

FFIU/Oppdrag 2751

Godkjent  
Horten, 23 desember 1993

  
J. Johnsen  
Avd sjef

AKUSTISK EKSPONERING AV FISK  
VED UNDERVANNSSPRENGNINGER

KJELLSBY, Erling

FFI/RAPPORT-93/2004

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT  
Norwegian Defence Research Establishment  
P O Box 25 - N-2007 KJELLER, Norway


**NORWEGIAN DEFENCE RESEARCH ESTABLISHMENT (NDRE)  
FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT**

UNCLASSIFIED

POST OFFICE BOX 25  
N-2007 KJELLER, NORWAY

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE  
(when data entered)

**REPORT DOCUMENTATION PAGE**

<p>1) PUBL/REPORT NUMBER  FFI/RAPPORT- 93/2004 1a) JOB REFERENCE  FFIU/Oppdrag 2751</p>	<p>2) SECURITY CLASSIFICATION  UNCLASSIFIED  2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE</p>	<p>3) NUMBER OF PAGE  61</p>										
<p>4) TITLE ACOUSTIC EXPOSURE OF FISH FROM UNDERWATER EXPLOSIONS  (AKUSTISK EKSPONERING AV FISK VED UNDERVANNSPRENGNINGER)</p>												
<p>5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first)  KJELLSBY, Erling</p>												
<p>6) DISTRIBUTION STATEMENT  Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)</p>												
<p>7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN</p> <table border="0"> <tr> <td>a) <u>Underwater explosions</u></td> <td>a) <u>Undervannsekspløsjoner</u></td> </tr> <tr> <td>b) <u>Shock waves</u></td> <td>b) <u>Sjokkbølger</u></td> </tr> <tr> <td>c) <u>Measurements</u></td> <td>c) <u>Målinger</u></td> </tr> <tr> <td>d) <u>Fishes</u></td> <td>d) <u>Fisker</u></td> </tr> <tr> <td>e) <u>Biological effects</u></td> <td>e) <u>Biologiske effekter</u></td> </tr> </table> <p>THESAURUS REFERENCE: NASA THES. SP-7064 (Vol. 1), 1988</p>			a) <u>Underwater explosions</u>	a) <u>Undervannsekspløsjoner</u>	b) <u>Shock waves</u>	b) <u>Sjokkbølger</u>	c) <u>Measurements</u>	c) <u>Målinger</u>	d) <u>Fishes</u>	d) <u>Fisker</u>	e) <u>Biological effects</u>	e) <u>Biologiske effekter</u>
a) <u>Underwater explosions</u>	a) <u>Undervannsekspløsjoner</u>											
b) <u>Shock waves</u>	b) <u>Sjokkbølger</u>											
c) <u>Measurements</u>	c) <u>Målinger</u>											
d) <u>Fishes</u>	d) <u>Fisker</u>											
e) <u>Biological effects</u>	e) <u>Biologiske effekter</u>											
<p>8) ABSTRACT (continue on reverse side if necessary)</p> <p>Several mines, torpedoes and other explosives from World War II are still beeing found in shallow water along the Norwegian coast. For security reasons they should not be removed, and have to be blown up on the spot. In recent years a great number of fish farms have been established in coastal areas. Since shock waves from underwater explosions are potentially lethal to fish, destruction of explosives in the vicinity of fish farms could cause huge economic claims for compensation. In order to develop a method for predicting safe zones for underwater explosions, two experiments are performed in a fjord in Finnmark. During the experiments 1800 farmed cods were exposed to shockwaves both from single and repeated explosions at different distances from the charges. Dead and injured fish were examined , and the relation between the</p>												
<p>9) DATE  23 December 1993</p>	<p>AUTHORIZED BY This page only  J. Johansen</p>	<p>POSITION  Head of division</p>										

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE  
(when data entered)

**INNHOOLD**

	<b>side</b>
<b>ABSTRACT</b>	6
<b>1. INNLEDNING</b>	6
<b>2. SJOKKBØLGER FRA UV-EKSPLOSJONER</b>	8
2.1 Amplitude- tid betraktninger	
2.2 Beregningsformler	
2.3 Lydtrykkbilde på midlere avstand	
2.4 Fjernfelt	
<b>3. LYDFORPLANTNING I KYSTFARVANN</b>	14
3.1 Lydhastighetsvariasjoner	
3.2 Topografiske hindringer	
<b>4. SPRENGNINGSFORSØK I YTRE TORSKEFJORDEN 1991</b>	16
4.1 Innledning	
4.2 Forsøksgeometrier	
4.3 Lydforplantningsforhold	
4.4 Apparatur	
4.5 Analyse av registreringene	
4.6 Resultater	
4.7 Biologiske effekter	
4.8 Konklusjon	
4.9 Sikkerhetsavstander	
<b>5. SPRENGNINGSFORSØK I YTRE TORSKEFJORDEN 1992</b>	27
5.1 Innledning	
5.2 Analyse av sjokkbølgene	
5.3 Biologiske effekter av gjentatte sprengninger	
<b>6. MINESPRENGNING PÅ HELLIGVÆR 1990</b>	31
6.1 Målegeometri	
6.2 Instrumentering og analyse	
6.3 Adferdsobservasjoner og veterinærundersøkelser	
6.4 Konklusjon	

<b>7.</b>	<b>TORPEDOSPRENGNING VED BRØNNØYSUND 1991</b>	34
7.1	Målegeometri og instrumentering	
7.2	Analyseresultater	
<b>8.</b>	<b>SPRENGNINGSFORSØK MED LAKS I TANK, BERGEN 1992</b>	37
8.1	Forsøksbeskrivelse	
8.2	Analyse av sjokkpulsene	
8.3	Adferdsobservasjoner	
<b>9.</b>	<b>SJOKKPULSER FRA ANLEGG SARBEIDER</b>	40
<b>10.</b>	<b>KONKLUSJON PÅ GRUNNLAG AV MÅLINGENE</b>	42
<b>11.</b>	<b>VURDERING AV SPRENGNING I ALTAFJORDEN, JULI 89</b>	43
11.1	Bakgrunn	
11.2	Lydbaneberegninger	
11.3	Forsøk på beregning av lydtrykk ved Årøy	
11.4	Konklusjon	
<b>12.</b>	<b>REFERANSER</b>	48
<b>13.</b>	<b>APPENDIKS</b>	49
	<b>DISTRIBUTION LIST</b>	61

## AKUSTISK EKSPONERING AV FISK VED UNDERVANNSPRENGNINGER.

### ABSTRACT

Several mines, torpedoes and other explosives from World War II are still being found in shallow water along the Norwegian coast. For security reasons they should not be removed, and have to be blown up on the spot. In recent years a great number of fish farms have been established in coastal areas. Since shock waves from underwater explosions are potentially lethal to fish, destruction of explosives in the vicinity of fishfarms could cause huge economic claims for compensation. In order to develop a method for predicting safe zones for underwater explosions, two experiments were performed in a fjord in Finnmark. During the experiments 1800 farmed cods and 200 small salmon were exposed to shockwaves both from single and repeated explosions at different distances from the charges. Dead and injured fish were examined, and the relation between the degree of injury and the amplitude of the shockwaves were used for creating safe range criteria. This report also describes a similar experiment with farmed Atlantic salmon in an open indoor tank. Two more acoustic measurements from real mine- and torpedo demolitions in the vicinity of salmon fishfarms are also included in the discussion. The results agree very well with previous works. In addition to mortality and injuries, stress symptoms for fish exposed to underwater blasts are discussed.

### 1. INNLEDNING

En av marinens oppgaver i fred er å tilintetgjøre sprenglegemer som blir funnet langs norskekysten. Mange tusener av granater, miner og torpedoer fra krigens dager har blitt sprengt under vann uten at dette har medført nevneverdige komplikasjoner. Sommeren 1989 døde imidlertid store mengder fisk i et oppdrettsanlegg i Altafjorden, årsaken ble søkt forklart ved en minesprengning 11 km unna. Fiskedød i forbindelse med undervanns-eksplosjoner har ut fra tidligere undersøkelser og praktisk erfaring alltid vært betraktet som et lokalt fenomen begrenset til noen få hundre meter fra sprengningstedet.

Før sprengningsoppdragene kunne fortsette ønsket Kommandøren for sjøstridskreftene i Nordnorge å skaffe tilveie viten egnet til å kunne prediktere en "sikker avstand" for sprengninger i nærheten av oppdrettsanlegg. Våren 1991 ble det etablert et tverrfaglig NFFR-prosjekt ledet av Havforskningsinstituttet i Bergen med tittelen "Effekter av undervannssprengninger på fisk". Formålet med prosjektet er å utrede biologiske og fysiologiske skadeeffekter av undervannsprengninger på fisk, samt gjennom oppsummering av eksisterende akustisk teori å kartlegge faktorer som bidrar til økt risiko for sprengningskader. De fiskeribiologiske og akvatiske oppgavene ble utført av henholdsvis Finnmark Distriksthøgskole i Alta og Finnmarksforskning i Hammerfest. De klinisk/patologiske vurderinger ble foretatt av Statens Veterinære laboratorietjenester i Harstad. FFI bidro med undervannsakustisk ekspertise og sto for registrering og analyse av sjokkpulsene fra forsøkssprengninger.

De tidligere undersøkelser som er gjort mht "sikre avstander" er utført på andre fiskearter enn de som er vanlige ved norske oppdrettsanlegg. Dessuten har undersøkelsene vært konsentrert om momentan dødlighet, mens det for oppdrettsnæringen er like viktig å få kartlagt sansynligheten for tap som følge av dødlighet over tid samt senskader som hemmer fiskens vekst og reproduserbarhet eller nedsetter dens immunitet.

Norske oppdrettsanlegg er ofte plassert i fjorder med kompliserte hydrografiske og topografiske forhold som vil påvirke lydeksponeringen. Man ønsker svar på om slike forhold kan øke risikoen for sprengningsskader.

Det har vært gjennomført to sprengningsforsøk med fisk i Ytre Torskefjorden på Kvaløya i Finnmark. Det første fant sted i slutten av juli 1991 for å undersøke dødlighet, skade og eventuell vekstforstyrrelse hos fisk utsatt for en enkel undervannssprengning. Året etter, også i slutten av juli, ble det gjennomført et sprengningsforsøk hvor hovedvekten ble lagt på effekter av gjentatte sprengninger.

Under prosjektperioden benyttet man anledningen til å foreta lydtrykks-registreringer fra to større sprengninger. I begge tilfellene ble registreringene foretatt ved nærmeste oppdrettsanlegg for laks. Ikke i noen av tilfellene var det noen direkte lydbane mellom sprengningstedet og fiskemerdene. Hensikten med målingene var i første rekke å kontrollere at lydtrykknivået ikke oversteg det man mente var forsvarlig for å kunne tilbakevise eventuelle påstander om at skade på fisk skulle kunne tilbakeføres til sprengningene.

Hensikten med denne rapporten, foruten å beskrive den ikkebiologiske delen av eksperimentene, er et forsøk på å belyse lydforplantningsforhold som vil kunne få betydning i en forhåndsvurdering av lydtrykk-eksponering av fisk før en planlagt sprengning. De biologiske resultatene fra forsøkene er kun summarisk presentert. For mer utfyllende opplysninger er det henvist til rapporter fra de fiskeri-biologiske deltagerne i prosjektet.

I slutten av rapporten er det presentert endel vurderinger i forbindelse med minesprengningen i Altafjorden i 1989.

## **2. SJOKKBØLGER FRA GRUNNE UNDERVANNSSPRENGNINGER**

### **2.1. Amplitude- tid betraktninger**

Det har vært publisert en rekke arbeider i løpet av de siste 50 årene som i detalj beskriver mekanismene i en undervannseksplisjon. Det mest kjente er det klassiske verket til Robert Cole " Undervater explosions" fra 1948 (1). Det finnes også endel publikasjoner som spesielt tar for seg grunne undervannseksplisjoner (2), (3).

Vår undersøkelse er primært rettet mot skader på oppdrettsfisk i forbindelse med demolering av sprenglegemer hvor detonasjonsdybde og registreringsdybde

vanligvis er meget grunne. Vanlige demoleringsdyp ligger på mellom 0- 20 m, mens oppdrettsfisk i merder beveger seg mellom 0- 10 meter. Denne geometrien medfører relativt komplekse lydtrykksvurderinger og vanskliggjør bl a valg av et adekvat dosemaal for lydtrykkseksposering.

Lydtrykksforløpet etter en undervannseksplasjon oppviser en høyst uliniær karakter i nærheten av sprengningstedet. Dette skyldes bl a at lydtrykkets amplitude vanligvis langt overstiger det lokale statiske trykket i vannet. Forløpet er karakterisert av en skarp sjokkpuls etterfulgt av en serie trykkvariasjoner, de såkalte boblepulser, som er forårsaket av suksessive oscillasjoner av det gassvolumet som dannes under detonasjonen. For meget grunne undervannsdetonasjoner vil imidlertid detonasjonsgassene helt eller delvis unnvike via overflaten. Følgelig vil lydtrykksforløpet i sterk grad være preget av i hvor stor grad slik utblåsing finner sted.

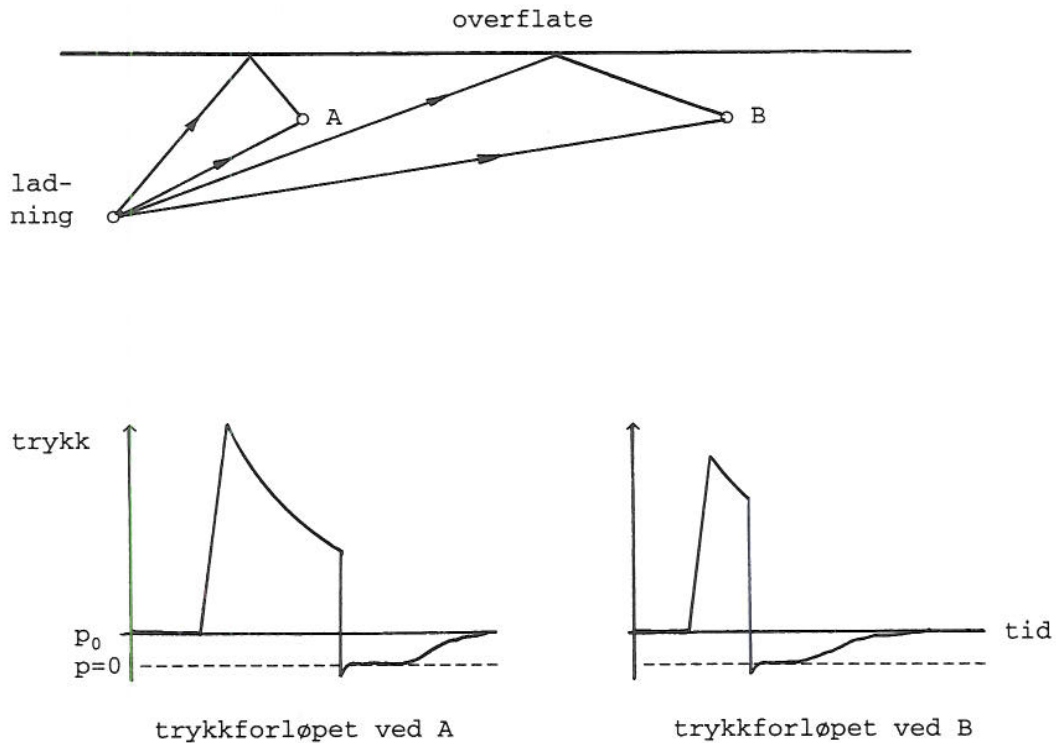
Ser vi på sjokkpulsforløpet isolert vil det være karakterisert av en meget rask økning av lydtrykket med en verdi som langt overstiger det statiske trykket i vannet. Trykkøkningen, som er et resultat av en kraftig sammenpressing av vannpartikler, etterfølges av en noe langsommere eksponentiell trykkutjevning.

Havoverflaten representerer vanligvis en god reflektor for undervannslyd. En lydbølge som reflekteres i overflaten vil gi en refleksjonsbølge som er faseforskjøvet med 180 grader. Dette vil medføre at en sjokkbølge som reflekteres vil prøve å sette opp en refleksjons- sjokkbølge med et undertrykk nesten svarende til det overtrykket som eksisterte før refleksjonen. Imidlertid vil sjøvann ikke kunne motstå undertrykk av slike størrelsesordener og følgelig kavitere. Dette gir opphav til en kavitatsjonsbølge som forplanter et undertrykk med verdier nesten ned mot vakuum.

Kavitatsjonsbølgen vil få en begrenset rekkevidde fordi kaviteten raskt fylles opp. Det rapporteres om kavitetsområder som stikker noen få meter ned under havoverflaten og et par hundre meter ut fra eksplosjonsstedet (2).



Effekten vil være avhengig av havoverflatens tilstand. Sjøgang begrenser muligheten for refleksjon av kavitasjonsbølger. Det er i første rekke de høyere frekvenskomponentene, med lydbølgelengder som er sammenlignbare eller mindre enn overflatebølgene, som blir undertrykket i refleksjonsfasen og som svekker betingelsene for kavitasjon.



**Figur 2.1 Sjokkpulsforløp i kavitasjonssonen**

Den overflatereflekterte sjokkbølgen vil, når både detonasjonsdybde og observasjonsdybden er grunne, innhente den direkte sjokkbølgen før den er ferdig trykkutjevnet. Lydtrykket faller i samme øyeblikk spontant ned mot meget lave trykk. Etterhvert som undertrykket utgjevnes stiger trykket langsomt opp mot det statiske såfremt ikke nye ankomster interfererer. På lengre avstander vil veiforskjellen mellom den direkte og den reflekterte lydbanen bli mindre. Følgelig vil pulsbredden til den sammensatte sjokkpulsen avta med avstanden slik som illustrert i figur 2.1.

## 2.2. Beregningsformler

Sjokkpulsens maksimalamplitude:

Følgende semiempiriske formel (4) gjelder for sjokkpulsens amplitude som funksjon av ladningsvekt og avstand fra detonasjonstedet:

$$p = k ( W^{1/3} / r )^{1.13} \quad [\text{Pa}] \quad (2.1)$$

hvor  $p$  = trykkamplituden (peak pressure) i Pa  
 $k = 5.25 \cdot 10^7$  for TNT (ladningskonstant)  
 $W$  = ladningsvekt i kg  
 $r$  = avstand i meter

Uttrykt i lydtryknivå:  $L = 20 \log p + 120 \quad [\text{dB}/1\mu\text{Pa}]$

Tidsseparasjon i sek mellom den direkte og den overflatereflekterte puls for grunne dyp er tilnærmet gitt ved:

$$\Delta t = 2 d_1 d_2 / r c \quad (2.2)$$

hvor  $d_1$  = detonasjonsdyp[m],  $d_2$  = hydrofondyp[m]  
 $c$  = lydhastighet[m/s],  $r$  = avstand [m]

Boblepulsankomst:

Selv om lydtrykket fra boblepulsene er svake pga gass utblåsning gjennom overflaten, er det av interesse å identifisere disse i lydtrykkforløpet. Ankomsttiden for den første boblepuls i sekunder etter sjokkpuls er gitt ved (5):

$$T_1 = 2.11 W^{1/3} (d_1 + 10.1)^{-5/6} \quad (2.3)$$

For ladningsdybde 5 m og ladningsvekt 10 kg, som var aktuell under en av eksperimentene, vil 1. boblepuls inntreffe 0.475 sek etter sjokkpulsen. Det er to dosemaal som er mest brukt i forbindelse med lydeksponering under vann, lydenergifluks og lydtrykkimpuls:

Lydenergifluksen E uttrykt i joule pr kvadratmeter er et maal for den lydenergien som passerer gjennom en flate pa 1 m<sup>2</sup> loddrett pa forplantningsretningen i loppet av den tiden T som lydpaavirkningen varer og er gitt ved:

$$E = \frac{1}{\rho c} \int_0^T p^2(t) dt \quad [J/m^2] \quad (2.4)$$

hvor  $\rho$  = tettheten av det akustiske medium [kg/m<sup>3</sup>]

Lydtrykkimpulsen, I med benevningen pascal x sekund er ofte brukt som dosemaal for sjokkbølger og er gitt ved :

$$I = \int_0^T p(t) t dt \quad [Pa \text{ sek}] \quad (2.5)$$

eller ved det semiempiriske uttrykket (3):

$$I = 5.57 \cdot 10^3 W^{1/3} (W^{1/3} / r)^{0.89} \quad [Pa \text{ sek}] \quad (2.6)$$

Det siste uttrykket gjeder bare for sjokkpulsen isolert. Både lydenergifluks og lydtrykkimpuls vil i sterk grad avhenge av lydforplantningsforhold. I kystfarvann vil det for lengre strekninger i praksis være urealistisk å prediktere lydeksponering med angivelse av disse dosemaalene.

Sjokkpulsens maksimalamplitude, synes for midlere avstander å være mindre avhengig av variasjoner i lydforplantningsforholdene, og representerer derfor et mer praktisk maal for lydeksponering. På lengre avstander, hvor sjokkpulsankomsten ikke lenger dominerer lydbildet, vil den være mindre egnet.

Imidlertid har vi for slike avstander, i mangel av andre adekvate parametre, valgt å uttrykke lydeksponeringen ved den største trykkamplitude i lydtrykksforløpet. Målinger viser at lydtrykksforløpets maksimalamplitude for moderate avstander med akseptabel usikkerhet kan uttrykkes ved det semiempiriske uttrykket (2.1) som gjelder for en direkte sjokkpuls.

### 2.3 Lydtrykksbildet på midlere avstander

For avstander over noen hundre meter og kanskje opp til en kilometer vil lydtrykksbildet på grunne dyp forandre seg markert. Her vil refleksjonspulsen smelte mer eller mindre sammen med den direkte sjokkpulsen og den resulterende pulsformen blir ikke entydig. Sjokkpulsen spiller fortsatt en dominerende rolle i denne sonen og vil rettferdiggjøre at man også her karakteriserer lydtrykkseksposeringen ved pulsens amplitude og stigetid.

Refleksjoner fra bunnen og fra multiple refleksjoner mellom bunn og overflate gjøre seg gjeldende for disse avstandene i grunne farvann. Hvis en forutsetter at fisk er særlig sårbar overfor store trykkvariasjoner som kommer i rask rekkefølge, så vil fisk som står nær bunn eller overflate være utsatt. Lydtrykksnivået fra de reflekterte sjokkpulsene vil være avhengig av overflatens og bunnens egenskaper. En speilblank overflate over en hård bunn vil gi vesentlige større bidrag enn refleksjoner fra en urolig overflate over en løs sølebunn.

For multiple refleksjoner gjelder følgende uttrykk (6) for ankomsttiden  $t$  når kilde og mottaker befinner seg på relativt grunne dyp:

$$t = 1/c \cdot \sqrt{r^2 + (2nz)^2} \quad [\text{sek}] \quad (2.7)$$

hvor  $n$  = antall bunnrefleksjoner  
 $z$  = bunndybden

I trange fjorder vil lydenergien som brer seg innover i fjorden sammentrenges og lydenergi bidraget pr flateenhet øke. Økningen vil i sterk grad avhenge av grenseflatenes refleksjonsegenskaper, men effekten vil i praksis neppe få noen signifikant betydning. Et unntak er det viktig å nevne. Under sprengninger nær land har man observert stor aktivitet av måker som har beitet på svimeslått småfisk i den grunneste delen av strandsonen. Hvorvidt dette fenomenet skyldes konsentrasjon av lydenergi, eller det faktum at mindre fisk er mer ømfindlig for sjokk enn større, er usikkert.

#### **2.4. Fjernfelt**

I områder langt fra detonasjonsstedet vil hovedsjokkpulsen ikke lenger dominere lydbildet. Under sommerforhold vil det i norske farvann antagelig ikke eksistere noen direkte lydbane mellom grunne undervannsekspløsjoner og fiskemerder i det hele tatt. Lydtrykksbildet i fjernfeltet kan best karakteriseres ved en mer eller mindre kontinuerlig trykkvariasjon som en følge av multiple refleksjoner med varighet av størrelsesorden sekund(er). Siden høye frekvenser har større absorpsjonstap enn lave vil fjernfeltet etterhvert bli dominert av lavfrekvent lyd.

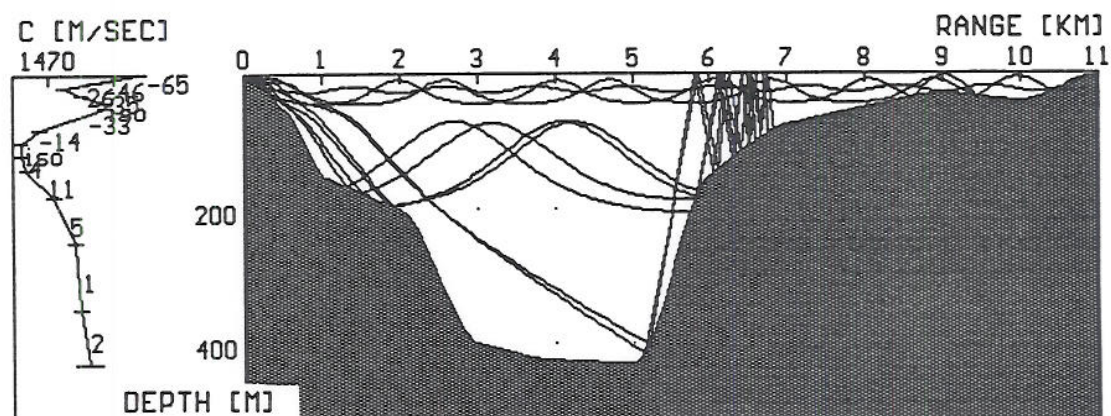
### **3. LYDFORPLANTNING I KYSTFARVANN**

Kystfarvann representerer et ytterst komplisert medium mht beregning av lydforplantning. Selv de vanlige lydforplantningsparametrene som geometrisk spredning, absorpsjon og lydavbøyning (7) vil på grunn av ferskvannstilsig, tidevannsstrømmer samt kompleks topografi bli så uoversiktlige at en beregning av lydutbredelse, sogar for moderate avstander, i praksis gir store usikkerheter.

### 3.1 Lydhastighetsvariasjoner

Lydhastighetsvariasjoner som en følge av temperatur og saltholdighetsfordelingen i vannet er den direkte årsak til dannelsen av skyggesoner og lydkanaler. For praktiske formål vil det være vanskelig å beregne lokaliseringen av slike områder. Effekten skyldes lydavbøyning, og vil vanligvis først få virkning på såpass lange avstander fra lyd-kilden at det normale lydtrykksnivået, for den aktuelle avstanden, ville ha vært kraftig redusert. Et unntak er skyggesoner som dannes om sommeren i de øvre vannlag for grunne lyd-kilder. Lyden bøyes kraftig nedover og allerede etter noen få hundre meter vil det være etablert en skyggesone i de øvre vannlagene hvor den direkte sjokk-pulsen ikke når frem.

Dannelsen av lydkanaler er ganske vanlig. I figur 3.1 er det presentert et eksempel på eksistensen av to lydkanaler i Altafjorden.



**Figur 3.1** Eksempel på to lydkanaler i Altafjorden, målt under sommerforhold .(Beregnet på LYBIN (8)).

Lyd som brer seg i en slik kanal vil få en mindre demping enn det som hadde vært tilfelle under vanlig lydutbredelse. Forskjellen i attenuasjon vil først bli aksentuert på lange avstander og da vil lydtrykksnivået allerede være så kraftig svekket at det neppe vil kunne medføre skade på fisk.

### **3.2. Topografiske hindringer**

Direkte fokuseringseffekter som skulle medføre dramatisk konsentrasjon av lydenergi på lange avstander er såvidt vites ikke rapportert. Betingelsene for en slik fokusering er så spesiell at sansynligheten må utelukkes. Hvis det ikke eksisterer noen direkte eller refleksjonslydbaner mellom detonasjonsstedet og observasjonsstedet vil den lydenergien som når frem være kraftig redusert. Dette vil være tilfelle når skjær, øyer eller fastland skjærmer for lydbølgene. Den lyden som når frem har i slike tilfelle måtte kobles fra vann, gjennom geologiske formasjoner og ut i vannet igjen. Slike overganger mellom ulike media forårsaker en betydelig reduksjon i lyd-nivået. I tillegg dempes lyden pga absorpsjon i hvert enkelt medium. Attenuasjonen er frekvensavhengig, og de høyere frekvensene dempes raskest. Det resulterende lydbilde fra eksplosjoner som har forsert større strekninger i ulikt topografisk terreng kan karakteriseres som en lavfrekvent romling av flere sekunders varighet og som audiologisk sett kan minne om lyd-karakteristikken fra et tordenvær på lang avstand.

Fisk som laks og torsk hører best i frekvensområdet fra noen få Hz og opp til noen få hundre Hz. Følgelig vil denne romlingen fra fjærntliggende eksplosjoner falle innenfor deres høreområde. Hvis lydnivået er høyt nok vil fisken oppleve lydinntrykket som ubehagelig eller skremmende. Ved gjentatte eksplosjoner vil ubehaget kunne gå over til stress-påkjenninger.

## **4. SPRENGNINGSFORSØK I TORSKEFJORDEN 1991**

### **4.1. Innledning**

Under sprengningsforsøk med fisk i Ytre Torskefjorden på østsiden av Kvaløya i Finnmark (se kartutsnitt i appendiks A) i tiden 29.7- 1.8.1991 ble det foretatt undervanns-akustiske registreringer av sjokkpulser. Det ble avfyrt

ialt 10 ladninger a 10 kg, hvorav 8 med TNT og 2 med dynamitt.

Registreringene ble foretatt med 5 hydrofoner som ble plassert i umiddelbar nærhet av 3- 4 fiskemerder i avstander fra 200 til 1000 meter fra sprengningstedet. Både detonasjonsdybde og hydrofondybde ble holdt konstant lik 5 meter under alle forsøkene. Dybdeforholdene i den delen av fjorden hvor forsøkene ble gjennomført varierte mellom 30 og 60 meter. Det var dårlig vær med sterk vind under målingene.

Ca halvparten av ialt 90 registreringer ble beheftet med feil og uheldige refleksjonsinterferenser, båndbreddebegrensninger og svake overstyringer. De øvrige adekvate registreringene danner grunnlag for de beregninger og konklusjoner som er beskrevet i dette kapitlet.

#### **4.2. Forsøksgeometrier**

Det ble avfyrt ladninger for to forskjellige geometrier. I den første geometrien ble merdene plassert i den ytre delen av fjorden, med sprengningsstedet på innsiden. Bunnen var svakt skrånende oppover fra 55 til 50 meter. Det ble avfyrt ialt 7 ladninger, 5 med TNT og 2 med dynamitt, alle ble detonert på 5 meters dyp. Merdenes plasseringer er skissert i appendiks A. Merde 1, 2 og 3 ble i utgangspunktet plasert i henholdsvis 20, 80 og 200 meter fra sprengningstedet, men mindre avstandsjusteringer ble foretatt under eksperimentene. Ved hver merde ble det hengt ut en hydrofon på ca 5 meters dyp.

Sjarken "Fjordfangst", som ble brukt som registreringsplattform, lå ca 200 m fra sprengningstedet i nærheten av merde 3. Merde 1 ble forøvrig fjernet etter bare en sprengning, mens hydrofonen i denne posisjonen ble beholdt under resten av sprengningene. Videre ble det hengt ut 2 hydrofoner fra et annet registreringsfartøy, "ROS- 29", som ble ankret opp lenger inn i fjorden, på ca 30 m vann-dyp, 1000 m fra sprengningstedet. En 4.merde, "kontrollmerden", ble plassert i nærheten av "ROS- 29".



Merdene var kvadratiske (3x3) m og 5 m dype. Forsøksfisken besto av torsk fra 0.4- 7,0 kg, og i hver av de 4 merdene ble det satt ut 172 torsk. I tillegg ble det satt ut 200 laks med en gjennomsnittsvekt på 0,1 kg i merden 1000 m fra sprengningstedet for undersøkelse av stress.

I den andre geometrien ble det ikke satt ut fisk, og det ble avfyrt 3 ladninger a 10 kg TNT. Selve sprengningstedet ble flyttet 600 m lenger inn i fjorden. Hydrofoner ble plasert i avstander på henholdsvis 20, 80, 200 og 400 meter fra sprengningsstedet og utover i fjorden. Hensikten med arrangementet var å undersøke om den lydenergien som forplanter seg innover i fjorden var forskjellig fra den som forplanter seg utover. Vi fant imidlertid ingen målbar forskjell. Antagelig var bunnen for svakt skrånende til at effekten kunne bli målbar.

#### **4.3 Lydforplantningsforhold**

Det ble foretatt 4 lyd­hastighetsmålinger i Torskefjorden som danner grunnlag for beregning av lydforplantningsforholdene. Med utgangspunkt i en lyd­hastighetsprofil som representerer et gjennomsnitt for de 4 målingene er strålediagram og transmisjonstap beregnet ved lydbaneberegningssmodellen "LYBIN" (8). Resultatet er presentert i appendiks B og viser at den negative lydgradienten resulterer i at lyden bøyes nedover. Dette medfører at det ikke vil eksistere noen direkte lydbane mellom ladning og merde på avstander utover ca 250 m.

#### **4.4. Apparat**

Det ble brukt to registreringssystemer under sprengningene. Et ombord i "Fjordfangst", som tok inn signalene fra hydrofonene 1- 3, samt et ombord i "ROS- 29" som registrerte signalene fra de to hydrofonene i posisjon 4.

Ombord i "Fjordfangst" ble signalene registrert på en 7-spors Racal- 4D båndopptaker. Hver hydrofon ble etter forforsterkning parallellkjørt inn på to kanaler, en FM-

kanal med båndbredde 0- 10 kHz og en DR- kanal med båndbredde 100 Hz- 75 kHz ved 15 ips. Hydrofonene var sfæriske 1/2" PZT- sensorer med båndbredde 160 kHz. Nedre grensefrekvens ble bestemt av forforsterkerene og lå for samtlige hydrofonsignaler godt under 10 Hz.

Ombord i "ROS- 29" ble signaler fra to 1" PZT sfæriske hydrofoner registrert på en to- kanals DAT- recorder. Total effektiv båndbredde var fra 2 Hz- 22 kHz.

#### **4.5. Analyse av registreringene**

Analysene ble utført på en ONO SOKKI FFT ANALYZER CF- 900 som har en rekke analysefunksjoner og dekker frekvensområdet 0- 100 kHz. For å kunne observere det originale signalforløpet fra eksplosjonene, ble registreringene analysert i tidsaksemodet.

De fire plottene i appendiks C viser sjokkpulsforløpet for de fire hydrofonavstandene. De viser hvorledes den relative gjenklngen øker med økende avstand. I avstanden 20 meter er bildet dominert av sjokkpulsens direkte- ankomst, i motsetning til avstanden 1000 m hvor tidsforløpet består av en rekke refleksjoner. Lydbaneberegninger viser at det ikke eksisterer noen direkte lydbane mellom eksplosjonsstedet og hydrofonen i 1000 m avstand.

Det er imidlertid lett å identifisere den direkte ankomsten for de øvrige hydrofonavstandene i avstandene 20, 80 og 200 m. Et annet trekk i lydbildet er ankomsten av 1. boblepuls. Den ankommer etter 475 ms som er i samsvar med teorien. Boblepulsens amplitude er relativt liten, ikke uventet siden man kunne observere at store deler av eksplosjonsgassene unnslopp gjennom overflaten.

Vi skal se litt nærmere på enkeltsprengningene for hver av registreringsavstandene:

Hydrofonposisjon 1 (20 m).

For de to første sprengningene SPR-1 og 2 ble registreringene brukbare (se appendiks D). Under SPR-1 var sjøen urolig slik at trykkfallet som skyldes den overflate-reflekterte negative sjokkpulsen ikke ble så markert som ved SPR-2 hvor fjorden var nesten speilblank. Kavitasjonen synes å inntreffe noe forsinket, etter 2.1 ms istedenfor 1.6 ms som den skulle ifølge teorien. Årsaken kan være at utbredeshastigheten for kavitasjonen er lavere enn for den direkte sjokkpulsen.

En annen effekt, som det er vanskelig å finne noen forklaring på, er at ca 1- 2 ms før sjokkpulsen ankommer registreres en ikke ubetydelig spenningspuls som ligner svært mye på sjokkpulsen. Den er synlig på de fleste opptakene i 20 m avstand, og er også registrerbar på noen av opptakene i 70- 80 m avstand.

Det var kun under SPR- 1 at det var fisk i merden på 20 m avstand. Den ble eksponert for en sjokkpuls med amplitude 6800 kPa og befant seg høyst sannsynlig også i kavitasjonssonen i noen ms. Det ble registrert en spontan dødlighet på 90 % ,alle med sprengt svømmeblære.

Hydrofonposisjon 2 (70 og 80 m).

Samtlige sjokkpulser er akkompanjert av overflate-refleksjoner. Sjokkpulsens max- amplitude viser stor spredning, men middelveidien på 1,1 MPa ligger tett opp til den teoretiske verdien på 1,03 MPa. Det er svært liten forskjell på TNT og dynamitt både mhp amplitude og pulsforløp. Det er heller ingen forskjell i parameterene om sprengningen skjer innover eller utover fjorden. Bunnrefleksjonene er tydlige men varierer sterkt fra sprengning til sprengning. I snitt er energibidraget fra bunnreflekterte bølger lite i forhold til det tilsvarende for den direkte ankomsten.

### Hydrofonposisjon 3 (190 og 200 m)

I denne posisjonen er det fremdeles den direkte sjokkbølgen som dominerer. Overflaterefleksjonen er svekket og inntreffer så tidlig at den ikke er istand til å undertrykke sjokkpulsnivået i særlig grad. Den registreres som et raskt lite dropp i amplituden. Antallet multiple refleksjoner på denne avstanden har økt og dør først ut etter ca 1 sek. Energimessig vil nok disse refleksjonene representere en større andel enn den direkte sjokkpulsen, men amplitudene for de enkelte ankomstene er antagelig så lave at de har et svekket skadepotensiale.

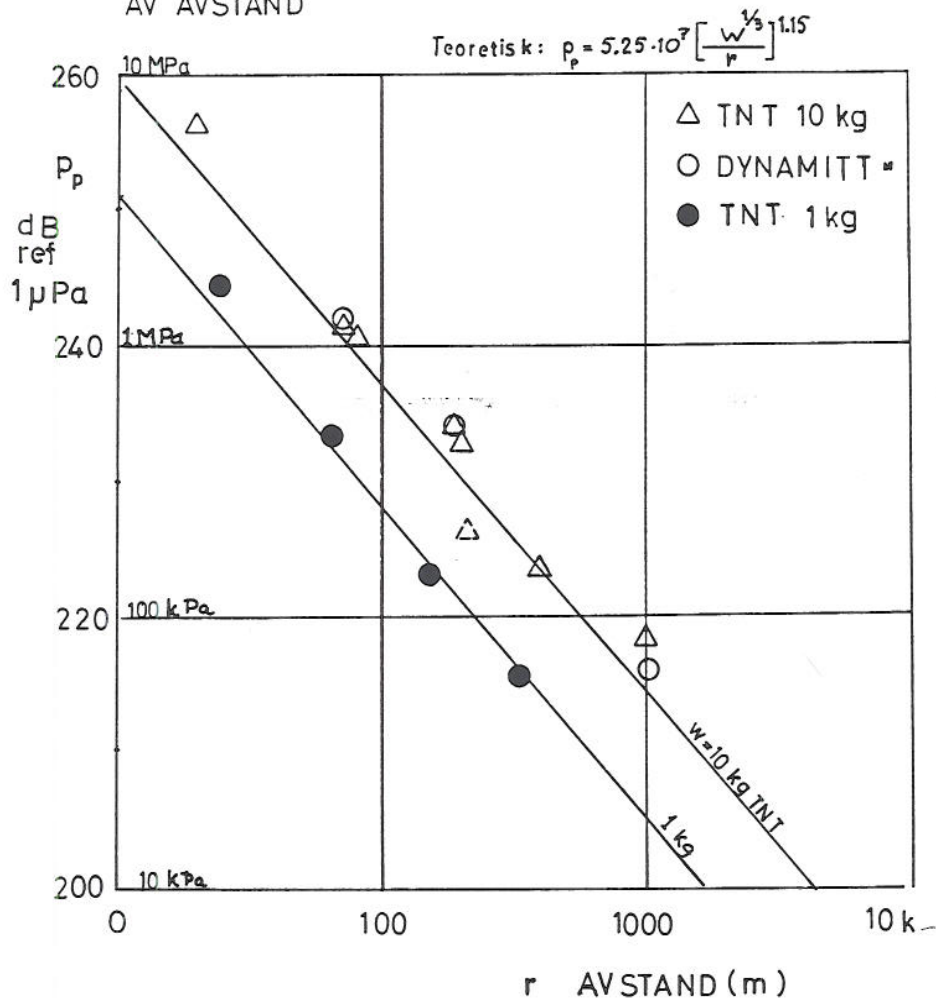
### Hydrofonposisjon 4 (1000 m)

I denne avstanden var det plasert en kontrollmerde med fisk. Antall ankomster har øket så kraftig at det er vanskelig å separere dem. Hovedtyngden av ankomster med de største amplitudene, anslagsvis 30 stykker, registreres i løpet av de første 250 ms, deretter synker nivået raskt. Gjenklangen dør først ut etter flere sekunder.

## 4.6 Resultater

Det er ikke observert noen nevneverdig forskjell i lydtryknivå eller sjokkpulsforløpet om ladningen besto av TNT eller dynamitt. Følgelig ble det heller ikke påvist noen forskjell i skadene hos fisken om de ble eksponert med det ene eller andre sprengstoffet. I figur 4.2 er de målte verdiene sammenlignet med de teoretiske (heltrukken linje) ifølge uttrykket (2.1). (Resultater fra målingene i 1992 med 1 kg TNT er tatt med for sammenligningens skyld). I tabellen 4.1 er sjokkpulsamplitudene og stigetider satt opp i tabellform.

SJOKKPULSAMPLITUDE SOM FUNKSJON  
AV AVSTAND



**Fig 4.2 Sjokkpulsamplituder som funksjon av avstand**

Hydrofonavstand 400 m

Under registreringene i denne avstanden fra sprengningen var det ikke satt ut fisk. Pga lydavbøyning er det kun en svekket direkte lydbane mellom sprengningstedet og hydrofonen (se appendiks B). Dette medfører at den direkte sjokkpulsen innleder pulsforløpet med kraftig redusert amplitude. Den første signifikante pulsen som kommer umiddelbart etter er sansynligvis den første bunnreflekterte sjokkpuls. Amplitudeverdien kommer nesten opp i den verdien som en direkte sjokkpuls ville ha hatt om det hadde eksistert en usvekket direkte lydbane. Dette tyder på at refleksjonstapet i bunnen er lite pga av en relativt hard bunn (se appendiks D).

SPR- NR.	dag	kl.	20	80	200	1000 m	20	80	200	1000 m
TNT(I)			SJOKKPULSAMPLITUDE i kPa				STIGETID i $\mu$ sek			
1	30/7	18.15	6800	1200	490	73	12	70	55	200
2	31/7	22.24	5460	1300	500	66	20	47	200	280
3	"	23.30	6170	940	524	65	22	47	100	174
4	1/8	00.16	-	1230	537	97	-	63	55	252
5	"	00.56	-	900	504	99	-	47	39	254
Snitt TNT(I)			6140	1100	515	80	18	55	99	232
DYNAMITT										
6	1/8	13.34	-	1050	470	70	22	47	55	220
7	"	14.52	-	1350	557	61	17	39	39	264
Snitt DYN			-	1200	515	66	20	43	47	242
TNT(II)										
8	1/8	19.32	-	1300	538	162	20	31	47	161
9	"	19.44	-	940	381	132	-	31	39	"
10	"	19.51	-	950	327	148	-	31	55	"
Snitt TNT(II)			-	1060	415	147	20	31	47	161

NB! Fom SPR-2 tom SPR-7 ble avstandene 80 og 200 m forkortet med 10 m

**Tabell 4.1. Sjokkpulsamplituder og stigetider ved sprengningsforsøkene i Ytre Torskefjorden, uke 31 1991.**

I appendiks D er også energifordelingen i lydtrykkforløpet illustrert. Hovedenergimengden ligger i lavfrekvensområdet med en opphopning omkring 50- 200 Hz. Pga begrensninger i analysatorutstyret har det vært vanskelig å få frem fornuftige energispektra for de korteste hydrofonavstandene. Dette skyldes primært at sjokkpulsvarigheten er for kort.

#### 4.7. Biologiske effekter

97% av den fisken som døde etter en eksplosjon ble drept momentant, kun 3 % døde i løpet av de følgende 14 dagene. Deretter var dødligheten på samme nivå som for fisk som ikke ble eksponert (9).

I avstanden 20 m fra sprengningstedet ble det registrert en momentan dødlighet på 90 % etter en eksplosjon, mens den tilsvarende for avstandene 80 og 200 m bare utgjorde 1 %. Den registrerte dødligheten stemmer godt overens med anerkjente beregningsmodeller(9).

Så og si all fisk (95 %) i avstanden 20 m hadde sprenget svømmeblære, mens svømmeblæren var hel hos fisk som hadde blitt eksponert i avstandene 80 og 200 m. En rekke forfattere (10) har ofte observert at blod og fragmenter fra svømmeblæren er blåst ut i bukhulen, noe som antyder at svømmeblæren har eksplodert utover istedenfor å ha kollapset innover. De tilbakefører denne effekten til at det er et undertrykk, bl a fra overflaterrefleksjoner, som er den primære årsaken til sprukken svømmeblære.

Dødligheten etter 1-2 sprengninger blandt fisk plasert 70 m fra sprengningstedet var 1 %. Etter 3 og 4 sprengninger ble det observert en økende dødlighet på henholdsvis 5 og 25 %. Økningen i dødlighet etter flere sprengninger gjenspeiles også i en tilsvarende økning av skader hos den overlevende del av bestanden. Effekten av gjentatte sprengninger ble forøvrig tatt opp ved en separat forsøkserie utført i 1992 og er beskrevet i kapitel 5.

Det ble konstatert væske i svømmeblærene, mindre blødninger i svømmeblæreveggen og indikasjon på økt produksjon av stresshormoner i den laksen som ble utsatt for fra en til syv sprengninger i avstanden 1000 m. Ettersom stress kan medføre risiko for infeksiøse sykdommer, bør denne effekten tas hensyn til i forbindelse med gjentatte undervannsprengninger i nærheten av oppdrettsanlegg.

Fisk som overlevde hadde redusert appetitt de første 14 dagene etter sprengningen . Etter denne tiden var både appetitt og vekst kommet opp på et på et normalt nivå (11)

#### 4.8. Konklusjon

Undersøkelsen viser at den observerte dødligheten hos torsk utsatt for en enkel undervannsprengning stemmer godt overens med den forventede dødligheten ifølge modellen til Yelverton (11) (appendiks- E). På denne bakgrunn, også støttet av en rekke andre forsøk, synes det som om dødligheten hos fisk utsatt for en enkel undervannsprengning normalt kan forutsies ved hjelp av denne modellen.

Hvorvidt dødsårsaken skyldes den direkte sjokkpulsen eller den etterfølgende kavitasjonsbølgen gir våre eksperimenter ikke noe entydig svar på. Antagelig vil kombinasjonen av en meget kraftig sjokkbølge umiddelbart etterfulgt av kraftig undertrykk tilsammen være en sannsynlig årsak til spontan død.

Fisk som overlevde sprengningen i 20 m avstand og som hadde fått betydelige skader, synes å restituere seg etter relativt kort tid. Selv om det ble observert tydelig arrvevsdannelser og sammenvoksninger var fisken i god kondisjon og ble gytemoden. Fisk som hadde vært plåsert 80 og 200 m fra sprengningsstedet oppviste ingen skader eller arrdannelser etter 6 måneder og hadde normalt innslag av gytemoden fisk.

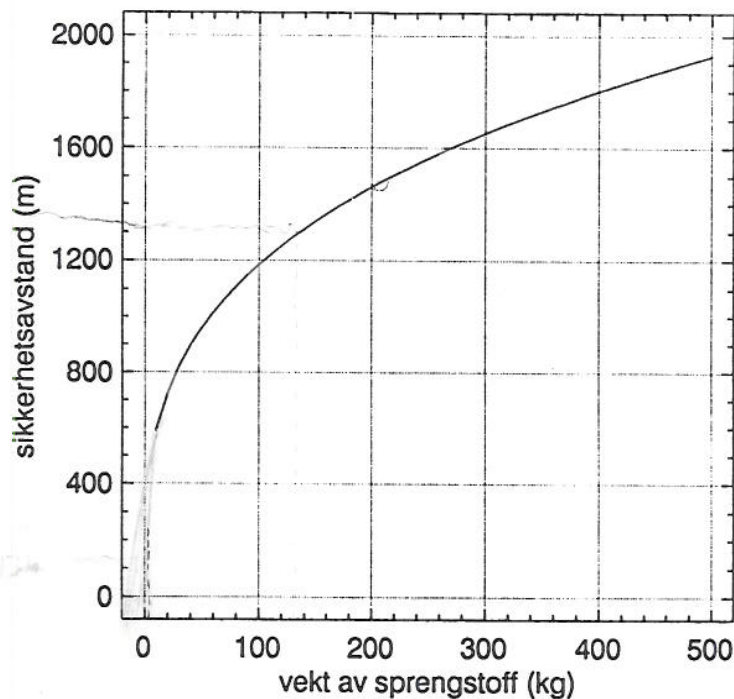
#### 4.9 Sikkerhetsavstander

Som nevnt har forsøkene vist at Yelvertons's modell (11) synes å være pålitelig for beregning av sikkerhetsavstand i forbindelse med en enkel sprengning. Dette støttes av at det ikke er observert noen signifikant forskjell i



dødlighet for sprengningsutsatt fisk plasert i sikker avstand sammenlignet med fisk som ikke er eksponert.

Selv om sannsynligheten er liten, har en aldri garanti for at ikke fisk dør eller blir skadet innenfor sikkerhetsavstanden. Våre forsøk har vist at torsk har god evne til sårheling selv om skadet fisk i oppdretts-sammenheng ikke er særlig ønskelig. Det foreslås derfor at det beregnes en sikkerhetsavstand for et "verste mulig tilfelle" for sprengning i nærheten av et oppdrettsanlegg, se fig 4.1.



**Figur 4.1** Kurven viser sikkerhetsavstanden som funksjon av sprengstoff-mengden i et tenkt "verste mulig tilfelle" beregnet på grunnlag av Yelverton's modell (Larsen et al).

Beregningsmodellen(13) er dessuten forenklet vesentlig slik at en får en modell som er hendig å bruke under praktiske forhold. Kurven er basert på sprengstoffdybden

20 m og en fiskevekt på 50 g. Diagrammet kan også uttrykkes analytisk ved uttrykket:

$$\underline{\text{AVSTAND} = 295 \times \text{SPRENGSTOFFVEKT}^{0.3}}$$

## 5. SPRENGNINGSFORSØK I YTRE TORSKEFJORDEN 1992.

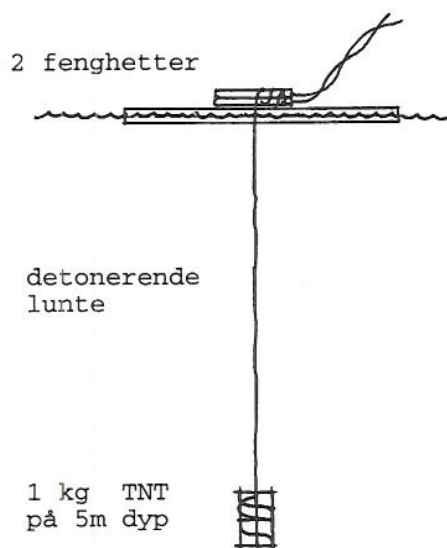
### 5.1 Innledning

Hensikten med forsøkene i 1992 var å få mer detaljert kunnskap om effektene på fisk (torsk) ved gjentatte sprengninger. Forsøksoppsettet i Torskefjorden ble i grove trekk likt arrangementet i 1991 (se figur 5.2). Ladningene ble redusert fra 10 til 1 kg men detonasjonsdypet på 5 m ble beholdt.

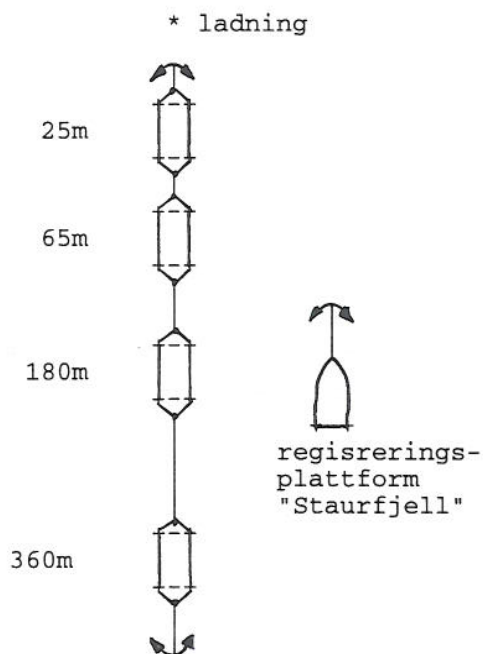
Avstandene fra sprengningsstedet til fiskemerdene ble justert til henholdsvis 25, 65, 180 og 360 m. Ved å gjenta sprengningene 30 ganger håpet man på å øke sjansen for å fange opp eventuelle effekter på lengre avstand enn ved forsøkene året før. Ca 900 torsk med gjennomsnittsvekt 2,2 kg ble brukt under forsøkene.

Målingene ble foretatt med 4 kalibrerte hydrofoner plassert på 1,5 m dyp, en ved hver av merdene. Sjokkpulser og signalene ble registret på to to-kanals DAT rekordere. Den totale båndbredde for systemet lå mellom 3 Hz og 22 kHz. Det var lite vind og smul sjø under forsøkene slik at forholdene for høy overflaterreflektivitet var tilstede.

Det ble gjennomført ialt 32 sprengninger. For to av sprengningene ble selve TNT ladningen ikke avsatt, kun fenghettene og den detonerende luntten (se sprengstoffarrangementet i figur 5.1). Sjokkpulsen fra disse detonasjonene var ikke ubetydlige, amplitudene utgjorde ca 10- 30 % av en komplett avsatt ladning. De inntraff etter SPR-2 og SPR-8, men resultatene fra disse sprengningene er ikke tatt med i de dataene som er presentert.



**Fig. 5.1 Arrangement av ladningen**



**Fig 5.2 Forsøksgeometri**

## 5.2 Analyse av sjokkbølgene.

Sjokkbølgenes maksimalamplituder er presentert i appendiks-G og amplitudeverdiene som funksjon av sprengningsnummer (tid) er grafisk fremstilt i appendiks-F.

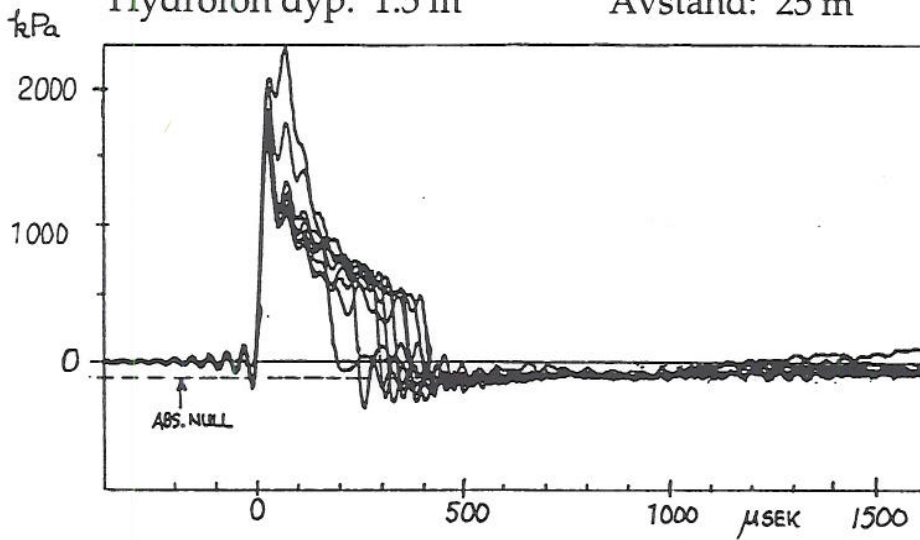
Pulsformen for de forskjellige avstander skiller seg ikke særlig ut fra opptaket året før. På grunn av mindre båndbredde på registreringsutstyret skjemmes pulsformen noe av ringing. I figur 5.3 er 9 registrerte sjokkpulser plottet inn i samme diagram for å vise den store forskjellen i ankomsttiden for overflaterefleksjonsbølgen fra sprengning til sprengning. Åraken kan skyldes at detonasjonsdybden har variert under sprengningene.

SJOKKPULSFORLØPET FOR  
9 SPRENGNINGER a 1kg TNT

Ladningsdyp: 5 m

Hydrofon dyp: 1.5 m

Avstand: 25 m

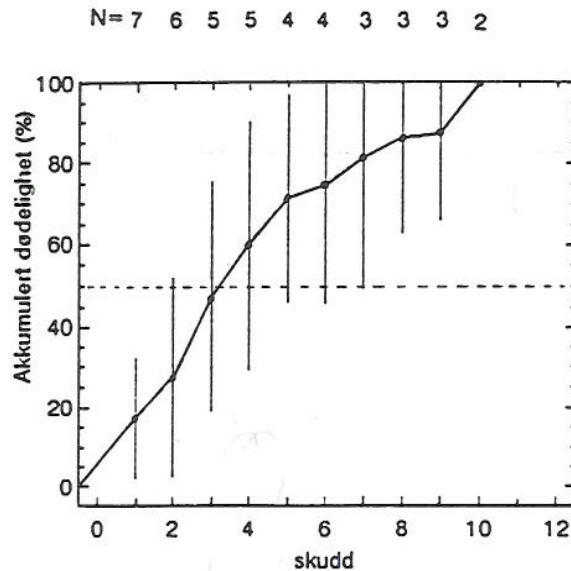


**Fig 5.3** *Sjokkpulsforløpet for 9 sprengninger i samme diagram.*

Dette støttes av at tidsintervallet mellom den direkte og den reflekterte sjokkpulsen i snitt måles til  $320 \mu\text{s}$ , hvilket er kortere enn den teoretiske verdien beregnet til  $400 \mu\text{s}$ . Dette skulle medføre at den reflekterte sjokkpulsen skulle forplante seg med høyere hastighet enn den direkte. Registreringene i 91 viste at det var omvendt og i tråd med teorien om at høye trykk forplanter seg raskere enn lavere. Imidlertid får en upresis plassering av sprengstoffet liten betydning for vurderinger av skadepotensialet på fisk idet sjokkpulsens målte amplitudeverdi er valgt som mål for eksponeringen.

### 5.3. Biologiske effekter av gjentatte sprengninger.

Det ble kun registrert dødlighet i merden 25 m fra sprengningstedet. Allerede etter 4 skudd var dødligheten oppe i over 50 %. For noen forsøksgrupper var dødligheten oppe i 100 % allerede etter 6 sprengninger.



**Figur 5.4** *Akkumulert dødlighet som funksjon av antall sprengninger. N angir antall forsøk som hvert punkt er basert på og de vertikale strekene angir standardavviket. (Larsen et al).*

I merden 65 m fra sprengningstedet ble det ikke observert dødlighet, men skadene økte med økende antall sprengninger. Etter 30 sprengninger var skadenes omfang like omfattende som de man ofte fant hos død fisk. Ytterligere eksponering ville derfor antagelig ha medført fiskedød også i 65 m avstand. En lignende korrelasjon observerte man i avstanden 180 m, men skadene her var mindre omfattende.

For 1 kg TNT er avstanden hvor en med høy sannsynlighet ikke forventer dødlighet ifølge Yelverton, 136 m. Den tilsvarende sikkerhetsavstand for "verste mulig tilfelle" definert i punkt 4.9 utgjør 295 m. Følgelig synes disse grensene å holde mål også for et rimelig antall gjentatte sprengninger.

## 6. MINESPRENGNING VED HELLIGVÆR 1990.

FFIU ble av KOMSJØNORD anmodet om å foreta akustiske målinger i forbindelse med demolering av en engelsk mine fra 2. verdenskrig inneholdene 227 kg sprengstoff ved Helligvær 16. mars 1990. Sprengningen ble foretatt på 3 meters dyp tett ved land syd i Helligværarkipelet, se kartutsnitt i appendiks-H.

### Målegeometri

To uavhengige akustiske registreringsenheter ble plassert ved et oppdrettsanlegg for laks 1800 meter fra sprengningsstedet. Foruten Sørværøy skjærer en rekke holmer og skjær for en direkte lydkanal gjennom vannet fra minen til merdene. Den ene av registreringene ble foretatt med en kalibrert hydrofon liggende på sandbunnen 7 m under en av merdene. I den andre hang hydrofonen på 3,5 m dyp ved siden av merden. Laksen, som var slaktemoden med en gjennomsnittsvekt på 3 kg, ble visuelt observert fra overflaten. Samtidig ble merden overvåket nedenfra av en marinedykker med videokamera. Det var vestlig kuling under registreringene og endel skvalping rundt merdene.

### 6.2 Instrumentering og analyse.

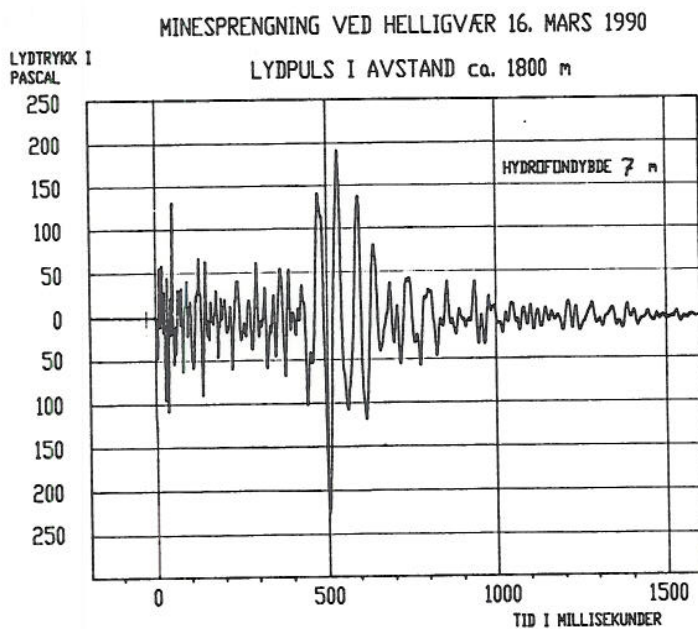
Signalene ble registrert med god dynamikk og båndbredder på henholdsvis 5- 20 000 Hz og 1- 4 000 Hz. Lydtrykksforløpet fra de to hydrofonene er temmelig like, både mht amplitude og energifordeling. Lydtrykkspulsen har en varighet på ca 1 sek (se figur 6.1). Amplituden når sitt maksimum omtrent midt i perioden og har en spissverdi (peak value) i snitt på:

$$P_{\text{peak}} = 200 \text{ pascal}$$

uttrykt i lydtryknivå (rms):  $20 \lg p = 163 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}$ , hvilket må betegnes som et meget moderat nivå.

Hadde det eksistert en direkte lydbane gjennom vann fra detonasjonsstedet til hydrofonene ville maksimums-amplituden ifølge uttrykket (2.1) vært 85 000 Pa. Det betyr at dempingen pga topografiske hindringer utgjør  $1/425$  eller ca 53 dB.

Energispektrene viser en hovedkonsentrasjon av energien omkring 10- 100 Hz med et markert maksimum ved 19 Hz (se appendiks-J). Spektralnivået ved maksimum er beregnet til 148 dB ref  $1 \mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ .



**Figur 6.1** *Lydtrykksforløpet fra minesprengningen ved Helligvær*

### 6.3 Adferdsobservasjoner og veterinærundersøkelser.

Det ble ikke observert påfallende adferdsendringer i forbindelse med sprengningen. På videoopptaket kunne man ane en svak tendens til at laksen ville dykke på selve sprengningstidspunktet med en påfølgende rask normalisering etter få sekunder. Dykkeren som opererte undervanns

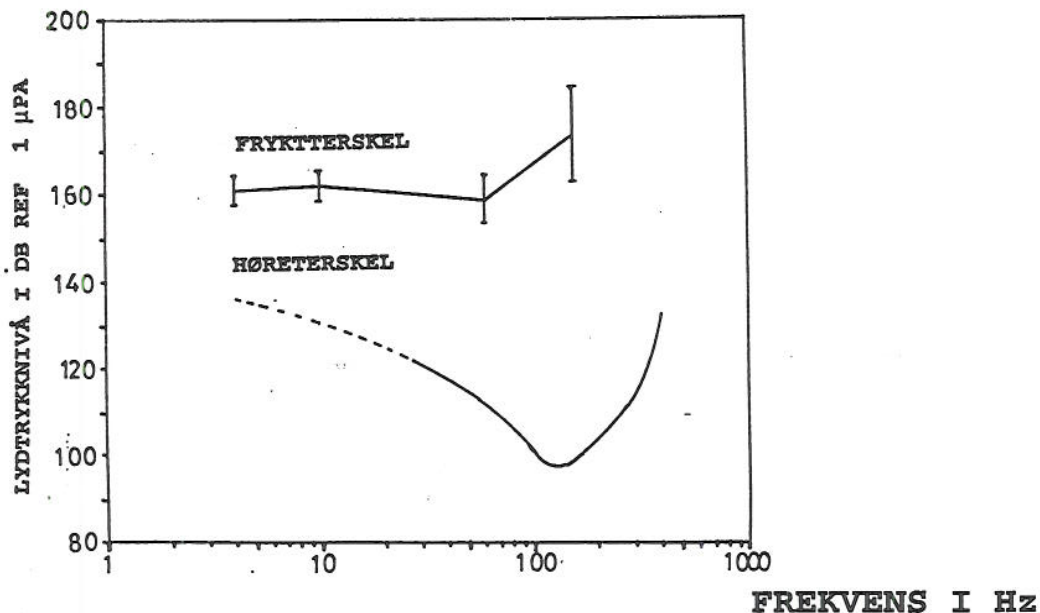
kameraet rapporterte at han hørte smellet fra detonasjonen, men han karakteriserte det som svakt. Fra overflaten ble det ikke observert noen reaksjoner.

Det ble tatt ut fisk både like før og etter sprengningen samt 19 timer etter sprengningen for klinisk/patologiske undersøkelser. Det ble ikke funnet noe unormalt. Det ble heller ikke rapportert om økt dødlighet, nedsatt appetitt eller redusert vekst i tiden etter sprengningen. Det ble også foretatt lydmålinger (av Fjord Instruments) ved et annet anlegg, ca 700 m unna det første. Dette inneholdt laks med vekt på ca 1 kg. Eksponeringen her var tilnærmet den samme som ved det første. Det ble påvist patologiske forandringer, dog ikke så omfattende at de så ut til å påvirke fiskens levedyktighet. Det har vært heftet endel usikkerheter i forbindelse med denne delen av undersøkelsen. Siden lydtrykknivået her ble målt til bare 470 Pa (peak to peak), hvilket er av størrelsesordenen noen få promille av det lydtrykket man anser som nedre grense for skade på små laks, har en i denne rapporten valgt å se bort fra disse observasjonene ved en helhetsvurdering av skader på laks som en følge av undervannsprengninger.

#### **6.4 Konklusjon.**

Det ble ikke påvist patologiske forandringer hos laks med gjennomsnittsvekt 3 kg, 1800 meter fra sprengningstedet. Fisken viste svake tegn på dykking ved sprengningstidspunktet. Lydtrykksnivået ble målt til 163 dB re 1  $\mu$ Pa med en energikonsentrasjon omkring 19 Hz. Selv om lydtrykksnivået må ansees som meget moderat, vil lyden ifølge audiogramundersøkelser på laks i figur 6.2 være godt hørbar. Faktisk tangerer lydtrykksnivået nedre grense for når laksen reagerer på lyden (fryktterskel), hvilket kan forklarer laksens tendens til å ville dykke.





**Figur 6.2** *Audiogram og frykterskelgrense for laks (Atlantic Salmon)*  
(Enger et al 1992) (15)

## 7. TORPEDOSPRENGNING VED BRØNNØYSUND 1992

FFIU ble av KOMSJØNORD anmodet om å foreta akustiske målinger i forbindelse med demolering av en tysk torpedo type P-1 inneholdende anslagsvis 200- 250 kg sprengstoff. Hensikten med målingen var å tallfeste lydtrykksnivået i sjøen ved et oppdrettsanlegg som lå 6 n mil fra sprengningstedet.

### 7.1 Målegometri og instrumentering

Torpedoen ble rapportert fullt avsatt med 4,5 kg sprengstoff på 15 m dyp, 30 m NV av l.Fleina varde, 7 n mil SV av Brønnøysund 14. november 1992. Lydtrykket fra eksplosjonen ble registrert ved Saltermarks oppdrettsanlegg for laks i Toftsundet, ca 100 m NV av kjøpesenteret på Tofte. Avstanden i luftlinje til sprengningsstedet var 11 400 m og det var ingen direkte lydkanal gjennom vannet mellom registrerings- og sprengningsstedet (se kartutsnitt i appendiks I).

Sjokkpulsen ville riktignok følge den dype rennen langs Torget opp mot Toftsundet. Her smalner sundet inn til ca 100 m bredde og dybden avtar til 25 m slik at mye av energien vil tapes pga en rekke refleksjoner. På grunn av den lange avstanden vil den opprinnelige sjokkpulsen splittes opp og resultere i en rekke ankomster med sterkt reduserte lydtrykk. Mye av energien vil høyst sansynlig ha blitt koblet via berggrunnen.

Tre hydrofoner hang på 4 m dyp ned fra en lettboat som ble fortøyd til en av merdene som inneholdt laks fra 2,5- 4 kg. Det var nordlig bris, småbølger og regnbyger under registreringene. Bakgrunnstøyen i sjøen var relativt høy, 123 dB ref 1  $\mu$ Pa, pga bølgeslag mot båt og merde, samt av fiskens aktivitet i merden. Det ble ikke observert noen endring i adferdsmønsteret hos fisken pga sprengningen såvidt man kunne bedømme under dårlige observasjonsforhold.

Signalene ble registrert på to uavhengige DAT- recordere med en dynamikk på 90 dB og en båndbredde på fra 3- 22 000 Hz. Etteranalysen ble utført på en ONO-SOKKI FFT- analysator, type CF- 90.

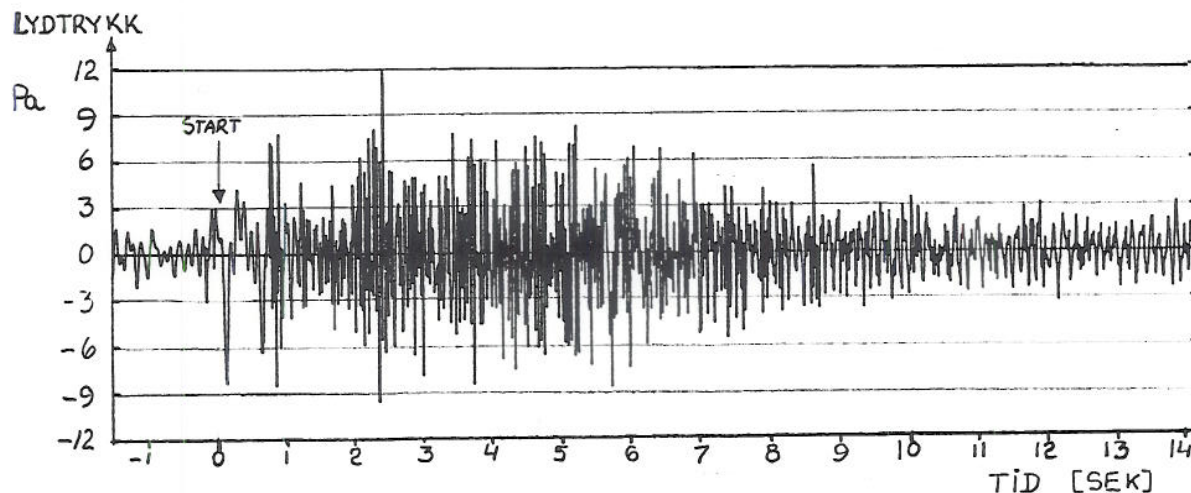
## 7.2 Analyseresultater

Lydtrykk/tidsforløpet i figur 7.1 viser en rekke ankomster og kan audiologisk minne om et lavfrekvent tordenskrall med en varighet på ca 10 sekunder. Maksimalamplituden inntreffer ca 4 sek etter første ankomst og avviker ikke så mye fra de andre amplitudene i den perioden lydtrykket er på sitt høyeste.

Maksimaltrykkets spissverdi viser et nivå på :

$$20 \lg p_{\text{peak}} = 142 \text{ dB ref } 1 \mu\text{Pa}$$

som tilsvarer et lydtrykk på 12 pascal.



**Figur 7.1 Lydtrykk/tidsforløp etter torpedosprengning**

Det gjennomsnittlige lydtrykksnivået over 10- sekunders- perioden er beregnet til.

$$20 \lg p_{\text{rms}} = 132 \text{ dB ref } 1 \mu\text{Pa}$$

og ligger dermed kun 9 dB over bakgrunnsstøynivået.

Hovedenergien i lydtrykkspåvirkningen lå mellom 3 og 100 Hz med et maksimum ved ca 22 Hz (se appendiks-J). Selv om laksen ifølge audiogrammet skal ha hørt smellet, så er nivået så lavt at den neppe ville ha reagert på det.

Hadde det vært en direkte lydkanal gjennom sjøen ville sjokkpulsen ha hatt en amplitude på ca 10 000 Pa. Attenuasjonen som følge av topografiske hindringer utgjør dermed ca 1/800, eller 58 dB. Energitapet blir imidlertid ikke så stort idet den totale overførte lydenergien må integreres over et tidsintervall på 10 sek.

Enkelte lydbaner må ha vært svært lange. Regner vi med en gjennomsnittlig lydhastighet i overføringsmediet på 2000 m/s vil lyden i de siste ankomstene ha tilbakelagt en distanse på over 30 km.

## 8. SPRENGNINGSFORSØK MED LAKS I TANK

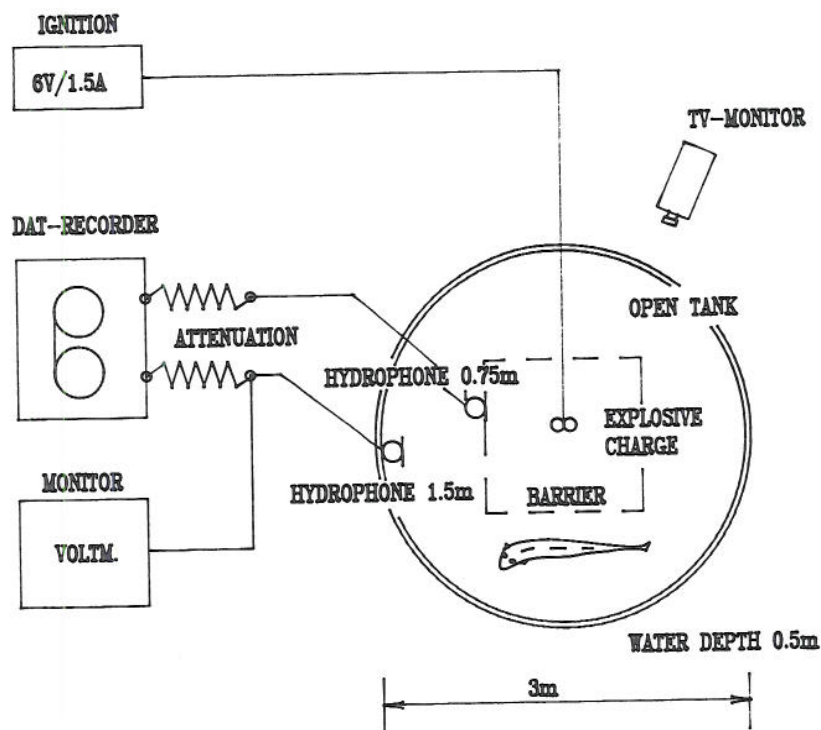
Forsøkene gikk ut på å eksponere laks for gjentatte sprengninger avveiet slik at laksen ble påført maksimal stress/skade- belastning uten å bli drept. Forsøkene ble gjennomført ved høyteknologisenteret i Bergen høsten 1992, ledet av Universitetet i Bergen, Fysiologisk institutt, for å undersøke endotelskader hos seismisk belastet laks. FFIU hadde ansvaret for selve sprengningene samt dosering, registrering og analyse av sjokkpulsene. Eksperimentet og resultatene er detaljert beskrevet i publikasjonen:

"Effects of experimental seismic shock on the integrity of the vascular endothelium and on primary stress hormones of the atlantic salmon" (16).

### 8.1 Forsøksbeskrivelse

Det ble foretatt 10 sprengninger med 68 laks a 1- 1,5 kg i et sirkulært oppdrettskar av plast med diameter 3 m og vanddybde 0.5 m. Sprengstoffet besto av to elektriske fenghetter (nr 8, moment), tapet sammen og anbrakt midt i karet på 0.25 m dyp. I karet var det satt opp et firkantet stengsel av hønsenetting med sidekanter ca 1.5 m for å holde laksen i ytterkant av karet. Den gjennomsnittlige avstanden mellom laks og sprengstoffkilde ble estimert til 1.3 m.

Ved karveggen og på stengselet , i henholdsvis 1.5 og 0.75 m fra sprengstoffet ble det anbrakt to kalibrerte piezo- elektriske hydrofoner i 0.25 m dybde. Sjokkpulsene fra eksplosjonene ble registrert på en to-kanals DAT- recorder for analyse. Det ble i løpet av 70 minutter avfyrt 10 ladninger a 2 fenghetter som hver skulle eksponere laksen for et gjennomsnittlig sjokktrykk på 2 megapascal. Laksens reaksjoner på sprengningene ble monitorert med videokamera. Forsøksoppsettet er skissert i figur 8.1.



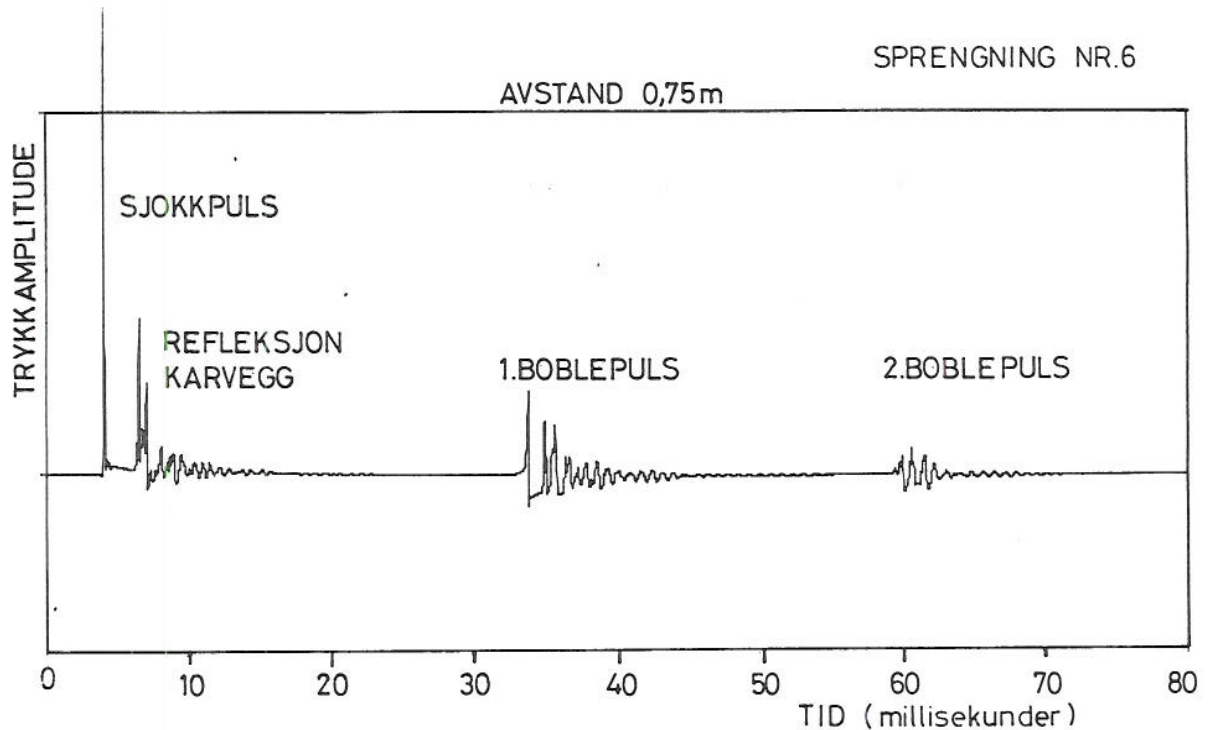
Figur 8.1 Sprengningsforsøk med laks i kar.

## 8.2 Analyse av sjokkpulsene

Registreringene fra hydrofonene ble analysert i en HP 3560 Dynamic Signal Analyzer i tids- og frekvensdomene. Trykkforløpet, se figur 8.2, viser at detonasjonen setter opp en sjokkbølge i karetts vannvolum som starter med en ekstrem kortvarig trykkøkning, sjokkpuls, etterfulgt av en rekke refleksjoner fra karvegger og vannoverflate. I tillegg to markerte boblepulser som er sterkt svekket pga gassutblåsning via overflaten.

Begrensninger i apparaturen og overlaging av refleksjoner fra karveggene gjorde det ikke mulig å estimere verdien på det undertrykket som fulgte etter sjokkpuls. Apparat-

begrensninger svekker også muligheten for en eksakt bestemmelse av stigetiden for sjokkpulsen, men indikasjoner støttet av teoretiske vurderinger tyder på at den ligger i området noen få titalls mikrosekunder.



**Figur 8.2 Lydtrykksforløpet i forsøkskaret.**

Tabellen i appendiks K viser sjokkpulsamplitudene ved karvegg og stengsel for hver enkelt sprengning. Spredning i måltallene for amplitudverdiene er målt til  $\pm 10\%$ , som anses for normalt. Amplitudeverdiene ligger noe lavere enn de ville ha gjort om sprengningen hadde foregått i fritt felt.

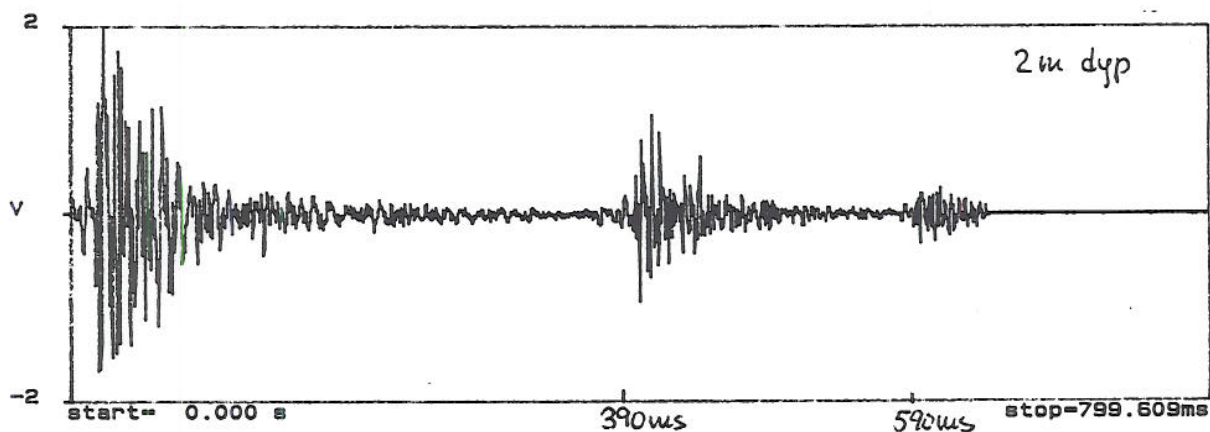
Om vi antar at laksen i gjennomsnitt svømmer i avstanden 1.3 m fra eksplosjonene, vil den i middel bli eksponert for et sjokktrykk på 2 megapascal som tilsvarer et lydtrykksnivå på 246 dB ref 1  $\mu\text{Pa}$ . Fisk som tilfeldig befant seg helt inntil stengselet under en detonasjon ville kunne bli eksponert for sjokktrykk helt opp mot 4 megapascal.

### 8. 3 Adferdsobservasjoner

Den umiddelbare reaksjon på hver av de 10 eksplosjonene var at laksen stoppet opp å svømme i noen få minutter. Det ble ikke observert noen form for fluktreaksjon eller tap av opp-ned orienteringen under sprengningene. Dødelighet ble ikke registrert hverken momentant eller innen de første 60 minuttene etter den siste detonasjonen. Laksen fikk anledning til å komme seg i 7 dager uten at noen døde under denne perioden, tiltross for store indre skader.

### 9. SJOKKPULSER FRA ANLEGG SARBEIDER

Under kaiutbygging i Fauske, i desember 1992 ble et oppdrettsanlegg for laks 150 m fra anleggsarbeidet eksponert med kontinuerlige sjokkpulser over flere dager. Sjokkpulsene kom fra en slaghammer som slo store stålrør ned i grunnen bestående av grus og stein.



Figur 9.1 Sjokkpulser fra anleggsarbeider

Slaghastigheten varierte fra ca 30 til 60 slag pr minutt og forplantet 2-3 kortvarige sjokkpulser som kunne minne om sjokkpulser fra mindre sprengninger, se figur 9.1

Det ble foretatt lydmålinger ved flere av merdene. Det gjennomsnittlige maksimale lydtrykksnivå for samtlige målinger var 167 dB ref 1  $\mu$ Pa som tilsvarer lydtrykk på 225 Pa. Energispekteret fra pelestøyen (se appendiks-J) viser at lydenergien er konsentrert i frekvensområdet 50-150 Hz, med et markert maksimum ved 80 Hz. Det registrerte lydtrykket ligger noe over det man antar er fiskens fryktterskel ved 80 Hz, 160 dB ref 1  $\mu$ Pa, i følge audiogrammet i figur 6.1.

Lydtrykksnivået fra pelingen ligger langt under det som normalt fører til økt dødlighet blandt fisk, men det vil kunne indusere stress. Dette styrkes ved at man registrerte svikt i appetitten hos fisken når anleggsarbeidene startet, noe som er en typisk indikasjon på at fisk er stresset. Appetitten tok seg imidlertid raskt opp igjen, noe som tyder på at laksen har tilvent seg støyen. Samtidig med lydtrykksmålingene ble det foretatt veterinærundersøkelser av død og antatt frisk fisk i anlegget. Undersøkelse av død laks fra anlegget avslørte svekket hjertemusklatur (CMS) i 8 av 10 prøver. Det ble også påvist begynnende CMS i to friske fisk, en tilstand som kan forårsake hjertesprekk ved øket belastning.



## 10. KONKLUSJON PÅ GRUNNLAG AV MÅLINGENE

Hovedkonklusjonen etter de eksperimenter som er gjennomført bekrefter tidligere erfaringer; fiskedød som en følge av en enkel undervannsprengninger skjer nær sprengningsstedet. Siden lydtrykket øker med mindre enn tredjeroten av ladningsvekten, vil dødlighetssonen utvides moderat selv om ladningsvekten økes betraktelig.

Videre viser eksperimentene at praktisk talt all fisk som dør som en følge av en enkel undervannsprengning, dør momentant. Når det gjelder dødsrisiko synes laks å være mer hardfør enn torsk. Det kan skyldes forskjell i svømmeblærens oppbygning. Laks har en åpen, mens torsk har en såkalt lukket svømmeblære.

Fisk som overlever kraftige eksplosjoner og som har fått tildels store indre skader viser god evne til å restituere seg. Oppdrettslaks som utsettes for kraftige lydtrykk passiviseres for en kort periode og viser under den tiden ingen tegn på fluktreaksjoner. Ved gjentatte kraftige lydtrykksbelastninger øker de indre fysiske skadene og disse vil etterhvert kunne medføre dødlig utgang.

Gjentatte sprengninger som ikke direkte forårsaker indre fysiske skader vil kunne stresse fisken i en slik grad at det kan innvirke negativt på vekst, reproduksjon og immunitet mot sykdommer. Laks synes å være mer utsatt for stress enn torsk. For mer moderate gjentatte lydtrykks-påvirkninger vil fisken i første omgang miste matlysten. Etter noen tid kan den komme tilbake selv om lydtrykks-påvirkningen fortsetter.

I grove trekk kan vi sette opp en tabell som antyder sammenhengen mellom lydtrykksnivåene og de forventede korresponderende virkninger:

LYDTRYKK I PASCAL	EFFEKTER PÅ FISK	LYDTRYKKNIVÅ I dB REF 1 $\mu$ Pa
10 M	----- Stor risiko for spontan død etter en enkel sprengning. Torsk er mer utsatt enn laks	260
1 M	----- Indre skader som vil heles, men fare for død ved gjentatte sprengninger	240
100 k	----- Mindre eller ingen fysiske skader, men stressbelastning ved gjentatte spreng- ninger	220
10 k	----- Fisk venner seg til støybelastningen ved gjentatte sprengninger.	200
1 k	----- Fisken hører sprengningen men reagerer ikke	180
100	----- Fisken hører ikke sprengningen	160
10	----- Fisken hører sprengningen men reagerer ikke	140
1	----- Fisken hører ikke sprengningen	120
0.1	----- Fisken hører ikke sprengningen	100

## 11. VURDERING AV SPRENGNING I ALTAFJORDEN, JULI 1989

### 11.1 Bakgrunn

19 juli 1989 sprengte marinen 134 kg TNT- ekvivalenter på gruntt vann ved Isnestoften i Altafjorden. I dagene etter sprengningen ble det observert omfattende skade og dødlighet på både torsk og laks flere kilometer unna. Noen dager tidligere ble det utført endel refraksjonsseismiske sprengninger (42 sprengninger a 50 g samt to ladninger a 150 g dynamitt) på et ukjent sted i fjorden.

Et fiskeoppdrettsanlegg ved Årøy (se utsnitt av sjøkart, appendiks K) lå 11 km unna sprengningen ved Isnestoften. Her ble det registrert stor dødlighet med et tilsyne-

latende forsinket forløp. Størst dødshyppighet inntraff ca 7 dager etter sprengningen.

Fiskedød i forbindelse med undervannsekspløsjoner har fra tidligere erfaringer alltid vært betraktet som et lokalt fenomen begrenset til noen få hundre meter fra sprengningsstedet. I det aktuelle tilfelle utgjør sikkerhetsavstanden, slik som den er definert i denne rapporten, ca 1300 m. Dessuten er erfaringen at nesten all fisk som dør som følge av undervannsprengninger synes å dø spontant

I det følgende skal vi prøve å estimere hvilket lydtrykk som eksplosjonen ved Isnestoften kunne ha satt opp ved oppdrettsanlegget på baksiden av Årøy. Det vil kanskje kunne gi en indikasjon på hvilke skader et slik lydtrykk kan ha påført oppdrettsfisken.

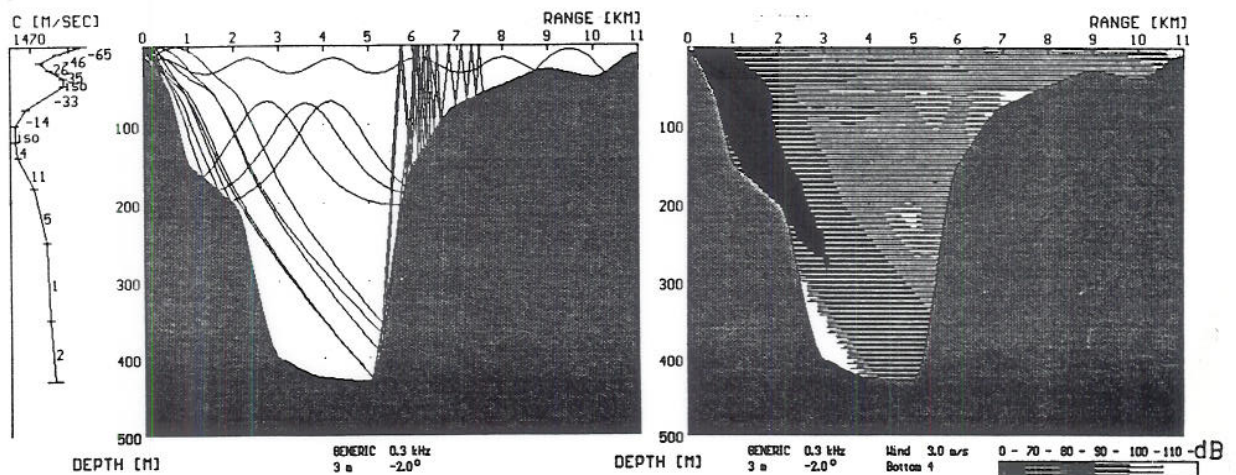
## **11.2 Lydbaneberegninger.**

Under sommerforhold vil lyden i norske farvann pga oppvarmet overflatevann bøyes nedover med den følge at det dannes skyggesoner i de øvre vannlag hvor oppdrettsfisken befinner seg. For å kunne verifisere om det eksisterer slike lydforplantningsforhold i Altafjorden ble det 24. juli 1991, dvs på samme tid av året som sprengningen fant sted, foretatt 5 lyd hastighetsmålinger mellom Isnestoften og Årøy. Lyd hastighetsfordelingen bekrefter sommerprofilen, men i tillegg registreres to lydkanaler, en i 20 m dyp og en i ca 120 m dyp, se figur 11.1.

Den grunne lydkanalen er så smal at kun høyere frekvenser vil kunne transmitteres. Beregninger på LYBIN viser at det ikke kan skje noen signifikant overføring av lydenergi i kanalen for frekvenser under et par hundre Hz. Den dype kanalen er vesentlig bredere og vil kunne transmittere lydenergi i det hele sjokkpulsens frekvensområde.

Imidlertid vil den ikke fange opp noen direkte lydstråler fra eksplosjonen. De som når inn i kanalen har gjennomgått minst en overflate og en bunnrefleksjon. Den energien som reflekteres ut av lydkanalen, vil heller ikke nå

frem til fiskemerdene før etter en rekke refleksjoner. Følgelig vil den lydenergien som transmitteres via denne kanalen være ubetydelig. En effekt som ikke kan beregnes er at lydkanalen neppe vil holde seg intakt hele veien. En må regne med diskontinuiteter som følge av at lyd- hastighetsforholdene forandrer seg over så lange strekninger. Dette vil medføre en lekkasje av lydenergi ut fra kanalen.



**Fig. 11.1** *Strålediagram og transmisjonstapsberegninger for vertikalprofil mellom Isnestoften og Årøy (LYBIN-90).*

Det eksisterer heller ingen direkte horisontal lydbane mellom sprengningsted og fiskemerder. Lyd som kommer frem til merdene må enten ha gått gjennom Årøy eller ha blitt avbøyet rundt øya. I begge tilfelle vil kun den mer lavfrekvente del av energiinnholdet i sjokkpulsen ha forsert disse transmisjonsveiene. Følgelig vil den øvre lydkanalen som kun tillater transmisjon av høyfrekvent lyd ikke kunne bidra særlig til det totale lydtrykket ved merdene.

Erfaringer fra målinger, bl a fra de som tidligere er omtalt i denne rapporten, viser at lyd som må forserte øyer dempes ekstremt mye. Ved Helligvær (se kapittel 6) ble tilleggsdempningen målt til å ugjøre 53 dB. Den lyden som går rundt Årøy vil også bli utsatt for tilleggsdempning pga betydelig avbøyning. Tallet vil være stort, men antagelig mindre enn det tilsvarende ved transmisjon

gjennom Årøy. Pga bla topografiske usikkerheter vil det i praksis være det urealistisk å beregne slik demping.

### 11.3 Forsøk på beregning av lydtrykk ved Årøy

Ser vi i første omgang bort fra at lyden avbøyes i horisontalplanet, kan vi beregne transmisjonstapet for lyd-bølger ved forskjellige frekvenser ved hjelp av beregningsmodellen LYBIN. Dybdeforhold og veilengden (11 km) er tatt ut av sjøkartet, og vi har forutsatt en middels hard bunntype. Beregner vi transmisjonstapet som funksjon av frekvens og sammenstiller resultatene med fiskens (torsk og laks) høreterskel, finner vi at det mest kritiske frekvensområdet vil ligge omkring 300- 400 Hz (se figur 11.2). For lavere frekvenser, hvor fisken riktignok hører bedre, er dempingen så stor at lyden neppe registreres. Uansett vil den lyden som kommer frem til merdene være så svak at fisken på ingen måte vil kunne skades fysisk. Sikkerhetsavstanden ifølge uttrykket på side 26 er ca 1300 m. Det er følgelig kun snakk om hvorvidt lyden kan skremme fisken eller ikke.

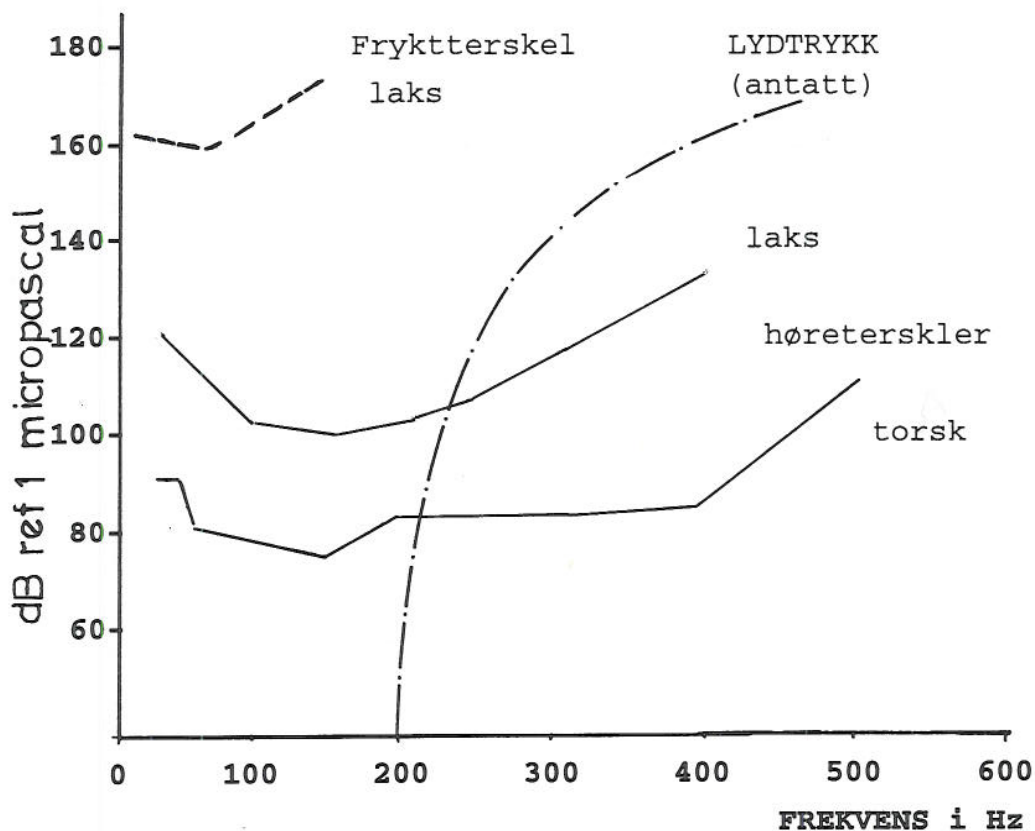
Ved 300- 400 Hz er transmisjonstapet minimum 100 dB. Tar vi utgangspunkt i vanlig sfærisk spredning så vil denne utgjøre 81 dB. Tap pga lydastighetsfordelingen og topografi bidrar etter denne grove tilnærmelsen med ca 20 dB. Den logaritmisk versjon av den semiempiriske formelen (2.1), gir et lydtrykk (peak pressure) i 11 km avstand på:

$$20 \lg p = 274.4 + 7.5 \lg W - 22.6 \lg r = 199 \text{ dB ref } 1\mu\text{Pa}$$

Formelen har forøvrig begrenset gyldighet, og burde korrigeres. Korreksjonen er imidlertid så uvesentlig i sammeligning med de usikkerhetene vi opererer med at vi kan se bort fra den. Tar vi med den beregnede dempingen på 20 dB havner lydtrykket uttrykt i rms amplitudeverdi på:

$$20 \lg p = \underline{176 \text{ dB ref } 1 \mu\text{Pa}}$$

Dette lydtrykket ligger antagelig under fryktterskelen til laks for frekvenser over 300 Hz. Hvis vi i tillegg tar med transmisjonstapet pga horisontal lydavbøyning, som vil være en betydelig størrelse, vil lydtrykksnivået reduseres vesentlig, og havne på en verdi som sikkert ligger godt under fryktterskelen.



**Fig. 11.2** Antatt lydtrykksnivå ved Årøy som funksjon av frekvens sammenlignet med audiogrammet til torsk og laks, samt fryktterskel for laks (Enger et al(15)).

#### 11.4 Konklusjon

Sprengningen ved Isnestoften 19. juli 1989 vil indusere et lydtrykk ved fiskemerdene ved Årøy som høyst sannsynlig ligger vesentlig under skremmerskelen for både torsk og laks. Fisken vil høre smellet, men antagelig ikke med høyere styrke enn det den er vant til, feks støy fra en foringsbåt som kommer helt opp til merden. Selv om lydtrykknivået mot formodning hadde ligget betydelig over det beregnede, vil en forsinket massedødlighet vanskelig kunne forklares ut fra en enkelt sprengning fra Isnestoften.

## 12. REFERANSER

- (1) COLE R H: "Underwater explosions" Princeton University Press 1948.
- (2) GASPIN et al: "The determination of acoustic source levels for shallow underwater explosion" J. Acoust. Soc. AM. 66(5).Nov.1979.
- (3) CAPMAN Ross : "Measurement of the waveform parameters of shallow explosive charges" J. Acoust. Soc. Am. 78(2)1985.
- (4) ARONS A B: J. Acoust. Soc. Am. 20,277, 1948
- (5) CHAPMAN N R: "Source Levels of shallow explosive charges" J. Acoust. Soc. Am 84(2), 1988
- (6) OFFICER C B : "Sound Transmission" Mc Graw-Hill 1958
- (7) URICK R J: "Principles of Underwater Sound" McGraw-Hill BC 3.Edition, 1983.
- (8) MJØLSNES S "LYBIN- 90. Version 2.1" SFK/T- UVS, Haakonvern
- (9) LARSEN T  
KJELLSBY E  
et al "Effekter av undervannsprengning på fisk" FDH- rapport 1992: 2 Finnmark 1992.
- (10) WRIGHT D G "A discussion paper on effects of explosives on fish and marine mammals in the waters of the northwest territories". Canadian Technical report of Fisheries and Aqua Sciences 1052.Feb82
- (11) YELVERTON J T "The relationship between fish size and their response to underwater blast". Defence Nuclear Agency, Washington D.C. 1975 . DNA 3677 T.  
et al
- (12) RUBACH S. Under utarbeidelse ved Finnmarksforskning, Hammerfest
- (13) LARSEN T  
KJELLSBY E  
OLSEN S "Sikkerhetsavstander fra undervannsekspløsjoner for fisk" Havforskningsinstituttet i Bergen 1992.
- (14) SOLDAL A U "Minesprengning ved Helligvær, effekten på laks i merd" Fiskeriteknologisk forsknings institutt, 2. juni 1990.

- (15) ENGER, P "Utdrag av ICES foredrag, Bergen, juni  
et al 1992.
- (16) SVERDRUP A "Effects of Experimental Seismic Shock  
KJELLSBY E on the Integrity of the vascular  
et al Endothelium and on primary stress  
Hormones of the Atlantic Salmon.  
(sendt J. Fish. Biol. sept.93)

### 13. APPENDIKS

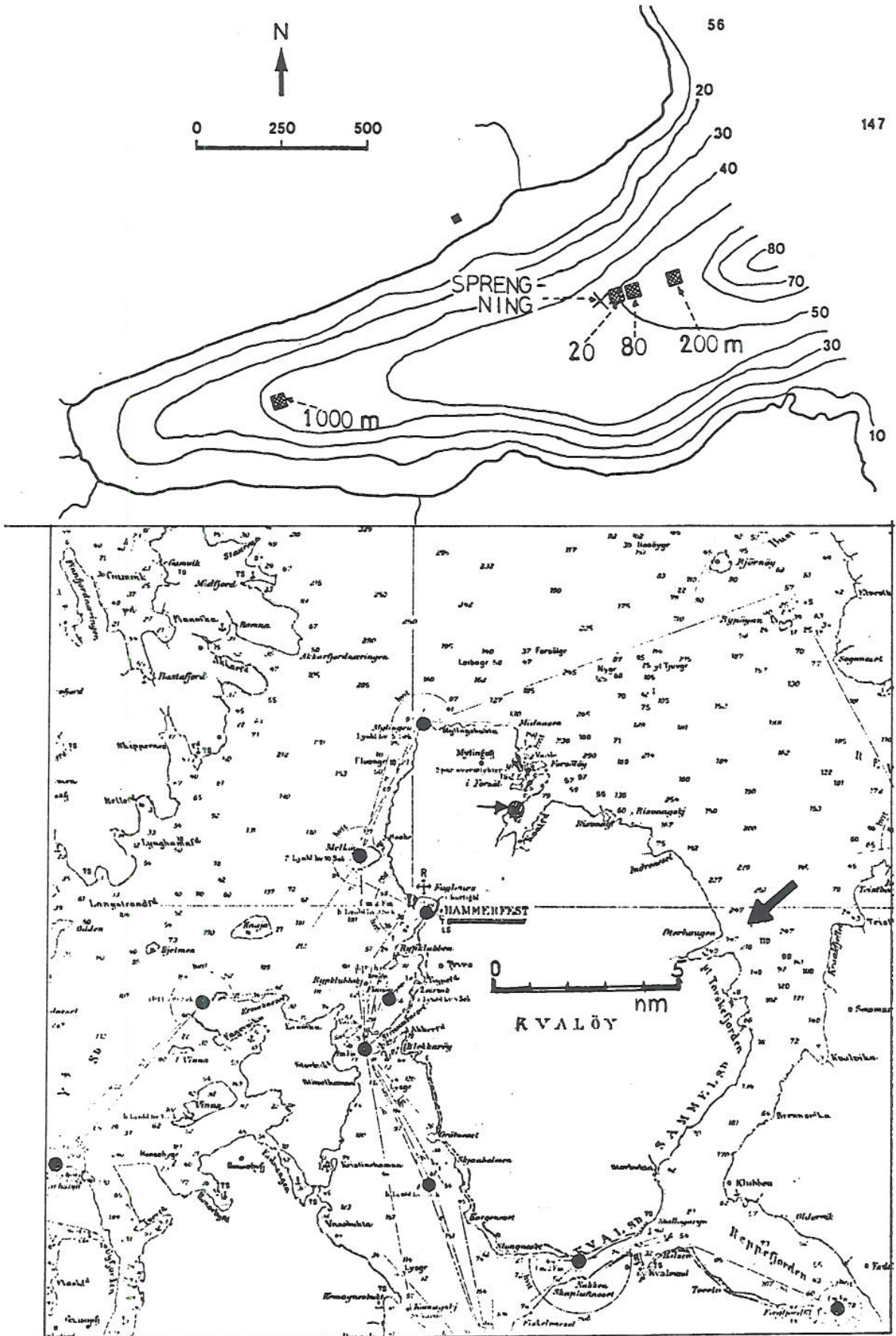
- A. Kartutsnitt, Kvaløya og Ytre Torskefjorden
- B. Strålediagram og transmisjonstap
- C. Lydtrykksforløp i forskjellig avstand
- D. Sjokkpulsforløp og pulsenergifordeling
- E. Yelvertons modell for sikkerhetsavstanden
- F. Sjokkbølgeamplitudens variasjon fra sprengning til sprengning
- G. Tabell over sjokkbølgeamplituder
- H. Kartutsnitt fra Helligvær utenfor Bodø
- I. Kartutsnitt fra området utenfor Brønnøysund
- J. Energispektra for sjokkpulser
- K. Kartutsnitt fra Altafjorden



Appendiks A

# Ytre Torskefjorden

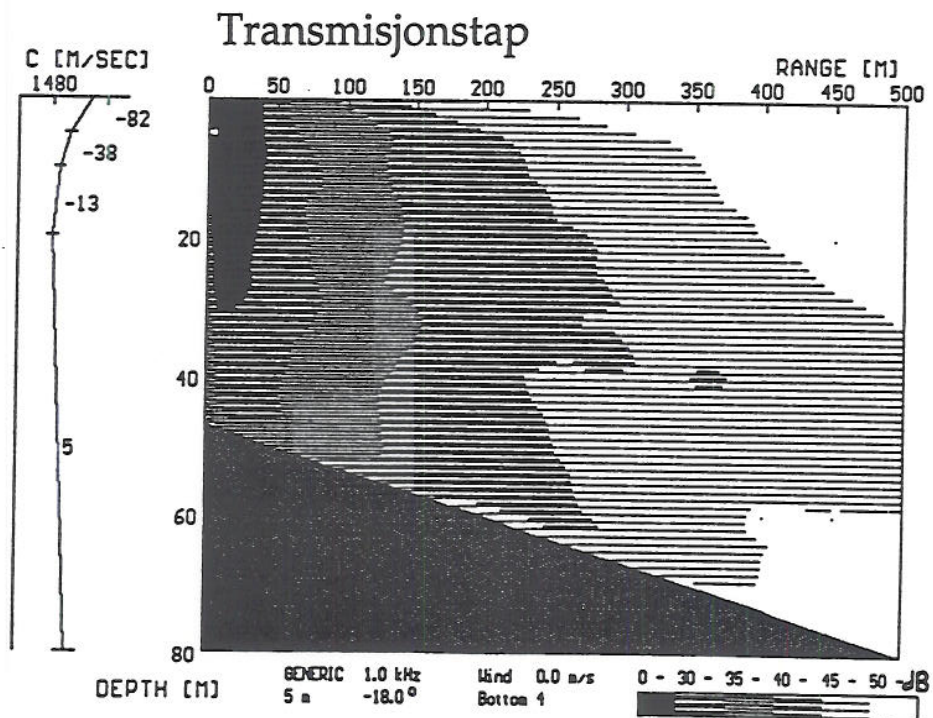
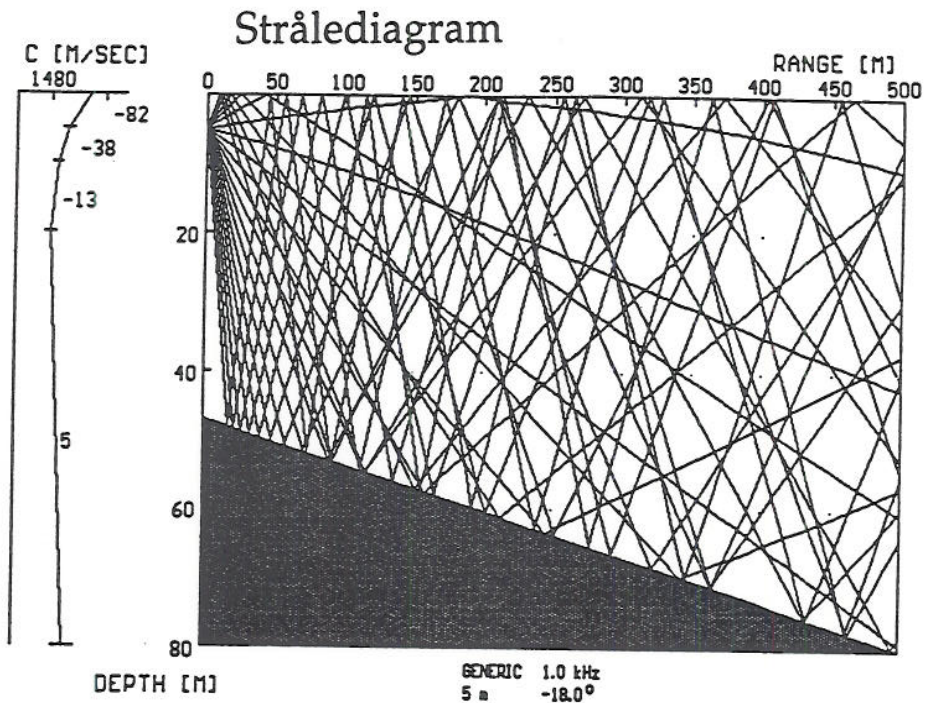
70°39'N 24°4'Ø



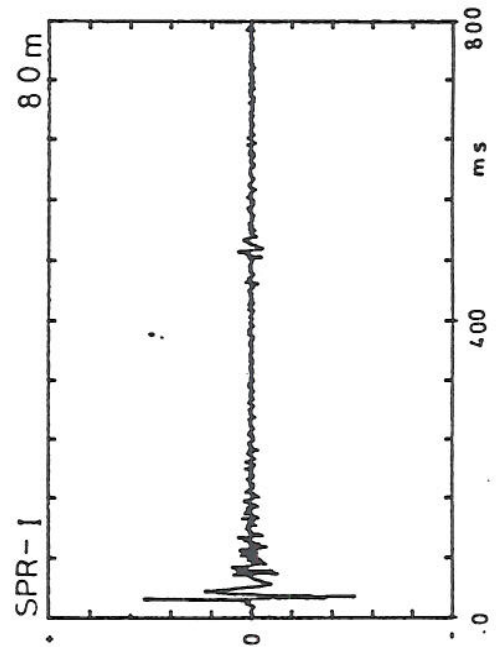
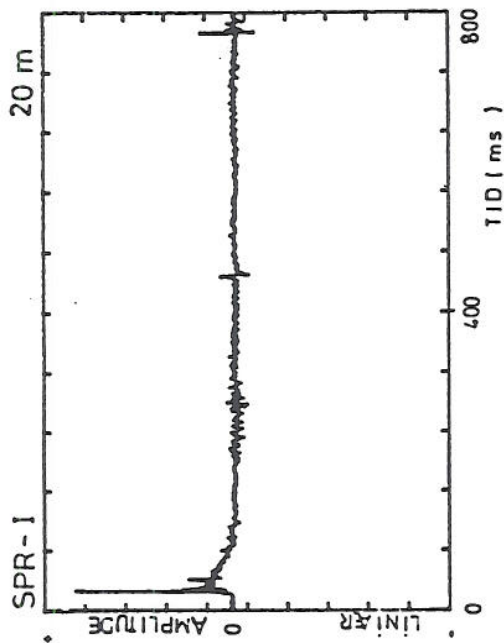
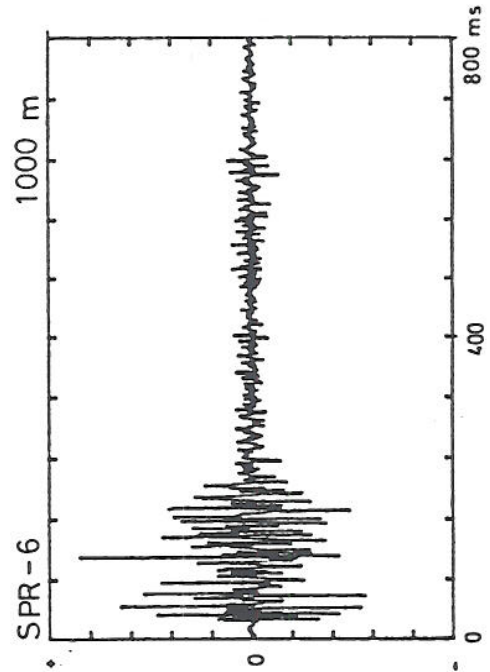
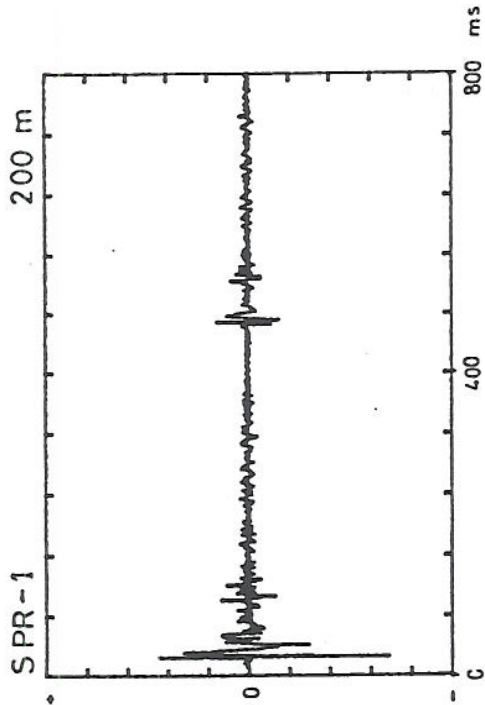
Appendiks B

Ytre Torskefjorden , Juli 1991

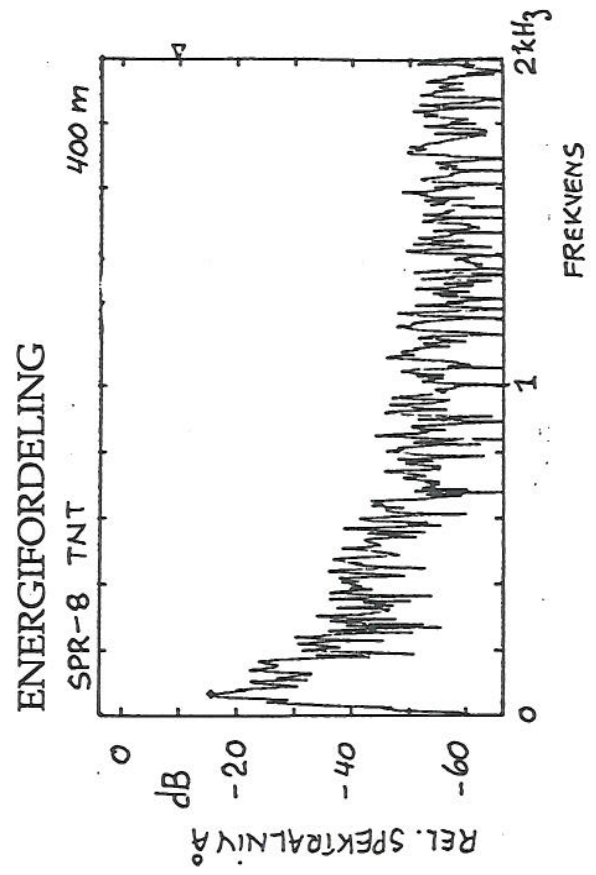
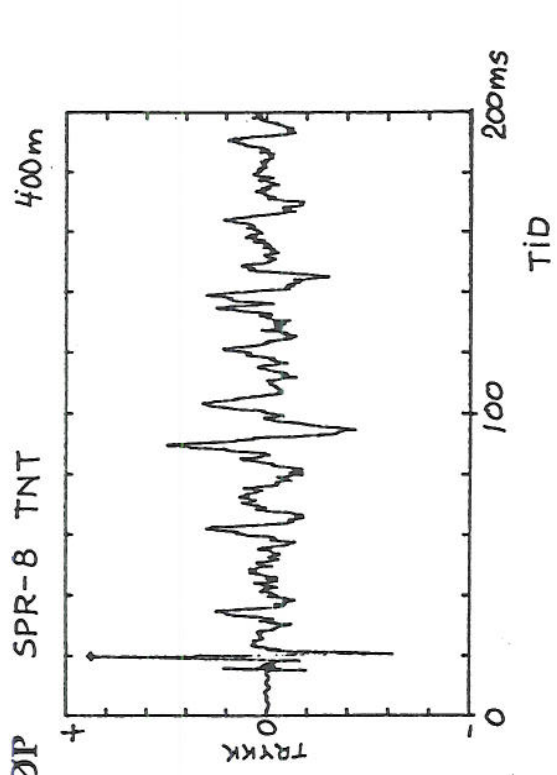
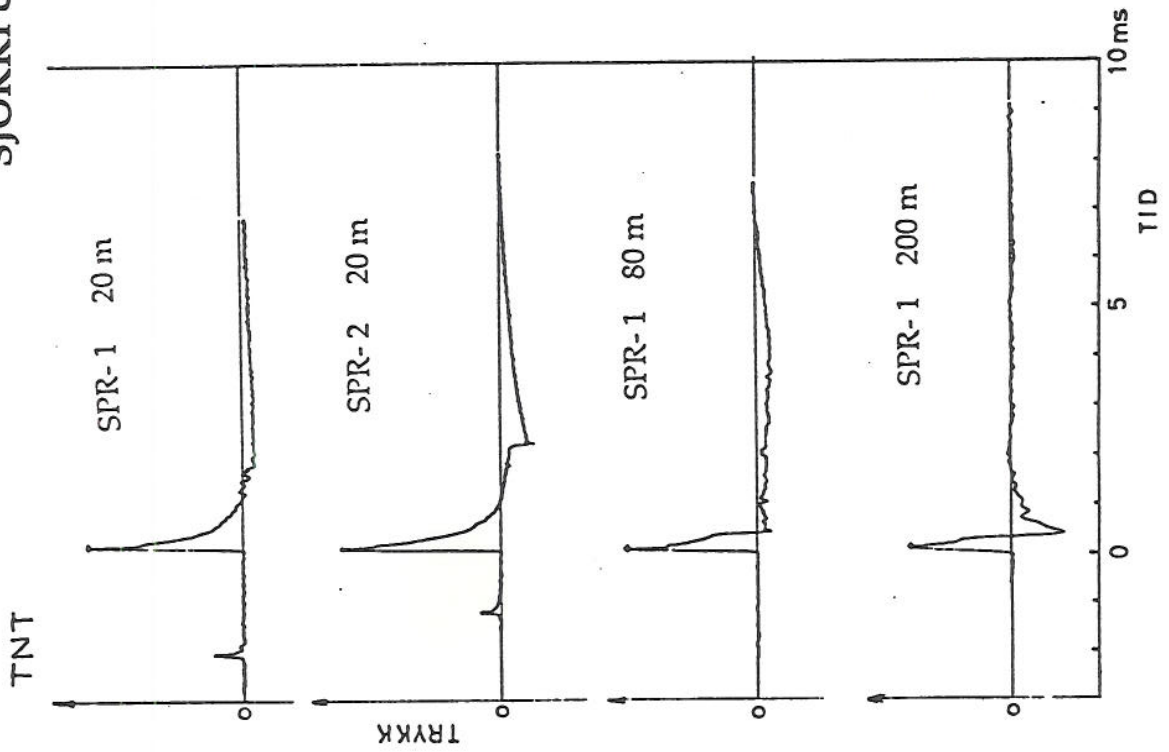
Transducer depth 5 m  
 Tilt -18.00 deg  
 Beam width 100.00 deg  
 Frequency 1.00 kHz



# LYDTRYKKFORLØPET I FORSKJELLIGE AVSTANDER

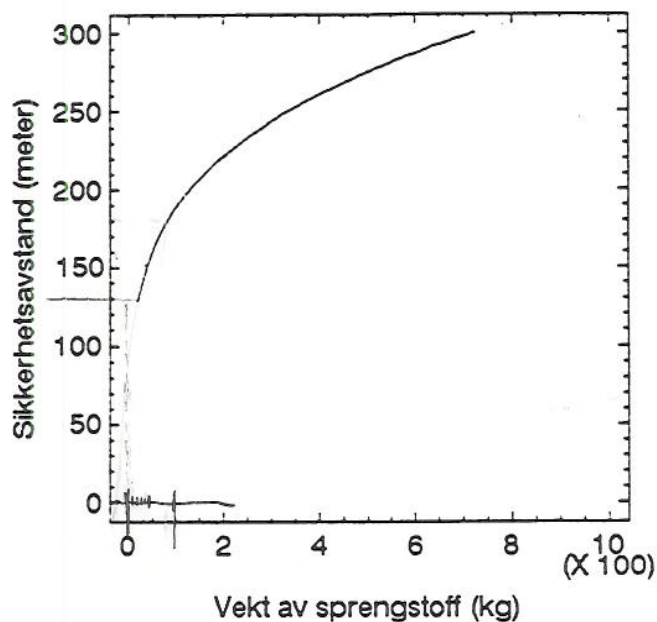


SJOKKPULSFORLØP



## YELVERTONS MODELL FOR SIKKERHETSAVSTAND.

Sikkerhetsavstanden er definert som den avstanden fra sprengningspunktet til det punkt hvor en med høy sansynlighet ikke forventer dødlighet.



Sikkerhetsavstanden som funksjon av sprengladningens vekt.

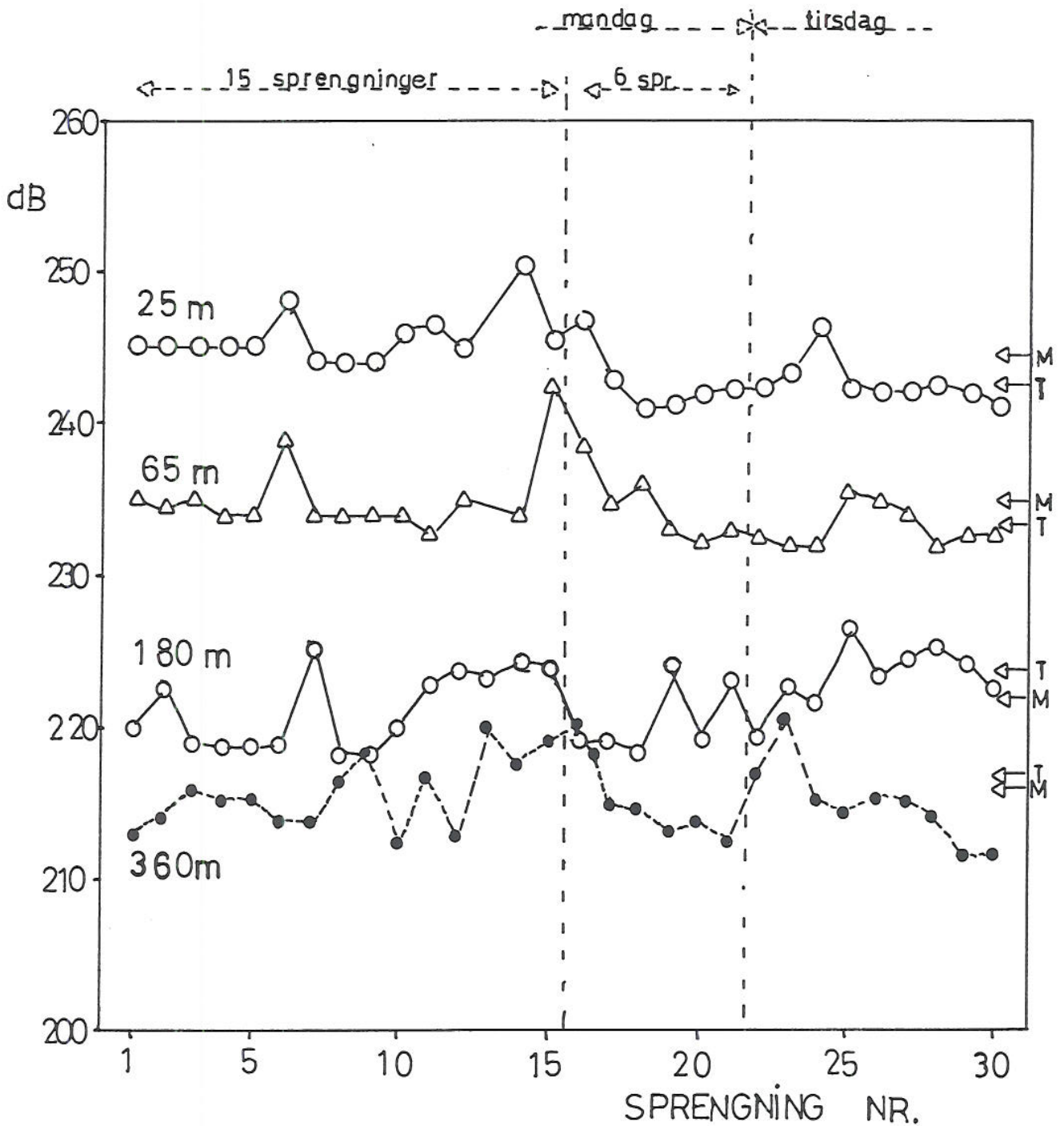
for:

Ladningsdybde: 5 meter

Fiskens dybde : 5 "

Fiskens vekt : 2 kg

JULI-1992

SJOKKBÖLGENS MAKS. AMPLITUDE i dB ref  $1 \mu\text{Pa}$ 

## Appendiks G

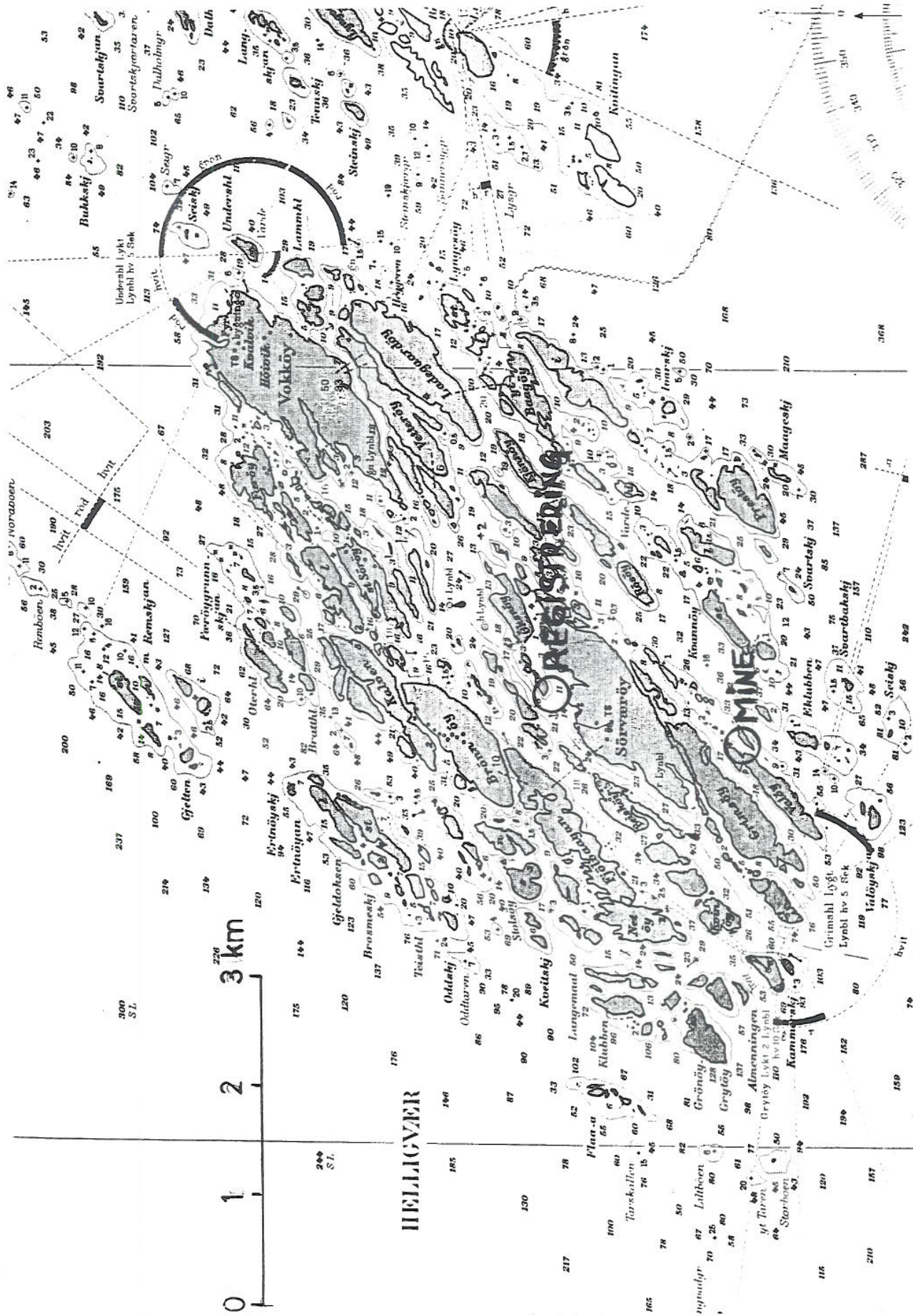
**Sjokkbølgens maksimalamplituder**

SPR-NR	TID	maksimalamplitude i kPa				ampl.nivå i dB / 1 $\mu$ Pa			
		25m	65m	180m	360m	25m	65m	180m	360m
mandag 27/7									
1	16.43	1720	552	98	44	245	235	220	213
2	17.06	1790	540	124	52	245	235	222	214
3	17.25	1770	552	81	64	245	235	219	216
4	17.34	1720	497	80	57	245	234	218	215
5	17.41	1750	492	79	61	245	234	218	216
6	17.49	2480	888	82	51	248	239	219	214
7	18.08	1650	492	178	51	243	234	225	214
8	18.43	1680	499	75	46	244	234	218	217
9	18.51	1680	516	80	88	244	234	218	219
10	19.03	1960	516	97	42	246	234	220	213
11	19.24	2100	456	134	73	247	233	223	218
12	19.30	1720	564	145	56	245	235	224	215
13	19.36	-	-	141	108	-	-	223	221
14	19.42	3300	492	153	81	251	234	224	218
15	19.48	1840	1340	145	94	246	243	224	220
16	23.05	2240	845*)	88	110	247	239	219	221
17	23.21	1380	543	88	61	243	235	219	216
18	23.31	1110	627	79	58	241	236	218	215
19	23.43	1220	437	156	46	242	233	224	214
20	23.49	1290	416	90	51	242	233	219	214
21	23.56	1300	439	139	45	243	233	223	213
tirsdag 28/7									
22	12.40	1310	422	84	76	243	233	219	218
23	12.50	1450	391	137	114	244	232	223	223
24	12.57	2290	407	116	58	247	232	222	216
25	15.05	1320	581	242	57	243	236	227	215
26	15.14	1310	575	137	60	243	235	223	216
27	17.09	1350	502	165	59	243	234	225	216
28	17.19	1370	407	178	53	243	232	225	215
29	19.19	1300	433	156	40	243	233	224	212
30	21.06	1180	433	131	41	242	233	223	212
MIDDELVERDIER		1680	547	123	63	245	235	222	216

\*)justerte verdier. Standardavvik for enkeltmålingene:  $\pm 2.5$  dB

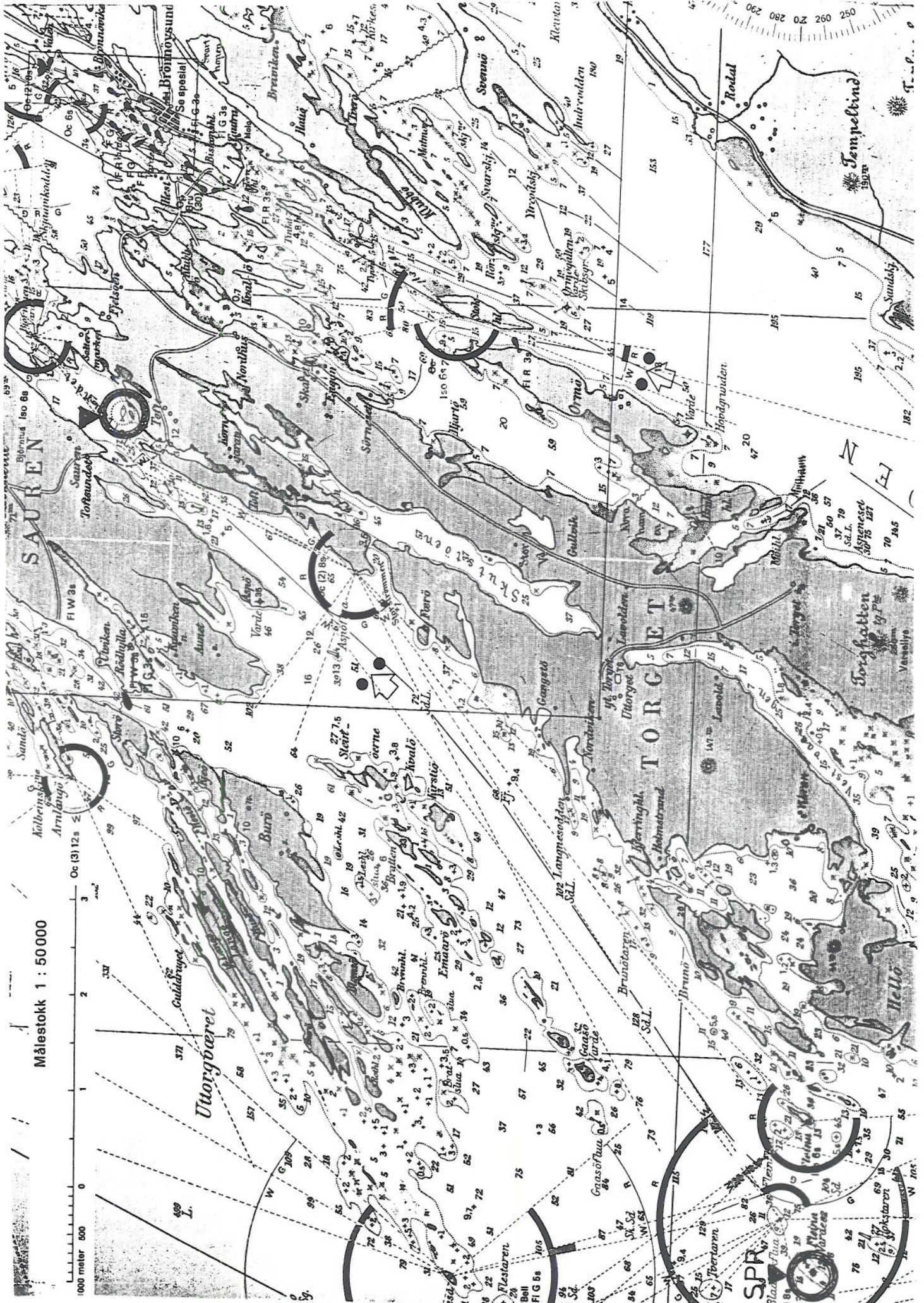
Middelverdiene er sammenlignet med de teoretiske verdiene i bilag . Avvikene som ligger innenfor ca  $\pm 1,5$  dB synes å være akseptable på bakgrunn av at vi operer med uliniære forplantningsforhold.

Appendiks H





Appendiks I

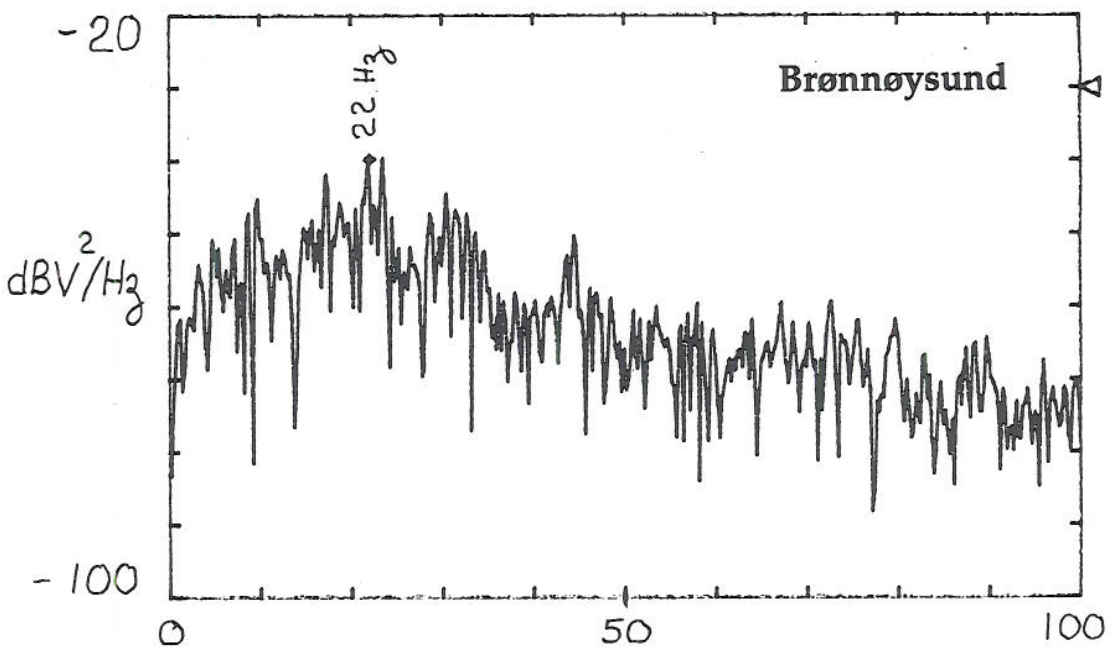
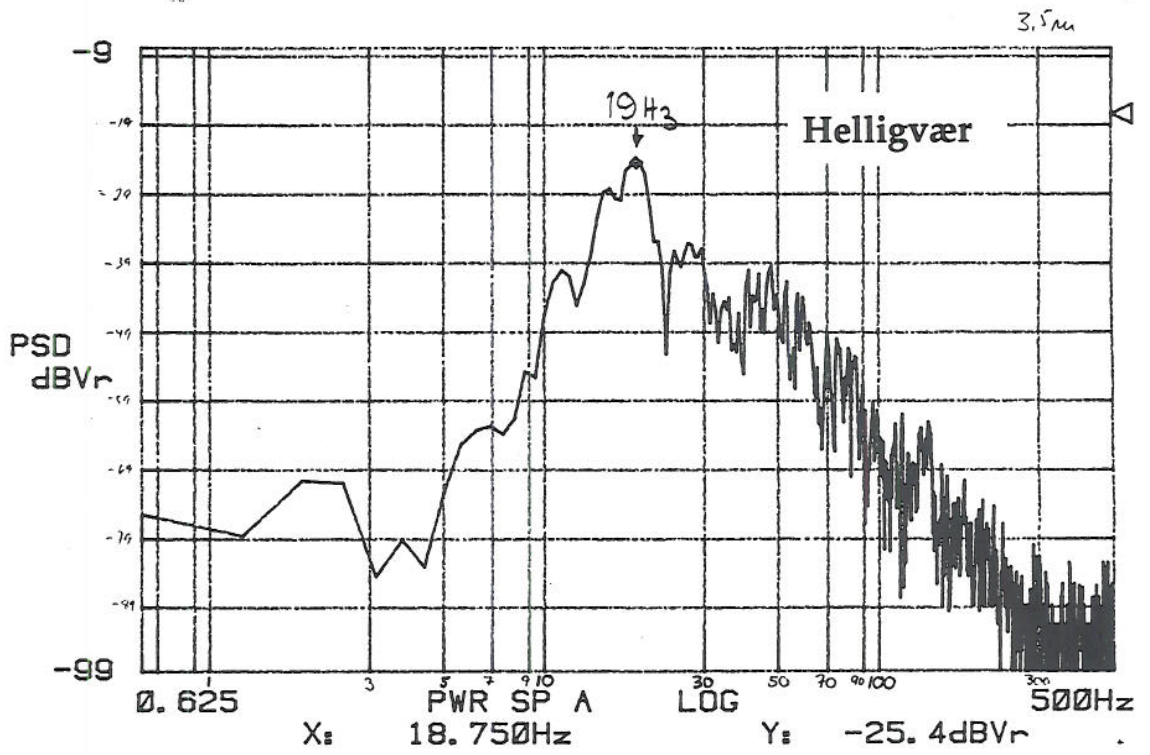
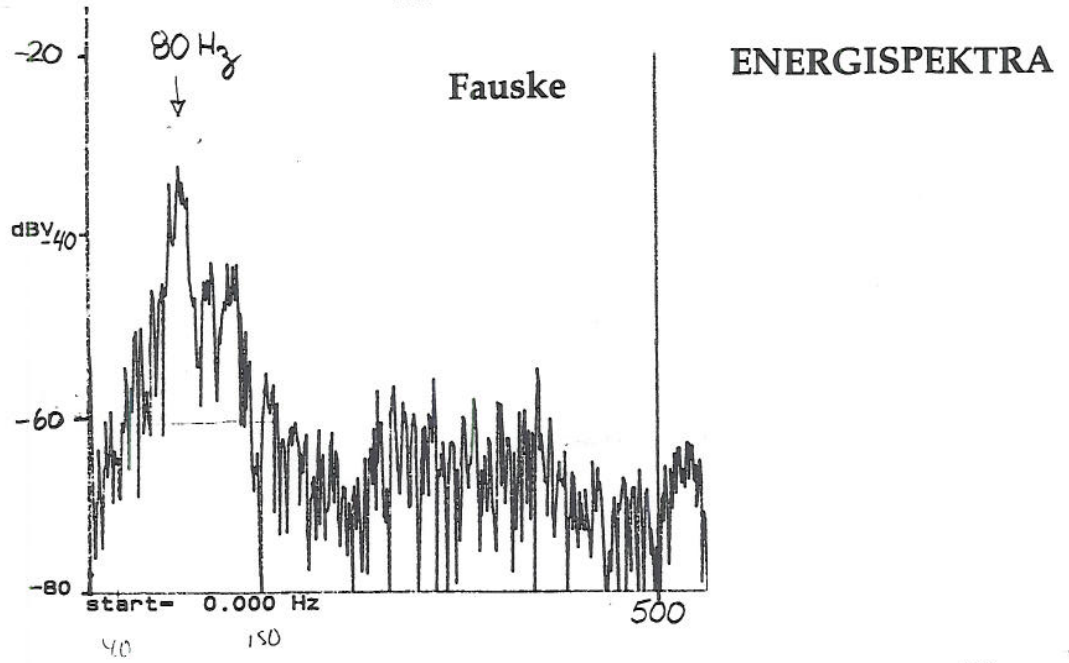


Målestokk 1 : 50 000

1000 meter

SPR

Appendiks J



Appendiks K

