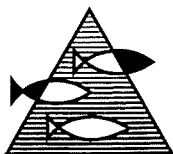


# PROSJEKTRAPPORT

ISSN 0071-5638



## HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

MILJØ - RESSURS - HAVBRUK

Nordnesparken 2 Postboks 1870 5024 Bergen

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

Forskningsstasjonen

Flødevigen

4817 His

Tlf.: 37 01 05 80

Fax: 37 01 05 15

Austevoll

Havbruksstasjon

5392 Storebø

Tlf.: 56 18 03 42

Fax: 56 18 03 98

Matre

Havbruksstasjon

5198 Matredal

Tlf.: 56 36 60 40

Fax: 56 36 61 43

Distribusjon:

ÅPEN

HI-prosjektnr.:

92.01.2

Oppdragsgiver(e):

Fiskeridepartementet (a)  
og Nærings- og  
energidepartementet (b)

Oppdragsgivers referanse:

T. Hansen (a) og  
J. A. Børresen (b)

Rapport:

FISKEN OG HAVET

NR. 9 - 1996

Tittel:

SEISMISKE UNDERSØKELSER TIL HAVS:  
EN VURDERING AV KONSEKVENSER  
FOR FISK OG FISKERIER

Senter:

Marint Miljø

Seksjon:

Fysisk oseanografi og akustikk

Forfatter(e):

John Dalen, Egil Ona, Aud Vold Soldal og Roald  
Sætre

Antall sider, vedlegg inkl.:

26

Dato:

14.juni 1996

Sammendrag:

I denne rapporten oppsummerer vi kunnskaper om effekter på fisk og fiskerier fra luftkanoskyting. Dette omhandler atferdspåvirkninger fra seismiske undersøkelser på fisk og hva dette kan bety for fangsttilgjengelighet for ulike redskaper og for gyting og vandring til gytefelt. Det omhandler videre direkte og indirekte dødelige effekter på larver og yngel som er satt inn i en verstitilfelle-vurdering og en forventningsverdivurdering for å beregne konsekvenser for dødelighet på bestandsnivå. På bakgrunn av det har vi vurdert totale konsekvenser for fiske og fiskeressursene. Dette danner så utgangspunkt for tilrådinger om reviderte forvaltningsmessige tiltak.

Emneord - norsk:

1. Seismikk
2. Effekter på fisk
3. Konsekvenser

Emneord - engelsk:

1. Seismics
2. Impacts on fish
3. Consequences

Prosjektleder

Seksjonsleder

R 4409

# INNHALDSFORTEGNELSE

INNHALDSFORTEGNELSE .....	ii
SAMMENDRAG .....	1
SUMMARY .....	4
1. INNLEDNING .....	7
2. SEISMISKE UNDERSØKELSER OG FANGSTTILGJENGELIGHET .....	10
3. EFFEKTER AV LUFTKANONSKYTING PÅ EGG, LARVER OG YNGEL .....	12
4. EFFEKTER AV SEISMISKE UNDERSØKELSER PÅ BESTANDSNIVÅ .....	16
5. KONSEKVENSVURDERING .....	19
5.1 Forstyrning av gyting og gytevandring .....	19
5.2 Konsekvenser for fisket .....	20
5.3 Konsekvenser for rekruttering til fiskebestandene .....	21
6. ANBEFALINGER .....	22
7. BEHOV FOR VIDERE FORSKNING .....	23
8. REFERANSER .....	24

## SAMMENDRAG

Hensikten med denne rapporten er å oppsummere våre kunnskaper om effekter på fisk fra luftkanonskyting og å vurdere konsekvenser av slike for fiske og fiskeressursene. Dette kan så danne basis for reviderte forvaltningsmessige tiltak for å redusere eventuelle negative effekter av seismiske undersøkelser.

Seismiske undersøkelser kan virke inn på enkeltfisk, bestander og fiskerier enten gjennom direkte fysiologiske skader eller gjennom atferdspåvirkninger. De fysiologiske effektene gjør seg først og fremst gjeldende på de unge stadiene i fiskens liv som egg, larver og yngel. For fisk på senere stadier og for voksen fisk regner en effekter av atferdspåvirkninger som mest betydningsfulle.

Under naturlige forhold hører fisk lyden fra luftkanoner på lang avstand og voksen fisk vil unngå lydkilden. Fisken oppfatter både styrke og retning av lyden som produseres av luftkanoner, der frekvensspekteret, 10-200 Hz, er sammenfallende med det mest følsomme området for fiskens hørsel; 20-700 Hz. Fiskens høreevne tilsier at den kan oppfatte lyden fra et fullskala luftkanonfelt på over 100 km avstand.

Norske og amerikanske forsøk har vist at skremming av fisk med luftkanonskyting kan medføre fangstreduksjoner i omkringliggende områder. Trålfangster av torsk og hyse ble påvist redusert ut til 18 nautiske mil fra det seismiske skyteområdet. I gjennomsnitt for et undersøkelsesområde på 40 x 40 nautiske mil ble fangstraten halvert kort tid etter at skytingen hadde startet. Fangstreduksjonen for trål var størst sentralt inne i skyteområdet der mengden av begge arter ble redusert med omlag 70 % under skytingen. Reduksjonen i fangstratene for line var i middel noe mindre, 44-50 %, inne i det seismiske skyteområdet med en gradvis mindre påvirkning ut mot ytterkanten av undersøkelsesområdet.

Forsøk utenfor kysten av California viste at fangstraten for uerarter på lineredskap i undersøkelsesområdet ble redusert til det halve under påvirkning av en enkel stor luftkanon. Fangstreduksjoner under vanlig trål- og linefiske i områder med seismiske undersøkelser med luftkanoner er også påvist. Forsøk har vist at sild reagerte retningsbestemt og svømte bort fra luftkanonposisjonene. Pelagiske arter som sild og brisling har bedre hørsel enn torsk og hyse og regnes å ha mer markant fluktningsrespons enn torskfisk. Tilsvarende skremmeeffekter er derfor å forvente for disse pelagiske artene.

Fisk på gytefelt eller under vandring til gytefelt vil sannsynlig unngå seismisk lyd i tilnærmet

samme grad som annen voksen fisk. Dersom vi i aktuelle områder krever at lydnivået fra seismisk skyting skal være lik eller lavere enn det støynivået en har i området fra fartøy i aktivt fiske, må avstanden mellom et seismisk skyteområde og et gytefelt eller viktige gytevandingsveier være 50 km eller mer.

Inntil 1990 var det utført forskning i et noe avgrenset omfang i Sovjet, Norge og USA for å belyse og kartlegge skadeomfang og -type fra luftkanoneksponering av fisk. For å supplere tidligere framkomne resultater og for å kunne belyse skadeomfang og -type for egg, larver og yngel, gjennomførte en ved Havforskningsinstituttet i perioden 1991-92 og i 1995 studier av effekter av luftkanonskyting på unge stadier av fisk.

Resultatene av undersøkelsene utført i 1991-92 bekreftet tidligere undersøkelser angående dødelighet. For fiskeegg er det påvist øket dødelighet ut til omlag 5 m avstand fra luftkanonene. For plommesecklarver, er det særlig for piggvar funnet høy dødelighet, 40-50 %, ut til avstander 2-3 m. Lavere dødelighet er påvist for ansjos ved samme avstander. For senere stadier som larver, postlarver og yngel er det funnet størst dødelighet, 10-20 %, for rødspettelarver ut til 2 m avstand. Øket dødelighet ble også påvist for torskelarver ut til 5 m. På postlarvestadiet er det påvist dødelighet i 1-2 m avstand for flere arter, og det samme gjelder for torskeyngel. Andre påviste effekter var endringer i flyteevne og oppdrift, i evne til å unngå predatorer og effekter som påvirker larvenes kondisjon og evne til å overleve. Oppsummert viser forsøkene at dødelighet og skader fra luftkanoner er begrenset til avstander mindre enn 5 m fra luftkanonene, med størst skadeomfang ved avstander mindre enn 1,5 m.

På grunnlag av resultatene for dødelighetsavstander og -rater for larver og yngel, et typisk luftkanonoppsett og 3D-undersøkellesprogram samt fordelingsmønstre for larver og yngel, ble det utført beregninger av hvor stor dødelighet en typisk seismisk undersøkelse kan påføre en larvebestand.

Vurderingen tok utgangspunkt i en valgt verste-tilfelle-vurdering, som så ble modifisert ut fra sannsynlighets- og forventningsverdibetraktninger. Verste-tilfelle-verdi ble angitt som høyeste verdi for hver parameter. Ved å bruke disse verdiene ble andelen larver,  $M$ , av en larvebestand som kan bli drept i løpet av en typisk seismisk undersøkelse, beregnet til  $M = 0,45 \%$ . Ved å beregne en "realistisk forventningsverdi" til hver av parametrene antok en at dette representerte det som i gjennomsnitt kunne bli drept under en typisk 3D-undersøkelse. Resultatet av denne beregningen var at  $0,3 \%$  av larvebestanden kunne bli drept under én undersøkelse. Blir samme larvebestand utsatt for flere undersøkelser, vil denne effekten summere seg opp for hver undersøkelse. Så lave dødelighetstall kan likevel regnes som ubetydelige i rekrutterings-

sammenheng for en fiskebestand.

Konklusjonene blir da:

Skyting med luftkanoner må frarådes i områder der det foregår fiskerier for å unngå eventuelle økonomiske tap for fiskere. Ordinære 2D- og 3D-undersøkelser bør unngås i avstander nærmere enn 50 km fra yttergrensene av de kjente fiskefeltene. Restriksjonene bør gjelde minst en uke før fisket forventes å starte.

Av gytesikringshensyn og føre-var-prinsippet bør en skjerme gytefelt i gyteperioder og spesielle gytevandingsområder for seismisk skyting for arter med konsentrerte gytefelt og vandringsruter. Ved ordinære 2D- og 3D-undersøkelser bør skyting frarådes i avstander nærmere enn 50 km fra yttergrensene av slike områder. Ved borestedsundersøkelser o.l. der en bruker små luftkanonoppsett, kan det tillates å gå nærmere, men ikke inn i selve gytefeltet.

En trenger ikke legge restriksjoner på seismiske undersøkelser utfra skadeomfanget på fiskeegg, larver og yngel.

## SUMMARY

This report summarizes our knowledge of the impacts of seismic air gun shooting on fish and applies this knowledge in evaluating the potential consequences of seismic activities on fisheries and fish resources. This may form the basis for revised resource management measures to reduce the negative impacts of seismic investigations.

Seismic investigations may have impacts on single fish, populations, or on fishery activities through direct physiological effects or by influencing behaviour. The physiological effects are most acute during the early life stages of the fish as eggs, larvae and fry. For later life stages and adult fish we regard the behavioural effects as most important.

Under natural conditions fish hear the sound of air guns at long distances and adult fish will avoid the sound source. The fish sense both the strength and direction of the sound produced by air guns as their frequency spectrum, 10-200 Hz, coincides with the most sensitive region of fish hearing, 20-700 Hz. The hearing capabilities of fish indicate that the sound of a full-scale air gun array may be heard at a distance of more than 100 km.

Norwegian and American investigations have shown that scaring fish by air gun shooting may reduce catches in surrounding areas. Trawl catches of cod and haddock have been shown to be reduced as far as 18 nautical miles from the seismic shooting area. The average reduction in catch rate in an area of 40 x 40 nautical miles was 50 % soon after shooting started. The reduction in catch rate was greatest, about 70 %, in the centre of the seismic shooting area during shooting. The reduction in longline catch rates, 44-50 %, in the shooting area was on average less than those for trawling, with a gradually declining effect towards the edge of the investigation area.

Investigations off the coast of California have shown that the reduction in catch rate on longlines for redfish species exposed to a single large air gun was about 50 % in the study area. Catch reductions during ordinary trawl and longline fisheries have also been demonstrated in areas in which seismic investigations were taking place. Experiments have also shown that herring showed directional responses and swam away from air gun positions. Pelagic species such as herring and sprat have better hearing capabilities than cod and haddock and are regarded as having more pronounced startle responses than gadoids. Equivalent scaring effects are thus to be expected for these pelagic species.

Fish on spawning grounds or on spawning migrations are believed to avoid seismic sound to about the same extent as other adult fish. If we in relevant areas require the sound level from seismic shooting to be equal to or lower than the noise level produced by operating fishing vessels, the distance between the seismic shooting area and the spawning ground or important spawning migrations route ought to be at least 50 km.

Before 1990 some research had been done on the extent and type of injuries to fish exposed to air guns. In order to supplement earlier results and elucidate what internal injuries eggs, larvae and fry might suffer, studies of the impacts of air gun shooting on the early life stages of fish were done at the Institute of Marine Research in 1991-92 and 1995.

The results of the investigations of 1991-92 confirmed previous investigations on mortality. Increased mortality rates for fish eggs have been demonstrated out to a distance of 5 m from air guns. For yolk-sac larvae, especially of turbot, the mortality rate was high, 40-50 %, at distances of 2-3 m. Lower mortality rates have been demonstrated in anchovy at the same distance. At later stages such as larvae, post-larvae and fry the highest mortality rate, 10-20 %, has been found in plaice at a distance of 2 m while pronounced mortality was also shown in cod at 5 m. Increased mortality rates at the postlarval stage have been demonstrated at 1-2 m for several species, as was also the case for cod fry. Other effects were changes in the organisms' buoyancy, influence on their ability to avoid predators, and impacts on the condition of the larvae and their ability to survive. In sum the investigations show that the mortality rates and injuries from air guns are limited to distances of less than 5 m from the air guns, with most frequent and serious injuries at distances of less than 1.5 m.

On the basis of the observed mortality rates and distances, a typical air gun array configuration and 3D-survey pattern, and the distribution patterns of larvae and fry, the total mortality of a larvae population caused by a typical survey was estimated.

First, a selected worst-case scenario was employed for the evaluation. This scenario was thereafter modified to a new one from a probability and expectation point of view. The worst-case numbers were expressed as the highest values of each parameter. Applying these values the number of larvae,  $M$ , in a population killed during a typical seismic investigation was estimated at  $M = 0.45 \%$  of the total larval population. By applying a "realistic expectation value" to each parameter it was assumed that these settings represented the proportion that might be killed on average during a typical 3D-survey. This estimate suggested that  $0.3 \%$  of the larval population might be killed by a single survey. If the same larval population were exposed to several surveys the effect would be summed for each one. Such a low level of mortality is not regarded

as having significant effects on recruitment to a stock.

Our conclusions are therefore as follows:

Air gun shooting should be advised against in areas where fishing is taking place to avoid economic loss to fishermen. Ordinary 2D- or 3D-surveys must be avoided at distances less than 50 km from the outer edges of the fishing grounds. The restrictions must apply from at least one week before fishing is expected to start.

In order to safeguard spawning and in accordance with the precautionary principle, spawning grounds during spawning periods and spawning migration routes must be protected against seismic shooting for species whose spawning grounds and migration routes are concentrated. During ordinary 2D- or 3D-surveys, shooting must be avoided at distances less than 50 km from the outer edges of these areas. Site surveys and similar activities that employ small air gun set-ups may be allowed to go closer, but generally in no case into the spawning ground itself.

There is no need for restrictions on seismic investigations on the basis of injuries of eggs, larvae, and fry.



## 1. INNLEDNING

Siden tidlig på 60-tallet har det vært utført seismisk skyting med forskjellige seismiske kilder på den norske kontinentalsokkelen for å kartlegge olje- og gassressursene. Omfanget av denne aktiviteten har vært sterkt økende. I 1974 ble det skutt ca. 40 000 linjekilometer mens en i de siste årene har vært oppe i over 300 000. I tillegg til at innsatsen på de tradisjonelle leteområdene i Nordsjøen har øket, er letearealet betydelig utvidet i de senere år ved at områdene nord for 62° N er kommet med. Når leteområdene utvides og leteintensiteten økes, blir stadig flere av våre viktigste fiskefelt, gytefelt og områder der en har egg, larver og yngel berørt av seismiske undersøkelser.

Tillatelse til å utføre seismiske undersøkelser i norsk økonomisk sone gis av Oljedirektoratet. Tillatelsene har vanligvis en varighet på tre år. Senest fem uker før en undersøkelse skal påbegynnes, skal operatøren sende melding om denne til Oljedirektoratet, Fiskeridirektoratet og Forsvarsdepartementet ved Forsvarskommando Sør ev. Nord (ANON 1995) med kopi til Norges Fiskarlag. Undersøkelsen skal ikke settes i gang før svar fra Oljedirektoratet foreligger med uttalelse fra de to andre nevnte offentlige etater og deretter at undersøkelsen er meldt gjennom "Etterretninger for sjøfarende" og Norsk Rikskringkasting, fiskerimeldingen. Havforskningsinstituttet fungerer i denne sammenheng som rådgivende instans for Fiskeridirektoratet. Videre gjelder at «undersøkelsene må ikke i unødvendig eller urimelig grad vanskeliggjøre eller hindre fiske» og «alle rimelige foranstaltninger skal tas for å unngå skade på dyre- og plantelivet i havet» (ANON 1985).

Dagens praksis med hensyn til forvaltning av fiske og fiskeressursene i forhold til seismiske undersøkelser bygger på relevante lover og forskrifter, de til enhver tid tilgjengelige relevante kunnskaper og der det blir krevet, også på føre-var-prinsippet (ANON 1990) dvs. "nødvendigheten av handling på grunnlag av mindre enn full vitenskapelig sikkerhet for miljødeleggelser av potensiell irreversibel natur".

I forhold til fiskeriene baserer Fiskeridirektoratet seg i sine tilrådinger på spesielt framstilte oversikter for de ulike fiskerier i norsk økonomisk sone og når på året disse foregår (ANON 1992). Dette sees så sammen med kunnskaper om hvordan fisk reagerer på seismisk skyting og hvilke konsekvenser det kan ha for fangst med ulike type redskaper.

Når det gjelder den ressursbiologiske delen, har rådgivningen ved Havforskningsinstituttet t.o.m. 1995 basert seg på kunnskaper om geografisk plassering av gytefelt, gyteperioder, skadeomfang og fordelinger av egg, larver og yngel og føre-var-prinsippet. Fra og med 1996

har en på grunnlag av konsekvensvurderinger ikke lenger tatt hensyn til skadepåvirkninger på larver og yngel.

Seismiske undersøkelser kan virke inn på enkeltfisk, bestander og fiskerier enten gjennom direkte fysiologiske effekter eller gjennom adferdspåvirkninger. De fysiologiske effektene gjør seg først og fremst gjeldende på de unge stadiene i fiskens liv som egg, larver og yngel da disse har begrensede muligheter for å flykte unna. Man deler ofte disse effektene opp i øyeblikkelig dødelighet, dødelighet over tid og ikke-dødelige skader. For fisk på senere stadier og for voksen fisk regner en effekter av adferdspåvirkninger som mest betydningsfulle. Dette kan ha som konsekvens at fisken skremmes vekk fra fiskefeltene og at gyteprosessen og gytevandringen kan forstyrres.

En seismisk undersøkelse til havs kan utføres som en 3-dimensjonal (3D-) undersøkelse med meget kort avstand mellom kurslinjene eller som en 2-dimensjonal (2D-) undersøkelse med mindre tette kurslinjer. Et seismikkfartøy som utfører 3D-undersøkelser, kan slepe etter seg fra ett til tre luftkanonfelt som hvert består av 10-40 luftkanoner av ulike størrelser, og en eller flere hydrofonkabler. Hvert luftkanonfelt benevnes som én seismisk kilde. Typisk avstand mellom fartøyets kurslinjer kan være 50-500 m, farten er 4-5 knop, og kanonfeltene avfyres med tidsintervaller mellom 7 og 20 s. Ved 2D-undersøkelser er kurslinjeavstandene større, mellom 0,5 og 10 km, mens fart og avfyringsintervall kan være som for 3D-undersøkelser.

Antall kilder og hydrofonkabler bestemmer hvor mange samtidige registreringslinjer eller seismiske linjer en har langs fartøyets kurslinje. I dag brukes vanligvis en (enkelkildeoppsett) eller to kilder (dobbelkildeoppsett) og fire til seks kabler ved 3D-undersøkelser med avstand mellom kablene på 25-100 m. Ved 2D-undersøkelser er det fremdeles mest vanlig med én kilde og én kabel. Jo flere samtidige seismiske linjer en har, jo større avstand vil det være mellom fartøyets kurslinjer. Når flere kilder brukes, avfyres hvert kanonfelt vekselvis med samme tidsintervall som når én kilde brukes. Totalt belastet areal langs hver kurslinje blir derfor den samme ved et flerkildeoppsett som ved et enkelkildeoppsett. Da avstanden mellom kurslinjene ved et flerkildeoppsett er større enn ved et enkelkildeoppsett, blir belastningen pr. arealenhet derfor størst ved en 3D-undersøkelse ved bruk av bare én kilde og én kabel så lenge kravet til avstand mellom de seismiske linjene holdes konstant.

Ved avfyring av en luftkanon vil høykomprimert luft i kanonkammeret strømme raskt ut. En del av den lagrede energien blir da omdannet til en lydbølge hvor den første delen av trykkpulsen er positiv dvs. et overtrykk i forhold til omgivelsestrykket og den påfølgende del er negativ hvor trykket er lavere enn omgivelsestrykket. Fisk som utsettes for en positiv trykkpuls, vil få en

sammentrykking av alle organer og når den negative trykkdelen kommer, vil disse organene utvides. Hvis trykkforskjellen er stor og utvikles raskt nok, vil indre organer, særlig svømmeblæren, kunne rives i stykker og fisken kan dø.

Når luften fra kanonkammeret strømmer ut, vil det resultere i oppstigende luftbobler med betydelig fart over kanonfeltet. Larver og yngel som befinner seg i volumene over luftkanonrekkene, kan da bli ført raskt til overflaten sammen med luftboblene. Den raske oppstigningen kan føre til at svømmeblæren sprenses eller at den nøytrale likevekten forstyrres slik at larvene flyter opp til overflaten og lettere blir tilgjengelig som føde for fugl.

I juli 1989 ble det observert stor dødelighet av torsk i oppdrett i Altafjorden etter bruk av små sprengstoffladninger til refraksjonsseismiske undersøkelser. Dette gjorde at det ble stor oppmerksomhet omkring mulige skadeeffekter på fisk til havs fra seismiske undersøkelser. I perioden 1991-1993 ble det så fra Oljeindustriens Landsforening, Nærings- og energidepartementet, Oljedirektoratet, Forsvarsdepartementet og Samferdselsdepartementet bevilget midler til endel forskningsprosjekter innen området seismikk-fisk. Midlene ble kanalisert gjennom det daværende Norges Fiskeriforskningsråd (NFFR). Det ble utført fire prosjekter innen områder som var relevante for seismikk til havs:

- Seismiske forsøk i våg (HOLAND, WALSHØ og BERG 1993). Ansvarlig institusjon: SINTEF UNIMED.
- Effekter av luftkanonskyting på egg, larver og yngel (DALEN 1993 b, BOOMAN *et al.* 1996). Ansvarlig institusjon: Havforskningsinstituttet.
- Effekter av luftkanonseismikk på larver og yngel til havs (DALEN 1993 a, HOLMSTRØM 1993). Ansvarlig institusjon: Havforskningsinstituttet.
- Effekter av luftkanonskyting på fiskeatferd og fangsttilgjengelighet (ENGÅS 1993, ENGÅS *et al.* 1993, LØKKEBORG and SOLDAL 1993, SOLDAL og LØKKEBORG 1993). Ansvarlig institusjon: Havforskningsinstituttet.

Havforskningsinstituttet har parallelt med framstilling av denne rapporten gjort en vurdering av mulige effekter av seismiske undersøkelser på bestandsnivå av individskader på larver (SÆTRE og ONA 1996).

Hensikten med denne rapporten er å oppsummere våre kunnskaper om effekter på fisk fra seismiske undersøkelser. På bakgrunn av denne har vi vurdert konsekvenser for fiske og fiskeressursene. Vurderingen kan så danne basis for reviderte forvaltningsmessige tiltak for å redusere eventuelle negative effekter av seismiske undersøkelser.

## 2. SEISMISKE UNDERSØKELSER OG FANGST-TILGJENGELIGHET

Med unntak av eksperimentelle forsøk, der fisken har blitt plassert i umiddelbar nærhet av kanonene, er det ikke påvist dødelighet og skader på fritt svømmende voksen fisk ved bruk av luftkanoner. Under naturlige forhold vil voksen fisk høre lyden fra luftkanoner på lang avstand og unngå lydkilden. Fisken oppfatter både styrke og retning av lyden som produseres av luftkanoner, der frekvensspekteret, 10-200 Hz, overlapper med det mest følsomme området for fiskens hørsel; 20-700 Hz.

Selv om fisken hører eller oppfatter lyden, må styrken overstige en viss terskel før fisken reagerer med unngivelse. Fra oppsummeringer av litteratur om hørsel hos fisk (ENGÅS *et al.* 1993, HOLMSTRØM 1993) konkluderes det med at en fullskala seismisk luftkanonkilde, med et typisk kildespektrumsnivå på ca. 210 dB rel. 1 µPa pr. Hz ref. 1 m vil kunne høres av fisk på over 100 km avstand.

For å kvantifisere effekten av seismiske undersøkelser på fangsttilgjengelighet gjennomførte Havforskningsinstituttet i 1992 et fullskala fiskeforsøk i Barentshavet med trål, line og akustisk mengdemåling inne i og i faste avstander fra et seismisk skytefelt med utstrekning 3 x 10 nautiske mil. Oppsett og resultater er rapportert i ENGÅS *et al.* (1993).

Trålfangsten av torsk (*Gadus morhua* L.) og hyse (*Melanogrammus aeglefinus* L.) ble betydelig redusert ut til 18 nautiske mil fra det seismiske skytefeltet. I gjennomsnitt for hele undersøkelsesområdet på 40 x 40 nautiske mil ble fangstraten halvert kort tid etter at skytingen hadde startet. Fangstreduksjonen for trål var størst sentralt inne i selve skytefeltet der mengden av begge arter ble redusert med omlag 70 % under skyting.

Reduksjonen i fangstraten for torsk på line var mindre enn for trål. Nedgangen var på 44 % inne i skytefeltet, med en gradvis mindre påvirkning av fangstene ut mot ytterkanten av feltet. På de ytterste linestubbene (16-18 nautiske mil fra skytefeltet) ble det ikke påvist nedgang i fangst-raten for torsk. For hyse ble det påvist en fangstreduksjon på ca. 50 % over hele undersøkelsesområdet. Akustisk mengdemåling viste at fangstreduksjonen var forårsaket av en redusert fisketetthet i området. Tetthetsreduksjonen var størst for fisk over 60 cm, og avtok gradvis for mindre fisk.

Verken akustisk målt fiskemengde eller trålfangstene økte i løpet av en periode på fem døgn

etter endt seismisk påvirkning. En svak økning i torskefangstene på line mot slutten av perioden, samt en endring av lengdefordelingene i trålfangstene, kan imidlertid tyde på at fisken startet å trekke inn igjen i området etter fem døgn.

Fangstreduksjoner på linje med de som ble funnet av ENGÅS *et al.* 1993 har også blitt dokumentert for andre arter og områder. Forsøk utenfor kysten av California viste at fangstraten for ulike uerarter (*Sebastes sp.*) på lineredskap ble redusert til det halve under påvirkning av en enkel stor luftkanon (SKALSKI *et al.* 1992). Fangstreduksjoner under vanlig fiske i områder med seismiske undersøkelser med luftkanoner er rapportert i SOLDAL og LØKKEBORG (1993) og LØKKEBORG and SOLDAL (1993). Fangstreduksjoner på 55-80 % ble observert for torsk på line under en grunnseismisk undersøkelse på Realgrunnen utenfor Finnmark i 1991. Fangstene var her redusert ut til en avstand på minst 5 nautiske mil. Tilsvarende reduksjoner på 50-80 % av bifangst av torsk ble observert i rekefisket i Barentshavet under seismiske undersøkelser på trålfeltet. Fangsten av reke endret seg lite, eller kunne også øke under skyting. I trålfiske etter sei på Storegga ble det funnet en gjennomsnittlig fangstreduksjon på 33 % under seismisk skyting i april 1991 mens det ikke ble funnet tilsvarende nedgang i juni samme år (SOLDAL og LØKKEBORG 1993).

Fra materialet innsamlet fra vanlig fiske, er det vanskelig å beregne den direkte effekten av seismisk påvirkning, idet avstander mellom fiskeredskap og skytefelt og tidsperioder for skyting og aktiv fiske i ettertid kan være vanskelig å fastsette nøyaktig. Disse størrelsene er kritiske i slike sammenligninger.

Oppsummert viser undersøkelser at lyden fra luftkanoner har en betydelig skremmeeffekt på fisk. Typiske bunnfiskarter som torsk, hyse, sei og uer unnviker områder med høyt lydnivå. Pelagiske arter som sild og brisling har bedre hørsel enn torsk og hyse. DALEN (1973) viste at sild (*Clupea harengus L.*) reagerte entydig retningsbestemt og svømte bort fra luftkanonposisjonene ved lydnivåer på 180 - 186 dB rel. 1  $\mu$ Pa. Sild viser også mer markant unnvikelse for fartøystøy enn de nevnte bunnfiskartene. Tilsvarende skremmeeffekter er derfor å forvente for disse pelagiske artene. På hvor lang avstand fisken unnviker er vanskelig å angi nøyaktig, men avstanden er avhengig av både art, fiskestørrelse, biologisk tilstand og fysiske forhold som har betydning for lydutbredelsen. De kraftigste reaksjonene ser ut til å skje ut til omlag 10 km fra et seismisk skytefelt, mens fangstreduksjoner ut til 33 km er påvist for torsk og hyse. Stor fisk reagerer kraftigere på seismisk skyting enn mindre fisk.

### 3.      **EFFEKTER AV LUFTKANONSKYTING PÅ EGG, LARVER OG YNGEL**

Fisk i tidlige livsstadier som egg, larver og yngel er mest utsatt for skadelige effekter av seismiske undersøkelser. Dette fordi de er fysiologisk sårbare, og at de i motsetning til større fisk ikke er i stand til å forflytte seg fra skaderisikovolumet rundt luftkanonene.

Tidligere utført forskning for å belyse og kartlegge skadeomfang og -type fra luftkanon-eksponering av fisk er noe avgrenset. WEINHOLD and WEAVER (1972) rapporterte om forsøk med smolt av sølv laks (*Onchorhynchus kisutch*). KOSTYUCHENKO (1973) gjennomførte forsøk med egg fra flere arter der ansjos (*Engraulis encrasicolus ponticus*) og en makrell-art (*Trachurus mediterraneus ponticus*) var dominante. KNUTSEN og DALEN (1985) arbeidet med egg, larver og yngel av torsk. HOLLIDAY et al. (1987) utførte forsøk på egg, larver og voksne individer av ansjos (*Engraulis mordax*) og KOSHELEVA (1992) rapporterte om forsøk med egg, larver og yngel av rødspette (*Pleuronectes platessa*) og torsk.

For å supplere resultater fra tidligere utført forskning og for å kunne belyse ved hjelp av histologiske analyser hvilke indre skader larver og yngel kunne få, gjennomførte Havforskningsinstituttet og Zoologisk Laboratorium, Universitetet i Bergen i 1991-92 og i 1995 studier av effekter av seismisk skyting på unge stadier av fisk for flere arter (BOOMAN *et al.* 1996). Feltforsøkene ble utført ved Havforskningsinstituttets Havbruksstasjon i Austevoll i 1991-92. Tre forsøksoppsett som simulerte påvirkninger fra reelle seismiske undersøkelser til havs ble benyttet. Artene som ble brukt i prosjektet, var representative for norske farvann og tilhørte fiskebestander av kommersiell interesse.

I tabell 1 (BOOMAN *et al.* 1996) vises en oversikt over resultater fra dokumenterte forsøk. Her er vist dødelige effekter som er observert ved ulike avstander mellom seismisk kilde og organismene på ulike utviklingsstadier.

For fiskeegg er det påvist markant dødelighet ut til omlag 5 m fra luftkanonene for ansjos. Fysiologisk sett er denne arten ganske lik sild og brisling. For rødspette- og sei egg har en påvist øket dødelighet ved 0,5-1 m avstand. For plommesekklarver, særlig for piggvar har en påvist høy dødelighet, 40-50 %, ut til avstander 2-3 m mens for ansjos var dødeligheten lavere ved samme avstand. På larvestadiet er det observert markant dødelighet, 10-20 %, for rødspette ut til 2 m avstand og øket dødelighet for torsk ut til 5 m. På postlarvestadiet er det påvist dødelighet i 1-2 m avstand for flere arter, og det samme gjelder for torskeyngel.

Tabell 1. Oppsummerte resultater av dødelig effekt på ulike utviklingsstadier som funksjon av avstand mellom seismisk kilde og organismene. Observert dødelig effekt i en forsøksgruppe ved gitt avstand er markert x. Effektbeskrivelse: SD og ISD - statistisk signifikant og ikke signifikant dødelighet, MD - markant øket dødelighet, LD - øket, men lav dødelighet. Luftkanonutrustning og kammervolum: ELK - enkel luftkanon og LKK - luftkanonklynge. (Booman et al. 1996). (*Summarized results of lethal effects at different phases of development vs. distance between the seismic source and the organisms. Observed lethal effect in a test group at a certain distance is indicated as x. Description of effects: SD and ISD - statistical significant and not significant mortality, MD - pronounced increased mortality, LD - increased, but low mortality. Air gun equipment and chamber volume: ELK - single air gun and LKK - air gun cluster*).

Stadium: Forfatter(e)	Avstand [m]					Art	Effekt	Kanonutrust- ning og volum
	0,5-1	1-2	2-3	3-5	>5			
<u>Egg:</u>								
Kostyuchenko (1973)	x			x		Ansjos	MD	ELK: 5,0 l
"					x	"	LD	"
Holliday et al. (1987)			x			Ansjos	SD	ELK: 5,0 l
Kosheleva (1992)	x					Rødspette	MD	ELK: 3,0 l
Booman et al. (1996)	x					Sei	LD - ISD	LKK: 9,6 l
<u>Plommesekkclarver:</u>								
Holliday et al. (1987)			x			Ansjos	SD	ELK: 2 - 5 l
Booman et al. (1996)	x					Torsk	LD - ISD	LKK: 9,6 l
"	x	x	x			Piggvar	SD, MD	"
<u>Larver:</u>								
Kosheleva (1992)	x					Rødspette	MD	ELK: 3,0 l
"	x	x				"	MD	LKK: 5,0 l
Booman et al. (1996)				x		Torsk	SD	LKK: 9,6 l
<u>Postlarver:</u>								
Dalen og Knutsen (1987)	x					Torsk	LD	ELK: 8,6 l
Booman et al. (1996)	x					Torsk	SD	LKK: 9,6 l
"		x				"	LD	"
"		x				Sild	LD	"
"	x	x				Piggvar	LD - ISD	"
"		x				Rødspette	LD	"
<u>Yngel:</u>								
Booman et al. (1996)	x	x				Torsk	MD	LKK: 9,6 l

Når det gjaldt resultater fra andre effekter enn de dødelige, kan følgende fra BOOMAN *et al.* (1996) og andre kilder nevnes:

Ved testing av startfôringssuksess av torskklarver som ble eksponert for luftkanonskyting som egg på tidlig utviklingsstadium, ble det ikke observert signifikante effekter. For torsk eksponert to dager etter klekking, var det ingen forskjell mellom de eksponerte gruppene og kontrollgruppen ved testing av startfôringssuksess fire dager etter klekking. Heller ikke for sild så en noen effekt for startfôringssuksessen.

Ved lysmikroskopiske undersøkelser av plommesekkklarver av piggvar ble det påvist markant blæredannelse i hjerne, ryggmarg og øyne ved eksponeringsavstander ut til 1,6 m, og nerve-celler med unormal stor volumøkning ved avstand 0,75 m. Karakteren av celleutvidingene tydet på at den var forårsaket av unormal sterk og rask trykkpåvirkning og dette må anses som en reell patologisk forandring. Siden disse alvorlige forandringene ble påvist i hjernen, kan dette ha innvirkning på normal utvikling av nervesystemet og dermed larvenes kondisjon og evne til å overleve. Inntil annen viten foreligger, må slike skader regnes som indirekte dødelig. Hos plommesekkklarver av torsk ble det ikke påvist vevsforandringer.

Fiskens sidelinjesystem kan være sårbar for trykkskader, særlig hos larver der de såkalte frie neuromaster i mange tilfeller representerer sidelinjen før denne er ferdigdannet. Undersøkelser av plommesekkklarver av piggvar viste skader på frie neuromaster i samtlige grupper. Fullstendig kutting av samtlige sansehår forekom bare i de eksponerte gruppene. Skadene på frie neuromaster hos piggvar kan ha betydning for deres evne til å overleve gjennom nedsatt evne til å unngå predatorene.

På postlarvestadiet observerte en endringer i flyteevne og oppdrift for torsk og piggvar umiddelbart etter eksponeringene. For begge artene ble det observert overflotasjon for eksponerte grupper ut til 2 m avstand fra luftkanonene.

Undersøkelser av postlarver av torsk viste skader på neuromastene i samtlige grupper etter et ca. 2 ukers fôringsforsøk, men skadene var mer framtrødende i de eksponerte gruppene. Det var imidlertid god vekst av larvene i samtlige grupper.

Blant fisk som ikke ble drept umiddelbart, observerte en i noen forsøk at flere ble slått i svime og andre fikk unormal svømmeatferd. Noen av de svimeslåtte fiskene døde i løpet av det første døgnet etter skyting mens andre med spesiell atferd vanligvis gikk over til normal atferd innen 0,5 til 1 time etter skyting. Slike atferdsendringer er betydningsfulle for overlevelse på alle



stadier, men de lot seg først observere med video når individene var blitt over en viss størrelse dvs. på yngelstadiet.

Hos den eksponerte yngelen fant vi skader på indre organer som sprukken svømmeblære, sammentrekt svømmeblære, gassbobler under svømmeblærehinnen, sprukken nyrehinne med blodutredning i nyrene og blodklumper i bukhulen og svømmeblæren. I noen tilfeller førte slike skader til død mens i andre tilfeller ble de leget over tid.

KOSHELEVA (1992) fant lignende skader på indre organer hos torskeyngel eksponert ved 0,5 m og for noen skadetyper også ved 1,0 m fra luftkanonene. De hyppigst forekommende skader var i blodårene, gjellene, leveren, inn- og utløp av magesekken og endringer i stoffsammensetningen av blodet. For voksen ansjos observerte HOLLIDAY *et al.* (1987) svømmeblæreskader på signifikant nivå for fisk eksponert ut til 3 m avstand.

Når det gjaldt spesielle forhold som påvirket observasjonene til BOOMAN *et al.* (1996), kan nevnes at fisken på plommesekkstadiet og larvestadiet var svært sårbar for håndtering. Dette resulterte i høy dødelighet, opptil 70-80 % både i de eksponerte gruppene og i kontrollgruppene. Dette medførte at en på plommesekkstadiet for sild og på larvestadiet for sei ikke kunne påvise ev. dødelige effekter på grunn av luftkanonskyting.

Når en skal vurdere de totale effekter som aktuelle dødelighets- og skaderater kan føre til på forekomster av larver og yngel, regner en seg ofte fram til en effektiv skaderadius,  $r_e$ , rundt hver luftkanon. Innenfor  $r_e$  regner en konstant dødelighet som skal dekke både direkte og indirekte dødelighet ved avstander større enn  $r_e$ . Sannsynlig indirekte dødelighet fra de nevnte typer skader er trukket inn i vurderingen av totaleffekter på bestandsnivå (SÆTRE og ONA 1996).

Oppsummert framkommer det at dødelighet og skader i forbindelse med seismisk skyting er næravstandshendelser i forhold til luftkanonposisjonene. Høyeste dødelighetsrater og hyppigst forekommende skader ble funnet ut til ca. 1,5 m avstand. Lavere dødelighetsrater og mer sjeldent forekommende skader ble observert ut til ca. 5 m avstand.

#### 4.      **EFFEKTER AV SEISMISKE UNDERSØKELSER PÅ BESTANDSNIVÅ**

Basert på observert dødelighet og skader på egg, larver og yngel i nærområdet av luftkanoner, rapportert i BOOMAN *et al.* (1996), og oppsummert kunnskap fra tidligere norske og utenlandske forsøk, er det utført en vurdering av hvor stor dødelighet en kan påføre en larvebestand i løpet av en typisk 3D-undersøkelse (SÆTRE og ONA 1996).

Det var vanskelig å foreta en konsekvensvurdering av seismiske undersøkelser på bestandsnivå basert på nøyaktige beskrivelser av skaderisikofordelinger. Til dette fant en at eksakte kunnskaper med hensyn til fordelingsfunksjonene av de parametrene som inngår, ikke var tilstrekkelige. Vurderingen tok derfor utgangspunkt i en valgt verste-tilfelle-vurdering («worst case study»), som så videre ble modifisert ut fra sannsynlighets- og forventningsbetraktninger.

Utgangspunktet for vurderingen var derved å beregne dødeligheten som kunne påføres en gitt bestand av egg, larver eller yngel under en typisk 3D-undersøkelse som dekket et areal på 500 km<sup>2</sup>.

Andelen  $M$  av en larvebestand som kunne bli drept av den seismiske undersøkelsen ble beregnet gjennom ligningen:

$$M = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 \tag{1}$$

$p_1$  - arealmessig belastningsgrad, dvs. den andelen av det seismiske undersøkelsesarealet som klassifiseres som risikoareal for fiskelarver,

$p_2$  - andel av kanonfeltets risikovolum som må karakteriseres som døds- og skadevolum,

$p_3$  - andel av fiskelarvenes totale utbredelsesareal som berøres av den seismiske undersøkelsen  
og

$p_4$  - graden av overlapping mellom risikovolum og fiskelarvenes vertikalfordeling.

Arealmessig belastningsgrad,  $p_1$ , ble beregnet for et typisk kanonfelt fra GECO-PRAKLA, brukt av ENGÅS *et al.* (1993). Kanonfeltet var 20 x 18,5 m, med 18 luftkanoner fordelt på tre rekker med totalt kammervolum på 82,1 liter. Feltet ble slept på 6 m dyp med en fart på 4,8 knop og avfyrt hvert 10 s, som tilsvarer hver 25 m langs kurslinjen. Arealmessig dekningsgrad ble beregnet med en avstand mellom kurslinjene på 100 m. En verste-tilfelle-verdi for  $p_1$  ble beregnet til 0,24. Dette betyr at 24 % av larvene inne i det seismiske undersøkelsesområdet

utsettes for en gitt risiko ved at de befinner seg inne i arealet dekket av kanonfeltet under skyting. Ved et større kanonfelt med samme kurslinjeavstand kan den arealmessige belastningsgraden bli større.

For at larvene skal bli drept eller skadet, må de befinne seg i nærområdet til luftkanonene, jf. tabell 1. Basert på resultatene i BOOMAN *et al.* (1996) ble det i vurderingen brukt en effektiv dødelighetsradius for hver luftkanon,  $r_e = 2$  m. Innenfor denne avstanden ble total dødelighet satt til 100 %. Dette inkluderer da også dødelighet og effekter fra mindre skader utover denne avstanden. Dette betyr at bare en gitt andel av larvene som befinner seg i risikovolumet av kanonfeltet vil bli drept. Kanonfeltets risikovolum ble definert som en rektangulær boks på 20 x 20 m, tilsvarende størrelsen av kanonfeltet, og så utvidet til hver side med dødelighetsradius,  $r_e$ , for kanonene. Dybden av risikovolumet ble satt til 10 m. Den andelen av kanonfeltets risikovolum som må karakteriseres som dødelighetsvolum, ble beregnet som funksjon av  $r_e$  for luftkanonene, både for en kuleformet og sylindrisk modell av volumet. Begrunnelsen for å utvide dødelighetsvolumet til en sylindermode, dvs. til også å omfatte volumet over kanonene er gitt i SÆTRE og ONA (1996). Med  $r_e = 2$  m ble maksimalverdien for  $p_2$  beregnet til 0,1 og 0,3 for henholdsvis kuleformet dødelighetsvolum og sylindrisk dødelighetsvolum. Dette betyr at mellom 10 % og 30 % av larvene som befinner seg inne i kanonfeltets risikovolum, blir drept pr. skudd avhengig av dødelighetsvolumets form.

Basert på kunnskap om larvenes utbredelsesareal, fordelingsmønstre og drift, ble det videre beregnet hvor stor andel av en larvefordeling som i verste-tilfellet kunne bli berørt av en seismisk undersøkelse på 500 km<sup>2</sup>. En verste-tilfelle-verdi for  $p_3$  ble anslått til 0,1 eller at 10 % av larvenes utbredelsesareal kunne bli berørt eller overlappet av den seismiske undersøkelsen. I de aller fleste tilfeller vil denne verdien ligge langt lavere.

For at larvene skal kunne bli berørt av den seismiske undersøkelsen, må de befinne seg i de øverste 10 m av vannsøylen. Basert på kunnskap om vertikalvandring og -fordeling av ulike arter og stadier gjennom døgnet, ble en verste-tilfelle-verdi for  $p_4$  satt til 0,5, eller at 50 % av larvene befinner seg i de øverste 10 m, og at fordelingen inne i risikovolumet er konstant.

Ut fra de beregninger og vurderinger som er gjort i SÆTRE og ONA (1996) vil de enkelte parametrene,  $p_1$  til  $p_4$ , ha følgende variasjonsområder:

$$0.1 < p_1 < 0.3$$

$$0.1 < p_2 < 0.3$$

$$0 \leq p_3 < 0.1$$
$$0.2 < p_4 < 0.5$$

Verste-tilfelle-verdi er angitt som høyeste verdi for hver parameter. Ved å bruke denne verdien for hver av parametrene er andelen larver som kunne bli drept beregnet til  $M = 0,0045$ . Dette betyr at én seismisk undersøkelse i det valgte verste-tilfellet kan drepe ned 0,45 % av en larvebestand.

I tillegg til verste-tilfelle-betraktningen i SÆTRE og ONA (1996) ble det angitt en "realistisk forventningsverdi" til hver av parametrene  $p_1$  til  $p_4$ . En slik betraktning representerer da det som i gjennomsnitt kan bli drept under en typisk 3D-undersøkelse. Resultatet av denne beregningen var at 0,3 ‰ av larvebestanden kunne bli drept av én undersøkelse. Blir samme larvebestand utsatt for flere undersøkelser, vil denne effekten summere seg opp for hver undersøkelse.

En 3D-undersøkelse på 500 km<sup>2</sup> dekkes normalt i løpet av 25 døgns skytetid. Dødeligheten i larvebestanden påført av undersøkelsen, omregnet til daglige dødelighetsrater, tilsvarer derved 0,18 ‰ pr. døgn i verste-tilfelle-betraktningen, og 0,012 ‰ pr. døgn i gjennomsnittsbetraktningen. Sammenlignet med naturlig dødelighet i en bestand på egg og larvestadiet, 5-15 % pr. døgn, og senere på 1-3 % pr. døgn fram til 0-gruppe stadiet, er tilleggsdødeligheten påført av den seismiske undersøkelsen å regne som ubetydelig.

## 5. KONSEKVENSVURDERING

### 5.1 Forstyrning av gyting og gytevandring

Fisk på gytefelt eller under vandring til gytefelt vil unngå seismisk lyd i tilnærmet samme grad som fisk i andre stadier idet voksen fisk av en art har tilnærmet samme fluktresponserskel (BLAXTER, GRAY and DENTON 1981, BLAXTER and HOSS 1981). Dersom vi legger resultatene fra forsøkene på seismikk og fangsttilgjengelighet til grunn, kan vi forvente at gytemoden torskefisk vil kunne påvirkes atferdsmessig i en avstand ut til minst 33 km fra en seismisk kilde.

Dersom en ved seismisk påvirkning skulle komme til å forflytte deler av en fiskefordeling for eksempel 30 km, er det urimelig å betegne en slik lokal forflytning av fisk som skadelig på bestandsnivå. Når fisken er på selve gytefeltet, eller er på vandring til gytefeltet, kan imidlertid forflytninger av størrelsesorden 30 km få betydning for selve gytingen, eller for fordelingen av egg på gytefeltet. Dette vil være avhengig av om fisken gyter egg som flyter pelagisk, som hos torsk, hyse, sei og mange andre arter, eller om gytingen foregår på eller over et spesielt bunnsstrat der eggene klebes til substratet, som for sild og lodde. Eventuelle påførte forflytninger vil sansynligvis også ha større betydning når gytebestanden er lav, og gytefeltet begrenset til et mindre, men optimalt område, enn når gytebestanden er høy. Den direkte effekten av en forstyrret eller forflyttet gyting vil i praksis ikke være mulig å måle på larvenivå, ettersom en ikke har noe direkte sammenligningsgrunnlag og fordi de naturlige variasjonene i tallrikhet fra år til år kan være store.

Av sikringshensyn og føre-var-prinsippet bør en skjerme gytefelt og gytevandring for den kraftige påvirkningen som seismisk skyting representerer. Særlig gjelder dette for arter med konsentrerte gytefelt og vandringsruter.

For å kunne gjøre dette bør vi ha indikasjoner på hvilke påvirkningsavstander som kan være aktuelle i slike tilfeller. Et utgangspunkt kan være at vi i aktuelle områder ikke ønsker høyere lydspektralnivå fra seismisk skyting enn det støyspektralnivået, omlag 150 - 160 dB rel. 1 $\mu$ Pa pr. Hz, en har i området fra fartøy i aktivt fiske (ONA 1988). Dette betyr da at avstanden mellom et seismisk skyteområde og et gytefelt eller viktige gytevandningsveier bør være 50 km eller mer.

## 5.2 Konsekvenser for fisket

Det er påvist at seismisk skyting skremmer fisk. Fisken unnviker støykilden og trekker ut av området der skytingen foregår. Dette kan medføre store endringer i fiskefordelingene og en redusert fisketetthet i og omkring skytefeltet. Reduksjonen i fisketettheten avspeiler seg i lavere fangstrater for fiskeriene som foregår inne i feltet der det skytes og i tilgrensende områder.

Fisk med svømmeblære ser ut til å reagere kraftigst på seismisk skyting, dvs. nesten alle arter som er viktige i de norske fiskeriene, med unntak av makrell, flyndre og skalldyr. Nedgang i fangstatene er dokumentert for bunnfiskartene torsk, hyse, uer og sei. Det er også sannsynlig at andre arter med svømmeblære, som f.eks. brosme, lange og øyepål, påvirkes i tilsvarende grad. Pelagiske fiskearter som sild og brisling hører bedre og er generelt mer følsomme for lyd-påvirkning enn bunnfisk. Tidligere forsøk har dokumentert skremmeeffekt hos sild ved luftkanonskyting og den er sannsynlig minst like stor som for bunnfisk.

Det er påvist reduserte fangstrater i fiske med trål og line. Andre redskaper, som not, snurrevad, garn og juksa, er ikke undersøkt. Siden årsaken til fangstreduksjonen i første rekke ligger i en nedgang i fisketettheten i og rundt skytefeltet, i tillegg til endringer i fiskens atferd overfor redskapene, må man regne med at alle redskapstypene som brukes innenfor våre fiskerier vil kunne bli negativt påvirket av seismisk skyting. Som nevnt forårsakes nedgangen i fangstratene av en midlertidig forflytning av fisken vekk fra skytefeltet. I praktisk fiskerisammenheng vil fiskerier som er sterkt knyttet til en begrenset geografisk lokalitet, bli mest skadelidende ved seismisk skyting. Enkelte fiskerier vil kunne kompensere for endringene i fiskens utbredelse ved å "flytte etter fisken". Imidlertid er mange fiskerier bundet til topografiske formasjoner, som kontinentalskråningen, grunner og banker o.l. som gjør mulighetene til å flytte begrenset. Dette gjelder særlig for fiske med faststående bruk som garn og line. Slepte redskaper, som trål og snurrevad, kan bare brukes på steder med gunstige bunnforhold, som kan ha begrenset utstrekning.

Mange av de tradisjonelle fiskeriene, f.eks. Lofotfisket, er knyttet til gytefiskens normale vandringmønster. Flere steder må fisken passere forholdsvis smale bankområder under vandringen mellom beite- og gyteområdene. Forstyrrelser i disse områdene kan gi avvik i det normale vandringmønsteret, som igjen kan gi opphav til betydelige forstyrrelser i fiskeriene. Imidlertid finnes det også enkelte fiskerier, som f.eks. torskefiske med trål i Barentshavet, som er mindre bundet til lokalitet. Her kan en i større grad kunne kompensere for redusert forekomst av fisk innenfor et begrenset område ved å flytte til alternative fiskefelt.

Den største påvirkningen på fisken, og dermed også på fangstratene, skjer inne i skytefeltet og ut til ca. 5 nautiske mil (ca. 10 km) fra feltet. Her kan man forvente en nedgang i fangstene på over 50 % i fiske med trål. Det er påvist at fangstratene i trål påvirkes helt ut til 18 nautiske mil (ca. 33 km) fra skytefeltet. Den nøyaktige yttergrensen for påvirkning er ikke dokumentert, men ca. 20 nautiske mil, eller ca. 35 km, kan brukes som en rettesnor. De undersøkelser som er utført, viser noe ulike resultater når det gjelder hvor lenge etter avsluttet skyting den negative effekten av seismisk skyting vedvarer. Fangstratene kom tilbake til normalt nivå ett døgn etter avsluttet skyting i vinterfisket med line etter torsk i Finnmark. Det samme var tilfelle med bifangsten av torsk i rekefiske samme sted. På den annen side viste fangstforsøk med trål og line på Nordkappbanken at fangstratene ikke var normalisert fem døgn etter av skytingen hadde opphørt. Det kan derfor vanskelig gis noe entydig svar på hvor lang tid det vil ta før fisken vender tilbake etter endt seismisk aktivitet. Dette vil trolig variere avhengig av en rekke faktorer, som lokale topografiske forhold, fiskens fysiologiske tilstand, om fisken er på vandring, eller om næringstilgangen i området er god.

### **5.3 Konsekvenser for rekruttering til fiskebestandene**

Det er utført en verste-tilfelle-beregning av andelen av larver i en bestand som kunne bli drept under en typisk seismisk 3D-undersøkelse som dekker et areal på 500 km<sup>2</sup>. Det ble funnet at maksimalt 0,45 % av larvebestanden kunne bli drept av én undersøkelse. En har også beregnet en forventningsverdi som mer representerer det en i gjennomsnitt ville forvente ble drept i bestanden. Denne andelen er beregnet til omlag 0,3 ‰ av bestanden for hver 3D-undersøkelse. De daglige dødelighetsrater i løpet av undersøkelsen er beregnet til 0,18 ‰ pr. døgn i verste-tilfellet og 0,012 ‰ pr. døgn i gjennomsnitt. Sett i relasjon til daglige naturlige dødelighetsrater på egg og larvestadiet, 5-15 % pr. døgn, og senere på 1-3 % pr. døgn fram til 0-gruppe stadiet, er dette så lave dødelighetsrater at de kan regnes som ubetydelige i bestandssammenheng. Dette gjelder også dersom samme larvebestand utsettes for flere seismiske undersøkelser.

## 6. ANBEFALINGER

Med utgangspunkt i etablert rådgivnings- og forvaltningspraksis sammenstilt med ny viten vil vi anbefale følgende:

1. For å redusere det økonomiske tapet som fiskeriene kan påføres ved seismiske undersøkelser, bør skyting med luftkanoner frarådes i områder der det foregår fiskerier. Seismisk skyting med store luftkanonoppsett (ved ordinære 2D- og 3D-undersøkelser) bør unngås i avstander nærmere enn 50 km fra yttergrensene av de kjente fiskefeltene. Restriksjonene bør gjelde minst en uke før fisket forventes å starte.
2. Av sikringshensyn og føre-var-prinsippet bør en skjermte gytefelt i gyteperioder og spesielle gytevandingsområder for seismisk skyting for arter med konsentrerte gytefelt og vandringsruter. Ordinære 2D- og 3D-undersøkelser bør frarådes i avstander nærmere enn 50 km fra yttergrensene av slike områder. Undersøkelser med små luftkanonoppsett (borestedsundersøkelser o.l.) kan tillates å gå nærmere, men generelt ikke inn i selve gytefeltet. Til hvilken avstand må vurderes i den enkelte sak.
3. Studier av effekten av luftkanonskyting på egg, larver og yngel og de konsekvenser dette kan ha for rekruttering til bestander, tilsier at en ikke trenger å legge restriksjoner på seismiske undersøkelser utfra skadeomfanget på fiskeegg, larver og yngel.



## 7. BEHOV FOR VIDERE FORSKNING

På følgende områder er det behov for mer kunnskap om hvordan seismiske undersøkelser påvirker fisk:

1. Pelagisk fisk.

Vi har i dag ikke tilstrekkelige kunnskaper om hvordan stimer eller tette forekomster av pelagisk fisk vil påvirkes av seismiske undersøkelser. Hørselen hos for eksempel sild er bedre enn for torsk, og fisk i stim reagerer ofte mer markant på svakere ytre stimuli enn enkeltfisk.

2. Fisk uten svømmeblære.

Disse har dårligere hørsel enn fisk med svømmeblære. De eksisterende forsøk dekker ikke disse artene. Eksempler er makrell, alle flatfiskartene og bruskfisk (haifisker).

3. Gyting og gytevandring.

Vi har i dag ingen direkte observasjoner om hvordan seismiske undersøkelser kan påvirke selve gyteprosessen, og avgrenset kunnskap om hvordan gytevandringene kan påvirkes.

4. Mindre fisk.

Framkomne resultater kan tyde på at mindre fisk reagerer på seismiske undersøkelser i en annen grad enn større fisk. Årsakene til dette er ikke kjent.

## 8. REFERANSER

- ANON 1985. Tillatelse til undersøkelse etter petroleum - (Undersøkelsestillatelsen). Oljedirektoratet. S. 12-16 i *Fiskerikyndig person ombord i seismisk fartøy*. Fiskeridirektoratet, Bergen, 1992.
- ANON 1990. Rutiner ved behandling av samfunnsmessige og budsjettmessige sider ved forberedelse og forhandlinger av multilaterale miljøavtaler. Rundskriv med vedlegg (vedtatt av Regjeringen 24. sept. 1990) til departementene fra Statsministerens kontor av 20. nov. 1990, Oslo: 3 s.
- ANON 1992. Fiskeriaktivitet i de ulike områdebetegnelser nord for Stad. Fiskeriaktivitet og fiskeriintensive områder i norsk økonomisk sone i Nordsjøen sør for N 62° 00'. Fiskeriaktivitet og fiskeriintensive områder i Skagerak. S. 27-43 i *Fiskerikyndig person ombord i seismisk fartøy*. Fiskeridirektoratet, Bergen, 1992.
- ANON 1995. Forskrift til lov om petroleumsvirksomhet. Oljedirektoratet, YA-005, Stavanger: 16 s.
- BLAXTER, J.H.S., GRAY, J.A.B., and DENTON, E.J. 1981. Sound and startle response in herring shoals. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 61: 851-869.
- BLAXTER, J.H.S. and HOSS, D.E. 1981. Startle response in herring: The effect of sound stimulus frequency, size of fish and selective interference with the acoustic-Lateralis system. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 61: 871-879.
- BOOMAN, C., DALEN, J., LEIVESTAD, H., LEVSEN, A., VAN DER MEHREN, T. og TOKLUM, K. 1996. Effekter av luftkanonskyting på egg, larver og yngel. Undersøkelser ved Havforskningsinstituttet og Zoologisk Laboratorium, Universitetet i Bergen. *Fisken og Havet*, 3 (1996): 83 s.
- DALEN, J. 1973. Stimulering av sildestimer. Forsøk i Hopavågen og Imsterfjorden/Verrafjorden 1973. Rapport for NTNf, NTH nr. 73-143-T, Trondheim: 36 s.

- DALEN, J. 1993 a. Effektar av luftkanonseismikk på larvar og yngel til havs. Sluttrapport NFFR prosjekt nr. 1701-701.354. Havforskningsinstituttet, rapp. SMM nr. 9 - 1993, Bergen: 15 s.
- DALEN, J. 1993 b. Effektar av luftkanonskyting på egg, larvar og yngel. Sluttrapport NFFR prosjekt nr. 1701-701.353. Havforskningsinstituttet, rapp. SMM nr. 10 - 1993, Bergen: 17 s.
- DALEN, J. and KNUTSEN, G. M. 1987. Scaring effects in fish and harmful effects on eggs, larvae and fry by offshore seismic explorations. S. 93-102 i MERKLINGER, H.M. red. *Progress in Underwater Acoustics*. Plenum Publishing Corporation.
- ENGÅS, A. 1993. Effekter av seismisk luftkanonskyting på fiskeatferd og fangsttilgjengelighet. Sluttrapport NFFR prosjekt nr. 1701-701.355. Havforskningsinstituttet, Bergen: 16 s.
- ENGÅS, A., LØKKEBORG, S., ONA, E. og SOLDAL, A.V. 1993. Effekter av seismisk skyting på fangst og fangsttilgjengelighet av torsk og hyse. *Fisken og Havet*, 3 (1993): 111 s.
- HOLAND, B., WALSHØ, Ø. og BERG, T. 1993. Seismiske eksperimenter i våg. SINTEF rapport nr. STF23 A93005, Trondheim: 45 s.
- HOLLIDAY, D. V., PIEPER, R. E., CLARKE, M. E., and GREENLAW, C.F. 1987. The effects of airgun energy releases on the eggs, larvae and adults of the Northern anchovy (*Engraulis mordax*). API Publication no. 4453, American Petroleum Institute, Washington, DC, USA: 108 s.
- HOLMSTRØM, S. 1993. Effekter av luftkanonseismikk på larver og yngel til havs - modellering og simulering. SINTEF Reguleringssteknikk, rapp. nr. STF48 A93007, Trondheim: 70 s.
- KOSHELEVA, V. 1992. The impact of air guns used in marine seismic explorations on organisms living in the Barents Sea. Contr. Petro Piscis II '92 Conference F-5, Bergen, 6-8 April, 1992: 6 s.

- KNUTSEN, G. M. og DALEN, J. 1985. Skadeeffekter på egg, larver og yngel fra seismiske undersøkelser. Havforskningsinstituttet, rapp. nr. FO 8505, Bergen: 26 s.
- KOSTYUCHENKO, L. P. 1973. Effect of elastic waves generated in marine seismic prospecting of fish eggs in the Black Sea. *Hydrobiological Journal* 9 (5): 45-48.
- LØKKEBORG, S. and SOLDAL, A.V. 1993. The influence of seismic exploration with air guns on cod (*Gadus morhua*) behaviour and catch rates. ICES mar. Sci. Symp., 196: 62-67.
- ONA, E. 1988. Observations of cod reaction to trawling noise: the significance for trawl sampling. ICES FAST WG-meeting, Oostende, 20-22 April 1988: 10 s.
- SKALSKI, J.R., PEARSON, W.H. and MALME, C.I. 1992. Effects of sound from geophysical survey device on catch-per-unit-effort in a hook-and-line fishery for rockfish (*Sebastes sp.*). *Can. J. Fish., Aquat. Sci.*, 49: 1357-1365.
- SOLDAL, A.V. og LØKKEBORG, S. 1993. Seismisk aktivitet og fiskefangster. Analyse av innsamlede fangstdata. *Fisken og Havet*, 4 (1996): 44 s.
- SÆTRE, R. og ONA, E. 1996. Seismiske undersøkelser og skader på fiskeegg og -larver. En vurdering av mulige effekter på bestandsnivå. *Fisken og Havet*, 8 (1996): 25 s.
- WEINHOLD, R. J., and WEAVER, R.R. 1972. Seismic air guns effect on immature coho salmon. Contr. 42th Meeting of the Society of Exploration Geophysicists, Anaheim, California, USA: 15 s.