

Fiskeridirektoratets  
Bibliotek

RELASJONER MELLOM INTEGRERTE EKKO-  
INTENSITETER OG FISKETETTHET

Hovedoppgave i fiskeribiologi

av

Ingolf Røttingen

Våren 1975

Norges Fiskerihøgskole - Universitetet i Bergen

INNHold

	Side
I. <u>INNLEDNING</u>	4
II. <u>MATERIALE OG METODER</u>	
1. Definisjoner	6
2. Lokalitet	7
3. Forsøksoppstilling	7
4. Forsøksmærer	9
5. Instrumentering	11
a. Ekkolodd	11
b. Svingere	11
c. Ekkointegrator og oscilloscop	13
d. Kamera	13
6. Kalibrering av akustisk utstyr	13
a. Data for målemikrofon	13
b. Retningsdiagram	14
c. Source Level og Voltage Response	16
d. Kalibrering med referansekule	17
7. Fisk som ble anvendt under måleforsøkene	18
8. Hydrografi	20
9. Sammenligning av target strength fra fiskens rygg og bukside.	21
III. <u>GYLDIGHETSOMRÅDE FOR PROPORSJONALITET MELLOM INTEGRERT EKKOINTENSITET OG FISKETETTHET</u>	
1. Teori	25
2. Integratorutslag fra forsøksmærer	27
3. Resultater	28
4. Diskusjon	34

IV.	<u>VARIANSKOMPONENTER I AKUSTISKE BESTANDSESTIMAT</u>	
	1. Teori	43
	2. Target strength for en fiskekonsentrasjon	47
	3. Standard avvik	48
	4. Konfidensintervall	48
	5. Resultater	49
	6. Diskusjon	50
V.	<u>SAMMENDRAG</u>	58
VI.	<u>TAKK</u>	59
VII.	<u>LITTERATUR</u>	60

## I. INNLEDNING

I fiskeriforskningen har man alltid vært interessert i de absolutte størrelser på fiskepopulasjonene som danner grunnlag for de forskjellige fiskeriene.

Tradisjonelt har bestandenes størrelse blitt beregnet ved hjelp av fangststatistikk, merkeforsøk og biologisk prøvetaking av fangster og slike metoder er tidkrevende, og man vil ikke få et bilde av hvordan bestandsstørrelse og sammensetning er i øyeblikket, men på den tid undersøkelsen eller merkingen ble foretatt, gjerne år i forveien.

Nye og bedre søke- og fangstmetoder har medført at fiskeriene kan utvikle seg så raskt at overbeskatning kan forekomme før man har fått overblikk over bestandens størrelse og sammensetning ved hjelp av de tradisjonelle metoder (GULLAND 1971). Det er derfor behov for mere direkte metoder til å beregne bestandsstørrelser.

Akustisk mengdemåling er en direkte og relativt ny metode, selv om akustiske instrumenter har vært i bruk i mange år i fiskeriforskningen. De har vist seg uunnværlig i registrering av fiskeforekomster, og slike instrumenter har også vært brukt i kartlegging av bestandenes relative størrelse. Med innføringen av ekkointegratoren (DRAGESUND & OLSEN 1965) kunne de akustiske undersøkelser få et mere kvantitativt preg enn tidligere.

NAKKEN & VESTNES (1970) gir en beskrivelse av integratorens oppbygging og virkemåte, og teoretisk bakgrunn for metodikk og anvendelse gir MIDTTUN & NAKKEN (1968, 1971) og FORBES & NAKKEN (1972).

Mengdemåling med integrator bygger på at tettheten av fisk er proporsjonal med integrert ekkointensitet når spredningstapet blir kompensert for på en bestemt måte (MIDTTUN & NAKKEN 1971). Ved høge tett-

heter regner man med at signalspenningen blir modifisert av indirekte spredning, lydabsorpsjon og skyggeeffekt, og følgelig vil ikke proporsjonaliteten mellom fisketetthet og ekkointensitet være gyldig.

Man må regne med to typer av usikkerhetsmomenter ved akustisk bestandsestimering (YUDANOV et al. 1974):

- 1) Usikkerhetsmomenter som skyldes innebygget variasjon i miljøet.
- 2) Usikkerhetsmomenter som skyldes dårlig kjennskap til parametre som inngår i bestandsberegningen. Dette gjelder både akustiske og biologiske parametre, f. eks. hvordan lydrefleksjonen fra en fisk forandrer seg med art, størrelse og adferd.

Det er tidligere foretatt en del eksperimentelle målinger av target strength på enkeltfisk (HARDEN JONES & PEARCE 1958, MIDTTUN & HOFF 1962, SHIBATA 1970, NAKKEN & OLSEN 1973) og en del av resultatene er summert i LOVE (1971).

I en fiskestim vil det være akustisk påvirkning mellom individene, men på dette felt er det gjort lite eksperimentelt arbeid (LOVE, op. cit.). Det har ofte vært forbundet med vanskeligheter å få fastlagt den nøyaktige fisketetthet man har målt lydrefleksjonen av. Tettheten har som regel vært målt indirekte, ved trålhal, undervannsfotografering og telling av fisk på ekkogrampapiret.

Det er imidlertid målt integratorutslag fra fisk i "bur", altså med en kjent tetthet. Men formålet her har vært å få en integrator-konstant for en bestemt art (JOHANNESSON & LOSSE 1973, JOHANNESSON & ROBLES 1973). Utgangspunktet for min oppgave var derfor å ha et kjent antall fisk i en mæ av kjent volum, og så måle ekkointegratorutslagene for forskjellige kjente fisketettheter. Ved en slik metodikk tok jeg sikte på å belyse følgende forhold:

- 1) Å få et begrep om skyggeeffekt ved å måle integratorverdien for forskjellige tettheter, og så undersøke om proporsjonaliteten mellom tetthet og ekkomengde var tilstede selv ved de største tettheter.
- 2) Ved å sammenligne verdiene til en serie enkeltping fra samme fisketetthet med en referanseverdi, vil en kunne estimere en target strength verdi for denne fisketettheten og standard avvik og konfidensintervall for dette estimatet.

## II. MATERIALE OG METODER

### 1. Definisjoner

På mange områder innen fiskeriakustikk er det i dag ingen fast norsk terminologi. I dette arbeidet har jeg derfor benyttet terminologi og forkortelser fra: Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. Part 2. The use of acoustic instruments for fish detection and abundance estimation. Ed. S.T. Forbes & O. Nakken. FAO, Roma 1972.

Fiskevinkelen er definert som vinkelen mellom det horisontale plan og en linje dradd gjennom overkjeven og roten av halen (OLSEN 1973).

Fiskens halvverdivinkel er det vinkelområde som fisken kan ha til horisontalplanet hvor lydrefleksjonen er mer enn det halve (-3dB) av maksimum lydrefleksjon (Fig. 2.7).

Integratorutslag er brukt synonymt med størrelsesverdi av integrert ekkointensitet.

Som betegnelse for den Briggske logaritme er log brukt.

## 2. Lokaltet

Målingene ble utført i et sund, Vestre Hølen, mellom Lepsøy og Geitarøy i Os Herred, Hordaland, i tidsrommet mai - august 1973. Lokalteten ligger beskyttet, sundet har en største bredde på 200 m, men bare ca. 10 m i hvert av innløpene. Dypet var 13 m og det var bløt leirbunn. Lokalteten har vært benyttet ved akustiske forsøk tidligere (NAKKEN & OLSEN 1973), og viste seg da å være vel egnet til formålet.

## 3. Forsøksoppstilling

Forsøksoppstillingen er vist på Fig. 2.1. En flåte på 11 m x 5,5 m dannet fundament for laboratorium med akustisk utstyr og beboelseshus.

For at flåten skulle ligge mest mulig i ro, ble den både oppankret og fortøyd til land med flere trosser. Avstanden til land var ca. 20 m. Elektrisitet til det akustiske utstyret ble ført ombord ved en kabel som hang i et luftstrekk.

Under flåten hang en stålramme. Den var festet til flåten i 4 stål-wirer, og det ble festet vekter til rammen for at wirene skulle være strukket til enhver tid. Lengden på wirene kunne reguleres fra flåten. Svingerøene ble montert på stålrammen med svingerflaten pekende oppover (Fig. 2.1).

En valgte følgende oppsett fordi en ønsket å arbeide med fisken så nær overflaten som mulig, og ved å plassere svingerøene ved bunnen fikk en størst mulig avstand mellom svingerøene og fisken.

Fordelene ved å ha fisken nær overflaten er flere. Fisken ble før forsøkene oppbevart i vanlige mærer som var ca. 5 m dype. Fisken ble derfor akklimatisert til dyp fra 1 til 4 meter. Da svømmeblæren regnes for å være av stor viktighet når det gjelder lydrefleksjon, var det derfor ønskelig å foreta målingene mens fisken sto i et dyp den

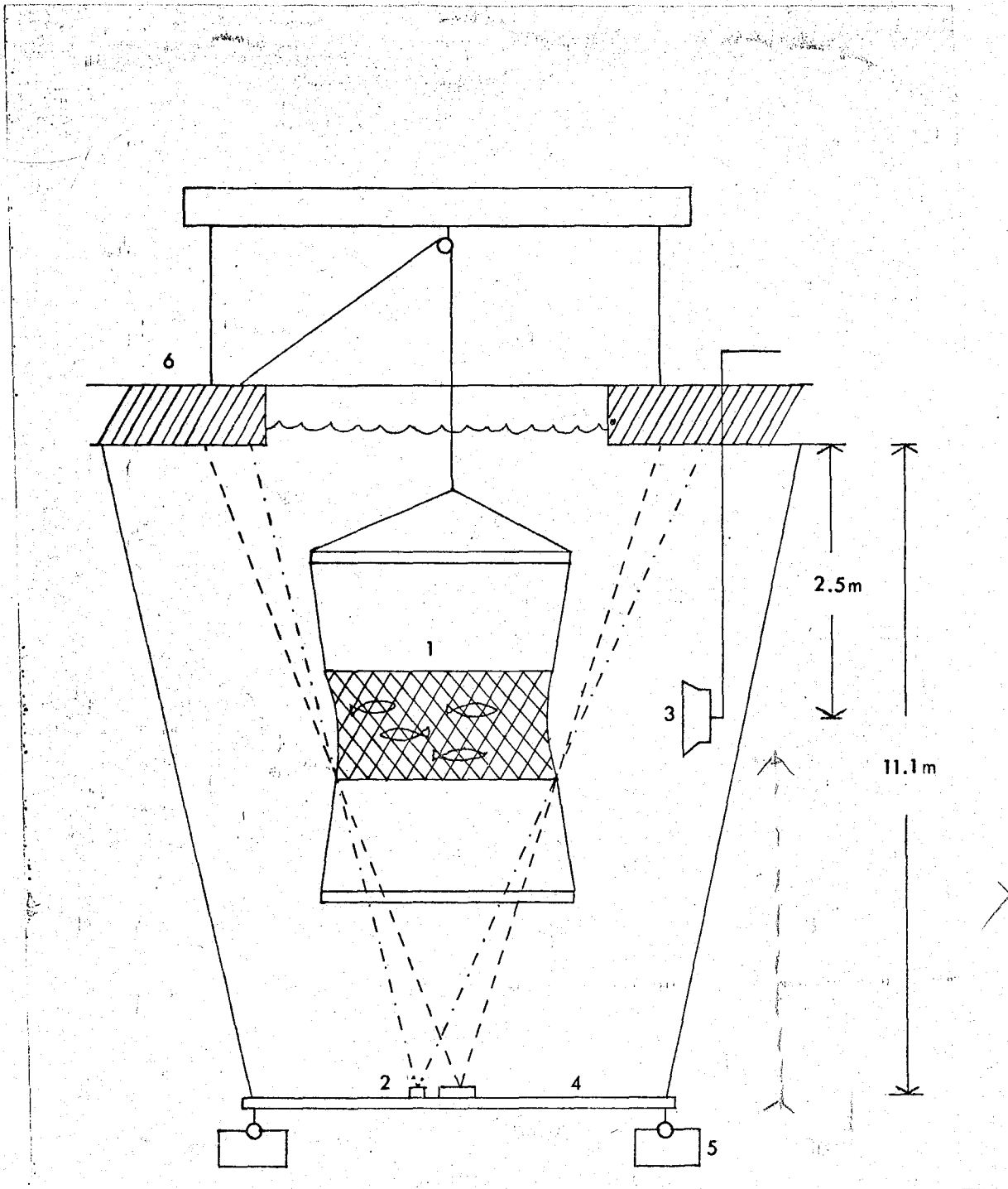


Fig. 2.1. Forsøksoppsett. 1) Forsøksmør, 2) svingere, 38 kHz og 120 kHz, 3) kamera, 4) stålramme, 5) vekter og 6) flåte.



var akklimatisert til. Det ville også være en fordel å ha fisken nær overflaten ved påfylling av fisk i forsøksmæren.

#### 4. Forsøksmærer

Forsøksmærene var strukket av to stålringer som hver hadde en radius på to meter (Fig. 2.2). For å unngå det sterke ekkoet fra disse ringene, ble mærene konstruert slik at ringene kom et godt stykke henholdsvis over og under selve rommet hvor fisken ble plassert. Man kunne da instille intervallet på integratoren slik at man ikke fikk integratorutslag fra disse ringene (Fig. 3.2). Integratoren var modifisert slik at intervallet kunne justeres i 10 cm trinn, mot vanlig for hver meter. Til forsøksmærene ble det brukt knuteløs nylonnot.

Målene går fram av Tabell 2.1. Mær 1 ble brukt under måleforsøkene med sei og makrell, og mær 2 til måleforsøkene med brisling.

Tabell 2.1. Data for forsøksmærer. Volumet ble beregnet som om det var to avskårede kjegler som støtte mot hverandre med den minste flaten.

	Total høyde (m)	Høyde på fiskerom (m)	Største diameter på fiskerom (m)	Minste diameter på fiskerom (m)	Maskevidde (mm)	Volum av fiskerom (m <sup>3</sup> )
Mær 1	3.80	1.80	1.45	1.40	7	2.87
Mær 2	3.40	2.40	1.50	1.40	13	3.96

Ved påfylling av fisk i forsøksmærene ble mærene heist opp i overflatestilling. I taket på mærene var det laget en åpning (Fig. 2.2) som kunne åpnes og lukkes ved en enkel snoranordning. Det ønskede antall fisk ble sluppet ned gjennom denne åpningen, og deretter ble mæren firt ned til det ønskede dypet.

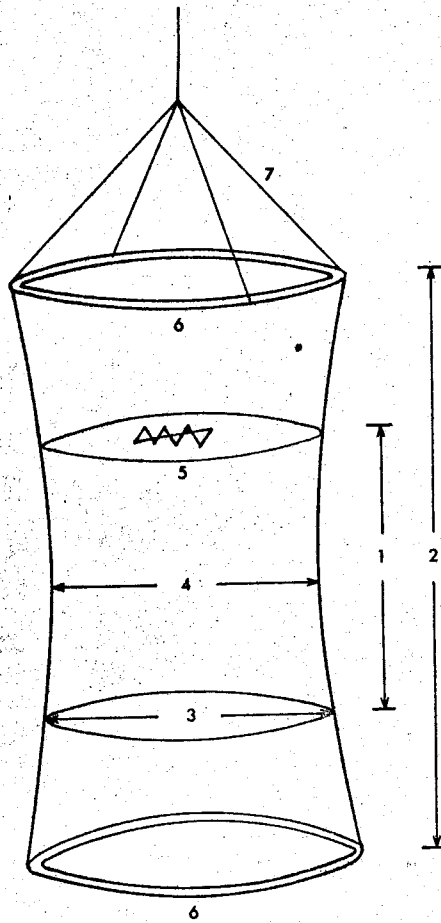


Fig. 2.2. Forsøksmør. 1) Høgte på fiskerom, 2) total høgte, 3) største diameter på fiskerom, 4) minste diameter på fiskerom, 5) åpning, 6) stålringer og 7) liner til opphengingspunkt på flåten. Verdier i Tabell 2.1.

Dette gikk uten vanskeligheter ved påfylling av sei og brisling, men makrellen hadde en tendens til å bli svært urolig når mæren ble heist opp og ned. Makrellen hadde da en tendens til å svømme mot notveggen. Under måleforsøkene med makrell ble det derfor montert et plastrør med diameter 10 cm fra overflaten og ned i åpningen på mæren. Ved påfylling ble fisken sluppet ned i dette røret.

## 5. Instrumentering

### a. Ekkolodd

Et blokkdiagram av instrumenteringen er vist på Fig. 2.3. Det ble brukt to typer ekkolodd, Simrad EK-38 A og Simrad EK-120 A. Simrad EK-38 A opererer på frekvensen 38 kHz og er det mest alminnelige ekkolodd i bruk ved de norske fiskeriundersøkelser. Simrad EK-120 A er et høgfrekvent ekkolodd med frekvens 120 kHz. Pingraten på begge ekkolodd var 4 ping pr. sekund.

Under måleforsøkene var kontrollinstillingen følgende:

Mode	WL
Gain	-20 dB
Pulslengde	0.3 ms eller 0.6 ms (EK-38 A) 0.1 ms eller 0.6 ms (EK-120 A)
Båndbredde	Wide
Effekt	1/10

### b. Svingere

Svingeren som var tilkopleet 38 kHz-ekkoloddet hadde dimensjonene 10 cm x 10 cm, mens svingeren til 120 kHz-loddet var sirkulær med en diameter på 5 cm.

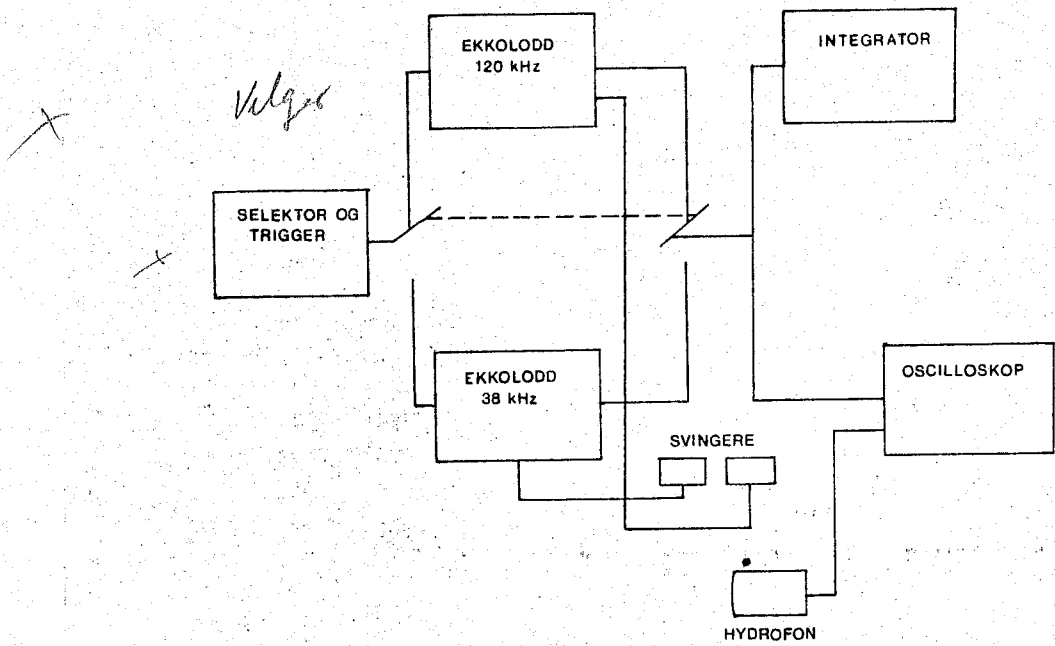


Fig. 2.3. Blokkdiagram av instrumentering.

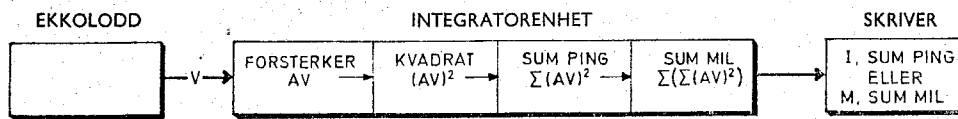


Fig. 2.4. Skjematisk framstilling av signalbehandlingen i ekkointegratoren (NAKKEN & VESTNES 1970).

c. Ekkointegrator og oscilloscop

Til registrering og avlesning av data ble det brukt et to-kanals oscilloscop, og en ekkointegrator (Simrad QM Mk II) med en to-kanals skriver (Hewlett Packard 7702 B). Signalbehandlingen i ekkointegratoren er vist skjematisk i Fig. 2.4 (NAKKEN & VESTNES 1970). Hver måleserie var på 5 minutter slik at man fikk integratorutslag fra 1200 enkeltping for hver fisketetthet.

Under måleforsøkene var kontrollinstillingene på ekkointegratoren følgende:

Mode	1	(Kanal A: Sounding, kanal B: $\int$ Naut. mile)
Threshold	1	
Speed Comp.	10 knots	

d. Kamera

Til fotografering av fisken i forsøksmæren ble det brukt et sjølvopp-trekkende "Robot royal camera". Dette ble plassert i et vanntett kamerahus i metallet. Kameraet ble plassert helt vannrett i kamerahuset, og fra dette gikk det en to-faset kabel med utløserknapp opp til flåten.

6. Kalibrering av akustisk utstyr

a. Data for målemikrofon

Målemikrofonen som ble brukt under kalibreringen av utstyret var av type LC 32, Atlantic Research Corp., serial no. 885 (FORBES & NAKKEN 1972).

Målemikrofonen var kalibrert ved Simrads målestasjon i Horten 30.4.1973, i en vanntemperatur på 7,2°C. Tidligere kalibreringer

utført av Simrad viser imidlertid en sammenheng mellom temperatur og mikrofonfølsomhet. Simrad oppgir verdien med korrelasjon for temperatur og frekvens.

Verdiene som ble benyttet (Tabell 2.2) er derfor blitt korrigert til den temperatur som ble målt under kalibreringen av utstyret.

Tabell 2.2. Data for målemikrofon LC 32, ser. no. 885.

$S_{Rt}$  = mottagerfølsomhet i dB//1 volt pr.  $\mu$ Bar.

$S_{tt}$  = senderfølsomhet i dB//1  $\mu$ Bar pr. volt  
ref. 1 m.

Vanntemp. °C	38 kHz		120 kHz	
	$S_{Rt}$	$S_{tt}$	$S_{Rt}$	$S_{tt}$
13,9	-102.8	35.6	-115.9	42.1

#### b. Retningsdiagram

Det ble påsett ved hjelp av vater at svingerflatene lå parallellt da de ble montert på stålrammen (Fig. 2.1). Stålrammen med svingerene ble så hengt på plass under flåten. Oscilloscopet ble tilkopleet målemikrofonen, og akustisk akse for svingerene ble funnet i punktet hvor en leste av maksimum utslag på oscilloscopet. Ved å justere wirene som stålrammen var opphengt i, ble akustisk akse instillt omtrent rett under opphengningspunktet for forsøksmærene, slik at sentrum i forsøksmærene kom til å ligge i akustisk akse. Midtpunktet i forsøksmærene var på 2,5 meters dyp, og i dette dypet ble ekkoloddens direktivitet funnet ved at målemikrofonen ble ført utover i 10 cm trinn fra sentrum, og utslagene på oscilloscopet ble notert. Ved å bruke maksimalutslaget (akustisk akse) som referanseverdi, fikk man retningsdiagrammer som vist i Fig. 2.5.

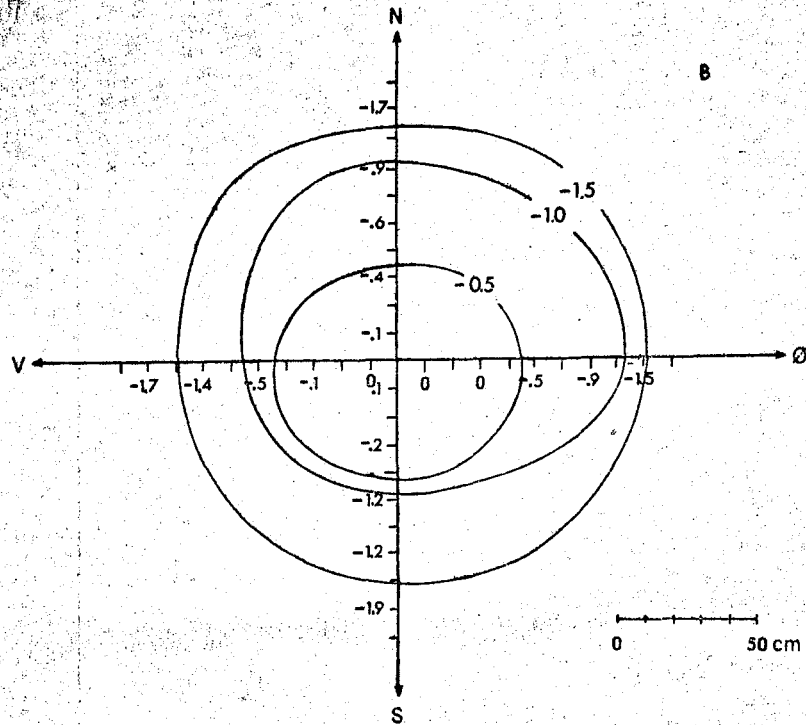
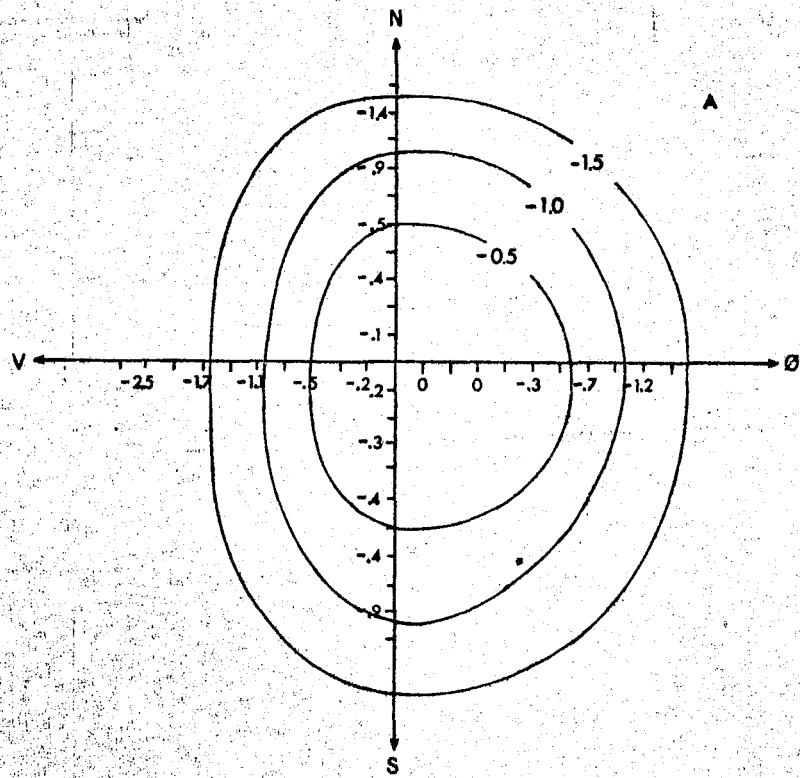


Fig. 2.5. Retningsdiagram i 2.5 m dyp. A) 38 kHz, svinger 10 cm x 10 cm, B) 120 kHz, svinger diameter 5 cm. Alle verdier i dB.

c. Source level og Voltage response

Instrumentoppstilling og arbeidsprosedyre for source level og voltage response (mottagerfølsomhet) målinger er beskrevet i FORBES & NAKKEN (1972). En måtte imidlertid modifisere prosedyren for voltage response målinger. Siden målemikrofonen måtte plasseres over svingeren (Fig. 2.1), fikk man en refleksjon fra overflaten når en skulle justere input mikrofon til avlesning 1 volt<sub>rms</sub> (0 dB//1 volt) ut i fra ekkoloddmottager. En kunne derfor ikke sende kontinuerlig signal fra målemikrofonen slik som beskrevet i prosedyren, signalet fra målemikrofonen måtte trigges manuelt.

Source level ble beregnet etter formelen:

$$SL = V_{hydr} - S_{Rt} + 20 \log R$$

$$SL = \text{Source level (dB//1 } \mu\text{Bar ref 1 m)}$$

$$V_{hydr} = \text{Utslag på målemikrofon (dB//1 volt}_{rms})$$

$$S_{Rt} = \text{Mottagerfølsomhet for målemikrofon (2.6.a)}$$

$$R = \text{Avstand i meter mellom svinger og målemikrofon}$$

Voltage response ble beregnet etter formelen:

$$V_R = V_r - G - (S_{tt} + V_{hydr} - 20 \log R)$$

$$V_R = \text{Voltage response (dB//1 volt pr. } \mu\text{Bar)}$$

$$V_r = \text{Antall volt ut fra ekkoloddmottager (dB ref 1 volt)}$$

$$G = \text{Ekkoloddets forsterkning}$$

$$S_{tt} = \text{Målemikrofoners senderfølsomhet (2.6.a.)}$$

Resultatene fra kalibreringen går fram av Tabell 2.3.



Tabell 2.3. Kalibreringsdata for ekkolodd som ble brukt under måleforsøkene.

Ekkolodd	Source level (dB// $\mu$ Bar ref 1 m)		Voltage response (dB//volt pr. $\mu$ Bar)
	1/10 effekt	1/1 effekt	
EK-38 A	96.7	108.0	-34.7
EK-120 A	106.3	112.0	-39.9

d. Kalibrering med referansekule

For at resultatene fra de forskjellige måleseriene skulle være sammenlignbare, måtte det ikke skje forandringer i source level eller mottagerfølsomheten. Forandringer kan blant annet skje ved begroing av svingerflaten. Som kontroll på dette, ble det en gang hver uke foretatt en kalibrering med en kompakt stålkule, (diameter 5 cm), i det etterfølgende betegnet som referansekule.

Den teoretiske verdien for referansekula er -38,1 dB, og de målte verdier går fram av Tabell 2.4.

Tabell 2.4. Målte verdier for referansekule (diameter 5 cm)

Frekvens (kHz)	Antall obs.	Target strength (dB)			Enkeltping integratorutslag (mm/ref 0 dB)
		Maks. verdi	Min. verdi	Middel- verdi	
38	6	-37.5	-39.3	-38.5	0.80
120	6	-37.9	-39.8	-39.1	0.55

Avvik fra middelværdi er ca.  $\pm$  1 dB, og dette skyldes en viss variasjon i source level, men årsaken kan også være avlesningsnøyaktighet<sup>grad</sup> og bevegelse av kule og flåte. Jeg har brukt middelværdiene som grunnlag for senere beregninger.

Target strength for fisk beregnes etter formelen:

$$TS_{\text{fisk}} = 20 \cdot \log \frac{\text{mm utslag fisk}}{\text{mm utslag referansekule}} + TS \text{ referansekule}$$

(NAKKEN & OLSEN 1973)

#### 7. ----- Fisk som ble anvendt under måleforsøkene

Det ble utført akustiske målinger på følgende arter:

Sei,	<u>Pollachius virens</u> (L.)
Brisling,	<u>Sprattus sprattus</u> (L.)
Makrell,	<u>Scomber scombrus</u> L.

Seien var fanget ved Hummelsund i Sund herred og transportert til forsøkslokaliteten på Lepsøy i brønnbåt. Brislingen var fanget ved Godøysund og makrellen ved Svarhelleholmen, begge steder i Tysnes herred. Brislingen og makrellen ble ført til Lepsøy i slepemær. All fisk ble plassert i oppbevaringsmær på forsøkslokaliteten i noen dager for å akklimatisere seg. Det virket som om fisken var i god kondisjon da måleforsøkene tok til.

Det ble målt total lengde, på sei og makrell til nedenforliggende cm, på brisling til nedenforliggende halve cm. Resultatene går fram av Tabell 2.5 og Fig. 2.6.

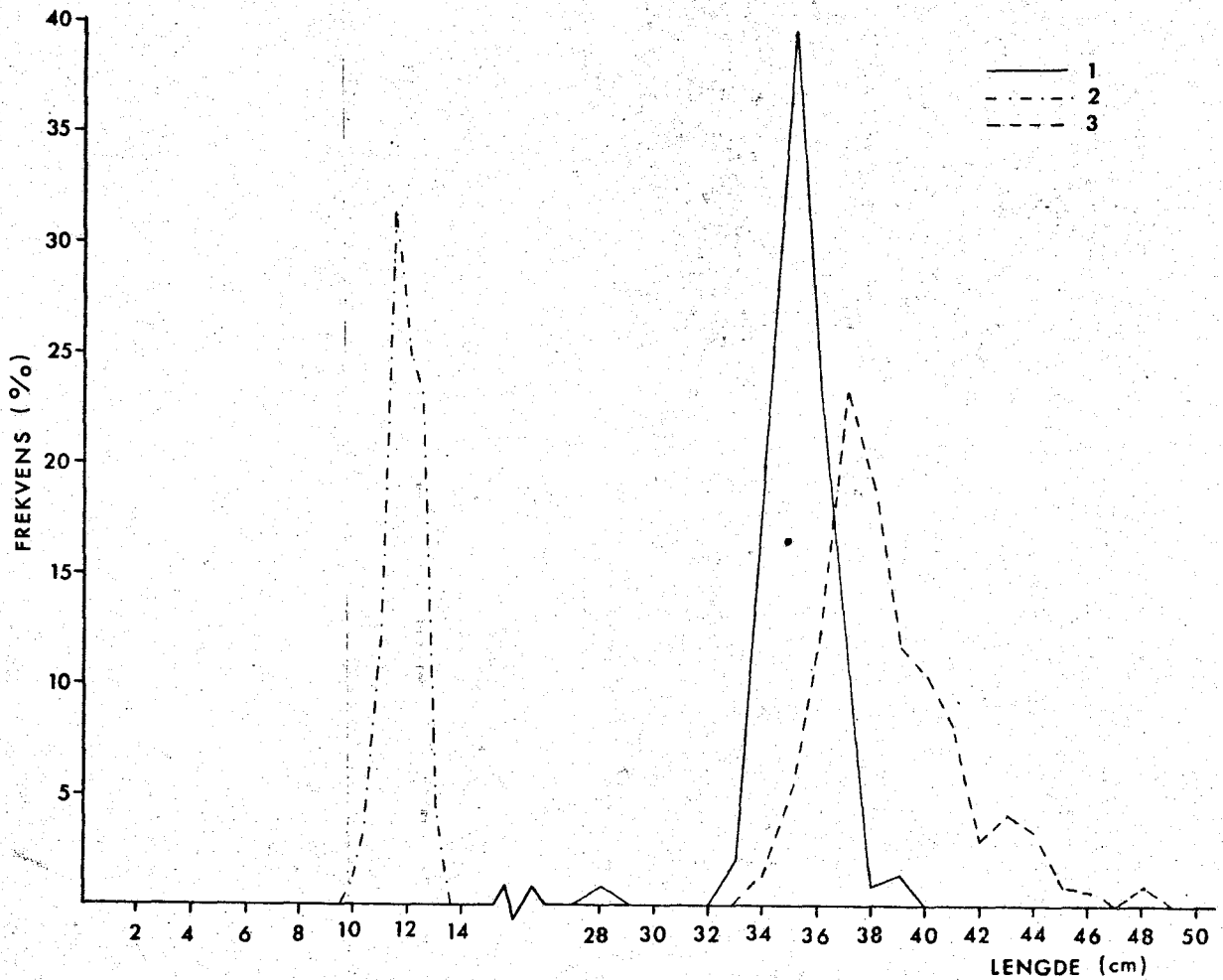


Fig. 2.6. Lengdefordeling for 1) sei, 2) brisling og 3) makrell som ble anvendt under måleforsøkene.

Tabell 2.5. Middellengde ( $\bar{l}$ ), standard avvik for lengdefordelingen ( $SA_1$ ), middelværdi for fiskens vekt ( $\bar{w}$ ) og antall lengdemålte (N).

Art	$\bar{l}$ (cm)	$SA_1$ (cm)	$\bar{w}$ (g)	N
Sei	35.1	0.6	375	147
Brisling	12.1	2.3	12	187
Makrell	38.4	1.7	400	112

Vekt ble beregnet etter lengde-vekt relasjon for sei (JAKOBSEN, personlig meddelelse), brisling (SUND 1911) og makrell (CASTELLO & HAMRE 1969).

Det var flere årsaker til at en benyttet nettopp disse artene til måleforsøkene. Det har lenge vært kjent at svømmeblæren er en viktig faktor i fiskens lydrefleksjon (HARDEN JONES & PEARCE 1958, SHIBATA 1970). Her vil en derfor få anledning til å sammenligne fisk med stor og liten svømmeblære (absolutt sett), henholdsvis sei og brisling, og en fisk uten svømmeblære, dvs. makrell.

Disse artene ble også valgt av praktiske hensyn, da det er de artene som er lettest tilgjengelige på Vestlandet i sommerhalvåret.

### 8. Hydrografi

Temperatur og saltholdighet ble målt i det dyp hvor fisken oppholdt seg og i svingerdypet, både før og etter de akustiske måleforsøkene. Resultatene går fram av Tabell 2.6.

Tabell 2.6. Temperatur, saltholdighet og lyd hastighet i sjøen ved forsøkslokaliteten.

Dato	Dyp (m)	Temperatur (°C)	Saltholdighet (‰)	Lyd hastighet (m/sek.)
20.6.73	3	14.20	31.716	1498.12
"	10	9.32	33.035	1482.54
6.8.73	3	15.86	30.295	1501.88
"	10	11.00	32.961	1488.62

Kap 9<sup>u</sup>

## 10. Sammenligning av target strength fra fiskens rygg og bukside

Ved et surveyarbeid i felten er svingerflaten vanligvis montert under kjølen på fartøyet, og man vil da få lydrefleksjon fra fiskens ryggside (ryggaspekt). En forsøksoppstilling som beskrevet i 2.2 vil imidlertid gi lydrefleksjon fra fiskens bukside (bukaspekt).

For å se om det var noen prinsipiell forskjell på lydrefleksjonen, ble det foretatt target strength målinger for enkeltfisk med lyd-pulsen fallende inn i forskjellige vinkler både mot rygg og buksiden. Forsøksoppsett og framgangsmåte for slike målinger er beskrevet i NAKKEN & OLSEN (1973).

Det ble målt verdier av 32 sei og 21 makrell. Et typisk target strength diagram for rygg- og bukaspektet for sei er vist i Fig. 2.7.

Ryggaspektet har maksimum target strength når fisken har hodet ned noen grader i forhold til horisontalplanet (og svingeren). Dette er i overensstemmelse med tidligere målinger (MIDTTUN & HOFF 1962, NAKKEN & OLSEN 1973, SHIBATA 1970). I bukaspektet har vi maksimum target strength når hodet står noen grader mot svinger. Imidlertid, dette er i realiteten samme stilling i rommet som ved maksimum target strength for ryggaspektet (Fig. 2.8).

Det er vanskelig å slutte seg til om target strength fra rygg og bukaspektet ved en viss konsentrasjon av slike fisker ville være signifikant forskjellig. Da måtte en kjenne den nøyaktige fordeling av fiskevinkler for hver konsentrasjon, og det ligger utenfor rammen av dette arbeidet.

Jeg har imidlertid testet om det er noen signifikant forskjell på to parametre av betydning, maksimum target strength (Fig. 2.7) og halvverdivinkelen (Fig. 2.7 og avsnitt 2.1). Jeg har testet om det er signifikant forskjell på middelveidene ( $H_0: \mu_{RA} - \mu_{BA} = 0$ ) og har brukt en t-test som er beskrevet i SCHEFLER(1969).

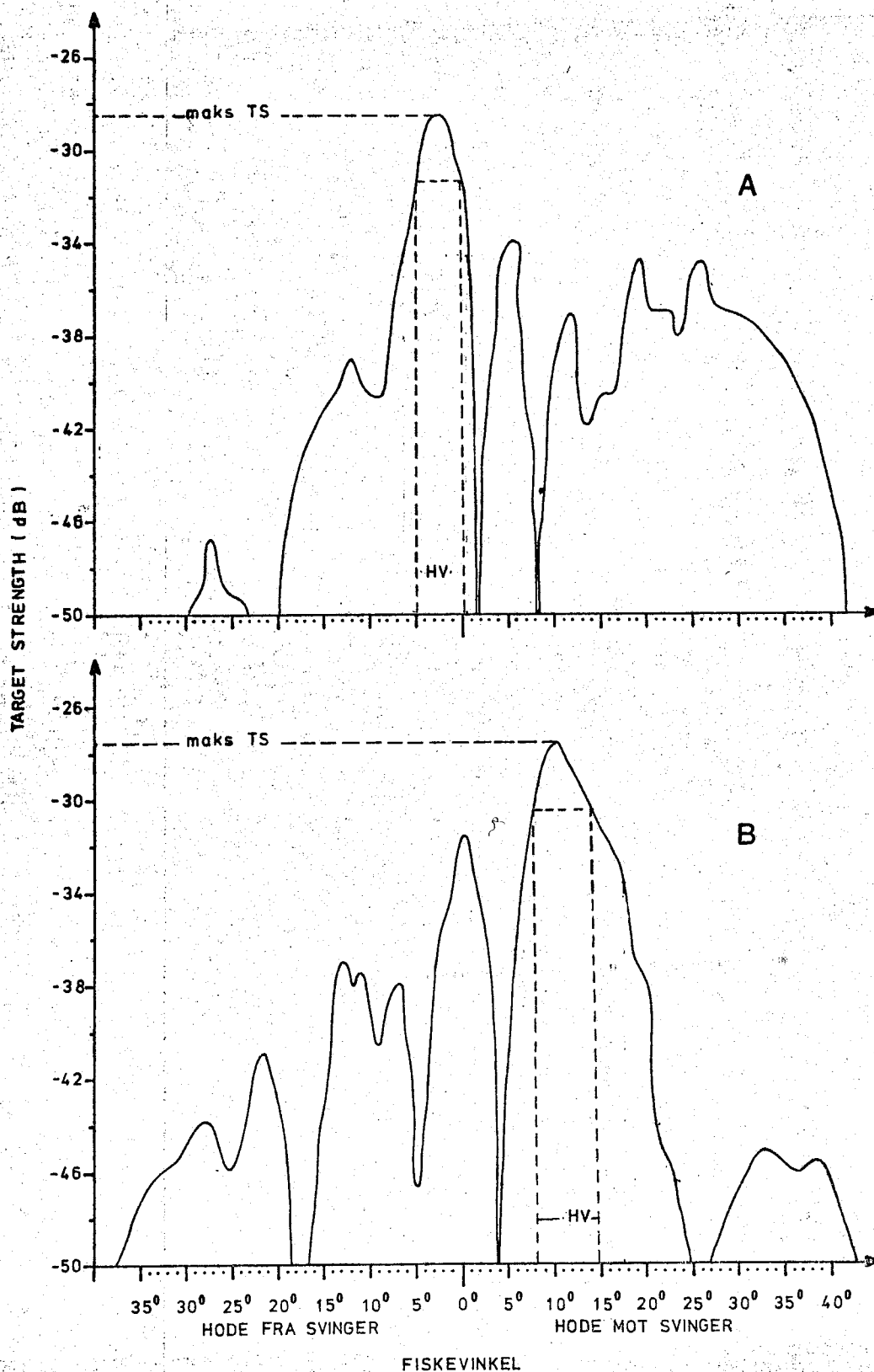


Fig. 2.7. Target strength (sei, lengde 35 cm, 38 kHz, 0.6 ms) som funksjon av fiskevinkel. A) Ryggaspekt, B) bukaspekt, HV) halvverdivinkel.

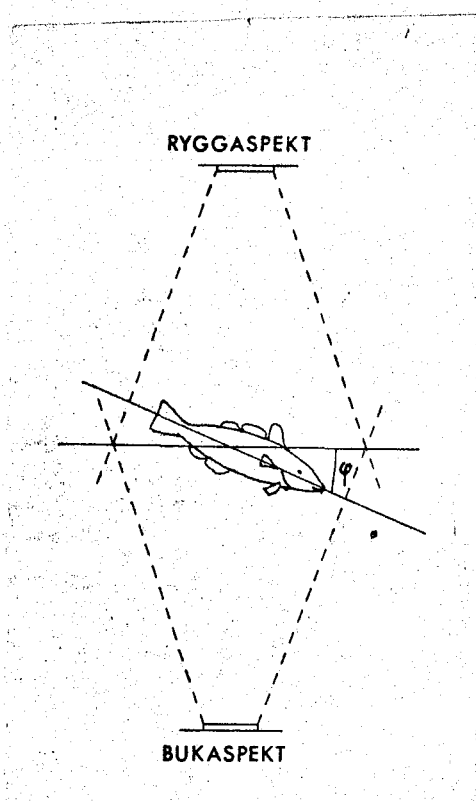


Fig. 2.8. Generell fiskevinkel ( $\varphi$ ) ved maksimum target strength for ryggaspekt og bukaspekt.

Resultatene går fram av Tabell 2.7. Det er signifikant forskjell på maksimum target strength for sei på 0.05 signifikansnivå. Dette gjelder for både 38 kHz og 120 kHz. Ingen av de andre verdiene viste signifikant forskjell.

En kan ikke uten videre si hva dette kan bety for det samlede ekko-integratorutslag for en gitt konsentrasjon av sei. Det kan medføre et noe større integratorutslag ved lydrefleksjon fra buksiden i forhold til ryggsiden. Men det går fram av retningsdiagrammet (Fig. 2.7) at det er ingen stor forskjell mellom ryggaspektet og bukaspektet.

Tabell 2.7. t-test for maksimum target strength og halvverdivinkel-data.

RA = ryggaspekt  
 BA = bukaspekt  
 TS = maksimum target strength (dB)  
 HV = halvverdivinkel (grader)  
 SA = standard avvik

	$\bar{X}$	SA	N	t-test Kritisk verdi
A. Sei				
TS-RA (38 kHz) mot	-31.4	1.8	30	
TS-BA (38 kHz)	-29.6	1.7	31	-4.38
TS-RA (120 kHz) mot	-33.4	2.4	26	
TS-BA (120 kHz)	-32.1	1.4	29	-2.33
HV-RA (38 kHz) mot	7.9	2.5	30	
HV-BA (38 kHz)	7.7	1.3	31	0.36
HV-RA (120 kHz) mot	4.7	0.8	26	
HV-BA (120 kHz)	4.8	1.0	29	0.40
B. Makrell				
TS-RA (38 kHz) mot	-35.6	2.2	20	
TS-BA (38 kHz)	-36.3	2.7	20	-0.87
TS-RA (120 kHz) mot	-40.0	3.5	20	
TS-BA (120 kHz)	-41.3	3.3	18	-1.23
HV-RA (38 kHz) mot	11.7	4.9	20	
HV-BA (38 kHz)	9.7	4.9	20	1.63
HV-RA (120 kHz) mot	5.2	2.7	20	
HV-BA (120 kHz)	4.5	1.8	18	0.93



### III. GYLDIGHETSOMRÅDE FOR PROPORSJONALITET MELLOM INTEGRERT EKKOINTENSITET OG FISKETETTHET

#### I. Teori *Problemstilling*

Mengdemåling med ekkointegrator bygger på relasjonen:

$$\begin{aligned} \text{hvor } \int \int &= C \cdot M \text{ (MIDTTUN \& NÅKKEN 1971)} \\ C &= \text{fisketetthet} \\ C &= \text{integratorkonstant} \\ M &= \text{integratorutslag} \end{aligned}$$

Man har imidlertid lenge vært oppmerksom på at denne relasjonen muligens ikke var gyldig under alle forhold. Indirekte lydspredning, lydabsorpsjon og skygge-effekt kan påvirke relasjonen. I praksis er dette observert på følgende måter.

Ved registrering av svært tette stimer av pelagisk fisk har ekkoloddets kvitlinje (White Line) effekt falt ut. Kvitlinjeeffekten skyldes en blokkering av signalet, og den trer i kraft når det mottatte signal er over en viss styrke. Kvitlinjeeffektens funksjon er å hindre integrering av bunnekket. Siden kvitlinjen forsvinner, skyldes det at mindre lydenergi når bunnen. Det er med andre ord tapt lydenergi i stimen. Det er da grunn til å tro at de dypeste fiskene i stimen ikke blir truffet av, og dermed reflekterer, så mye lydenergi som de øverste fiskene.

Fig. 3.1 viser avtegnede oscilloscopbilder av 4 loddestimer som ble registrert av F/F "G.O. Sars" i Barentshavet i februar 1974. Alle viser at det er mindre lydrefleksjon fra de dypere deler av stimen. Det er tvilsomt om dette er den aktuelle fysiske form på loddestimen, altså med størst tetthet øverst, og mye tyder på at det er lydenergi som tapes i stimen.

Dette er blitt betegnet en skygge-effekt, og den vil resultere i en underestimering av fiskemengden i den aktuelle stim eller fiskekonsentrasjon.

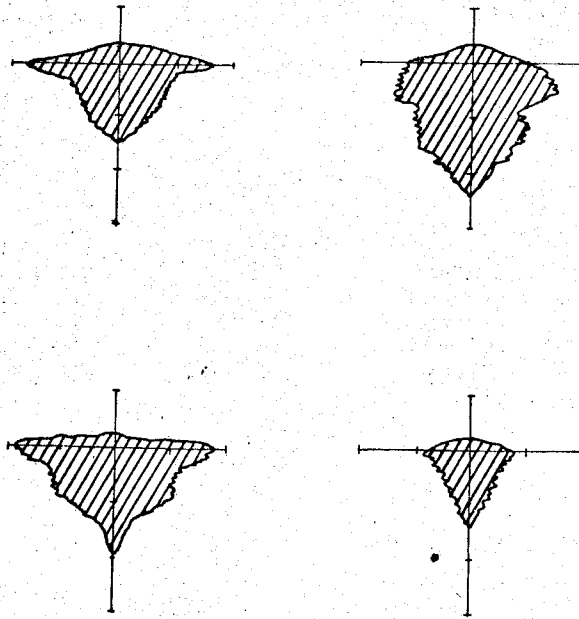


Fig. 3.1. Oscilloscopbilder av loddestimer (Barentshavet, februar 1974). 38 kHz, 0.6 ms. Tidsakse vertikalt.

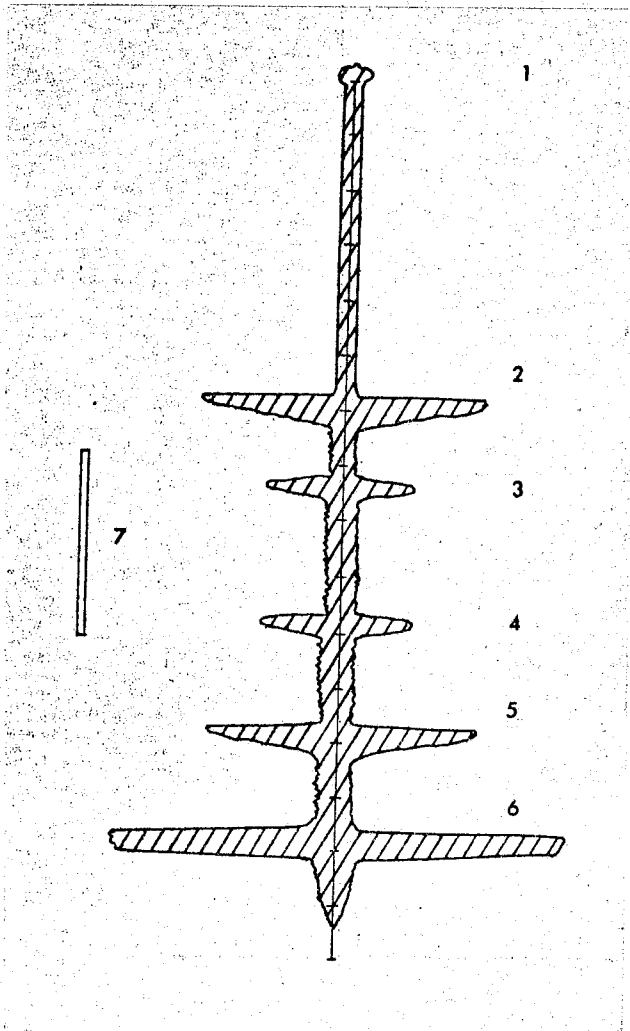


Fig. 3.2.

Skjematisk framstilling av oscilloscopavlesning av tom forsøksmør.

- 1) Sendepuls,
  - 2) refleksjon fra nederste ring,
  - 3) refleksjon fra gulv i forsøksmør,
  - 4) refleksjon fra tak i forsøksmør,
  - 5) refleksjon fra øverste ring,
  - 6) refleksjon fra overflaten,
  - 7) integratorintervall.
- Tidsakse vertikalt.

2. Ekkobidrag fra forsøksmærer

Før hver måleserie ble det målt ekkobidrag av forsøksmærene. Integratorintervallet ble ved oscilloskopavlesning instilt slik som vist på Fig. 3.2. Som det framgår av figuren skyldes det meste av integratorutslaget en del refleksjon fra gulv og tak i forsøksmæren. Det var svært liten lydrefleksjon fra sidene i forsøksmæren. Integratorutslaget fra forsøksmærene ved de benyttede pulslengder og frekvenser går fram av Tabell 3.1.)

Tabell 3.1. Integratorutslag fra forsøksmærer.  
Verdiene i parentes er beregnede verdier.

	Frekvens (kHz)	Pulslengde (ms)	Integratorutslag (mm)	
			$\Sigma$ 1200 ping 40 dB gain	Enkeltping 0 dB gain
Mær 1	38	0.3	210	
	38	0.6	390	0.4
	120	0.1	30	
	120	0.6	160	0.2
Mær 2	38	0.3	(1600)	
	38	0.6	3200	1.5
	120	0.1	(185)	
	120	0.6	500	0.4

Det går fram av tabellen at mær 2 har større integratorutslag enn mær 1. Dessuten ser man at integratorutslaget ved 38 kHz er vesentlig større enn ved 120 kHz. Dette gjelder særlig mær 2.

En mulig forklaring på dette kan være den noten som er anvendt i mær 2. Denne finmaskede noten kan ha medført at en god del luftbobler hang fast i maskene, selv etter at mæren hadde vært i sjøen en tid. Lydrefleksjonen fra luftbobler varierer med radius på luft-

boblene, det dyp luftboblene befinner seg i, og frekvens på lyd-  
bølgen (URICK 1967). Maksimum lydrefleksjon har man når luft-  
boblen av en gitt størrelse er i resonans med lydbølgen som treffer  
luftboblen.

### 3. Resultater

Det ble målt integratorutslag av sei, brisling og makrell ved for-  
skjellige tettheter. Integratorutslaget for de forskjellige fisketet-  
heter er vist på Fig. 3.3 - 3.7. I Fig. 3.3 - 3.6 er det på ordinaten  
brukt relativt integratorutslag, hvor maksimum utslag er satt lik  
1.0. Dette er gjort for direkte å kunne sammenligne de ulike lyd-  
frekvenser og pulslengder. På figuren er det brukt middelveidier.  
Det vil være en variasjon om denne middelveidien, dette forhold  
blir behandlet i kapittel IV.

Fig. 3.7 viser resultatene av makrellmålingene. Her er det brukt  
absolutte verdier for integratorutslaget. Med forsøksoppstillinger  
som ble benyttet var makrellen vanskelig å arbeide med. Den var  
uroilig og svømte mye inn i notveggen, og det ble observert en del  
dødelighet i forsøksmæren. Det er derfor en viss usikkerhet i  
makrellmålingene, og det er ikke forsøkt å sammenligne disse  
målingene med målingene for sei og brisling.

Skygge-effekten vil begynne å gjøre seg gjeldende hvor proporsjonali-  
teten mellom fisketetthet og ekkointensitet ikke lenger er gyldig. Den  
aktuelle tetthet er i det etterfølgende kalt skygge-tetthet. Verdier  
for dette er satt opp i Tabell 3.2.

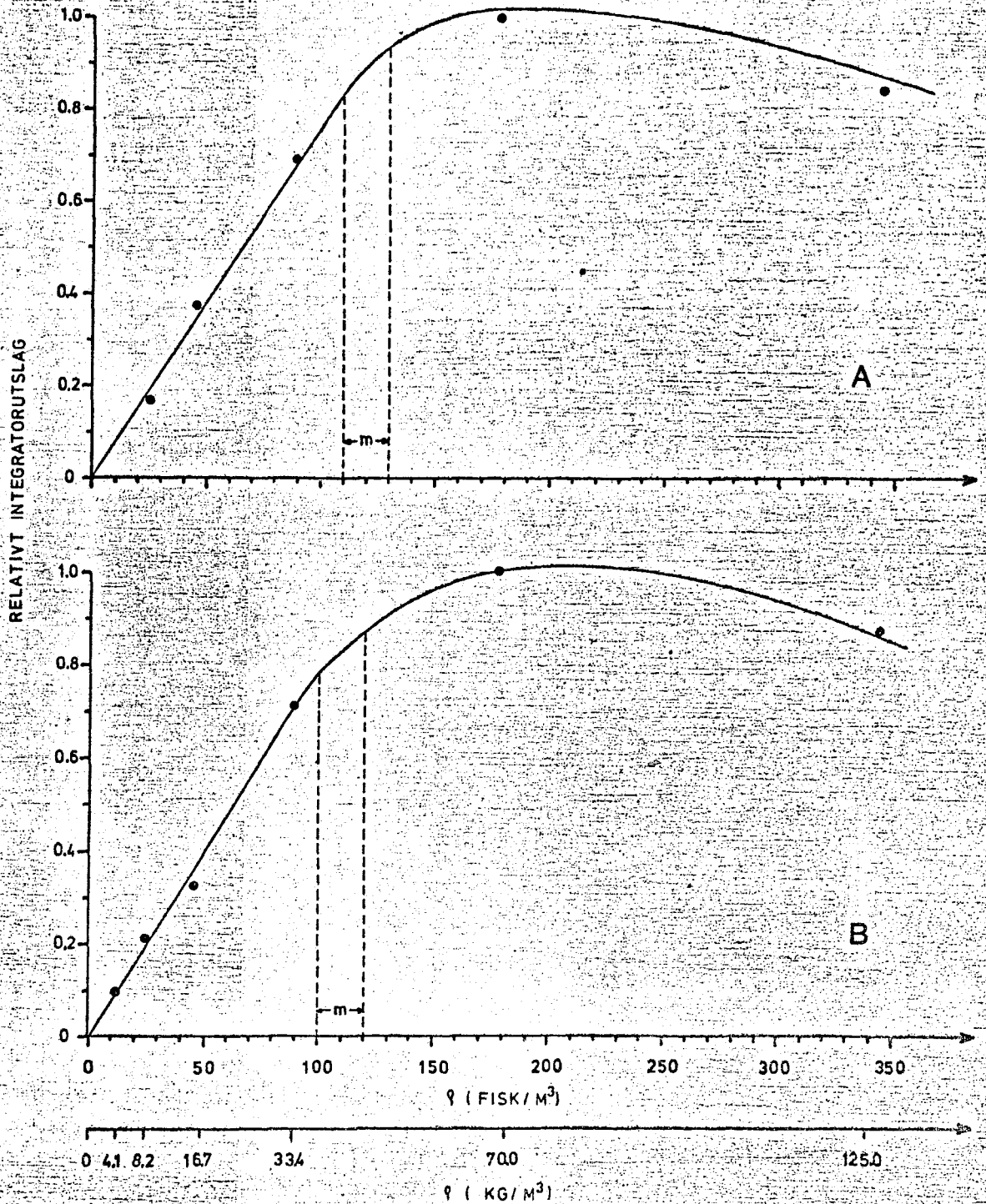


Fig. 3.3. Relativt integratorutslag for sei ved 38 kHz som funksjon av fisketetthet. A) 0.3 ms, B) 0.6 ms, m) grenseverdi for proporsjonalitet. Maksimum integratorutslag er satt lik 1.0.

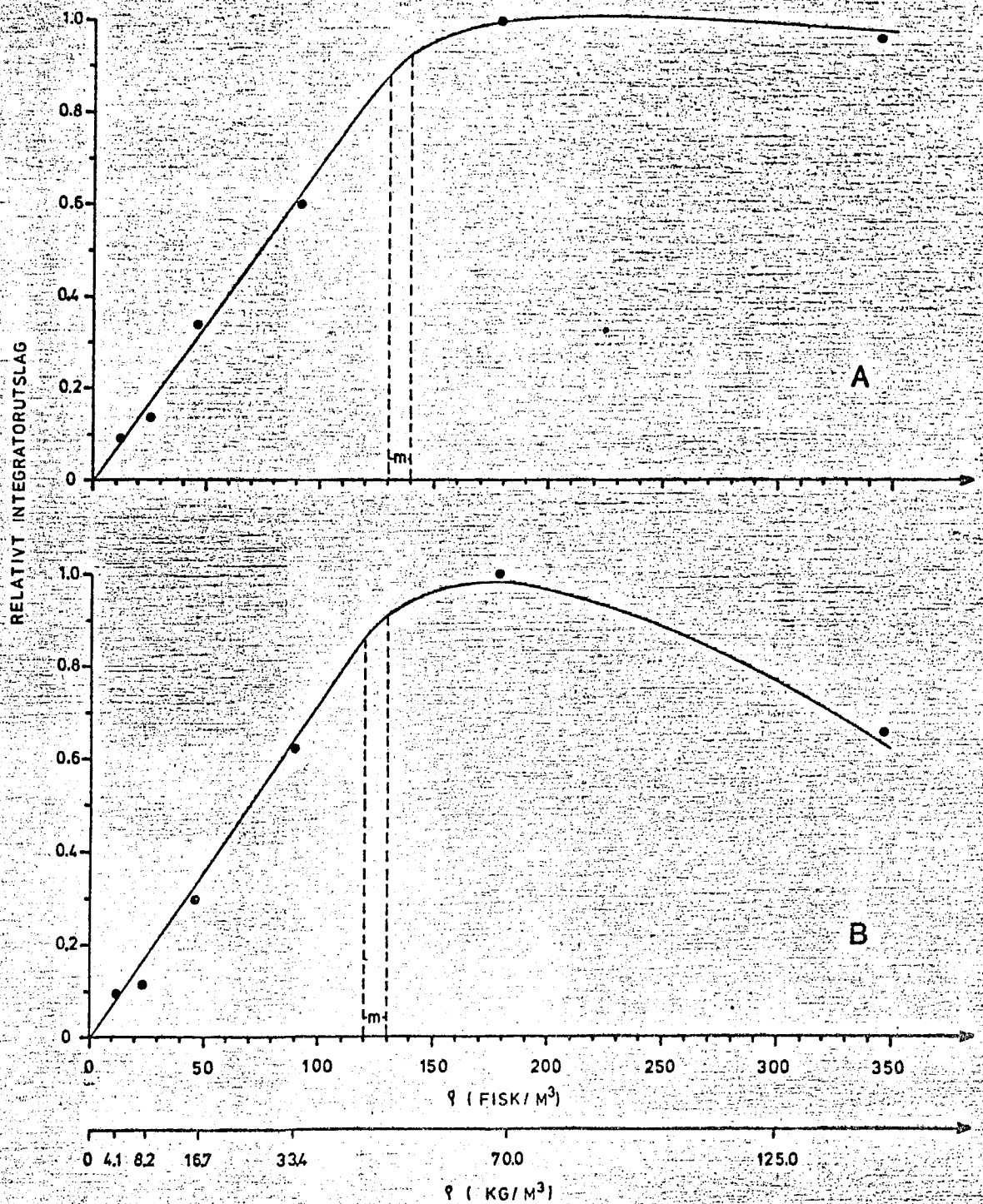


Fig. 3.4. Relativt integratorutslag for sei ved 120 kHz som funksjon av fisketetthet. A) 0.1 ms, B) 0.6 ms, m) grenseverdi for proporsjonalitet. Maksimum integratorutslag er satt lik 1.0.

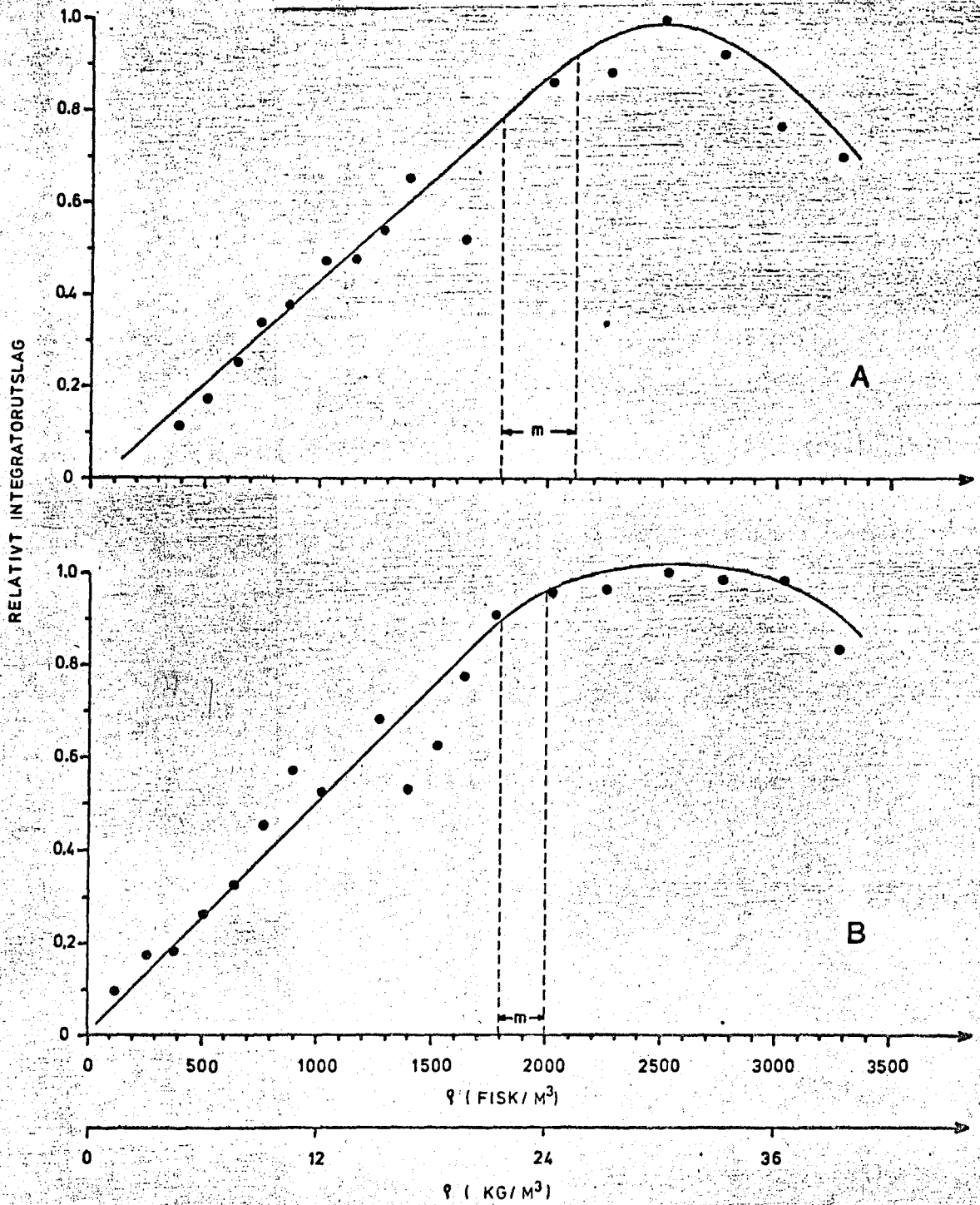


Fig. 3.5. Relativt integratorutslag for brisling ved 38 kHz som funksjon av fisketetthet. Tegnforklaring som Fig. 3.3.

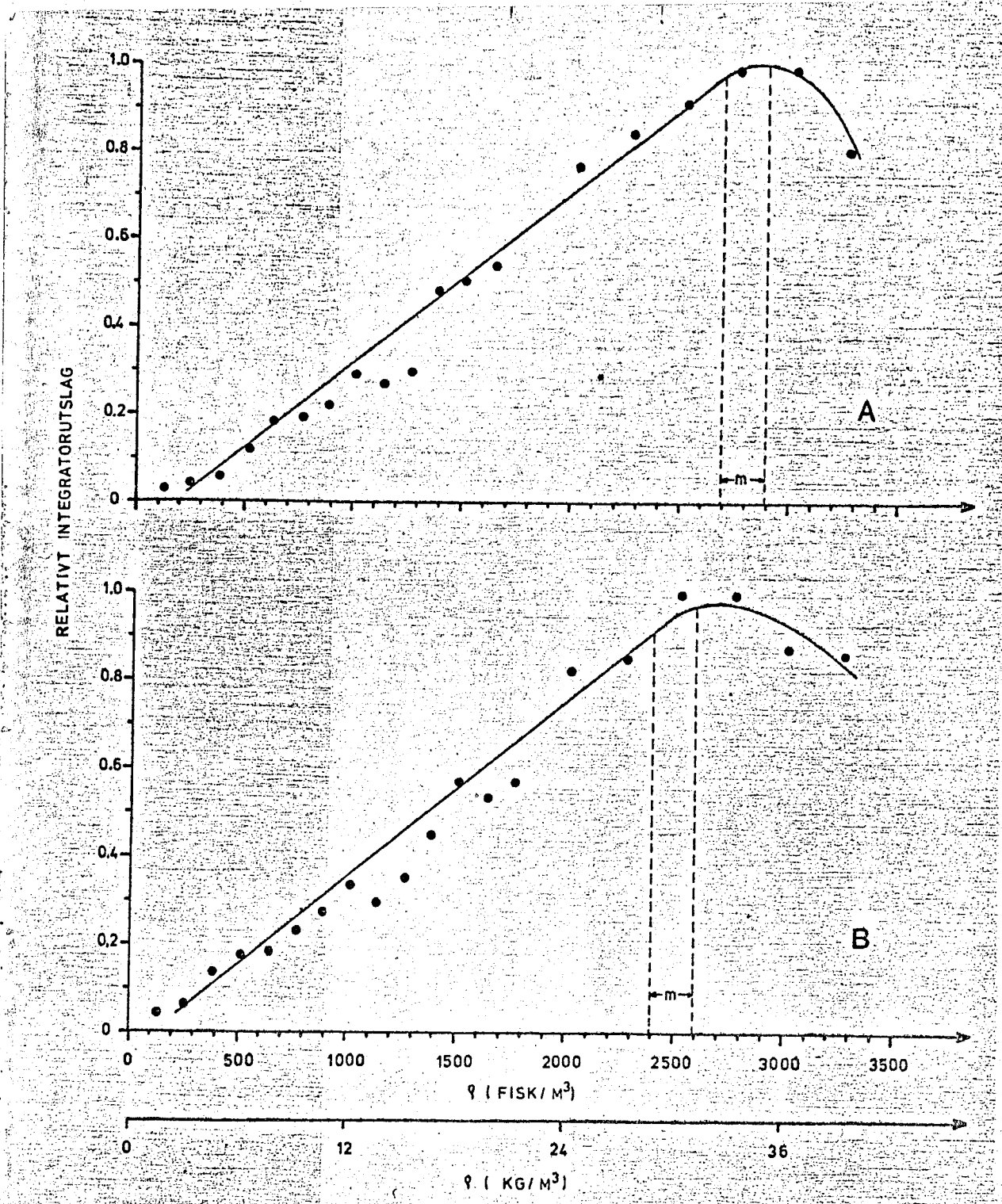


Fig. 3.6. Relativt integratorutslag for brisling ved 120 kHz som funksjon av fisketetthet. Tegnforklaring som Fig. 3.4.



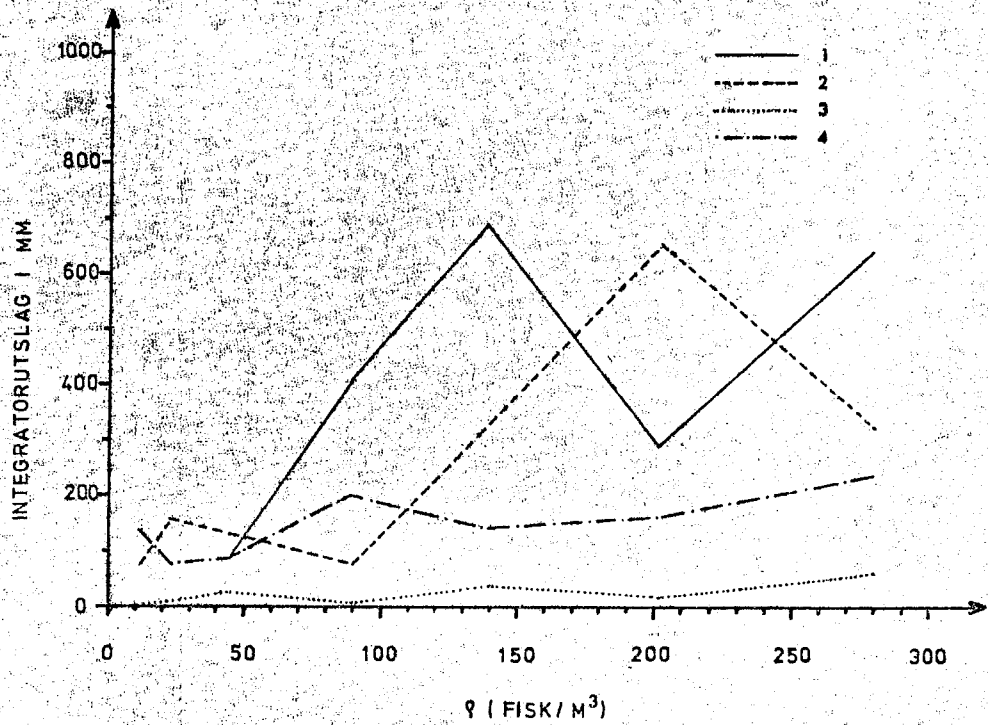


Fig. 3.7. Integratorutslag for makrell som funksjon av fisketetthet. 1) 38 kHz, 0.3 ms, 2) 38 kHz, 0.6 ms, 3) 120 kHz, 0.1 ms, 4) 120 kHz, 0.6 ms. Integratorutslag ved 40 dB forsterkning.

Tabell 3.2. Skygge-tetthet for ekkointegrator

Art	Frekvens (kHz)	Pulslengde (msek)	* Skygetetthet	
			Antall fisk/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Sei	38	0.3	110 <sup>m</sup> - 130	41 - 49
	38	0.6	100 - 120	38 - 45
	120	0.1	130 - 140	49 - 53
	120	0.6	120 - 130	45 - 49
Brisling	38	0.3	1800 - 2100	22 - 25
	38	0.6	1800 - 2000	22 - 24
	120	0.1	2700 - 2900	32 - 35
	120	0.6	2400 - 2600	29 - 31

#### 4. Diskusjon

Refleksjon av lyd fra et objekt i vann skjer når objektet har en akustisk impedans som er forskjellig fra vannets akustiske impedans (URICK 1967). Akustisk impedans er definert som produktet av tettheten ( $\rho$ ) av substansen og lyd hastigheten ( $c$ ) i denne substansen. Hvor stor del av en lydbølge som blir reflektert når den treffer et objekt, vil avhenge av forskjellen i akustisk impedans mellom objektet og mediet lydbølgen beveger seg i. Nå vil også objektets størrelse i forhold til bølgelengden være av betydning, en vil kunne få resonans-effekter som vil øke lydrefleksjonen.

Ved refleksjon av lydenergi fra et objekt gjelder:

$$I_e = \frac{k}{R^2} \cdot I_o$$

hvor  $I_o$  er lydintensiteten som treffer objektet,  $I_e$  er intensiteten av den reflekterte lyd i en avstand  $R$  fra objektet, og  $k$  er en koeffisient hvis størrelse er bestemt av objektets reflekterende egenskaper. Et

vanlig mål for lydrefleksjon er target strength (TS) og den defineres:

$$TS = 10 \cdot \log k$$

Når lydenergi fra en svinger treffer en fisk, vil en del av denne energien spre seg i fisken på grunn av absorpsjon, og resten vil bli spredt i alle retninger. Den delen av energien som blir reflektert tilbake til svingeren, altså størrelsesordenen av  $k$ , vil være avhengig av frekvens, vinkelen som lydbølgen treffer fisken med, fiskens størrelse og de fysiske egenskaper til fiskens reflekterende strukturer.

Ved disseksjonsforsøk har man funnet hvilke komponenter av fisken som er viktigst ved lydrefleksjon (CUSHING 1973). Svømmeblæren inneholder for det meste  $O_2$ ,  $N_2$  og  $CO_2$ , avhengig av art og dyp fisken befinner seg i (STEEN 1970). Disse gassene har en akustisk impedans som er svært forskjellig fra vannets. Ved å fjerne svømmeblæren til abbor (Perca fluviatilis) sank den reflekterte lydenergi til det halve (HARDEN JONES & PEARCE 1958). Andre organer har vist seg å bidra til refleksjoner i mindre grad, det gjelder blant annet fiskeskjell, muskelvev og fiskeskjelettet (SHIBATA 1970).

Fisken har altså en lite homogen struktur, med komplisert (akustisk sett) ytre form. På grunn av dette, og den store variasjonen mellom arter og innenfor en art (alder, kondisjon mm.) er det umulig å beregne refleksjonsegenskapene teoretisk. Refleksjonsegenskapene må bestemmes ved hjelp av eksperimentelle metoder. Det var derfor ikke ventet å finne en verdi for skygge-tetthet målt i biomasse/ $m^3$  som kunne appliseres til samtlige arter.

Fig. 3.8 viser forskjellen i absolutt integratorutslag mellom sei og brisling, som representant for stor og liten fisk henholdsvis. I Fig. 3.8.A er tettheten målt i antall fisk/ $m^3$ , og det går fram at for en bestemt tetthet er integratorutslaget størst for den store

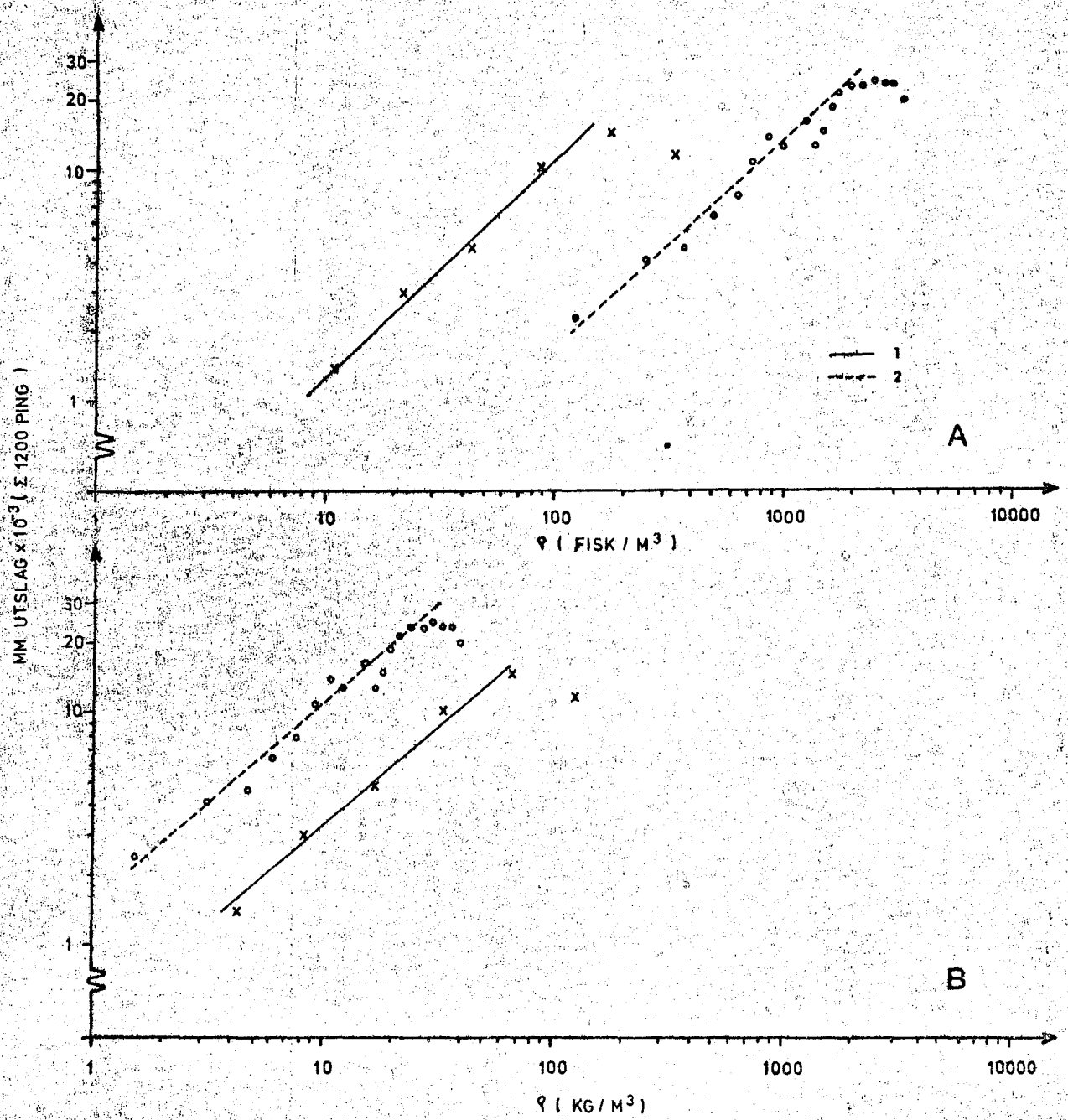


Fig. 3.8. Absolutt integratorutslag som funksjon av fiske-  
 tetthet. 1) sei, 2) brisling, A) tetthet målt  
 i fisk/m<sup>3</sup>, B) tetthet målt i kg/m<sup>3</sup>. Integrator-  
 utslag ved 40 dB forsterkning.

fisken. Det skulle være <sup>selvsagt</sup> intuitivt, da alle target strength målinger hittil av enkeltfisk viser økende target strength med økende fiskestørrelse.

I Fig. 3.8 B er tettheten målt i kg fisk/m<sup>3</sup>, og her endrer forholdet seg. Ved en bestemt tetthet har den minste fisken størst integratorutslag. Eller sagt på en annen måte, for å få et bestemt integratorutslag, må det mere biomasse pr. volumenhet av stor fisk enn av liten fisk. Dette viser hvor viktig det er å kjenne lengdefordelingen av den fiskepopulasjonen man skal foreta akustisk mengdemåling på.

Det er også en viss forskjell ved forskjellige pulslengder. Av Tabell 3.2 går det fram at en ved kortere pulslengder (0.1 ms og 0.3 ms) først får skygge-effekt ved en noe høyre fisketetthet enn ved lengre pulslengder.

Fig. 3.9 viser skjematisk en lydimpuls som treffer en fiskekonsentrasjon. Det vil gå et visst tidsrom, nemlig  $c \cdot \tau / 2$  (hvor  $c$  = lydens hastighet i sjøen, og  $\tau$  = pulslengden) før ekkot når maksimum styrke. Dette fordi refleksjonen fra fiskene som befinner seg i fronten av pulsen da vil treffe svingeren samtidig med fiskene som befinner seg øverst i konsentrasjonen, og reflekterer lydenergi fra lydimpulsens aller siste del. En kan si at først da blir lydimpulsens "kapasitet" fullt utnyttet. Ved kortere pulslengde vil det altså gå kortere tid før man får maksimalt utslag, lydimpulsen vil ikke trenge så langt ned i fiskekonsentrasjonen før dette skjer.

Ved svært tette konsentrasjoner kan så mye lydenergi bli reflektert av de øverste lagene, at lydimpulsen ikke vil klare å bygge opp det maksimale ekko av de underste lagene. Ekkoutslaget blir altså ikke lenger proporsjonalt med tettheten, en får det vi har kalt skygge-effekt. Ved kortere pulslengder vil altså pulslengden ikke gå så langt ned i konsentrasjonen, før den har bygget opp maksimalt ekko, og følgelig vil skygge-effekten først gjøre seg gjeldende ved en større tetthet.

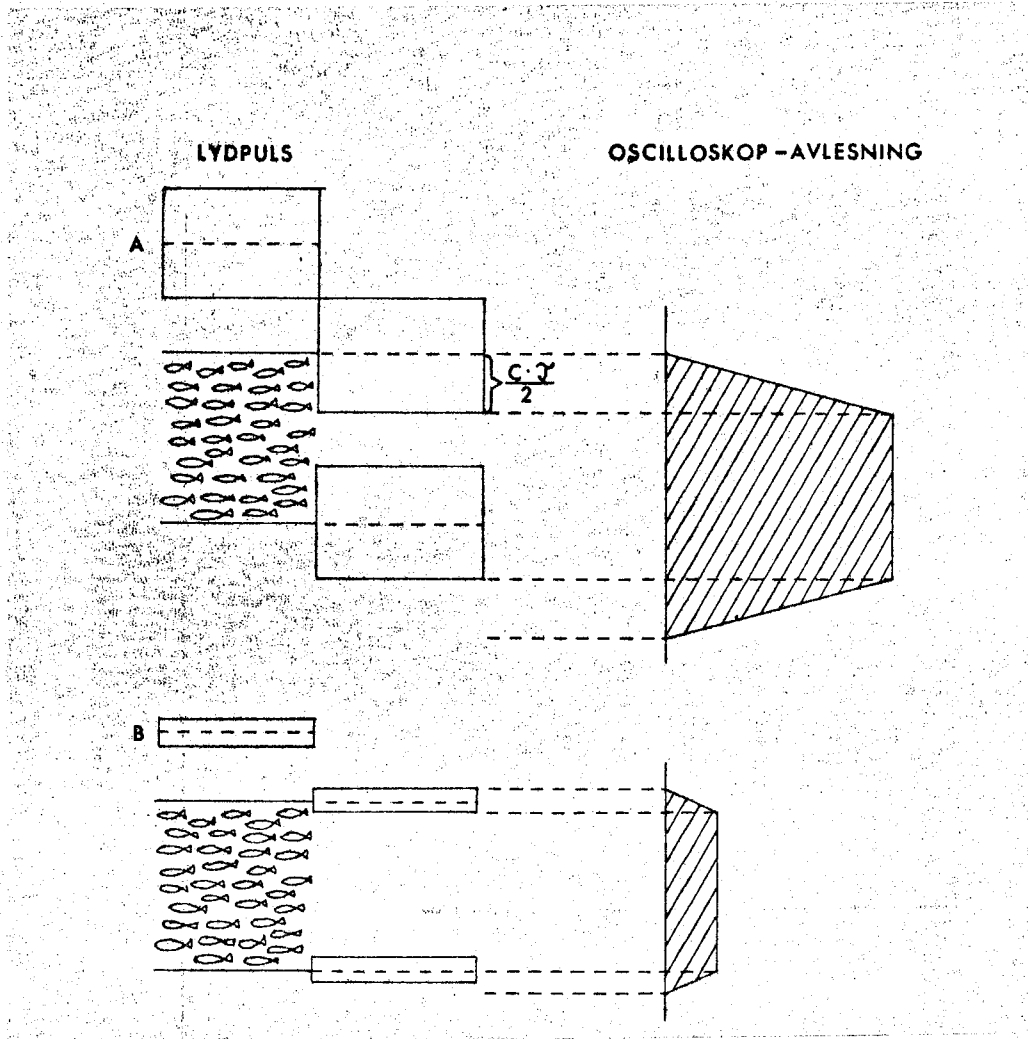


Fig. 3.9. Skjematisk framstilling av lydimpuls som treffer en fiskekonsentrasjon. A) Lang pulslengde, B) kort pulslengde,  $c$  = lydets hastighet i sjø,  $T$  = pulslengde. Tidsakse vertikalt.

Øker en fisketettheten ytterligere over skygge-tettheten, viser integratorutslaget en synkende tendens. Ut fra den foregående betraktning skulle en vente at dette skulle gjøre seg mest gjeldende for de største pulslengder og minst for de korteste. Den minste pulslengde som ble brukt under forsøket var 0.1 ms (ved 120 kHz), og av Fig. 3.4 A går det fram at integratorutslaget omtrent holder seg konstant.

En kan tenke seg at skygge-effekten forekommer når de øverste fiskene er så tett sammenpakket at den horisontale arealprojeksjon av svømmeblærene danner et ubrutt lag som lydenergien fra svingeren omtrent ikke kommer gjennom. Skygge-tettheten vil da være avhengig av hvor stort areal horisontalprojeksjonen av svømmeblæren har i forhold til horisontalprojeksjonen av hele fisken, samt størrelse på fisken. Det er derfor rimelig å vente forskjellige skygge-tettheter og forskjellig integratorutslag når denne tettheten forekommer fra art til art. Fig. 3.8 viser at verdiene er noe forskjellige for sei og for brisling.

Hvilke tettheter av fisk forekommer så i naturen? I Tabell 3.3 er det tabulert noen eksempler på naturlig fisketetthet. Verdiene i tabellen er kommet fram på forskjellig måte, noen ved direkte, og andre ved indirekte observasjon, så verdiene må bare betraktes som omtrentlige verdier.

Verdiene i Tabell 3.2 kan imidlertid ikke umiddelbart overføres til forhold man vil ha under et survey-arbeid i felt. En må ta hensyn til den begrensede utstrekningen av fiskekonsentrasjonen som jeg har målt integratorverdier av. Fig. 3.10 viser loddestimer registrert av F/F "G.O.Sars" på Kildinbanken den 25. februar 1973. Enkelte av disse stimene er over 40 m dype og over 100 m i horisontal utstrekning, og med denne størrelsen blir det et stort antall fisk i pulsvolumet.

Tabell 3.3. Noen eksempler på naturlig fisketetthet.

Art	Tetthet		Anm.	Referanse
	fisk/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>		
Mallotus villosus	1000		Gytefelt	Bakke & Bjørke (1973)
Clupea harengus	0,7 - 1,0			Truskanov & Scherbino (1966)
C. pallasii		0.2 - 0.8		Radakov (1973)
C. pallasii		30 - 32	2-3 dager før gyting	Radakov (1973)
C. pallasii	9.0 - 10.4		dag	Thorne (1973)
C. pallasii	0.012 - 1.0		natt	Thorne (1973)
Engraulis encrasicolus	650			Johannesson & Losse (1973)
E. mordax	50 - 75			Mais (1973)
Sardina pilchardus	2			Cushing (1957)
Merluccius productus		0.04 - 0.05		Thorne (1973)
Gadus morhua	1.0 - 8.0 · 10 <sup>-5</sup>			Truskanov & Scherbino (1966)
Trachurus mediterraneus	110			Johannesson & Losse (1973)
Scomber japonicus	20			van Olst & Hunter (1970)



Konsentrasjonen som jeg målte hadde en diameter på 2 m og høyde ca. 2 m, og sentrum i denne konsentrasjonen ville tilsvare et dyp på 8.6 m (Fig. 2.1). Fisken ble registrert innenfor en vinkel på  $13.2^\circ$ , og dette vil tilsvare en stor del av svingerens effektive åpningsvinkel.

Ved 38 kHz og 0.6 ms pulslengde fikk man for brisling en skyggeeffekt ved  $1800 \text{ fisk/m}^3$  (Fig. 3.5 B og Tabell 3.2), og dette tilsvarer ca. 7000 fisk i pulsvolumet. Som tidligere diskutert skyldes skyggeeffekten antagelig ikke fisketettheten i seg selv, men at svingeren "ser" en flate av fisk (eventuelt deres svømmeblærer) som ikke tilstrekkelig lydenergi slipper gjennom. Dette vil også kunne skje om fisken ikke står i direkte fysisk kontakt med hverandre, men også om de står under hverandre med lenger avstand mellom individene. Sett fra svingeren vil imidlertid arealet avta med dypet, og for at svingeren skal se det samme areal, må det være flere fisk i pulsvolumet.

Fig. 3.11 viser en slik betraktning, det er her regnet med at lodda har omtrent tilsvarende akustiske egenskaper som brisling. En har gått ut fra det opprinnelige antall fisk som var nødvendig for å gi skyggeeffekt. Pulsvolumet er så delt inn i kjeglesegment, hvor forsøksmæren er betraktet som det første segment, dens midtpunkt hadde en avstand på 8,6 m fra svingeren. Antall fisk i hvert kjeglesegment er så korrigert med hensyn på dypet. I denne betraktningen er det ikke tatt hensyn til om svømmeblærens akustiske egenskaper forandrer seg med dypet, heller ikke om den indirekte spredning av lydenergi mellom fiskene er større ved større tettheter.

Resultatene går fram av Fig. 3.11. Figuren viser tettheten i  $\text{fisk/m}^3$  som er nødvendig for å få skyggeeffekt i en stim hvis overkant er i 8.6 m dyp. En ser av figuren at dersom en stim som går ned til 25 m (f.eks. stim 12 i Fig. 3.10), må man ha en tetthet på omtrent  $210 \text{ fisk/m}^3$ . Men for en større stim som går ned til 40 m, (stim 11 i Fig. 3.10), vil man ha skyggeeffekt ved tettheter over  $170 \text{ fisk/m}^3$ .

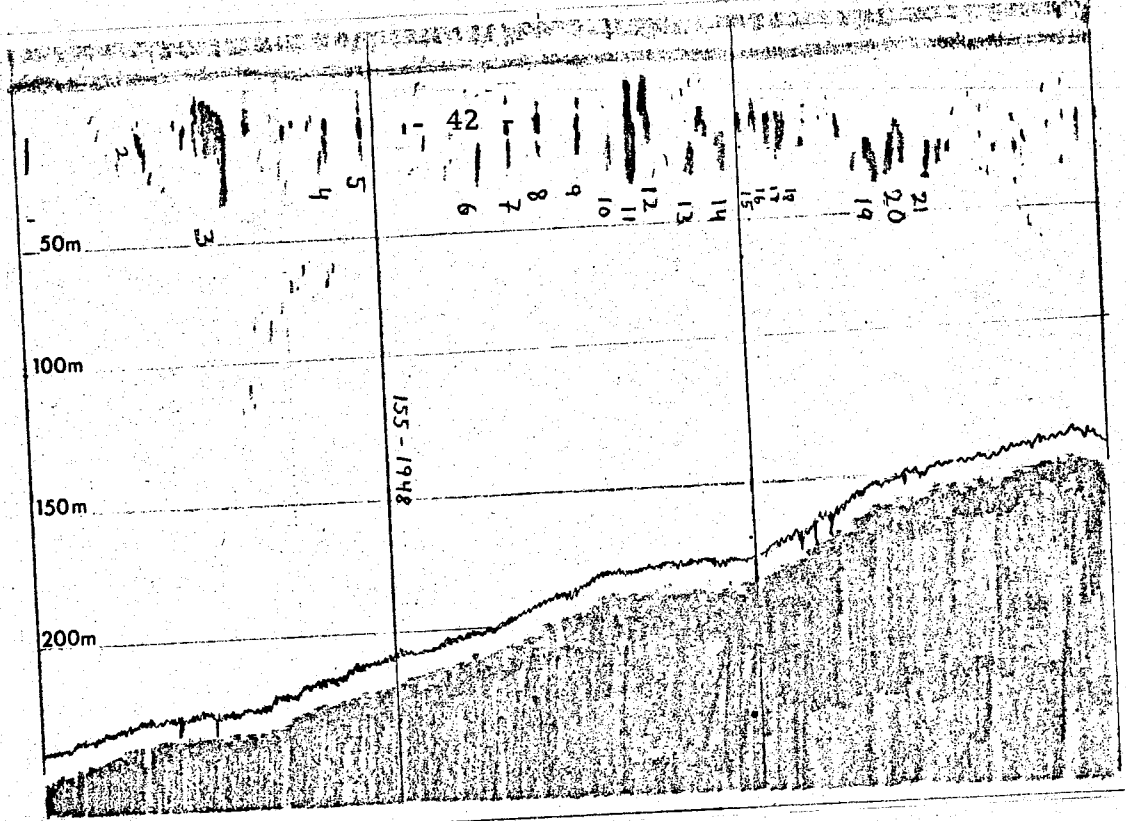


Fig. 3.10. Ekkogram av loddestimer. F/F "G.O. Sars", Kildinbanken, 25.2-1973.

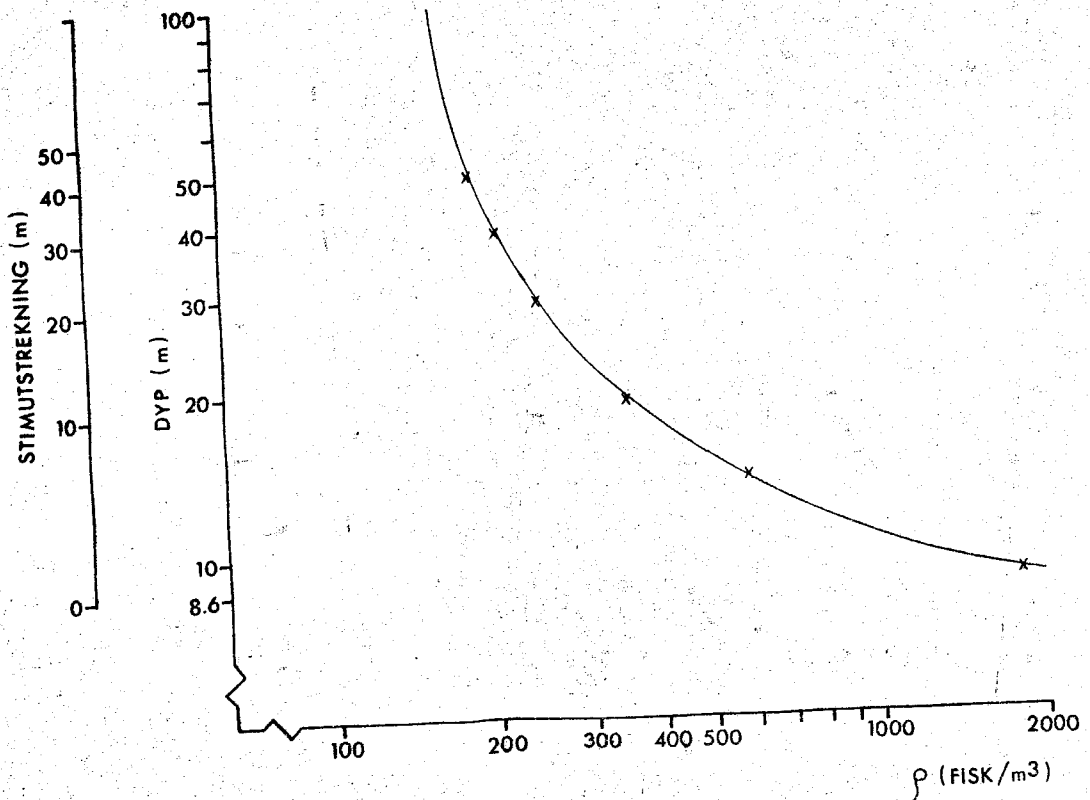


Fig. 3.11. Skygge-tetthet som funksjon av stimutsrekning. Figuren er gyldig for stimer hvis overkant står i 8.6 m dyp. (Se tekst).

Ifølge Tabell 3.3 er det flere arter som har større naturlig stimtetthet enn de verdier som er nevnt ovenfor. Konklusjonen må være at man kan ha en skygge-effekt ved registrering av pelagisk stimfisk når disse opptrer i store dype stimer. Faktorene som ble diskutert i 3.1 tyder også på at man har en skygge-effekt. Ved bruk av ekkointegrator for mengdemåling vil man derfor kunne få en underestimert mengde av fisk i disse stimer. For å få kjennskap til hvor stor denne underestimeringen er, må man ved hjelp av f.eks. undervannsfotografering, ha et bedre kjennskap til stimstruktur og fiskevinkelfordeling.

#### IV. VARIANSKOMPONENTER I AKUSTISKE BESTANDSESTIMAT

##### 1. Teori

Beregning av varianser, og dermed konfidensintervaller, av akustiske bestandsestimat er en komplisert prosess, og det er ofte vanskelig å identifisere de forskjellige varianskomponentene.

Når en svinger som er plassert over en fiskekonsentrasjon sender ut en lydimpuls, vil denne eventuelt treffe alle fiskene (Fig. 3.9), og lydenergi blir reflektert tilbake mot svingeren. LOZOW & SUOMALA (1971), MOOSE & EHRENBERG (1971) og BODHOLDT (1973) gir en teoretisk analyse av de faktorer som bidrar til størrelse og form på den reflekterte lydimpuls.

Alle forfatterne regner med at det vil være en variabilitet i ekkointegratorutslaget fra den reflekterte lydimpulsen, og årsaken til dette kan inndeles i 3 kategorier.

- 1) Fordeling av fisken innenfor pulsvolumet.
- 2) Variasjoner i faseforhold mellom ekkoene fra de individuelle fiskene.
- 3) Variasjon i target strength som skyldes forskjellige fiskevinkler og fiskestørrelser.

Andre årsaker til variabilitet kan være skipets bevegelser, støy mm., men dette blir ilagt langt mindre betydning enn de tre nevnte hovedårsaker.

Fordelingen av fisk i pulsvolumet er viktig for karakteren av den reflekterte lydimpuls. Er fiskene f.eks. tett fordelt rundt et punkt i pulsvolumet, vil det reflekterte signal være kraftig og av bare omtrent en pulslengdes varighet. Er fiskene derimot jamt fordelt i pulsvolumet, vil det reflekterte signal ha mindre amplitude, men vil ha flere pulslengders varighet.

Hvordan er så dette forholdet i naturen? Det finnes en del litteratur om strukturell oppbygging av fiskestimer, og i et større arbeid behandler BREDER (1959) dette problemet. Han angriper problemet teoretisk, og tenker seg forskjellige måter å orientere legemer på en flate. Måtene varierer fra ingen forbindelse med andre legemer (solitær), via ansamlinger med ordnet og uordnet organisasjon til ansamlinger hvor legemene har fysisk kontakt med hverandre. Han mener å ha funnet eksempler på alle disse forskjellige ansamlinger i naturen, og hver art hadde sin spesielle adferd.

Biologisk sett er en fiskestim noe mere enn en ansamling av fisk. Det er en sosial etologisk organisasjon til hvilken fisken er bundet ved en rigorøs stereotyp adferd, og i enkelte tilfeller også ved anatomisk spesialisering (SHAW 1962).

En stim vil vanligvis bestå av fisk med samme størrelse og utviklingstrinn. Dette kan komme av at det uten tvil er en direkte sammenheng mellom fiskens lengde og svømmeegenskaper, og med det svømmehastighet. Dette forholdet gjelder innenfor en og samme art.

En kan ut fra samme resonnement si at også tettheten vil være artsspesifikk, men her er det nok en del variasjon. På den ene side har man de spesialiserte pelagiske stimfisk hvor man til en

viss grad kan snakke om en bestemt stimtetthet gjennom hele fiskens liv. På den andre siden har man fisker som bare "lever i nærheten av hverandre".

Strukturen av stimen som den bestemte arten danner er imidlertid avhengig av de ytre faktorer og vil således ikke være den samme til enhver tid (RADAKOV 1973). Den vil avhenge av om det er dag eller natt (Tabell 3.3), om fisken vandrer, tar til seg føde, beskytter seg mot angrep eller gyter. Det har vært forsøkt å inndele stimer i bestemte kategorier (BREDER 1959, NIKOLSKY 1963, RADAKOV 1973), men terminologien her synes hverken å være konstant eller tilfredsstillende.

Fig. 4.1 viser brisling i forsøksmæren under måleforsøkene. Både fotografier og visuell observasjon av fisken i forsøksmæren ga ikke grunnlag for å anta at fisken skulle ha noen form for systematisk fordeling i forsøksmæren.

Det andre opphavet til varians er tilknyttet interferensen som skjer når ekkoene fra en eller flere fisker overlapper. Avhengig av deres relative fase, så vil ekkoene forsterke eller redusere styrken på det totale ekko. Imidlertid, en akustisk bølge vil bli forstyrret i sin gang gjennom mediet (dvs. sjøvannet). Det er derfor ikke mulig med noen analyse og man forutsetter at fasene er uavhengig variable og likt fordelt over intervallet  $0-2\pi$ . Fiskens vinkel i forhold til horisontalplanet er av fundamental betydning for lydrefleksjonen. Av Fig. 2.7 går det fram at en forandring i fiskevinkelen fra  $-2,5^\circ$  til  $+1,5^\circ$ , altså en forandring på  $4^\circ$ , vil medføre et refleksjonstap på hele 21.5 dB.

Det er vanskelig å si noe om hvordan aspektvinkel-distribusjonen endrer seg fra ping til ping. BELTESTAD (1974) finner at både middelværdi og spredning er forskjellig fra dag til natt. NAKKEN & OLSEN (1973) har analysert disse data, og finner at det ikke vil være noen signifikant forskjell i target strength fra disse distribu-



Fig. 4.1. Brisling i forsøksmæren under måleforsøkene.  
Tetthet 126 fisk/m<sup>3</sup>.

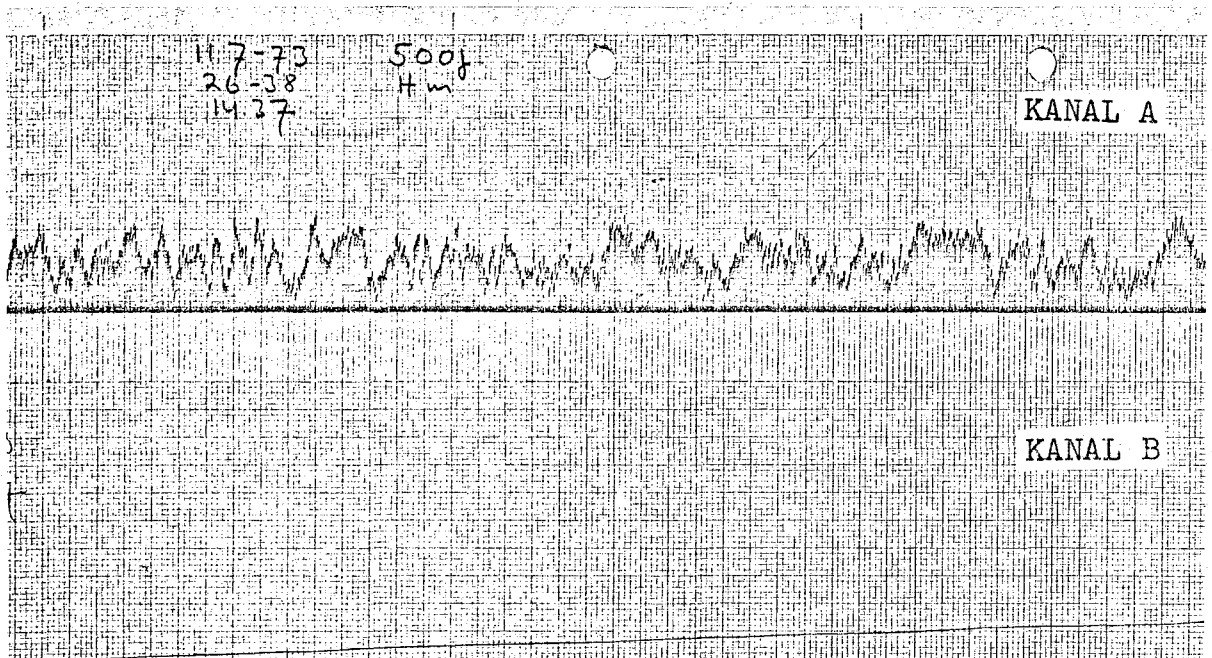


Fig. 4.2. Integratorutskrift for fiskekonsentrasjonen som er vist i Fig. 4.1. Brisling, tetthet 126 fisk/m<sup>3</sup>, 38 kHz, 0.6 ms. Kanal A: enkeltping, kanal B:  $\sum$  enkeltping.

sjonene, fordi middelet i dagobservasjonen er nærmere vinkelen som gir maksimum target strength, og dette vil kompensere for spredningen fra dag til natt. Relativt små forandringer i fiskens lengde vil også føre til forandring av target strength (NAKKEN & OLSEN, op. cit.).

## 2. Target strength for en fiskekonsentrasjon.

Et vanlig mål for fiskens refleksjonsstyrke er target strength (3.4). Dersom fisken var sprett og regelmessig fordelt i pulsvolumet (slik at det ikke var noen akustisk påvirkning mellom fiskene, så vil target strength for denne fiskekonsentrasjonen eller stim være lik den gjennomsnittlige target strength for individene pluss logaritmen til antall fisk multiplisert med 10. I prinsippet skulle det derfor være mulig å kvantifisere en stim dersom man kjente stimens target strength. Det ville være ønskelig å få overført stimtetthet til target strength verdier, fordi dette er en faktor som inngår i sonarligningen:

$$EL = SL + TS - 2H$$

Beregning av target strength (TS) omfatter bare direkte målbare størrelser, ekkolevel (EL), source level (SL) og to-vegs transmisjonstap (2 H).

Imidlertid, det er lite sannsynlig at man i naturen finner en stim hvor det ikke er noen akustisk påvirkning mellom individene. Target strength verdien for stimen vil alltid bli modifisert av varianskomponentene som er diskutert i 4.1.

Et mål for refleksjonsstyrken til stimen er midlere integratorverdi målt i mm utslag. Denne kan omregnes til target strength verdi ved å sammenligne dette utslaget med integratorutslaget for en referansekule med kjent target strength verdi (2.6 d).

Denne kula ble målt på akustisk akse, og en må derfor korrigere for fisken som befinner seg i ulik avstand fra akustisk akse. Til dette benyttes arealene fra retningsdiagrammet (Fig. 2.5), og framgangsmåten for korrigeringen er beskrevet i CRAIG & FORBES (1969). Korreksjon på grunn av forskjellig vertikal avstand ble ikke betraktet som signifikant på grunn av liten avstand fra punktet hvor kula ble målt ( $\pm 0.9$  m).

### 3. Standard avvik

En typisk utskrift av ekkointegratoren er vist i Fig. 4.2. Fig. 4.1 viser et bilde av denne fiskekonsentrasjonen. Hver stolpe i kanal A er et uttrykk for det totale reflekterte signal i hvert enkeltping, og kanal B viser alle disse signalene summert. Før den videre behandling ble mærsignalet (Tabell 3.1) trukket fra.

Middelverdien i mm av enkeltpingutslagene blir et uttrykk for middelverdien av total kvadrert spenning for den bestemte fiskekonsentrasjon det gjelder. Det ble avlest 100 enkeltping fra hver konsentrasjon. Ved en grafisk test (SOKAL & ROHLF 1969) viste enkeltpingfordelingen seg å være tilnærmet normalfordelt. Middelverdi og standard avvik for enkeltpingfordelingen ble derfor beregnet som for normalfordelt materiale.

På teoretisk grunnlag har LOZOW & SUOMALA (1971) utledet et uttrykk for standard avvik av en slik enkeltpingfordeling. Den er funnet å være 100% av middelverdien. Standard avvik er det vanlige mål for fluktuasjon, og en ser at den er meget stor.

### 4. Konfidensintervall

Et akustisk bestandsestimat bør inneholde et mål for mulige feil i estimatet. I anvendt statistikk gjøres dette vanligst ved å innføre konfidensintervallbegrepet.



Konfidensintervall i mm utslag av pingfordelingen finnes på vanlig måte for normalfordelt materiale når man har bestemt seg for hvilket konfidensnivå man vil bruke. I alle figurene og i diskusjonen i dette kapittelet har jeg brukt 95 % konfidensintervall. Øvre og nedre konfidensintervall kan omregnes til target strength verdier på tilsvarende måte som middelverdien (4.2).

## 5. Resultater

I dette kapittelet har jeg bare behandlet resultatene fra 38 kHz og 0.6 ms, den mest brukte frekvens og pulslengde ved norske fiskeriundersøkelser.

Fig. 4.3 viser verdiene for standard avvik i % av middelverdien som funksjon av antall ping for sei og brisling. Det er tatt med verdier både for høg og lav fisketetthet.

Fig. 4.4 og 4.5 viser target strength som funksjon av fisketetthet for henholdsvis sei og brisling. Det er avsatt middelverdi og 95 % konfidensintervall for de forskjellige fiskekonsentrasjoner utregnet på basis av henholdsvis 50 ping og 100 ping.

Som tidligere beskrevet ville target strength for en stim hvor det ikke var noen akustisk påvirkning mellom individene være:

$$TS_{s.f} = TS_f + 10 \cdot \log n$$

$$TS_{s.f} = \text{target strength for stimen}$$

$$TS_f = \text{gjennomsnittlig target strength for individene i stimen. Verdier for gjennomsnittlig target strength fra NAKKEN \& OLSEN (1973). Dette kan også kalles felt-target strength.}$$

$$n = \text{antall individ i stimen}$$

Dersom individene i stimen var orientert slik at lydrefleksjonen var maksimal, ville target strength verdier for de forskjellige tettheter følge:

$$TS_{s.maks} = TS_{maks} + 10 \cdot \log n$$

$$TS_{s.maks} = \text{maksimal target strength for stimen.}$$

$$TS_{maks} = \text{maksimal target strength for individene i stimen. Disse verdier er oppgitt i NAKKEN \& OLSEN (op. cit.)}$$

## 6. Diskusjon

Den teoretiske verdien for standard avvik var 100 % av middelve-  
dien. Av Fig. 4.3 går det fram at de målte verdier for standard  
avvik ligger mellom 90 % og 50 % av middelve-  
dien, altså ikke helt i overensstemmelse med den teoretiske verdi. Verdien av  
standard avvik er altså hele tiden lavere enn den teoretiske verdi,  
og verdiene er lavest for de største tettheter. Dette kan skyldes  
mindre variasjon i fiskevinkelen. Når tettheten øker, må individene  
etter hvert orientere seg i samme retning for at de skal kunne  
opprettholde tilstrekkelig individuell avstand.

Av Fig. 4.4 og Fig. 4.5 går det fram at de målte verdier ligger  
under begge de teoretiske kurvene ved de laveste tettheter. Ved  
lave tettheter svømte fisken i ring i forsøksmæren. En vil da  
kunne få lav verdi p.g.a. at ingen av fiskene befinner seg nær  
akustisk akse. Korrigeringen som er utført forutsetter jamn for-  
deling av fisk i direktivitetsdiagrammet.

Ved økende tettheter ligger de målte verdier over kurven for gjennem-  
snittlig target strength. Når tettheten øker, må fisken etter hvert  
orientere seg i samme retning, og dette vil føre til mindre spredning  
i fiskevinkeldistribusjonen. Dersom gjennomsnittlig fiskevinkel  
ligger nær vinkelen for maksimum target strength for fisken, vil  
target strength for stimen bli høyere enn beregnet ut fra relasjonen  
 $TS_{s.f} = TS_f + 10 \cdot \log n$ . Målingene synes derfor å bekrefte at i  
felt vil target strength av en fiskekonsentrasjon følge  $TS_f + 10 \log n$   
så lenge man har proporsjonalitet mellom integratorutslag og fiske-

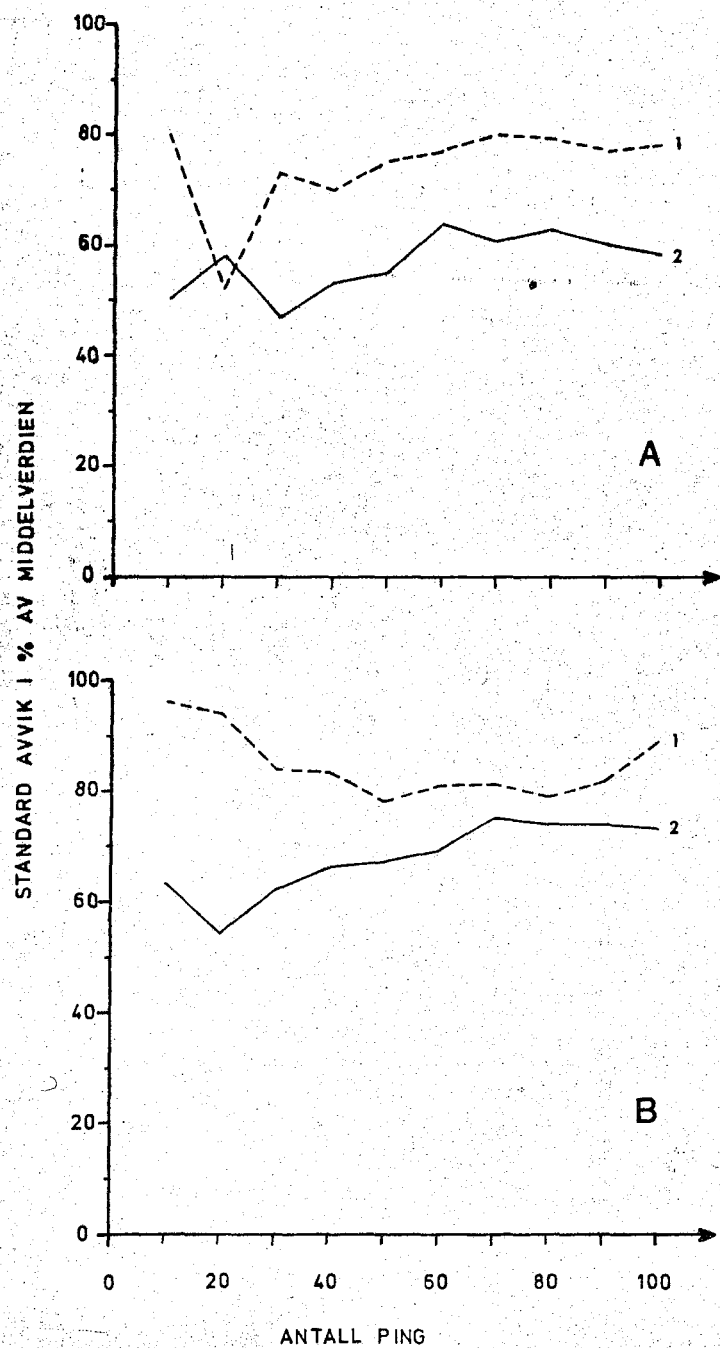


Fig. 4.3. Standard avvik i % av middelveiden som funksjon av antall ping. A: sei, 1) 11 fisk/m<sup>3</sup>, 2) 343 fisk/m<sup>3</sup>. B: brisling, 1) 126 fisk/m<sup>3</sup>, 2) 3282 fisk/m<sup>3</sup>.

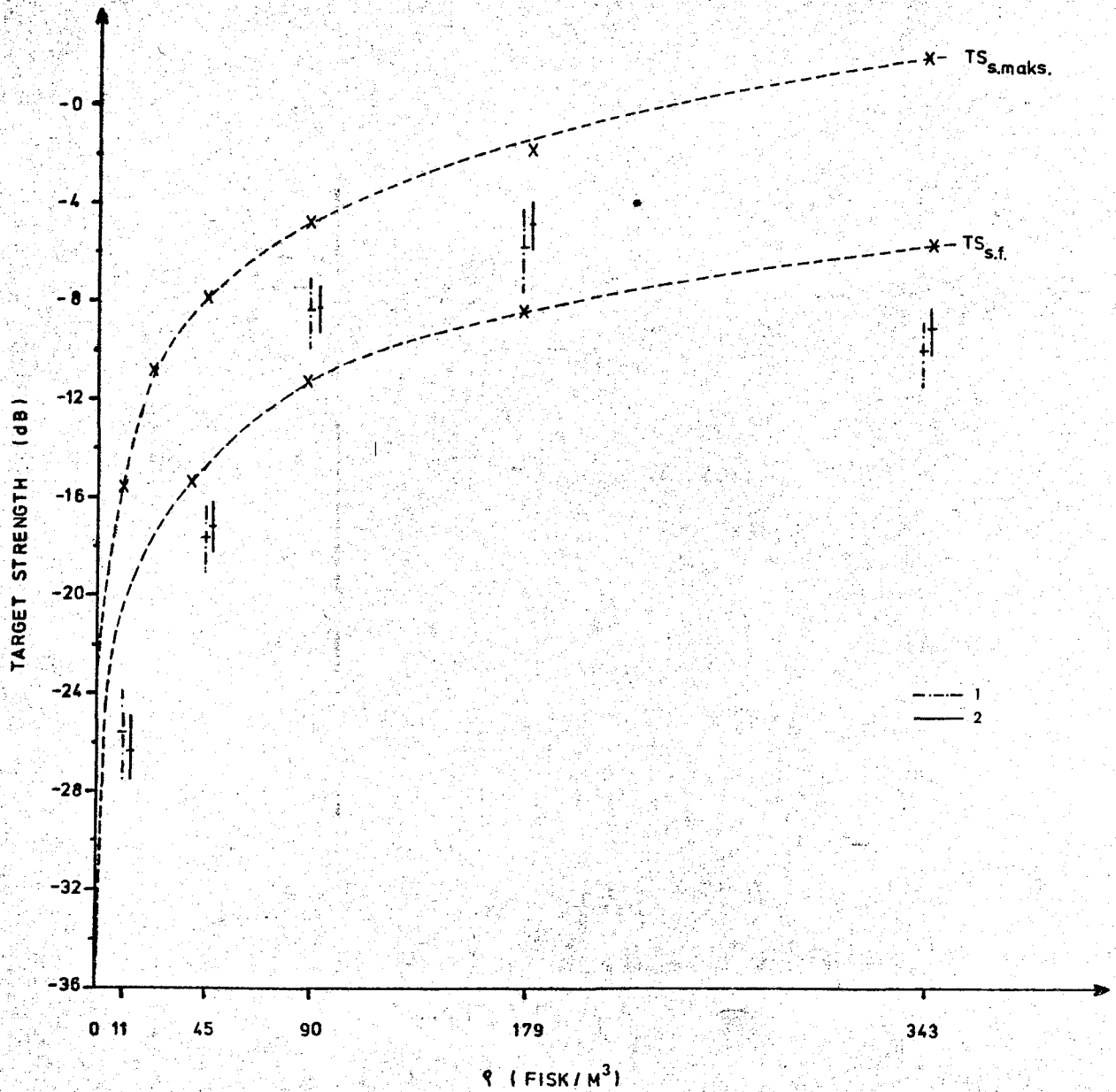


Fig. 4.4. Target strength som funksjon av fisketetthet. (Sei, 38 kHz, 0.6 ms). 1) 95 %- konf.int. (50 ping), 2) 95 %- konf.int. (100 ping). Forklaring for  $TS_{s.maks}$  og  $TS_{s.f}$  er gitt i teksten.

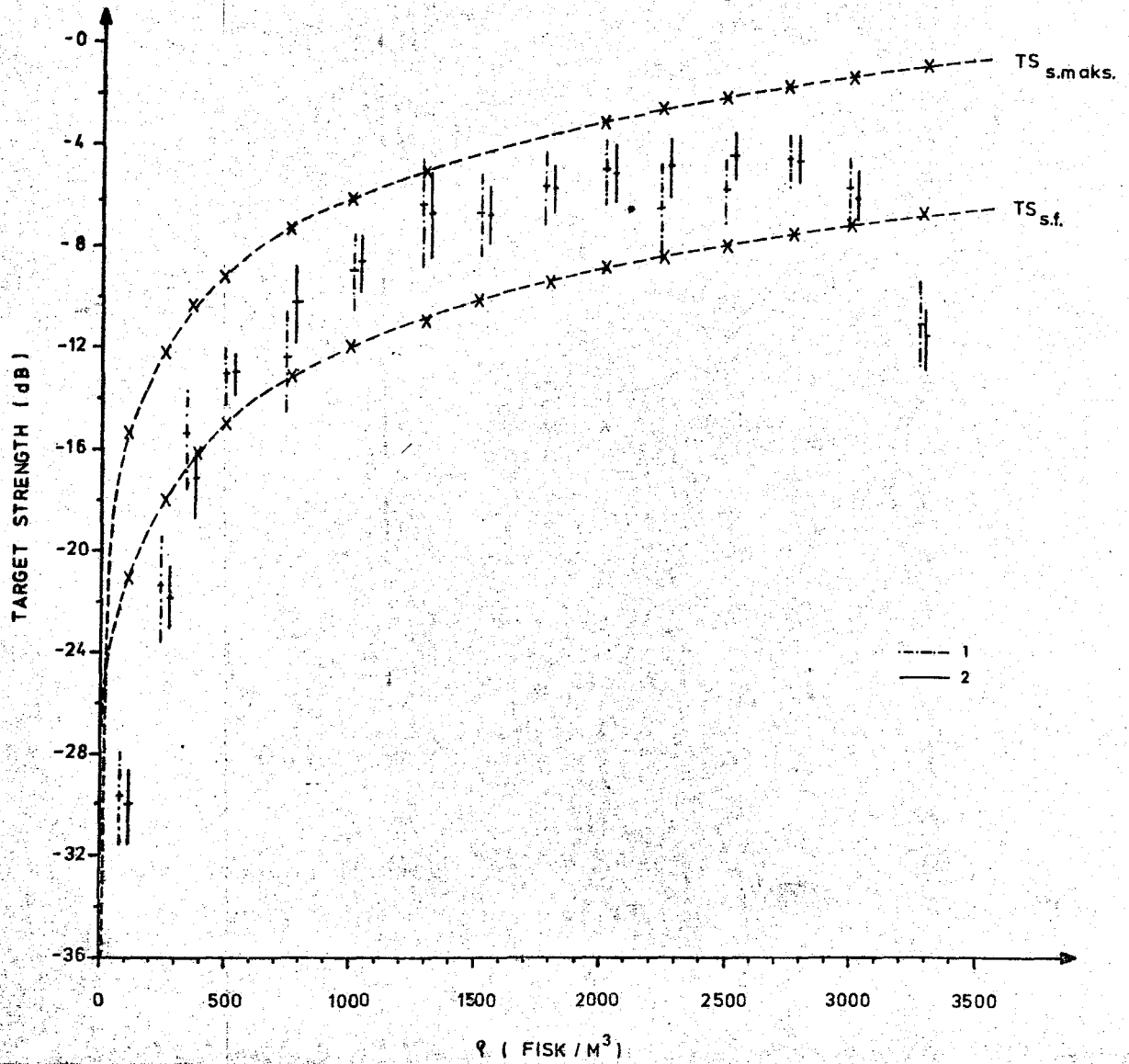


Fig. 4.5. Target strength som funksjon av fisketetthet. (Brisling, 38 kHz, 0.6 ms). Tegnforklaring som Fig. 4.4.

tetthet. Dette gjelder både for sei og brisling. For å beregne  $TS_f$  må man altså ha kjennskap til fiskevinkelfordelingen, og i dag er data om dette bare kjent for et begrenset antall arter. (OLSEN 1971, BELTESTAD 1974).

På Fig. 4.4 og Fig. 4.5 er det ført opp 2 estimat, et beregnet på grunnlag av 50 enkeltping, og et beregnet på grunnlag av 100 enkeltping.

Fig. 4.6 viser target strength estimat for en fiskekonsentrasjon på 11 sei/m<sup>3</sup> som funksjon av antall ping. Dette er korrelerte verdier, slik at enkeltpingverdiene som danner grunnlag for utregning av parametrene ved f. eks. 50 ping, også er inkludert i utregningene ved 100 ping. Det er en øking av presisjonen av estimatet fra 10 ping til 100 ping. Ved 10 ping går 95 % konfidensintervallet helt fra -23.5 dB til -33 dB, og ved 100 ping er dette redusert til  $\pm 1.5$  dB.

Et surveyfartøy vil altså observere en sekvens av forskjellige enkeltpingverdier etter som det går over en fiskekonsentrasjon (Fig. 4.2), selv om fiskekonsentrasjonen har lik tetthet over det hele, og individene har tilnærmet lik target strength. Årsakene til dette er diskutert i 4.1. Hvor mange ping som vil treffe en fiskekonsentrasjon, vil avhenge av konsentrasjonens utstrekning og dypet den står i, dessuten surveyfartøyets hastighet og ekkoloddets pingrate og direktivitet.

Et eksempel på dette er framstilt i Fig. 4.7. Den viser target strength verdiene med 95 % konfidensintervall for en tenkt fiskekonsentrasjon med radius 100 m og høyde 2 m. Som basis for beregningene er brukt verdiene i Fig. 4.6.

Presisjonen øker ved økende dyp, og den øker ved å redusere surveyhastigheten. Dette er en følge av at fiskekonsentrasjonen da blir truffet av flere enkeltping. Dette gjelder altså en avgrenset

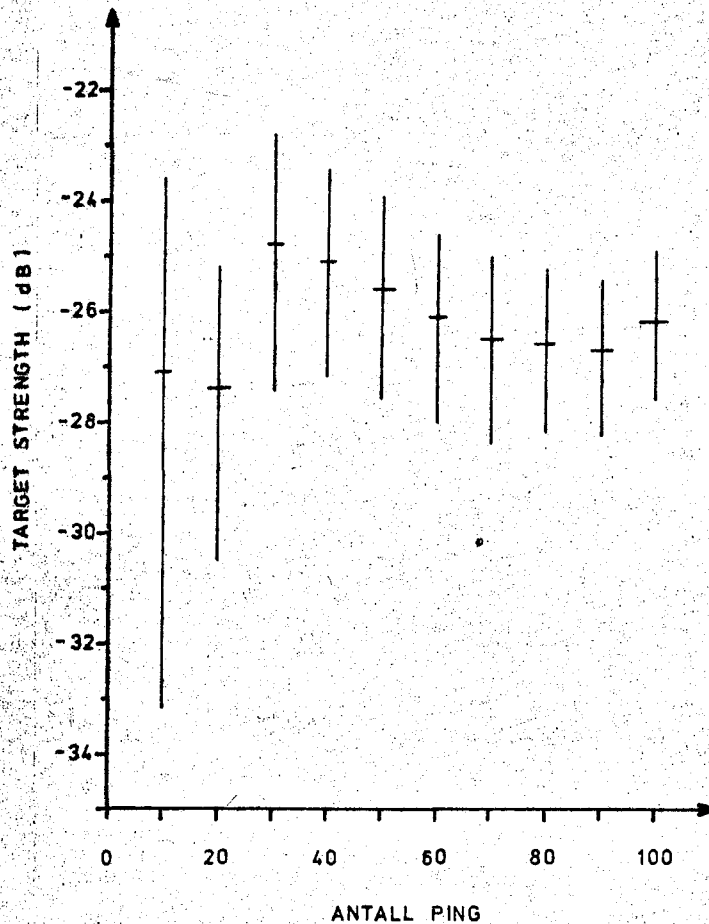


Fig. 4.6. Target strength med 95 % konf.int. som funksjon av antall ping for fisketetthet 11 sei/m<sup>3</sup>. (38 kHz, 0.6 ms).

fiskekonsentrasjon. Ved undersøkelser over havområder kan det som man forbedrer presisjonen av estimatet ved å redusere surveyhastigheten, tapes ved at utbredelse og mengdefordelingen blir mindre synoptisk.

100 enkeltping ga et 95 % konfidensintervall på omtrent  $\pm 1.5$  dB. (Fig. 4.6). I bestandsestimater vil dette være i størrelsesorden  $\pm 50$  % av middelverdien. Bestandsestimater med dette presisjonsnivå kan være tilstrekkelig i fiskeribiologisk sammenheng. Men man må vente at når fisket blir mere sammensatt, forskjellig redskap, flere arter og gjerne over store områder, vil behovet for mere nøyaktig informasjon øke (GULLAND 1974).

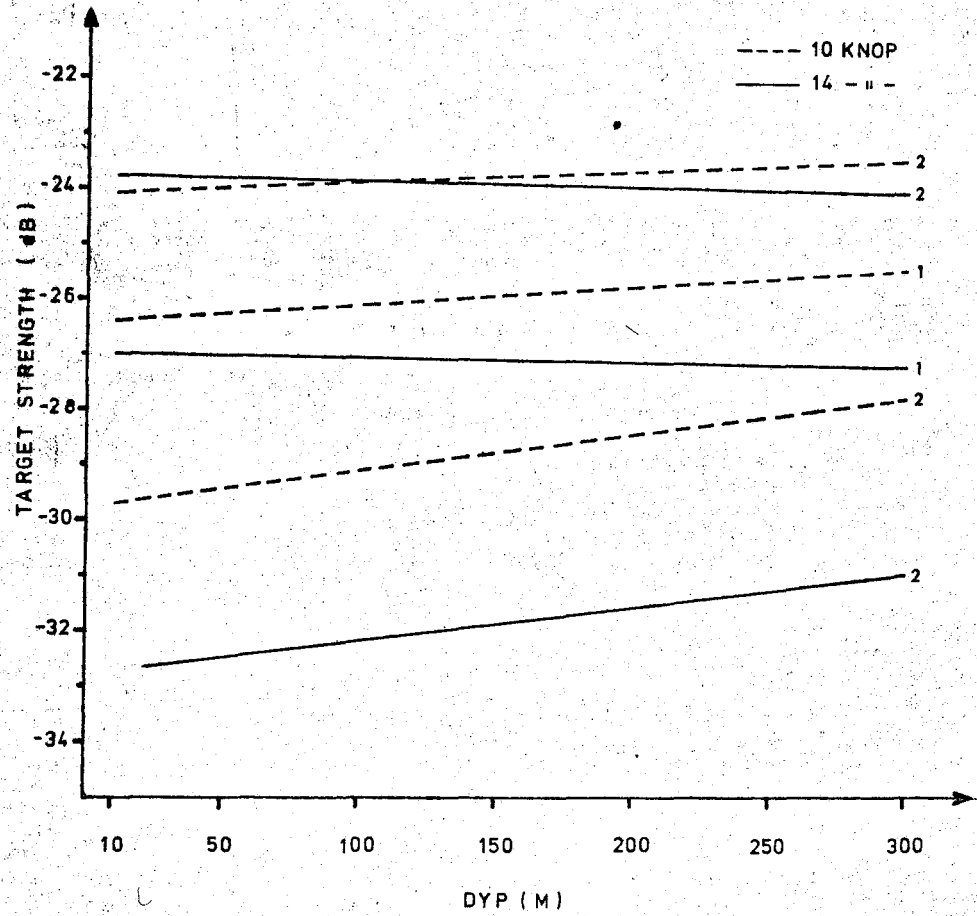


Fig 4.7. Target strength med 95 %-konf.int. for gadoid fiskekonsentrasjon (radius 100 m, høgde 2 m, tetthet 11 fisk/m<sup>3</sup>) som funksjon av dyp ved forskjellig surveyhastighet. 38 kHz, 0.6 ms, pingrate 48 ping/min, åpningsvinkel 9°. 1) Middelerdi, 2) 95 %-konf.int.



Presisjonen av akustiske bestandsestimat vil øke med antall enkelt-ping, og disse vil sjelden være avgrenset til ca. 100 fra en fiske-konsentrasjon. Det kan være tilfellet i små fjordområder etc. Ved surveyarbeid over et havområde vil pingantallet fra en fiske-konsentrasjon normalt være uendelig.

Størrelsesorden av standard avvik for en bestemt fisketetthet er nå kjent (Fig. 4.3). Det ser ikke ut til å være noen prinsipiell forskjell fra art til art. Det ser ut til at standard avvik målt i prosent av middelveien synker noe ved økende tetthet, men konfidensinter-vallet målt i antall fisk, tonn eller hl pr. areal vil være størst for de største tettheter ved et bestemt antall enkeltping. I løpet av et tokt vil man hele tiden motta fortløpende informasjon om størrelses-orden av fisketettheten (MIDTTUN & NAKKEN 1973). Kursnettet må fastlegges etter denne informasjonen, med tettere kursnett ved økende fisketettheter.

I kapittel II ble usikkerhetsmomentene ved akustisk bestandsbe-regning skissert opp:

1. Usikkerhetsmomenter som skyldes innebygget variasjon i miljøet.
2. Usikkerhetsmomenter som skyldes for dårlig kjennskap til akustiske og biologiske parametre som inngår i bestands-beregninger.

Innebygget variasjon i miljøet er diskutert i 4.1, og disse usikker-hetsmomenter kan reduseres ved å øke prøvetakingen, i dette til-fellet antall enkeltping. Men man kan likevel gjøre store feil på grunn av forhold som er nevnt i punkt 2. Denne oppgaven har hatt til hensikt å belyse noen slike parametre, gyldighetsområdet mellom integrert ekkointensitet og fisketetthet, og beregning av target strength for en fiskekonsentrasjon.

## V. SAMMENDRAG

1. Det er målt gyldighetsområde for forskjellige tettheter av sei, brisling og makrell. For sei og brisling er gyldighetsområdet for proporsjonaliteten mellom integrert ekkointensitet og fisketetthet bestemt.
2. Disse data er forsøkt anvendt på forhold man vil ha under surveyarbeid i felt. Undersøkelsen konkluderer med at under enkelte forhold vil man ha en skygge-effekt ved registrering av pelagisk stimfisk. Dette vil resultere i en underestimering av mengde fisk i stimene.
3. Det ble estimert target strength for forskjellige tettheter av sei og brisling.
4. Målingene synes å bekrefte at target strength for en fiske-tetthet følger verdiene som er estimert i NAKKEN & OLSEN (1973) for "forventet target strength i felt".
5. En kritisk verdi i estimering av bestandsstørrelsen er standard avvik av estimatet, og denne er funnet til å være 50 % - 90 % av middelveiden, avhengig av tetthet. De forskjellige komponenter som bidrar til varians i akustiske bestandsestimat er diskutert.

VI. TAKK

Uten god hjelp fra en rekke personer ville det ikke ha vært mulig å gjennomføre denne hovedfagsoppgaven. Jeg kan bare nevne noen.

Jeg vil først takke forsker Odd Nakken for ideen til oppgaven, og for alltid å ha funnet tid til å diskutere problemer som oppsto underveis.

En takk til følgende av Havforskningsinstituttets personale som hjalp til med utstyr eller ombord på flåten ved Lepsøy i kortere og lengre tidsrom: Håkon Hella, Walter Løtvedt, Kjell Olsen, Arvid Romslo, Ingvar Svellingen og Gudmund Vestnes.

Jeg vil også takke Erling Askvik og Henry Bruarøy for fangst og transport av fisk som ble brukt under målingene.

Takk til NFFR som delvis har finansiert undersøkelsen.

En takk til professor Olav Dragesund, personale og studenter ved NFH for mange gode råd.

Til slutt vil jeg takke Elna Sælen for maskinskrivning av oppgaven og Askjell Raknes for rentegning av figurer.

VII. LITTERATUR

- ✓ BAKKE, S. & BJØRKE, H. 1973. Diving observations on Barents Sea capelin at the spawning grounds off northern Norway. FiskDir. Skr. Ser. HavUnders., 16 (4): 140 - 147.
- ✓ BELTESTAD, A.K. 1974. Beiteadferd, vertikalvandring og stimdannelse hos O-gruppe sild (Clupea harengus L.) i relasjon til lysintensiteten. Hovedoppgave i fiskeribiologi. Norges Fiskerihøgskole - Universitetet i Bergen. Upublisert. Deponert ved Universitetsbiblioteket i Bergen: 80 s.
- ✓ BODHOLDT, H. 1973. Variance error in echo integrator output. ICES/ FAO/ICNAF - Symposium on Acoustic Methods in Fisheries Research, Bergen, June 1973. Contribution no. 33: 1 - 22. [Mimeo.]
- ✓ BREDER, C.M., Jr. 1959. Studies on social groupings in fishes. Bull. Am. Mus. nat. Hist., 117 (6): 397 - 481.
- ✓ CASTELLO, J.P. & HAMRE, J. 1969. Age and growth of mackerel from Skagerak and the northern North Sea. Coun. Meet. int. Coun. Explor. Sea, 1969 (H: 7): 1 - 6. [Mimeo.]
- ✓ CRAIG, R.E. & FORBES, S.T. 1969. Design of a sonar for fish counting. FiskDir. Skr. Ser. HavUnders., 15 (3): 210 - 219.
- ✓ CUSHING, D.H. 1957. The number of pilchards in the Channel. Fishery Invest., Lond., Ser. 2, 21 (5): 27 s.

- ✓ CUSHING, D.H. 1973. The detection of fish. Pergamon Press Ltd., Oxford. 200 s.
- ✓ DRAGESUND, O. & OLSEN, S. 1965. On the possibility of estimating year-class strength by measuring echo abundance of O-group fish. FiskDir. Skr. Ser. HavUnders., 13 (8): 48 - 62.
- ✓ FORBES, S. & NAKKEN, O. 1972. Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. Part 2. The use of acoustic instruments for fish detection and abundance estimation. FAO Man. Fish. Sci. (5): 138 s.
- ✓ GULLAND, J.A. 1971. Science and Fishery Management. J. Cons. perm. int. Explor. Mer, 33 (3): 471 - 477.
- ✓ - 1974. Fishery Science, and the problems of management. S. 413 - 429 i HARDEN JONES, F.R., ed. Sea fisheries research. Elek science Ltd., London.
- ✓ HARDEN JONES, F.R. & PEARCE, G. 1958. Acoustic reflexion experiments with perch (Perca fluviatilis L.) to determine proportion of the echo returned by the swim bladder. J. exp. Biol., 35 (2): 437 - 450.
- ✓ JOHANNESSEN, K.A. & LOSSE, G.F. 1973. Some results of observed abundance estimation obtained in several UNDP/FAO resource survey projects. ICES/FAO/ICNAF: Symposium on Acoustic Methods in Fisheries Research, Bergen, June 1973. Contribution no. 3: 1 - 77.  
[Mimeo.]
- ✓ JOHANNESSEN, K.A. & ROBLES, A.N. 1973. Echo surveys of Peruvian anchoveta. ICES/FAO/ICNAF: Symposium on Acoustic Methods in Fisheries Research, Bergen, June 1973. Contribution no. 54: 1 - 8. [Mimeo.]

- ✓ LOVE, R.H. 1971. Measurements of fish target strength: a review. Fishery Bulletin: 69 (4): 703 - 715.
- ✓ LOZOW, J. & SUOMALA, J., Jr. 1971. The application of hydro-acoustic methods for aquatic biomass measurements, a note on echo envelope sampling and integration. Massachusetts Institute of Technology, Charles Stark Draper Laboratory, Cambridge, MA, Report R - 712.
- ✓ MAIS, K.F. 1973. Acoustic surveys of northern anchovies in the California current system, 1966 - 1972. ICES/FAO/ICNAF - Symposium on Acoustic Methods in Fisheries Research, Bergen, June 1973. Contribution no. 4: 1 - 20. [Mimeo.]
- ✓ MIDTTUN, L. & HOFF, I. 1962. Measurements of the reflection of sound by fish. FiskDir. Skr. Ser. HavUnders., 13 (3): 1 - 18.
- ✓ MIDTTUN, L. & NAKKEN, O. 1968. Counting of fish with an echo integrator. Coun. Meet. int. Coun. Explor. Sea, 1968 (B : 17): 1 - 2. [Mimeo.]
- ✓ - 1971. On acoustic identification, sizing and abundance estimation of fish. FiskDir. Skr. Ser. HavUnders., 16 (1): 36 - 48.
- 1973. Some results of abundance estimation studies with echo integrators. ICES/FAO/ICNAF: Symposium on Acoustic Methods in Fisheries Research, Bergen, June 1973. Contribution no. 38: 1 - 8. [Mimeo.]
- ✓ MOOSE, P.H. & EHRENBERG, J.E. 1971. Variance of the abundance estimate obtained with an echo integrator. J. Fish. Res. Board Can. 28 (9): 1293 - 1301.

- ✓ NAKKEN, O. & OLSEN, K. 1973. Target strength measurements of fish. ICES/FAO/ICNAF: Symposium on Acoustic Methods in Fisheries Research, Bergen, June 1973. Contribution no. 24: 1 - 33. [Mimeo.]
- ✓ NAKKEN, O. & VESTNES, G. 1970. Ekkointegratoren, et apparat til å måle fisketetthet. Fiskets Gang, 56 (51): 932 - 936.
- ✓ NIKOLSKY, G.V. 1963. The ecology of fishes. Academic Press Inc., London. 352 s.
- ✓ OLSEN, K. 1971. Orientation measurements of cod in Lofoten obtained from underwater photographs and their relation to target strength. Coun. Meet. int. Coun. Explor. Sea, 1971 (B : 17): 1 - 8. [Mimeo.]
- ✓ RADA KOV, D.V. 1973. Schooling in the ecology of fish. John Wiley & Sons, New York. 173 s.
- ✓ SCHEFLER, W.C. 1969. Statistics for the biological sciences. Addison-Wesley Publishing Co. Inc., USA 231 s.
- ✓ SHAW, E. 1962. The schooling of fishes. Scient. Am., 206 (6): 128 - 138.
- ✓ SHIBATA, K. 1970. Study on details of ultrasonic reflection from individual fish. Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ. 29: 1 - 82.
- ✓ SOKAL, R.R. & ROHLF, F.J. 1969. Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. W.H. Freeman & Co., San Francisco. 776 s.
- ✓ STEEN, J.B. 1970. The swim bladder as a hydrostatic organ. S. 413 - 443 i HOAR, W.S. & RANDALL, D.J., eds. Fish physiology, Vol. IV. Academic Press, New York, London.

- ✓ SUND, O. 1911. Undersøkelser over brislingen i norske farvand. Årsberetn. Norg. Fisk. 1910: 357 - 474.
- ✓ THORNE, R.E. 1973. Acoustic assessment of pacific hake and herring stocks in Puget Sound, Washington, and southeastern Alaska. ICES/FAO/ICNAF: Symposium on Acoustic Methods in Fisheries Research, Bergen, June 1973. Contribution no. 15: 1 - 30. [Mimeo.]
- ✓ TRUSKANOV, M.D. & SCHERBINO, M.N. 1966. Methods of direct calculation of fish concentrations by means of hydro-acoustic apparatus. Res. Bull. Int. Comm. NW. Atlant. Fish., 3: 70 - 80.
- ✓ URICK, R.J. 1967. Principles of underwater sound for engineers. McGraw-Hill Book Company, New York. 342 s.
- ✓ VAN OLST, J.C. & HUNTER, J.R. 1970. Some aspects of the organization of fish schools. J. Fish. Res. Board Can. 27 (7): 1225 - 1238.
- ✓ YUDANOV, K.I., SUOMALA, J.B., Jr., VOROBYOV, V.M. & SMITH, K.A. 1974. Preliminary report of the first joint USA-USSR hydroacoustic experiment in the ICNAF convention area 11 March - 15 April 1974. Massachusetts Institute of Technology, Charles Stark Draper Laboratory, Cambridge, MA, Report C-4117.



