

EKKOINTEGRATOREN. ET APPARAT FOR Å MÅLE FISKETETTHET

[The echo integrator. An apparatus for measuring fish density]

Av

ODD NAKKEN og GUDMUND VESTNES
Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt

INNLEDNING

Siden Bokn (ANON. 1934) og SUND (1935) presenterte de første ekkoregistreringer av henholdsvis brisling og skrei, har alle brukere av sonar og ekkolodd stillet seg følgende spørsmål: Hvor mye fisk tilsvarende disse registreringene? Hittil har svaret på dette spørsmål som oftest vært basert på en vurdering av ekkogrammet. Når fiskene registreres som enkeltindivider, finnes antallet per nautisk mil ved vanlig telling. Dersom enkeltfisk ikke kan skilles ut, bruker en følgende retningslinjer: Når registreringen er svart, tett og har stor utstrekning, representerer den mye fisk. Er registreringen tynn, med liten utstrekning, representerer den lite fisk.

Disse retningslinjene har vært brukt ved Havforskningsinstituttet i flere år for å mengdegradere ekkoloddregistreringene (DRAGESUND 1970). Det brukes en skala som går fra 0 til 4 slik: 0 = ingenting, 1 = meget spredt, 2 = spredt, 3 = tett, 4 = meget tett. Observasjoner som er fremkommet på denne måten kan bare direkte sammenlignes hvis de er hentet fra samme type ekkolodd med samme innstilling av forsterkning, effekt, område, pulslengde etc. Observatørens erfaring er også av vesentlig betydning ved vurderingen av ekkogrammene.

Allerede i slutten av 1950-årene var behovet for et måleinstrument, for ekkoloddregistreringer stort. I begynnelsen og midten av 1960-årene ble ekkointegratoren utviklet og tatt i bruk ombord i H/F «G. O. Sars» (DRAGESUND and OLSEN 1965). Senere er instrumentet blitt videreutviklet og er nå i kommersiell produksjon (BØDHOLT 1969). Det er blitt nyttet i en rekke av Havforskningsinstituttets undersøkelser (BAKKEN 1970, DOWD, BAKKEN and NAKKEN 1970, HAMRE og NAKKEN 1970). Ombord i H/F «G. O. Sars» er det installert tre slike instrumenter og ombord i H/F «Johan Hjort» ett.

Denne artikkelen gir en skjematisk beskrivelse av ekkointegratoren og en innføring i virkemåten og

anvendelsen av instrumentet. Det er forutsatt at integratoren er tilkopledd et kalibrert ekkolodd med dybdeavhengig forsterkning som f.eks. det som er beskrevet av VESTNES (1969).

BESKRIVELSE OG VIRKEMÅTE

Fig. 1 viser skjematisk hvordan signalet blir behandlet i integratoren før det blir presentert på skriveren. En fisk som blir truffet av en lydimpuls vil reflektere en del av lydenergien. Dette ekkot blir oppfanget av svingeren, omgjort til en elektrisk puls og resultatet er en spenning V ut fra ekkoloddmottakeren. I integratoren blir signalet først forsterket, så kvadrert og deretter blir alle signaler som er mottatt innenfor et dybdeskikt (tidsintervall) summert. Denne summen, som kalles ekkomengde, presenteres så på skriveren. En kan velge om en vil ha ekkomengden presentert for hvert ping eller for hver nautisk mil.

Fig. 2 og 3 viser henholdsvis skriverenheten og integratorenheten med sine betjeningskontroller. Hvert instrument har to kanaler, A og B, som i stor utstrekning kan opereres uavhengig av hverandre. Funksjonene av de forskjellige betjeningskontroller vil stort sett fremgå av figurtekstene, men noen av kontrollene på integratorenheten er så viktige at det er nødvendig med en nærmere forklaring.

Kontrollene 1 A og 1 B er forsterkningskontroller for de to kanalene. Kontrollene er gradert slik: 0, 10, 20, 30 og 40 db. En spenning som blir forsterket A ganger, blir forsterket $20 \log A$ i db-skalaen. I lineær forsterkning, A tilsvarende da skalaen ovenfor 1, 0; 3,2; 10,0; 31,5; 100. Som vi senere skal se blir forsterkningen kvadrert slik at utslaget på skriveren vil følge en skala som er 1, 10, 100, 1000, 10000, for hvert forsterkningstrinn.

Forsterkningskontrollen må brukes med forsiktighet. Jo større forsterkning en bruker desto bedre avlesningsnøyaktighet vil en ha og dette skulle derfor

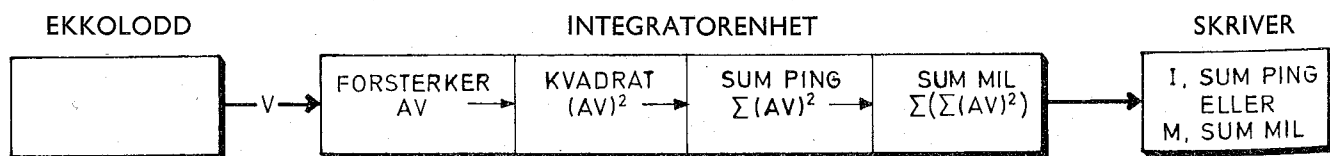


Fig. 1. Enkel fremstilling av signalbehandlingen i ekkointegratoren. [A simple presentation of the signal processing in the echo integrator].

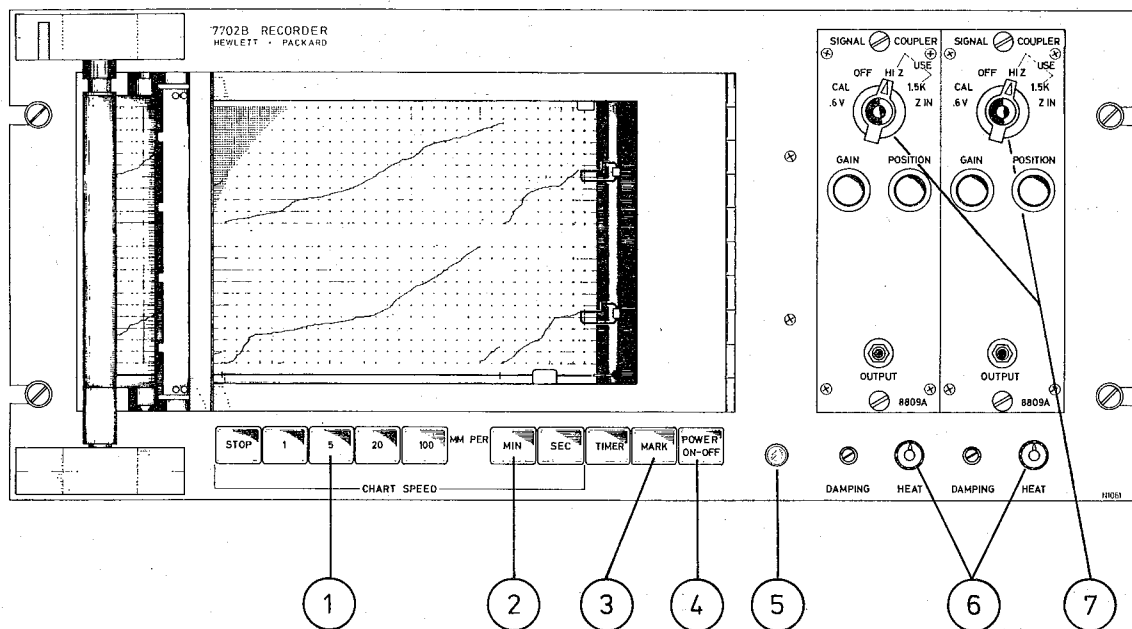


Fig. 2. Ekkointegratoren. Skriverenheten med betjeningskontrollen. 1) og 2) Papirhastighetsvelgere, 3) kontrollknapp for markeringspenn, 4) nettbryter, 5) nettspenningsindikator, 6) intensitetskontroller for skriverpennene, 7) funksjonsvelgere. [The echo integrator. The recorder unit and controls. 1) and 2) Chart speed selections, 3) control of marking pen, 4) power control, 5) power indicator, 6) control of heat on the recording pens, 7) function selectors].

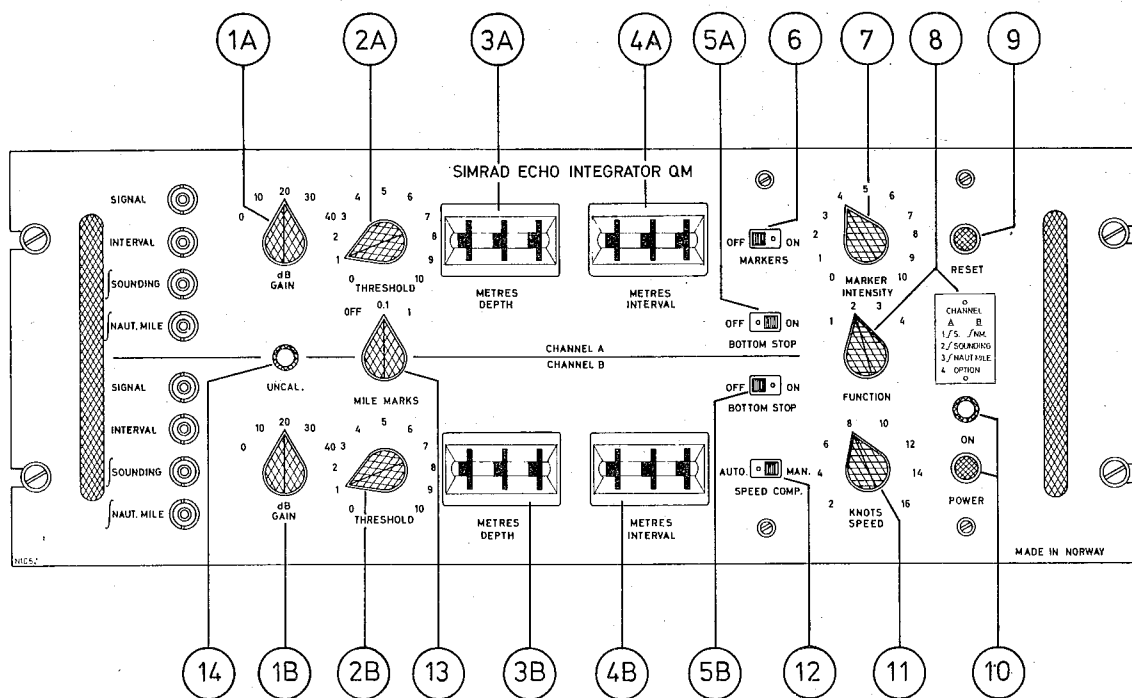


Fig. 3. Ekkointegratoren. Integratorenheten med betjeningskontroller. 1) Forsterkningskontroll, 0-40 db, 2) kontroll for terskelnivå, 3) dybdevelger, 1 til 499 meter, 4) intervallvelger, 1 til 199 meter, 5) bunnsstopp, av og på, 6) intervallmarkering av og på, 7) intensitetskontroll for intervallmarkering, 8) funksjonsvelger, 9) trykknappbryter for nullsetting, 10) nettbryter, 11) kontroll for hastighetskompensasjon, 2-16 knop, 12) velger for automatisk eller manuell hastighetskompensasjon, 13) velger for loggmarkering, 0,1 eller 1 nautisk mil, 14) varselampe for ukalibrert pulslengde. [The echo integrator. The integrator unit and controls. 1) Gain control, 0-40 db, 2) threshold control, 3) depth selector, 1-499 meter, 4) interval selector, 1-199 meter, 5) bottom stop, 6) interval marking on echo sounder recorder, 7) intensity control of interval marking, 8) function selector, 9) manual reset, 10) power control, 11) speed compensation control, 2-16 knots, 12) selector for automatic or manual speed compensation, 13) log marking, 0,1 or 1 nautical mile, 14) lamp indicating uncalibrated pulslength].

Tabell 1. Sammenhørende verdier av relativ tetthet fremkommet ved vurdering av ekkogram og ved avlesning av ekkointegrator (Fig. 4).

[Corresponding relative densities obtained from echo records and echo integrator (Fig. 4).]

Naut. mil nr.	Papir vurdering	Integrator avlesning	Relativ tetthet	Fisk/nautisk m.
1	3-4	42	21,0	1365
2	3	27	13,5	878
3	2-3	19	9,5	618
2	2	9	4,5	293
5	1	5	2,5	163
6	1 1	2	1,0	53

tilsi at forsterkningen bør være størst mulig. Imidlertid vil integratoren ikke kunne lese signaler som er sterkere enn en viss verdi. Hvis sterke signaler forsterkes for mye vil integratoren «klippe» dem, og resultatet blir at en måler for lave verdier. Ved å kontrollere inngangssignalet med et oscilloskop kan en finne hvilken forsterkning man bør anvende for å få best mulig avlesning og samtidig unngå «klipping».

Kontrollene 2 A og 2 B fastlegger terskelnivået. Settes dette høyt, vil svake signaler ikke bidra til integratorverdien. Sterke signaler som slippes igjennom vil imidlertid senere få addert til seg verdien av terskelnivået. Signalene vil derfor yte samme bidrag til ekkomengden enten terskelen er satt høyt eller lavt. Terskelnivået kans ettes slik at integratoren ikke mottar støy, og det kan også brukes til å «sile» ut svake ekko (f.eks. tynne planktoniske slør). Fordi ekkoloddets forsterkning øker med dypet, bør en også la terskelnivået øke med økende dyp av integratorintervallet. Ved å studere inngangssignalet på et oscilloskop kan en finne ut hvilken stilling disse kontrollene bør ha.

Kontrollene 5 A og 5 B er bunnstoppbrytere. I de aller fleste tilfeller vil ekkoet fra bunnen være mye sterkere enn et fiskeekko. Når bunnstoppbryteren er i stilling, PÅ, brukes det kraftige bunnekket til å stoppe integreringen slik at bunnekket ikke bidrar til integratorverdien. Hvis bunnstoppbryteren er i stilling AV, vil også bunnekket bli integrert. Det nivå av bunnekket som stopper integreringen, er til en viss grad bestemt av diskriminatorbryteren på ekkoloddet. Under sterk slingring eller når en har sterk skrånende bunn, bør en derfor bruke høy diskriminator.

Kontroll 8 er en bryter for å velge forskjellige funksjoner av kanalene A og B. I stilling 1 vil kanal A nullsettes for hvert ping mens kanal B nullsettes for hver nautisk mil. I stilling 2 vil begge kanaler nullsettes for hvert ping. I stilling 3 vil begge kanaler null-

settes for hver nautisk mil. Stilling 4 har foreløpig ingen funksjon.

Nullsetting for hvert ping kan nyttes for å måle fiskens refleksjonsevne. En kan også nytte denne funksjonen for å fremskaffe sammenhørende verdier av refleksjonsevne og antall ekko per fisk. Det er imidlertid en forutsetning at forekomsten er oppløst slik at en registrerer enkle fisk, og at en innenfor integrasjonsintervallet bare får ekko fra 1 fisk om gangen. Dette kan i mange tilfeller oppnåes ved å innsnevre integrasjonsintervallet. Sannsynligheten for at flere fisk samtidig skal bli integrert blir da redusert.

Kontrollene 11 og 12 komponerer for fartøyets fart. Når ekkoloddet kjøres med en bestemt pulstakt, vil ekkomengden per individ være avhengig av hvor mange ekko en får fra hvert individ. Er farten liten, vil en få flere ekko fra en fisk enn når farten er stor. Fartskompensasjonen er enten automatisk eller manuell. Automatisk kompensasjon har en når integratoren er tilkopleet fartøyets logg og kontroll 12 settes til AUTO. Manuell kompensasjon blir foretatt ved at observatøren leser av eller anslår farten og passer på at kontroll 11 er riktig satt. Kontroll 12 må da stå til MAN.

ANVENDELSE

Sammenhengen mellom spenningen V og en fisks refleksjonsevne k er gitt av

$$V^2 = k \cdot K_1 \quad (1)$$

Hvor K_1 er en konstant som må bestemmes ved kalibrering av ekkoloddet.

Vi tenker oss nå en høy fisketetthet, p (fisk/m³), slik at flere fisk med refleksjonsevne k bidrar samtidig til ekkoet. For spenningen i et slikt ekko har en

$$V^2 = k \cdot p \cdot K_2 \quad (2)$$

Hvor K_2 er produktet av K_1 og det volum som ekkoloddet til enhver tid får ekko fra. På grunn av at dette volumet øker proporsjonalt med kvadratet av dypet, vil antall fisk som gir ekko også øke proporsjonalt med kvadratet av dypet når tettheten er konstant. Denne volumøkningen, eller økningen i antall fisk, blir det kompensert for i ekkoloddmottakeren ved at den dybdeavhengige forsterkning blir satt til $20 \log R + 2 a R$ (BODHOLT 1969, MIDTTUN and NAKKEN 1970), og den kvadrerte spenning blir da proporsjonal med fisketetthet. Ekkoene som i ett ping kommer inn til integratoren blir først forsterket, der-

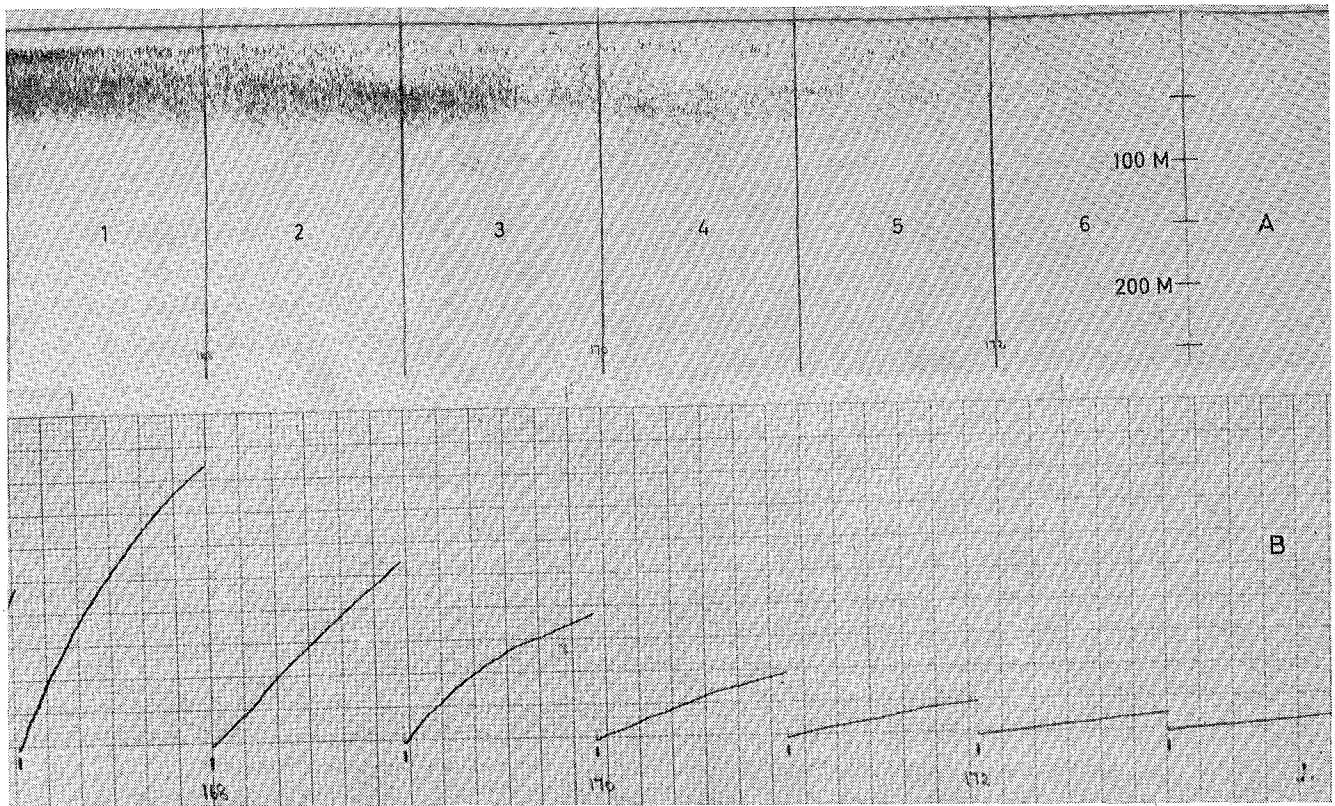


Fig. 4. Bruk av ekkointegrator. A) Registrering av brisling med ekkolodd, 30 KHz, dybdeavhengig forsterkning. Avstanden mellom vertikalstreke representerer 1 nautisk mil. B) Tilsvarende avledninger med integrator i dybdeområdet 6–60 m. [Example demonstrating the use of the echo integrator. A) Recording of sprat with echo sounder; 30 KHz, time varied gain. The distance between vertical lines represents one nautical mile. B) Corresponding recordings on the echo integrator, depth range 6–60 m].

etter kvadrert og til slutt summert (Fig. 1). Ekkomengden for hver nautisk mil kan da uttrykkes

$$M = A^2 \cdot K_3 \cdot k \cdot p \quad (3)$$

Hvor M er avlest ekkomengde, k er en konstant sålenge art og størrelse av fisk ikke forandrer seg, K_3 er en instrumentkonstant som inneholder både ekkoloddets og integratorens karakteristika, og p er midlere fisketetthet for hver nautisk mil innenfor det dybdeskipt som integratoren får ekko fra. Av ligning (3) sees det at M er et relativt mål for fisketetthet når A , K_3 og k er konstanter.

Fig. 4 viser hvordan M varierer med varierende fisketetthet på ekkogrammet. En vurdering av fisketettheten ut fra ekkogrammet i Fig. 4 sammenholdt med integratorverdiene er vist i Tabell 1. Det fremgår av tabellen at skalaen som anvendes ved papirvurderingen bare gir en antydning om relativ fisketetthet. En økning fra 1 til 3 i den konvensjonelle metoden tilsvarer i dette tilfellet en reell tetthetsøkning fra 1 til 14.

Relativ fisketetthet kan angis i fisk per nautisk mil,

og dette er blitt nyttet i mange år i Lofoten. På mil nr. 6 i Fig. 4 er alle fiskene registrert som enkeltfisk, og ved en opptelling finner en at det er registrert 65 fisker. Antallet fisk på de andre nautiske milene, hvor telling er umulig, finnes nå ved å multiplisere 65 med tallene for relativ tetthet. Nøyaktigheten hvormed antall fisk per nautisk mil er bestemt, er i dette tilfellet liten. Ekkomengden av 65 fisker er 2, og ekkomengden er avlest til nærmeste $\pm 0,5$. Dette gir en feil på $\pm 25\%$ i relativ tetthet. Ved å øke forsterkningen på nautisk mil nr. 6 kunne en fått nøyaktigere avlesning.

Ønsker en å kjenne fisketettheten p angitt i individer/volumenhet, må en beregne det volum som ekkoloddet mottar ekko fra. Dette kan gjøres når fiskens refleksjonsegenskaper er tilstrekkelig kjent. Det kan også enkelt gjøres hvis en teller antall ekko fra hver fisk i forskjellige dybdeskipt (ANON. 1969, MIDTTUN and NAKKEN 1970). Eksempler på relative og absolute fisketettheter er vist av MONSTAD, NAKKEN og NÆVDAL (1969).

For å få sammenhengende verdier av M og p til bestemmelse av $k \cdot K_3$ i ligning (3) er det ikke nødvendig å nytte det ekkoloddet integratoren er tilkople

for å bestemme p . En kan nytte et annet ekkolodd, fiskeforsøk eller fotografering til å bestemme en p_1 bare en passer på å lese av den tilsvarende M_1 .

Den mest hensiktsmessige måte å skrive ligning (3) på er

$$\frac{M}{A^2 \cdot K_3} = k \cdot p \quad (4)$$

Her er venstresiden bare kjente størrelser, og de ukjente k eller p kan bestemmes når en av de er kjent. Vanligvis i akustikk nyttes db-skalaen, og ligning (4) tar da formen

$$10 \log M - 20 \log A - 10 \log K_3 = 10 \log k + 10 \log p \quad (5)$$

eller $S_v = TS + 10 \log p$

hvor $TS = 10 \log k$ er «target strength». S_v er refleksjonsstyrke per volumenhet (volume back scattering strength). På grunn av at S_v er korrigert for forsterkning og instrument karakteristika og M ikke er det, så er S_v å foretrekke som mål for relativt tetthet. Verdier av S_v kan direkte sammenlignes fra tokt til tokt og område til område. Ønsker en å finne p må en imidlertid kjenne TS av enkeltindividene.

DISKUSJON OG KONKLUSJON

Når en registrerer svært tette stimer, kan en ikke regne med at integratorutslaget er proporsjonalt med fisketetthet. I tette stimer vil en del av lyden bli spredt og absorbert innenfor stimen, og styrken på ekkoet vil derfor avta. Integratorverdiene vil bli for lave og følgelig vil en undervurdere tettheten. Jo tettere stimene er desto mer vil en undervurdere.

Hvis fisketettheten ikke er for stor, er imidlertid integratoren et utmerket hjelpemiddel til å mengdemåle fiskeforekomsten. Spesielt er den anvendelig på utstrakte slørforekomster som f.eks. forekomstene av O-gruppe fisk i Barentshavet. Skal en imidlertid

kunne dra full nytte av instrumentet, er det nødvendig at en får bedre og mer omfattende kunnskaper om de forskjellige artenes refleksjonsegenskaper.

SUMMARY

1. The echo integrator and its controls are described.
2. The application of the instrument in estimating fish densities is described and discussed.

LITTERATUR

- ANON. 1934. Forsøkene med ekkolodd ved brislingfisket. *Tidsskr. HermedInd.*, 20: 222–223.
- 1969. Estimation of fish abundance, different methods and techniques. *FAO Fish Rep.* 78: 15–48.
- BAKKEN, E. 1970. Brislingundersøkelser i vestnorske fjorden høsten 1969. *Fiskets Gang*, 56: 65–70.
- BODHOLT, H.: 1969. Quantitative measurements of scattering layers. *Simrad Bull.*, 3: 1–11.
- DOWD, R., BAKKEN, E. and NAKKEN, O. 1970. A comparison between two sonic measuring systems for demersal fish. *J. Fish Res. Bd. Canada*, 27: 737–742.
- DRAGESUND, O. 1970. Distribution, abundance and mortality of young and adolescent Norwegian spring spawning herring (*Clupea harengus* Linné) in relation to subsequent year-class strength. *FiskDir. Skr. Ser. HavUnders.*, 15: 451–556.
- DRAGESUND, O. and 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): 47–75.
- HAMRE, J. og NAKKEN, O. 1970. Akustiske - og biologiske undersøkelser i Nordsjøen og Skagerak i februar–mars 1970. *Fiskets Gang*, 56: 477–482.
- MIDTUN, L. and NAKKEN, O. 1970. On acoustic identification, sizing and abundance estimation, *FiskDir. Skr. Ser. HavUnders.*, 16: (in press).
- MONSTAD, T., NÆVDAL, G. og NAKKEN, O. 1969. Skreiinnsiget 1969. *Fiskets Gang*, 55: 571–573.
- SUND, O. 1935. Echo sounding in fishery research. *Nature, Lond.* 135: 953.
- VESTNES, G. 1969. Akustiske undersøkelser på rekefeltene mellom Karmøy og Marsteinen våren 1969. *Fiskets Gang*, 55: 758–760.