

Effekter av seismiske undersøkelser på fiskefordeling og fangstrater for garn og line i Vesterålen sommeren 2009

*Effects of seismic surveys on fish distribution and catch rates
of gillnets and longlines in Vesterålen in summer 2009*

Svein Løkkeborg, Egil Ona, Aud Vold, Hector Pena, Are Salthaug, Bjørn Totland, Jan Tore Øvredal,
John Dalen og Nils Olav Handegard



Effekter av seismiske undersøkelser på fiskefordeling og fangstrater for garn og line i Vesterålen sommeren 2009

av

Svein Løkkeborg, Egil Ona, Aud Vold, Hector Pena, Are Salthaug,
Bjørn Totland, Jan Tore Øvredal, John Dalen og Nils Olav Handegard



Det seismiske fartøyet "Geo Pacific"

Bergen, 22. februar 2010

Forord

Forvaltningsplanen "Helhetlig forvaltning av det marine miljøet i Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten" ble ferdig utarbeidet i 2006. Da Stortinget behandlet forvaltningsplanen, ble det vedtatt å styrke kunnskapene om mulige petroleumsressurser i Nordland VII og Troms II. Oljedirektoratet har derfor på oppdrag fra Stortinget samlet inn seismiske data i dette havområdet over tre sommersesonger fra 2007. Denne geologiske kartleggingen er en del av grunnlaget når forvaltningsplanen revideres og på nytt behandles av Stortinget i 2010.

I forbindelse med Oljedirektoratets seismikkinnsamling utenfor Vesterålen sommeren 2009, ønsket myndighetene at det ble utført et forskningsprosjekt for å skaffe til veie mer kunnskap om hvordan seismiske undersøkelser med luftkanoner påvirker fiskefordelingene og de kommersielle fiskeriene. Havforskningsinstituttet ble gitt oppdraget med planlegging og gjennomføring av forskningsprosjektet som skulle knyttes til den seismiske datainnsamlingen som Oljedirektoratet var ansvarlig for. Dette ga de geografiske og tidsmessige rammene for utformingen av undersøkelsen. Prosjektet ble finansiert av Oljedirektoratet.

En referansegruppe bestående av representanter for Norges Fiskarlag, Norges Kystfiskarlag og lokale politikere ble opprettet av Oljedirektoratet. Gruppas arbeid skulle administreres av Havforsknings-instituttet. Referansegruppas oppgave var å gi kommentarer, anbefalinger, praktiske råd og andre innspill til problemstillinger og forsøksoppsett knyttet til planleggingen og gjennomføringen av prosjektet innen de økonomiske rammer som var gitt av Oljedirektoratet.

Prosjektets målsetting var å undersøke om ulike kommersielle fiskearter blir påvirket av lyd fra luftkanoner, ved at de eventuelt trekker ut av området eller på annen måte får endret atferd som har negativ innvirkning på fiskeriene, samt dokumentere hvor lenge en eventuell fangstreduksjon varer etter at seismikkinnsamlingen var avsluttet. Videre skulle det undersøkes om seismikkaktiviteten påvirket fiskens beiteatferd (analyse av mageprøver) og om fordelingen av fiskelarver og dyreplankton endret seg i området.

PROSJEKTRAPPORT



Nordnesgaten 50, Postboks 1870 Nordnes, 5817 BERGEN
Tlf. 55 23 85 00, Faks 55 23 85 31, www.imr.no

Tromsø
9294 TROMSØ

Flødevigen
4817 HIS

Austevoll
5392 STOREBØ

Matre
5984 MATREDAL

Rapport:
Fisken og Havet

Nr. - År
2-2010

Tittel (norsk/engelsk):

Effekter av seismiske undersøkelser på fiskefordeling og fangstrater for garn og line i Vesterålen sommeren 2009

Effects of seismic surveys on fish distribution and catch rates of gillnets and longlines in Vesterålen in summer 2009

Forfatter(e):

Svein Løkkeborg, Egil Ona, Aud Vold, Hector Pena, Are Salthaug, Bjørn Totland, Jan Tore Øvredal, John Dalen og Nils Olav Handegard

Distribusjon:
Åpen

Prosjektnr.:
12134

Oppdragsgiver(e):
Oljedirektoratet

Oppdragsgivers referanse:

Dato:
22. februar 2010

Program:
Olje - Fisk

Faggruppe:
Fangst

Antall sider totalt:
74

Sammendrag (norsk):

I forbindelse med Oljedirektoratets seismiske 3D-innsamling utenfor Vesterålen sommeren 2009, ble det utført et prosjekt for å undersøke i hvilken grad kommersielle fiskearter ble påvirket. Fire fiskebåter var leid inn for fiske med garn og line etter blåkkeite, uer, sei og hyse i periodene før (12 dager), under (38 dager) og etter (25 dager) den seismiske innsamlingen. Forskningsfartøyet "Håkon Mosby" utførte en akustisk kartlegging av fisk og plankton i området.

Garnfangstene av blåkkeite og uer var høyere under og etter seismikkinnsamlingen enn i perioden før den startet. Linefangstene av blåkkeite viste en nedgang under den seismiske innsamlingen, men økte igjen i løpet av perioden etter innsamlingen. Resultatene for sei indikerte en nedgang (ikke statistisk signifikant) i garnfangstene i periodene under og etter den seismiske undersøkelsen. Med støtte i de akustiske estimatene, tolkes dette som en indikasjon på at seien delvis trakk ut av området. Linefangstene av hyse viste ikke statistisk sikre forskjeller mellom fangstratene før og under seismikkinnsamlingen. Området hvor fisket etter hyse foregikk, var mindre påvirket av lyden fra luftkanonene enn fiskefeltene for de andre artene. Det ble imidlertid påvist en reduksjon i hysefangstene når det seismiske fartøyet nærmet seg hyselinene. Den akustiske kartleggingen av bunnfisk støtter resultatene fra fiskeforsøkene. Under seismikkinnsamlingen ble det målt lavere tetthet av sei i området, men det ble ikke påvist forandringer i fordelingen av de andre artene. Det ble ikke påvist endringer i planktonfordelingen som kan tilskrives lyden fra luftkanonene.

Resultatene i denne undersøkelsen gir klare tegn på at fisken reagerte på lyden fra luftkanonene ved at fangstene forandret seg (økte eller avtok) i perioden med seismisk innsamling. Lydmålingene som ble utført, viste at fisken ble eksponert for et lydnivå over det nivået hvor det kan forventes forandringer i svømmeatferden. Resultatene forklares med at fisken økte svømmeaktiviteten, noe som gjorde blåkkeite og uer mer utsatt for å bli fanget i garn, mens seien delvis kan ha vandret ut av området. Økt svømmeaktivitet kan være et symptom på en stressreaksjon som førte til redusert fangsteffektivitet for line.

Summary (English):

In connection with the Norwegian Petroleum Directorate's seismic survey off the coasts of Vesterålen in summer 2009, a project was carried out to study the degree to which commercial fishes were affected. Four chartered gillnet and longline vessels fished for Greenland halibut, redfish, saithe and haddock in the periods before (12 days), during (38 days) and after (25 days) the seismic data acquisition. The research vessel "Håkon Mosby" carried out an acoustic survey of the distributions of fish and plankton in the area.

Gillnet catches of Greenland halibut and redfish rose during seismic shooting and remained higher after the end of the campaign than they had been before the start of seismic activity. Longline catches of Greenland halibut fell during the seismic campaign, but rose again in the course of the following 25-day period. The results for saithe revealed a decline (not statistically significant) in gillnet catches both during and after seismic shooting. Based on the acoustic survey estimates, the results were interpreted as an indication that saithe partly left the area. The longline catches of haddock did not reveal statistically significant differences in catch rates from before and during the seismic survey. The area in which the haddock fishery took place was less affected by the sound of the air-guns than the fishing grounds for the other species. Nevertheless, there was a decline in haddock catches when the seismic vessel approached this area. The acoustic survey of the distribution of demersal fishes confirms the results of the fishing experiments. During seismic shooting, lower concentrations of saithe were measured in the area, whereas no changes in the distribution of the other demersal fishes were observed. No changes in plankton distribution that could be ascribed to the seismic campaign were documented.

The results of this study provide clear signs that fish reacted to the sound of the air-guns in that catch rates changed (increased or fell) during the period of seismic shooting. Sound measurements showed that the fish were exposed to sound levels within a range where obvious changes in swimming activity can be expected. These results can be explained by the fish raising their level of swimming activity, thus making the Greenland halibut, redfish and ling more liable to be taken in gillnets, while the saithe may have migrated out of the area. The rise in swimming activity may be a symptom of a stress reaction that could lead to reduced longline catch efficiency.

Emneord (norsk):

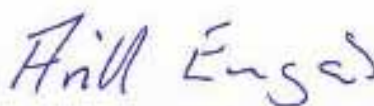
1. Seismisk lyd
2. Kommersiell fangststrategi
3. Akustisk kartlegging

Subject heading (English):

1. Seismic sound
2. Commercial catch rates
3. Acoustic survey



Prosjektleder



Faggruppeleder

Innholdsfortegnelse

Forord	4
Sammendrag.....	9
Summary	12
1 Innledning	15
2 Materiale og metoder	16
2.1 Valg av forsøksområde.....	16
2.2 Seismisk datainnsamling	19
2.3 Lydmålinger	19
2.4 Fiskeforsøkene.....	22
2.5 Fangstregistrering og prøvetaking.....	23
2.6 Statistisk analyse	24
2.7 Akustisk kartlegging med ekkolodd og sonar	25
2.8 Surveystrategi - akustikk.....	27
2.9 Databearbeiding - akustikk.....	28
3 Resultater	32
3.1 Fiskeforsøkene.....	32
3.2 Akustisk kartlegging	41
3.2.1 Akustisk kartlegging med ekkolodd.....	41
3.2.2 Seismikkområdet - strata 1	42
3.2.3 Området innenfor på innsiden av seismikkområdet - strata 2.....	44
3.2.4 Området på utsiden av seismikkområdet - strata 3	46
3.2.5 Kontrollområdet	47
3.2.6 Akustisk kartlegging med sonar	49
3.2.7 Plankton.....	55
3.3 Mageprøver	55
3.3.1 Andel tomme mager	55
3.3.2 Type byttedyr i magene.....	57
3.4 Lydmålingene.....	61
4 Diskusjon	66
4.1 Generelle kommentarer til undersøkelsen.....	66

4.2	Fiskeforsøkene.....	67
4.3	Akustisk kartlegging	69
4.4	Mageprøver	70
4.5	Lydmålingene.....	71
5	Konklusjon.....	71
6	Takk.....	72
7	Referanser	73

Sammendrag

I forbindelse med Oljedirektoratets seismiske datainnsamling utenfor Vesterålen og Troms sommeren 2009, ønsket myndighetene at det ble utført et forskningsprosjekt for å fremskaffe mer kunnskap om hvordan seismiske undersøkelser påvirker fiskefordelingene og de kommersielle fiskeriene. Havforskningsinstituttet fikk ansvar for gjennomføringen av prosjektet, som ble finansiert av Staten med Oljedirektoratet som oppdragsgiver.

Prosjektets målsetting var å undersøke i hvilken grad ulike kommersielle fiskearter i området ble påvirket av seismikk ved at de eventuelt trakk ut av området eller på annen måte endret atferd som påvirket fiskeriene, samt å dokumentere hvor lenge eventuelle fangstreduksjoner varte etter at datainnsamlingen var avsluttet. Det var også ønskelig å undersøke over hvor lange avstander fisken reagerte på lyden fra luftkanonene. I tillegg skulle det tas mageprøver for å undersøke om fisken endret beiteatferd. En kartlegging av mengde og fordeling av fiskelarver og dyreplankton i området og eventuelle endringer mens den seismiske innsamlingen pågikk, var også en del av prosjektets målsetting.

Den seismiske datainnsamlingen ble utført i et område på 8 x 46 nautiske mil og varte i 38 dager (29. juni – 6. august 2009). Det seismiske fartøyet, "Geo Pacific", opererte etter standard prosedyrer for innsamling av data fra 3D-seismikk. Undersøkelsen ble utført i Vesterålen (Nordland VII), hvor den planlagte seismikkinnsamlingen overlappet med tradisjonelle fiskefelt for blåkveite, uer, sei og hyse. Etter ordinær høringsrunde ved Fiskeridirektoratet og Havforskningsinstituttet, ble den seismiske undersøkelsen gjennomført i en periode der det normalt er lite torskefisk i området og derfor relativt lav fiskeriaktivitet. Det ble leid inn to lokale garnbåter som fisket etter henholdsvis blåkveite og sei/uer og to lokale linebåter som fisket etter henholdsvis blåkveite og hyse. Fiskeforsøkene startet tolv dager før den seismiske datainnsamlingen og foregikk fram til 25 dager etter at den var avsluttet. Forskningsfartøyet "Håkon Mosby" og et innleid havfiskefartøy, "Eros", utførte akustisk kartlegging av forekomstene av fisk og plankton i området for å undersøke om disse forandret seg fra før, til under og etter den seismiske undersøkelsen. Det ble også utført lydmålinger i ulike dyp og avstander fra de seismiske luftkanonene. Seismikkområdets utstrekning i forhold til topografiske forhold og beliggenheten av fiskefeltene, samt stor variabilitet i fangstene, gjorde det ikke mulig å dokumentere over hvor lange avstander fisken reagerte på lyden fra luftkanonene.

Forskningsprosjektet viste at lyden fra luftkanonene påvirket fiskeriene i det undersøkte området utenfor Vesterålen på ulike måter. Dette ga seg utslag både i økte og reduserte fangstrater for de ulike fiskeartene og fangstredskapene.

Garnfangstene av blåkveite og uer viste en økning gjennom forsøksperioden og var høyere under og etter den seismiske undersøkelsen enn i perioden før seismikkinnsamlingen startet. Linefangstene av blåkveite viste derimot en nedgang under den seismiske undersøkelsen, men økte igjen i løpet av 25-dagers perioden etter seismikkinnsamlingen.

For sei indikerer resultatene en nedgang i garnfangstene i periodene under og etter den seismiske undersøkelsen sammenlignet med perioden før seismikkaktiviteten startet, men disse forskjellene var ikke statistisk signifikante. Nedgangen i garnfangstene av sei sammenfalt med de akustiske estimatene som viste nedgang i mengde sei inne i seismikkområdet og i det nærliggende området nærmere land, men forskjellen var statistisk signifikant bare i området nær land, der forekomstene av sei var størst. Disse resultatene blir tolket som en indikasjon på at seien delvis trakk ut av området som følge av seismikkinnsamlingen. Store variasjoner i dataene gir ikke grunnlag for å fastslå om eller når fisken vendte tilbake i løpet av undersøkelsesperioden.

Bifangstene av lange i uer- og seigarn viste en umiddelbar økning da den seismiske datainnsamlingen startet. Etter noen dager med seismikkinnsamling gikk fangstratene for lange ned igjen, og lå i perioden etter den seismiske undersøkelsen på samme nivå eller lavere enn for perioden før undersøkelsen.

Det var store variasjoner fra dag til dag i linefangstene av hyse, og det ble ikke påvist statistisk sikre forskjeller mellom fangstratene før og under den seismiske datainnsamlingen. Området hvor fisket etter hyse foregikk, var mindre påvirket av lyden fra luftkanonene enn fiskefeltene for de andre artene, fordi det ikke var direkte overlapp mellom dette området og kurslinjene til det seismiske fartøyet. Bare de tre siste dagene av seismikkinnsamlingen var seismikkfartøyet i en kort periode av døgnet innenfor en avstand på 1 nautisk mil fra hyselinene. Det var imidlertid en nedadgående tendens i hysefangstene mot slutten av perioden med seismikkaktivitet, og det var en positiv korrelasjon mellom fangstrate og avstand til seismikkfartøyet. Dette viser at fangstene ble redusert når avstanden til det seismiske fartøyet avtok, og at også hyse ble påvirket av lyden fra luftkanonene.

Den akustiske kartleggingen av forekomstene av bunnfisk i området underbygger i store trekk resultatene fra fiskeforsøkene. Mens den seismiske datainnsamlingen pågikk, ble det målt lavere tetthet av sei i området innenfor seismikkområdet (dvs. nærmere land), og det var også en tendens til reduksjon i mengde sei inne i seismikkområdet. Det ble ikke påvist forandringer i mengde eller fordeling av de andre bunnfiskartene som kan tilskrives den seismiske undersøkelsen.

Det ble registrert forekomster av ungsild som i løpet av forsøksperioden vandret ut av området for seismikkinnsamlingen. Dette skjedde også i et kontrollområde utenfor seismikkområdet og blir derfor tolket som naturlig beitevandring. Målingene av plankton viste jevne tettheter i hele undersøkelsesområdet, og det ble ikke påvist endringer i tetthet og fordeling som kan tilskrives påvirkning fra luftkanonene.

Analysene av mageinnhold fra fisk viste ingen klare endringer i fødeopptak som kan tilskrives seismikkinnsamlingen. Det ble påvist reduksjoner i innhold av fisk i magene fra sei og hyse fra fiskeforsøkene med garn og line under seismikkinnsamlingen, men tilsvarende nedgang ble ikke funnet i mageprøvene fra forskningsfangstene tatt med trål. Reduksjonen av fisk (sild) i magene fra garnfanget sei, tilsvarte den akustisk målte nedgangen i mengde sild i området, og kan derfor skyldes naturlig utvandring av sild fra området.

Resultatene i denne undersøkelsen gir klare tegn på at fisken reagerte på lyden fra luftkanonene ved at fangstene forandret seg (økte eller avtok) i perioden med seismisk datainnsamling. Lydmålingene viste at fisken ble eksponert for lydtryknivåer langt over dens høreterskel og innenfor de nivåene hvor det kan forventes tydelige forandringer i svømmeatferden. Resultatene kan forklares med at fisken økte svømmeaktiviteten, noe som gjorde blåkveite, uer og lange mer utsatt for å bli fanget i garn, mens seien delvis kan ha vandret ut av området. Den økte svømmeaktiviteten kan være et symptom på en stressreaksjon som kan føre til redusert fangsteffektivitet for line enten gjennom lavere motivasjon for å søke etter mat eller ved at fisken trekker vekk fra området. Resultatene fra denne undersøkelsen er forskjellig fra resultatene i tidligere studier som viste betydelige reduksjoner i fangstrater for trål og line. I de tidligere studiene var seismikkaktiviteten imidlertid konsentrert innenfor mindre områder som dermed medførte at fisken var utsatt for en sterkere og mer sammenhengende lydpåvirkning (antall luftkanonskudd per flatemål og tidsenhet) enn hva tilfellet var i seismikkområdet i denne undersøkelsen.

Summary

In connection with the Norwegian Petroleum Directorate's seismic survey off the coasts of Vesterålen and Troms in summer 2009, the authorities wished to perform a research project aimed at improving our understanding of how seismic campaigns affect fish distribution and the commercial fisheries. The Institute of Marine Research was given responsibility for carrying out the project, which was financed by the Norwegian Petroleum Directorate (NPD).

The aim of the project was to study the degree to which the species of fish occupying this area were affected by seismic shooting activity, whether by withdrawing from the area or changing their behaviour in other ways that affected the fisheries, and to document how long reductions in catch rates lasted after the collection of seismic data had come to an end. NPD also wished to determine the greatest distance at which the fish would react to the sound of the air-guns. The Directorate further wished stomach samples to be collected in order to find out whether the fish changed their grazing habits. A survey of the quantity and distribution of fish larvae and zooplankton in the area, and of whether these changed during the collection of seismic data, also formed part of the objectives of the project.

Seismic data were collected within an area of 8 x 46 nautical miles during a period of 38 days (June 29 – August 6, 2009). The seismic vessel "Geo Pacific" operated in accordance with standard procedures for 3D seismic data acquisition. The study was carried out in Vesterålen (Nordland VII), where the planned acquisition of seismic data overlapped with traditional fishing grounds for Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*), redfish (*Sebastes marinus*), saithe (*Pollachius virens*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). The survey took place at a time when there are usually few gadoids in the area, and thus relatively little fishing activity. Two local gillnet boats that fished for Greenland halibut and saithe/redfish respectively were chartered, as were two local longline boats that fished for Greenland halibut and haddock. The fishing trials commenced twelve days before the start of seismic shooting, and continued until 25 days after termination of the data-acquisition programme. The research vessel "Håkon Mosby" and the chartered fishing vessel "Eros" carried out an acoustic survey of the distributions of fish and plankton in the area, in order to determine whether these changed between before, during and after the seismic survey. Sound measurements were also made at a range of depths and distances from the seismic air-guns. The dimensions of the seismic survey area relative to topographical conditions and the sites of the fishing grounds made it impossible to determine the maximum distances at which the fish would react to the sound of the air-guns.

The research project revealed that the sound of the air-guns affected the fisheries in the study area off Vesterålen in a number of ways. These included both larger and reduced catches of individual fish species, made by different types of gear.

Gillnet catches of Greenland halibut and redfish rose during seismic shooting and remained higher after the end of the campaign than they had been before the start of seismic activity. On the other hand, long-line catches of Greenland halibut fell during the seismic campaign, but rose again in the course of the following 25-day period.

The results for saithe revealed a decline in gillnet catches both during and after seismic shooting, but the differences were not statistically significant. The decline in gillnet catches of saithe was in agreement with the acoustic survey estimates, which showed a fall in the quantity of saithe in the area of the seismic survey and in the adjacent area closer to land, but the difference was statistically significant only in the latter area, where the saithe were most abundant. These results were interpreted

as an indication that saithe left the area in response to the seismic survey. The high degree of variance in the data made it impossible to say just how long the possible reduction in catches of saithe lasted.

Bycatch of ling in redfish and saithe nets rose immediately after the start of seismic shooting. After a few days of seismic activity, the ling catches fell again, and during the period following the end of the seismic campaign they were back at the same level as, or somewhat lower than, before the start of the seismic survey.

There were large day-to-day variations in long-line catches of haddock, and statistically significant differences in catch rates from before and during the seismic survey could not be demonstrated. The area in which the haddock fishery took place was less affected by the sound of the air-guns than the fishing grounds for the other species, because there was no direct overlap between this area and the seismic vessel transects. It was only during the final three days of the seismic survey that the survey vessel was less than one nautical mile from the haddock longlines for a short period each day. Nevertheless, there was a declining trend in haddock catches towards the end of the period of seismic activity, and a positive correlation between catch rates and distance from the seismic vessel. This demonstrates that catches fell when the distance to the survey vessel diminished, and that haddock were affected by the sound of the air-guns.

The acoustic survey of the distribution of demersal fishes in this area largely confirms the results of the fishing experiments. During seismic shooting, lower concentrations of saithe were measured in the area between the seismic survey area and land, and there was also a tendency for a reduction in abundance of saithe within the seismic area. We documented no changes in the amount or distribution of the other demersal fishes that could be ascribed to the seismic campaign.

Concentrations of juvenile herring (*Clupea harengus*) that migrated out of the seismic survey area during the experimental period were registered. This also happened in a control area outside the seismic area, and was therefore interpreted as a natural feeding migration. Plankton measurements found regular concentrations throughout the study area, and no changes in plankton concentration or distribution that could be ascribed to the seismic campaign were documented.

The analyses of the stomach content of the fish showed no obvious changes in food intake that could be ascribed to the seismic survey. Reductions in the content of fish in the stomachs of saithe and haddock from the gillnet and longline fishing experiments during the seismic survey were found, but no corresponding reduction was seen in the contents of the stomachs of the trawl-caught fish. The reduction in the amount of fish (herring) in the stomachs of saithe taken by gillnet corresponded to the acoustically measured fall in the quantity of herring in the area, and can thus be ascribed to a natural migration of herring out of the area.

The results of this survey provide clear signs that fish reacted to the sound of the air-guns in that catch rates changed (increased or fell) during the period of seismic shooting. The sound measurements showed that the fish were exposed to a sound level well above their hearing threshold and within a range where obvious changes in swimming activity can be expected. These results can be explained by the fish raising their level of swimming activity, thus making the Greenland halibut, redfish and ling more liable to be taken in gillnets, while the saithe may have migrated out of the area. The rise in swimming activity may be a symptom of a stress reaction that could lead to reduced longline catch efficiency, either as a result of reduced feeding motivation or because the fish migrated out of the area. The results of this study differ from those of previous studies that revealed significant reductions in trawl and longline catch rates. In the earlier studies, however, the seismic shooting was concentrated

within smaller areas, which meant that the fish were exposed to stronger and more continuous sounds (number of air-gun shots per unit area and period of time) than was the case in the seismic survey area in this study.

1 Innledning

Hørsel er et viktig sanseorgan hos fisk, og lyd fra biologiske kilder påvirker fiskens atferd på en rekke måter (Zelick *et al.* 1999; Popper *et al.* 2003). Fisk bruker lyd til å oppdage byttedyr og predatorer og produserer selv lyd for eksempel i forbindelse med pardannelse og gyteatferd. Lyd og hørsel er derfor viktig for både vekst, overlevelse og reproduksjon. Støy skapt av menneskelige aktiviteter og naturlig bakgrunnsstøy fra regn, vind og strøm kan forstyrre disse vitale aktivitetene hos fisk.

Det finnes en rekke marine støykilder med energi i de lavere frekvensområder hvor fisk generelt har sin beste hørselsevne (båttrafikk, havnevirksomhet, oljeleting og -utvinning, vindturbiner, lav-frekvente sonarer). Det er økende interesse for hvordan disse kildene til lydforurensning påvirker det marine livet (Popper and Hastings 2009). I Norge har problemer knyttet til seismiske undersøkelser vært hyppig debattert. Omfanget av denne aktiviteten har økt betydelig siden starten på oljealderen tidlig på 1960-tallet. Det ble samlet inn relativt lite 3D-seismikk i forhold til 2D-seismikk fram til slutten av 1980-tallet, men fra 1990 har innsamling av 3D-seismikk vært klart dominerende. Det har også skjedd en utvikling mot å bruke stadig flere hydrofonkabler (lyttekabler) for å få en mer effektiv datainnsamling. I dag er det vanlig å bruke 8-10 kabler, men det har vært utført undersøkelser med opptil 20 kabler. Dette innebærer at de seismiske fartøylene ikke går like tette kurslinjer som før for å dekke et område, og antall båtkilometer (og dermed luftkanonbruk) har vært relativt konstant siden tidlig på 1990-tallet. Da hvert fartøy har mange lyttekabler, har antall linjekilometer med seismiske data økt sterkt siden man startet med 3D-undersøkelser. Det er derfor viktig å påpeke at antall luftkanoner ikke er proporsjonal med antall linjekilometer. Typisk vil et slep med 12 hydrofonkabler benytte to luftkanonfelt - ofte med tre luftkanonrekker, der luftkanonfeltene avfyres vekselvis.

Tidligere var hovedtyngden av den seismiske datainnsamlingen konsentrert i Nordsjøen, mens det i løpet av de seinere tiår i økende grad har blitt drevet seismisk datainnsamling langs hele kysten. I dag er det stor undersøkelsesaktivitet også i Norskehavet og Barentshavet, hvor det i 2007 ble samlet inn henholdsvis 332 000 og 246 000 linjekilometer som til sammen utgjorde 62 % av den totale seismikk-innsamlingen dette året. Det er i disse områdene vi finner de viktigste fiskefeltene for den norske fiskerinæringen.

Seismikkaktiviteten i de nordlige havområdene og hvordan denne påvirker fisk og fiskeriene fikk ekstra stor fokus da Oljedirektoratet startet sine seismiske undersøkelser utenfor Lofoten og Vesterålen i 2007. Omfanget av disse undersøkelsene var relativt beskjedne det første året, mens det i 2008 og 2009 ble utført omfattende innsamlinger av henholdsvis 2D- og 3D-seismikk. Det har vært hevdet fra fiskerihold at denne aktiviteten har hatt betydelig negativ innvirkning på fiskeriene i området, og debatten omkring dette temaet har fått stor plass i mediebildet.

Tidligere studier har vist at lyd fra seismiske luftkanoner kan gi betydelige reduksjoner i fangstratene for torsk (*Gadus morhua*) og hyse (*Melanogrammus aeglefinus*). Et forsøk utført på Nordkappbanken (Barentshavet) i 1992 viste reduksjoner i trål- og linefangster for disse

artene på 70 % innenfor et område på 3 x 10 nautiske mil hvor det ble samlet inn 3D-seismikk (Engås *et al.*, 1996). Analyser av fangstdagbøker fra trålere og linebåter som hadde fisket i områder hvor det foregikk seismisk datainnsamling viste fangstreduksjoner på 55-80 % for torsk (Løkkeborg and Soldal 1993). Tilsvarende analyser er gjort for båter som fisket utenfor Lofoten og Vesterålen under Oljedirektoratets innsamling av 2D-seismikk sommeren 2008 (Vold *et al.*, 2009). Disse analysene viste nedgang i fangstene av sei (*Pollachius virens*) og hyse i garnfisket i Vesterålen, men ikke i Lofoten eller for andre arter og redskaper. Analyser av data fra kommersielle fangster, enten fra fangstdagbøker eller databaser som Landings- og sluttseddelregisteret, i perioden omkring en seismisk undersøkelse har imidlertid flere svakheter og er en lite anbefalt metode for å påvise eventuelle effekter av seismisk datainnsamling.

I forbindelse med Oljedirektoratets innsamling av 3D-seismikk utenfor Vesterålen sommeren 2009 ble det derfor gjennomført et kontrollert forsøk for å undersøke hvordan seismikkinnsamlingen påvirket fangstratene for garn og line, og også om fordelingen av fisk i området ble endret. I periodene før, under og etter den seismiske datainnsamlingen ble det fisket med garn og/eller line etter blåkkeite (*Reinhardtius hippoglossoides*), sei, uer (*Sebastes marinus*) og hyse. Dersom undersøkelsen viste nedgang i fangstratene som følge av seismikkinnsamlingen, skulle varigheten av fangstnedgangen også undersøkes. Forskningsfartøyet "Håkon Mosby" og fiskefartøyet "Eros" utførte akustiske kartlegginger av fiskeforekomstene i området før, under og etter den seismiske undersøkelsesperioden. Fra forskningsfartøyet ble det også gjort lydmålinger i ulike dyp og avstander fra luftkanonene.

2 Materiale og metoder

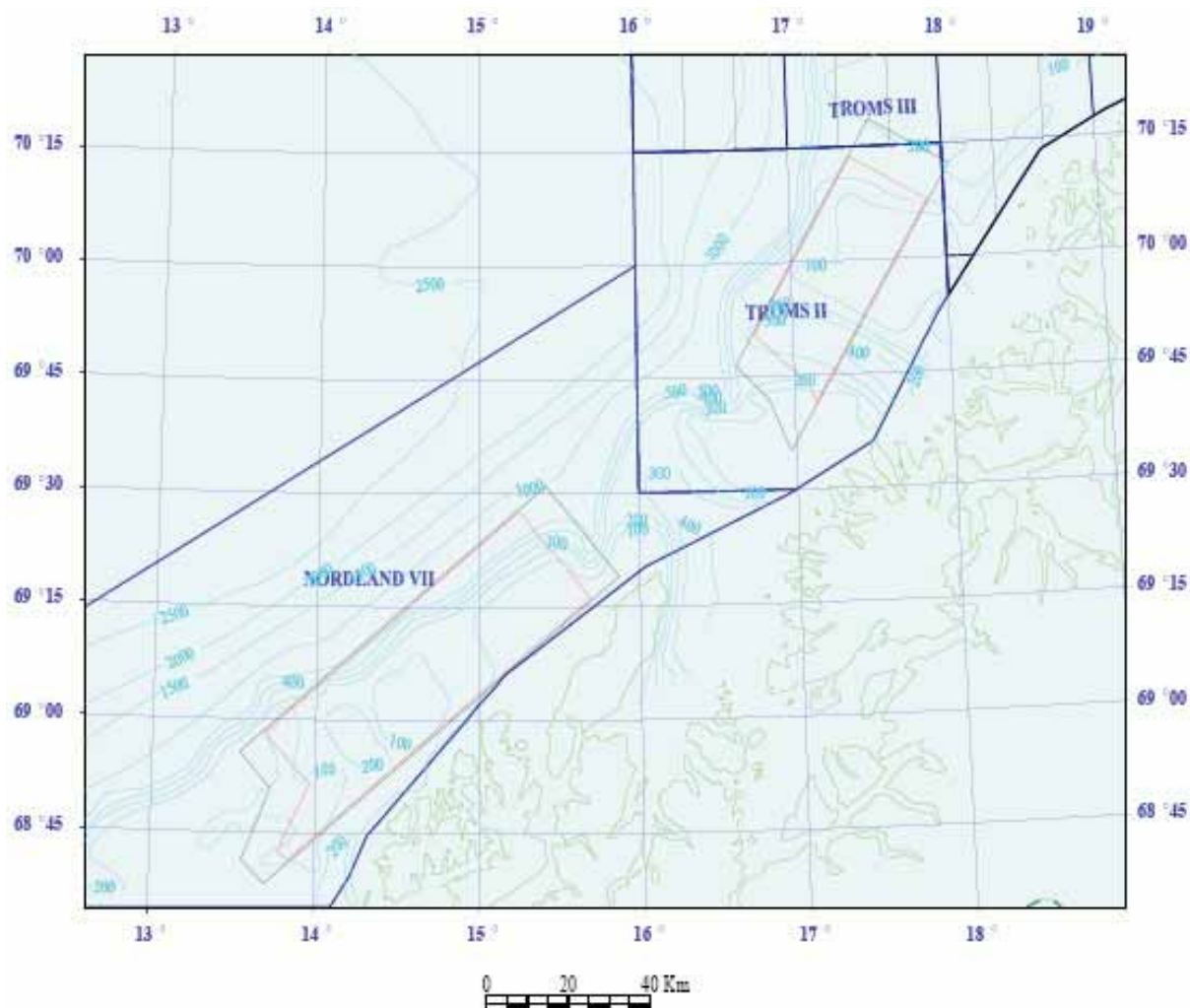
2.1 Valg av forsøksområde

Oljedirektoratet skulle sommeren 2009 foreta seismisk datainnsamling i to områder i henholdsvis Nordland VII og Troms II (Figur 2.1).

Forsøksområdet måtte derfor legges i tilknytning til ett av disse områdene. Området i Nordland VII ble valgt fordi dette området strekker seg over deler av kontinentalsokkelen og kontinentalskråningen og overlapper både med fiskefeltene inne på grunna hvor det fiskes hyse og med de tradisjonelle fiskefeltene for blåkkeite, uer og sei som ligger på dypere vann nedover langs skråningen. Området i Troms II er grunnere og overlapper bare med fiskefelt hvor det i hovedsak fiskes etter hyse på den aktuelle årstiden, og var derfor mindre interessant som forsøksområde.

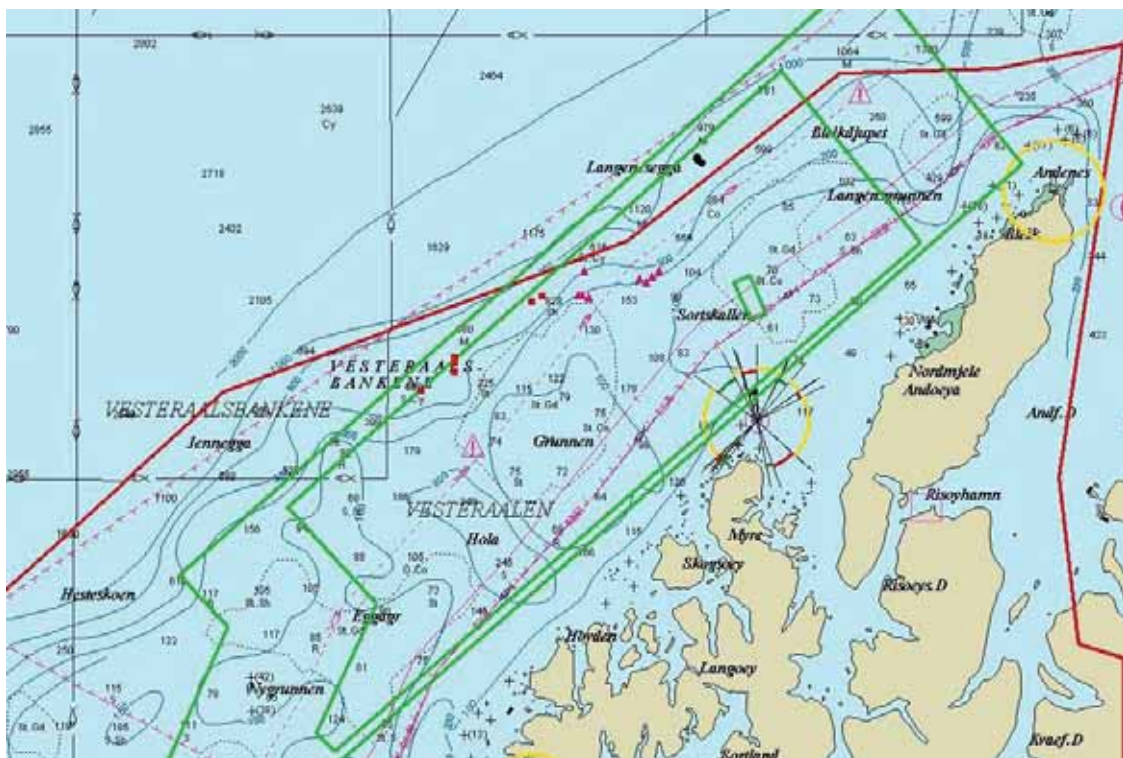
Lokaliseringen av fiskeforsøkene er vist i Figur 2.2. Dette ble bestemt ut fra kartinformasjon fra Oljedirektoratet som viste at det skulle samles inn seismikk i hele det avmerkede området i Figur 2.2. For å kunne dokumentere eventuelle effekter av seismisk datainnsamling, måtte områdene hvor det ble fisket, overlappe med aktivitetsområdet til det seismiske fartøyet. Fisket etter blåkkeite, uer og sei foregår på gitte og relativt avgrensede dyp i en smal sektor langs kontinentalskråningen. Dersom redskapen settes utenfor dette området, reduseres

fangstratene betraktelig. Disse naturgitte forholdene var helt bestemmende for hvor fiskebåtene kunne operere, og ga sterke føringer for designet av forsøket. Det medførte for eksempel at området ikke var egnet til å studere eventuelle avstandseffekter og at en ikke hadde et nærliggende område som kunne brukes som kontrollområde for fiskeforsøkene. Fisket etter hyse skjer vanligvis i grunnere farvann nærmere kysten, og forsøksområdet for hysefiske ble derfor lagt inne på grunna sentralt innenfor området hvor den seismiske datainnsamlingen var planlagt. Imidlertid ble den seismiske datainnsamlingen avsluttet uten at hele det planlagte seismikk-området var dekket, og området for seismikkinnsamlingen overlappet følgelig ikke direkte med plasseringen av forsøksområdet for hysefisket (Figur 2.3).



Figur 2.1. Områdene innenfor Nordland VII og Troms II der det var planlagt å foreta seismisk datainnsamling sommeren 2009. Området i Nordland VII ble valgt til forsøksområde fordi det overlappet med viktige fiskefelt for blåkveite, sei, uer og hyse.

(Areas in Nordland VII and Troms II where seismic data collection was planned for summer 2009. The area in Nordland VII was chosen as experimental area because of overlap with important fishing grounds for Greenland halibut, saithe, redfish and haddock.)



Figur 2.2. Fiskeforsøkernes plassering i forhold til seismikkområdet. Røde kvadrater er blåkteitegarn, røde triangler er sei- og uergarn, svarte sirkler er blåkteiteline, og den minste grønne firkanten viser området for hyselinefiske.

(Locations of the fishing experiments inside the area of seismic data acquisition. Red squares are gillnets for Greenland halibut. Red triangles are gillnets for saithe and redfish, while black dots are longlines for Greenland halibut. The small green rectangle is the area where haddock were fished by longline.)

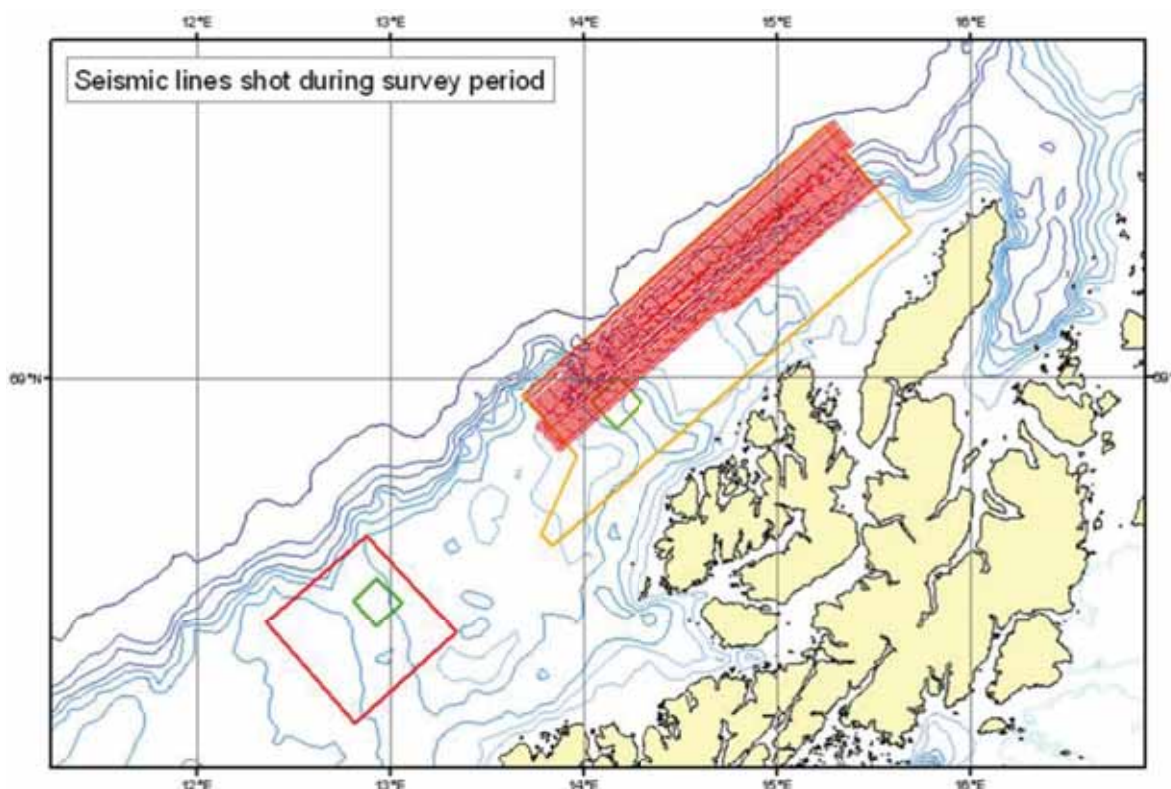


Figur 2.3. Plassering av hyselinene (grønt rektangel) i forhold til de seismiske kurslinjene (grå). Det ble ikke avfyrt luftkanonskudd direkte over linene.

(Location of the longlines for haddock (green rectangle) relative to the seismic survey track lines (grey). The air-guns were not discharged directly over the longlines.)

2.2 Seismisk datainnsamling

Den seismiske datainnsamlingen ble utført med fartøyet RV "Geo Pacific" operert av Fugro-Geoteam AS, og fulgte standard prosedyre for innsamling av 3D-seismikk. Seismikkfartøyet hadde to luftkanonfelt hver på 57,4 liter (3500 k.t.) med tilførselstrykk lik 138 bar (2000 psi) og åtte kabler på 6000 m lengde. Luftkanonene ble avfyrt cirka hvert 10. sekund (flip-flop skyting). Den seismiske datainnsamlingen startet 29. juni kl. 09.51 og ble avsluttet 6. august kl. 03.46, og det ble samlet inn seismikk langs 41 linjer som var ca. 85 km lange (Figur 2.4). Seismikkinnsamlingen hadde et lengre avbrudd på i overkant av to døgn (5. juli kl. 22.52 til 8. juli kl. 04.26) på grunn av ugunstige værforhold. Når seismikkfartøyet var ferdig med en kurslinje, opphørte seismikkaktiviteten i 3-4 timer mens fartøyet snudde for å starte på neste linje. Det var også avbrudd på grunn av tekniske problemer og avbrudd eller kursendringer på grunn av faststående bruk (brukskollisjoner). Dette var relativt kortvarige avbrudd som bare unntaksvis varte over seks timer.



Figur 2.4. Fullførte seismiske linjer innenfor det forhåndsoppsatte forsøksområdet. Den røde kvadraten viser kontrollområdet som ble brukt til akustiske undersøkelser.

(Seismic transects carried out during the experimental period. The red square shows the control area used for acoustic studies.)

2.3 Lydmålinger

Lydmålingene ble gjort ved hjelp av fire hydrofonrigger som ble satt på bunnen og en hydrofonbøye som drev fritt i sjøen. Hver hydrofonrigg var utstyrt med en Bjørge-Naxys-hydrofon og en elektronikkbeholder som inneholdt en PC og batteripakke (Figur 2.5). Beholderne var utstyrt med undervannsplugger for eksterne tilkoblinger til hydrofon, PC (overføring av data) og batterilader. Hydrofonriggene var forankret til et 150 kg kjettinglodd

med et 3 m langt tau og fløytet opp fra bunnen ved hjelp av tolv 11" titankuler. Mellom tauet og riggen var det montert en akustisk utløser som ble aktivert når riggen skulle tas til overflaten og om bord i forskningsfartøyet for nedlasting av data og lading av batteriene.



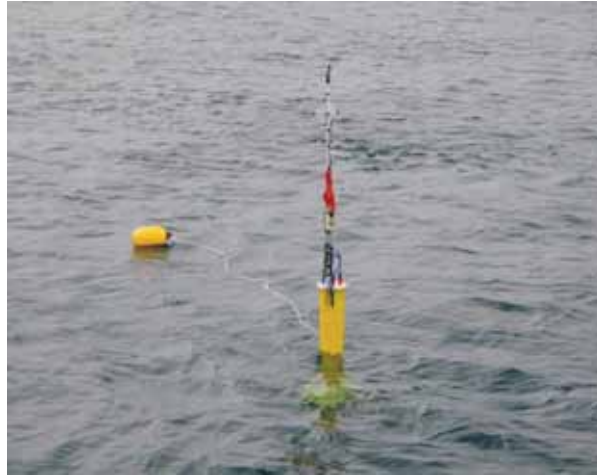
Figur 2.5. Hydrofonrigg for lydmåling ved bunnen. En akustisk utløser og et lodd i et 3 m langt tau henger under riggen.

(Hydrophone rig for measuring sound on the sea bed. An acoustic release unit and a weight attached to 3 m rope hang below the rig.)

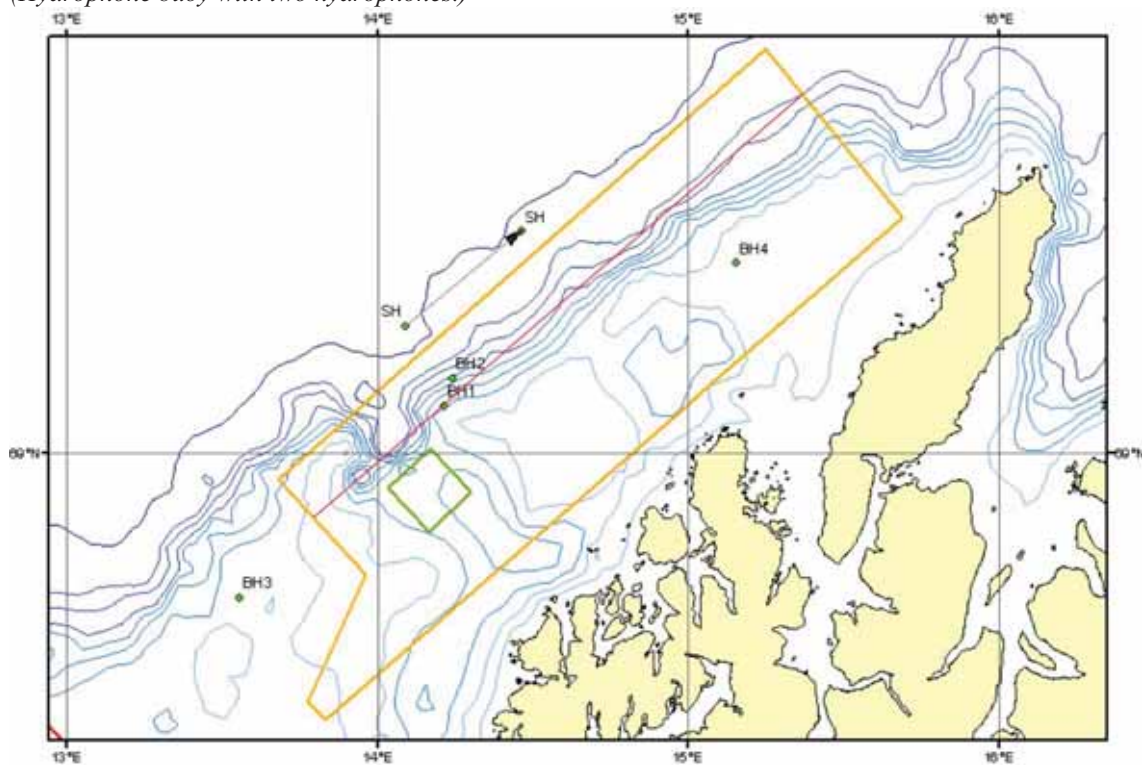
Hydrofonbøyen var konstruert slik at den hadde minimal vertikal bevegelse. Den var bygget i glassfiber med ekstra oppdrift (dyvinicell) og hadde et 50 kg blylodd i bunnen (Figur 2.6).

Bøyen inneholdt en PC, batteripakke, Ethernet-radio og plugger for tilkobling til hydrofoner, batterilader, radioantenne og GPS-mottaker. På toppen av bøyen var det montert en 3 m lang stang med GPS-mottaker, radioantenne og Argos satellittsender. Under bøyen hang det to eller tre Bjørge-Naxys-hydrofoner i Ethernet-kabler med ulik lengde. Under den første delen av forsøket ble det brukt to hydrofoner som hang på henholdsvis 8 og 32 m dyp, mens det fra 4. juli ble montert en tredje hydrofon på 64 m dyp. Hydrofoner og kabler var festet til et Spektratau for å hindre strekkskader på kablene. I enden av tauet var det et drivanker og et 60 kg lodd for å dempe vertikale bevegelser. Det var direkte nettverksforbindelse til bøyens PC via en Ethernet-radiosender med en kommunikasjons-rekkevidde på 6-7 nautiske mil. Denne trådløse forbindelsen ble brukt til å starte og stoppe loggingen av lyddata og GPS-posisjon, justere forsterkningen ("gain") i forhold til lydtrykket og overvåke bøyens posisjon. Bøyen ble tatt om bord i forskningsfartøyet for overføring av data via direkte nettverksforbindelse og for lading av batteriene.

Bakgrunnsstøyen ble målt i ett punkt sentralt og i to punkter i ytterkant av området før den seismiske undersøkelsen startet. Disse målingene ble gjort henholdsvis på bunnen med en av hydrofonriggene og fritt i sjøen med hydrofonbøyen. Under seismikkinnsamlingen ble det gjort lydmålinger der de innleide fiskebåtene satte sine redskaper. Det ble plassert en hydrofonrigg i hvert av disse områdene, og målinger ble gjort når seismikkfartøyet passerte gjennom området (Figur 2.7).



Figur 2.6. Hydrofonbøye med to hydrofoner
(Hydrophone buoy with two hydrophones.)



Figur 2.7. Målepunkter for lyd fra luftkanonfeltet. SH – hydrofonbøye. BH - hydrofonrigg. Pilen viser bøyens drift i måleperioden.

(Measuring point for sound from the air-gun array. SH – hydrophone buoy. BH – hydrophone rig. The arrow shows the drift of the buoy during the period of measurement.)

Hydrofonbøyen ble satt ut slik at den drev langs en seismisk linje mens seismikkfartøyet samlet inn data for denne linjen. Lyddata ble logget i intervaller på 15 s med 15 s pause

mellom intervallene. Kun de målingene som ble gjort i områdene hvor redskapene sto er presentert i denne rapporten.

Det ble også gjort lydmålinger der de fire hydrofonriggene ble satt ut i ulike avstander fra det seismiske fartøyet for å kunne beregne og modellere lydutbredelse fra luftkanonene. Det ble gjort to slike utsettinger for å få en best mulig dekning over lange avstander. Målinger foretatt med hydrofonbøyen ble brukt til å beregne den vertikale lydprofilen. Disse målingene ble også gjort i ulike avstander fra det seismiske fartøyet.

2.4 Fiskeforsøkene

Til å utføre fiskeforsøkene ble det leid inn fire lokale kystfiskebåter, to garnbåter og to linebåter med base i henholdsvis Myre og Stø i Vesterålen. En garnbåt ("Hersleb" N-161-Ø, LOA 20 m) fisket blåkveite, en garnbåt ("Nytun" N-30-Ø, LOA 21 m) fisket uer og sei, og de to linebåtene ("Klotind" N-36-Ø, LOA 15 m og "Ekenborg" N-45-Ø, LOA 12,8 m) fisket henholdsvis blåkveite og hyse. For å unngå brukskonflikt foregår blåkveitefisket med garn og line i to adskilte områder, såkalte garn- og linehav. Redskapsparametre er gitt i Tabell 2.1 og 2.2.

Tabell 2.1. Redskapsparametre for linefisket.

(Gear parameters for longline fisheries.)

Båt	Linetype	Forsyn	Krøk	Avstand	Agn
Ekenborg	4,5 mm polyester	0,90 mm nylon, monofilament, 60 cm	Mustad 39971D 11/0	1,8 m	Sild
Klotind	5,5 mm polyester	0,90 mm nylon, monofilament, 75 cm	Mustad 39971D 11/0	1,8 m	Sild

Tabell 2.2. Redskapsparametre for garnfisket.

(Gear parameters for gillnet fisheries.)

Garntype	Maskevidde	Dybde	Trådtykkelse	Flytetelne	Blytelne
Uergarn	63 mm	80 masker	0,55 mm	12 mm, Danline, 7 ringer pr. garn	12 mm, 10 kg pr. garn
Seigarn	66 og 70 mm	60 masker	0,55 og 0,60 mm	20 mm, Scanflyt 800	14 mm, 10 kg pr. garn
Blåkveitegarn	110 mm	25 masker	0,65 mm	Rosendahl 205/46-Ekstra	Jernringer

Fiskeforsøkene startet 17. juni, tolv dager før den seismiske datainnsamlingen ble påbegynt, og foregikk kontinuerlig i en periode på elleve uker fram til den 31. august, dvs. 25 dager etter at den seismiske undersøkelsen var avsluttet. Båtene kunne imidlertid ikke fiske når de kom innenfor traséen til det seismiske fartøyet. Det seismiske fartøyet startet innsamlingen ytterst i området, hvor fisket etter blåkveite, uer og sei foregikk. De to garnbåtene, som hadde garn stående kontinuerlig i sjøen, var derfor delvis forhindret fra å fiske under den første delen av

seismikkdatainnsamlingen. Dette var et mindre problem for linebåtene fordi redskapen tas på land mellom hvert sjøvær, og båtene kunne derfor lettere tilpasse seg aktiviteten til det seismiske fartøyet. Linebåtene, som var mindre enn garnbåtene, var i noen korte perioder hindret på grunn av dårlig vær. Fiskebåtene fisket og opererte på samme måte som under ordinært fiske, og gjorde tre sjøvær i uka med unntak av perioder hvor de var forhindret fra å fiske på grunn av de nevnte forholdene.

Linebåten som fisket etter hyse, satte fire stubber med fem stamper (à 300 krok) i hver stubb. Stubbene ble satt parallelt med en innbyrdes avstand på ca. 700 m. Linene ble satt alternerende i to tilstøtende områder på 74-82 m dyp. De ble satt om natta (vanligvis i tida kl. 01.00-03.00) og halingen startet når den første linestubben hadde stått i tre timer. Linebåten som fisket blåkkeite, satte to eller tre stubber med ni stamper (à 285 krok) i hver stubb. Stubbene ble satt på 630-700 m dyp langs skråningen (dvs. parallelt med dybdekonturene) og i samme posisjon hver gang.. Linene ble vanligvis satt om morgenen og halingen startet etter fire timer.

Garnbåten som fisket etter blåkkeite, satte seks lenker med 25 garn i hver lenke nedover i skråningen (dvs. på tvers av dybdekonturene). Garnlenkene ble satt i tre forskjellige områder på 600-1000 m dyp. Den andre garnbåten satte fire lenker med seigarn og fire med uergarn, og det var 20 garn i hver lenke. Garna ble satt i to områder, og parvise lenker med henholdsvis seigarn og uergarn ble satt etter hverandre nedover skråningen. Seigarna sto fra 100 til 260 m, og uergarna fra 205 til 350 m. Begge garnbåtene gikk ut om morgenen for å hale bruket. Når ei lenke var halt, ble den satt ut igjen i samme posisjon før båten gikk for å hale neste lenke. Båtene gikk ut hver mandag, onsdag og fredag slik at garna sto i to eller tre døgn før de ble halt.

2.5 Fangstregistrering og prøvetaking

Fangsten fra hver garnlenke og linestubb ble registrert (art og antall). All fisk ble lengdemålt med unntak av store fangster av blåkkeite og uer (dvs. flere hundre) der en delprøve på hundre individer ble lengdemålt. Fra fiskeforsøkene ble det tatt mageprøver av blåkkeite, sei og hyse. Det ble tatt mageprøver av cirka ti individer av målarten fra seks stubber eller lenker før, under og etter den seismiske undersøkelsen slik at det til sammen skulle bli 60 prøver fra hver målart fra hver periode. Antallet mager av hver art varierte imidlertid noe på grunn av praktiske forhold under prøvetakingen ombord. Det ble også tatt mageprøver av hyse, sei og torsk fra forskningstrålhalene fra "Håkon Mosby". Prøvene ble frosset ned for senere analyse. De ble analysert etter Havforskningsinstituttets standard prosedyrer for behandling av slike prøver, dvs. at innholdet ble veid og om mulig bestemt til art eller artsgruppe.

Vekten av fangstene ble ikke målt direkte da dette ikke var praktisk mulig å gjennomføre. Lengdemålingene ble derfor brukt til å beregne rundvekt for fangst fra hver linestubb og garnlenke ved hjelp av en såkalt lengde-vekt-modell (se Ligning 1). Dersom man har lengden til alle individene i en fangst, kan vekten til hvert individ og totalvekten beregnes ved hjelp av modellen. Levert kvantum ble også hentet fra Råfisklagets database og notert for hver art og

hvert sjøvær. Parameterverdiene i Ligning 1 ble hentet fra Havforskningsinstituttets forskningsdatabase, og det ble brukt data fra områder og sesong som antas å være representative for dette forsøket. Sammenhengen mellom lengde og vekt for et individ (eller individer i en lengdegruppe) kan beskrives med følgende ligning:

$$\text{vekt} = a(\text{lengde})^b \quad (1)$$

der a og b er parametre som estimeres ved hjelp av vanlig lineær regresjon. Et "ikke-skjevt" estimat av a er $\exp(\ln(a) + \text{mse}/2)$ der mse er "mean squared error" for regresjonen, mens stigningstallet i regresjonen gir et direkte estimat på b (Tabell 2.3).

Tabell 2.3. Parameterestimer (for lengde i centimeter og vekt i kilo), antall observasjoner brukt i tilpasningen (n) og determinasjonskoeffisienten (r^2) fra den lineære regresjonen mellom lengde og vekt.

(Estimates of parameters (for length in centimeter and weight in kilo), number of observations used in the data fitting (n), and coefficient of determination (r^2) from the linear regression of length vs weight..)

Art	a	b	ln(a)	mse	n	r ²
Hyse	$2,29 \cdot 10^{-5}$	2,79	-10,69	0,0105	3715	0,96
Sei	$1,96 \cdot 10^{-5}$	2,83	-10,85	0,0127	4953	0,96
Blåkveite	$2,33 \cdot 10^{-6}$	3,35	-12,97	0,0108	10152	0,97
Uer	$4,06 \cdot 10^{-6}$	3,34	-12,43	0,0212	7213	0,94

2.6 Statistisk analyse

Fangster tatt samtidig i samme område vil være påvirket av de samme ytre faktorene som for eksempel vær- og strømforhold, tidevannsyklus og månefase. Fangstratene for linestubbene og garn-lenkene satt samme dag, kan således ikke betraktes som uavhengige observasjoner i den statistiske analysen. Fangstene for stubber og lenker satt samme dag, ble derfor slått sammen og det ble beregnet en gjennomsnittlig fangstrate per sjøvær.

Ståtida for garnlenkene var to eller tre døgn, og denne forskjellen ble det korrigert for ved å dividere antall fisk tatt på ei lenke med henholdsvis to og tre. Den gjennomsnittlige fangstraten for et sjøvær ble således gitt som antall fisk per lenke og døgn. Man gjør da den antagelse at garna har en konstant fangsteffektivitet gjennom det aktuelle tidsrommet. For linefangstene ble gjennomsnittet gitt som antall fisk per stamp. Disse observasjonene ble brukt i den statistiske analysen der en Students t-test ble anvendt for å undersøke om fangstratene forandret seg etter at den seismiske undersøkelsen startet. Det var god overensstemmelse mellom fangstrate i antall og vekt, og resultatene er derfor kun gitt som vekt i denne rapporten.

Statistiske analyser av magedata ble gjort ved hjelp av R-statistikk (Anon., 2008). Endringer i kvantum mageinnhold ble analysert med en Kruskal-Wallis-test (ikke-parametrisk test). Hypotesen var at det ikke var forskjeller mellom før, under og etter seismikkaktivitet. Forskjeller mellom enkeltperioder er testet med parvis t-test. For å teste om andelen tomme mager endret seg med den seismiske aktiviteten, ble det brukt en binominal-test.

2.7 Akustisk kartlegging med ekkolodd og sonar

Akustisk kartlegging og mengdemåling ble utført med forskningsfartøyet "Håkon Mosby" (LOA 47,2 m, TD 701) i perioden 21. juni – 11. juli, og etter den seismiske undersøkelsen med det innleide havfiskefartøyet "Eros" (LOA 75,9 m, TD 2148) i perioden 6 – 10. august. Begge fartøyene var utrustet med Simrad EK60 multifrekvens ekkolodd (Andersen, 2001) med svingerne montert på senkekjøl. I hele toktperioden ble rådata fra henholdsvis 18, 38, 120 og 200 kHz ekkolodd lagret om bord på "Håkon Mosby" og tilsvarende ble 18, 38, 70, 120 og 200 kHz logget om bord på "Eros". Mengde-målingen av fisk ble utført med 38 kHz ekkoloddet, mens de andre frekvensene ble benyttet som hjelpefrekvenser under identifikasjon av art (Korneliussen and Ona, 2002; 2003). Samtlige ekkolodd ble kalibrert i henhold til standard prosedyrer (Foote, 1987) under selve forsøkene, for "Håkon Mosby" den 4. juli i Steinslandsfjorden innenfor Myre, og for "Eros" den 9. august i Stønnesbotn, Senja. Ekkoloddinnstillinger og kalibreringer er vist i Tabell 2.4 og 2.5. For overvåking av sildestimer nær overflaten ble registreringer fra fiskerisonaren Simrad SH80 (116 kHz) logget på begge fartøy.

Tabell 2.4. Innstillinger og kalibreringsdata for ekkoloddene på FF "Håkon Mosby" under den akustiske kartleggingen 21. juni – 11. juli 2009. SK: senkekjøl.

(Settings and calibration data for the echo sounders onboard RV "Håkon Mosby" during the acoustic mapping 21 June – 11 July 2009. SK: protruding keel.

Ekkolodd	EK60	EK60	EK60	EK60
Frekvens [kHz]	18	38	120	200
Svingerdjup [m], SK	7	7	7	7
Pulslengde [ms]	1,024	1,024	1,024	1,024
Båndbredde [kHz]	1,57	2,43	3,03	3,09
Maks. effekt [W]	2000	2000	500	300
2-veis strålebredde [dB]	-17,0	-20,6	-20,8	-20,7
Forsterkning [dB]	22,78	26,01	26,68	26,43
S _A -korrigering [dB]	-0,63	-0,70	-0,30	-0,28
-3 dB strålebredde, lang-/ tverrskips [°]	11,00/10,95	6,87/6,86	7,64/7,22	6,48/6,63
Offset lang-/ tverrskips [°]	0,12/-0,09	-0,03/-0,05	0,07/-0,06	-0,08/-0,12
Instrumentinnstillinger				
Pingintervall [s]	0,80/1,0	0,80/1,0	0,80/1,0	0,80/1,0
Lydfart [ms ⁻¹]	1475	1475	1475	1475
Datalagringsdjup [m]	500	500	500	500
Siste kalibrering	04.07.09	04.07.09	04.07.09	04.07.09
Etterprosesseringsystem	LSSS	LSSS	LSSS	LSSS
Integratoroppløsning	0,1 nmi/10 m	0,1 nmi /10 m	0,1 nmi /10 m	0,1 nmi /10 m
database	B-5 m	B-5 m	B-5 m	B-5 m

Tabell 2.5. Innstillinger og kalibreringsdata for ekkoloddene på MS "Eros" under den akustiske kartleggingen 6. – 10. august 2009. SK: senkekjøl.

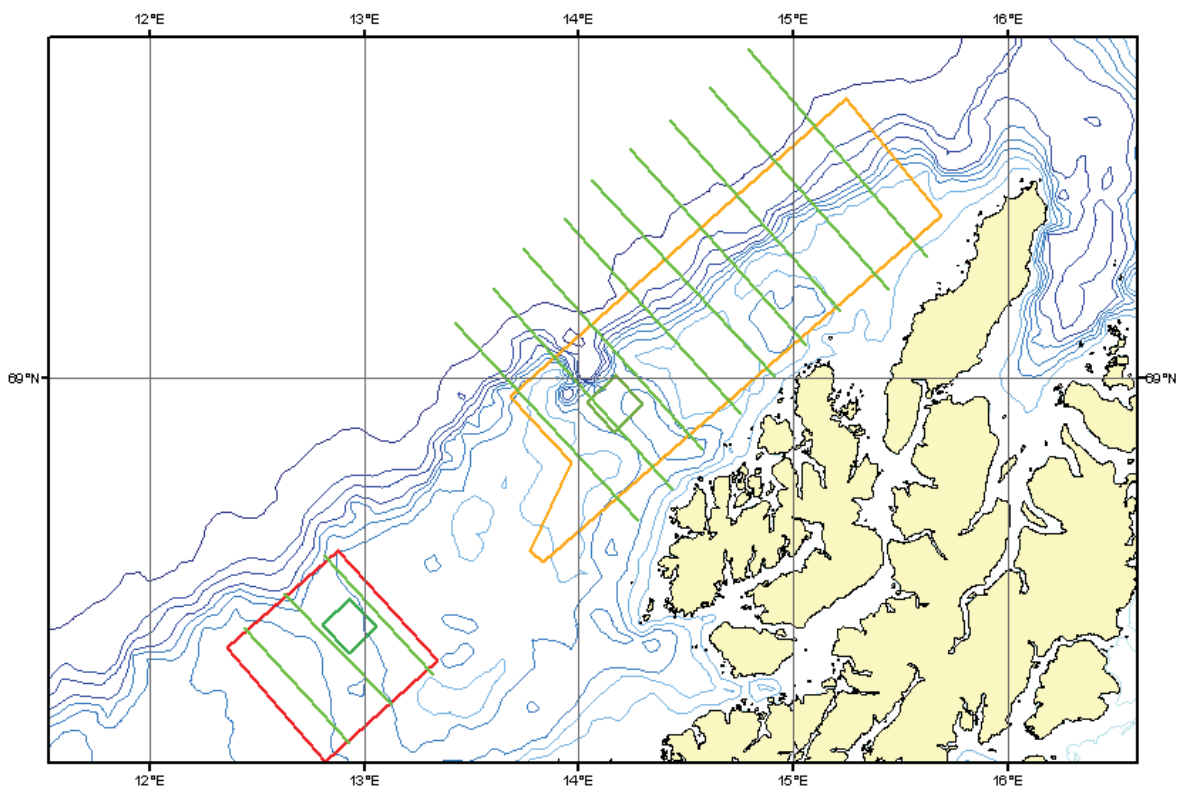
(Settings and calibration data for echo sounders onboard MV "Eros" during the acoustic mapping 6 – 10 August 2009. SK: protruding keel.)

Ekkolodd	EK60	EK60	EK60	EK60	EK60
Frekvens [kHz]	18	38	70	120	200
Svingerdyp [m], SK	7	7		7	7
Pulsengde [ms]	1,024	1,024	1,024	1,024	1,024
Båndbredde [kHz]	1,57	2,43	2,86	3,03	3,09
Maks. effekt [W]	2000	2000	750	250	110
2-veis strålebredde [dB]	-17,0	-20,6	-21,0	-21,0	-20,7
Forsterkning [dB]	22,35	26,16	26,59	26,57	24,94
S _A -korrigering [dB]	-0,73	-0,65	-0,34	-0,35	-0,30
-3 dB strålebredde, lang-/ tverrskips [°]	10,78/10,72	7,02/6,96	6,51/6,52	6,54/6,47	6,73/6,52
Offset lang-/ tverrskips [°]	0,09/0,02	0,03/-0,02	-0,03/0,01	-0,01/0,07	-0,24/0,03
Instrumentinnstillinger					
Pingintervall [s]	0,80/1,0	0,80/1,0	0,80/1,0	0,80/1,0	0,80/1,0
Lydfart [ms ⁻¹]	1485	1485	1485	1485	1485
Datalagringsdyp [m]	500	500	500	500	500
Siste kalibrering	09.08.09	04.07.09	04.07.09	04.07.09	04.07.09
Etterprosesseringsystem	LSSS	LSSS	LSSS	LSSS	LSSS
Integratoroppløsning	0,1nmi/10 m	0,1nmi/10 m	0,1nmi/10 m	0,1nmi/10 m	0,1nmi/10 m
Database	B-5 m	B-5 m	B-5 m	B-5 m	B-5 m

For prøvetaking av bunnfisk var fartøyene utrustet med standard bunnetrål, Campelen 1800 (Engås, 1988) med 7,8 m², 1850 kg Tyborøn-dører. En Firklover pelagisk trål med Tyborøn-dører ble benyttet av "Håkon Mosby" for prøvetaking av pelagisk fisk og annen fisk som sto over bunnen. En krilltrål ble brukt til prøvetaking av fiskelarver og krill. Prøvetaking av dyreplankton ble utført med Mocness (Wiebe *et al.*, 1985), som er en vertikal- og horisontalprofilerende planktonprøvetaker med åtte separate nett med 1 m² åpning. "Eros" benyttet en Åkratrål til prøvetaking av pelagisk fisk og bunnfisk som var klar av bunnen. Tegninger og beskrivelse av de fleste trålene finnes i Wenneck *et al.* (2008). Et nett av CTD-stasjoner i undersøkelsesområdet ble innsamlet ved bruk av en Seabird SBE911 CTD-sonde. Lydhastighetsprofiler for bruk i lydbaneberegninger ble beregnet ved hjelp av CTD-dataene.

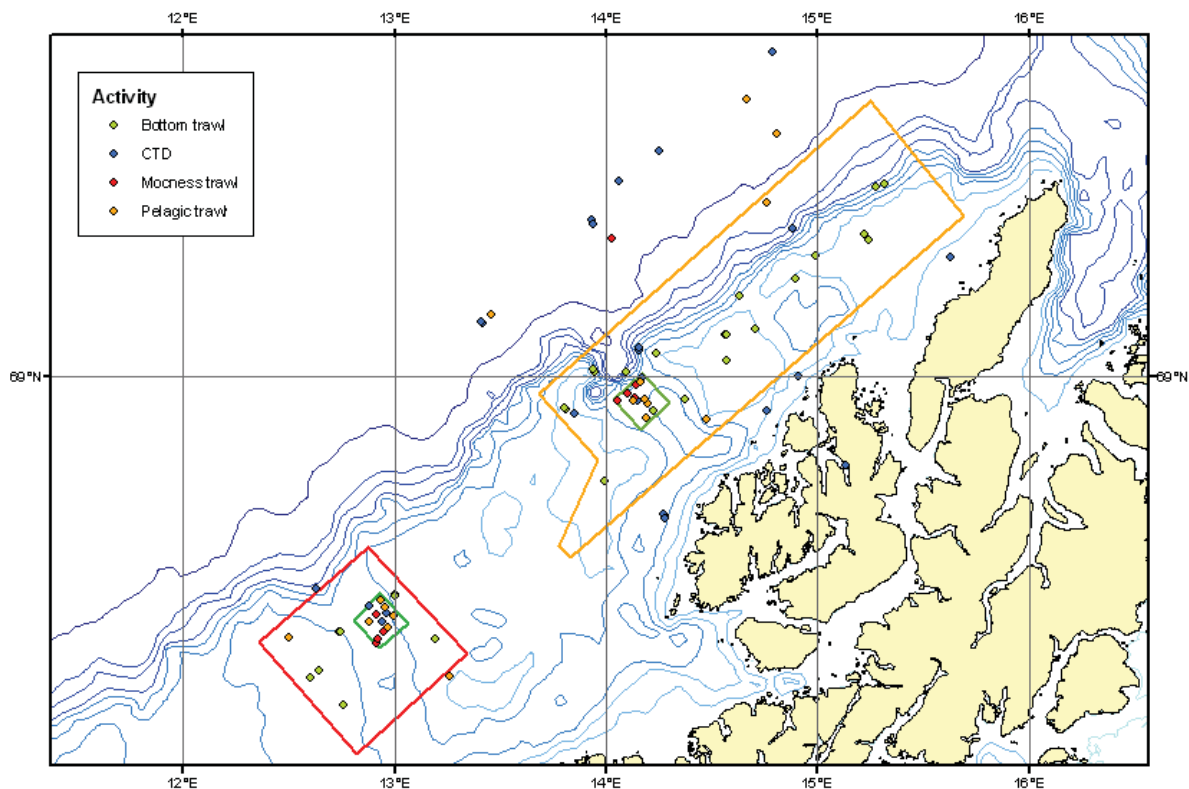
2.8 Surveystrategi - akustikk

Basert på informasjon om planlagt område for innsamlingen av seismikk i Nordland VII valgte vi å dekke området med et systematisk kursnett på tvers av seismikkområdet (Figur 2.8). Avsatt toktid for "Håkon Mosby", områdets størrelse, prøvetakingstid og tid for stasjonsarbeid ble brukt til beregning av dekningsstrategi. Vi anslo å kunne dekke seismikkområdet, inkludert et ca. 5 nautisk mil (nmi) bredt område utenfor kanten, og et utvalgt kontrollområde sør for seismikkområdet med to dekninger før, to under og en etter den seismiske undersøkelsen. Akustiske data ble samlet langs ni transekter (kurslinjer) i hovedområdet og tre transekter gjennom kontrollområdet for hver dekning. Tøktet ga en dekningsgrad (Aglén, 1983) på om lag 7 i hovedområdet og om lag 3 i kontrollområdet. I tillegg var det satt av tid til utsettinger og opptak av hydrofonrigger og to stasjonære ekkoloddrigger montert i hver sin lander. For prøvetaking av larver og plankton valgte vi tilfeldig ut to mindre områder på 3x3 nmi. Figur 2.9 viser stasjoner tatt under de fire første dekningene med "Håkon Mosby". I larveområdet ble det observert lite larver både akustisk og i fangstene med krilltrål, og en reduserte derfor larveprøvetakingen utover i forsøket i forhold til opprinnelig plan.



Figur 2.8. Kart over ni faste transekter gjennom det planlagte området for seismiske undersøkelser (gult) og tre gjennom kontrollområdet (rødt), med trålundersøkelser inne i de to utvalgte larve- og planktonfeltene (grønne firkanter).

(Map with the nine fixed transects through the planned area for seismic investigation (yellow) and three through the control area (red), with trawl investigations within the two areas selected for larval and plankton studies (green squares).)



Figur 2.9. Bunntrawl, pelagisk trål, CTD-stasjon og Mocness-stasjoner tatt under dekning 1, 2, 3 og 4 med "Håkon Mosby".

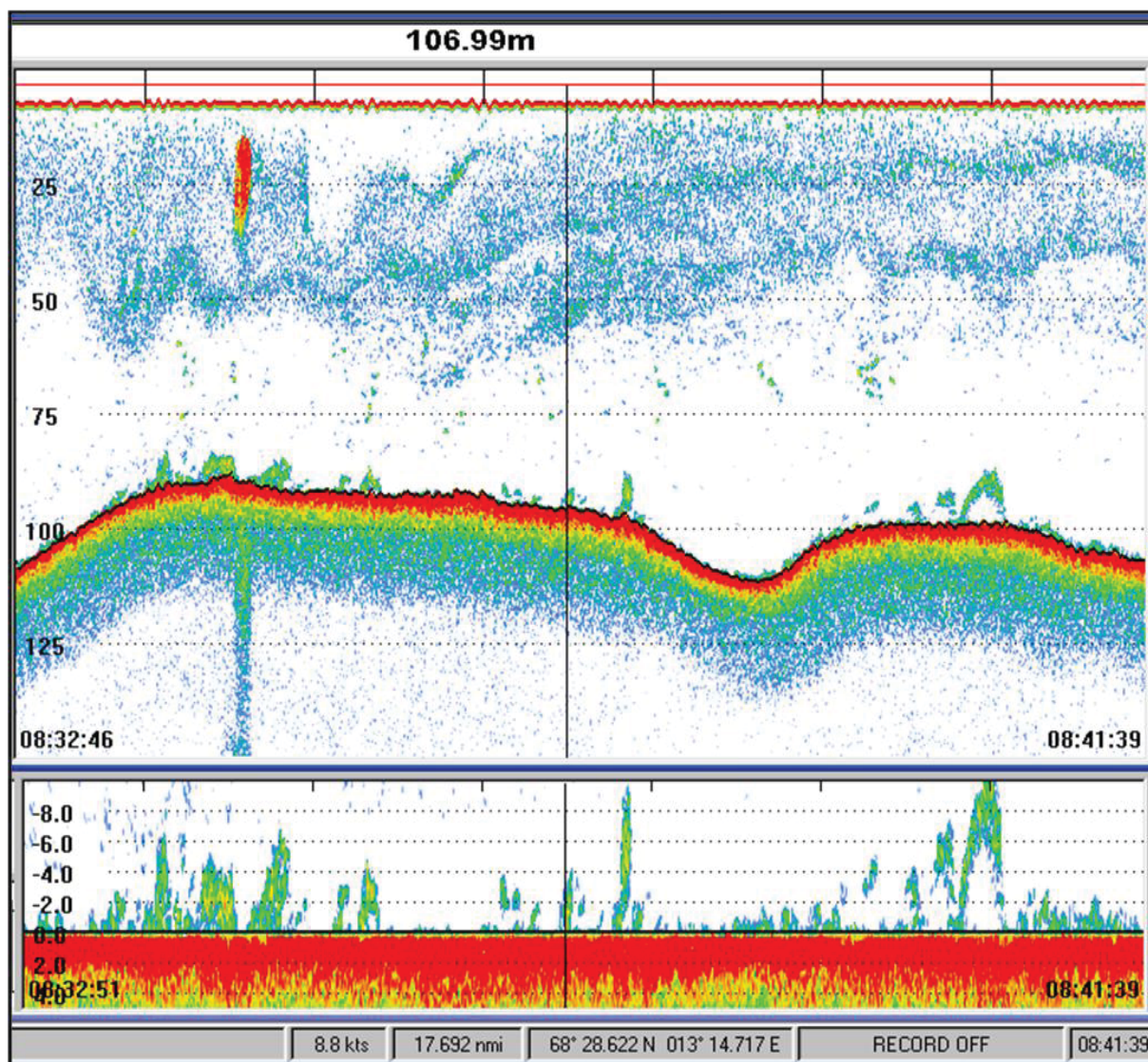
(Demersal trawls, pelagic trawls, CTD stations and Mocness stations taken during coverage 1, 2, 3 and 4 with "Håkon Mosby".)

2.9 Databearbeiding - akustikk

Ekkolodd-dataene ble tolket om bord ved bruk av etterprosesseringsystemet Large Scale Survey System (LSSS) (Korneliussen *et al.*, 2006). De pelagiske artskategoriene: sild (*Clupea harengus*), kolmule (*Micromesistius poutassou*) og mesopelagisk fisk ble brukt, samt bunnfiskkategoriene: torsk, hyse, sei, uer og andre (herunder vassild (*Argentina silus*) og øyepål (*Trisopterus esmarkii*)). I tillegg tolket vi restenergien i de øvre kanaler som plankton. På siste dekning med "Eros" ble bunntrawlén revet i kontrollområdet der det var dårlig trålbunn. For ikke å ødelegge også reservetrawlén før vi kom inn i hovedområdet, valgte vi å betrakte bunnfiskmengde som en samlekategori.

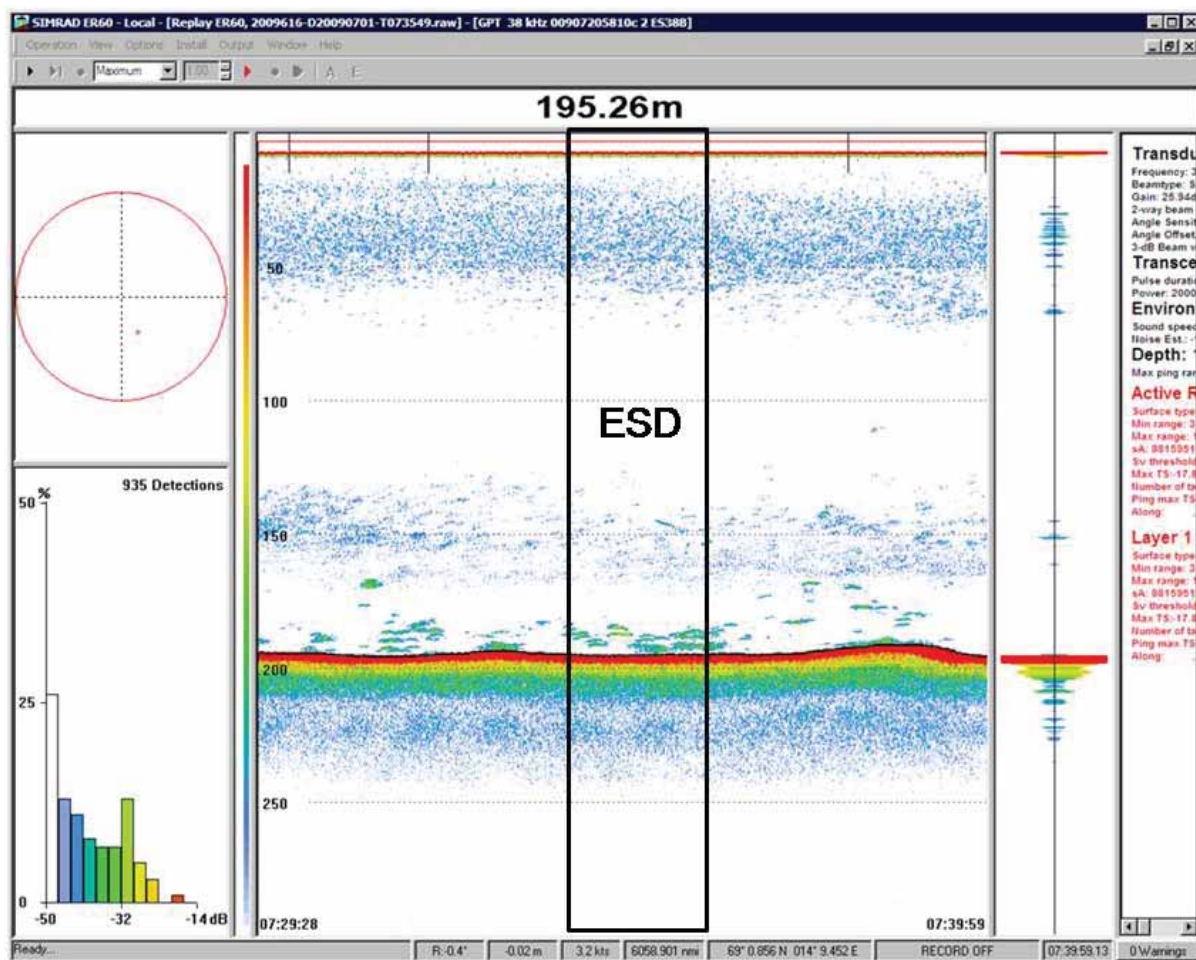
Tolkingen er utført som på standard bunnfisktokt ved Havforskningsinstituttet, der resultatet av prøvetakingen av fisk etter hvert bunntrawlhal er tilgjengelig under tolking av akustiske data, slik at artssammensetningen kan beregnes i trålmodulen av LSSS. Artsfordelingen skifter imidlertid raskt langs kurslinjene på kanten av kontinentalskråningen, og mengdemålingen av enkeltarter har derfor lavere absolutt nøyaktighet enn målingen av totalmengde bunnfisk. Dataene for akustisk tetthet, arealekkmengde, av fisk er gitt i enheten "nautical area scattering coefficient" (NASC, m^2/nmi^2) (MacLennan *et al.*, 2002), og ble lagret til databasen med en oppløsning på 10 m vertikalt i vannsøylen, med to 5 m dybdekanaler langs bunnen, og 0,1 nmi (185,2 m) horisontalt. Et eksempel på et ekkogram med både sildestim, planktonlag

og gode registreringer av bunnfisk er vist i Figur 2.10, og et mer representativt ekkogram av middeltettheter av bunnfisk er vist i Figur 2.11, der den elementære måledistansen ("elementary sampling distance", ESD) på 0,1 nmi også er gitt.. Akustisk målt tetthet av fisk er midlet innenfor ruten i angitte dybdekanaler.



Figur 2.10. Ekkogram fra Simrad EK60, 38 kHz fra området med både en sildestim, et tynt planktonlag og gode registreringer av bunnfisk. Bunnen vises her som en rød stripe på om lag 100 m dyp med dybdeskala til venstre i bildet. Fargeskalaen fra blå til rød angir ekkostyrke i dB. Nederst vises en kopi av ekkogrammet nær bunnen, men her er fiskeekkoene vist relativt til bunnen, med flat bunnlinje.

(Echogram from the Simrad EK60, 38 kHz, showing a typical example from the area with a herring school, a thin plankton layer and good registrations of demersal fish. The bottom is here shown as a red strip at approximately 100 m depth, with the depth scale to the left in the figure. The lower part shows the echogram close to the bottom, but here, the echoes of demersal fish are shown relative to the bottom, using a flat bottom line.)

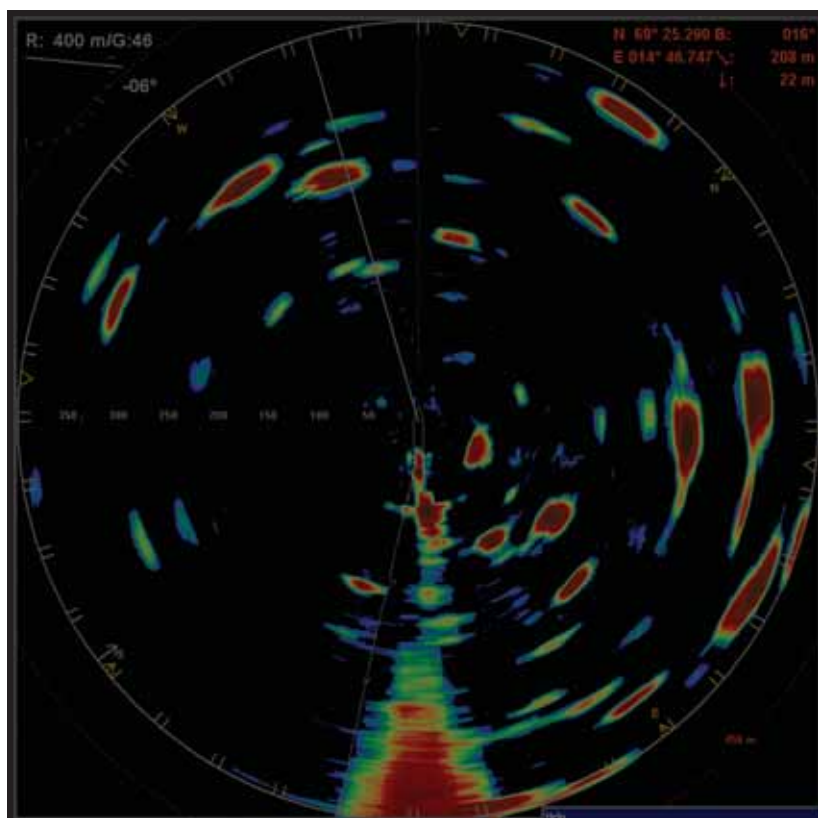


Figur 2.11. Eksempel på ekkogram med typiske tettheter av bunnfisk som viser lengden av en element-sampling-distanse (ESD) på 0,1 nautisk mil, for datalagring til database i 10 m dybdekanaler og 5 m tykke bunnkanaler for bunnfisk. Splittstrålefunksjonen for størrelsesmåling av enkeltfisk er vist til venstre.

(Echogram with typical densities of demersal fish, showing the length of one elementary sampling distance (ESD) of 0.1 nautical miles, for data storage to database in 10 m depth channels in the pelagic region and 5 m deep bottom channels for demersal fish. The split-beam function for sizing of single targets is shown in the two left-hand panels.)

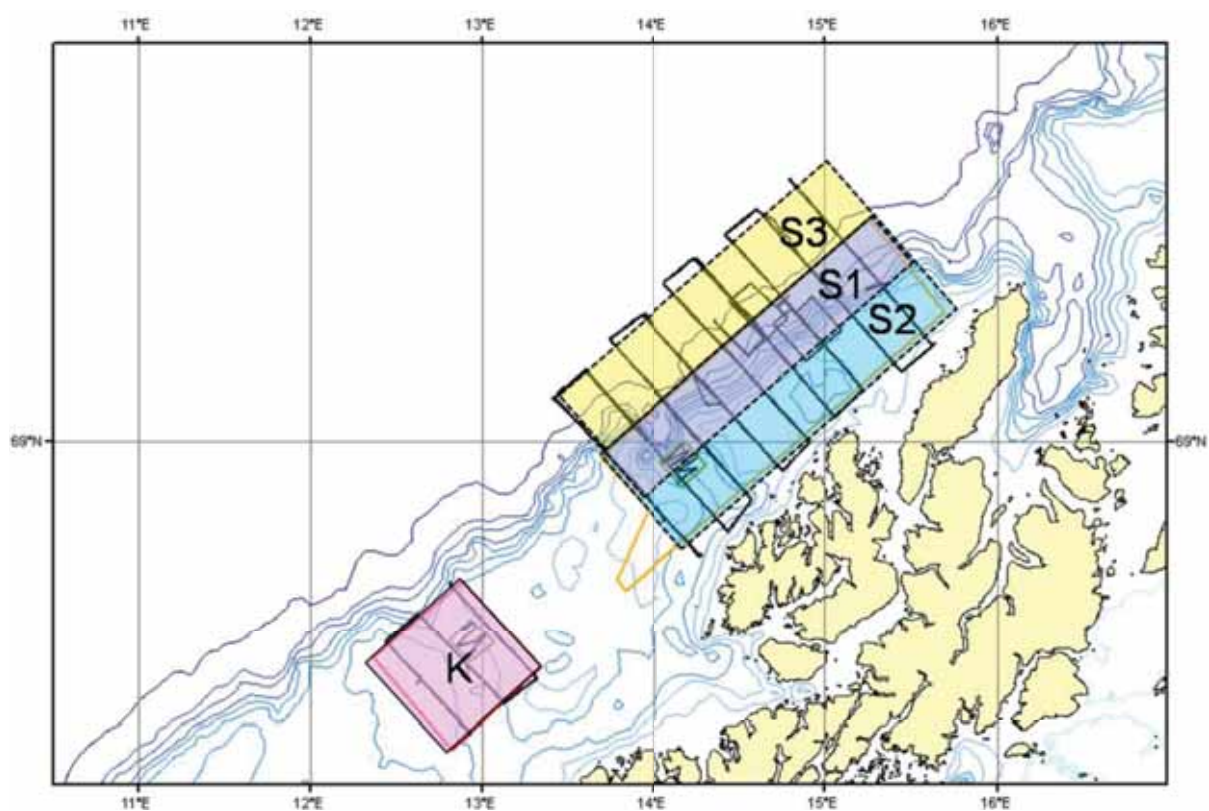
Det ble observert sildestimer i nesten hele utbredelsesområdet under første dekning, noe som ikke var forventet ettersom mesteparten av voksen NVG-sild står lenger vest i Norskehavet om sommeren. Prøvetaking viste at dette var ungsild (22-27 cm) som antagelig var på vandring mot overvintringsområdene lenger nord. Småstimer beitet nær overflaten gjennom hele døgnet, og ble tolket enkeltvis i stimbokser i LSSS. Da mesteparten av stimene ble registrert relativt grunt, og helt opp imot svingerflaten på ekkoloddet, ble SH80-sonaren startet opp for datalagring. Et eksempel på en sonarregistrering er vist i Figur 2.12.

Sonardataene er opparbeidet i en ny etterbehandlingsmodul for SH80-data i LSSS for tre av deknningene, henholdsvis før, under og etter den seismiske innsamlingen, for sammenligning med ekkolodd-data for sild. Dataene er redusert til fem transekter i hovedområdet (strata 1, 2 og 3), og alle transektene i kontroll-området (Figur 2.13). Sonaren er ikke vitenskapelig kalibrert, slik at mengden sild beregnet direkte fra sonaren bare gir en relativ indeks for mengde, men antall målte stimer er korrekt.



Figur 2.12. Skjermdump fra Simrad SH80 sonar med mange små sildestimer registrert 27. juni 2009. Sonaren har 6° tiltvinkel og registrerer og lagrer data ut til 400 meter. Ekkoene bak fartøyet er støy fra propellvann. Data fra en sirkel med radius 50 m fra fartøyet, og fra en sektor bak fartøyet er utelatt for stimanalyse.

(Screen dump from the Simrad SH80 sonar with several small herring schools, registered on June 27, 2009. The sonar beam is tilted 6° downwards and records and stores data from out to 400 m. The echo behind the vessel comes from the propeller wake. Data from a circle of 50 m surrounding the vessel, as well a sector behind the vessel, have been omitted from the school analysis.)



Figur 2.13. Strataangivelse for den akustiske dataanalysen. Strata 1, 2 og 3, samt kontrollområdet (K) er vist. *(Strata system used for acoustic data analysis. Strata 1, 2 and 3, including the control area (K), are shown.)*

3 Resultater

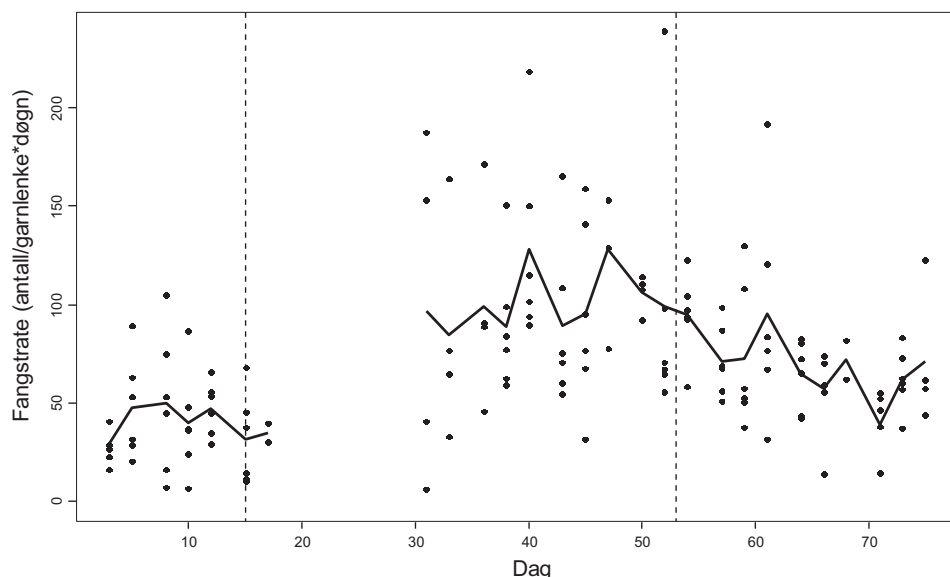
3.1 Fiskeforsøkene

Garnfangstene av blåkkeite var forholdsvis lave i perioden før den seismiske datainnsamlingen startet. Under den første delen av seismikkaktiviteten var garnbåten som fisket blåkkeite, forhindret fra å fiske fordi den kom i konflikt med de seismiske linjene. Blåkkeitefangstene som ble tatt mens den seismiske undersøkelsen foregikk, viste stor spredning, men var overveiende større enn i perioden før seismikkaktiviteten startet (Figur 3.1.1). I gjennomsnitt var fangstratene signifikant høyere i perioden med seismisk innsamling enn i perioden før, henholdsvis 95 og 41 fisk per garnlenke som utgjør mer enn en fordobling av fangstene ($p < 0,0001$; Figur 3.1.2; Tabell 3.1.1). Fangstratene i perioden etter den seismiske datainnsamlingen gikk noe ned igjen, men i gjennomsnitt var fangstene fortsatt høyere enn i perioden før innsamlingen startet (70 fisk per garnlenke).

Tabell 3.1.1. Gjennomsnittlige fangstrater (antall per garnlenke og antall per stamp) i periodene før, under og etter seismikkinnsamlingen.

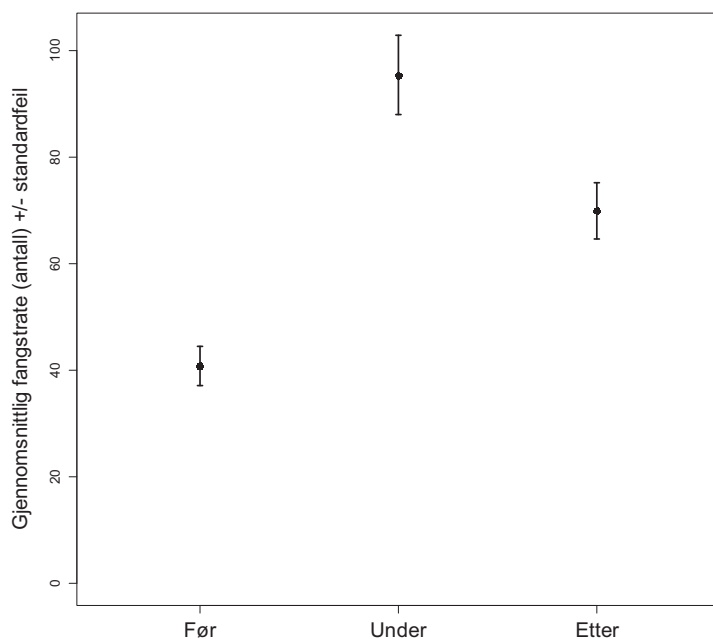
(Mean catch rates (numbers per fleet and numbers per tub) in the periods before, during and after the seismic activity.)

Periode	Blåkkeite, garn	Blåkkeite, line	Uer, garn	Sei, garn	Lange, uergarn	Lange, seigarn	Hyse, line
Før	41	63	174	60	24	9	49
Under	95	53	323	49	36	16	37
Etter	70	56	251	49	20	5	45



Figur 3.1.1. Tidsutvikling i garnfangstene av blåkkeite gjennom forsøksperioden. Hvert punkt viser antall fisk pr. garnlenke pr. døgn, og kurven viser gjennomsnittet for hvert sjøvær. Oppholdet i fisket dag 20 til 30 var forårsaket av arealkollisjon med det seismiske fartøyet. De stiplede linjene angir tidspunktet for henholdsvis starten og slutten på den seismiske datainnsamlingen.

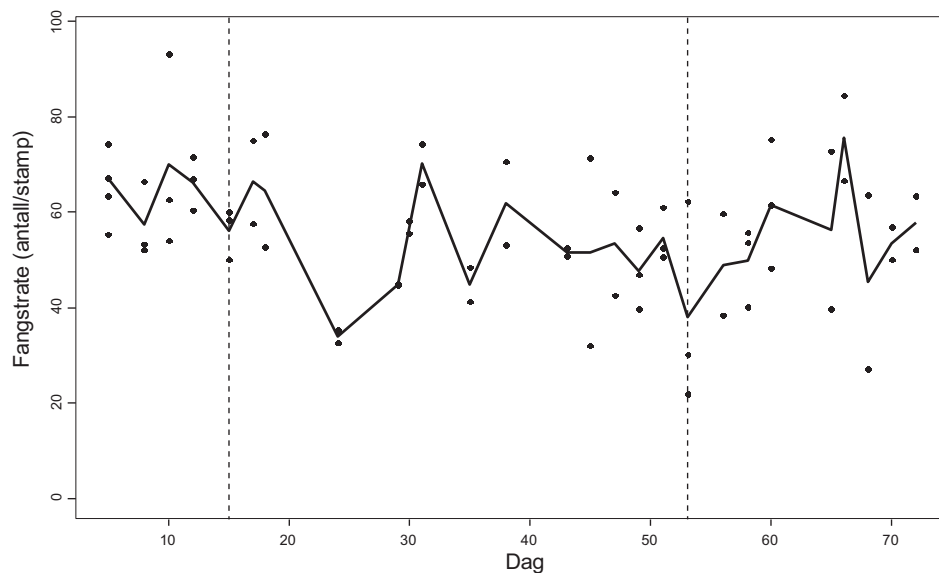
(Development of gillnet catches of Greenland halibut in the course of the experimental period. Each dot shows the number of fish caught per fleet per day, and the graph shows the average catch for each voyage. The halt in fishing between days 20 and 30 was caused by area collision with the seismic survey. The dotted lines show the time of start and stop respectively, of the seismic activity.)



Figur 3.1.2. Gjennomsnittlig fangstrate ($\pm$ SF) for garnfangstene av blåkveite i periodene før, under og etter seismikkinnsmelingen.

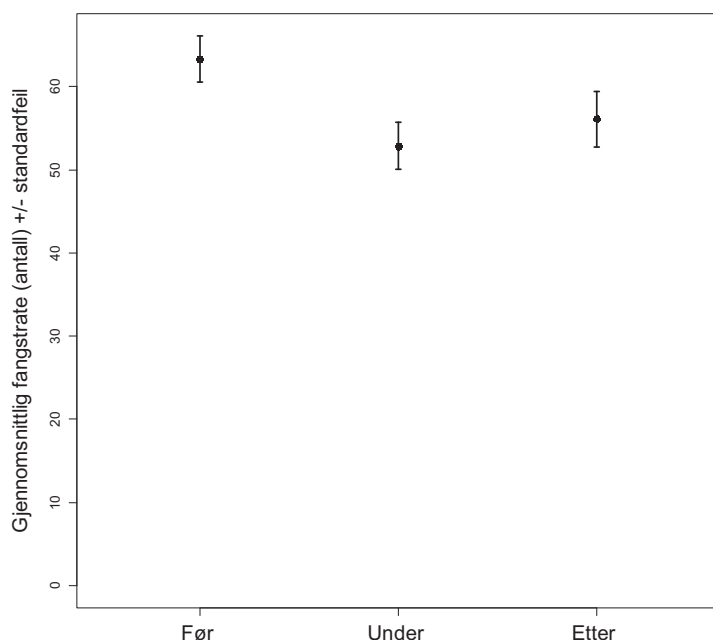
(Mean catch rates ($\pm$ SE) for gillnet catches of Greenland halibut before, during and after the seismic activity.)

Linefangstene av blåkveite var relativt jevne i perioden før seismikkdatainnsamlingen startet (Figur 3.1.3). I perioden med seismikkaktivitet var det større variasjon i fangstratene og det var mange observasjoner med lavere fangstrater sammenlignet med perioden før innsamlingen startet. I gjennomsnitt var fangstratene 16 % lavere i seismikkperioden sammenlignet med perioden før (henholdsvis 53 og 63 fisk per stamp; $p = 0,05$; Figur 3.1.4; Tabell 3.1.1). Det var ingen signifikant forskjell mellom fangstratene i perioden før og etter den seismiske undersøkelsen.



Figur 3.1.3. Tidsutvikling i linefangstene av blåkveite gjennom forsøksperioden. Hvert punkt viser antall fisk pr. stamp pr. dag, og kurven viser gjennomsnittet for hvert sjøvær. De stiplete linjene angir tidspunktet for henholdsvis starten og slutten på den seismiske datainnsamlingen.

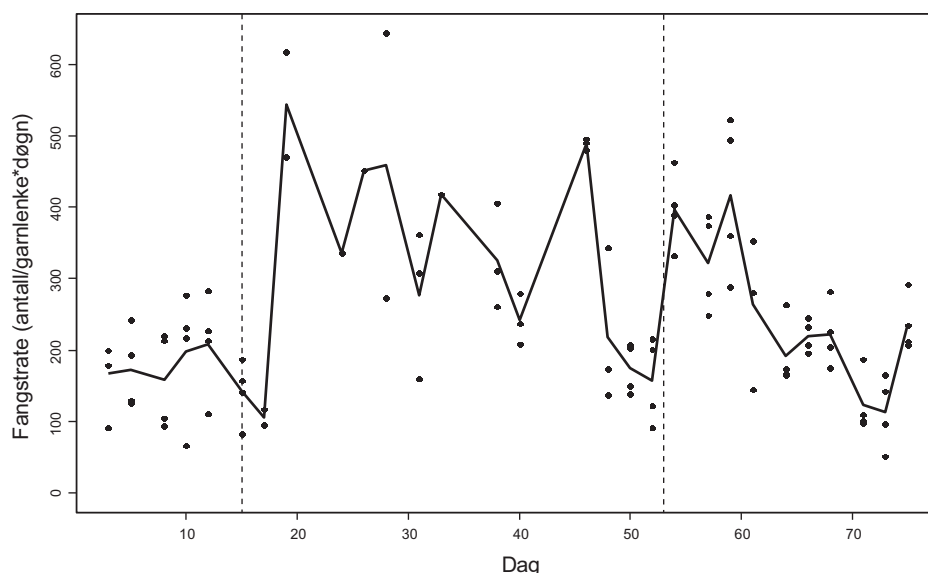
(Development of longline catches of Greenland halibut in the course of the experimental period. Each dot shows the number of fish caught per tub per day, and the graph shows the average catch for each voyage. The dotted lines show the time of start and stop respectively, of the seismic activity.)



Figur 3.1.4. Gjennomsnittlig fangstrate ($\pm$ SF) for linefangstene av blåkkeite i periodene før, under og etter seismikkinnsamlingen.

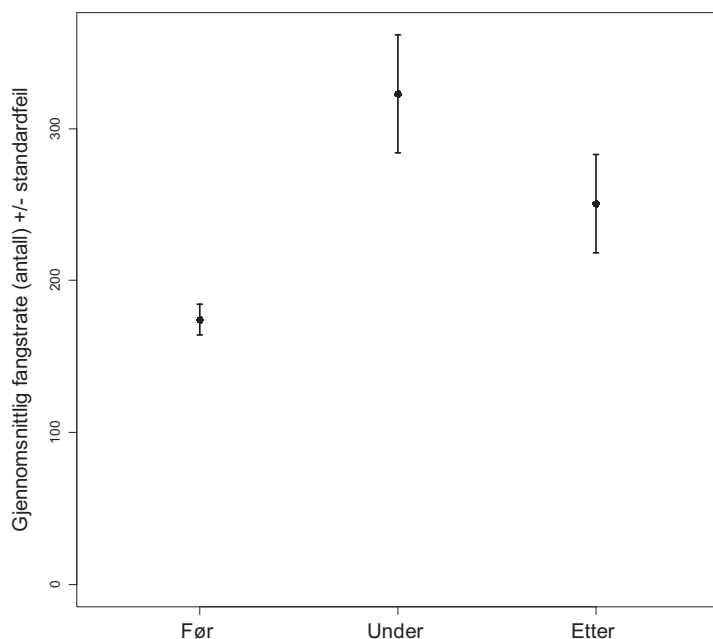
(Average catch rate ($\pm$ SE) for longline catches of Greenland halibut before, during and after the seismic activity.)

Garnfangstene av uer viste en økning da den seismiske datainnsamlingen startet (Figur 3.1.5). Fangstratene var høye gjennom hele perioden med seismikkaktivitet, mens de viste en nedadgående tendens etter at den seismiske undersøkelsen var avsluttet. De siste dagene av forsøksperioden var fangstratene for uer på omtrent samme nivå som under perioden før seismikkaktiviteten. Sammenlignet med perioden før den seismiske undersøkelsen startet, var fangstratene signifikant høyere både i perioden med seismisk innsamling (86 %) og i perioden etter innsamling (44 %), henholdsvis 174, 323 og 251 uer per garnlenke ($p < 0,01$ og $p < 0,05$; Figur 3.1.6; Tabell 3.1.1).



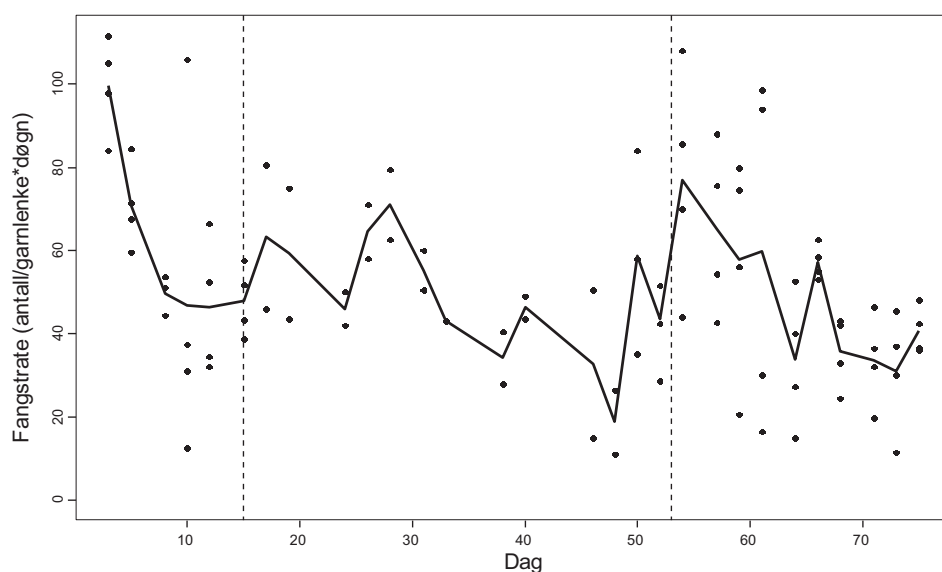
Figur 3.1.5. Tidsutvikling i garnfangstene av uer gjennom forsøksperioden. Hvert punkt viser antall fisk pr. garnlenke pr. døgn, og kurven viser gjennomsnittet for hvert sjøvær. De stiplede linjene angir tidspunktet for henholdsvis starten og slutten på den seismiske datainnsamlingen.

(Development of gillnet catches of redfish in the course of the experimental period. Each dot shows the number of fish caught per fleet per day, and the graph shows the average catch for each voyage. The dotted lines show the time of start and stop respectively, of the seismic activity.)



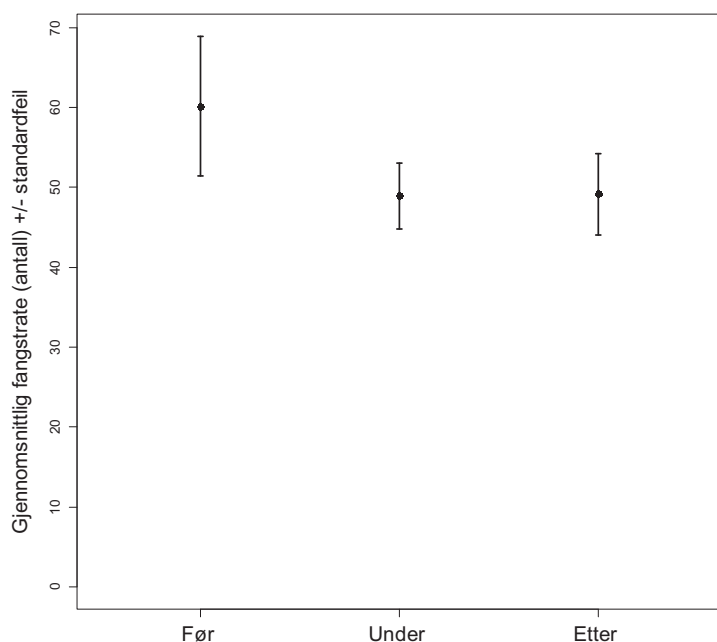
Figur 3.1.6. Gjennomsnittlig fangstrate ($\pm$ SE) for garnfangstene av uer i periodene før, under og etter seismikkinnsamlingen.
(Mean catch rate ($\pm$ SE) for gillnet catches of redfish before, during and after the seismic activity.)

Garnfangstene av sei er vist i Figur 3.1.7. Det var en tendens til at fangstene avtok i løpet av seismikkperioden, og de gjennomsnittlige fangstratene før og under seismikkinnsamlingen var henholdsvis 60 og 49 sei per garnlenke (Tabell 3.1.1). Det var imidlertid store variasjoner i fangstratene gjennom hele forsøksperioden, og det var ingen signifikante forskjeller i mellom de tre periodene (Figur 3.1.8).



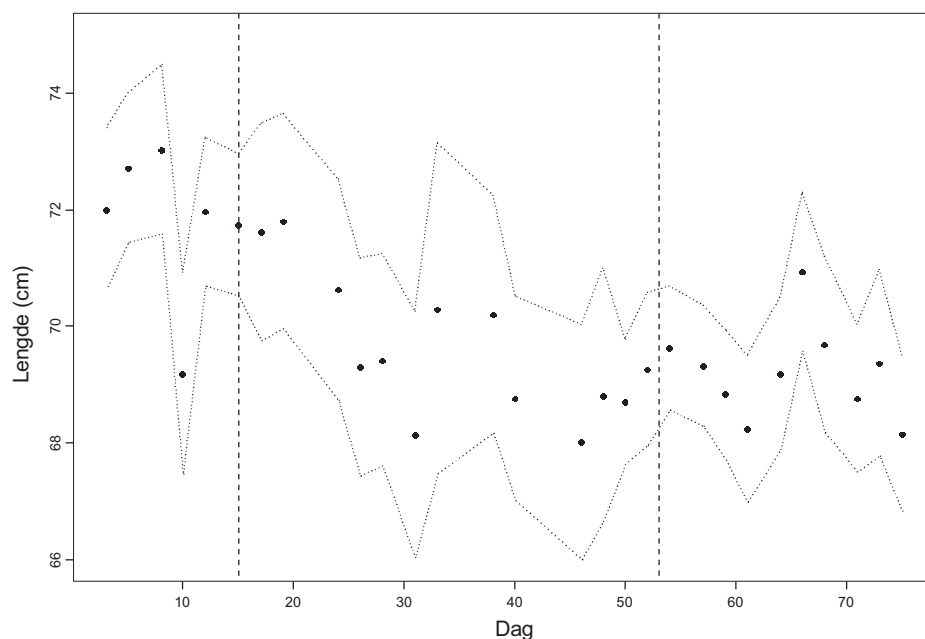
Figur 3.1.7. Tidsutvikling i garnfangstene av sei gjennom forsøksperioden. Hvert punkt viser antall fisk pr. garnlenke pr. døgn, og kurven viser gjennomsnittet for hvert sjøvær. De stiplede linjene angir tidspunktet for henholdsvis starten og slutten på den seismiske datainnsamlingen.

(Development of gillnet catches of saithe throughout the experimental period. Each dot shows the number of fish caught per fleet per day, and the graph shows the average catch for each voyage. The dotted lines show the time of start and stop respectively, of the seismic activity.)



Figur 3.1.8. Gjennomsnittlig fangstrate ($\pm$ SE) for garnfangstene av sei i periodene før, under og etter seismikkinnsamlingen.
(Mean catch rate ($\pm$ SE) for gillnet catches of saithe before, during and after the seismic activity)

Størrelsen på seien viste en tendens til å avta i løpet av perioden med seismisk innsamling. Gjennomsnittslengden var signifikant lavere i seismikkperioden sammenlignet med perioden før (henholdsvis 70,1 og 72,4 cm; $p < 0,0001$; Figur 3.1.9).

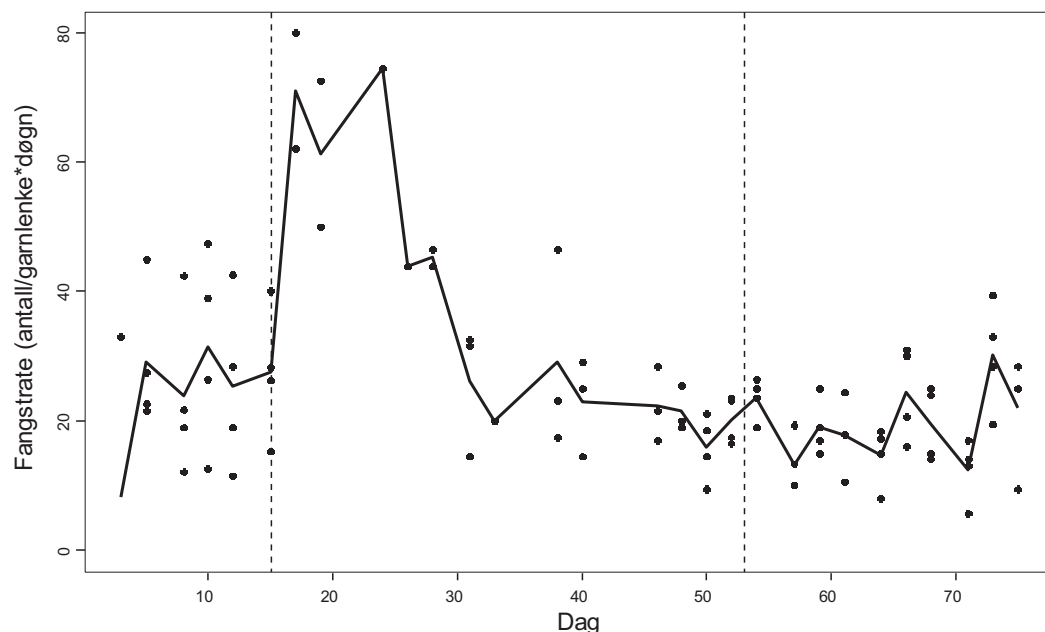


Figur 3.1.9. Gjennomsnittslengde ($\pm$ konfidensintervall) for sei i garnfangstene gjennom forsøksperioden. De stiplede linjene angir tidspunktet for henholdsvis starten og slutten på den seismiske datainnsamlingen.

(Mean length of individual saithe ($\pm$ confidence interval) caught by gillnets in the course of the experimental period. The dotted lines show the time of start and stop respectively, of the seismic activity.)

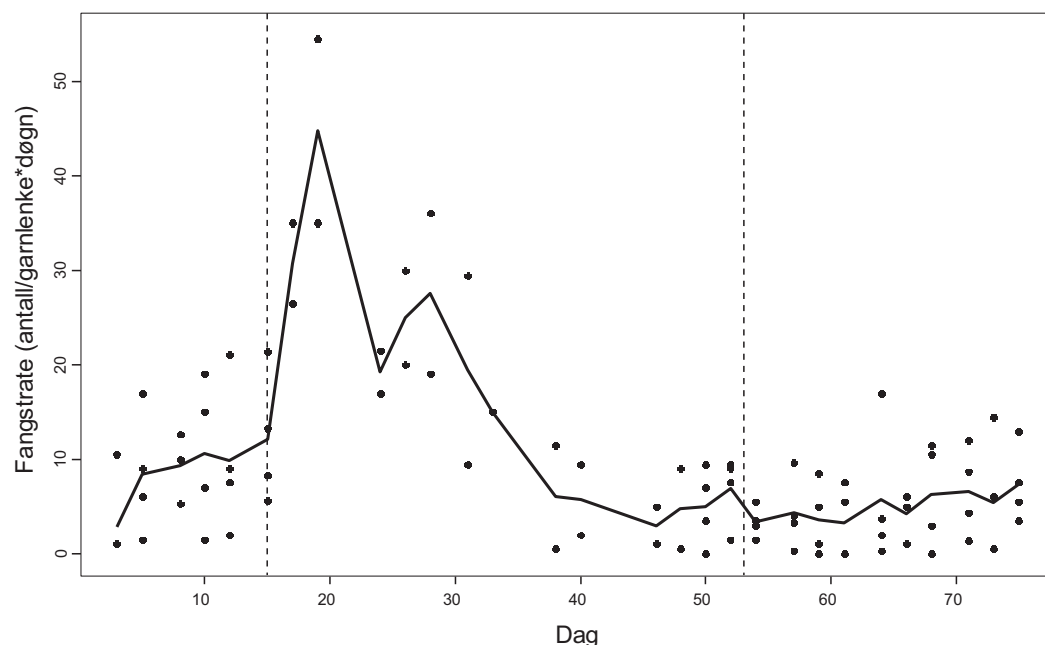
Bifangstene av lange viste en umiddelbar økning både for uer- og seigarn når seismikkaktiviteten startet (Figur 3.1.10 og 3.1.11, Tabell 3.1.1). Etter noen dager med seismikkaktivitet gikk fangstratene ned igjen og de var signifikant lavere i perioden etter den seismiske innsamlingen sammenlignet med perioden med innsamling ($p < 0,05$ for uergarn og

$p < 0,01$ for seigarn; Figur 3.1.12 og 3.1.13). For seigarn, men ikke for uergarn, var det også signifikant forskjell mellom fangstratene etter og før seismikkinnsamlingen ($p < 0,05$). Forskjellene i gjennomsnittlig fangstrate mellom de tre periodene var større for seigarn enn for uergarn (Tabell 3.1.1)



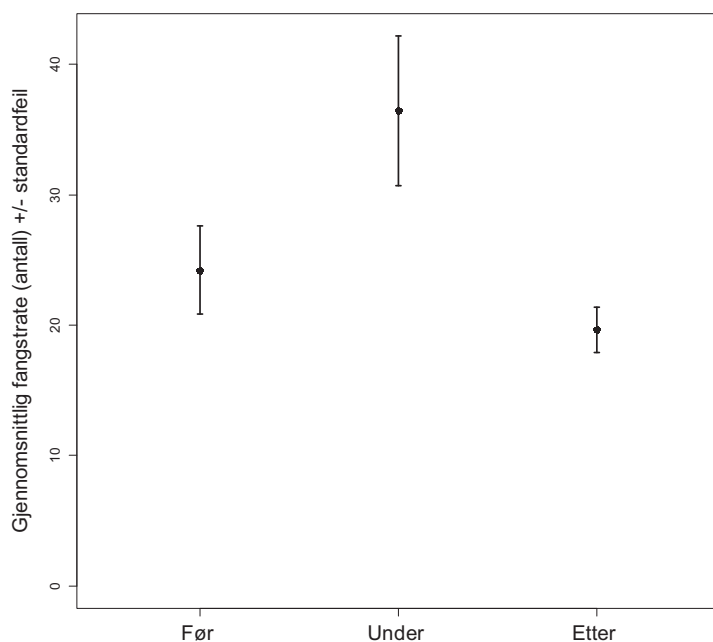
Figur 3.1.10. Tidsutvikling i garnfangstene av lange tatt som bifangst i uergarn gjennom forsøksperioden. Hvert punkt viser antall fisk pr. garnlenke pr. døgn, og kurven viser gjennomsnittet for hvert sjøvær.

(Development of gillnet catches of ling caught as bycatch in redfish gillnets in the course of the experimental period. Each dot shows the number of fish caught per fleet per day, and the graph shows the average catch for each voyage.)



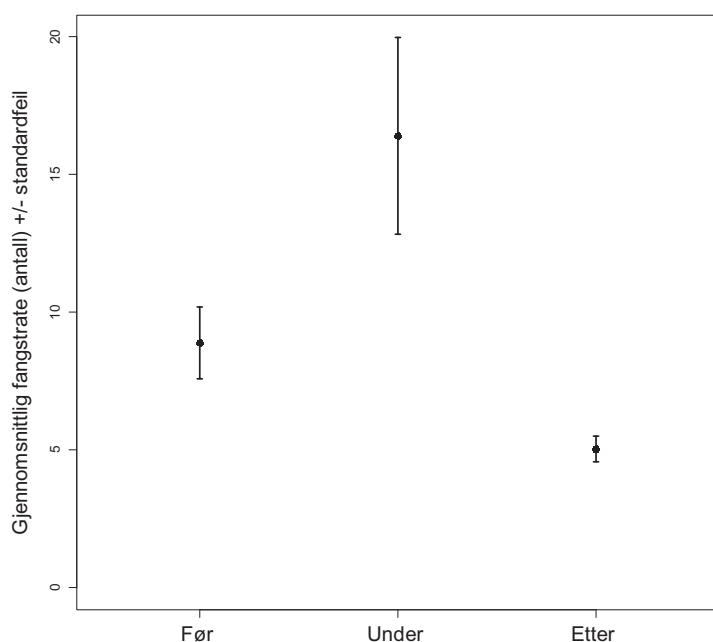
Figur 3.1.11. Tidsutvikling i garnfangstene av lange tatt som bifangst i seigarn gjennom forsøksperioden. Hvert punkt viser antall fisk pr. garnlenke pr. døgn, og kurven viser gjennomsnittet for hvert sjøvær.

(Development of gillnet catches of ling caught as bycatch in saithe gillnets in the course of the experimental period. Each dot shows the number of fish per fleet per day, and the graph shows the average catch for each voyage.)



Figur 3.1.12. Gjennomsnittlig fangstrate ($\pm$ SE) for lange tatt som bifangst i uergarn i periodene før, under og etter seismikkinnsamlingen.

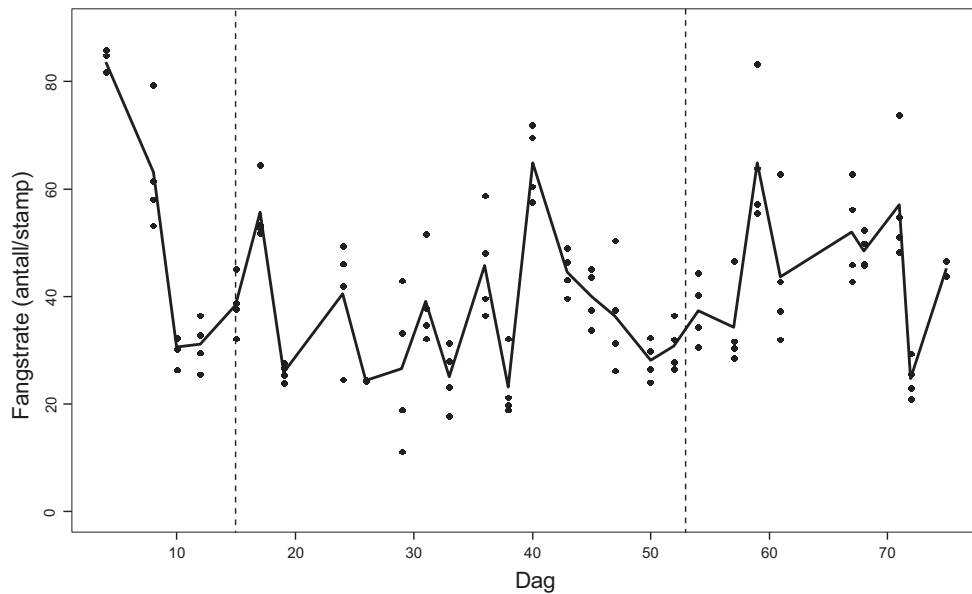
(Average catch rate ($\pm$ SE) for ling caught as bycatch in redfish gillnets before, during and after the seismic activity.)



Figur 3.1.13. Gjennomsnittlig fangstrate ($\pm$ SE) for lange tatt som bifangst i seigarn i periodene før, under og etter seismikkinnsamlingen.

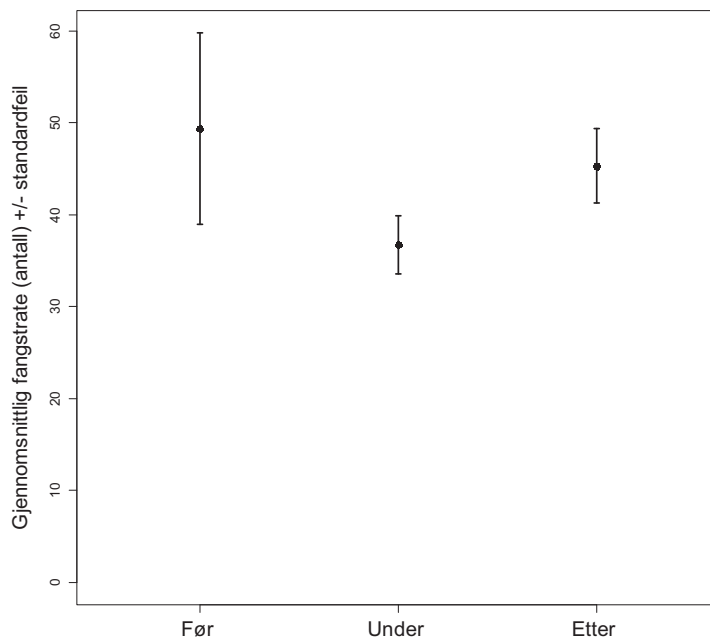
(Mean catch rate ($\pm$ SE) for ling caught as bycatch in saithe gillnets before, during and after the seismic activity.)

Hysefangstene på line viste store variasjoner gjennom hele forsøksperioden (Figur 3.1.14). Fangstratene viste ingen tendens til forandring når den seismiske innsamlingen startet. I den siste delen av perioden med seismikkaktivitet var det mindre variasjoner og en tendens til nedgang i fangstratene. Gjennomsnittlig fangstrate var 25 % lavere under hele perioden med seismisk innsamling sett under ett (37 hyse per stamp) sammenlignet med perioden før den seismiske datainnsamlingen startet (49 hyse), men denne forskjellen var ikke signifikant (Figur 3.1.15).



Figur 3.1.14. Tidsutvikling i linefangstene av hyse gjennom forsøksperioden. Hvert punkt viser antall fisk pr. stamp pr. dag, og kurven viser gjennomsnittet for hvert sjøvær.

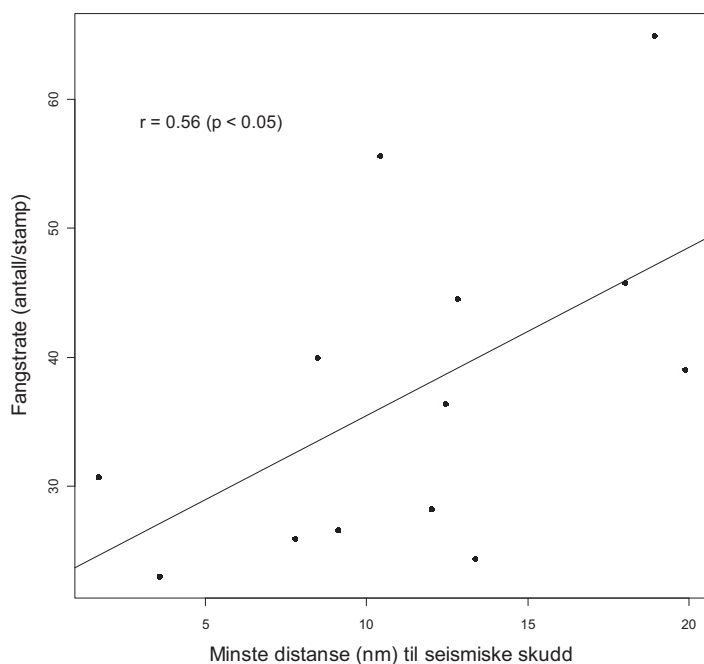
(Development of gillnet catches of haddock in the course of the experimental period. Each dot shows the number of fish caught per tub per day, and the graph shows the average catch for each voyage.)



Figur 3.1.15. Gjennomsnittlig fangstrate ($\pm$ SF) for linefangstene av hyse i periodene før, under og etter seismikkinnsamlingen.

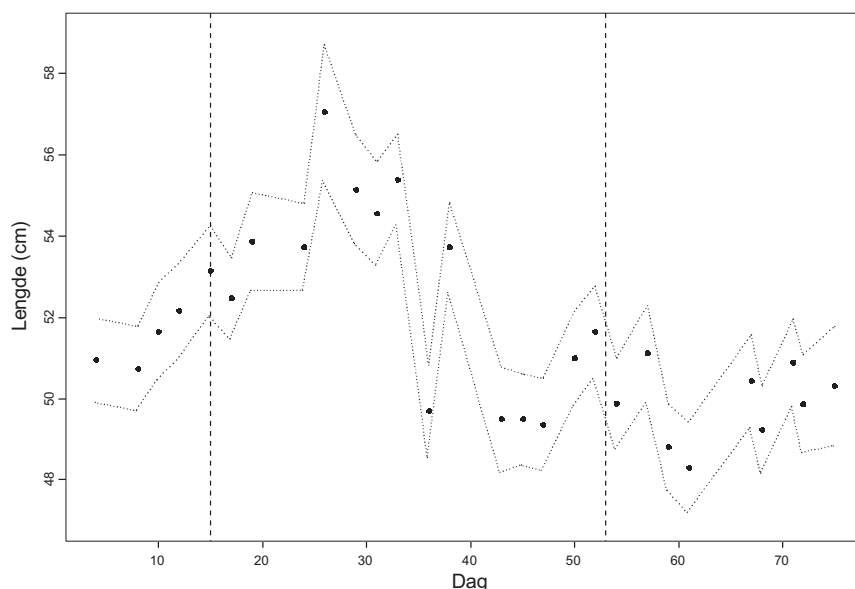
(Mean catch rate ($\pm$ SE) for longline catches of haddock before, during and after the seismic activity.)

Det var først mot slutten av seismikkperioden at det seismiske fartøyet opererte i nærheten av det området hvor hyselinebåten fisket. En korrelasjon mellom de gjennomsnittlige fangstratene i perioden med seismikkaktivitet og avstanden til det seismiske fartøyet er vist i Figur 3.1.16. Avstanden er her gitt som minimumsavstanden mellom fartøyet og hyselinefeltet i tidsperioden fra kl. 17.00 den aktuelle dagen og fram til kl. 04.00 når halingen av linene startet. Denne korrelasjonen er positiv og signifikant, og viser at fangstene av hyse gikk ned når det seismiske fartøyet nærmet seg linefeltet.



Figur 3.1.16. Gjennomsnittslengde ($\pm$ konfidensintervall) for hyse i linefangstene gjennom forsøksperioden (*Mean length of individual haddock ($\pm$ confidence interval) caught by longlines in the course of the experimental period.*)

Størrelsessammensetningen i linefangstene forandret seg gjennom forsøksperioden (Figur 3.1.17). Gjennomsnittslengden for hyse var høyere midtveis i perioden for seismikkdatainnsamlingen og lavere mot slutten av denne perioden sammenlignet med perioden før innsamlingen startet. Det var en liten, men statistisk signifikant økning i gjennomsnittslengden i seismikkperioden sammenlignet med perioden før seismikkinn-samlingen (henholdsvis 52,7 og 52,0 cm; $p < 0,01$). I perioden etter seismikkinn-samlingen var gjennomsnittslengden for hyse 50,3 cm og signifikant lavere enn før innsamlingen ($p < 0,0001$).



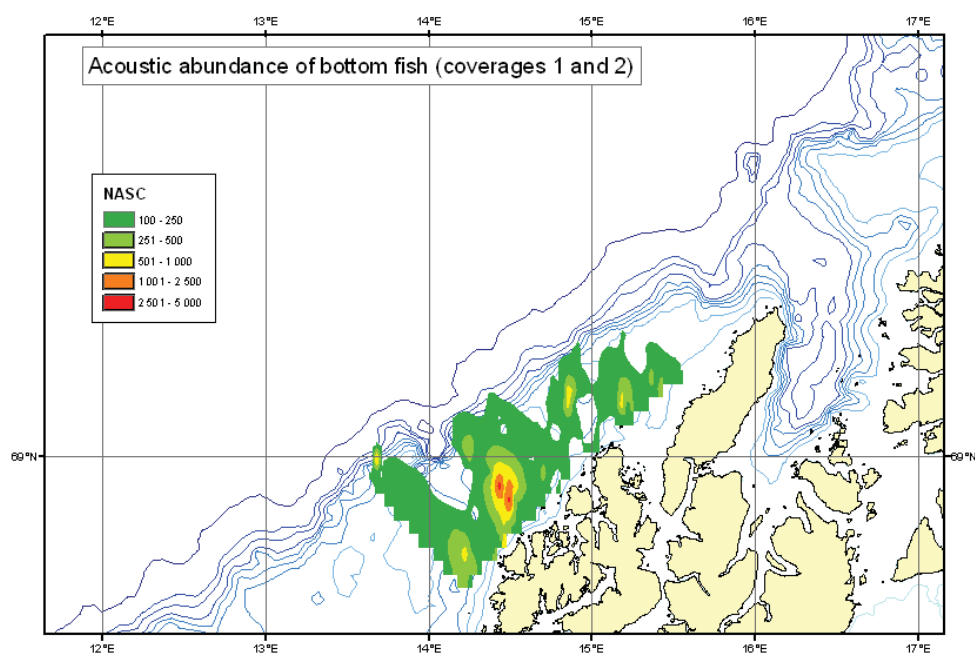
Figur 3.1.17. Korrelasjon mellom fangstrater for hyse tatt med line og minste avstand til luftkanonfeltet i 12-timersperioden før linene ble halt. De stiplede linjene angir tidspunktet for henholdsvis starten og slutten på den seismiske datainnsamlingen.

(*Correlation between catch rates for haddock caught by longlines and shortest distance to the seismic air-gun array during the 12 h before lines were hauled. The dotted lines show the time of start and stop respectively, of the seismic activity.*)

3.2 Akustisk kartlegging

3.2.1 Akustisk kartlegging med ekkolodd

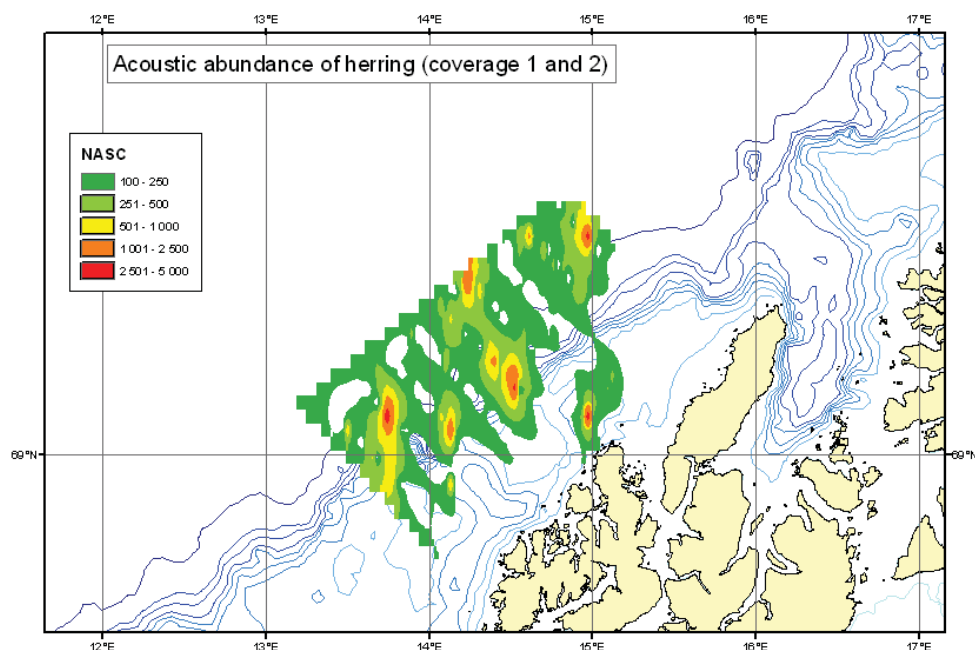
Fordelingen av bunnfisk var ujevn i undersøkelsesområdet. Fordeling av bunnfisk før den seismiske undersøkelsen startet, basert på alle målinger fra dekning 1 og 2, er vist i Figur 3.2.1. Det ble registrert betydelig mer bunnfisk (hovedsakelig hyse og sei) i den søndre og indre delen av området, enn lengre ut mot kanten. Det ble registrert gode stimforekomster (ca. 1000 t/nmi²) av sei og hyse i deler av området, mens bunnfiskfordelingen ellers kan karakteriseres som spredt med om lag 20 t/nmi² i gjennomsnitt innenfor seismikkområdet, og noe lavere, ca. 15 t/nmi², inne i selve området der seismikkinnsamlingen ble utført.



Figur 3.2.1. Grov fordeling av bunnfisk på dekning 1 og 2, før den seismiske undersøkelsen. Arealekkmengde (NASC) er vist. Grønn – lave tettheter, rød – høye tettheter.

(Approximate distribution of demersal fish during Coverage 1 and 2, before the seismic investigation. Area echo abundance (NASC) is shown. Green – low density, red – high density.)

Fordelingsmønsteret for sild er vist i Figur 3.2.2. Hovedmengden av sild ble registrert langs sokkelkanten og til dels utenfor kanten, helt ut til ytterkanten av undersøkelsesområdet. Den flekkvise fordelingen av sildestimer er mer et uttrykk for bidrag fra enkeltstimer på ekkoloddet enn på variasjon i fordelingen. Mengdemålingen av sild med ekkolodd viste på første dekning om lag 60 t/nmi² inne i selve seismikkområdet (strata 1), ca. 10 t/nmi² i området inn mot kysten (strata 2), ca. 40 t/nmi² i området utenfor kanten (strata 3), og mest i kontrollområdet hvor det ble registrert ca. 120 t/nmi². I området utenfor kanten (strata 3) ble det registrert tettheter på om lag 20 t/nmi² kolmule og 7-10 t/nmi² mesopelagisk fisk.



Figur 3.2.2. Grov fordeling av sild registrert med ekkolodd fra dekning 1 og 2, før den seismiske undersøkelsen. Arealekkmengde (NASC) er vist. Grønn – lave tettheter, rød – høye tettheter.

(Rough distribution of herring densities during coverage 1 and 2, before the seismic investigation. Area echo abundance Acoustically measured area density (NASC) is shown. Green- low density, red- high density.)

Ved å analysere data for de enkelte områdene (strata 1, 2 og 3) for hver dekning, kan en sammenligne akustisk mengde fisk før (dekning 1 og 2), under (dekning 3 og 4) og etter (dekning 5) den seismiske datainnsamlingen for hver artskategori. Hvis en antar at kontrollområdet har lang nok avstand fra området for den seismiske innsamlingen, kan en bruke dette som et referanseområde for tidsutviklingen av fiskemengde i et område upåvirket av seismikkaktivitet.

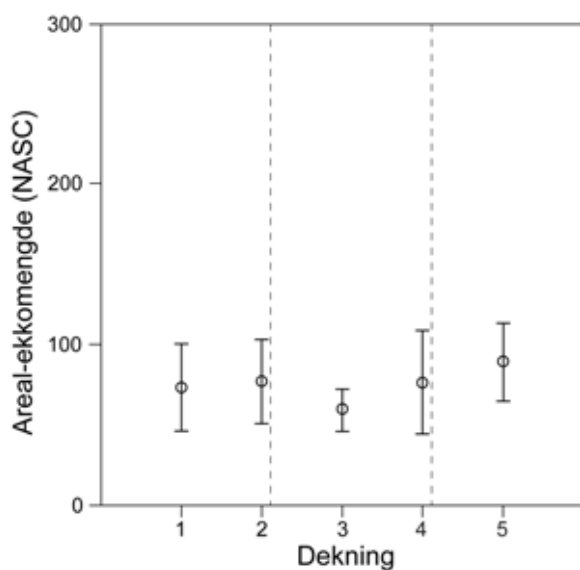
3.2.2 Seismikkområdet - strata 1

Det sentrale området for denne undersøkelsen er området der selve seismikkinnsamlingen ble gjennomført (strata 1). Figur 3.2.3 og Tabell 3.2.1 viser målt gjennomsnittsverdi av arealekkmengde av bunnfisk (torsk + hyse + sei + uer + andre) for hver dekning i strata 1. Midlere arealekkmengde var relativt jevn i de to dekningene før seismikkinnsamlingen startet med middelverdier på 73 og 77 m²/nmi². Middeltetthetene var 60 og 76 m²/nmi² i seismikkperioden og 89 m²/nmi² etter at seismikkinnsamlingen var avsluttet. Den statistiske testen som er benyttet, gir ikke grunnlag for å forkaste hypotesen om at tettheten av bunnfisk var like stor i alle dekningene ($p = 0,49$). Tabell 3.2.1 viser at mengden av bunnfisk før seismikkinnsamlingen startet, hovedsakelig besto av hyse (36 %), andre arter (vassild og øyepål, 29 %) og sei (21 %), mens mengden av torsk og uer utgjorde bare 8 og 6 % av totalmengde bunnfisk. Selv om vi observerte en viss reduksjon både for sei og "andre" i seismikkperioden (dekning 3 og 4) er heller ikke disse signifikante. Mengden av sei økte etter seismikkinnsamlingen, men variabiliteten var høy. Mengden av hyse, torsk og uer var relativt jevn.

Tabell 3.2.1. Strata 1 (seismikkområdet). Midlere akustisk tetthet av fisk uttrykt som Nautical Area Scattering Coefficient, (NASC), [m^2/nmi^2](arealekkmengde) med standard feil (SF) for de målte arts-kategoriene. Sannsynlighet beregnet fra Kruskal-Wallis-test (KW-test) er også vist.

Strata 1 (seismic area). Mean acoustic density of fish expressed as Nautical Area Scattering Coefficient, (NASC), [m^2/nmi^2] with standard error (SE) for the measured fish categories. Probability from a Kruskal-Wallis test (KW-test) is also shown.

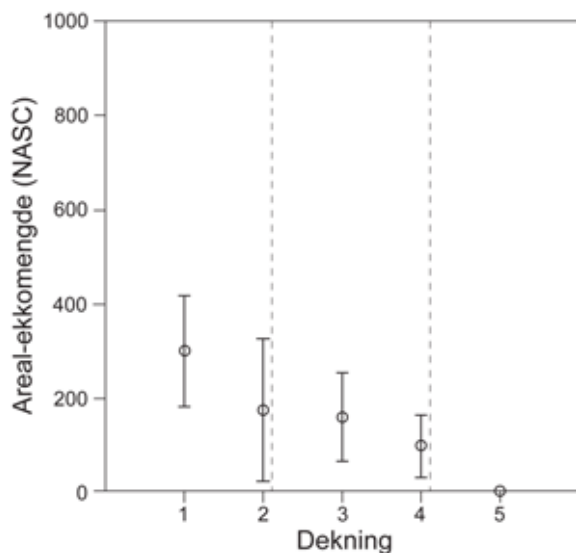
	Før seismikk Dekning		Under seismikk Dekning		Etter seismikk Dekning	KW (P)
	1	2	3	4	5	
Bunnfisk	73,4(24,9)	77,1(24,2)	60,0(12,1)	76,5(29,8)	89,2(22,3)	0,49
Sei	17,4(6,7)	13,8(5,7)	10,7(3,4)	10,9(6,0)	36,3(9,9)	0,24
Uer	3,9(3,9)	4,9(4,9)	5,0(3,3)	3,6(2,8)	NM	0,57
Hyse	28,9(15,9)	26,1(13,8)	24,6(6,3)	40,0(14,9)	39,2(23,2)	0,65
Torsk	7,0(3,8)	4,4(0,9)	5,9(1,6)	11,7(4,5)	7,3(2,7)	0,75
Andre	16,2(5,2)	27,9(10,4)	13,8(5,4)	10,3(9,3)	6,3(2,6)	0,13
Sild	299(117)	174(150)	159(92)	99(66)	4(3)	0,07*



Figur 3.2.3. Midlere arealekkmengde (NASC) av bunnfisk i strata 1 for dekningene 1 og 2 (før den seismiske undersøkelsen), 3 og 4 (under den seismiske undersøkelsen) og 5 (etter den seismiske undersøkelsen). ± 1 standard feil (SF) er vist. For enkeltarterer refereres til Tabell 3.2.1.

(Mean area echo abundance (NASC) of demersal fish in stratum 1 for coverage 1 and 2 (before the seismic survey), 3 and 4 (during the survey) and 5 (after the survey). ± 1 Standard error (SE) is shown. For individual species, see Table 3.2.1.)

Det ble registrert spredte forekomster av sild i hele undersøkelsesområdet, og inne i strata 1 målte vi en gradvis reduksjon av sildemengden fra 299 og 174 m^2/nmi^2 før seismikkinnsamlingen startet til 159 og 99 m^2/nmi^2 under seismikkinnsamlingen til bare 4 m^2/nmi^2 etter innsamlingen (Figur 3.2.4, Tabell 3.2.1). Forskjellene er nesten signifikant ($p = 0,07$), og indikerer derfor at mengden av sild ikke var den samme i alle periodene.



Figur 3.2.4. Midlere arealekkomengde (NASC) av sild i strata 1 for dekningene 1 og 2 (før den seismiske undersøkelsen), 3 og 4 (under den seismiske undersøkelsen) og 5 (etter den seismiske undersøkelsen). ± 1 SF er vist.

(Mean area echo abundance (NASC) of herring in stratum 1 for coverage 1 and 2 (before the seismic survey), 3 and 4 (during the survey) and 5 (after the survey). ± 1 SE is shown.)

3.2.3 Området innenfor på innsiden av seismikkområdet - strata 2

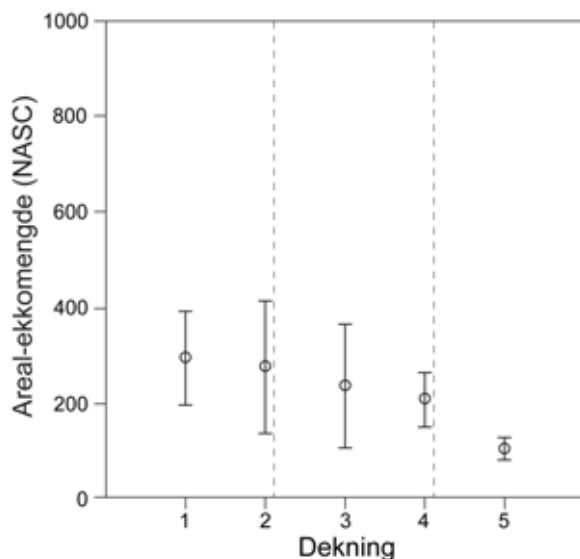
Totalmengden av bunnfisk målt akustisk, var mer enn tre ganger høyere i dette området enn for strata 1, (Figur 3.2.5, Tabell 3.2.2), med en middeltetthet før den seismiske undersøkelsen startet på om lag $285 \text{ m}^2/\text{nmi}^2$ (57 t/nmi^2). Mesteparten av dette var hyse (47 %) og sei (34 %). Selv om vi ser en viss reduksjon under og etter innsamlingen, er forskjellen ikke signifikant ($p = 0,55$). For sei var det imidlertid en signifikant reduksjon i mengde (Figur 3.2.6), med middelmengder på henholdsvis 133, 63, 18, 23 og $23 \text{ m}^2/\text{nmi}^2$ for de fem dekningene ($p = 0,01$). Denne reduksjonen i fisketetthet skjedde i perioden med seismisk innsamling. Mengden av hyse, uer, torsk og andre var relativt jevne, slik at tendensen til reduksjonen i totalmengde bunnfisk må skyldes reduksjonen i mengde sei.

Tabell 3.2.2. Strata 2 (på innsiden av seismikkområdet). Midlere arealekkomengde av fisk uttrykt som nautical area scattering coefficient, (NASC), [m^2/nmi^2] med standard feil (SF) for de målte artskategoriene.

Sannsynlighet beregnet fra Kruskal-Wallis-test (KW-test) er vist.

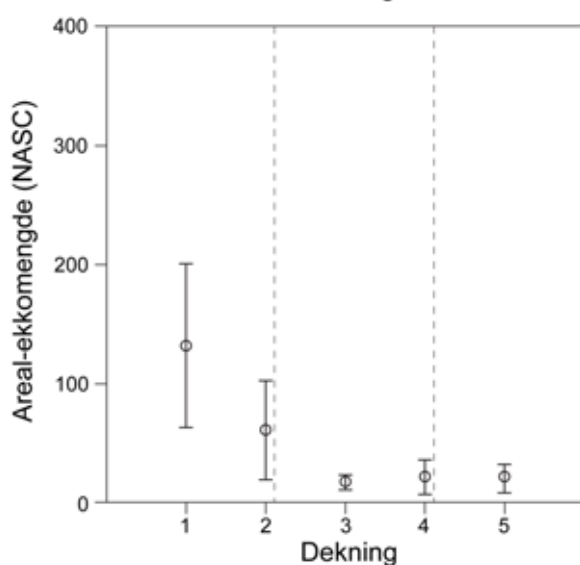
(Stratum 2 (inside the seismic area). Mean area echo abundance of fish expressed as nautical area scattering coefficient, (NASC), [m^2/nmi^2] with standard error of mean (SEM) for the measured fish categories. Probability from a Kruskal-Wallis test (KW test) is shown.)

	Før seismikk Dekning		Under seismikk Dekning		Etter seismikk Dekning	KW (P)
	1	2	3	4	5	
Bunnfisk	294,8(98,8)	276,5(139,2)	235,3(130,4)	207,5(57,3)	104,0(22,9)	0,55
Sei	133,4(68,2)	62,5(41,4)	18,4(5,4)	23,3(14,5)	22,5(11,8)	0,01*
Uer	0,1(0,1)	0,1(0,1)	0	2,4(1,9)	0	NM
Hyse	114,9(68,9)	152,0(111,0)	171,3(121,2)	114,2(32,5)	55,4(15,1)	0,37
Torsk	27,1(18,3)	10,8(2,1)	14,1(4,8)	38,2(11,9)	9,7(2,2)	0,38
Andre	19,4(7,0)	51,2(25,8)	31,5(12,3)	29,2(25,2)	16,3(4,3)	0,37
Sild	80(59)	48(25)	1(1)	3(2)	19(13)	0,24



Figur 3.2.5. Midlere arealekkomengde (NASC) av bunnfisk i strata 2 for dekningene 1 og 2 (før den seismiske undersøkelsen), 3 og 4 (under den seismiske undersøkelsen) og 5 (etter den seismiske undersøkelsen). ± 1 SF er vist. For enkeltarterer refereres til Tabell 3.2.2.

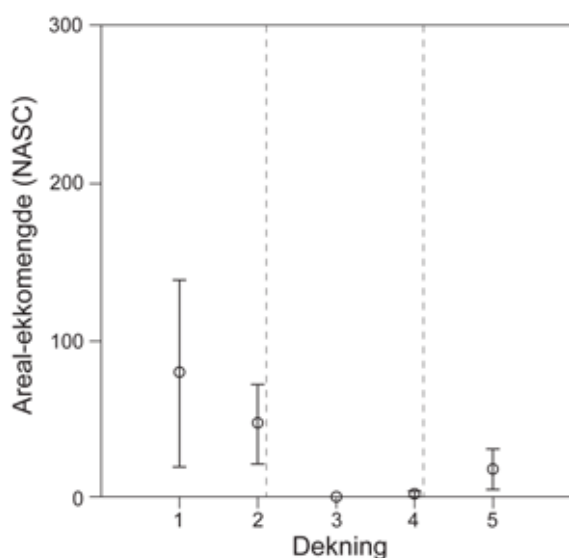
(Mean area echo abundance (NASC) of demersal fish in stratum 2 for coverage 1 and 2 (before the seismic survey), 3 and 4 (during the survey) and 5 (after the survey). ± 1 SE is shown. For individual species, see Table 3.2.2.)



Figur 3.2.6. Midlere arealekkomengde (NASC) av sei i strata 2 for dekningene 1 og 2 (før den seismiske undersøkelsen), 3 og 4 (under den seismiske undersøkelsen) og 5 (etter den seismiske undersøkelsen). ± 1 SF er vist.

(Mean area echo abundance (NASC) of saithe in stratum 2 for coverage 1 and 2 (before the seismic survey), 3 and 4 (during the survey) and 5 (after the survey). ± 1 SE is shown.)

Mengde sild var betydelig lavere i dette området enn lengre ut mot sokkelkanten der den var 3 – 4 ganger høyere. Det ble målt en tilsvarende reduksjon over tid også her: 80, 48, 1,3 og 19 m^2/nmi^2 for de fem dekningene (Figur 3.2.7).



Figur 3.2.7. Midlere arealekkomengde (NASC) av sild i strata 2 for dekningene 1 og 2 (før den seismiske undersøkelsen), 3 og 4 (under den seismiske undersøkelsen) og 5 (etter den seismiske undersøkelsen). ± 1 SF er vist.

(Mean area echo abundance (NASC) of herring in stratum 2 for coverage 1 and 2 (before the seismic survey), 3 and 4 (during the survey) and 5 (after the survey). ± 1 SE is shown.)

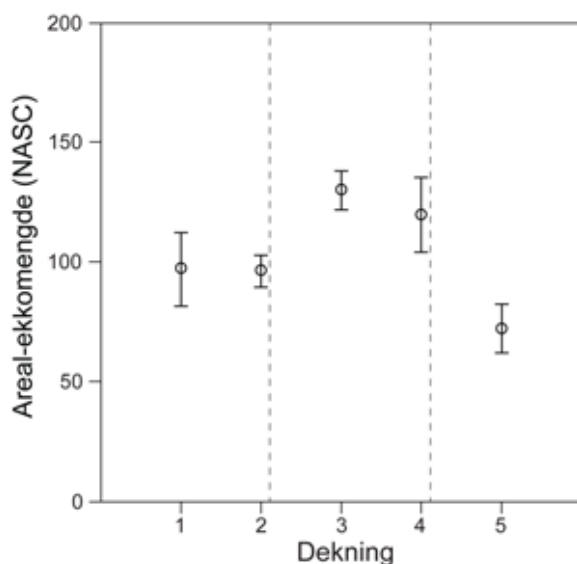
3.2.4 Området på utsiden av seismikkområdet - strata 3

Strata 3 er området utenfor sokkelkanten dypere enn 400 m. Etter innledende datalogging til 1500 m dyp, konkluderte vi med at mesteparten av biomassen av fisk og plankton var fordelt fra 500 m og opp. For å opprettholde en høy pingrate på ekkoloddene, stoppet derfor datalagring på 500 m etter første transekt under dekning 1. Mengdemålingen ble her gjennomført for sild, kolmule, mesopelagisk fisk og plankton. Tynne, relativt jevne fordelinger av kolmule ble registrert på 200-400 m dyp i hele området utenfor kanten. Arealtettheten var på om lag 10 t/nmi^2 , men volumtettheten var lav fordi kolmule oftest var fordelt i et 100 m tykt lag. Tettheten var forskjellig i de fem dekningene (Figur 3.2.8, Tabell 3.2.3), med lavest verdi etter seismikkinnsamlingen.

Tabell 3.2.3. Strata 3 (utenfor kanten av seismikkområdet). Midlere arealekkmengde av fisk uttrykt som nautical area scattering coefficient, (NASC), [m^2/nmi^2] med standard feil (SF) for de målte artskategoriene. Sannsynlighet beregnet fra Kruskal-Wallis-test (KW-test) er vist.

(Stratum 3 (outside the seismic area). Mean area echo abundance of fish expressed as nautical area scattering coefficient, (NASC), [m^2/nmi^2] with standard error (SE) for the measured fish categories. Probability from a Kruskal-Wallis test (KW test) is shown.

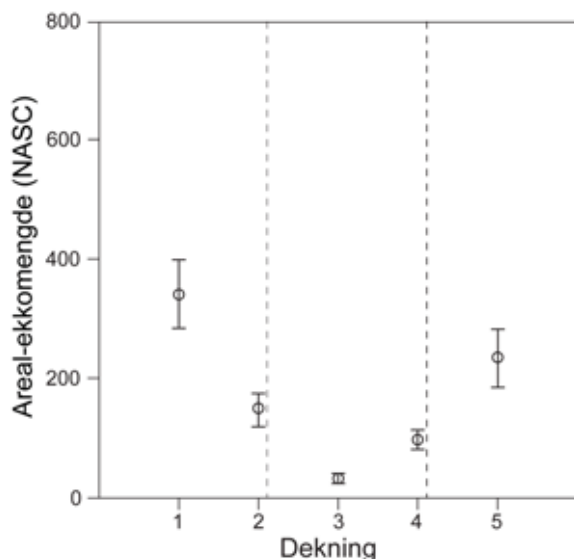
	Før seismikk Dekning		Under seismikk Dekning		Etter seismikk Dekning	KW (P)
	1	2	3	4	5	
Kolmule	97,1(14,3)	96,3(6,0)	129,8(7,4)	119,6(14,3)	72,3(9,4)	0,006
Mesopel,	85,3(14,3)	37,3(7,1)	8,3(2,0)	24,4(4,0)	58,7(11,9)	<0,001
Plankton	170,0(23,9)	187,9(18,3)	135,3(10,1)	229,5(44,1)	111,9(14,3)	0,02
Sild	155(69)	408(187)	358(131)	98(43)	2(1)	<0,001



Figur 3.2.8. Midlere arealekkmengde (NASC) av kolmule i strata 3 for dekningene 1 og 2 (før den seismiske undersøkelsen), 3 og 4 (under den seismiske undersøkelsen) og 5 (etter den seismiske undersøkelsen). ± 1 SF er vist.

(Mean area echo abundance (NASC) of blue whiting fish in stratum 3 for coverage 1 and 2 (before the seismic survey), 3 and 4 (during the survey) and 5 (after the survey). ± 1 SE is shown.)

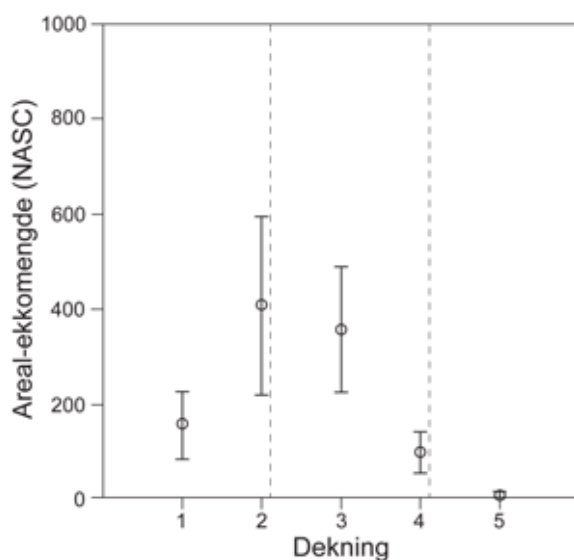
Det ble registrert endring i mengden av mesopelagisk fisk i de fem dekningene, med middelverdier på henholdsvis 85, 37, 8, 24 og 59 m^2/nmi^2 (Figur 3.2.9). Disse forskjellene er signifikante ($p = 0,001$), og tyder på en lavere tetthet i seismikkperioden sammenlignet med før og etter. Artene som utgjorde gruppen mesopelagisk fisk var laksesild (*Maurollicus muelleri*) og lysprikkfisk (*Bentosema glaciale*).



Figur 3.2.9. Midlere arealekkomengde (NASC) av mesopelagisk fisk i strata 3 for dekningene 1 og 2 (før den seismiske undersøkelsen), 3 og 4 (under den seismiske undersøkelsen) og 5 (etter den seismiske undersøkelsen). ± 1 SF er vist.

(Mean area echo abundance (NASC) of mesopelagic fish in stratum 3 for coverage 1 and 2 (before the seismic survey), 3 and 4 (during the seismic survey) and 5 (after the seismic survey). ± 1 SE is shown.)

Mengde sild i dette området var om lag som i seismikkområdet, med tettheter på 155 og 408 m^2/nmi^2 før, 358 og 98 m^2/nmi^2 under og 2 m^2/nmi^2 etter seismikkinnsamlingen (Figur 3.2.10). Her var også forskjellene signifikante for de fem dekningene (på grunn av lav tetthet i perioden etter seismikkinnsamlingen), men ikke signifikant forskjellig mellom dekning 1 og 2 (før) sammenlignet med dekning 3 og 4 (under).



Figur 3.2.10. Midlere arealekkomengde (NASC) av sild i strata 3 for dekningene 1 og 2 (før den seismiske undersøkelsen), 3 og 4 (under den seismiske undersøkelsen) og 5 (etter den seismiske undersøkelsen). ± 1 SF er vist.

(Mean area echo abundance (NASC) of herring in stratum 3 for coverage 1 and 2 (before the seismic survey), 3 and 4 (during the seismic survey) and 5 (after the seismic survey). ± 1 SE is shown.)

3.2.5 Kontrollområdet

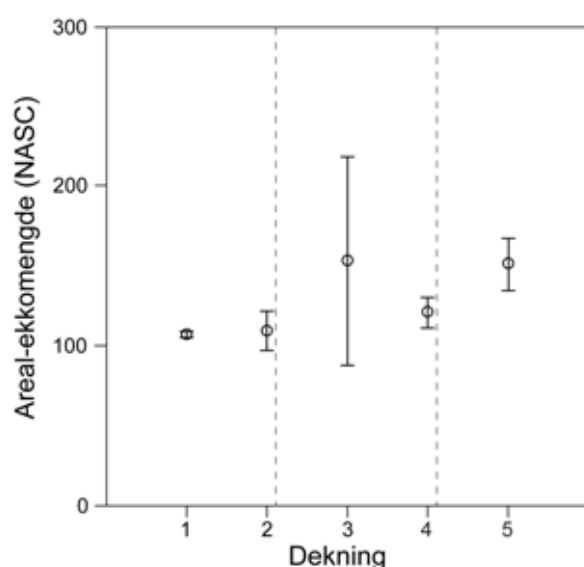
Mengden av bunnfisk i kontrollområdet (Figur 3.2.11, Tabell 3.2.4) var litt høyere enn for seismikkområdet, 107 og 109 m^2/nmi^2 (tilsvarer om lag 22 t/ nmi^2) i dekning 1 og 2, og endret seg ikke signifikant for dekning 3, 4 eller 5. Dette betyr at mengden av bunnfisk var relativt konstant gjennom hele tidsperioden. Artssammensetningen før den seismiske undersøkelsen startet, var imidlertid litt forskjellig fra seismikkområdet, med mindre hyse (4 %), og mer "andre" (52 %) enn for seismikkområdet. Andelen sei før seismikkinnsamlingen var om lag 23 %, og det var lite torsk (4 %) også her. Det ble registrert mer uer i dette området før

seismikkinnsamlingen (16 %). Området hadde lavere variabilitet enn seismikkområdet, dvs. jevnere tetthet, og det var ikke signifikante forskjeller i tetthet for noen av bunnfiskartene.

Tabell 3.2.4. Kontrollområdet. Midlere arealekkmengde av fisk uttrykt som nautical area scattering coefficient, (NASC), [m^2/nmi^2] med standard feil (SEM) for de målte artskategoriene. Sannsynlighet beregnet fra Kruskal-Wallis-test (KW-test) er vist. På dekning 5 målte en i kontrollområdet bare total mengde bunnfisk, KW-testen er derfor kjørt for fem dekkninger for bunnfisk (total), plankton og sild, og for fire dekkninger for sei, uer, hyse, torsk og andre.

(The control area. Mean area echo abundance of fish expressed as nautical area scattering coefficient, (NASC), [m^2/nmi^2] with standard error (SE) for the measured fish categories. Probability from a Kruskal-Wallis test (KW test) is shown. On coverage 5, only the summed category "demersal fish" was measured in the control area. The KW test is therefore only run for all five coverages on demersal fish (total), plankton and herring, and for four coverages for saithe, redfish, haddock, cod and others.)

	Før seismikk		Under seismikk		Etter seismikk	KW (P)
	Dekning 1	Dekning 2	Dekning 3	Dekning 4	Dekning 5	
Bunnfisk	107,2(1,2)	109,3(9,1)	152,0(49,0)	121,0(7,5)	151,1(12,3)	0,21
Plankton	518,7(24,8)	367,9(37,6)	331,0(41,2)	375,8(23,8)	347,6(24,2)	0,14
Sei	20,3(1,6)	30,2(9,5)	32,5(10,4)	22,1(12,5)	NM	0,67
Uer	4,4(2,8)	31,8(2,1)	8,9(5,2)	17,7(12,2)	NM	0,20
Hyse	6,5(2,6)	2,6(0,8)	44,3(42,3)	25,5(5,5)	NM	0,19
Torsk	3,6(1,3)	5,4(2,0)	5,3(4,0)	0,7(0,7)	NM	0,29
Andre	72,4(5,3)	39,3(10,6)	62,0(4,3)	55,0(21,3)	NM	0,21
Sild	286(209)	183(55)	57(42)	130(58)	0	0,07



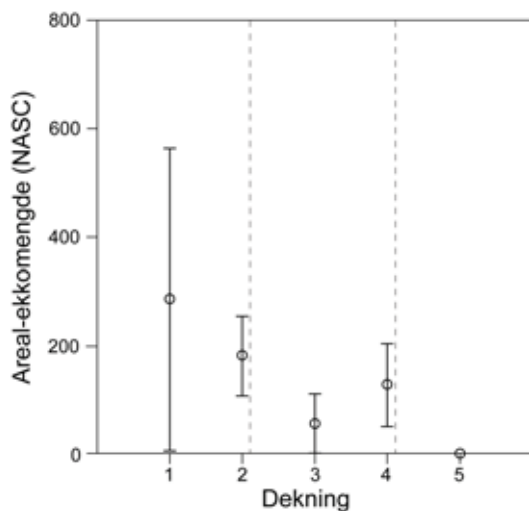
Figur 3.2.11. Midlere arealekkmengde (NASC) av bunnfisk i kontrollområdet for dekkningene 1 og 2 (før den seismiske undersøkelsen), 3 og 4 (under den seismiske undersøkelsen) og 5 (etter den seismiske undersøkelsen). $\pm$ SF er vist. For enkeltarter refereres til Tabell 3.2.4.

(Mean area echo abundance (NASC) of demersal fish in the control area for coverage 1 and 2 (before the seismic survey), 3 and 4 (during the seismic survey) and 5 (after the seismic survey). ± 1 SE is shown. Table 3.2.4 is referred to.)

Dekningene viste en gradvis reduksjon av mengden sild fra 286 og 183 m^2/nmi^2 før seismikkinnsamlingen til 57 og 130 m^2/nmi^2 under og 0 etter innsamlingen (Figur 3.2.12). Forskjellene var nesten signifikante ($p = 0,07$), og med høy variabilitet i stimforekomstene langs transektene, og bare tre transekter, gir målingene derfor bare en indikasjon på at mengden sild ble gradvis redusert i kontrollområdet. En vil videre her kunne støtte seg til sonarmålingene, som gir lavere variabilitet på grunn av større avsøkt volum nær overflaten.

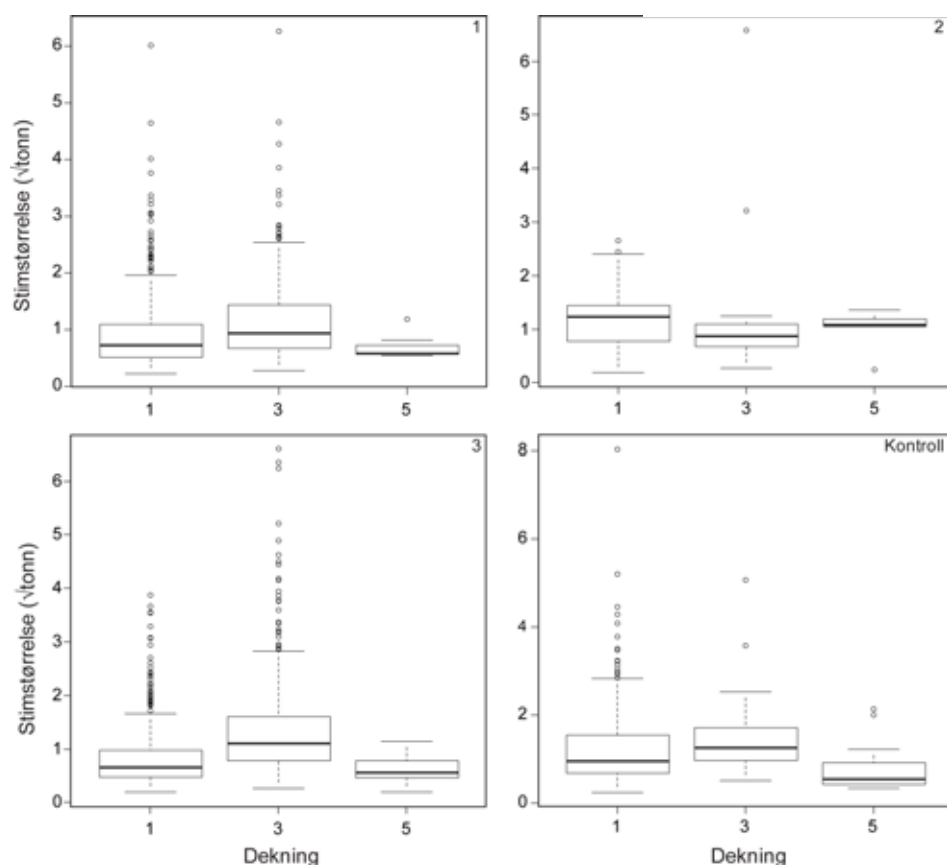
3.2.6 Akustisk kartlegging med sonar

Med sonaren beregnes stimstørrelse, stimfart og stimfordeling som vist i Figur 3.2.13 til 3.2.15. Eksempler på stimdeteksjon og beregnet fart og retning er gitt i Figur 3.2.16 og 3.2.17, med sildefordelingen vist i Figur 3.2.18.



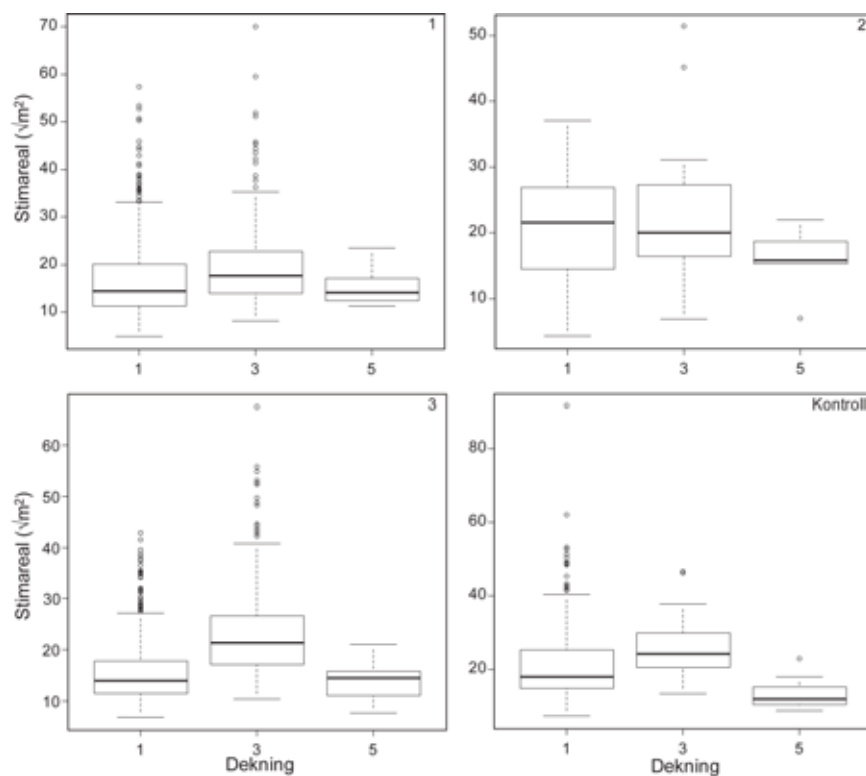
Figur 3.2.12. Midlere arealekkomengde (NASC) av sild i kontrollområdet for dekningene 1 og 2 (før den seismiske undersøkelsen), 3 og 4 (under den seismiske undersøkelsen) og 5 (etter den seismiske undersøkelsen). ± 1 SE er vist.

(Mean area echo abundance (NASC) of herring in the control area for coverage 1 and 2 (before the seismic survey), 3 and 4 (during the seismic survey) and 5 (after the seismic survey). ± 1 SE is shown.)

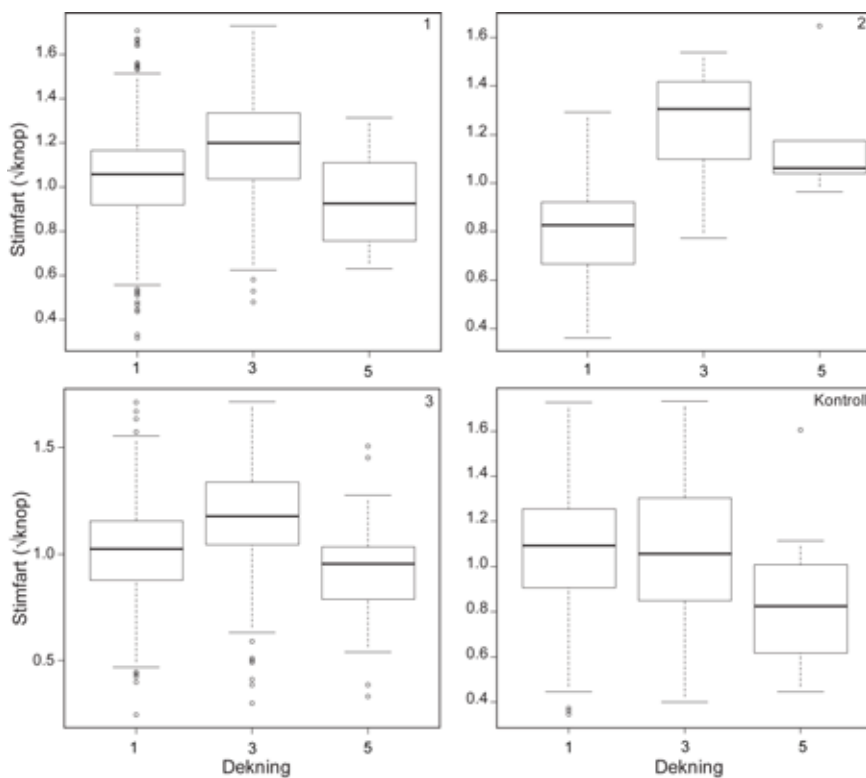


Figur 3.2.13. Fordelinger av estimert stimstørrelse ($\sqrt{\text{tonn}}$) fra sonaren i strata 1, 2, 3 og kontrollområdet, for dekningene 1, 3 og 5.

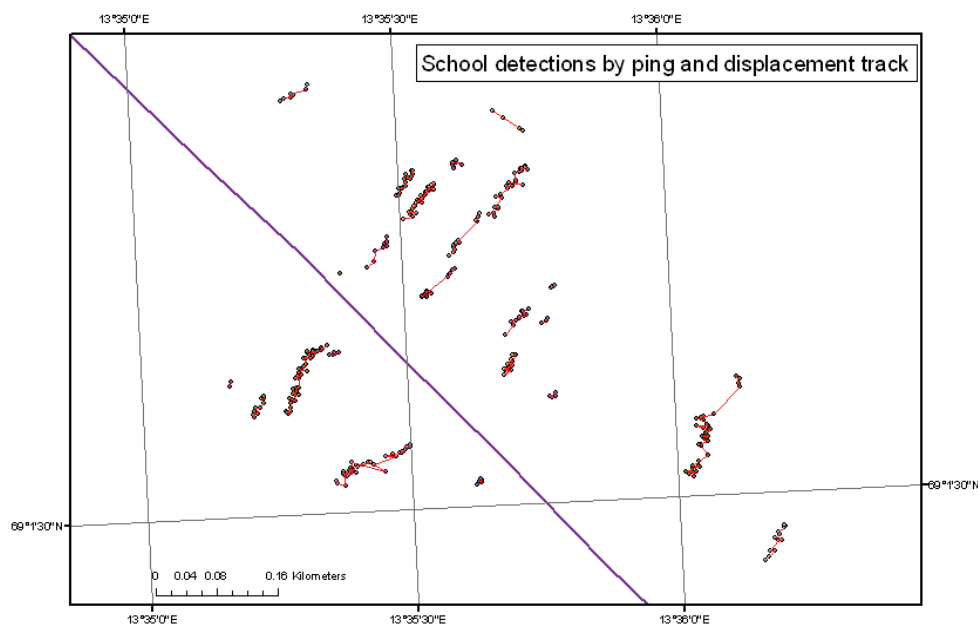
(Distributions of estimated school size ($\sqrt{\text{tons}}$) from the sonar in stratum 1, 2, 3 and the control area, for the coverage 1, 3 and 5.)



Figur 3.2.14. Fordelinger av estimert stimareal ($\sqrt{m^2}$) fra sonaren i strata 1, 2, 3 og kontrollområdet, for dekningene 1, 3 og 5.
(Distributions of estimated school area ($\sqrt{m^2}$) from the sonar in stratum 1, 2, 3 and the control area, for the coverage 1, 3 and 5.)

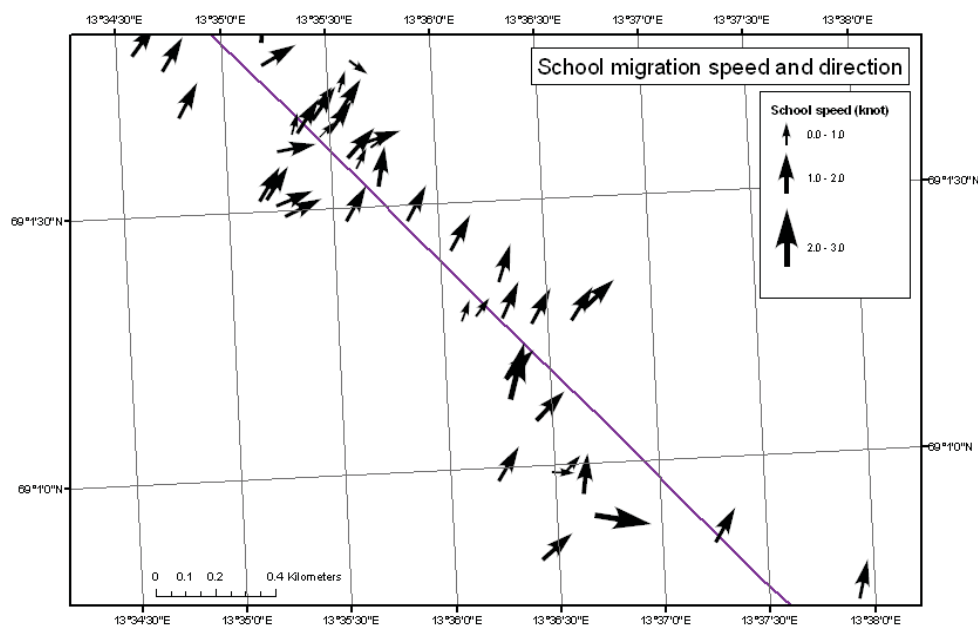


Figur 3.2.15. Fordelinger av estimert stimfart ($\sqrt{knots}$) fra sonaren i strata 1, 2, 3 og kontrollområdet, for dekningene 1, 3 og 5.
(Distributions of estimated school speed ($\sqrt{knots}$) from the sonar in stratum 1, 2, 3 and the control area, for the coverage 1, 3 and 5.)



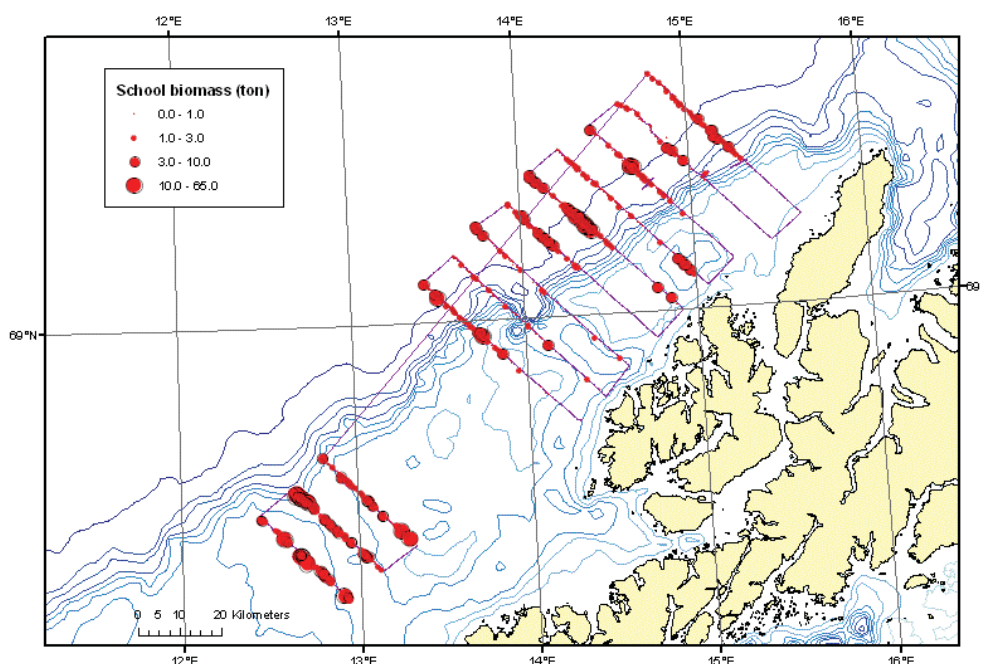
Figur 3.2.16. Eksempel på kart med 22 detekterte stimer der enkelt-deteksjonene av hver stim er vist. Beregningene av stimenes fart og retning bestemmes fra absolutt forflytning av stimen fra gjentatte deteksjonen. Gruppene av punkter med linjer mellom er deteksjon av samme stim i ulik posisjon. Fartøyets kurs er vist som en lilla stripe, og kartskalaen er vist nede til venstre.

(Example of map with 22 detected schools, showing the single detections of each school. The computations of school speed and direction are based upon the absolute movement of the school from repeated detection. The group of points with lines in between is detections of the same school in different geographical position. The vessel track is shown as a purple line, and the scale is shown in the lower left corner.)



Figur 3.2.17. Eksempel på kart med estimert fart og retning for hver stim. Pilenes størrelse angir stimfart. Fartøyets kurs er vist som en blå stripe, og kartskalaen er vist nede til venstre.

(Example of the map with estimated speed and direction for each school. The size of the arrow indicates speed in knots. The vessel track is shown as a blue line, and the scale is shown in the lower left corner.)



Figur 3.2.18. Fordeling av sildestimer angitt i tonn målt med sonar.
(Distribution of herring schools in tons, as measured with sonar.)

Ved å slå sammen strata 1, 2 og 3 til ett undersøkelsesområde og analysere antall stimer registrert innenfor en effektiv rekkevidde på 300 m, får en fram et godt bilde av stimtetthetene i hovedområdet: 934, 757 og 45 stimer/nmi² på henholdsvis dekning 1, 3 og 5. Stimtetthet, gitt som antall stimer per kvadrantnautisk mil (stimer/nmi²) var da 23, 19 og 1 for de tre dekningene (Tabell 3.2.5 A). Selv om det ble registrert enkeltstimer på over 10 tonn, var middelverdien mye lavere, bare om lag 1-2 tonn, med et utbredelsesareal på 200-300 m². Midlere fart og svømmeretning, beregnet fra målfølging av hver stim, viser at silda trakk i nordøstlig retning (kurs $\approx 50^\circ$) med en middelfart på om lag 1 knop.

Estimert totalmengde sild for hele undersøkelsesområdet (strata 1, 2 og 3), basert på sonardataene gir om lag 24 000 tonn i første dekning, som er lavere enn ekkoloddestimatet på 68 000 tonn. Da sonarberegningen er utført med ukalibrert sonar, og vi har brukt de direkte akustiske energimålingene på sonaren til mengdeberegning, må disse tallene betraktes som relative mengdeindekser. Antall stimer registrert i søkevolumet til sonaren, og flatetettheten av stimer er imidlertid presise målinger, og kan brukes i sammenligninger. Antall stimer målt og flatetetthet av stimer var ikke vesentlig forskjellig i dekning 1 og 3, men ble betydelig redusert i dekning 5 for hele hovedområdet. En tilsvarende utvikling ser en i kontrollområdet, men med en reduksjon av sildemengden allerede i dekning 3 til nesten ingenting i siste dekning. Sammen med data på trekkretning ser det ut til at sørkanten av sildefordelingen var i kontrollområdet, og at den vandret nordover først fra dette området. Stimene var større i dekning 3 (under seismikkaktiviteten) både for hovedområdet og for kontrollområdet.

Tabell 3.2.5. A: Beregnet mengde sild fra sonarmålinger med totalt antall stimer målt innenfor sonarens dekningsbredde i strata 1 (seismikkområdet), strata 2 (på innsiden av seismikkområdet), strata 3 (utenfor seismikkområdet) og B: i kontrollområdet. Omtrentlig mengde i tonn (som beregnet fra stimens midlere volumspredestyrke, S_v), stimtetthet, midlere stimstørrelse, stimareal, fartsretning til stimene og midlere stimfart er angitt. Standardavvik (SD) er angitt for noen av parametrene.

(A: Abundance of herring as measured by sonar with total number of schools measured within the effective detection range in stratum 1 (seismic area), stratum 2 (inside the seismic area), stratum 3 (outside the seismic area), and B: in the control area. Approximate biomass in tons (as estimated from the mean volume backscattering strength, S_v), school density, mean school size, school area, mean direction and speed are given. Standard deviation (SD) of some of the parameters is shown in brackets.)

A: Totalområdet - Strata 1, 2, 3	Dekning 1	Dekning 3	Dekning 5
Totalt antall stimer	934	757	45
Totalmengde (tonn)	24000	37000	500
Stimtetthet (#/nmi²)	23	19	1
Middel stimstørrelse (tonn)	1,1(2,2)	2,1(3,9)	0,5(0,4)
Midlere stimareal (m²)	326,4(363,3)	556,6(514,2)	218,7(110,1)
Median stimretning (°)	47,9	57,7	54,7
Midlere stimfart (knop)	1,1(0,5)	1,5(0,5)	1,0(0,5)

B: Kontrollområdet	Dekning 1	Dekning 3	Dekning 5
Totalt antall stimer	298	39	18
Totalmengde (tonn)	7400	1300	140
Stimtetthet (#/nmi²)	21	3	1
Middel stimstørrelse (tonn)	2,3(4,8)	2,9(4,4)	0,9(1,3)
Midlere stimareal (m²)	541,8(702,7)	720,3(471,2)	180,7(113,3)
Median stimretning (°)	*	*	*
Midlere stimfart (knop)	1,3(0,6)	1,3(0,7)	0,8(0,5)

Dersom en deler hovedområdet opp i tilsvarende strata som for ekkoloddmålingene, ser en i strata 1 (seismikkområdet) tilsvarende tidsutvikling i sildemengden som for ekkolodd (Tabell 3.2.6 A). Basert på summert arealekkmengde sild for dekning 1, 3 og 5, utgjorde dekning 1 ca. 65 % av totalen, mens den for sonar utgjorde 59 %. Videre for dekning 3 (under seismikkaktiviteten) utgjorde sildemengden i dette området 34 % av totalen med ekkolodd og 39 % med sonar. Endelig utgjorde mengden i dekning 5 (etter seismikkaktiviteten) bare 1 og 2 % av totalen for henholdsvis ekkolodd og sonar. Dette viser at begge metodene målte den samme utviklingen i sildemengden i området.

Begge metodene viste en tilsvarende tidsutvikling for kontrollområdet (Tabell 3.2.5 B). Her ble henholdsvis 83 % (ekkolodd) og 84 % (sonar) av totalen for dekning 1, 3 og 5 registrert i dekning 1, mens 16 % og 12 % ble registrert i dekning 3 (under seismikkaktiviteten). Mengden registrert i dekning 5 utgjorde bare henholdsvis 0 og 4 % for ekkolodd og sonar.

I strata 3, utenfor sokkelkanten, økte mengden av sild fra dekning 1 til dekning 3 for så å avta markant også her i dekning 5 (Tabell 3.2.6 C). Arealtettheten av stimer var om lag uforandret, men størrelsen av stimene økte fra ca. 0,9 tonn til ca. 2,2 tonn, og totalmengden ble mer enn fordoblet mellom dekning 1 og 3.

Tabell 3.2.6. A: Beregnet mengde sild fra sonarmålinger med totalt antall stimer målt innenfor sonarens dekningsbredde i strata 1 (seismikkområdet), B: strata 2 (på innsiden av seismikkområdet) og C: strata 3 (utenfor seismikkområdet). Omtrentlig mengde i tonn (som beregnet fra stimens midlere volumspredestyrke, S_v), stimtetthet, midlere stimstørrelse, stimareal, fartsretning til stimene og midlere stimfart er angitt. Standard avvik (SD) er angitt for noen av parametrene.

(A: Abundance of herring as measured by sonar with total number of schools measured within the effective detection range in stratum 1 (seismic area), B: stratum 2 (inside the seismic area), and C: stratum 3 (outside the seismic area). Approximate biomass in tons (as estimated from the mean volume backscattering strength, S_v), school density, mean school size, school area, mean direction and speed are given. Standard deviation (SD) of some of the parameters is shown in brackets.)

A: Strata 1	Dekning 1	Dekning 3	Dekning 5
Totalt antall stimer	398	263	8
Totalmengde (tonn)	13000	12000	200
Stimtetthet (#/nmi²)	29	19	1
Middel stimstørrelse (tonn)	1,4(2,9)	1,9(3,5)	0,5(0,4)
Midlere stimareal (m²)	363,7(445,2)	484,7(541,3)	248,5(144,4)
Median stimretning (grader)	51,5	58,2	51,2
Midlere stimfart (knop)	1,1(0,5)	1,5(0,5)	0,9(0,4)

B: Strata 2	Dekning 1	Dekning 3	Dekning 5
Totalt antall stimer	36	16	5
Totalmengde (tonn)	2000	1300	140
Stimtetthet (#/nmi²)	3	1	0,4
Middel stimstørrelse (tonn)	1,9(1,8)	4,0(10,8)	1,1(0,7)
Midlere stimareal (m²)	512,8(240,5)	647,3(714,8)	272,4(159,3)
Median stimretning (grader)	117,5	69,4	61,0
Midlere stimfart (knop)	0,7(0,3)	1,6(0,5)	1,4(0,7)

C: Strata 3	Dekning 1	Dekning 3	Dekning 5
Totalt antall stimer	500	478	32
Totalmengde (tonn)	11000	25000	250
Stimtetthet (#/nmi²)	37	35	2
Middel stimstørrelse (tonn)	0,9(1,5)	2,2(3,6)	0,4(0,3)
Midlere stimareal (m²)	283,2(274,5)	593,1(487,5)	202,8(91,0)
Median stimretning (grader)	42,6	56,9	55,4
Midlere stimfart (knop)	1,1(0,4)	1,4(0,6)	0,9(0,5)

3.2.7 Plankton

Samtidig med de akustiske fiskedataene ble også planktondataene tolket, basert på multifrekvensdata fra ekkoloddet. Mengde plankton er gitt som arealekkmengde, og er basert på data fra 38 kHz ekkoloddet. Det generelle bildet er at det ble registrert jevne forekomster av plankton i hele området (Tabell 3.2.7). Planktonmengden var jevnt over høyere i strata 2 og i kontrollområdet enn i strata 1 og 3. For alle strata var tettheten av plankton relativt jevn mellom dekningene. Selv om det var signifikante forskjeller mellom dekningene var det ingen klar tendens over tid. Dette indikerer derfor naturlige tetthetsvariasjoner i området, og en kan ikke konkludere med at planktonmengden var forskjellig før, under eller etter den seismiske undersøkelsen. Prøvetaking av plankton med Mocness-flerposetrål viste at planktonlaget hovedsaklig besto av rauåte (*Calanus finmarchicus*, stadium IV - VI), med innslag av andre copepodearter og litt krill.

Tabell 3.2.7. Midlere akustisk tetthet (arealekkmengde) av plankton målt på 38 kHz i alle strata, uttrykt som Nautical Area Scattering Coefficient, (NASC), [m^2/nmi^2] med standard feil i parentes (SF). Sannsynlighet beregnet fra Kruskal-Wallis-test (KW-test) er vist.

Mean acoustic density (area echo abundance) of plankton measured at 38 kHz in all strata expressed as Nautical Area Scattering Coefficient, (NASC), [m^2/nmi^2] with standard error of mean in brackets (SEM). Probability from a Kruskal-Wallis test (KW-test) is shown.

	Før seismikk dekning		Under seismikk dekning		Etter seismikk dekning	KW (P)
	1	2	3	4	5	
Strata 1	218 (65)	370 (53)	238 (28)	482 (93)	249 (38)	0,01
Strata 2	367 (74)	541 (62)	344 (49)	299 (35)	286 (34)	0,02
Strata 3	170 (24)	188 (19)	135 (10)	230 (44)	112 (14)	0,02
Kontroll	518 (25)	368 (38)	331 (41)	375 (23)	348 (24)	0,14

Til sammen åtte trålhal med Mocness ble opparbeidet, og viste en middeltetthet på $13,2 \text{ g/m}^2$ (tørrvekt, standard avvik = $8,7 \text{ g/m}^2$). Dersom en grovt konverterer til våtvekt med en faktor på 5, får vi en flatetetthet på om lag 226 t/nmi^2 , eller om lag 150 tusen tonn rauåte inne i undersøkelsesområdet. Vertikalfordelingen fra Mocness-halene viser, i likhet med de akustiske målingene, at mesteparten av planktonet var jevnt fordelt i de øverste 50 m, (se Figur 2.10 og 2.11), som overlappet med vertikalfordelingen for sild.

3.3 Mageprøver

3.3.1 Andel tomme mager

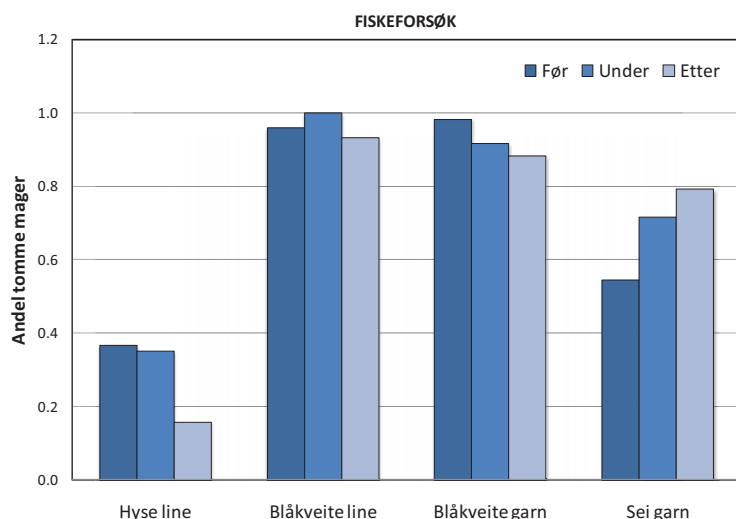
Figur 3.3.1 og 3.3.2 viser andelen tomme mager i prøvene fra fiskeforsøkene (garn og line) og fra forskningsfangstene (trål) tatt før, under og etter seismikkaktivitet. Det var bare et fåtall individer av blåkkeite som hadde mageinnhold, og dette besto hovedsakelig av langt nedbrutte rester av fisk som var vanskelig å artsbestemme. Verken for line eller garn var det

statistisk signifikante forskjeller i andelen tomme mager hos blåkveite mellom de ulike periodene (Tabell 3.3.1).

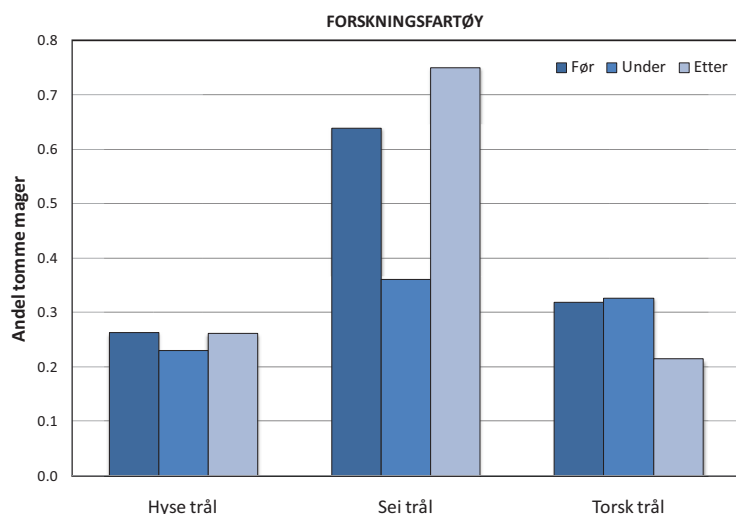
Tabell 3.3.1. Statistisk test (binominal-test) av forskjeller i andel tomme mager mellom før, under og etter seismikkinnsamlingen. Hypotesen er at andelen tomme mager var konstant gjennom de tre periodene. n.s. betyr ingen statistisk forskjell.

(Statistical testing (binominal test) of differences in proportion empty stomachs between the periods before, during and after the seismic activity. The hypothesis is that there are no differences between the periods. n.s. equals no significant difference.)

Type forsøk	Art	Redskap	Statistisk signifikans
Fangstforsøk	Hyse	Line	P = 0,03
	Sei	Garn	P = 0,02
	Blåkveite	Line	n.s.
	Blåkveite	Garn	n.s.
Forskningsfartøy seismikkområdet	Hyse	Trål	n.s.
	Sei	Trål	P < 0,005
	Torsk	Trål	n.s.



Figur 3.3.1. Andel tomme mager i fisk fra fiskeforsøkene med garn og line før, under og etter seismikkinnsamlingen.
(Proportion of empty stomachs in fish caught in the fishing experiments by longlines and gillnets before, during and after the seismic activity.)



Figur 3.3.2. Andel tomme mager i fisk fra forskningsfangstene tatt med trål av FF "Håkon Mosby" og MS "Eros" inne i seismikkområdet.
(Proportion of empty stomachs in catches taken by trawl with RV "Håkon Mosby" and MV "Eros" inside the seismic area.)

Også hos sei var andelen tomme mager relativt høy (Figur 3.3.1) og økende gjennom forsøksperioden. Denne økningen var signifikant ($p < 0,05$). Hos hyse var magefyllingsgraden gjennomgående høyere enn hos de andre artene, og andelen tomme mager sank signifikant etter at seismikken opphørte ($p < 0,05$).

Materialet fra forskningsfangstene tatt med trål, skilte seg noe ut fra de kommersielle fangstene (Figur 3.3.2). Hos sei så man, på samme måte som i garnfangstene, en nedgang i andelen tomme mager i seismikkperioden, men andelen økte igjen etter at seismikken var avsluttet seismikk ($p < 0,01$). I magene fra hyse tatt med trål fant man ingen signifikante forskjeller mellom periodene i andelen tomme mager.

3.3.2 Type byttedyr i magene

Innholdet i magene fra blåkveite var så lavt at det ikke ga grunnlag for videre analyser av byttedyrinnehold. For de andre artene er totalvekten av innhold i magene analysert, og innholdet er videre gruppert i tre hovedgrupper av byttedyr: bunndyr, fisk og krill. Bare sei hadde påvisbare mengder med krill i magen. De viktigste bunndyrartene var amfipoder (Amphipoda), slangestjerner (Ophiuroidea), sjøpinnsvin (Echinozoa), muslinger (Bivalvia), trollhummer (Galatheidae), sjøpølser (Holothuroidea) og børstemark (Polychaeta). Av fiskearter ble det kun funnet sild og ubestemmelige fiskerester i mager fra hyse. Sild dominerte i mager fra sei fanget med garn, mens øyepål i tillegg til sild dominerte hos sei fanget med trål. I torskemagene (trålfanget) fant man et bredt spekter av fiskearter, slik som øyepål, sild, vassild, steinbit (*Anarhichas sp.*), uer (*Sebastes sp.*) og flyndrearter (Pleuronectidae)).

Tabell 3.3.2 gir en oversikt over statistiske tester av forskjeller i mageinnhold før, under og etter seismikkaktivitet. Hos hyse tatt med line fant man ingen signifikante forskjeller i totalmengde, bunndyrmengde eller fiskemengde (Figur 3.3.3 og 3.3.4) før, under og etter seismikkaktivitet. Det var imidlertid en tendens til at mageinnholdet var lavere mens den seismiske datainnsamlingen pågikk enn før og etter ($p = 0,06$ for totalvekt, Tabell 3.3.2). I garnfangstene etter sei var det en signifikant nedgang i totalinnhold og innhold av fisk fra før til under og etter seismikkperioden (Figur 3.3.5). Denne reduksjonen ble hovedsakelig forårsaket av at innholdet av sild minket. Denne reduksjonen sammenfalt med de akustiske estimatene av sildebestanden i seismikkområdet. Det var også en nedgang i innholdet av bunndyr gjennom forsøket, men denne nedgangen var ikke signifikant.

Endringene i mageinnhold hos hyse og sei fanget med trål i forskningsfangstene, var ikke overensstemmende med det som ble funnet i garn- og linefangstene (Figur 3.3.6 til 3.3.8). Innholdet fisk (sild) i magene fra hyse tatt med trål økte signifikant i perioden etter at seismikkinnsamlingen var avsluttet (Figur 3.3.7). Hos sei tatt med trål fant man, i motsetning til i garnfiske, ikke signifikante forskjeller mellom periodene (Figur 3.3.8). Hos torsk fant man på samme måte som hos hyse, en økning i innholdet av fisk (sild) etter at seismikkaktiviteten var avsluttet (Figur 3.3.9).

Generelt viste analysene at innholdet av bunndyr i magene var mer stabilt enn innholdet av fisk. Dette må man anta skyldes at bunndyrfaunaen innenfor et område er lite mobil, mens fisk har et større potensial for forflytninger og dermed blir variasjonen i tilgjengelighet større. Særlig gjenspeiles dette i mengden av sild i magene. Bunnfiskarter, som f.eks. øyepål, varierte ikke i like stor grad.

Figur 3.3.10 viser en oversikt over sammensetningen av mageinnholdet hos hyse og sei i de kommersielle fangstene. Vi ser at bunndyr er den viktigste byttedyrgruppen i hysa sitt fødeinntak. Andelen fisk går ned under seismikkaktiviteten og øker noe etterpå. Seien derimot, er mer spesialisert på fisk som føde, men man ser at andelen bunndyr øker fra før til etter seismikkperioden. Dette har trolig sammenheng med at tilgjengeligheten av sild, som utgjør størstedelen av fisken i magene fra sei tatt med garn, går ned gjennom forsøksperioden.

Tabell 3.3.2. Oversikt over statistiske tester (Kruskal-Wallis-test) av forskjeller i mageinnhold før, under og etter seismikkinnsamlingen. Hypotesen er at det ikke er forskjeller mellom før, under og etter seismikkinnsamlingen. Forskjeller mellom enkeltperioder er testet med parvis t-test.

(Overview of statistical tests (Kruskal-Wallis test) of differences in stomach content before, during and after the seismic activity. The hypothesis is that there is no difference between the three periods. Differences between single periods are tested with paired t-test.)

Mageinnhold	Hyse line	Sei garn	Hyse trål	Sei trål	Torsk trål
Totalvekt	$p = 0.06^2$	$p < 0.01^3$	n.s.	$p < 0.01^4$	$p = 0.08^1$
Bunndyr	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Fisk	n.s.	$p = 0.01^3$	$p < 0.01^1$	n.s.	$p = 0.03^1$
Krill	^	^	^	$p = 0,02^5$	^

^ Ikke data

¹ Periode ETTER seismikk er høyere enn FØR og UNDER

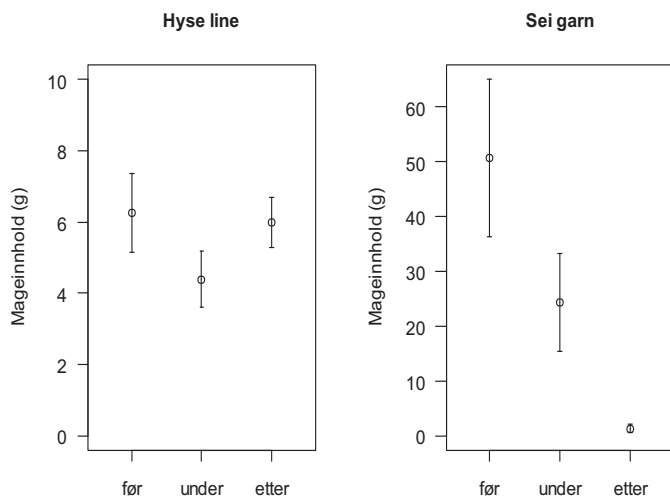
² Periode UNDER seismikk er lavere enn FØR og ETTER

Modellen er signifikant (gjennomgående reduksjon fra FØR til ETTER), men enkeltperiodene er ikke parvis

³ ulike

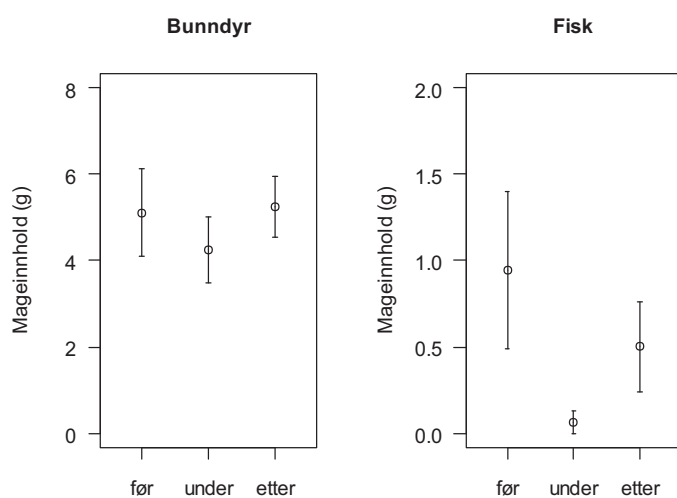
⁴ Periode UNDER seismikk er høyere enn FØR og ETTER

⁵ Periode ETTER seismikk er lavere enn FØR og UNDER



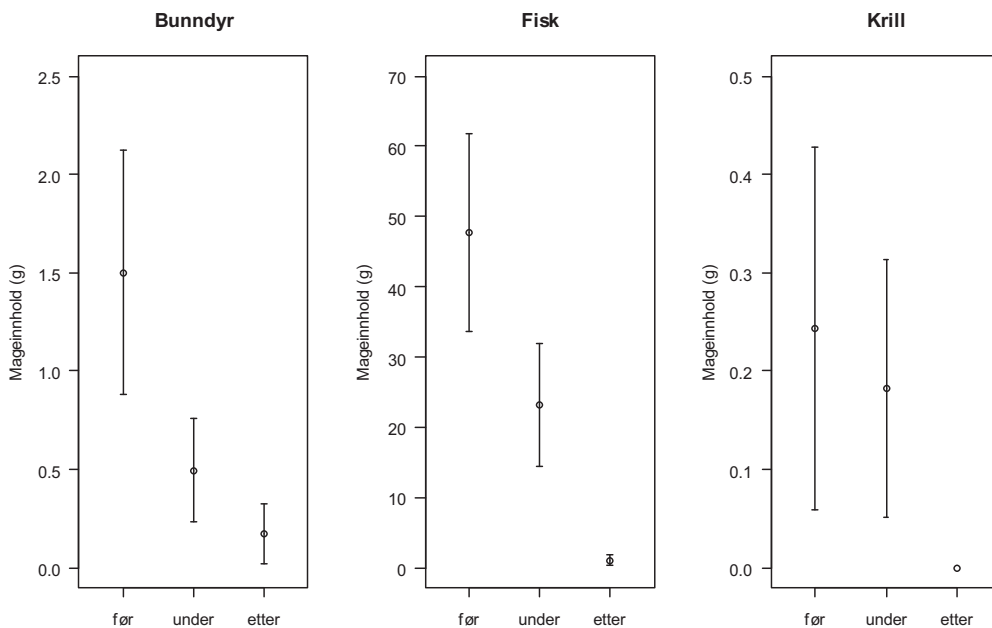
Figur 3.3.3. Gjennomsnittlig vekt av totalt mageinnhold ($g \pm SF$) i fisk fra fiskeforsøkene med garn og line før, under og etter seismikkinnsamlingen. Innholdet i blåkveitemagene var tilnærmet lik null.

(Average weight of total stomach content ($g \pm SE$) in fish caught in the fishing experiments by longlines and gillnets before, during and after the seismic activity. The stomachs from Greenland halibut were



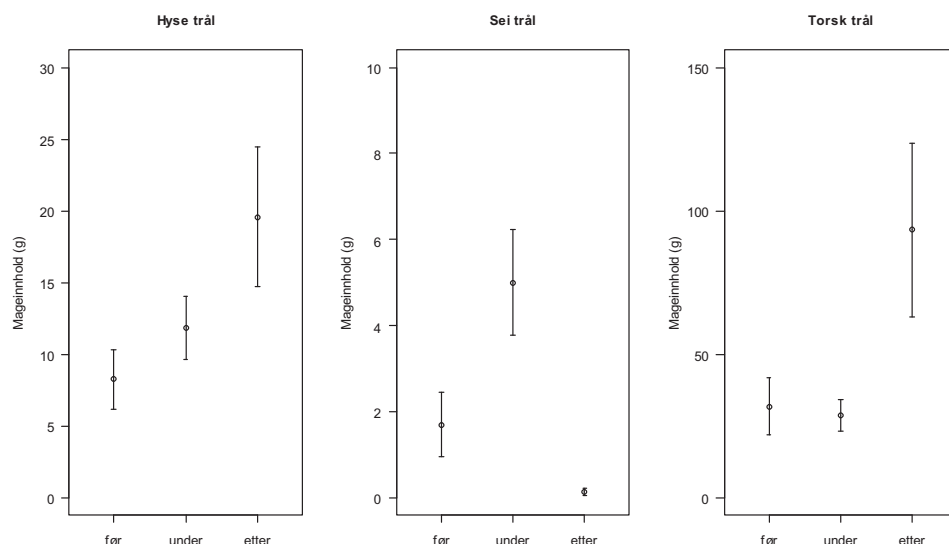
Figur 3.3.4. Gjennomsnittlig vekt av mageinnhold ($g \pm SF$) av de viktigste gruppene av byttedyr i magene fra hyse fanget med line før, under og etter seismikkinnsamlingen. Fisken i mageinnholdet består hovedsakelig av ubestemmelige fiskerester.

(Average weight of stomach content ($g \pm SE$) of the main groups of prey in stomachs from haddock caught by longlines before, during and after the seismic activity. The fish content consisted mainly of undetermined reminiscences.)



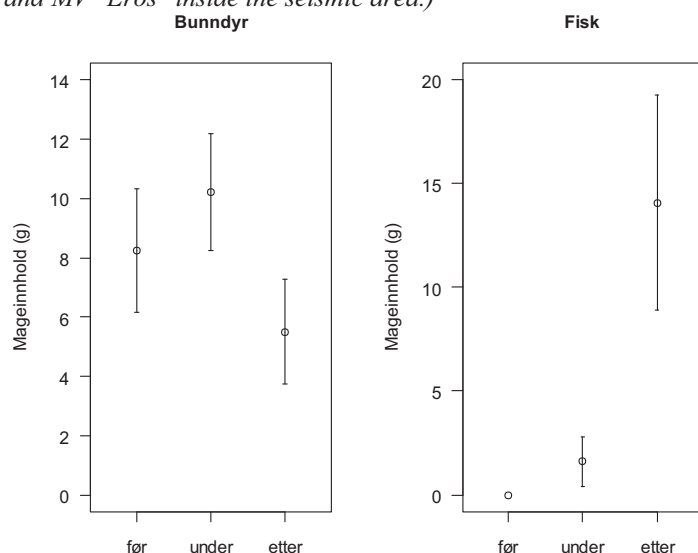
Figur 3.3.5. Gjennomsnittlig vekt av mageinnhold ($g \pm SF$) av de viktigste gruppene av byttedyr i mager fra sei fanget med garn før, under og etter seismikkinnsamlingen. Sild er dominerende art fisk i mageinnholdet.

(Average weight of stomach content ($g \pm SE$) of the main groups of prey in stomachs from saithe caught by gillnets before, during and after the seismic activity. The fish content consisted mainly of herring.)



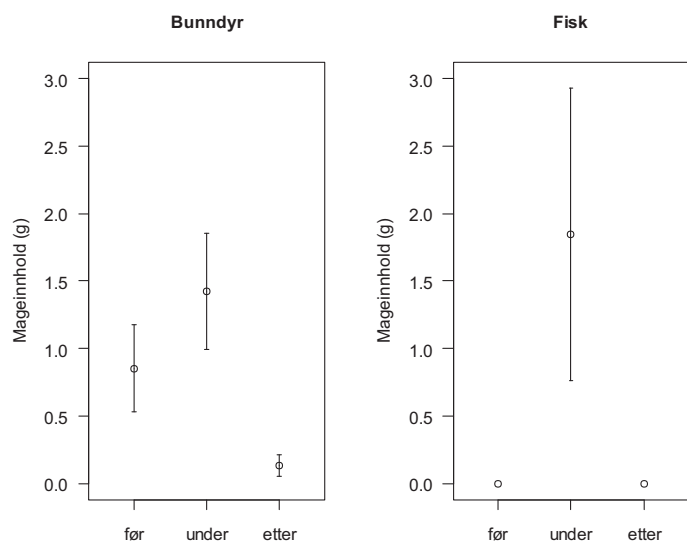
Figur 3.3.6. Gjennomsnittlig vekt av totalt mageinnhold ($g \pm SF$) i forskningsfangstene tatt med trål av FF "Håkon Mosby" og MS "Eros" innenfor seismikkområdet.

(Average weight of total stomach content (g per stomach $\pm SE$) in trawl catches taken by RV "Håkon Mosby" and MV "Eros" inside the seismic area.)



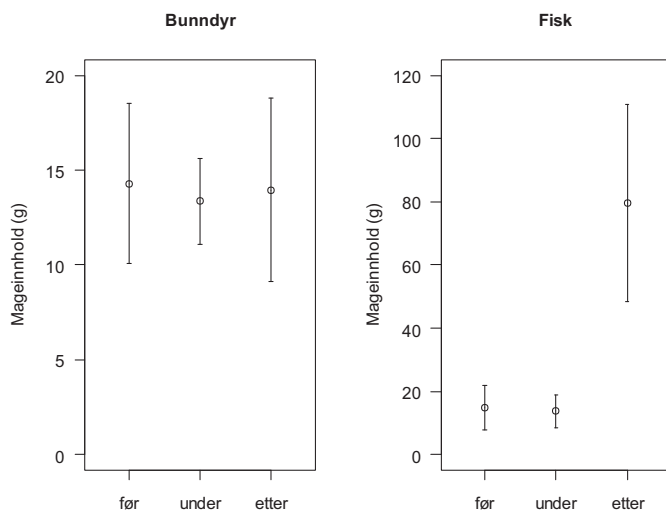
Figur 3.3.7. Gjennomsnittlig vekt av mageinnhold ($g \pm SF$) av de viktigste gruppene av byttedyr i magene fra hyse fanget med trål av FF "Håkon Mosby" og MS "Eros" innenfor seismikkområdet før, under og etter seismikk-innsamlingen. Fisken i mageinnholdet i perioden etter seismikk-innsamlingen besto av sild.

(Average weight of content (g per stomach $\pm SE$) of the main groups of prey in stomachs from haddock caught by trawl by RV "Håkon Mosby" and MV "Eros") before, during and after the seismic activity. The fish content after the seismic activity consisted mainly of herring.)



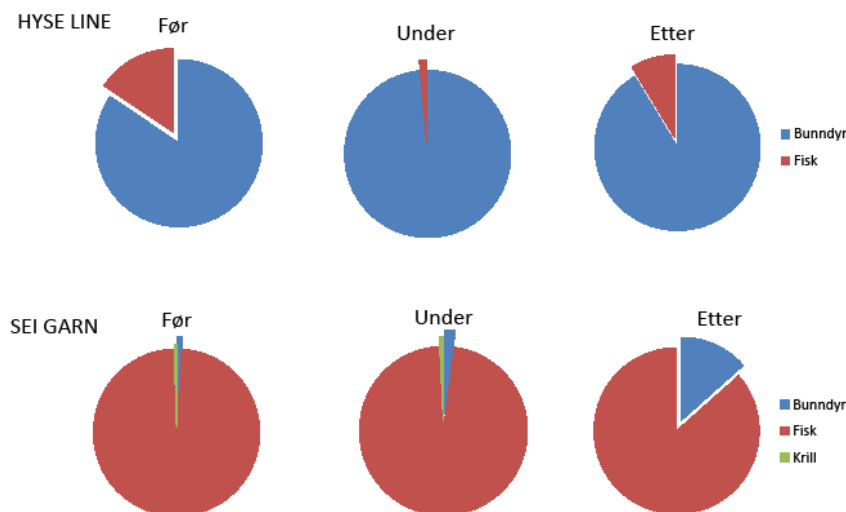
Figur 3.3.8. Gjennomsnittlig vekt av mageinnhold ($g \pm SF$) av de viktigste gruppene av byttedyr i magene fra sei fanget med trål av FF "Håkon Mosby" og MS "Eros" innenfor seismikkområdet før, under og etter seismikk-innsamlingen. Fisken i mageinnhold i perioden under seismikk-innsamlingen besto av øyepål og noe sild.

(Average weight of stomach content ($g \pm SE$) of the main groups of prey in stomachs from saithe caught by trawl by RV "Håkon Mosby" and MV "Eros" vessel before, during and after the seismic activity. The fish content during the seismic activity consisted mainly of Norway pout and herring.)



Figur 3.3.9. Gjennomsnittlig vekt av mageinnhold ($g \pm SE$) av de viktigste gruppene av byttedyr i magene fra torsk fanget med trål av FF "Håkon Mosby" og MS "Eros" innenfor seismikkområdet før, under og etter seismikkinnsamlingen. Fisken i mageinnholdet i perioden etter seismikkinnsamlingen besto av sild.

(Average weight of content (g per stomach $\pm SE$) of the main groups of prey in stomachs from cod caught by trawl by RV "Håkon Mosby" and MV "Eros" before, during and after the seismic activity. The fish content after seismic activity consisted mainly of herring.)



Figur 3.3.10. Fordeling av de ulike hovedgruppene av byttedyr i mager fra fiskeforsøkene etter sei og hyse før, under og etter seismikkinnsamlingen.

Hysa lever hovedsakelig av bunndyr, mens seien er mer spesialisert på fisk som føde.

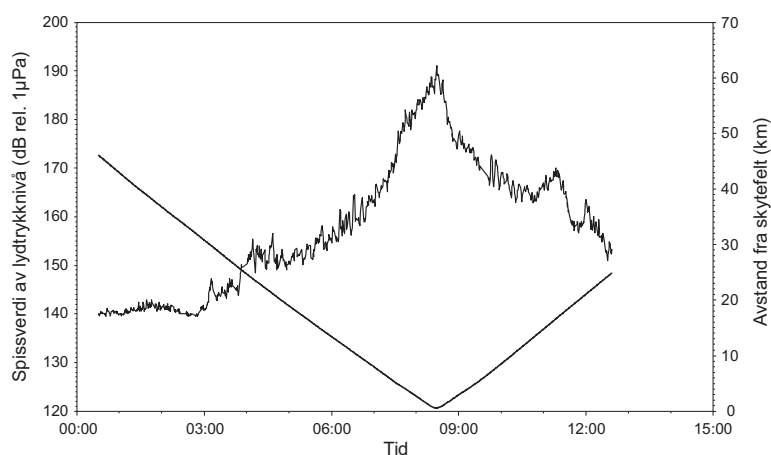
(Proportion of the different main categories of prey in stomachs of haddock and saithe from the fishing experiments before, during and after the seismic activity. The haddock mainly eats benthic species, while fish is the main stomach content of saithe.)

3.4 Lydmålingene

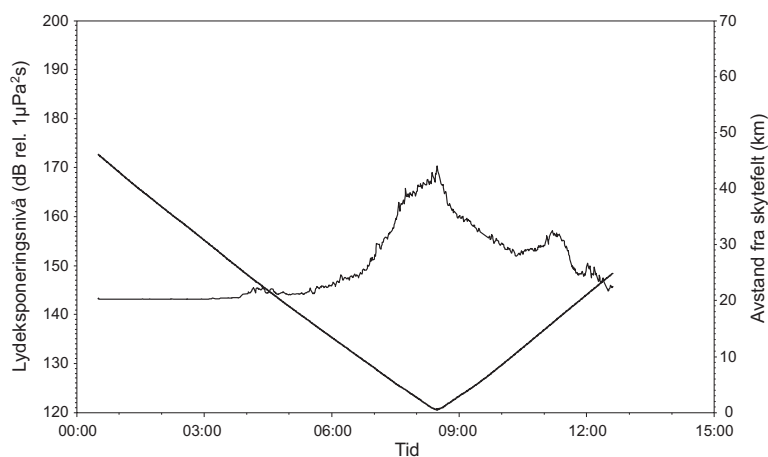
Det ble gjort lydmålinger i forskjellige dyp og i forskjellige avstander fra kurslinjene til det seismiske fartøyet. Figur 3.4.1 viser hvordan lydtryknivået varierte med avstanden til det seismiske fartøyet når det passerte nesten rett over (dvs. 500 m fra) en hydrofonrigg som var satt ut på 184 m dyp. Når seismikkfartøyet startet på denne kurslinjen, var det 46 km fra riggen og lydtryknivået (dvs. spissverdien av lydtrykket) ble målt til ca. 140 dB rel. 1 μ Pa. Lydtryknivået holdt seg på dette nivået inntil fartøyet var på 30 km avstand. . Ettersom fartøyet nærmet seg hydrofonriggen ytterligere, steg lydtryknivået jevnt opptil 170 dB rel. 1 μ Pa fram til en avstand på 6 km. Fra denne avstanden steg lydtryknivået raskere og nådde en topp på 191 dB rel. 1 μ Pa i det seismikkfartøyet passerte like til side for hydrofonriggen. Lydtryknivået sank raskt like etter passering, men ettersom fartøyet beveget seg lengre bort

fra riggen var nivået jevnt over høyere enn ved tilsvarende avstander før passering. I en avstand på rundt 15 km steg lydtrykknivået ettersom fartøyet beveget seg vekk fra hydrofonriggen før det igjen sank.

Kurven som viser lydeksponeringsnivået (lydenergien) har tilsvarende form som lydtrykknivået (Figur 3.4.2). Lydeksponeringsnivået lå under 150 dB rel. $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ s}$ til seismikkfartøyet var på en avstand på ca. 10 km. Fra denne avstanden steg energien i lydimpulsen fra luftkanonene raskt og nådde et maksimum på ca. 170 dB rel. $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ s}$ når fartøyet passerte hydrofonriggen.



Figur 3.4.1. Lydtrykknivå (spissverdi) fra en seismisk kurslinje i forhold til avstanden fra luftkanonfeltet til målepunktet. Skipet passerte like over en hydrofonrigg som var satt ut på 184 m dyp. Når målingene starten var fartøyet ca. 45 km fra riggen. (Sound pressure level (peak value) from one seismic survey line relative to the distance from the air-gun array. The vessel passed close to a hydrophone rig deployed at 184 m depth. When the measurements started the vessel was about 45 km from the rig.)

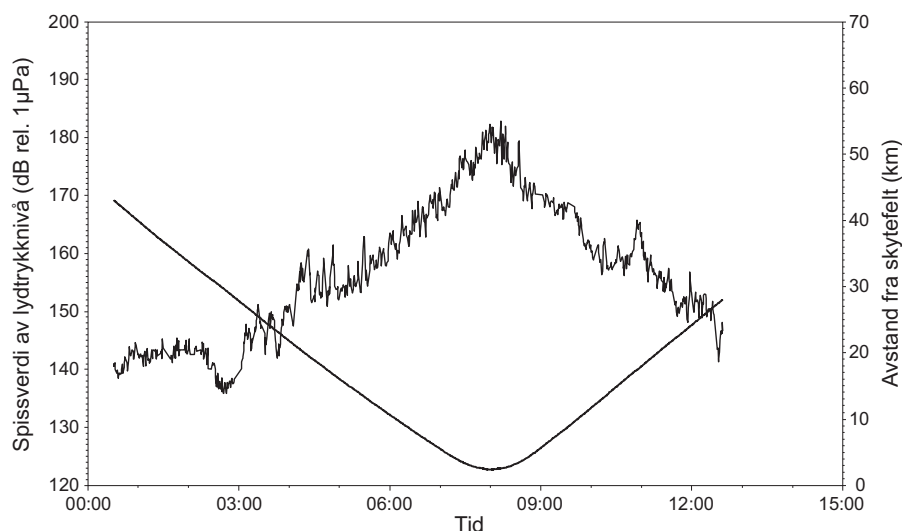


Figur 3.4.2. Som Figur 3.4.1, men denne figuren viser beregnet lydeksponeringsnivå. (As Figure 3.4.1, but this figure shows estimated sound exposure level.)

En tilsvarende måling ble gjort da hydrofonriggen var satt ut på 383 m dyp i nærheten av området hvor garnfisket etter blåkveite foregikk (Figur 3.4.3 og 3.4.4). Her var kurslinjen til seismikkfartøyet litt til side for riggen (2,4 km). Når fartøyet startet på denne kurslinja, ble lydtrykknivået målt til 140-145 dB rel. $1 \mu\text{Pa}$, og det steg jevnt opp til et nivå på ca. 182 dB rel. $1 \mu\text{Pa}$ når fartøyet passerte til side for riggen. Ved denne passeringen økte lydeksponeringsnivået fra 134 til 163 dB rel. $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ s}$.

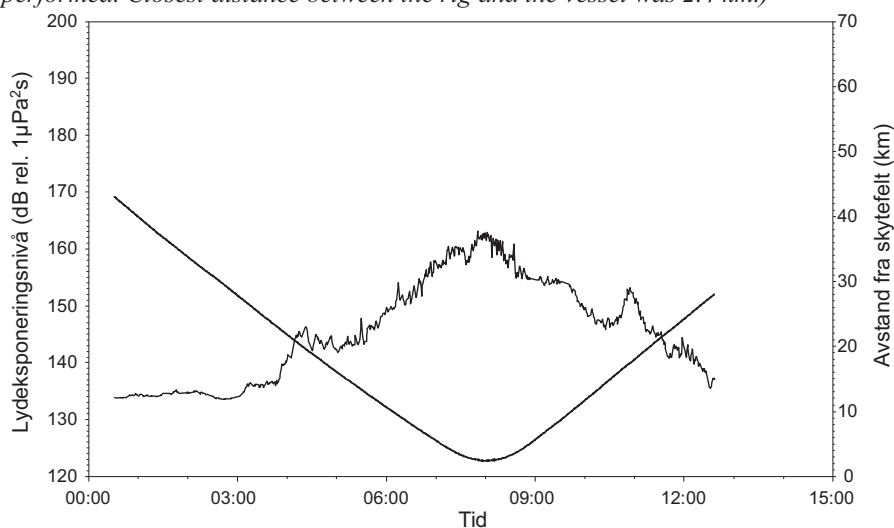
Hoveddelen av den seismiske datainnsamlingen ble utført langt utenfor området hvor linefisket etter hyse foregikk. Lydmålingene i dette området ble derfor utført i forbindelse med en kurslinje der seismikkfartøyet passerte på lang avstand. Under disse målingene var

hydrofonriggen satt ut på 73 m dyp i samme område som hyselinene ble satt, og seismikkfartøyet var på det nærmeste på en avstand på 10,1 km da det passerte utenfor dette området. Det høyeste lydtryknivået som ble målt ved denne passeringen, var 155 dB rel. 1 μPa (Figur 3.4.5). Tilsvarende ble lydeksponeringsnivået beregnet til om lag 141 dB rel. 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ når seismikkfartøyet passerte på sitt nærmeste (Figur 3.4.6).

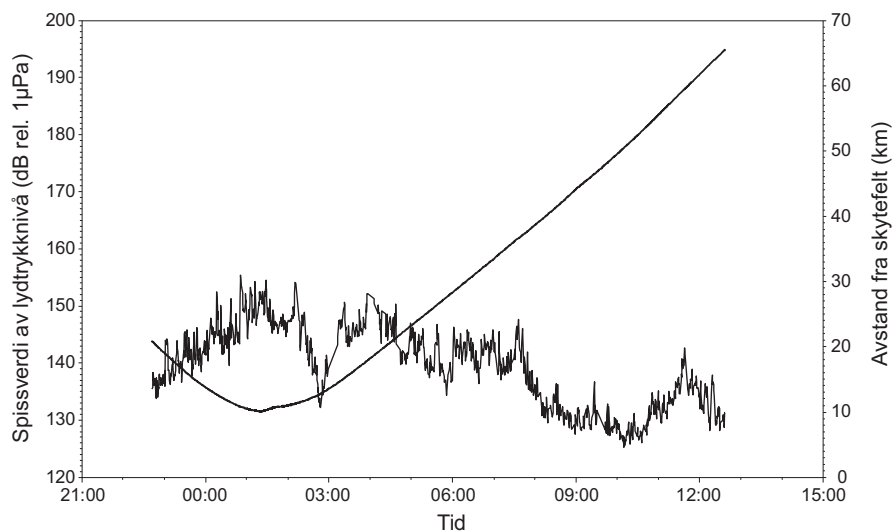


Figur 3.4.3 Lydtryknivå (spissverdi) fra en seismisk kurslinje i forhold til avstanden fra luftkanonfeltet til målepunktet. Hydrofonriggen var plassert på 383 m dyp i området der garnfiske etter blåkveite foregikk. Nærmeste avstand mellom rigg og det seismiske fartøyet var 2,4 km.

(Sound pressure level (peak value) from a seismic survey line relative to the distance from the air-gun array. The hydrophone rig was deployed at 383 m depth in the area where gillnet fishing for Greenland halibut was performed. Closest distance between the rig and the vessel was 2.4 km.)

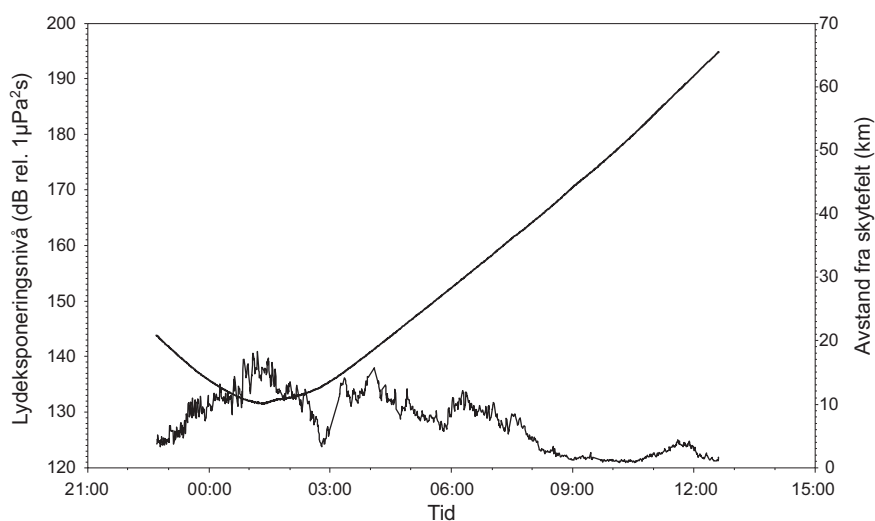


Figur 3.4.4. Som Figur 3.4.3, men denne figuren viser beregnet lydeksponeringsnivå.
(As Figure 3.4.3, but this figure shows estimated sound exposure level.)



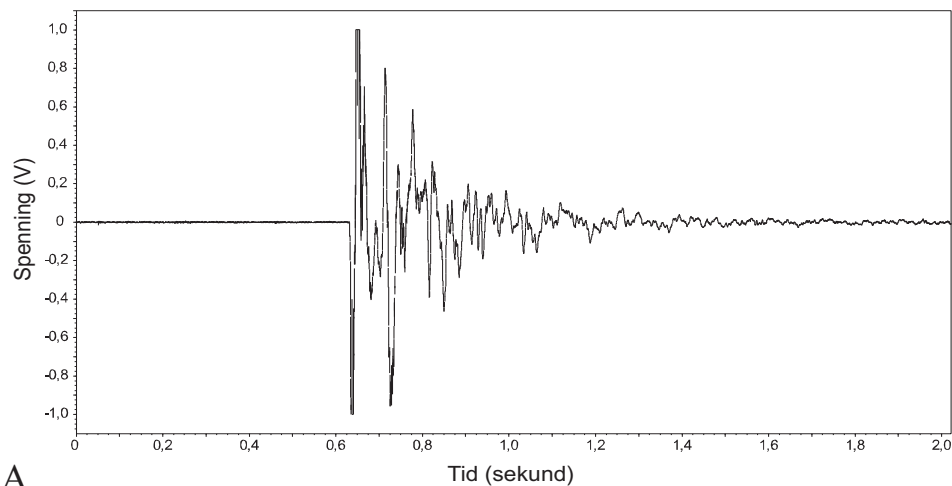
Figur 3.4.5. Lydtrykknivå (spissverdi) fra en seismisk kurslinje i forhold til avstanden fra luftkanonfeltet til målepunktet. Hydrofonriggen var plassert på 73 m dyp i området der linefiske etter hyse foregikk. Nærmeste avstand mellom rigg og det seismiske fartøyet var 10,1 km.

(Sound pressure level (peak value) from a seismic survey line relative to the distance from the air-gun array. The hydrophone rig was deployed at 73 m depth in the area where longline fishing for haddock was performed. Closest distance between the rig and the vessel was 10.1 km.)

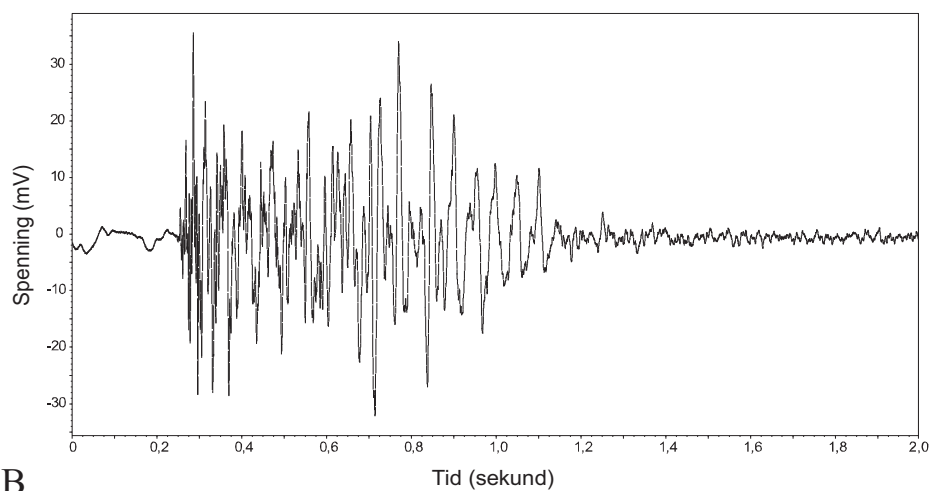


Figur 3.4.6. Som Figur 3.4.3, men denne figuren viser beregnet lydeksponeringsnivå.

(As Figure 3.4.3, but this figure shows estimated sound exposure level.)



A



B

Figur 3.4.7. Formen på lydsignalet fra ett luftkanonskudd. A er målt på ca. 150 m avstand, mens B er målt i en avstand på 5 km. Skalaen på y-aksen er forskjellig (A er gitt i V og B i mV).

(The shape of the sound signal from one air-gun shot. A is measured at 100 m distance, while B is measured at a distance of 5 km. Note the different scale of the y-axis (A is given in volts and B in millivolts).)

I Figur 3.4.7 er demonstrert hvordan reflekterte lydpulser fra overflaten og bunnen summerer seg sammen med den direkte lydpuls fra luftkanonene ved to ulike avstander. Ved en avstand på ca. 150 m framkommer den direkte lydpuls tydelig sammen men noen få reflekterte lydpulser innenfor et tidsvindu på ca. 0,6 s. På lang avstand (5000 m) er den direkte lydpuls langt svakere og mindre tydelig og flere reflekterte lydpulser måles innenfor et tidsvindu på ca. 1 s. Slike forhold har betydning for fiskens retningsbestemmelse av lydkilden og for lydpåvirkning på fisk.

4 Diskusjon

4.1 Generelle kommentarer til undersøkelsen

Den geografiske plasseringen og utstrekningen av området for den seismiske datainnsamlingen ble valgt av Oljedirektoratet på grunnlag av geologisk kompleksitet og antatt potensial for petroleumsressurser. Valg av tidsperiode for seismikkinnsamlingen var tilpasset innspill fra fiskernes organisasjoner, Havforskningsinstituttet og Fiskeridirektoratet. I dette lå det at seismikkinnsamlingen skulle foregå i en periode med lite fisk og dermed liten fiskeriaktivitet i området. Dette ga de geografiske og tidsmessige rammene for undersøkelsen og la betydelige begrensninger på utførelsen (forsøksdesignet), og dermed de kunnskaper man kan dra ut av forsøket.

Området for den seismiske datainnsamlingen hadde stor geografisk utstrekning og på grunn av varierende topografiske forhold, var det ikke områder utenfor seismikkområdet som var egnet som reelt kontrollområde for fiskeforsøkene. Undersøkelsen kunne derfor ikke anvende et BACI-design ("Before/After Control/Impact"; Stewart-Oaten *et al.*, 1986; Underwood, 1992). De topografiske forholdene gjorde området også dårlig egnet til å undersøke over hvor lange avstander fisken reagerte på seismikkaktiviteten. Etter innspill fra referansegruppen ble det imidlertid utført et fiskeforsøk med garn i den sørvestre enden av seismikkområdet med hensikt å studere avstandseffekter. Dette forsøket ga svært lave og variable fangstrater, og resultatene er ikke presentert her fordi de ikke gir grunnlag for noen konklusjoner. Forekomster og fordeling av dyreplankton og pelagisk fisk er ikke i like stor grad påvirket av topografi, og de akustiske kartleggingene omfattet derfor også et kontrollområde.

Den seismiske undersøkelsen foregikk over en lang periode (over 5 uker), og fiskefordeling og fangsttilgjengelighet kan da forandre seg av naturlige årsaker, og det vil følgelig være vanskeligere å påvise eventuelle effekter av seismikkaktivitet. Videre er det som nevnt relativt lite fisk i Vesterålen på denne årstiden normalt. Slike forhold fører ofte til stor variabilitet i fangstrater som vist i denne undersøkelsen, og dermed må en ha store fangstforskjeller for å kunne påvise effekter av ytre påvirkninger som for eksempel seismikkaktivitet. Effekter av seismikk kan ha vært tilstede uten at de har framkommet som statistisk signifikante forskjeller i fangstdataene. På forsommeren fiskes det tradisjonelt etter blåkveite og uer utenfor Vesterålen, og undersøkelsen fokuserte derfor spesielt på potensielle effekter av seismisk lyd på disse artene.

Denne undersøkelsen omfatter arter som har ulike hørselsevne og som lever i ulike habitattyper. Blåkveite har ikke svømmeblære og derfor relativt dårlig hørsel (Hawkins, 1981), mens hyse og sei hører til torskefiskene som er påvist å ha god hørselsevne (Chapman and Hawkins, 1973). Blåkveite og uer lever på relativt store dyp langs kontinentalskråningen, mens hyse finnes på mye grunnere vann og flatere bunn. Disse artene vil derfor oppfatte lyden fra luftkanonene forskjellig.

Videre har garn og line ulike fangstprinsipper. Fiske med garn forutsetter at fisken er i bevegelse, og økt svømmeaktivitet vil gi større fangstutbytte for denne redskapen. Fangstprinsippet for line bygger på fiskens beiteatferd ved at lukt fra agnet tiltrekker fisken til

redskapen og stimulerer den til å bite på kroken. Fiske med line krever derfor at fisken er på jakt etter mat og kommer i kontakt med lukta fra agnet som spres med strømmen. Disse forskjellene vil kunne gi seg utslag i ulike resultater for garn og line dersom sterke lydsignal påvirker fiskens svømmeaktivitet og motivasjon for matsøk.

Resultatene som er framkommet gjennom denne undersøkelsen, må ses i lys av de forhold og begrensninger som er omtalt ovenfor. Konklusjonene kan derfor ikke ukritisk overføres til andre arter, områder eller fiskerier.

4.2 Fiskeforsøkene

Garnfangstene av blåkveite viste en økning gjennom forsøksperioden og var høyere under og etter seismikkperioden enn i perioden før datainnsamlingen startet. Økt tilgjengelighet av blåkveite på garnfeltene utover i juli og i august kan være en forklaring på økningen i garnfangstene. Fiskerne i området hevder at det er normalt med stigende garnfangster av blåkveite utover sommeren. Økt innsig av fisk i området skulle imidlertid også ha gitt seg utslag i høyere linefangster, noe som resultatene fra fangstforsøkene ikke viste. En alternativ forklaring kan derfor være at blåkveite reagerte på lyden fra luftkanonene gjennom økt svømmeaktivitet og dermed økte sannsynligheten for at den kom i kontakt med garna og ble fanget. Forandringer i svømmeatferd under påvirkning av lyd fra luftkanoner er vist i flere undersøkelser (Pearson *et al.*, 1992; Hassel *et al.*, 2004).

Resultatene for linefangstene av blåkveite viste en nedgang i fangstratene i seismikkperioden. Økte svømmeaktiviteten i denne perioden, slik som garnfangstene indikerer, skulle det imidlertid også øke sannsynligheten for at fisken kom i kontakt med lukta fra lineagnet. De reduserte linefangstene tyder dermed på at dette kan være en stressreaksjon som reduserer motivasjonen for å søke etter mat. Det er påvist nedgang i linefangster av uerarter under seismikkaktivitet i en tidligere undersøkelse, og dette ble forklart med at fisken viste lavere respons mot agn (Skalski *et al.*, 1992).

Garnfangstene av uer viste en økning i seismikkperioden. I likhet med resultatene for blåkveite kan denne fangstøkningen forklares med økt svømmeaktivitet. Det er vist at andre uerarter søkte ned mot bunnen når de ble påvirket av lyd fra luftkanoner (Skalski *et al.*, 1992), og et slikt reaksjonsmønster vil føre til at fisk som står høyt over bunnen blir mer tilgjengelig for fangst med garn. En tilsvarende økning i garnfangstene av uer ble funnet ved gjennomgang av fangstdatabaser fra sommeren 2008 da det ble samlet inn 2D-seismikk i Vesterålenområdet (Vold *et al.*, 2009).

Garnfangstene av sei viste en nedadgående tendens gjennom seismikkperioden. Denne fangstreduksjonen var ikke statistisk signifikant, men støttes av den akustiske kartleggingen, og indikerer at seien delvis trakk vekk fra området etter noen dager med seismisk datainnsamling. I analysen av fangstdata fra garnbåter som fisket utenfor Vesterålen under seismikkinnsamlingen i 2008, ble det også påvist reduksjoner i garnfangstene av sei (Vold *et al.*, 2009). Reduksjonen i gjennomsnittslengden for sei viste at størrelsessammensetningen

forandret seg under seismikkperioden og indikerte at den største fisken ble skremt i større grad enn mindre fisker. Størrelsesavhengig unnvikelsesreaksjon på lyd fra luftkanoner er også påvist for torsk (Engås *et al.*, 1996).

Bifangstratene for lange i garnfisket viste en umiddelbar økning da den seismiske datainnsamlingen startet, både for uer- og seigarn. Denne fangstøkningen for lange kan også forklares med at fisken viste økt svømmeaktivitet når den ble utsatt for lyden fra luftkanonene. Fangstøkningen var mer markant for lange enn for blåkveite og uer, noe som kan skyldes bedre hørsel hos lange. Det kan også skyldes at den blir fanget på grunnere vann enn blåkveite og dermed vil oppfatte lydtrykknivået fra luftkanonene som sterkere og derfor reagere kraftigere enn de andre artene. Før den seismiske datainnsamlingen var avsluttet, gikk fangstratene for lange tilbake til samme nivå eller var lavere enn for perioden før datainnsamlingen startet. Dette kan enten forklares med at fisken ble tilvendt (habituert) til lyden og normaliserte sin svømmeaktivitet eller at fisk trakk vekk fra området. Resultatene indikerer at fangstøkningen i seismikkperioden og fangstreduksjon i perioden etter innsamlingen var mer markant for seigarn enn for uergarn som sto dypere.

Resultatene for hyse viste indikasjoner på reduksjoner i fangstratene i slutten av seismikkperioden, men fangstratene for perioden før og hele perioden under seismikkinnsamlingen sett under ett var ikke signifikant forskjellig. Imidlertid var det en positiv korrelasjon mellom fangstratene og avstanden til seismikkfartøyet som viste at fangstene ble redusert når avstanden til luftkanonfeltet avtok. I likhet med resultatene for sei var det også for hyse forandringer i størrelsessammensetningen som indikerer en påvirkning fra luftkanonene. De store variasjonene i fangstratene for hyse fra dag til dag gjør det vanskelig å påvise signifikante effekter. I tillegg var det ingen direkte overlapp mellom de seismiske linjene og det området hvor linebåten fisket. Det var kun i de tre siste dagene av seismikkperioden at det seismiske fartøyet passerte hyselinene innenfor en avstand på 1 nautisk mil. Korrelasjonen mellom avstand til seismikkfartøyet og fangstrater indikerer at fangstene ble redusert mot slutten av seismikkperioden. I analyser av data over leverte fangster i Vesterålenområdet under 2D-seismikken i 2008 ble det påvist en nedgang i garnfangstene av hyse under seismisk datainnsamling, mens man ikke fant samme tendens i linefisket (Vold *et al.*, 2009).

Resultatene fra denne undersøkelsen er forskjellig fra resultatene fra en lignende feltundersøkelse som ble utført på Nordkappbanken i 1992. Her ble det påvist at innsamling av 3D-seismikk førte til reduksjon av trål- og linefangster av torsk og hyse på om lag 70 % inne i det seismiske området (Engås *et al.*, 1996). I forhold til arealdekningen ble imidlertid den seismiske datainnsamlingen utført på ulike måter i de to undersøkelsene. Seismikkområdet var mye mindre på Nordkappbanken (3 x 10 nautiske mil) enn området i denne undersøkelsen (8 x 46 nautiske mil). I tillegg var avstanden mellom de seismiske linjene tettere på Nordkappbanken (125 mot 400 m) fordi kurslinjetettheten da ble fastsatt til å representere tauing av to hydrofonkabler mot åtte i undersøkelsen i Vesterålen. Dette betyr at i undersøkelsen på Nordkappbanken var seismikkaktiviteten mer konsentrert og området ble dermed utsatt for en høyere dose lydenergi enn i denne undersøkelsen. Under

seismikkinnsamlingen i Vesterålen ble det avfyrt 164152 luftkanonskudd, og under forutsetning av at luftkanonene i undersøkelsen på Nordkappbanken ble avfyrt hver 25. meter langs de seismiske kurslinjene, viser en grov beregning at lydpåvirkningen, definert som antall luftkanonskudd per kvadratkilometer og time, var 19 ganger høyere i forsøket på Nordkappbanken enn i denne undersøkelsen i Vesterålen (henholdsvis 2,53 og 0,136 luftkanonskudd/km²/t).

En annen viktig forskjell er at lydutsendingen fra luftkanonene på Nordkappbanken startet i sentrum av det området hvor det ble fisket, og fisken i dette området ble derfor utsatt for et høyt lydtryknivå med en gang seismikkaktiviteten startet. I Vesterålen startet det seismiske fartøyet å operere luftkanonene mange kilometer fra de områdene hvor det ble fisket, og lydtryknivået som ble målt på denne avstanden var langt under fiskens reaksjonsterskel. Fisken ble således i starten utsatt for lave lydtryknivå som gradvis økte i styrke før det avtok igjen etter at fartøyet hadde passert. Siden fartøyet brukte 10-12 timer på en kurslinje og 3-4 timer på å snu, gikk det om lag 15 timer mellom hver passering. På Nordkappbanken var linjene mye kortere (10 mot 46 nautiske mil) og seismikkfartøyet passerte et gitt punkt langt oftere. Fisken på Nordkappbanken ble derfor utsatt for en langt sterkere og mer sammenhengende lydpåvirkning enn fisken i Vesterålen.

4.3 Akustisk kartlegging

De akustiske målingene viste at bunnfiskmengden i området var lav (10-30 tonn/nmi²) og variabel. Det var ikke signifikante endringer i totalmengde bunnfisk i de undersøkte områdene mellom periodene før, under og etter den seismiske datainnsamlingen. Av artene sei, hyse, torsk, uer og "andre" (som inkluderte vassild og øyepål) var det bare mengde sei som ble redusert under seismikkaktiviteten.

Både ekkolodd- og sonarmålinger viste at mengde sild ble redusert i hele området i løpet av forsøksperioden. Kontrollområdet viste tilsvarende tendens med synkende middeltetthet som i seismikkområdet. Vi antar at silda som ble registrert i området beitet på plankton, og var på vandring nordøstover langs kanten av kontinentalsokkelen.

De lave tetthetene av kolmule utenfor Vesterålen endret seg ikke signifikant under den seismiske datainnsamlingen. Mengde mesopelagisk fisk var imidlertid mindre i seismikkperioden enn før og etter. Mesopelagisk fisk, som i dette området besto av laksesild og lysprikkfisk, fiskes ikke kommersielt, men de er viktig føde for kolmule, uer og dypvannsfisk. Effekter av seismikk på fordelinger av mesopelagisk fisk er tidligere rapportert av Slotte *et al.* (2004), men ikke i det omfang som vist her.

Tettheten av fiskelarver i området viste seg å være svært lav (4-20 larver per trålhal, dvs. < 1 larve/1000 m²) og det ble utelukkende registrert larver av sild. På grunn av den lave tettheten ble undersøkelsen av fiskelarver redusert i forhold til det som opprinnelig var planlagt.

Målingene av plankton viste jevne tettheter i hele undersøkelsesområdet, og det var ingen påvisbare endringer i tetthet eller fordeling som følge av seismikkaktiviteten. Dyreplankton har liten egenbevegelse, og observasjonene viste at planktonlaget i området drev med strømmen nordover med en fart på om lag 0,5 – 1,5 knop som tilsvarte farten en målte for sildestimer og hydrofonbøyen.

4.4 Mageprøver

Den viktigste årsaken til at mageanalyser ble inkludert i denne undersøkelsen, var at det etter den seismiske datainnsamlingen i dette området i 2008 ble hevdet fra fiskerhold at seismikken førte til sterke reduksjoner i fiskefangstene, og at dette kunne skyldes at fiskens byttedyr (for eksempel sild og øyepål) var blitt skremt ut av området. Denne undersøkelsen gir ikke klare holdepunkter for denne hypotesen, selv om det var en signifikant nedgang i innhold av fisk i magene fra hyse og sei tatt med line og garn mens den seismiske undersøkelsen pågikk. For sei fortsatte nedgangen etter at undersøkelsen var avsluttet. En tilsvarende nedgang ble imidlertid ikke funnet i mager fra hyse, sei og torsk fanget med trål fra forskningsfartøyene.

Det ble ikke påvist statistisk signifikante endringer i innholdet av bunndyr i magene for noen arter eller redskaper gjennom forsøksperioden, selv om det var en nedadgående tendens i seismikkperioden hos fisk fra fangstforsøkene. Her gikk også andelen bunndyr relativt til fisk opp mens seismikkundersøkelsen pågikk, noe som indikerer at tilgangen på fisk var dårligere i denne perioden. Innholdet av fisk var generelt mer variabelt enn bunndyrinnholdet, noe man må anse som naturlig da fisk er mer mobile enn bunndyr. Både for hyse (trål), torsk (trål) og sei (garn) ble det funnet signifikante forskjeller i innhold av fisk mellom de tre undersøkelsesperiodene. Retningen på endringene, dvs. økning eller reduksjon, var imidlertid ikke konsistent. Mens man fant en økning i innholdet av fisk (sild) hos hyse og torsk tatt med trål da seismikken opphørte, fant man en gjennomgående nedadgående tendens fra før til etter seismikkaktiviteten hos sei i garnfangstene. Denne nedgangen var i overensstemmelse med den akustisk målte nedgangen i mengde sild i området. Det er vanskeligere å forklare hvorfor man fant en økning av innholdet av sild i magene fra trålfanget hyse og torsk. Silda var imidlertid ikke helt borte fra forsøksområdet, og den kan ha blitt skremt ned mot bunnen og dermed blitt mer tilgjengelig som føde for hyse og torsk som sto ved bunnen og ble fanget med trål.

Endringene i innholdet av fiskearter i magene fra før til under og etter seismikkinnsamlingen, har ikke nødvendigvis sammenheng med seismikkaktiviteten, men kan være forårsaket av naturlige variasjoner i tilgangen på byttedyr. Silda er et eksempel på en slik byttedyrart der naturlige vandring trolig er årsak til forskjeller i mageinnhold mellom periodene før, under og etter seismikkaktiviteten.

4.5 Lydmålingene

Lydmålingene viser at fisk som oppholdt seg innenfor området for den seismiske datainnsamlingen, ble eksponert for varierende nivåer av lydtrykk og lydenergi avhengig av avstanden til det seismiske fartøyet. Når seismikkfartøyet startet på en kurslinje og var i en avstand på over 30 km fra et fiskefelt, var lydtrykknivået fra luftkanonen på 140 dB rel. 1 μ Pa. Dette nivået er langt over høreterskelen til for eksempel torsk (Chapman and Hawkins, 1973), men langt under terskelverdiene for atferds-endringer. Atferdsstudier av ulike uerarter som ble eksponert for lyd fra seismiske luftkanoner, viste svake atferdsendringer ved 161 dB rel. 1 μ Pa, og tydeligere forandringer i svømmeatferd ved 180 dB rel. 1 μ Pa (Pearson *et al.*, 1992). Dette betyr at når seismikkfartøyet startet på ei kurslinje, kunne fisken høre lyden fra luftkanonene, men lydnivået var langt under terskelen for å utløse reaksjoner.

Ettersom seismikkfartøyet nærmet seg hydrofonriggen, steg lydnivået jevnt og ble målt til 170 dB rel. 1 μ Pa i en avstand på 6 km. Lydtrykket er da på et nivå der man i tidligere studier har observert atferdsendringer. Ved maksimumsnivået på ca. 191 dB rel. 1 μ Pa som ble målt idet luftkanonfeltet passerte over hydrofonriggen, var lydtrykknivået der en kan forvente at fisken reagerer kraftigere ved å vise tydelige endringer i svømmeatferd (økt aktivitet, endret stimatferd, vertikalbevegelse; se Pearson *et al.*, 1992).

Målingene som ble gjort i området hvor linefisket etter hyse foregikk, viste at lydtrykknivået ved en passering på 10 km avstand ikke kom over 155 dB rel. 1 μ Pa. Dette er et nivå som fisken kan høre, men som ligger under de terskelverdiene som er målt for atferdsreaksjoner. I flere uker opererte seismikkfartøyet i avstander på mange kilometer fra området for hyselinene, før kurslinjene nærmet seg dette området. Hyse som oppholdt seg innenfor dette området, ble derfor først utsatt for langvarige lave, men gradvis økende lydnivå. Dette kan ha ført til tilvenning (habituering) til lyden fra luftkanonene og dermed en høyere reaksjonsterskel hos hyse. Korrelasjonen som ble funnet mellom fangstrater for hyseline og avstand til det seismiske fartøyet viste imidlertid at hyse reagerte på lyden fra luftkanonene når fartøyet kom nær.

5 Konklusjon

Denne undersøkelsen viste at den seismiske undersøkelsen påvirket fiskeriene i det undersøkte området utenfor Vesterålen på ulike måter. Dette ga seg utslag i både økte og reduserte fangstrater for de ulike fiskeartene og fangstredskapene.

De akustiske kartleggingene, reduserte garnfangster og endringer i lengdefordelingen tyder på at deler av seiforekomstene trakk ut av området under den seismiske innsamlingen. Store variasjoner i dataene gjør det vanskelig for å fastslå om eller når fisken vendte tilbake i løpet av undersøkelsesperioden. Resultatene for blåkveite, uer og lange viste økning i garnfangstene under påvirkning av seismiske lydbølger. Disse resultatene tyder på at blåkveite og uer ble værende i området, selv om det ble funnet en reduksjon i linefangstene av blåkveite. Resultatet for hyse viste ikke statistisk sikre forskjeller mellom linefangstene før og

under den seismiske datainnsamlingen. Det var imidlertid en positiv korrelasjon mellom fangstrate og avstand til seismikkfartøyet som viste av hysefangstene ble redusert når avstanden til seismikkfartøyet avtok. Hysefangstene var mindre påvirket av seismikkinnsamlingen fordi seismikkfartøyet i mye mindre grad opererte i nærheten av feltet for hysefiske sammenlignet med fiskefeltene for de andre artene. Analysene av mageinnholdet til fisk fanget med garn, line og trål viste ingen klare endringer i fødeopptak som kan tilskrives påvirkning av lyd fra luftkanonene.

Endringene i fangstratene gir klare indikasjoner på at fisk reagerte på lyden fra luftkanonene og endret atferd. Lydmålingene viste at fisken ble eksponert for lydtrykk som ligger langt over terskelverdiene for hørsel som er målt hos fisk, og innenfor det nivået hvor en kan forvente tydelige forandringer i svømmeatferden. Fangstendringene kan forklares med at fisken økte svømmeaktiviteten, noe som gjorde blåkveite, uer og lange mer utsatt for å bli fanget i garn, mens sei delvis vandret ut av området. En økning i svømmeaktiviteten kan være et symptom på en stressreaksjon som videre kan føre til redusert fangsteffektivitet for line enten gjennom lavere motivasjon for å søke etter mat eller ved at fisken delvis trekker ut av området.

I denne undersøkelsen, som fulgte en ordinær seismikkinnsamling (følgeforskning), fant man svakere negativ påvirkning fra luftkanoner enn i et tidligere forsøk på Nordkappbanken der det ble påvist betydelige fangstreduksjoner. På Nordkappbanken var seismikkaktiviteten konsentrert innenfor et mindre område og avstanden mellom de seismiske linjene var tettere. Det medførte at fisken ble utsatt for en langt sterkere og mer sammenhengende lydpåvirkning (antall luftkanonskudd per flatemål og tidsenhet) enn hva tilfellet var i denne undersøkelsen. I tillegg startet det seismiske fartøyet datainnsamlingen lengre fra de aktuelle fiskefeltene og passerte disse mye sjeldnere i denne undersøkelsen sammenlignet med forsøket på Nordkappbanken. Tilvenning til ytre påvirkninger (habituering) er et kjent fenomen hos fisk og gir seg utslag i svakere reaksjoner.

6 Takk

Prosjektet er finansiert av Oljedirektoratet, hvor Jan Stenløkk har vært vår kontaktperson gjennom prosjektperioden. Vi takker for god dialog under planlegging, gjennomføring og rapportarbeid. Johnny Johnsen, Norges Kystfiskarlag, og Elling Lorentsen, Norges Fiskarlag, som har sittet i prosjektets referansegruppe, takkes for nyttige innspill, gode råd og fruktbare diskusjoner i planleggingsfasen.

Vi vil takke skippere og mannskaper på line- og garnbåtene "Ekenborg", "Hersleb", "Klotind", "Nytun" og "Eggumsværing" for god lagånd, kreative innspill og samvittighetsfull gjennomføring av forsøksfisket gjennom en lang forsøksperiode. Uten deres praktiske erfaringer og dyktighet på sjøen kunne dette prosjektet ikke vært gjennomført. Vi takker samtidig for den gode mottakelsen Havforskningsinstituttets mange toktmedarbeidere fikk om bord i alle båtene. Videre takker vi skippere og mannskaper om bord på forskningsfartøyet

"Håkon Mosby" og fiskefartøyet "Eros" som ble brukt til akustiske målinger av fiske- og planktonforekomstene i forsøksområdet.

Dette har vært et omfattende prosjekt der svært mange av Havforskningsinstituttets ansatte har bidratt, særlig i feltarbeidet. Uten å nevne noen ved navn takker vi samtlige for god innsats og positiv holdning under varierende arbeids- og værforhold på sjøen og under arbeidet med databearbeiding på land. Vi retter en spesiell takk til Inger Marie Beck og Arne Storaker for opparbeiding av mageprøver. Espen Johnsen, Michael Pennington og Sondre Ånes har bidratt med verdifulle råd om statistisk behandling av fangstdata. Anne-Britt Skar Tysseland har hjulpet til med grafikk og Reidun Sørensen med korrekturlesing i sluttfasen av rapportskrivingen.

7 Referanser

- Aglen, A. 1983. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied. *FAO Fisheries Report*, 300; 293-298.
- Andersen, L.N. 2001. The new Simrad EK60 scientific echo sounder. *Journal of the Acoustic Society of America*, 109, 2336.
- Anon. 2008. R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Chapman, C.J. and Hawkins, A.D. 1973. A field study of hearing in the cod, *Gadus morhua* L. *Journal of Comparative Physiology*, 85: 147-167.
- Engås, A. 1988. Manual for Campelen Super 1800/96. Institute of Marine Research, Bergen, Norway.
- Engås, A., Løkkeborg, S., Ona, E., and Soldal, A.V. 1996. Effects of seismic shooting on local abundance og catch rates of cod (*Gadus morhua*) og haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53(10): 2238-2249.
- 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.
- Hassel, A., Knutsen, T., Dalen, J., Skaar, K., Løkkeborg, S., Misund, O.A., Østensen, Ø., Fonn, M., and Haugland, E.K. 2004. Influence of seismic shooting on the lesser sandeel (*Ammodytes marinus*). *ICES Journal of Marine Science*, 61: 1165-1173.
- Hawkins, A.D. 1981. The hearing abilities of fish. In *Hearing and sound communication*. Ed. By W.N. Tavolga, A.N. Popper, and R.R. Fay. Springer-Verlag, New York: 109-133.
- Korneliussen, R.J., Ona, E., Eliassen, I., Heggelund, Y., Patel, R., Godø, O.R., and Giertsen, C. 2006. The Large Scale Survey System LSSS. In *Proceedings of the 29th Scandinavian Symposium on Physical Acoustics*, Ustaoset, 29 January – 1 February 2006.
- Korneliussen, R. and Ona, E. 2002. An operational system for processing and visualizing multi- frequency data. *ICES Journal of Marine Science*, 59: 293-313.
- Korneliussen, R. and Ona, E. 2003. Synthetic echograms generated from the relative frequency response. *ICES Journal of Marine Science*, 60: 636-640.
- Løkkeborg, S. and Soldal A.V. 1993. The influence of seismic exploration with air guns on cod (*Gadus morhua*) behaviour and catch rates. *ICES Marine Science Symposium*, 196: 62-67.
- MacLennan, D.N., Fernandes, P.G., and Dalen, J. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES Journal of Marine Science*, 59: 365-369.
- Pearson, W.H., Skalski, J.R., and Malme, C.I. 1992. Effects of sounds from a geophysical survey device on behavior of captive rockfish (*Sebastes* spp). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(7): 1343-1356.

- Popper, A.N., Fay, R.R., Platt, C., and Sand, O. 2003. Sound detection mechanisms and capabilities of teleost fishes. *In* Sensory Processing in Aquatic Environments. Ed. by S.P. Collin, and N.J. Marshall. New York, Springer Verlag: 1-38.
- Popper, A.N. and Hastings, M.C. 2009. The effects of anthropogenic sources of sound on fishes. *Journal of Fish Biology*, 75: 455-489.
- Skalski, J.R., Pearson, W.H., and Malme, C.I. 1992. Effects of sound from a geophysical survey device on catch-per-unit-effort in a hook-and-line fishery for rockfish (*Sebastes* spp.). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(7): 1357-1365.
- Slotte, A., Hansen, K., Dalen, J., and Ona, E. 2004. Acoustic mapping of pelagic fish distribution in relation to a seismic shooting area off the Norwegian Coast. *Fisheries Research*, 76: 143-150.
- Stewart-Oaten, A., Murdoch, W.W. and Parker, K.R., 1986. Environmental impact assessment: "pseudoreplication" in time? *Ecology*, 67: 929-940.
- Underwood, A.J. 1992. Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 161: 145-178.
- Vold, A., Løkkeborg, S., Tenningen, M. og Saltskår, J. 2009. Analyse av innsamlede fangstdata for å studere effekter av seismiske undersøkelser på fiskeriene i Lofoten og Vesterålen sommeren 2008. *Fisken og Havet* nr. 5-2009, 47 pp.
- Wenneck, T. de L., Falkenhaug, T. and Bergstad, O.A. 2008. Strategies, methods, and technologies adopted on the RV "G.O. Sars" MAR-ECO expedition to the Mid-Atlantic Ridge in 2004. *Deep Sea Research II*. Volume 55, Issues 1-2: 6-28.
- Wiebe, P.H., Morton, A.W., Bradley, A.M., Backus, R.H., Craddock, J.E., Barber, V., Cowles, T.J., and Flier, G.R. 1985. New developments in the MOCNESS, an apparatus for sampling zooplankton and micro nekton. *Marine Biology*, 87, 313-323.
- Zelick, R., Mann, D., and Popper, A. N. 1999. Acoustic communication in fishes and frogs. *In* Comparative Hearing: Fish and Amphibians: 363-411. Ed. by A.N. Popper and R. R.Fay. New York, NY: Springer Science+Business Media, LLC.

Retur: Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, NO-5817 Bergen



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
Institute of Marine Research

Nordnesgaten 50 – Postboks 1870 Nordnes
NO-5817 Bergen
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 55 23 85 31
E-post: post@imr.no

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
AVDELING TROMSØ

Sykehusveien 23, Postboks 6404
NO-9294 Tromsø
Tlf.: +47 77 60 97 00 – Faks: +47 77 60 97 01

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN FLØDEVIGEN

Nye Flødevigveien 20
NO-4817 His
Tlf.: +47 37 05 90 00 – Faks: +47 37 05 90 01

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN AUSTEVOLL

NO-5392 Storebø
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 56 18 22 22

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN MATRE

NO-5984 Matredal
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 56 36 75 85

AVDELING FOR SAMFUNNSKONTAKT
OG KOMMUNIKASJON

Public Relations and Communication
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 55 23 85 55
E-post: informasjonen@imr.no

www.imr.no



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH

