

## Planktonakustikk. Ny måleteknikk skiller mellom ekko fra dyreplankton og ekko fra fisk

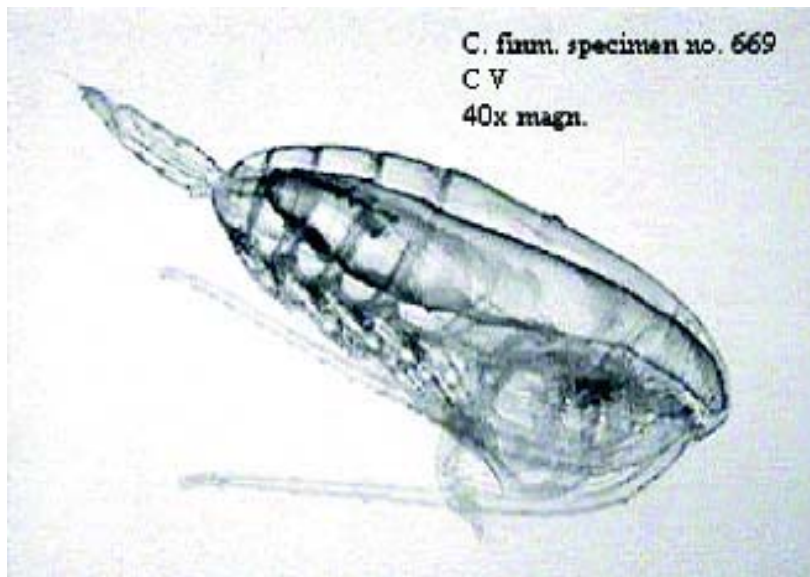
Rolf Korneliussen og Egil Ona

**Akustisk mengdeberegning av havets ressurser er basert på vitenskapelig tolking av ekko fra fisk og plankton. For å kontrollere akustikken tas det i tillegg biologiske prøver. Disse prøvene brukes både til å isolere de akustiske registreringsene med hensyn til art og til å innhente informasjon om størrelsessammensetning for hver art.**

Hittil har Havforskningsinstituttet (HI) konsentrert seg om metodeutvikling for å mengdebestemme våre fiskeressurser, og har faktisk blitt verdensledende på denne metoden. Nå står dyreplanktonressursene for tur. Planktonressursene blir stadig mer interessante. Både fordi plankton danner et grunnlaget for alle havets fiskeressurser og fordi det kanskje snart blir en fangstbar ressurs i seg selv. Særlig er oppdrettsnæringen på jakt etter plankton som mulig fôr for laks og ørret. Dette betyr at våre myndigheter snart kanskje må forvalte våre planktonressurser. Skal vi kunne forvalte plankton på linje med fisk, trenger vi imidlertid mer avansert akustisk overvåkingsteknologi. Flerfrekvensakustikk kan være svaret.

### Litt metodisk grunnlag

Metodikken for akustisk mengdeberegning av fisk går ut på å bestråle fisk i et avsøkt volum med lyd fra et ekkolodd og deretter måle og summere ekkoene fra hver enkelt fisk. Summen av måltallene (ekkomengden),  $s_A$ , regnes så om til antall fisk/ $m^2$ . Dersom vi vet hvilke arter som gir opphav til ekkoene og hver arts typiske størrelse, er det også mulig å regne ut antall fisk/ $m^2$  for hver art. Prosessen med å skille ut ekko etter art, det vil si å beregne  $s_A$  for hver enkelt art, må i dag gjøres av erfarne operatører som baserer tolkingen på erfaring, kunnskap og biologisk prøvetaking



C. finm. specimen no. 669

C V

40x magn.

**Figur 5.1** Foto av raudåte (*copepod Calanus*). Foto: Tor Knudsen, HI.

under toktet. Biologisk prøvetaking er svært tids- og arbeidskrevende, og den biologiske prøve-takingen blir derfor vanligvis begrenset til en eller noen få arter på hvert tokt.

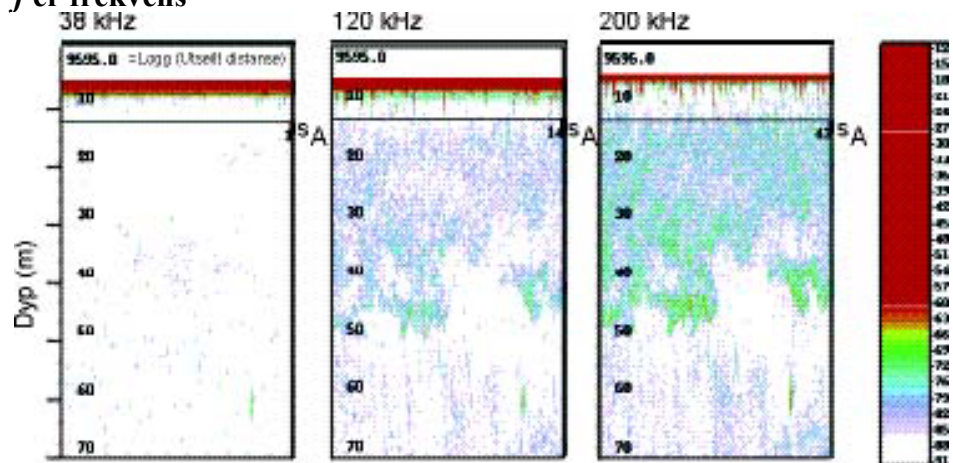
### **Ulik akustisk tilbakespredning fra fisk og dyreplankton**

Fisk med svømmeblære gir kraftige og tydelige ekko, og mengdebestemmelse av fisk med svømmeblære kan gjøres tilfredsstillende med enkeltfrekvens ekkolodd. Ekko fra dyreplankton er mye svakere og langt mer komplekse enn ekko fra fisk. Dette skyldes først og fremst at størrelsen av hvert planktonindivid er mye mindre enn lydens bølgelengde. (For ekkoloddfrekvenser fra 200 - 38 kHz varierer bølgelengden,  $l$ , fra 0.7 – 4 cm.) I tillegg er forskjellene i spesifikk tetthet og lydfart mellom sjøvann og plankton mye mindre enn mellom en gassfylt svømmeblære og sjøvann. Utgangspunktet for alle beregningene er såkalt målt ekkoareal,  $s$ , som avhenger av målets størrelse, lydens fart gjennom målet og av tetthetskontrasten. Et typisk dyreplanktonindivid som for eksempel en raudåte, gir et ekkoareal som bare er en milliondel av ekkoarealet fra en 10 cm fisk. Ekkoarealene fra flere individer kan imidlertid adderes lineært slik at samlet ekkoareal fra en million raudåte gir om lag samme ekkoareal som ekkoarealet fra en enkeltfisk på 10 cm. Målets form, orientering og oppførsel har også betydning. For å forenkle målemetodikken, later vi som om alle planktonindividene er små oljefylte kuler. Dersom disse kulene er svært små i forhold til bølgelengden, ( $ka \ll 1$ , se nedenfor), kan vi benytte oss av den kjente Rayleighs

spredningsmodell for kuler til å simulere ekkoarealene. Ekkoarealet fra slike små kuler er svært avhengig av både målefrekvensen og av partikkelstørrelse. Matematisk kan det uttrykkes som at ekkoarealet  $s$  er proporsjonalt med partikkelradius  $a$  i 6. potens og med frekvensen  $f$  i 4. potens, altså:

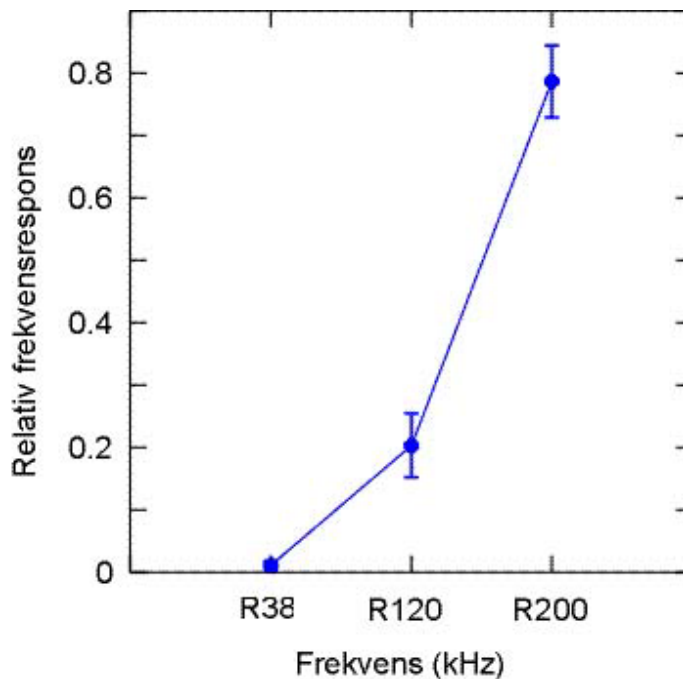
$$(1) \sigma \propto a^6 f^4 \text{ der } s \text{ er ekkoareal}$$

$a$  er partikkelradius  
 $f$  er frekvens



Figur 5.2 Ekkoregistrering av ren raudåte, 0-70 m, 30. mai, midt i Norskehavet under sildetoktet på ekkoloddfrekvensene 38, 120 og 200 kHz. (Utdrag fra høyoppløsningsdata lagret på BEI over 75 nautiske mil).

38, 120 and 200 kHz echograms from a monpopulation of copepod *Calanus*.



**Figur 5.3** Relativ, midlere frekvensrespons for planktonregistreringen i dybdekanalen 10 – 50 m.

*Relative, mean frequency response from copepodes at 10 - 50 m depth.*

$$(2) \quad (ka)^4 = \frac{2}{3} \left[ \frac{r^4 - R}{r^2(R-1)} \right]$$

$$\text{der } k = \frac{2\pi f_m}{c},$$

$c$  = lydfart [m/s],

$$f_m = \sqrt{f_1 \times f_2} \text{ [Hz]},$$

$$r = \frac{f_1}{f_2},$$

$$R = \frac{s_{A,1}}{s_{A,2}},$$

$f_1$  og  $f_2$ : frekvenser,

$a$  = ekvivalent kuleradius [ESR] [m],

$s_{A,1}$  og  $s_{A,2}$  er ekkomengde [ $m^2/n.mi.^2$ ]

Vi prøvde Greenlaws formler på frekvensene

38, 120 og 200 kHz.

### **Tre viktige spørsmål**

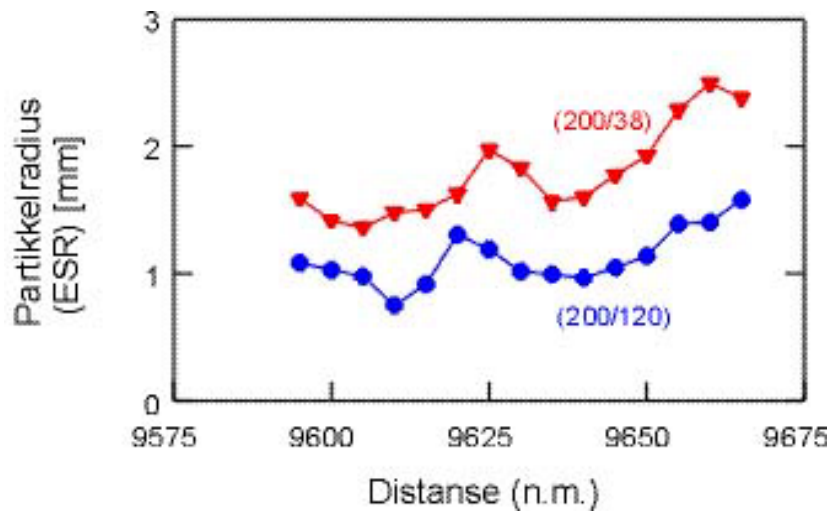
Vi ønsker å besvare følgende spørsmål:

1. Er det mulig å bestemme planktonindividenes størrelse i en flokk der det bare er plankton til stede?
2. Kan vi beregne hvor mange tonn plankton en gitt ekkoregistrering representerer?
3. Dersom fisk og plankton er blandet, går det an å skille fiske- og planktonekko fra hverandre?

### **Beregning av planktonstørrelse**

Der finnes allerede en utviklet metodikk. Den amerikanske forskeren Greenlaw publiserte i 1979 en metode for beregning av plankton-størrelse

basert på analyse av ekko fra to separate frekvenser. Beregning av ekvivalent midlere kuleradius (ESR),  $a$ , kan finnes fra ligningen:



**Figur 5.4** Estimert ekvivalent partikkelradius (ESR) for registreringen, basert på frekvensrespons for to parvise kombinasjoner.

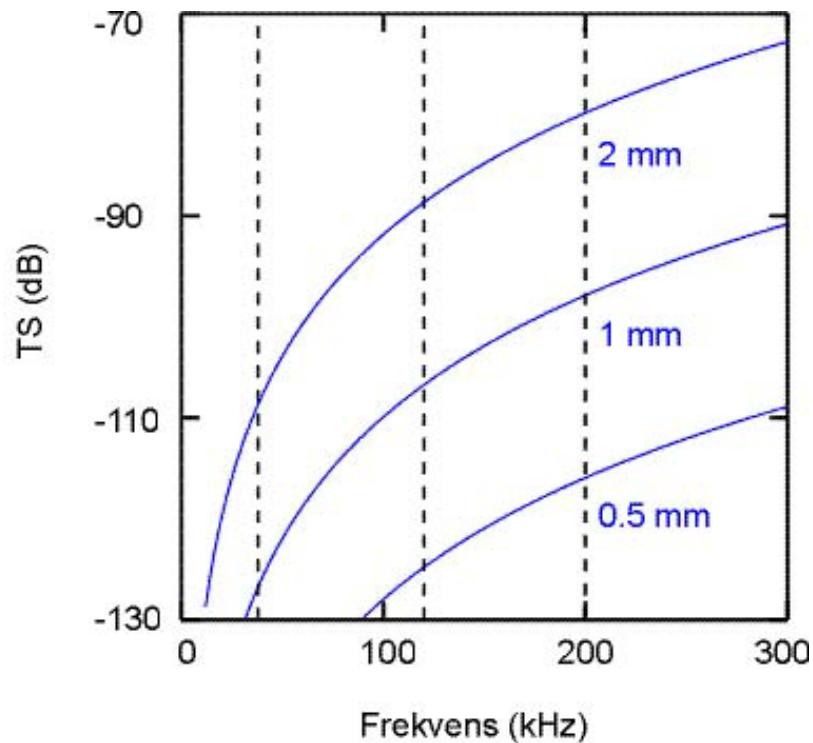
*Estimated equivalent particle (copepod) radius, ESR.*

### Eksempel raudåte (*Calanus finmarchicus*)

Ved gjennomgang av ekkoloddata fra våre forskningsfartøy, hender det at vi oppdager rene registreringer av raudåte. Figur 5.1 er et fotografi av raudåte med oljesekken midt i dyret. Ekko-grammene i figur 5.2 viser et lite utsnitt av en ren raudåteregistrering gjort på frekvensene, 38, 120 og 200 kHz. Vi ser at ekkoene er vesentlig sterkere på 200 kHz enn på de to lavere frekvensene. I figur 5.3 har vi midlet alle registreringer over 75 nautiske mil. Samtidig viser vi hvordan ekkoene fra den samme flokken avhenger av ekkoloddets frekvens, den såkalte "frekvensresponsen". Den "grøtete" og svake registreringen forteller også at målene er små og i rimelig tett konsentrasjon. Ved å sette den observerte frekvensresponsen inn i Greenlaws modell, kan vi regne ut plankton-flokkens tilsvarende kuleradius. (Vi husker at vi antar at hver enkelt organisme har form som en perfekt kule.) Beregningene viste at ekvivalent partikkelradius,  $a$ , varierer mellom 0.8 - 2 mm. Da vi så resultatene, følte det nesten som om vi hadde skutt innertier ved første forsøk. Facit-svaret- det vil si prøver fra den aktuelle bestanden, anga nemlig at hvert enkelt plankton i gjennomsnitt veide rundt 1 mg, med en omtrentlig diameter på omlag 2 mm. Figur 5.4 viser også at estimert partikkel-størrelse varierer litt for hver 5-mil, noe vi også vil forvente i en raudåte-registrering på over 75 nautiske mil.

Havforskningsinstituttets forskningsskip bruker nå et akustisk målesystem som kalles Bergen Ekko Integrator (BEI) (se figur 5.2 og figur 5.6) som angir styrken på ekkoene som farger. I prinsippet kan (BEI) snart generere en ny type ekkogram, som har dyp og tid langs de vanlige aksene, men viser estimert partikkelstørrelse som farge isteden-for ekkostyrke.

På samme måte som ved beregning av fisk, kan integratorligningene som benyttes av BEI da beregne volumtettheten av planktonorganismer. I vårt eksempel beregnet vi en tetthet på 452 individer per  $m^3$ , eller 22620 individer per  $m^2$  overflate. Dette tilsvarer omlag  $23[g/m^2]$  våtvekt, som er i samme størrelsesorden som resultatet fra tilsvarende vertikale håvfangster (ca.  $70[g/m^2]$  våtvekt), tatt på nærmeste stasjon. De to resultatene ligger nær nok til at vi bør vurdere å gjennomføre en større akustisk kartlegging av raudåtas utbredelse og mengde i Norskehavet om sommeren med flerfrekvens-ekkolodd.



**Figur 5.5** Ekkostyrke, (TS – target strength) for partikler med antatt spesifikk tetthet og elastisitet som copepoder, som funksjon av frekvens og ekvivalent partikkelradius.

*Target strength (TS) for idealized spherical copepod particles at different frequencies and particle radii.*

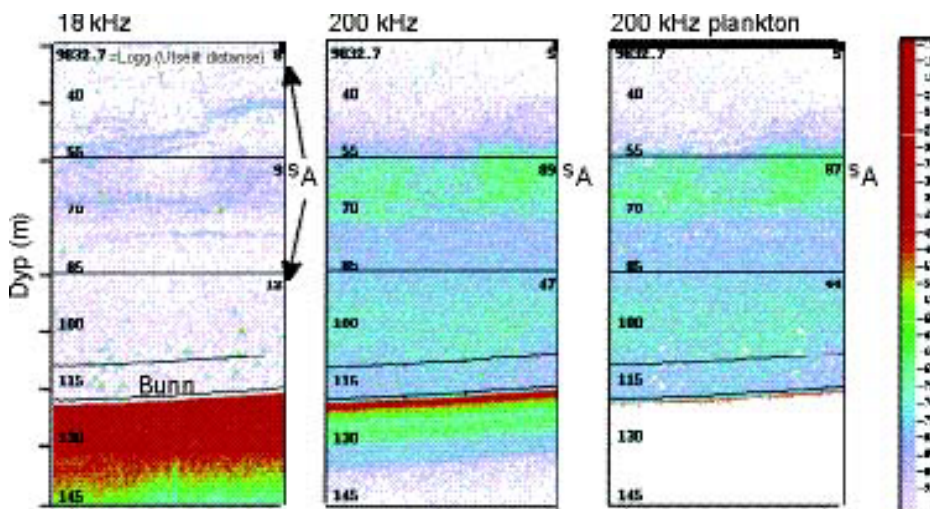
### **Automatisk separering av fisk og plankton fra blandede registreringer**

Når vi studerer et konvensjonelt ekkogram som viser ekko fra fisk og plankton samtidig, er det lett å se at ekkogrammet inneholder to typer ekko. Men siden ekkoet fra et enkelt fiskeindivid i et konvensjonelt ekkogram tilsvarer de samlede ekko fra en million planktonindivider, er det i praksis umulig for et menneske å angi bare planktonets ekkomengde,  $s_A$  ut fra ekkogrammet. De kraftige fiskeekkoene overdøver planktonekkoene fullstendig. Skal vi ha mulighet for å kvantifisere informasjonen, må vi skaffe oss en metodikk som skiller ekko fra fisk og plankton automatisk, slik at vi står igjen med et rent planktonekkogram og et rent fiskeekko.

## Frekvensresponsen løser problemet

Innenfor frekvensområdet 18 - 200 kHz som benyttes i ekkolodd ved Havforskningsinstituttet, følger den akustiske tilbakespredning fra små planktonorganismer som kopepoder, for eksempel raudåte, grovt sett Rayleighs sprednings-modell. Dette betyr at ekkomengden,  $s_A$  for små planktonorganismer vil øke kraftig når frekvensen øker. Dette i motsetning til ekkomengden fra fisk med svømmeblære, der ekkostyrken ved de samme frekvenser er tilnærmet konstant. Ved å utnytte planktonets frekvensavhengighet har vi kommet fram til ny metodikk som kan skille planktonekko fra fiskeekko.

Metodikken ble utprøvd under et spesialtokt i Balsfjorden i 1999, og resultater fra toktet i Balsfjorden og fra liknende tokt, viser at det i prinsippet er mulig å skille fisk fra plankton auto-matisk. Før metodikken blir komplett må imidlertid ekkoloddets elektroniske og mekaniske konstruksjon forbedres. Figur 5.6 viser et eksempel på data fra ekkolodd basert på kombinasjonen 200 kHz og 18 kHz. I det auto-separerte ekkogrammet vises bare data der  $s_{A,200\text{kHz}} > 2s_{A,18\text{kHz}}$ .



**Figur 5.6** Ekkogrammer av blandet registrering av plankton (krill) og fisk på to frekvenser, 18

og 200 kHz. Prosessert 200 kHz ekkogram med undertrykte fiskeekko vist til høyre.

*18 kHz and 200 kHz echograms from a mixed population of copepods and fish.*

*In the processed (200 kHz) echogram (right) all fish echoes have been identified and reduced to white patches which will not contribute to the total biomass measure.*

Alle fiskeekko er tilsynelatende "klippet" ut fra ekkogrammet. Fiskeekkoene fremstår som små hvite felt inne i planktonregistreringen. Resultatet er altså

et rent 200 kHz ekkogram uten fiskeekko, det vil si et ekkogram der de to ekko-klassene er skilt fra hverandre. Dette ekko-grammet kan analyseres med hensyn til plankton på samme måte som "vanlige" ekkogrammer nå kan analyseres med hensyn til fisk.

## Konklusjoner

Alle nye forskningsresultater avhenger i praksis av andres forskeres tidligere resultater. Pionerene på akustisk planktonmåling er først og fremst de amerikanske forskerne Holliday og Greenlaw, men også norske forskere som for eksempel John Dalen, Åge Kristensen (1986) og Stig Falk Pettersen har gjort en betydelig innsats. Vi svarer ja på alle de tre spørsmålene (side 65), og våger den påstand at det innen fem år blir mulig å gi standardiserte akustiske bestandsmål for dyreplankton på linje med det vi i dag gir for fisk. Beviset skal vi levere ved hjelp av Hav-forskningsinstituttets nye forskningsfartøy som blant annet vil bli utstyrt med et 6-frekvens ekkoloddsystem.

Kilde: Aure, J. et al, Havets miljø 2000, FiskenHav, Særnr. 2:2000.  
Havforskningsinstituttet - <http://www.imr.no/>

---

Sist oppdatert: / [Info](#)



Kontakt oss  
Havforskningsinstituttet  
©2000