Fangst (kg/hal)	Standard feil	N	Fangst (kg/hal)	Standard feil	N	Fangst (kg/hal)	Standard feil
Før skyting	12	556	56	16	535	75	16	460	83	16	417	67
Under skyting	15	173	19	16	271	42	17	252	20	17	221	23
Etter skyting	12	202	14	16	255	39	16	249	29	16	200	22

Tabell 2. Gjennomsnittsvekt av hyse i trålfangstene på "Anny Kræmer" gruppert etter tid i forhold til skyting og avstand fra skytefeltet. N = antall trålhal, nm = nautiske mil (avstand fra skytefelt).

	I skytefelt			1-3 nm			7-9 nm			16-18 nm		
	N	Fangst (kg/hal)	Standard feil	N	Fangst (kg/hal)	Standard feil	N	Fangst (kg/hal)	Standard feil	N	Fangst (kg/hal)	Standard feil
Før skyting	12	35.3	6.3	16	25.4	4.4	16	20.4	4.1	16	18.7	7.2
Under skyting	15	11.2	1.5	16	11.1	1.2	17	9.0	1.4	17	5.5	1.2
Etter skyting	12	10.7	1.8	16	7.2	1.0	16	5.9	1.2	16	7.8	1.6

Tabell 3. Gjennomsnittlig antall små (< 60 cm) og store (≥ 60 cm) torsk i trålfangstene på "Anny Kræmer" før, under og etter skyting. N = antall trålhå, nm = nautiske mil (avstand fra skytefelt).

		I skytefelt			1-3 nm			7-9 nm			16-18 nm		
		N	Antall pr. hal	Standard feil	N	Antall pr. hal	Standard feil	N	Antall pr. hal	Standard feil	N	Antall pr. hal	Standard feil
Små	Før skyting	12	76.8	7.7	16	77.5	12.8	16	62.7	9.3	16	60.3	12.9
	Under skyting	15	63.7	7.8	16	84.5	14.3	17	57.7	7.7	17	33.3	2.9
	Etter skyting	12	58.2	7.5	16	54.6	8.8	16	51.2	7.4	16	31.0	5.7
Store	Før skyting	12	110.4	11.4	16	96.9	9.1	16	75.3	7.8	16	80.6	10.1
	Under skyting	15	27.5	3.2	16	47.3	7.4	17	47.8	4.0	17	45.6	5.4
	Etter skyting	12	36.4	2.1	16	45.7	4.6	16	49.4	5.5	16	41.7	4.8

Tabell 4. Gjennomsnittlig antall små (< 60 cm) og store (≥ 60 cm) hyse i trålfangstene på "Anny Kræmer" før, under og etter skyting. N = antall trålhå, nm = nautiske mil (avstand fra skytefelt).

		I skytefelt			1-3 nm			7-9 nm			16-18 nm		
		N	Antall pr. hal	Standard feil	N	Antall pr. hal	Standard feil	N	Antall pr. hal	Standard feil	N	Antall pr. hal	Standard feil
Små	Før skyting	12	16.4	2.2	16	11.7	1.5	16	9.1	2.0	16	8.0	3.1
	Under skyting	15	7.1	0.9	16	6.5	1.0	17	5.1	1.0	17	2.9	0.4
	Etter skyting	12	5.2	0.9	16	4.4	0.4	16	3.7	0.6	16	3.3	1.0
Store	Før skyting	12	6.3	1.8	16	5.2	1.3	16	3.4	0.9	16	3.8	1.6
	Under skyting	15	1.3	0.3	16	1.7	0.3	17	1.5	0.5	17	0.9	0.4
	Etter skyting	12	2.2	0.5	16	1.1	0.3	16	0.9	0.4	16	1.4	0.4

Tabell 5. Gjennomsnittlig fangst av torsk (kg/stubb) på linebåten "Loran" gruppert etter tid i forhold til skyting og avstand fra skytefeltet. N = antall stubber, nm = nautiske mil (avstand fra skytefelt).

	I skytefelt			1-3 nm			7-9 nm			16-18 nm		
	N	Fangst (kg/stubb)	Standard feil	N	Fangst (kg/stubb)	Standard feil	N	Fangst (kg/stubb)	Standard feil	N	Fangst (kg/stubb)	Standard feil
Før skyting	14	793	44	14	784	39	14	954	55	14	882	60
Under skyting	10	437	38	10	647	59	10	700	49	10	926	73
Etter skyting	9	580	49	9	802	35	8	863	65	9	712	67

Tabell 6. Gjennomsnittlig fangst av hyse (kg/stubb) på linebåten "Loran" gruppert etter tid i forhold til skyting og avstand fra skytefeltet. N = antall stubber, nm = nautiske mil (avstand fra skytefelt).

	I skytefelt			1-3 nm			7-9 nm			16-18 nm		
	N	Fangst (kg/stubb)	Standard feil	N	Fangst (kg/stubb)	Standard feil	N	Fangst (kg/stubb)	Standard feil	N	Fangst (kg/stubb)	Standard feil
Før skyting	14	306	51	14	247	38	14	215	21	14	173	27
Under skyting	10	100	4	10	124	10	10	121	14	10	85	6
Etter skyting	9	84	6	9	95	13	8	109	13	9	104	22

Tabell 7. Gjennomsnittlig antall små (< 60 cm) og store (≥ 60 cm) torsk i linefangstene på "Loran" før, under og etter skyting. N = antall stubber, nm = nautiske mil (avstand fra skytefelt).

	I skytefelt		1-3 nm		7-9 nm		16-18 nm			
	N	Antall pr. stubb Standard feil	N	Antall pr. stubb Standard feil	N	Antall pr. stubb Standard feil	N	Antall pr. stubb Standard feil		
Små	Før skyting	14	88	8	14	83	9	14	51	7
	Under skyting	10	145	10	139	10	113	10	97	6
	Etter skyting	9	147	12	144	8	134	9	73	10
Store	Før skyting	14	174	11	175	14	214	13	196	13
	Under skyting	10	75	7	128	10	142	11	202	18
	Etter skyting	9	112	13	164	9	184	15	159	17

Tabell 8. Gjennomsnittlig antall små (< 60 cm) og store (≥ 60 cm) hyse i linefangstene på "Loran" før, under og etter skyting. N = antall stubber, nm = nautiske mil (avstand fra skytefelt).

	I skytefelt		1-3 nm		7-9 nm		16-18 nm			
	N	Antall pr. stubb Standard feil	N	Antall pr. stubb Standard feil	N	Antall pr. stubb Standard feil	N	Antall pr. stubb Standard feil		
Små	Før skyting	14	104	11	14	90	13	14	65	13
	Under skyting	10	81	5	10	87	10	10	58	11
	Etter skyting	9	59	5	9	69	13	9	46	7
Store	Før skyting	14	84	18	14	53	7	14	44	9
	Under skyting	10	13	1	10	19	6	10	14	4
	Etter skyting	9	14	1	9	17	4	9	25	9

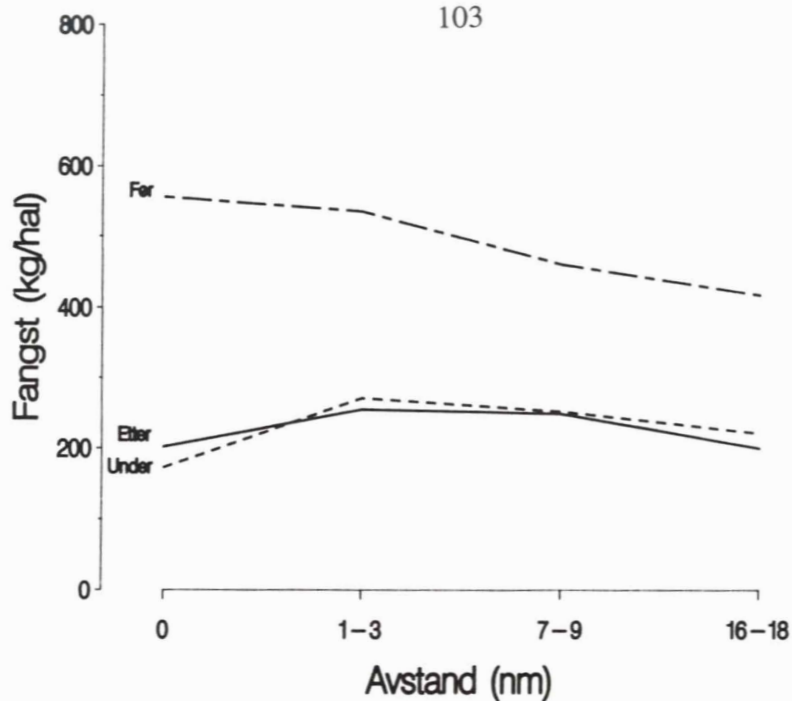
## FANGSTDATA - STATISTIKK

## Trål

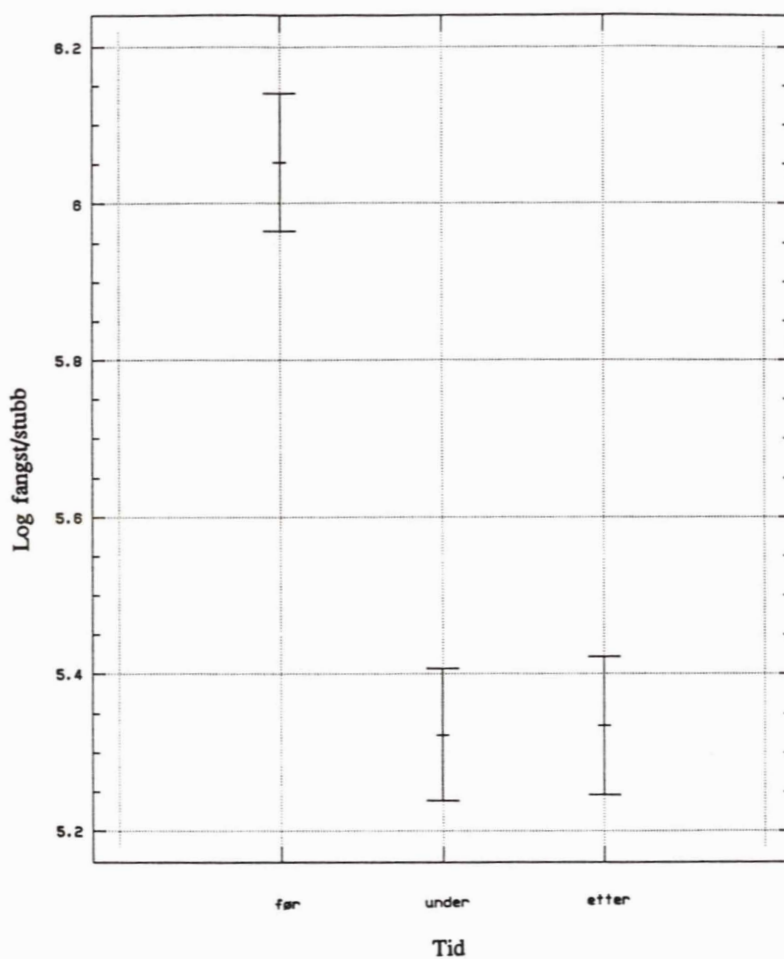
Tabell 1 viser de viktigste statistiske parametere for torsk hvor y (se modell (1) i "Materialer og metoder") er logaritmen til vekt pr. hal. Samspillseffektene som baserer seg på cellegjennomsnittet, er ikke signifikant ( $p = 0,12$ ). Dette indikerer at effekten av den seismiske aktiviteten ikke er avhengig av avstanden innenfor den geografiske utstrekning vi arbeidet under. Figur 1 viser cellegjennomsnittene. Siden samspillseffektene ikke er signifikante, kan en betrakte hovedeffektene. Avstandseffekten er ikke signifikant ( $p = 0,19$ ). Selv om det ikke er av interesse for denne undersøkelsen, indikerer dette at tettheten av torsk var ganske jevn over hele undersøkelsesområdet. Tidseffekten var imidlertid høyst signifikant ( $p < 0,001$ ). Figur 3 viser beregnede gjennomsnittsvæktene innenfor hele området sett under ett sammen med 95% konfidensintervall for de tre tidsperiodene. Fangstraten falt signifikant under skyting, og den syntes ikke å øke i de fem dagene forsøkene pågikk etter at skytingen opphørte.

Tabell 1. Variansanalyse av totalvekten av torsk i trålfangstene. Vektene er gitt i logaritmisk skala.

Variasjonskilde	Kvadratsum	Frihetsgrader	Gj.snittlig kvadratsum	F	Signifikansnivå
Hovedeffekter					
Tid	20.99	2	10.49	44.67	0.000
Avstand	1.13	3	0.37	1.60	0.190
Samspill					
Tid*Avstand	2.42	6	0.40	1.72	0.118
Rest	40.64	173	0.23		
Total (korrigert)	64.43	184			



Figur 1. Gjennomsnittlige fangstrater for torsk i trål gruppert etter tid i forhold til skyting og avstand fra skytefeltet.



Figur 3. Gjennomsnittlige fangster for torsk med konfidensintervall før, under og etter skyting.

Modellens (1) egnethet for torskedata ble vurdert ved å bruke standard diagnostisk kontroll av residualene (se f.eks. Box et al. 1978). Ingen mangel på tilpasning ble funnet med unntak av at når residualene ble behandlet som en tidsserie (f.eks. som en funksjon av rekkefølgen de ble laget), ble det funnet en svak autokorrelasjon ( $r_1 = 0,2$ ). Men siden halene i ulike distanser ble tatt i forskjellig rekkefølge gjennom forsøksperioden, vil dette ikke ha noen betydelig effekt på de kalkulererte sannsynlighetsnivåene i modellen.

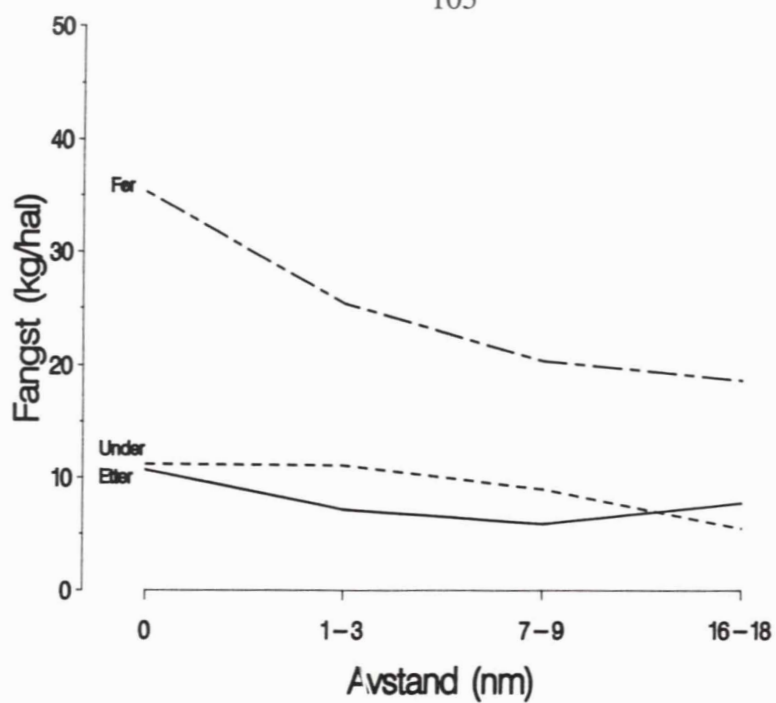
Som en siste kontroll av betydningen av fangstreduksjonen etter at skytingen begynte, ble en tidsseriemodell brukt til å analysere dataene (Box & Jenkins 1976). En intervensjonsanalyse (Box & Tiao 1975) slo fast at det var en 50% beregnet reduksjon i fangst etter at skytingen startet.

Resultatene fra de statistiske analysene av fangstrater for hyse i trål lignet mye på de for torsk (Tabell 2). Samspillseffektene var ikke signifikante ( $p = 0,56$ ). Hovedeffekten for avstand var imidlertid signifikant ( $p < 0,001$ ), noe som indikerer at tettheten av hyse varierte over forsøksområdet. Som det går fram av Figur 2, var tettheten av hyse størst i sentrum, minkende ut mot periferien av forsøksområdet. Tidseffekten var også høyst signifikant ( $p < 0,001$ ). Gjennomsnittlige fangstrater for hele området sett under ett er vist i Figur 4. Som for torsk falt fangstratene for hyse i trål under skyting og syntes ikke å øke igjen så lenge forsøkene pågikk.

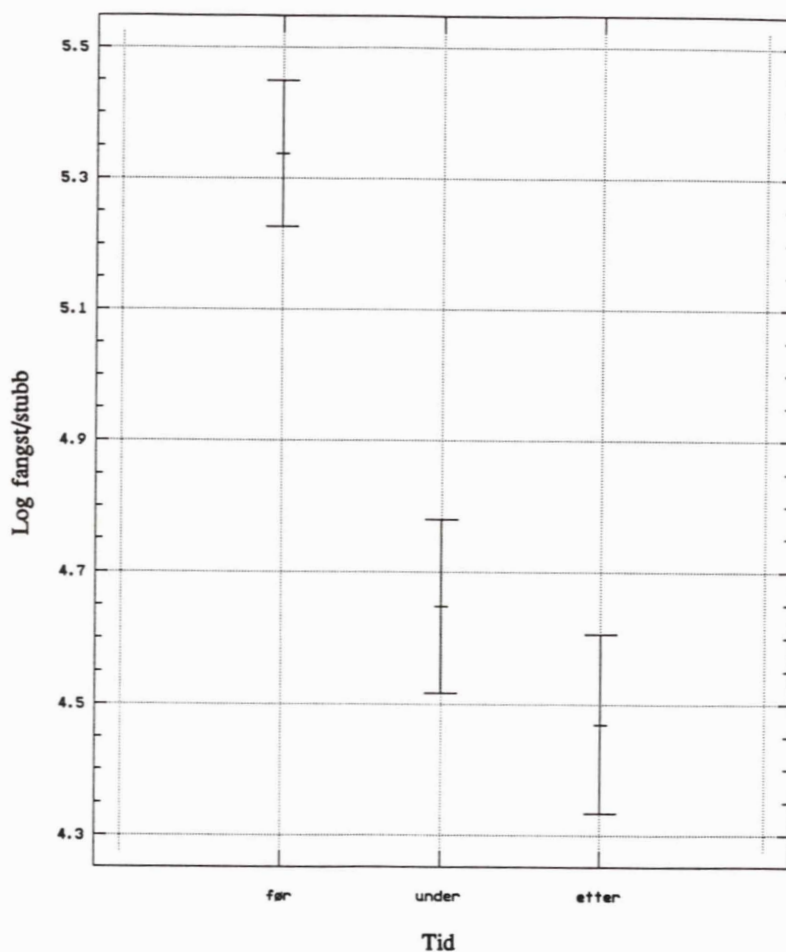
Tabell 2. Variansanalyse av totalvekten av hyse i trålfangstene. Vektene er gitt i logaritmisk skala.

Variasjonskilde	Kvadratsum	Frihetsgrader	Gj.snittlig kvadratsum	F	Signifikansnivå
Hovedeffekter					
Tid	28.14	2	14.07	22.67	0.000
Avstand	17.29	3	5.76	9.28	0.000
Samspill					
Tid*Avstand	3.03	6	0.50	0.81	0.559
Rest	107.36	173	0.62		
Total (korrigert)	154.73	184			





Figur 2. Gjennomsnittlige fangstrater for hyse i trål gruppert etter tid i forhold til skyting og avstand fra skytefeltet.



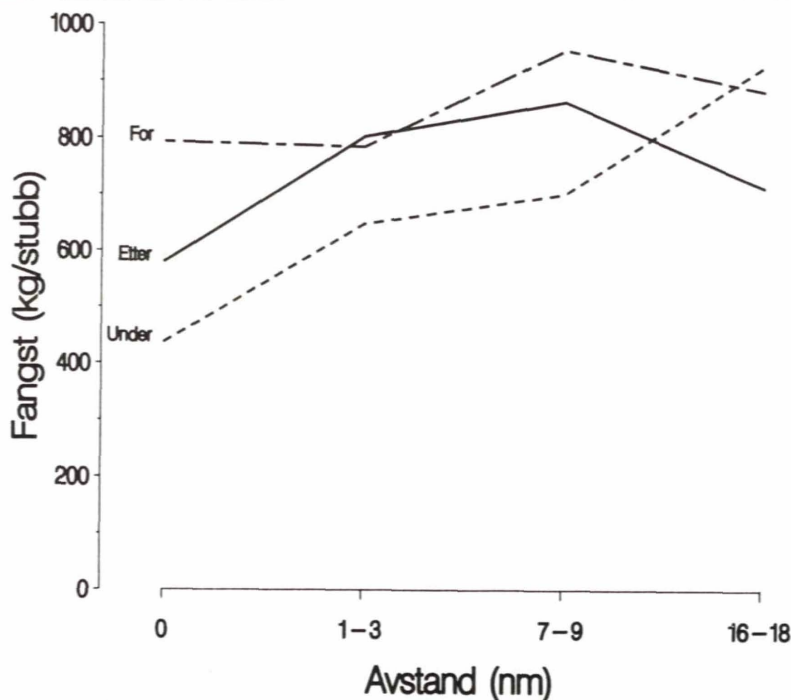
Figur 4. Gjennomsnittlige fangstrater for hyse med konfidensintervall før, under og etter skyting.

## Line

Tabell 3 viser de statistiske resultatene for torsk tatt på line. Samspillseffektene mellom tid og avstand er signifikante ( $p < 0,001$ ) og dermed er hovedeffektene som er gitt av modellen uten mening. Figur 5 viser cellegjennomsnittene. Det ser ut til at fangsten gikk ned i sentrumsområdet, men at effekten var mindre i ytterkanten av området. Siden samspillseffektene var signifikante, har det ingen mening å framstille de gjennomsnittlige fangstratene for torsk tatt på line i et tilsvarende diagram som Figur 2 og 4.

Tabell 3. Variansanalyse av totalvekten av torsk i linefangstene. Vektene er gitt i logaritmisk skala.

Variasjonskilde	Kvadratsum	Frihetsgrader	Gj.snittlig kvadratsum	F	Signifikansnivå
Hovedeffekter					
Tid	0.85	2	0.42	11.68	0.000
Avstand	1.29	3	0.43	11.71	0.000
Samspill					
Tid*Avstand	0.98	6	0.16	4.46	0.001
Rest	2.02	55	0.03		
Total (korrigert)	5.01	66			

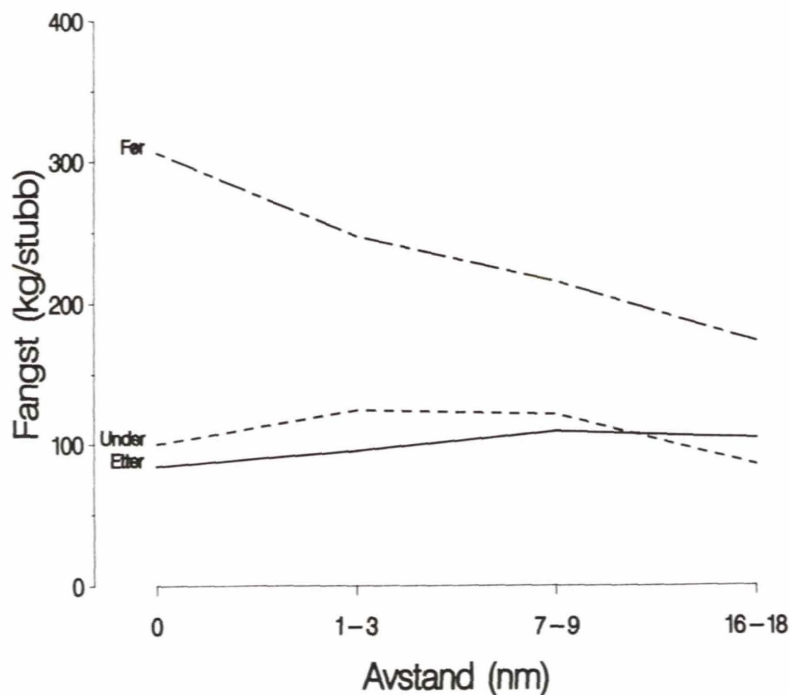


Figur 5. Gjennomsnittlige fangstrater for torsk på line gruppert etter tid i forhold til skyting og avstand fra skytefeltet.

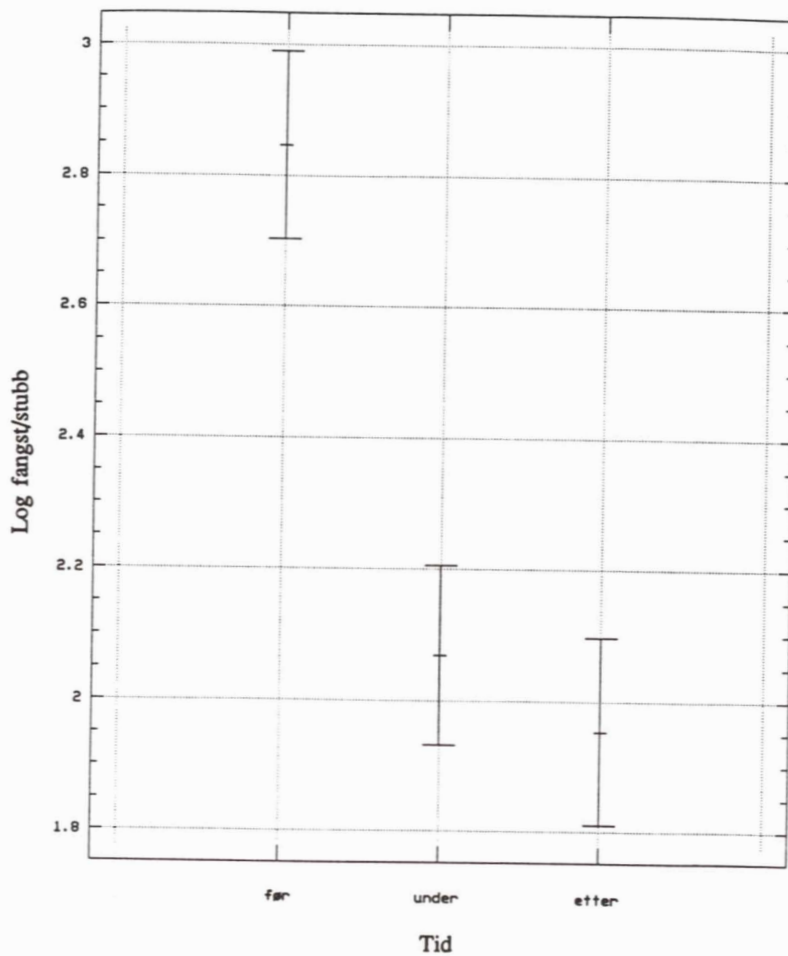
For hyse i linefangstene var samspillseffekten og avstandseffekten ikke signifikant (Tabell 4). Det var derimot tidseffekten ( $p < 0,001$ ). Det vil si at en fikk en signifikant reduksjon i fangstene av hyse under skyting som syntes å være lik over hele forsøksområdet. Nedgangen i fangst lå på ca. 50%. Figur 6 viser cellegjennomsnittene, og Figur 7 viser gjennomsnittsfangstene i området for de tre tidsperiodene med 95% konfidensintervall.

Tabell 4. Variansanalyse av totalvekten av hyse i linefangstene. Vektene er gitt i logaritmisk skala.

Variasjonskilde	Kvadratsum	Frihetsgrader	Gj.snittlig kvadratsum	F	Signifikansnivå
Hovedeffekter					
Tid	10.10	2	5.05	29.28	0.000
Avstand	0.75	3	0.25	1.44	0.238
Samspill					
Tid*Avstand	0.80	6	0.13	0.77	0.592
Rest	9.49	55	0.17		
Total (korrigert)	21.42	66			



Figur 6. Gjennomsnittlige fangstrater for hyse på line gruppert etter tid i forhold til skyting og avstand fra skytefeltet.



Figur 7. Gjennomsnittlige fangstrater for hyse med konfidensintervall før, under og etter skyting.

### Gjennomsnittlige individvekter

Den gjennomsnittlige individvekt av torsk og hyse tatt med trål gikk ned (torsk:  $p < 0,001$ , hyse:  $p = 0,06$ ) da skytingen startet (Tabell 5 og 6). For torsk var denne reduksjonen sterkest innenfor sentrumsområdet (Fig. 4.2.11), gradvis minkende mot periferien av forsøksområdet. Ved den ytterste posisjonen for tråling (16 - 18 nm fra skyteområdet) var det ingen signifikant endring i individvekten av torsk. Det syntes som om vekten begynte å øke noe igjen i slutten av forsøksperioden etter at skytingen hadde opphørt, men denne økningen var ikke signifikant.

Endringene i individvekt avhengig av avstand fra skytefelt og tid i forhold til skyting var ikke like klare for hyse (Fig. 4.2.12).

Tabell 5. Variansanalyse for individvekten (kg) av torsk i trålfangstene.

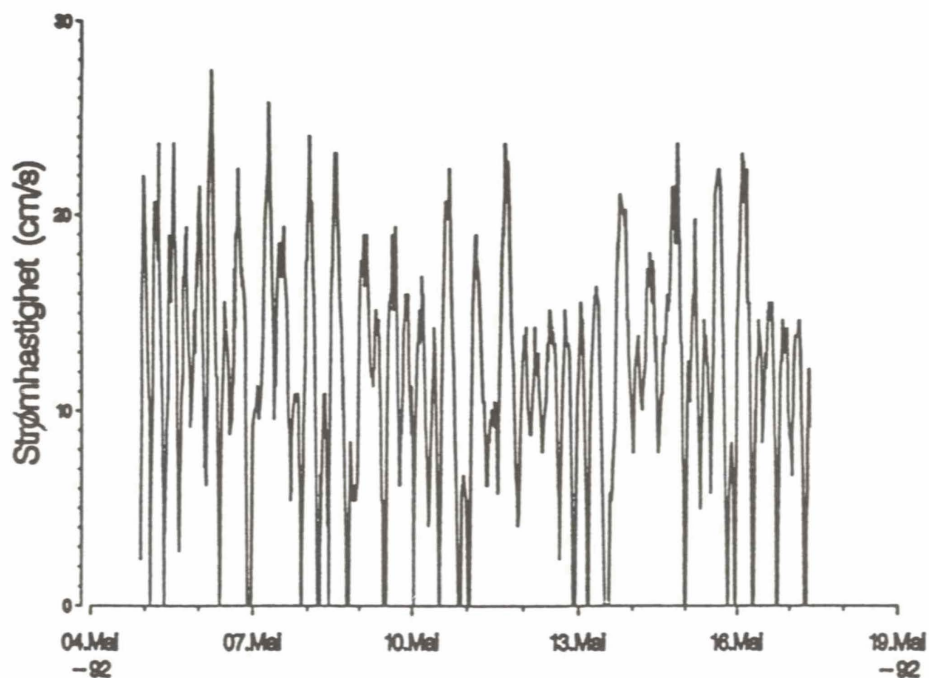
Variasjonskilde	Kvadratsum	Frihetsgrader	Gj.snittlig kvadratsum	F	Signifikansnivå
Hovedeffekter					
Tid	6.42	2	3.21	16.11	0.000
Avstand	7.25	3	2.41	12.13	0.000
Samspill					
Tid*Avstand	3.78	6	0.63	3.16	0.005
Rest	34.46	173	0.19		
Total (korrigert)	51.93	184			

Tabell 6. Variansanalyse for individvekt (kg) av hyse i trålfangstene.

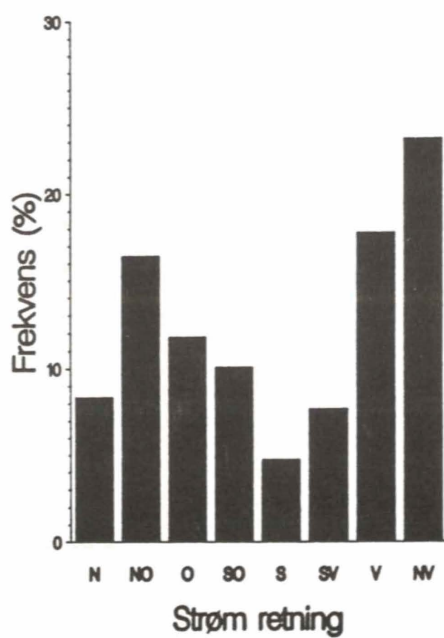
Variasjonskilde	Kvadratsum	Frihetsgrader	Gj.snittlig kvadratsum	F	Signifikansnivå
Hovedeffekter					
Tid	1.01	2	0.51	2.87	0.060
Avstand	0.27	3	0.09	0.31	0.675
Samspill					
Tid*Avstand	0.69	6	0.11	0.64	0.699
Rest	29.88	169	0.18		
Total (korrigert)	31.85	180			

## Referanser

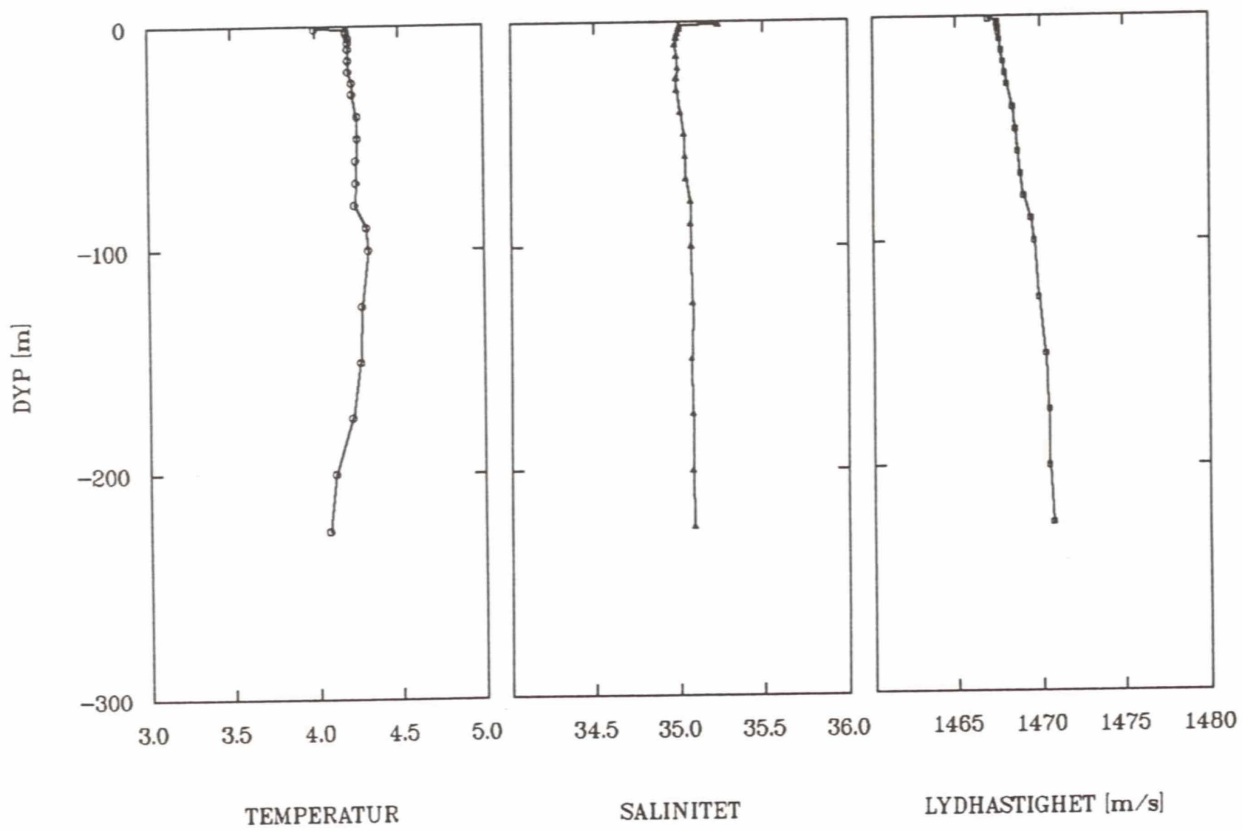
- Box, G.E.P., Hunter, W.G. and Hunter, J.S. 1978. Statistics for Experimenters. Wiley, New York, 653pp.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. 1976. Time Series Analysis: forecasting and control. Holden-Day, Oakland, CA, 575pp.
- Box, G.E.P. and Tiao, G.C. 1975. Intervention analysis with applications to economic and environmental problems. J. Amer. Stat. Ass., 70: 70-79.



Figur 1. Strømhastighet målt på Nordkappbanken gjennom forsøksperioden.



Figur 2. Frekvens av strøm-retning under forsøkene på Nordkappbanken.



Figur 3.

En typisk vertikalprofil av temperatur, salinitet og lydshastighet, 0-250 m i senter av området.