

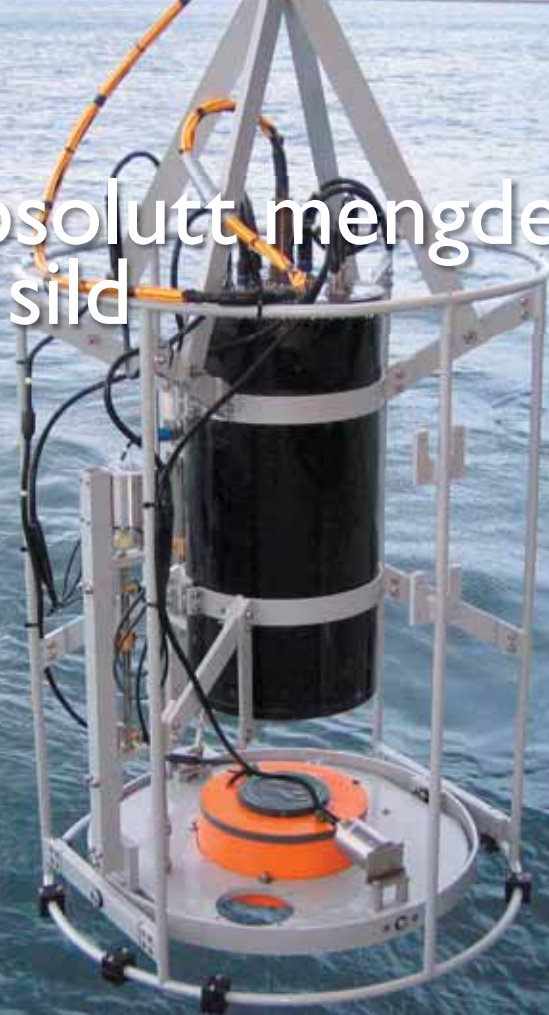


Kapittel 4

Aktuelle tema

4.1

Absolutt mengdemåling av sild



Å måle absolutte størrelser er en krevende øvelse. Nøyaktigheten skal være gitt, og alle målefeil skal være redusert til et minimum, eller være korrigert for. Usikkerheten i målingen blir da summen av all usikkerhet som skyldes rene målefeil, pluss tilfeldige variasjoner av tetthet i måleområdet. Vanlige mengdemålinger av fisk fra tokt gir sjelden absolutte tall. Derimot gir de ofte gode relative målinger, der utviklingen i bestanden kan følges fra år til år.

Egil Ona
egil.ona@imr.no

For å vite hvor stor for eksempel sildebestanden faktisk har vært, teller man opp hvor mange sild som har blitt fisket av en årsklasse gjennom hele dens livssyklus. I tillegg kommer mengden sild man regner med har dødd av andre årsaker enn fiske gjennom samme periode. Dette blir en slags fasit på hvor stor bestanden var noen år tilbake i tid. For videre å vurdere kvaliteten på bestandsmålingene, finner man så et forholdstall mellom dette absolute tallet og de relative målingene gjort i perioden. Dette forholdstallet brukes til å justere målingene fra tokt opp eller ned. I slike sammenligninger kommer det klart frem at det ikke er et konstant forhold mellom målt mengde og det antall fisk som faktisk er i sjøen, tilgjengelig for måling. Det er sprik som tyder på at vi har metodiske problemer, og store, variable målefeil i enkelte år, eller for enkelte tokt.

Dette er den tradisjonelle måten å måle på, og den egner seg best når vi bare måler én bestand om gangen. Når vi skal måle hele økosystemets tilstand, må vi være i stand til å vurdere interaksjonen mellom byttedyr og predatorbestander. Da kreves det at man kan måle mengde og fordeling direkte, og til det trengs absolutte mengder. Predatorer spiser som kjent ikke indekser,

Figur 4.1.3

Målstyrke probe med motorisert svingerplattform. Brukes for måling av ekkoevne til enkelttsild inne i stimer. Tåler trykk på 1500 m dyp, og kalibreres på alle dyp. Inneholder tre vitenskapelige ekkolodd som opereres over 6500 meter optisk kabel.

Target strength probe with motorized transducer platform. Used for measuring the acoustic reflection properties of single herring inside schools. Can withstand the pressure at 1500 meters depth, and may be calibrated at any depth. Contain three scientific echo sounders, operated on 6500 m optical cable.

men byttedyr i reelle mengder. Koplingen til beskatning av byttedyr fra mageprøver må også gjøres på absolutt nivå.

Det vi kaller absolutt mengdemåling innebærer derfor at det reelle antall fisk som finnes i bestanden, kan etableres direkte etter at målingen er gjennomført. Men for å kunne gjøre det, er det en del opplagte krav som må være tilfredsstillt:

1. Hele utbredelsesområdet til bestanden, eller bestandskomponenten som skal måles (for eksempel gytebestanden) må være dekket.
2. Dekningsgraden for toktet må være så høy at et nytt tokt (rett etterpå) gir om lag samme resultat.
3. Alle metodiske målefeil må være beskrevet og korrigert for, og usikkerheten i hver av disse må være gitt.

Disse forutsetningene for absolutt mengdemåling har Havforskningsinstituttet jobbet med i en femårsperiode ved å bruke overvintringsområdet til den norske vårgytende silda i Vesterålen/Ofofjorden som et stort eksperimentbasseng. Samarbeidet med Norsk Regnesentral i Oslo, som er eksperter i statistikk, har vært viktig. Arbeidet har bestått i å kartlegge de viktigste feilene for måling av pelagisk fisk. Siden silda her er svært lettskremt og ofte opptrer i ekstreme tettheter, er dette den aller mest krevende målesituasjonen, men antagelig også den vi nå behersker best i verden. De viktigste målefeilene, og hvordan vi nå kan hankses med dem, er beskrevet under, i prioritert rekkefølge.

Fisken unnviker

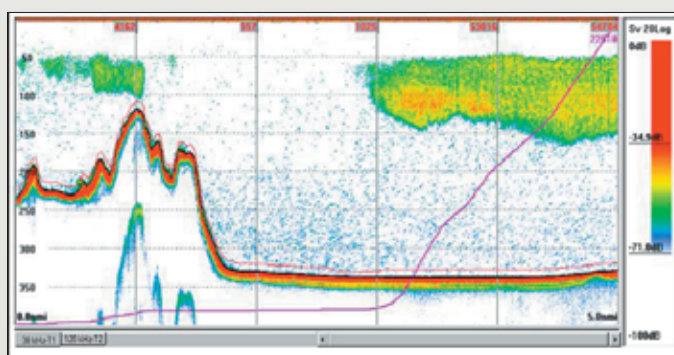
I akustisk mengdemåling bruker vi forskningsfartøyet ekkolodd til å dekke et tett, fastlagt rutenett over undersøkelsesområdet. Ekkoloddet eller -loddene som benyttes, er av samme type som blir brukt på fiskefartøy, men med bedre muligheter for å kalibrere ekkosignalene, og med mulighet for å analysere dataene. Kalibreringen av ekkoen energi gjøres foran hvert tokt til om lag 1 % nøyaktighet, og 5–6 frekvenser kjøres samtidig fra uavhengige ekkolodd.

Et stort problem med ekkolodd-metodikken er imidlertid at strålen som ser rett nedover i sjøen under fartøyet, er så smal – bare om lag 7° (Figur 4.1.1). Det betyr at vi bare måler ca. 10 meters bredde på 100 meters dyp. Dersom fisken som skal måles oppdager fartøyet som kommer, og reagerer ved å unnvike, blir mengdemålin-

gen feil. Hvor stor andel av fisken er det som unnviker? Er det avhengig av fartøyet vi bruker, avstanden fra fisk til fartøyet, hvor dypt fisken står, om det er dag eller natt? Og er det en konstant fortykning? Dersom fisken endrer svømmevinkelen, for eksempel ved å dykke, kan dette også påvirke resultatet. Kan vi korrigere for alt dette, slik at vi kan tilbakeberegne til den opprinnelige tettheten av fisk som var der før fartøyet kom? Dette er spørsmål forskningen har tatt for seg for å forstå sildas oppførsel i måleøyeblikket, og for å kunne korrigere for denne målefeilen.

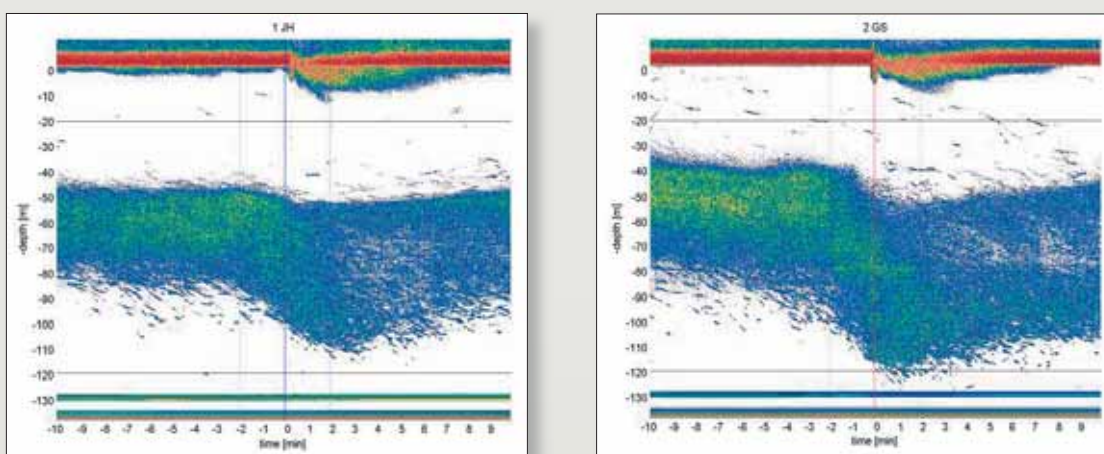
Ved hjelp av bøyer og bunnmonterte akustiske instrumenter eller stillestående farkoster som ikke forstyrrer silda, har vi kunnet

studere unnvikelse nøyaktig i mange målesituasjoner og for de viktigste fartøyene vi benytter. Grovt sett kan man si at sild på 100–500 meters dyp ikke reagerer på fartøyet, og målingene er korrekte. Dersom silda står grunnere, må man korrigere målingene: jo nærmere overflaten fisken står, jo mer må det korrigeres. Fra om lag 120 passeringseksperiment på sild har vi etablert korreksjonskurver for to fartøyer. Et uventet resultat var at silda reagerte like sterkt på det nye, støvsvake fartøyet “G.O. Sars” som for det mer tradisjonelt utstyrte “Johan Hjørt”, og det til tross for at “G.O. Sars” bare har 1 % av “Johan Hjørt”’s støynivå i de frekvensene sild kan høre (Figur 4.1.2).



Figur 4.1.1

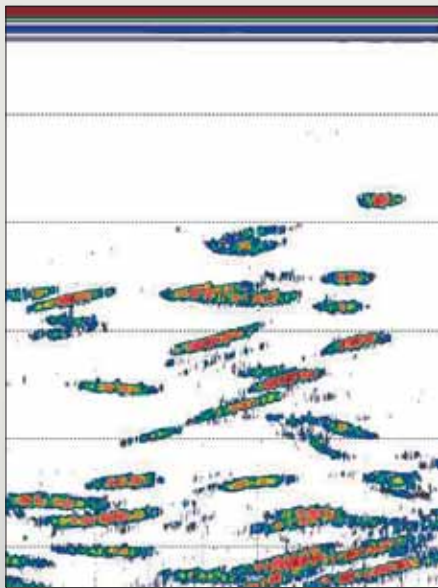
Typisk ekkogram fra måling av sild i Ofotfjorden med store sildestimer. Ekkoen energi måles enkelt og summeres fra hvert bildeelement (pixel).
Typical echogram from a herring survey on the Ofotfjord with large herring schools. The echo energy is measured and integrated in each picture element (pixel).



Figur 4.1.2

Unnvikelse fra “Johan Hjørt” og “G.O. Sars”, målt fra en svinger montert på bunnen (Mini-lander) i Ofotfjorden. Bildet viser et tett sildelegg nær overflaten, fra 30–80 meters dyp, fra 10 minutter før passering til 10 minutter etter passering. Passeringstidspunktet til forskningsfartøyet er angitt som en vertikal strek på midten av bildet. Tettheten og plasseringen av silda slik det blir registrert på fartøyet ekkolodd tilsvarer situasjonen under passering.

Avoidance from “Johan Hjørt” and “G.O. Sars”, measured from a bottom-mounted transducer (Mini-lander) in the Ofotfjord. The picture shows a dense herring layer near the sea surface, from 30 to 80 meters depth, from 10 minutes before passage to 10 minutes after passage. A vertical line in the middle indicates time of passage of the research vessel. The density and vertical distribution of the herring, as if it was recorded on board the vessel correspond to the situation at passage.



Figur 4.1.4

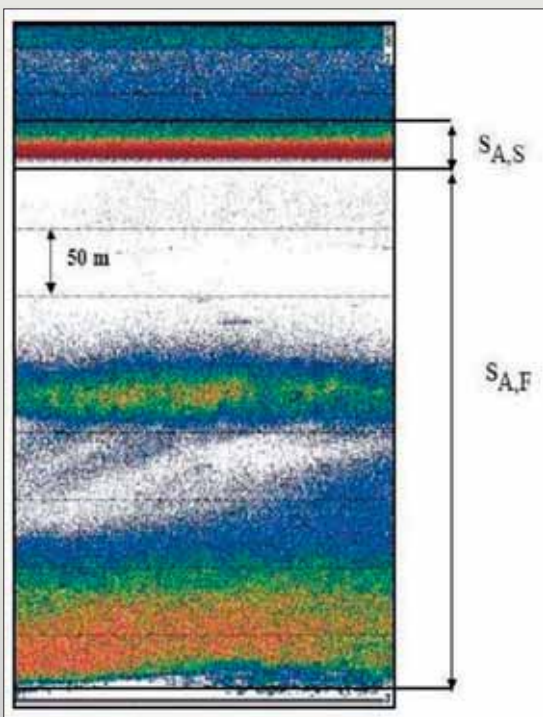
Måling av målstyrke av enkeltsild inne i et tett sildelag. Hver flekk er 10–30 deteksjoner av en enkelt sild som svømmer gjennom strålen. Probedyp 220 m, rekkevidde som er vist er 25 m. *Measuring the target strength of single herring inside schools. Each dot is 10–30 individual detections as the herring swims through the acoustic beam. Depth of probe 220 m, range seen, 25 meters.*

Ekkostyrke avhengig av dyp

Kunnskap om hver enkelt fisk sin ekkostyrke, eller dens evne til å reflektere lyd, er helt essensiell for å mengdemåle fisk akustisk. Antall fisk i stimen fremkommer nemlig ved at ekkosignalet av hele stimen deles på gjennomsnittsekkot fra én enkelt fisk. Det er fiskens svømmeblære som er avgjørende, den bestemmer 90–95 % av den totale ekkostyrken. For fisk med vanlig, lukket svømmeblære og god kapasitet til å produsere gass til justering av oppdrift, for eksempel torsk, er dette rimelig enkelt, fordi den er omtrent like stor på alle dyp. Dermed er ekkostyrken av en torsk i

hovedsak bestemt av blærens og dermed fiskens størrelse.

Hos sild, derimot, er dette langt mer komplisert. Sild kan ikke trykke ny gass inn i blæren når den presses sammen etter hvert som silda går dypere og trykket øker. Derfor minker svømmeblærens volum med dypet, og sammen med det minker silda sin ekkostyrke. Nøyaktig hvordan dette skjer har vi studert i eksperimenter med sild i store laksemerder. Her ble ekkoevnen nær overflaten kartlagt i detalj over tre år; også hvordan den endret seg gjennom sesongen etter naturlige svingninger i fettinnhold



Figur 4.1.5

Ekkogram fra svinger monterert på 400 meters dyp i Ofotfjorden. Brukt her for å måle akustisk skyggeeffekt i tette stimer. Overflateekkoet er brukt som referanseekko. Endringen av referanseekkoet brukes for å måle hvor stor demping vi har når signalet passerer gjennom sildelaget. *Echogram from transducer mounted on the bottom at 400 m depth in the Ofotfjord. Used for quantifying acoustic extinction in dense herring layers. The surface echo is used as a reference. Changes in the reference echo are used to estimate the attenuation through the herring layers.*

og under gyting. I felten, inne i de store flakene av sild inne i Ofotfjorden, har vi i tillegg målt millioner av ekko fra enkeltfisk med spesialutviklet utstyr som senkes inn i selve stimen (Figur 4.1.3). Ekkogrammet i Figur 4.1.4 viser et eksempel på slike enkelttekkomålinger med såkalt splittstråle ekkolodd. Når vi har målt for eksempel 10 000 slike enkelttekkomålinger på ett dyp, kan vi regne ut en gjennomsnittsverdi – og den usikkerhet – og kan gå videre til neste dyp. Mange slike målstyrkestasjoner over flere år gjør at vi nå kjenner ekkostyrken til sild på ulike dyp med en usikkerhet som er mindre enn 10 %. Dette betyr at denne faktoren ikke lenger er kritisk i den totale usikkerheten ved bestandsmåling av sild.

Tette stimer skaper problemer

I de aller tetteste forekomstene av sild i stim vil noe av lyden fra ekkoloddet bli absorbert inne i stimen og ikke reflektert til skipet. Det kalles akustisk skyggeeffekt og innebærer at de nederste delene av stimen ikke vil bli målt på lik linje med de øverste. Vi får samme problem som man har med lys i skodde, der lyset absorberes av vannpartiklene og vi ikke ser gjennom til det som ligger bak.

I over 15 år har Havforskningsinstituttet gjennomført detaljerte målinger av dette akustiske fenomenet på sild, og korrigert mengdemålingene for dette "tapet". I årenes løp er metoden blitt forbedret, nye målinger blitt utført, og måle- og korreksjonsmetoden er blitt overført fra sildelag (også kalt slør) til tette stimer. For et vanlig tokt gir korreksjonen for skyggeeffekter en økning av totalmengden sild på om lag 5–13 %, avhengig av hvor tett fisken står. Figur 4.1.5 viser en ekkoregistrering fra Ofotfjorden. Først har vi målt ekkostyrken fra overflaten uten sild mellom overflaten og svingeren, som ligger på bunnen og ser oppover. Når sildestimene vandrer forbi svingeren, kan vi nå måle direkte hvor mye dempingen har vært, og derved elegant og nøyaktig måle silda sin "skyggeevne", og variasjoner i denne. Dette brukes så for å korrigere målt mengde med ekkolodd, men blir også viktig for nøyaktig mengdemåling med sonar, der skyggeproblemene er tilsvarende.

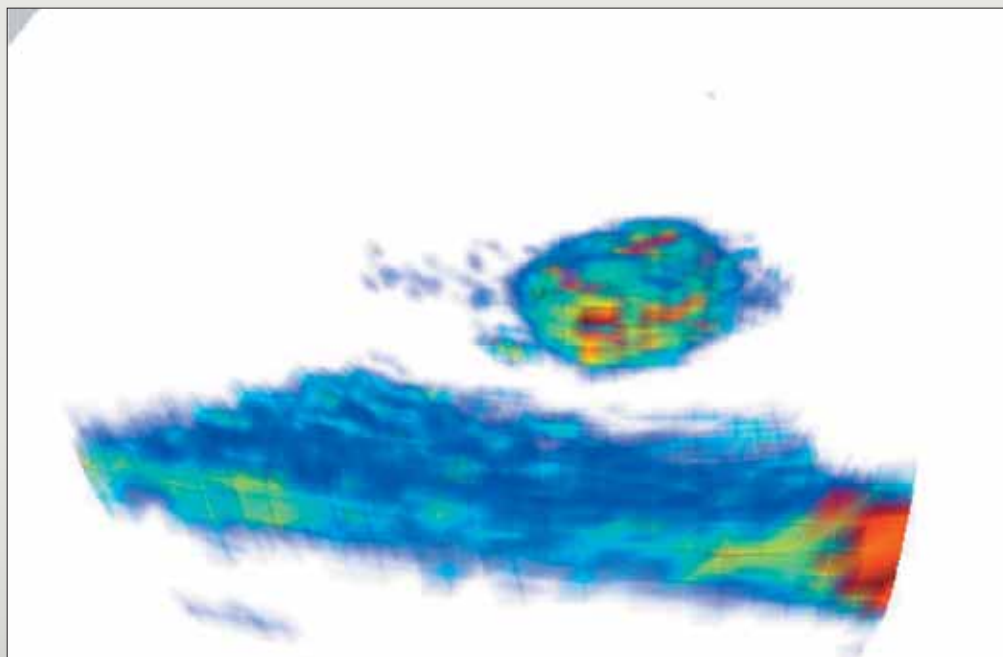
Enda ikke helt i mål

Fartøyutvikling, endring i ekkostyrke og skyggeeffekt er de tre viktigste kildene til systematiske målefeil. De vil variere med hvilket dyp silda står på under måling og hvor tett stimen er. Siden feilen er variabel, vil den påvirke toktresultatene forskjellig fra år til år.

I tillegg til å justere kalibreringsmetoden vår for disse målefeilene, har vi forbedret nøyaktigheten i identifikasjon av sild på

Figur 4.1.6

Liten brislingstim målt med 3D-sonaren om bord i "G.O. Sars", Simrad MS70. Stimekko og bunnekk vist. *Small sprat school measured with 3D sonar on "G.O. Sars", Simrad MS70. Echo from school and bottom is shown.*



ekkgrogrammene ved bruk av såkalt multifrekvens-analyse. Det gir oss en automatisk artsidentifikasjon som skiller sild fra andre fiskeslag og plankton. Noen av de mest avanserte fiskefartøylene bruker også nå denne metoden for å automatisk skille mellom sild, lodde, makrell, tobis og taggmakrell. Separering av planktonekko fra fiskeekko er også rimelig enkelt med denne metoden.

Når totalmengden av den målte fisken skal oppdeles i årsklasser, er det viktig at trålingen gir et rett og representativt bilde av bestanden og at alderslesingen er korrekt. Prøvetaking inne i tette sildekonsentrasjoner, ofte i flere lag, er problematisk fordi fangstene kan bli store selv med meget korte hal, og en prøve fra dyp-lagene på 300–500 meter ble ofte ødelagt av fisk fan-

get på opp- og nedtur. Her har vi hatt god nytte av en type pelagisk trål (multisampler) som gir mulighet til å åpne og lukke tre sekker på ulike dyp i samme trålhal.

Når vi nå skal beregne "absolutt mengde" sild, tar vi utgangspunkt i de akustiske målingene fra toktet. Først korrigerer vi for fartøyunnvikelse og skyggeeffekt. Deretter beregner vi usikkerheten knyttet til selve deknningen ved hjelp av geostatistikk, og til slutt kopler vi tråldataene og aldersfordelingene, også med sin usikkerhet. Avhengig av område og fordeling av silda på overvintringsområdet, ser vi nå at enkelte år må justeres mye og andre lite i forhold til de opprinnelige målingene fra toktet. Den totale usikkerheten er enda mellom 18 og 35 %. Hovedårsaken ligger fortsatt i dekningsgrad (for liten tid til å

dekke de aller tetteste forekomstene) og i fartøyunnvikelse.

Videre forbedringer ligger nå i å effektivisere toktenes dekningsgrad ved å bruke et såkalt adaptivt kursmønster under toktet, dvs. å endre strategi og dekningsgrad der man finner tette konsentrasjoner. Dessuten kan målingene av sildestimer nær overflaten fortsatt bli bedre. Begge deler blir viktige forskningsområder det kommende året. En viktig milepæl blir å ta i bruk en ny 3D-sonar under sildetoktene. Med den håper vi å redusere problemet med unnvikelse ved å måle sildemengden fra overflaten til 100 meters dyp et stykke fra fartøyet, uten å forstyrre fisken (Figur 4.1.6).

Absolute abundance estimation of herring

Methods for absolute abundance estimation are broadly described here for a stock where the main sources of survey bias have been identified and removed. For the stock component of herring wintering in the Vestfjorden–Ofotfjord area, experimental work conducted over the last five years are summarized and used for correcting the estimate. Additionally, since the error and uncertainty in each of the parameters involved are given with

their individual uncertainties, it is possible to specify the total uncertainty in the corrected estimate. Decomposing the total uncertainty is also possible. The bias corrected for are: Vessel avoidance, depth-dependent target strength and extinction. Improvements in sampling strategy by trawl and age reading are also important. Bootstrapping methods used in the statistical evaluations and for geostatistics have been developed in cooperation with

the Norwegian Computing Center in Oslo. A total uncertainty of 18–35 % (CV), is seen for the survey estimates analyzed, 2001–2004. A large part of this uncertainty still lies within the way the survey have covered the stock, indicating that an adaptive survey strategy should be developed in order to increase the effort in the most concentrated parts of the stock. Reducing vessel avoidance is also an important task.