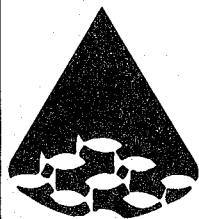


Dato: 20.10.1985

Rapport/Notat Nr. FO 8505



# HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Nordnesparken 2, Postboks 1870, 5011 Bergen. Tlf. 05 327760

## Rapportens Tittel:

Skadeeffekter på egg, larver og yngel fra seismiske undersøkelser.

Forfatter/Saksbehandler:

Geir Magne Knutsen  
John Dalen

Avdeling Biologisk oseanografi  
Fysisk oseanografi

Prosjekt Nr:

FO 8505 / 1802.21

Oppdragsgiver ref:

Fiskeridirektøren

Ansvarlig: John Dalen  
Snorre Tilseth

## Sammendrag:

For å finne ut om bruk av seismiske energikilder kan skade fisk, eksponerte vi egg, larver og yngel av torsk (*Gadus morhua* L.) med en liten luftkanon (Bolt 600B) og yngel med en stor luftkanon (Bolt 1500C) og med en vannkanon (Seismic Systems P400).

Egg, larver og små yngel ble plassert i en polyetylen plastpose (40 µ) i omlag 5 l vann under avfiring av luftkanonen, og den større yngelen (lengde 9-11 cm) ble plassert i et finmasket notbur. Avstanden mellom plastposen og energikilden var 1 m til 10 m og mellom buret og energikilden 2 m til 6 m.

Vi avdekket ingen skader på egg, larver og liten yngel belastet med den lille luftkanonen. Luftboblene som blir dannet av luftkanonen kan kanskje forårsake noe skade. Den eldre yngelen som ble belastet med luftkanon fikk problemer med balansen, men kom seg innen få minutter. Vannkanonen drepte 90 % av yngelen ved en avstand på 2 m. Ved en avstand på 6 m fikk yngelen problem med balansen, men de kom seg.

Stikkord:

Seismiske undersøkelser  
Luftkanon/vannkanon  
Egg, larver og yngel

Sendt til:

Fiskeridirektøren  
Olje- og energidepartementet  
Div. oljeselskaper  
Div. fiskeriorganisasjoner

## ABSTRACT

To determine if the use of seismic sources might injure fish we exposed eggs, larvae and juveniles of cod (Gadus morhua L.) to a small airgun (Bolt 600B) and juveniles to a large airgun (Bolt 1500C) and a watergun (Seismic Systems P400).

During the exposures the eggs, larvae and smallest juveniles were placed in a polyethylene plastic bag (40  $\mu$ ) of approximately 5 l, while the larger juveniles (length 9-11 cm) were kept in a small meshed net cage. The distance between the plastic bag and the energy source ranged from 1 m to 10 m and between the net cage and the energy source 2 m to 6 m.

We did not detect any damages on the eggs, larvae and smallest juveniles exposed by the small airgun. The air-bubbles produced by the airgun might cause some damage. The older juveniles exposed to the airguns got problems with their balance but recovered within a few minutes. The water-gun killed 90 % of the juveniles at the distance of 2 m. At the distance of 6 m the juveniles got problems with their balance but recovered.

## INNHOOLD

### 1. INNLEDNING

### 2. MATERIAL OG METODER

#### 2.1 Seismiske kilder

#### 2.2 Forsøksoppsett

##### 2.2.1 Karsystemet

##### 2.2.2 Karsystem for fangstsuksessforsøk

##### 2.2.3 Farmaka

#### 2.3 Egg og larver

#### 2.4 Postlarver

#### 2.5 Yngel

#### 2.6 Belastningssystemet

#### 2.7 Registrering av dødlighet

#### 2.8 Fangstsuksess

### 3. RESULTATER

#### 3.1 Dødelige effekter etter belastning fra liten luftkanon.

##### 3.1.1 Egg og larver

##### 3.1.2 Postlarver

##### 3.1.3 Yngel

#### 3.2 Dødelige effekter etter belastning fra liten og stor luftkanon og vannkanon.

##### 3.2.1 Yngel

##### 3.3.1 Egg og larver

### 4. DISKUSJON

#### 4.1 Dødelige effekter etter belastning fra liten luftkanon

##### 4.1.1 Egg og larver

##### 4.1.2 Postlarver

#### 4.2 Dødelige effekter etter belastning fra liten og stor luftkanon og vannkanon

4.1.3 Yngel

4.3 Fangstsuksess

4.3.1 Egg og larver

4.4 Effekter fra luftboblene

4.5 Vertikalfordeling av egg, larver og yngel

4.6 Forskjeller mellom energikildene.

5. KONKLUSJON

6. TAKK

7. REFERANSER

## 1. INNLEDNING

I løpet av de siste tiår har der vært en økende mengde seismiske undersøkelser i Nordsjøen og i farvannene langs Norskekysten. Til å begynne med brukte en sprengstoff (LOVLIA et al. 1966, LAVERGNE 1970). Styrken fra signalene fra sprengstoff var ofte lite predikterbare og repeterbare. Dette sammen med at mye fisk ble drept (HUBBS and RECHNITZER 1952, JAKOSKY and JAKOSKY 1956), var bakgrunn for utvikling av flere nye energikilder. I dag bruker en i hovedsak luftkanoner, men en har også startet å bruke vannkanoner (KRAMER et al. 1968, NEWSMAN 1978).

Det finnes flere artikler om skadeeffekter fra sprengstoffeksplosjoner (COCER and HOLLIS 1950, HUBBS and RECHNITZER 1952), men bare få som tar for seg skadeeffekter fra luftkanoner. En artikkel omhandler effekter på smolt av coholaks (WEINHOLD and WEAVER 1972), og en annen på østers (GAIDRY fide WEINHOLD and WEAVER 1972). Ingen av disse undersøkelsene avdekket noen entydige skadeeffekter.

Dersom en får skadeeffekter på fisk, skulle en forvente at egg, larver og yngel ville være mest utsatt, fordi de tilsynelatende er forholdsvis skjøre og at egg og larver ikke kan svømme vekk fra eksplosjonene.

Vi brukte torsk til disse undersøkelsene, fordi den var lett tilgjengelig og er en viktig art for den norske fiskerinæringa. Torsken har dessuten gytefeltet i områder, eller der er transport av yngel gjennom områder som er viktige for oljevirkosomhet. Igangværende prosjekter på oppdrett av torsk ved Havforskningsinstituttets Akvakulturstasjon i Austevoll gjorde at vi enkelt kunne forsynes med egg og larver.

Formålet med denne undersøkelsen var:

- 1) å finne eventuelle skadeeffekter.
- 2) og dersom det var skadeeffekter å beregne hvor langt fra energikilden skader kunne oppstå.

For å undersøke om det var skadeeffekter på egg, larver og yngel ble dødelighet etter belastningene registrert. Det ble også utført fangstsuksessforsøk for å finne eventuelle ikke-dødelige (subletale) effekter.

## 2. MATERIALE OG METODER

### 2.1 Seismiske kilder

I største delen av prosjektet har vi benyttet en liten luftkanon (Bolt 600B) ved eksponering av egg, larver og yngel, mens vi på slutten av feltperioden også benyttet en stor luftkanon (Bolt 1500C) og vannkanon (Seismic Systems P400) ved eksponering av yngel.

I fig. 1 vises en skisse av en luftkanon (ANON 1974). Den er grovt sett bygget opp av en hoveddel og et kammer for høytrykksluft som åpnes og lukkes med et stempel som blir styrt av en magnetventil. Når en fyrer av en luftkanon, vil en del av den lagrede energien i høytrykkskammeret bli omdannet til en akustisk trykkbølge-primærpulsen. Resten av energien som blir omdannet, er knyttet til en svingende luftboble som er opphav til sekundære akustiske trykkbølger-boblepulser. Signalet er ganske lavfrekvent og faller sammen med hørselsområdet hos de fleste fiskeartene vi har i våre farvann (CHAPMANN og HAWKINS 1969, OLSEN 1969a, b, DALEN 1971).

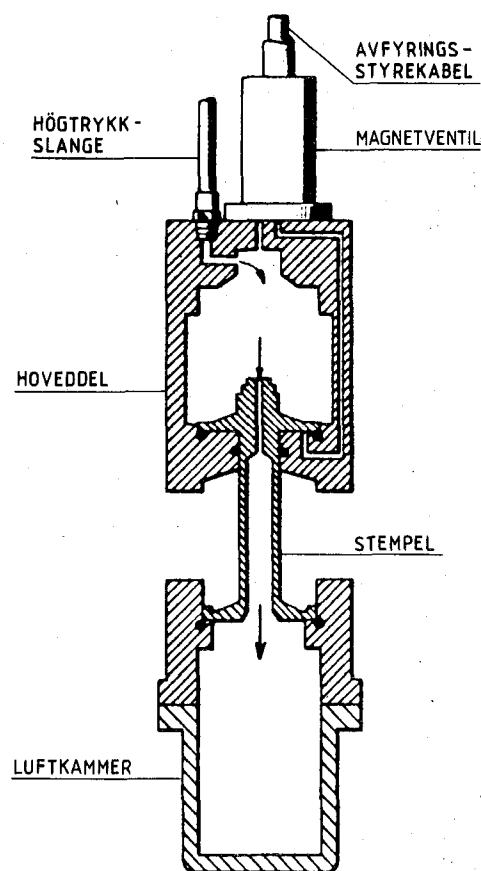


Fig. 1 Skisse av en luftkanon (BOLT 600B).

Lydtrykket som fisken blir utsatt for ved bruk av luftkanoner, er funksjoner av tilførseltrykk, volum av kamrene, antall kanoner i luftkanonrekkene og avstand mellom kanonene og fisken. Sammenfattet kan vi si at lydtrykket ved fisken øker med økende tilførseltrykk, økende kammervolum, økende antall kanoner i luftkanonrekkene og med avtakende avstand til fisken.

Fig. 2 viser en skisse av en vannkanon (ANON 1981). Den er bygget opp av en hoveddel som inneholder et avfyingskammer, inntak for høytrykksluft og flere kanaler for luftpassasje ved avfiring og lukking. Den nederste delen består av et kammer som er fylt med sjø før avfiring. Stempelet aktiveres med trykkluft og styres av en magnetventil. Når en fyrer av vannkanonen, går stempelet raskt ned mot nedre hvilestilling og sjøen i kammeret blir presset ut svært raskt. Når stempelet stopper, vil tregheten i de sjømassene en har satt i bevegelse, føre til at disse massene framleis vil bevege seg ut fra kanonen en kort stund og vi får da dannet kavitet (hulrom) i sjøen med svært lave trykk. I det sjøen presses ut av kammeret får en først dannet en svak akustisk trykkbølge, mens en ved den umiddelbart påfølgende kollaps av kavitetene framskaffer en sterk akustisk impuls med tilhørende trykkbølger.

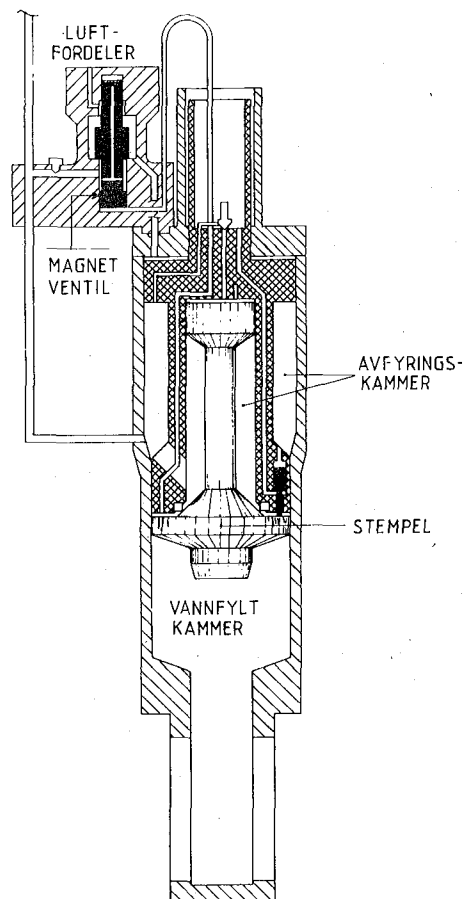


Fig. 2 Skisse av en vannkanon (SEISMIC SYSTEMS P400).

En vesentlig forskjell mellom luftkanon og vannkanon er at mens primærpulsen fra en luftkanon har positiv trykkverdi (over-

trykk), så har primærpulsen fra en vannkanon negativ trykkverdi (undertrykk).

Som for luftkanoner er lydtrykket som fisken blir utsatt for, funksjoner av volum av hvert kammer, totalt antall kanoner og avstanden mellom kanonene og fisken.

Kammerstørrelse for kanonene:

Liten luftkanon (Bolt 600B):	640 cm <sup>3</sup> (37.5 cu.in.)
Stor luftkanon (Bolt 1500C):	8610 cm <sup>3</sup> (525 cu.in.)
Vannkanon (Seismic Systems P400):	8610 cm <sup>3</sup> (525 cu.in.)

Trykkverdier (amplitude) av primærpuls for kanonene (normalverdier):

Liten luftkanon:	$1.25 \cdot 10^5$ Pa ref. 1 m (1.25 bar-meter)
Stor luftkanon:	$3.55 \cdot 10^5$ Pa ref. 1 m (3.55 bar-meter)
Vannkanon:	$3.08 \cdot 10^5$ Pa ref. 1 m (3.08 bar-meter)

## 2.2 Forsøksoppsett

### 2.2.1 Karsystemet

Det ble brukt 45 stk. 6 l kar med en plastpose av polyetylen inni (fig. 3). Karene var plassert oppi et kjølebad som var temperaturregulert i et klimarom og ved hjelp av en termostat. Temperaturen var ca  $6.2^{\circ}\text{C}$ , og vannet hadde en saltholdighet på ca  $34 \text{ }^{\circ}/_{00}$ . Det var en døgnrytme på 16 timer lys (ca. 100 lux) og 8 timer mørke (ca 1 lux) med en gradvis overgang på en halv time. En tilførte filtrert luft i karene (0.22  $\mu\text{m}$  Millipore).

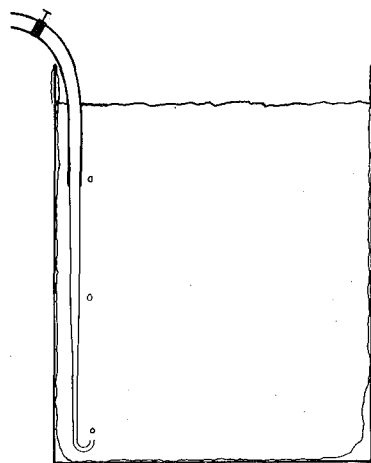


Fig. 3 Skisse av kar som ble brukt til å ha egg, larver og yngel i.



### 2.2.2 Karsystem for fangstsuksessforsøk.

Dette systemet var nesten likt systemet beskrevet i 2.2.1, men det ble brukt kar uten plastpose og det var innebygd i et telt av svart plast. I telttaket var det plassert 2 stk lysarmatur for å få så lik lysmengde (100 lux) som mulig i alle karene.

### 2.2.3 Farmaka

Like etter at egga eller yngelen ble inkubert, ble det tilsatt antibiotika som anbefalt av SHELBOURNE 1963, og i tillegg 2.5 i.e. mycostatin/ml.

### 2.3 Egg og larver

Testegga ble tatt fra en gytepopulasjon av torsk ved Akvakulturstasjonen i Austevoll. Gytetorsken går i en stor pose og fisken gyter naturlig. Eggene blir samlet opp i et innsamlingsssystem i overflata (HUSE and JENSEN 1983).

Tabell 1 Oversikt over egg- og larvegruppene som ble belastet.

Egggruppe	Belastnings- tidspunkt	Stadie ved belastning	Antall ekspløsjoner
1	2. dag	egg	1
1	5. dag	egg	1
1	14. dag	larve 1 dager	1
1	18. dag	larve 5 dager	1
1	15. dag	larve 1 dager	10
2	5. dag	egg	3
2	10. dag	egg	3
2	15. dag	larve 1 dager	3
3	18. dag	larve 5 dager	3

Eggene ble overført til 6 l kar i klimarommet. Det ble overført 5 ml egg (ca 2500 stk) til hvert kar. Fra den samme egggruppa

ble det overført egg som skulle belastes på flere stadier, og etter klekking flere larvestadier (tabell 1).

#### 2.4 Postlarver.

Det ble brukt larver som var foret med rotatorier som var anrikt med fiskemel (HUSE et al. 1984). Postlarvene var 36 dager gamle. De var 8-10 mm lange, og det var like før de ble omdanna til yngel (metamorfose).

#### 2.5 Yngel

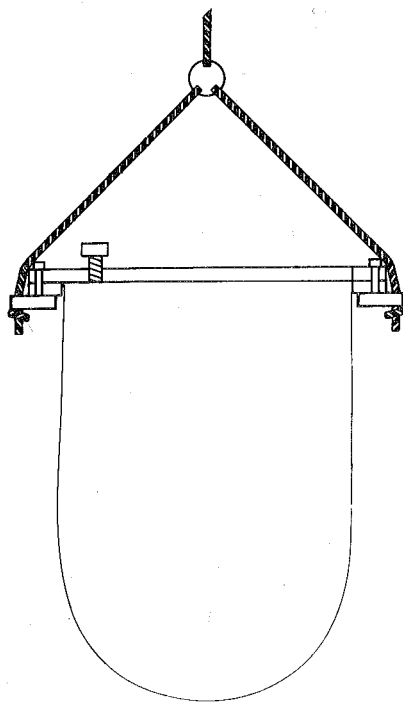
Det ble brukt yngel som var oppdrettet i et pollsystem (KVENSETH and ØIESTAD 1984). Yngelen ble belastet ved forskjellig alder (tabell 2).

Tabell 2 Oversikt over yngelen som ble belastet.

Alder (dager)	Størrelse	Antall ekspløsjoner	Energikilde
56	2.0-2.7 cm	3	Liten luftkanon
69	3.6-5.3 cm	3	Liten luftkanon
110	9-11 cm	3	Liten luftkanon
110	9-11 cm	3	Stor luftkanon
110	9-11 cm	3	Vannkanon

#### 2.6 Belastningssystem

Det ble festet et lokk til plastposene (fig 4), og karet ble plassert i en boks av isopor for å hindre temperaturforandring. Karene ble fraktet ut på sjøen i båt og hver plastpose ble løftet ut av karet og senket ned på 6 m dybde v.h.a en senke og løftemekanisme. All luft som var inni posen ble presset ut gjennom en lufteskrue før nedsenking. Luftkanonen var plassert på samme dybde. Avstanden fra kanonen og til plastposen var 1 m 2 m og 10 m (fig.5). Både de gruppene som skulle belastes og



kontrollgruppene ble tatt med og behandlet på samme måte.

Den største yngelen ble belasta i et bur av nett med 20 mm maskevidde (strekt innvendig maske). Avstanden til energikilda var 2 m og 6 m og belastningsdybde var 4 m.

Fig. 4 Skisse av pose med lokk, lufteskruer og løfteanordning som ble brukt ved belastningen fra luftkanonen.

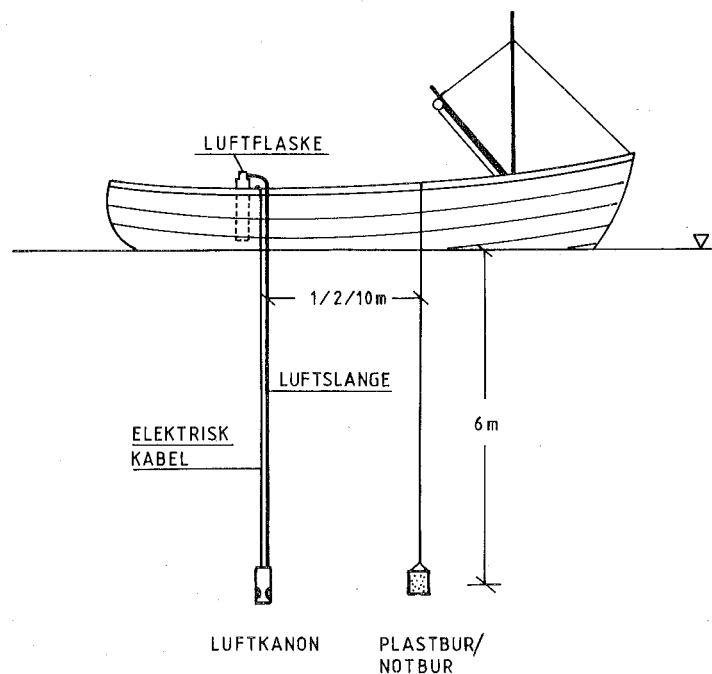


Fig. 5 Skisse av forsøksbåt med luftkanon og bur med egg, larver og yngel.

## 2.7 Registrering av dødelighet.

Døde egg og larver ble plukket opp hver 2.-3. dag. I klekkeperioden ble det ikke plukket bort egg fordi en del av egg

synker til bunns like før klekking og kan da forveksles med døde egg som også synker til bunns. Klekkeperioden varte i 4-6 dager, men hoveddelen av egga klekket innen 2 døgn.

## 2.8 Fangstsuksess

For å registrere eventuelle subletale effekter ble fangstevnen til larvene registrert. Det ble antatt at det å fange et bytte er en så komplisert adferdstype at effekter på aktivitetsnivå eller de ulike organer ville gjenspeiles i en slik egenskap. Fangstsuksess ble definert som hvor mange prosent larver som greidde å fange bytte (TILSETH and ELLERTSEN 1984). 50 larver fra hver gruppe ble overført til fangstsuksesssystemet (2.2.2). I karene var det på forhånd tilsatt rotatoriekultur som var dyrket på Akvakulturstasjonen (HUSE et al. 1984). I denne kulturen er det også 20-30 % copepoder av arten Tispe sp.. Foret ble filtrert gjennom siler slik at det bare var fraksjonen mellom 120  $\mu$  og 250  $\mu$  som ble brukt. Larvene var i karene i 3 timer og ble deretter konserververt i 4<sup>0</sup>/<sub>0</sub> formalin (saltholdighet 10<sup>0</sup>/<sub>00</sub>).

## 3. RESULTATER

### 3.1 Dødelige effekter etter belastning fra liten luftkanon.

#### 3.1.1 Egg og larver

Fig. 6 og 7 (egg-gruppe 1) viser dødelighet etter belastning med 1 skudd fra luftkanonen. Belastningstidspunktet er henholdsvis 2. dag og 5. dag etter befruktning og 1. dag og 5. dag etter klekking. Dødeligheten i de belasta gruppene var ikke signifikant forskjellig fra kontrollene (ikke-parametrisk to-sidig test, BRESLOW (Breslow 1970) og MANTEL-COX (Mantel 1966)). Følgende hypotese ble testet:

$H_0$  = Ingen forskjell i overleving mellom belasta grupper og kontroller.

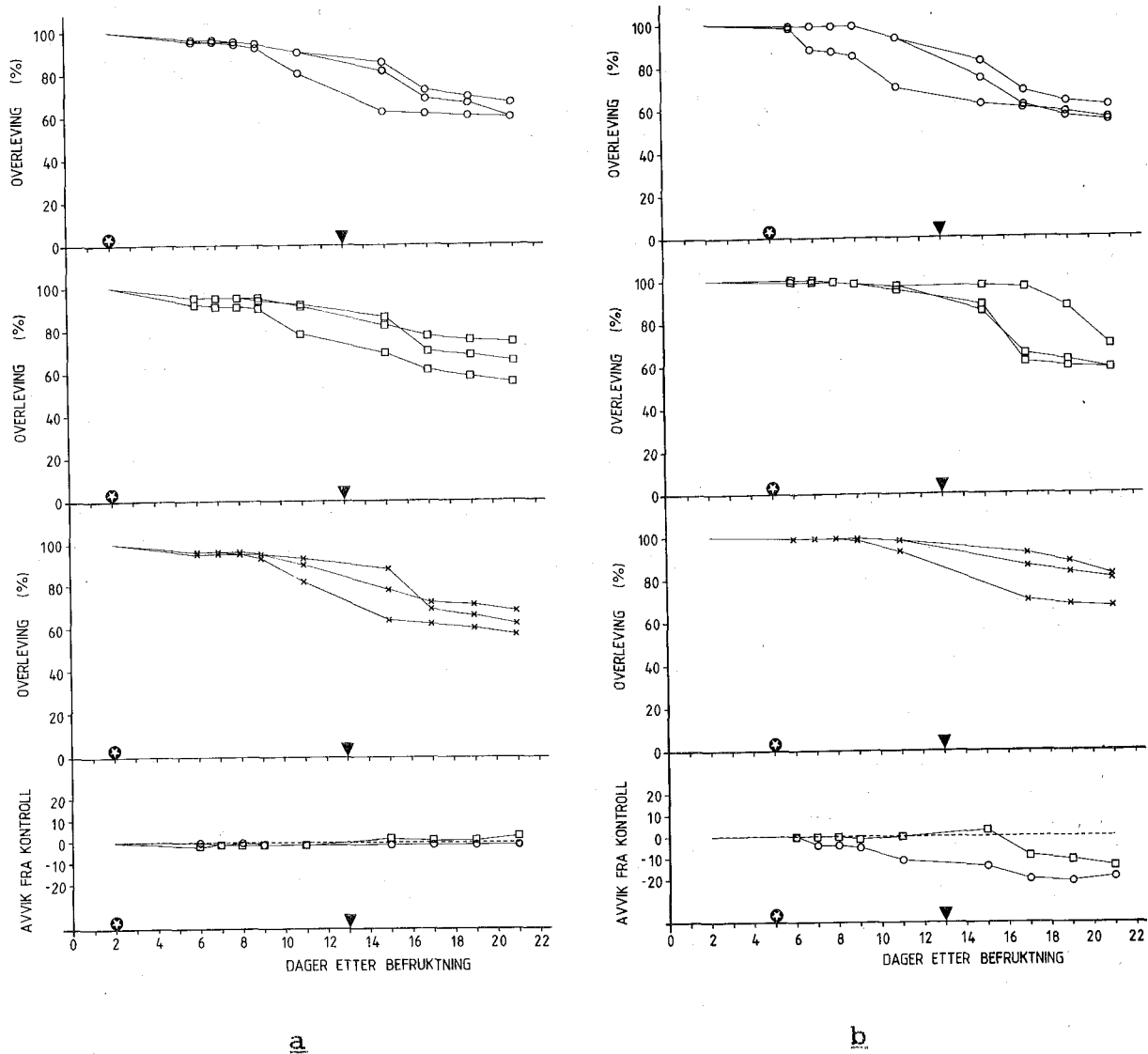


Fig. 6 Dødelighet på egg og larver etter 1 seismisk skudd.

⊙ belastningstidspunkt: (a 2. dag, b 5. dag)

▼ klekketidspunkt

Belastningsavstand: ○ 2 m, □ 10 m, x kontroll.

Det er også vist avvik av gjennomsnittet av de belasta gruppene fra gjennomsnittet av kontrollene.

Et unntak var eggene som ble belastet den 5. dagen der resultatene var signifikant forskjellige fra kontrollene ( $p < 0.01$ ). Kontrollgruppene i dette forsøket hadde liten dødelighet sammenlignet med kontrollene i de andre forsøkene. Det var ingen signifikant forskjell mellom gruppene som ble belastet den 5. dagen og de andre kontrollene fra egg-gruppe 1. Dessuten

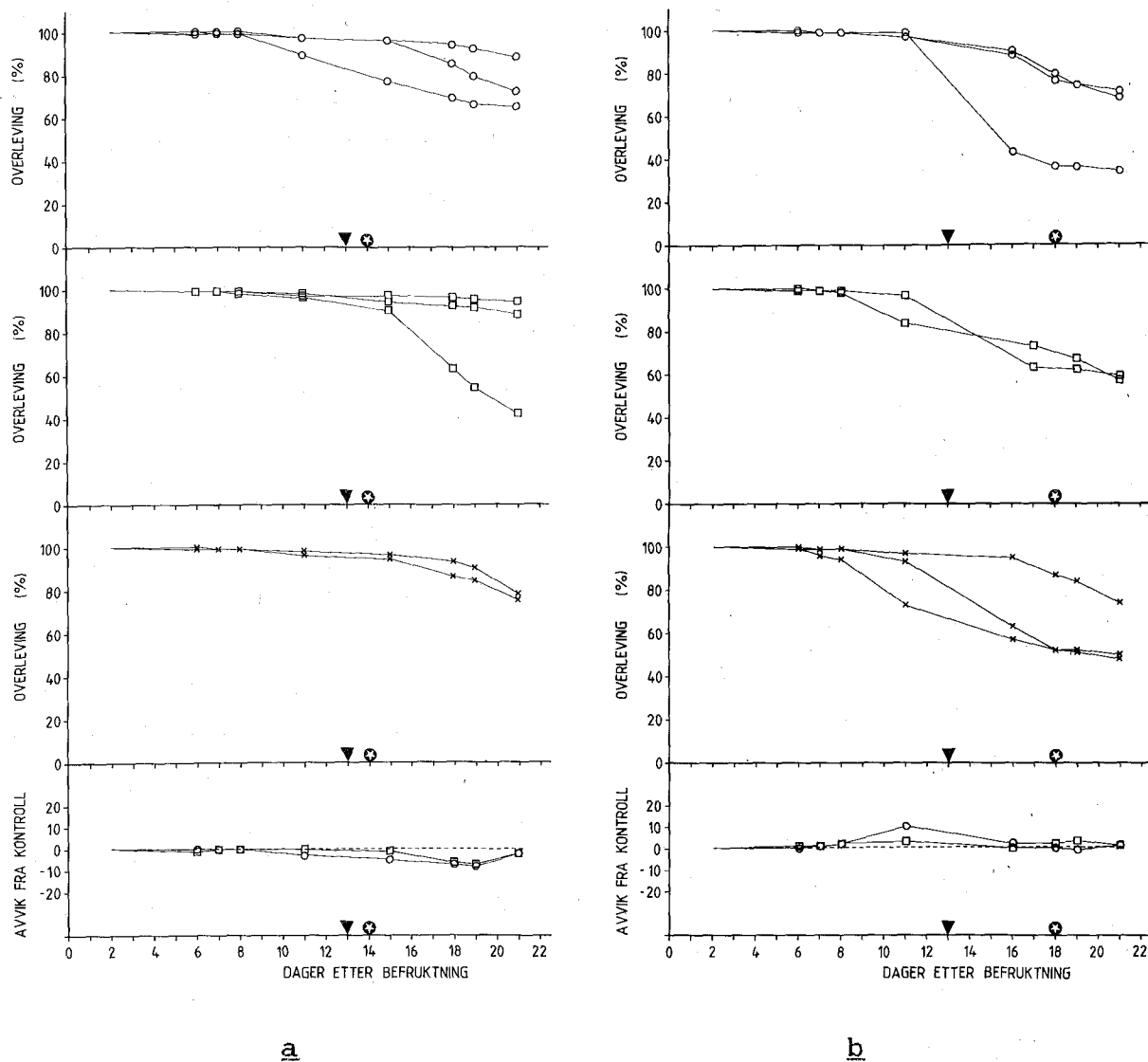


Fig. 7 Dødelighet på egg og larver etter 1 seismisk skudd.

⊗ belastningstidspunkt: (a 1. dag, b 5. dag)

▼ klekketidspunkt

Belastningsavstand: o 2 m, □ 10 m, x kontroll.

Det er også vist avvik av gjennomsnittet av de belasta gruppene fra gjennomsnittet av kontrollene.

var det ikke signifikant forskjell mellom belasta grupper og kontroller i egg-gruppe 2 som også ble belasta den 5. dagen.

Nederst i figurene er det vist hvordan gjennomsnittet av de belasta gruppene avviker fra gjennomsnittet av kontrollene.

Hovedinntrykket fra figurene er at det er en viss spredning

mellom de parallellene. Men spredningen innen en belastningsgruppe ser ut til å være like stor som mellom gruppene.

Larver (alder 1 dag) fra egg-gruppe 1 ble også belastet med 10 skudd fra luftkanonen. Dessuten ble egg og larver fra egg-gruppe 2 og 3 (jfr. tabell 1) belastet med 3 skudd fra luftkanonen. Disse forsøkene ga tilsvarende resultater som forsøkene med egg-gruppe 1.

### 3.1.2 Postlarver

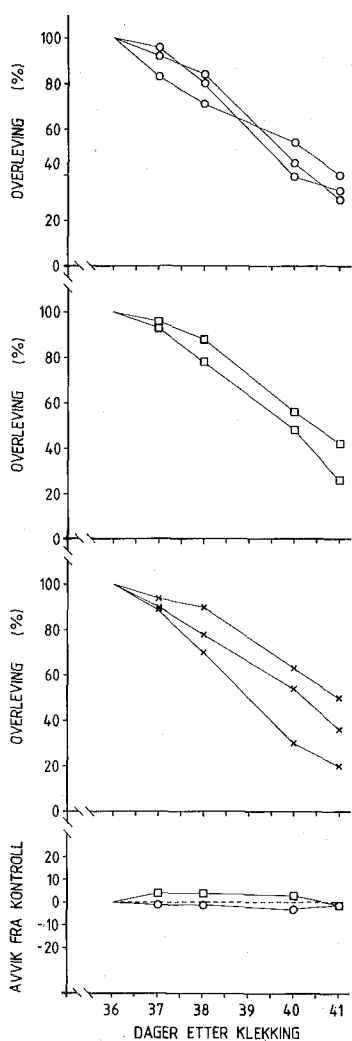


Fig. 8 viser dødelighet etter en belastning med 3 skudd fra liten luftkanon. Dødeligheten i de belasta gruppene var ikke signifikant forskjellig fra kontrollene (ikke-parametrisk tosidig test, BRESLOW (Breslow 1970) og MANTEL-COX (Mantel 1966)). Følgende hypotese ble testet:

$H_0$  = Ingen forskjell i overlevning mellom belasta grupper og kontroller.

Resultatene indikerer at der er ingen effekt etter belastninga.

Fig. 8 Dødelighet på postlarver etter 3 seismiske skudd. Belastningsavstand: o 2 m, □ 10 m, x kontroll. Det er også vist avvik av gjennomsnittet av de belasta gruppene fra gjennomsnittet av kontrollene.

### 3.1.3 Yngel

I forsøket med 56 dager gamle yngel (jfr. tabell 2) ble yngelen belastet med 3 skudd. Yngelen ble observert i en uke. I løpet av den tida var det ingen som døde eller viste skadeeffekter.

Tabell 4 viser dødelighet etter en belastning med 3 skudd med luftkanon på yngelen som var 69 dager. Det er 10 yngel i hver gruppe. All yngel som døde i de belasta gruppene var i gruppe 1 De som døde dag 5 og 6 døde sannsynlig på grunn av svikt i lufttilførselen. I kontrollgruppe 4 der 8 av de 9 døde yngelen døde var der også problemer med lufttilførselen. Observasjon like etter belastningen viste ingen forskjell i aktivitet mellom den belasta yngelen og kontrollyngelen.

Tabell 4 Antall døde yngel etter belastning med 3 skudd fra liten luftkanon. Yngelen er 69 dager gammel og 3.6-5.3 cm.

Belastnings- avstand	Antall grupper	Antall døde yngel							
		Dager etter belastning							
		0	1	2	3	4	5	6	
1 m	4	0	1	0	1	0	2	2	
Kontroll	4	0	0	0	0	0	9	0	

3.2 Dødelige effekter etter belastning fra liten og stor luftkanon og vannkanon.

### 3.2.1 Yngel

For å sammenligne effekten av en liten luftkanon med en stor luftkanon og en vannkanon, ble 110 dager gamle yngel belasta med 3 skudd ved en avstand på 2 m og 6 m fra energikilden. Tabell 5 viser dødelighet etter belastning. Det er 10 yngel i hver gruppe.

9 av 10 yngel døde i begge forsøkene med vannkanon og avstand 2 m. Umiddelbar observasjon etter belastningen var at yngelen hadde fått betydelige skader. De fleste lå med buken opp, men de levde enda. 5-6 timer etterpå var det bare en i live i begge parallellene. Den ene hadde normal adferd, mens den andre lå på



sida og hadde problem med balansen i 2-3 dager før den kom seg. Ved disseksjon av de døde yngel viste det seg at alle hadde hull i svømmeblæra, og de fleste hadde blodutredelser langs svømmeblæra og også litt i overkant på leveren. 6 av yngelen hadde fått sprengt hull i bukveggen, like under og bak brystfinnebasen. Yngelen som lå på sida i flere dager hadde et lite hull i svømmeblæra, men det så ut som om det hadde grodd igjen.

Tabell 5 Antall døde yngel etter belastning med liten luftkanon (LL), stor luftkanon (SL) og vannkanon (VK). Alle er belastet med 3 skudd. Yngelen er 110 dager gammel og 9-11 cm.

Antall døde yngel

Belastnings- avstand	Antall grupper	Dager etter belastning							
		0	1	2	3	4	5	6	7
LL 2 m	3	0	1	0	0	0	0	0	0
SL 2 m	3	0	0	0	0	0	0	0	0
SL 6 m	2	0	0	0	0	0	0	0	0
VK 2 m	2	18	0	0	0	0	0	0	0
VK 6 m	2	0	0	1	0	0	0	0	0
Kontroll	4	0	0	1	0	0	0	0	0

Gruppene som ble belastet med vannkanon på 6 m avstand, hadde balanseproblem like etter belastningen, men så ut til å få normal adferd etter noen minutter. En yngel døde den tredje dagen.

Både gruppene som ble belasta med liten og stor luftkanon hadde balanseproblemer umiddelbart etter belastningen. Det var muligens litt større effekt fra den store kanonen, men yngelen så ut til å få normal adferd etter noen minutter. En yngel fra gruppene belastet med den lille kanonen, døde den andre dagen.

En yngel fra kontrollgruppene døde den tredje dagen.

Disseksjon (1 uke etter belastning) av yngelen fra gruppene belastet med vannkanon på 6 m og alle gruppene belasta med liten og stor luftkanon viste ingen skader.

### 3.3 Fangstsuksess etter belastning med liten luftkanon.

#### 3.3.1 Egg og larver

Fig. 9 (egg-gruppe 1) viser fangstsuksess etter ett seismisk skudd. Belastningstidspunktet er henholdsvis 2. dag, 5. dag etter befruktning og 1. og 5. dag etter klekking. Det var ingen signifikant forskjell mellom de belasta gruppene og kontrollene (to-veis nøstet variansanalyse (SOKAL and ROHLF 1969)). Følgende hypotese ble testet:

$H_0$  = Ingen forskjell i fangstsuksess mellom belasta grupper og kontroller.

Hovedinntrykket fra figurene er at det er en viss spredning mellom parallellene. Men spredningen innen en belastningsgruppe ser ut til å være like stor som mellom gruppene. Nederst i figurene er det vist hvordan gjennomsnittet av de belasta gruppene avviker fra gjennomsnittet av kontrollene.

Forsøka med egg-gruppe 2 og 3 og de av egg-gruppe 1 som ble belastet med 10 seismiske skudd viste samme resultater som egg-gruppe 1.

## 4. DISKUSJON

### 4.1 Dødelige effekter etter belastning fra liten luftkanon.

#### 4.1.1 Egg og larver

Hovedinntrykket er at det er like stor dødelighet i kontrollen som i de belasta gruppene. Der er en viss variasjon mellom parallelle forsøksgrupper (fig. 6 og 7). I fig. 6b ser det ut

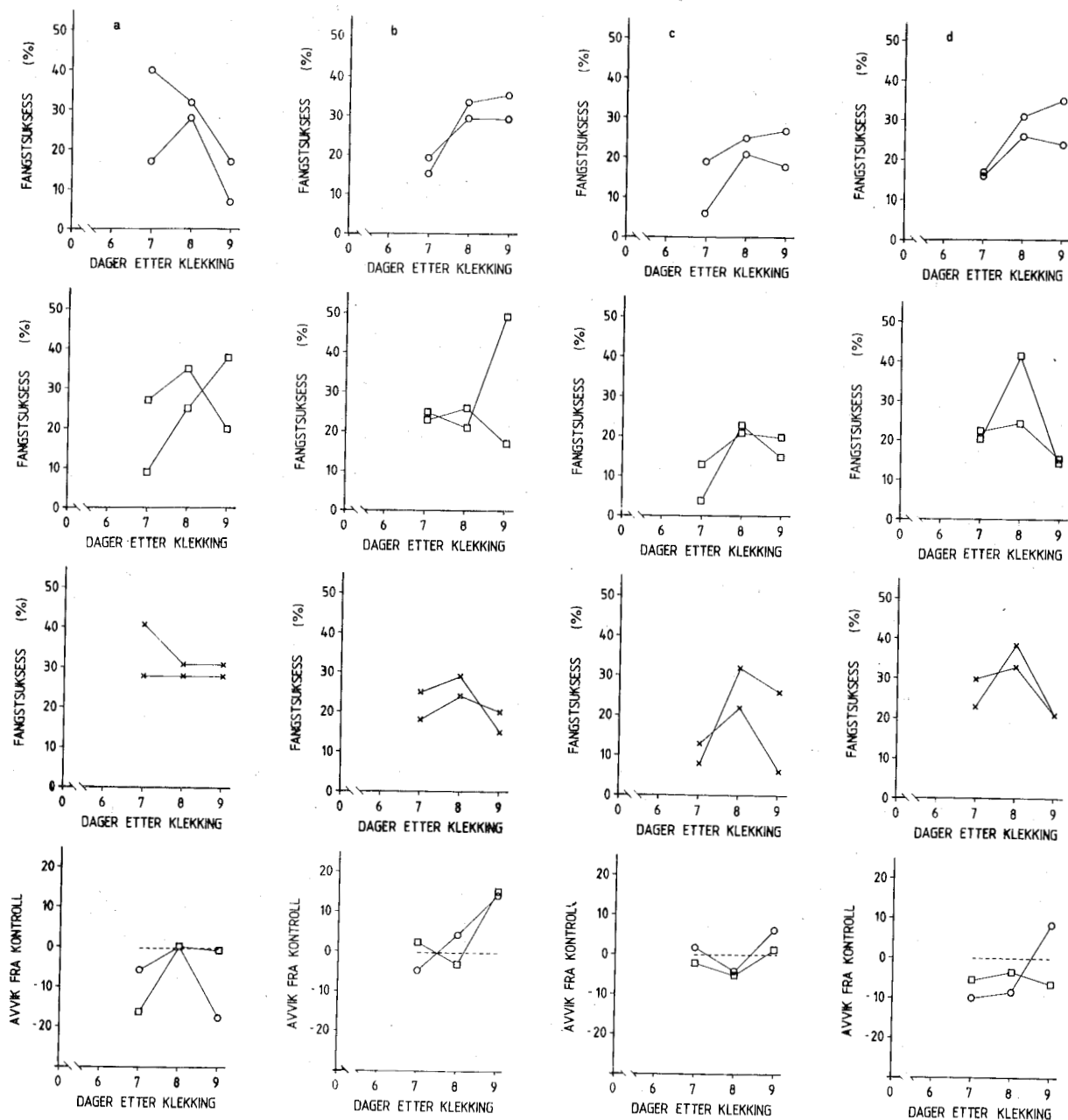


Fig. 9 Fangstsuksess til larver fra gruppene som ble belastet på egg- og larvestadie. Belastningstidspunkt: a egg 2 dager, b egg 5 dager, c larve 1 dag, d larve 5 dager. Belastningsavstand: ○ 2 m, □ 10 m, x kontroll. Det er også vist avvik av gjennomsnittet av de belasta gruppene fra gjennomsnittet av kontrollene.

som om det er større dødelighet i gruppene som ble belastet enn i kontrollen. Sammenligner en kontrollgruppen i dette forsøket med kontrollgruppen i fig. 6a og 7 ser en at det kan ha vært

en tilfeldighet at det er så stor forskjell mellom belastningsgrupper og kontroll. Eggene fra egg-gruppe 2 (jfr. tabell 1) som ble belastet 5. dag etter befruktning hadde ikke større dødelighet enn kontrollen.

Dersom en ser på dødelighet de første dagene etter belastning ser det ikke ut som om det er noen effekt.

#### 4.1.2 Postlarver

På grunn av problemer med å få tak i postlarver ble det bare gjort et forsøk. Fig. 8 antyder at postlarvene ikke har fått skader etter belastningene.

#### 4.2 Dødelige effekter etter belastning fra liten og stor luftkanon og vannkanon.

##### 4.2.1 Yngel

Vi har ikke funnet skadeeffekter ved belastning fra den lille og store luftkanonen (jfr. 2.1) ved avstander over 1 m på noe alderstrinn. Det er noen få yngel som døde, men det er også tilfelle i kontrollgruppene. Tabell 4 viser spesiell stor dødlighet i belastningsgruppe 1 og kontrollgruppe 4, men årsaken til dette var sannsynlig at det var problemer med lufttilførselen i disse karene. Etter belastning fra luftkanonene på 110 dager gammel yngel, observerte vi balanseproblem umiddelbart etter belastning, men de kom seg etter kort tid.

Resultatene av disse eksperimentene kan ikke direkte overføres til situasjoner ved seismiske undersøkelser, idet en da fyrer av mange luftkanoner på en gang og dette vil frambringe en kraftigere trykkbølge enn en enkelt kanon.

Derimot ser det ut som om vannkanoner vil kunne drepe yngel. Det var tydelig effekt ved en avstand på 2 m. Yngelen så ut til å overleve belastningen på 6 m avstand.

Yngelen vi testet var sannsynlig så stor at den ville ha kunnet flyktet før vannkanonene kom nær nok til å skade den. Fluktreaksjonen er å svømme bort fra støykilder, først horisontalt og deretter nedover i sjøen (DALEN 1973, OLSEN 1981). Da kanonene ved seismisk arbeid oftest er plassert på 6-10 m dybde, vil yngelen trolig kunne komme dypt nok til å unngå skade.

Mindre yngel derimot vil sannsynlig ikke greie å svømme langt nok. Dette avhenger av om hvor nær kanonene kan komme før yngelen blir skremt. Dessuten avhenger det av hvor fort yngelen kan svømme. Det er vanlig å regne en maksimal svømmehastighet på 10 kroppslengder/sekund (BLAXTER 1969, WARDLE 1977). Denne hastigheten kan bare holdes i 10-15 sekunder, og deretter tar det flere timer før fisken på ny kan oppnå slik hastighet (BRETT 1964). Normal svømming er 2-3 kroppslengder/sekund (BLAXTER 1969). Ved flukt er det vanlig at fisk bruker en blanding av disse svømmemetodene på en rykkvis måte (WEIHS 1980).

#### 4.3 Fangstsuksess

##### 4.3.1 Egg og larver

Vi har ikke kunnet påvise subletale (ikke-dødelige) effekter etter belastning med liten luftkanon. Hva som vil være tilfelle med større luftkanoner og vannkanoner må undersøkes med nye lignende forsøk.

#### 4.4 Effekter fra luftboblene

Ved bruk av luftkanoner blir store mengder luft sluppet ut i sjøen. Dette fører til kraftig omrøring. Det er usikkert om hvilke skader dette kan forårsake. Noen pilotforsøk antyder at egg tåler dette ganske bra, men det kan tenkes at larver kan skades. Det må utføres nye forsøk for å finne ut dette.

#### 4.5 Vertikalfordeling av egg, larver og yngel.

Skadeomfanget vil avhenge av vertikalfordelingen. Eggene har positiv oppdrift og vil befinne seg i de øverste vannlag, men vil bli nedblandet med vind (SUNDBY 1983). Fordelingen av larver vil variere med værforhold og i løpet av døgnet, men de fleste vil være i de øvre 20 m, og kanskje 5-15 % vil være over 5m (ELLERTSEN et al. 1984, TILSETH and ELLERTSEN 1984). Mesteparten av postlarvene vil befinne seg i de øverste 13 m (BJØRKE and SUNDBY 1983). Yngelen vil befinne seg i de øverste 60 m med tyngdepunktet i området 20-40 m (BELTESTAD et al. 1975, HYLEN pers.medd.). Mange andre fiskearter vil også ha de første utviklingsstadiene i de øverste vannlag.

#### 4.6 Forskjeller mellom energikilder.

Når en skal vurdere ulike effekter fra luftkanon og vannkanon på fisk, må en umiddelbart ha klart for seg forskjellen i trykkverdi (polaritet) av primærpulsene. Fra en luftkanon har en positiv trykkverdi (overtrykk), mens en fra en vannkanon har negativ trykkverdi (undertrykk) for primærpulsene. Dette fører til at fisken med svømmeblære og indre organ ved en luftkanon-avfiring blir utsatt for en ikke så farlig sammentrykkning. Ved en vannkanonavfiring blir svømmeblæra og indre organer utsatt for en utviding som i verste fall kan føre til at svømmeblære og bukhule sprekker.

Det eksisterer også andre energikilder som er blitt brukt ved seismiske undersøkelser, f.eks. MAXIPULSE (ladninger på 227 g sprengstoff), VAPORCHOC (utslipp av damp under trykk), FLEXI-CHOC (vakumstyrt bevegelse av to membraner), SPARKER (gnistutladning) og AQUAPULS (antennning av gassblanding av oksygen og propan). Disse er lite brukt i dag.

## 5. KONKLUSJON

Vi avdekket ingen entydige skadeeffekter på egg, larver og liten yngel belastet med den lille luftkanonen. Den eldre yngelen som ble belastet med luftkanon fikk problemer med balansen, men kom seg innen få minutter. Vannkanonen drepte 90 % av yngelen ved en avstand på 2 m. Ved en avstand på 6 m fikk yngelen problem med balansen, men de kom seg.

Undersøkelsene hadde vært mer fullstendige dersom den store luftkanonen og vannkanonen hadde vært tilgjengelig under hele forsøkserien.

Luftboblene som blir dannet av luftkanonene kan kanskje forårsake noe skade, men dette må verifiseres med nye forsøk.

## 6. TAKK

Rapporten bygger på forsøk utført ved Havforskningsinstituttets Akvakulturstasjon på Austevoll og Fjord Instrument A/S sin målestasjon i Lindås, og vi vil takke for den velvillighet og assistanse som vi har fått.

Prosjektet har vært finansiert av Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt og Olje- og energidepartementet.

## 7. REFERANSER

ANON. 1974. BOLT PAR AIR GUN. Bolt Associates, Inc., Norwalk, Conn., USA.

ANON. 1981. Pneumatic water gun. Type: P400, Model: 02. Operations and maintenance manual. Seismic Systems, Inc., Houston, Texas, USA.

- BELTESTAD, A.K., NAKKEN, O. and SMEDSTAD, O.M. 1975. Investigations on diel vertical migration of 0-group fish in the Barents Sea. FiskDir.Skr.Ser.HavUnders., 16, pp 229-244.
- BLAXTER, J.H.S. 1969. Development: eggs and larvae. In Fish Physiology, Vol.3, (ed. W.S. Hoar and D.J. Randall), Academic Press, New York, pp 177-252.
- BJØRKE H. and SUNDBY, S. 1983. Distribution and abundance of post larval northeast arctic cod and haddock. In reproduction and recruitment of arctic cod (ed. O.R. Godø and S. Tilseth). Institute of Marine Research, Bergen, Norway, pp 72-98.
- BRESLOW, N. 1970. A generalized Kruskal-Wallis test for comparing k samples subject to unequal patterns of censorship. Biometrika 57, pp 579-594.
- BRETT J.R. 1964. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. J.Fish.Res.Bd.Canada, 21(5), pp 1183-1226.
- CHAPMANN, C.J. and HAWKINS, A.D. 1969. A field Determination of Hearing Tresholds for the Cod (Gadus morhua L.). 8th I.F. Meeting, Lowestoft, (mimeo).
- COCER, C.M. and HOLLIS, E.H. 1950. Fish mortality caused by a series of heavy explosions in Chesapeake bay. Jour. Wildlife Management, vol.14, no.4, pp 435-444.
- ELLERTSEN, B., FOSSUM, P., SOLEMDAL, P., SUNDBY, S., and TILSETH, S. 1984. A case study on the distribution of cod larvae and availability of prey organisms in relation to physical processes in Lofoten. In: E. Dahl, D.S. Danielssen, E. Moksness and P. Solemdal (Eds), The Propagations of Cod Gadus morhua L., Flødevigen rapport-ser., 1, 1984, pp 453-477.



- DALEN, J. 1971. Akustiske stimuli for fisk. Hovedfagoppgave, Inst. for akustikk, NTH, Trondheim.
- DALEN, J. 1973. Stimulering av sildestimer. Forsøk i Hopavågen og Imsterfjorden/Verrafjorden 1973. Rapport for NTNF, Inst. for teknisk kybernetikk., NTH, Trondheim.
- GAIDRY, W.J. Investigations of compressed air charges on oysters, waters and water bottoms. Unpubl. 4s. Sitert av Weinhold og Weaver 1972.
- HUBBS, C.L. and RECHNITZER, A.B. 1952. Report on experiments designed to determine effects of underwater explosions on fish life. California Fish and Game, vol.38, pp 333-366.
- HUSE, I. and JENSEN, P.A. 1983. A simple and inexpensive spawning and egg collection system for fish with pelagic eggs. Aquacultural Engineering 2, pp 165-171.
- HUSE, I., JENSEN, P.A., OPSTAD, I., OTTERÅ, H. and STRAND, B. 1984. Intensive production of cod fry at Austevoll. Final report. Coun.Meet.int.Explor:Sea, 1984(F:33)1-22.
- JAKOSKY, J.J. and JAKOSKY, J.Jr. 1956. Characteristics of Explosives for Marine Seismic Explorations, Geophysics, Vol.21, pp 969-991.
- KRAMER, F.S., PETERSON, R.A. and WALTER, W.C. 1968. Seismic Energy Sources 1968 Handbook. United Geophysical Corp., Pasadena, USA.
- KVENSETH, P.G. and ØIESTAD, V. 1984. Large-scale rearing of cod fry on the natural food production in an enclosed pond. In: E. Dahl, D.S. Danielssen, E. Moksness and P. Solemdal (Eds), The Propagations of Cod Gadus morhua L., Flødevigen rapportser., 1, 1984, pp 645-655.

- LAVERGNE, M. 1970. Emission by UnderWater Explosions. Geophysics, Vol. 35, pp 419-435.
- LOVLIA, S.A., KAPLAN, B.L., MAIOROV, V.V. and KOVPALOV-YAROPOLK I.K. 1966. Explosives for Experimental Geophysics, Nedra, Moskva.
- MANTEL, N. 1966. Evaluation of survival data and two new rank order statistics arising in its considerations. Cancer Chemotherapy Reports 50, pp 163-170.
- NEWMAN, P. 1978. Watergun fills marine seismic gap. The Oil and Gas Journal, Aug. 7, 1978, pp 138-150.
- OLSEN, K. 1969a. Directional Hearing in Cod (Gadus morhua L.). 8th I.F. Meeting, Lowestoft, (mimeo).
- 1969b. Directional Responses in Herring to Sound and Noise Stimuli. ICES, Meet., Gear and Behaviour Comm., Bergen, (mimeo)
- OLSEN, K. 1981. The significance of fish behaviour in the evaluation of hydroacoustic survey data. Coun. Meet. int. Explor. Sea, 1981(B:22)1-22.
- SHELBOURNE, J.E. 1963. A marine fish-rearing experiment using antibiotics. Nature (London) 198, pp 74-75.
- SOKAL, R.S. and ROHLF, F.J. 1969. Biometry. W.H. Freeman & Co., San Francisco, USA.
- SUNDBY, S. 1983. A one-dimensional model for the vertical distribution of pelagic fish eggs in the mixed layer. DeepSea Research, Vol. 30, No. 6A, pp 645-661.
- TILSETH, S. and ELLERTSEN, B. 1984. Feeding and vertical distribution of cod larvae in relation to availability of prey organisms. Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer, 178, pp 317- 319.

WARDLE, C.S. 1977. Effects of size on the swimming speeds of fish. In (T.J. Pedley ed.) Scale effects of animal locomotion. Academic Press, London, pp 299-313.

WEIHS, D. 1980. Energetic significance of changes in swimming modes during growth of larval anchovy, Engraulis mordax. U.S. Fish. Bull. 77, pp 597-604.

WEINHOLD R.J. and R.R. Weaver 1972. Seismic air guns affect on immature coho salmon. Presented at the 42nd Annual Meeting of the Society of Exploration Geophysicists in Anaheim, California 1972. Unpubl. 15 s.