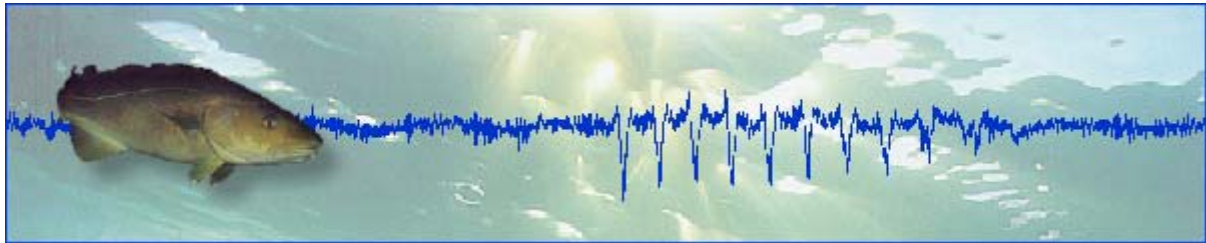


## C. Faglig rapport



## Biologisk lyd brukt til selektivt fiske

Aud Vold Soldal og Børge Damsgård

Innledning .....	2
Oppnådde resultater i forhold til målsetning .....	2
Mål .....	2
Måloppnåelse .....	3
Faglig gjennomføring og oppnådde resultater .....	5
A. Biologisk lyd fra fisk .....	5
Materiale og metoder .....	5
Metodikk for lydopptak .....	5
Metodikk for tilbakespilling av lyd .....	7
Gjennomførte feltforsøk: .....	8
Opptak av biologisk lyd fra torsk i merd .....	9
Verktøy for lydanalyser .....	9
Resultater .....	9
Lydopptak .....	9
Tilbakespilling av lyd .....	13
B. Akustisk adferd mellom spekkhogger og sild .....	15
Innledning .....	15
Material og metode .....	15
Resultat og diskusjon .....	17
Publisering og forskningsformidling .....	22
Rapporter og publikasjoner .....	22
Vitenskapelige artikler under utarbeidelse: .....	23
Posters .....	23
Annen forskningsformidling .....	23

## Innledning

De fleste fiskearter, blant annet de fleste torskefisk, har god hørsel. Mange arter har også evnen til å produsere lyd. Også hval bruker lyd aktivt i sin kommunikasjon med omverdenen. Hos fisk produseres disse lydene hovedsakelig ved at svømmeblæra settes i vibrasjoner av spesielle "tromme-muskler" festet til den gassfylte blæra. Lydene produseres under ulike typer av atferd, for eksempel under kampen om føde og under territorial atferd, og er svært viktig under pardannelse og gyting. Størrelsen på trommemusklene varierer fra art til art og gjennom året. Størrelsen er en indikasjon på hvor aktivt fisken benytter lyd som en del av sitt atferdsmønster. Hos mange arter har hannene større trommemuskler enn hunnene, og de er gjerne større under gytesesongen enn i resten av året.

I en årrekke har det vært drevet forskning omkring ansvarlig fangstmetodikk. Ikke desto mindre har de fleste fangstmetoder fortsatt negativ påvirkning på bestand og miljø. Fremdeles er størrelsen av uønsket bifangst og utkast betydelig, til tross for en rekke påbud for å bedre redskapenes selektivitet, slik som maskestørrelser, sorteringsrister og utslippsvinduer. I dette prosjektet har man forsøkt å finne ut om man kan utnytte fiskens språk til å påvirke fiskens atferd, for eksempel å lokke til seg eller skremme vekk fisk ved hjelp av biologisk lyd. Den langsiktige målsetningen med prosjektet har vært å utnytte biologisk lyd til å utvikle mer skånsomme og selektive fangstmetoder.

## Oppnådde resultater i forhold til målsetning

### Mål

Prosjektets opprinnelige målsetning var:

*Å klarlegge atferden til marine fiskearter ved tilbakespilling av naturlig lyd produsert av disse, med henblikk på å benytte biologisk lyd til å videreutvikle arts- og størrelsesselektive fangstmetoder.*

Delmål:

*Samle inn og analysere biologisk lyd som marine arter produserer i ulike sammenhenger*

*Studere effekten av tilbakespilt lyd fra fisk og hval på fisks atferdsmønster*

*Utvikle selektive fangstmetoder basert på atferdspåvirkning via biologisk lyd*

## Måloppnåelse

Det kan ikke sies at man har kommet fram til prosjektets endelige mål: å utvikle selektive fangstsystemer basert på biologisk lyd. I våre farvann har det ikke tidligere vært arbeidet med biologisk lyd fra fisk. Derfor var de grunnleggende kunnskapene om våre fiskearters produksjon og forståelse av lyd svært begrenset da prosjektet startet. Dette gjorde at man måtte bruke betydelig mer tid på basisstudier av fiskens lydproduksjon og atferdsmønstre koplet til lydbruk enn først antatt.

### *Delmål 1: Innsamling og analyser av biologisk lyd fra marine arter*

Denne delen av prosjektet vært svært vellykket. Gjennom hele prosjektperioden er det gjort til dels svært banebrytende opptak av biologisk lyd fra fisk og hval. Produksjon og betydning av slik lyd, særlig fra fiskearter som har fiskeriøkonomisk betydning i Norge, har bare i ubetydelig grad vært studert tidligere, og aldri under feltforhold. Derfor måtte det også legges ned betydelig arbeid i metodikkutvikling i første del av prosjektperioden. Gjennom prosjektperioden er det bygget opp et lydbibliotek med opptak fra fiskeartene torsk, hyse, sei og brosme, samt hvalarten spekkhogger. Deler av lydbibliotekene er vedlagt sluttrapporten på to CD-er.

### *Delmål 2: Studere effekten av tilbakespilt lyd fra fisk og hval på fisks atferdsmønstre*

Gjennom prosjektperioden ble det gjort flere feltforsøk med tilbakespilling av lydopptak fra fisk. Slike forsøk krever stor forståelse for fiskeatferd og de stimuli som påvirker atferden. Fisken reagerer ikke utelukkende på lyd, men utsettes kontinuerlig for en lang rekke stimuli, slik som lys, lukt, strømninger i sjøen, etc. Når fisken reagerer, er det på summen av alle disse stimuli. En lyd som har en biologisk betydning under én ”setting”, kan være meningsløs i en annen. Fisken kan også reagere ulikt avhengig av årstid, alder, fysiologisk status, mv. Det kreves derfor en lang rekke forsøk under kontrollerte betingelser for å kunne trekke klare slutninger om lyds innvirkning på fiskens atferd. Det viste seg gjennom forsøkperioden at fiskens responser på tilbakespilt lyd var mye mer komplisert enn man i utgangspunktet hadde trodd. For eksempel har vi foreløpig ikke dokumentert entydige tiltrekningsresponser ved tilbakespilling av lyd, noe som er nødvendig dersom man skal utvikle redskaper basert på lydstimuli.

I prosjektets planleggings- og oppstartfase var man unektelig for optimistiske når det gjelder kompleksiteten av tilbakespillingsforsøkene. Det er gjennomført tilbakespillingsforsøk for vill fisk i felt under overvåking av undervannsvideo. Det er også gjort tilsvarende forsøk der man ved hjelp av akustisk merketeknologi har studert hvordan utsendt lyd påvirker fiskens atferd. Dataene fra disse forsøkene er komplekse og vanskelige og tolke. De er under analyse mens denne sluttrapporten skrives, slik at vi ikke kan presentere de endelige analysene. Resultatene skal presenteres ved The 6<sup>th</sup> ICES Symposium on Acoustics in Fisheries and Aquatic Ecology, Montpellier, Frankrike, Juni 2002.

### *Delmål 3: Utvikle selektive fangstmetoder basert på biologisk lyd*

I siste fase av prosjektet ønsket man å utnytte eventuelle atferdsresponsers til å utvikle miljøvennlige, selektive fangstmetoder. Man tenkte seg for eksempel å bruke lyd i stedet for eller i tillegg til agn i en fangstfelle eller teine. Man vurderte mulighetene til å skremme bort småfisk ved å benytte lyd fra en større, truende fisk, eller å lokke til seg voksen fisk ved å sende ut lyd fra en gytemoden hann. Tilbakespillingsforsøkene har imidlertid vist at dette er langt fram i tiden. Det nærmeste man kom fangstforsøk i prosjektperioden, var tilbakespillingsforsøk der man sendte ut biologisk lyd i et fjordbasseng og studerte hvordan den utsendte lyden påvirket svømmemønsteret til akustisk merket fisk. Man håpet på å observere rene lokke- eller skremmeresponser. Imidlertid lyktes det ikke å finne entydige tiltrekking eller avskremming. Før vi evt. kan regne med å ha et ferdigutviklet fangstkonsept basert på biologisk lyd gjenstår et betydelig arbeid med å kartlegge og forstå fiskens språk og atferd.

## Faglig gjennomføring og oppnådde resultater

### A. Biologisk lyd fra fisk

Av Aud Vold Soldal, Havforskningsinstituttet

#### Materiale og metoder

##### *Metodikk for lydopptak*

Under arbeidet med å ta opp lyd fra fisk har vi benyttet to hovedmetoder:

Den første baserer seg på at en hydrofon er utplassert i sjøen med direkte kabelforbindelse til basestasjon eller fartøy. Avhengig av forsøkets art har vi så eventuelt montert hydrofonen på en rigg sammen med et undervannskamera for å kunne observere fisken vi lytter til. Lyden blir så tatt opp på digital båndopptaker for analyse.

I det andre oppsettet har vi brukt en tilsvarende kamerarigg som har kabelforbindelse til en kommunikasjonsenhet som flyter på overflaten. Denne overfører så video- og lydsignaler trådløst til basestasjonen. Dette systemet er etter hvert blitt utviklet videre slik vi nå kan lagre lydopptak på disk tilkoblet en instrument-PC plassert i undervannsenheten. Vi kan da fjernstyre lydopptak, signalforsterker og kamera via radioforbindelsen. Dette gir den store fordel at vi i mindre grad påvirker fisken med vår tilstedeværelse siden forskningsfartøyet eller observasjonsplattformen kan ligge en godt stykke vekk fra hydrofonen.

For å kunne ta opp lyd laget av fisk har vi benyttet svært følsomme hydrofoner fra Brüel & Kjær. Disse gir kalibrerte signaler som kan sendes gjennom lange kabler uten signaltap. Det er behov for å kunne justere forsterkningen av hydrofonsignalene etter signal- og støyforhold i sjøen under lydopptakene. Vi bruker da spesielle signalforsterkere som også forsyner hydrofonen med driftsspenning. I den fjernstyrte undervannsenheten benyttet vi oss av en signalforsterker som kan styres fra undervannsenhetens datamaskin slik at vi bl.a. kan sette signalforsterkning og filtrering på frekvensområdet vi skal lytte til.

For å kunne følge med på hvilke fisker vi lytter til samt observere deres atferd, har vi brukt svært lysfølsomme lavlyskamera. Dette gjør det mulig å observere under vann uten kunstig

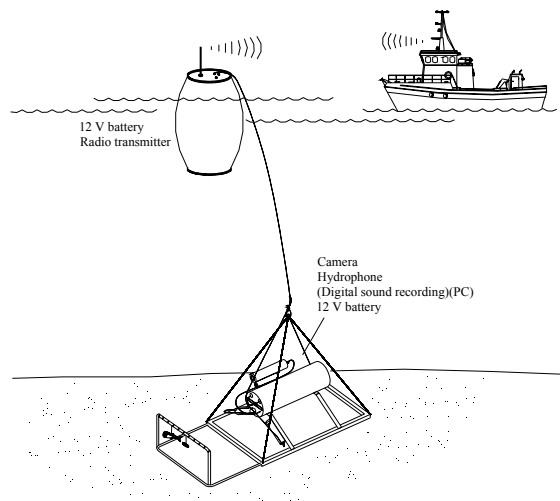
lys under forhold med lite naturlig lys. Dette reduserer faren for at selve forsøket påvirker fiskens atferd.

Når vi har bruker den fjernkontrollerte undervannsenheten føres lyd- og videosignaler via kabel til en overflatebøye sammen med en serielinje for nettverksforbindelse. To radioforbindelser sørger for å sende disse signalene til basestasjon eller fartøy. Video og lyd kan sendes trådløst opp til et par kilometer mens den serielle nettverksforbindelse for fjernkontroll av undervannsenheten rekker opp til ti ganger så langt. Denne måten å gjennomføre forsøkene på er igjen med på å redusere påvirkning av fiskens atferd på grunn av vår tilstedeværelse (Figur 2).

Enten lydsignalene er kommet via kabel eller trådløst til instrumentrommet er lyden tatt opp på digitalbånd for senere analyse. Her kan også videokamera overvåkes og undervannsenheten fjernstyres når vi bruker den.



**Figur 1. Instrumentoppsettet om bord i F/F fangst under forsøk med lydopptak og tilbakespilling av lyd i Balsfjorden høsten 2001.**



**Figur 2. Skisse av den fjernstyrte undervannsenheten som brukes til å observere fisk og gjøre lydopptak.**

### *Metodikk for tilbakespilling av lyd*

I den siste fasen av prosjektet forsøkte man å spille tilbake opptak som er gjort av ulike fiskelyder og studere hvordan fiskens atferd påvirkes av disse lydene. Først og fremst var vi da avhengig av å kunne spille tilbake lyd i sjøen på en realistisk måte og deretter måtte vi kunne følge atferden til fisk som ble utsatt for lydpåvirkning.

For å få til realistisk tilbakespilling av lyd ble det brukt en spesialutviklet trykkompenserte undervannshøytalere utviklet av Erling Kjellsby ved Forsvarets Forskningsinstitutt og Bård Holand hos SINTEF. Lydavspillingen ble kontrollert ved å gjøre lydopptak av den avspilte lyden og deretter sammenligne den med originalopptaket.

For å kunne følge fiskens bevegelser mens den ble utsatt for lydpåvirkning ble det brukt direkte observasjoner med undervannskamera og/eller akustisk merketeknologi. Merkene ble pakket inn i et agn festet til en videoovervåket instrument-plattform slik at vi kunne se størrelse og art på den fisken som spiste merket. Det akustiske merket ble liggende i fiskens mage hvor det sendte kodete akustiske signaler med jevnt intervall.

Merkenes akustiske signaler ble fanget opp av lyttebøyer plassert i et triangel slik at fiskens posisjon kunne beregnes. Det var dermed mulig å følge svømmeatferden for flere fisker

samtidig mens de ble påvirket av den tilbakespilte lyden. Data for fiskenes posisjon ble sendt via radio fra bøyene til en datamaskin ombord i fartøyet. Her kunne man så følge fiskenes bevegelser på PC skjermen samtidig som posisjonsdata ble lagret for senere analyse.

### *Gjennomførte feltforsøk:*

Følgende tokt har vært gjennomført i toktperioden

- Tokt med F/F «Hyas» og M/S «Corona» april 1999. Under dette toktet ble metodikk for lydopptak i felt testet.
- To tokt med F/F Fjordfangst i første halvår av 1999. Det ene gikk i Lofotenområdet 21. til 26. april, og det andre i Troms 5. til 10. juli. Under det første toktet ble det gjort gode opptak av biologisk lyd fra hyse og brosme under næringsopptak og under aggressiv atferd. Under den andre toktperioden ble gjort opptak av biologisk lyd fra torsk og hyse.
- Tokt med F/F Oscar Sund 1. til 8. april 2000 i Lofoten. Formålet var å gjøre opptak av biologisk lyd fra gytende torsk, men dette ble ikke vellykket.
- To tokt F/F Hyas og M/B Corona i Balsfjord 13. til 18. april og 10. til 12 mai 2000 (ansvarlig Kjell Olsen, Fiskerihøgskolen). Forsøkene ble gjennomført i samarbeid med prof. Tony Hawkins, Marine Laboratory, Aberdeen. Formålet var å gjøre opptak av hyselyd.
- Tokt med F/F Fangst i Balsfjorden 26.09 til 06.10 00. Her ble det gjort gode opptak av torsk og sei. Det ble også gjort tilbakespillingsforsøk med fiskelyd.
- Tokt med F/F Fangst i ytre Romsdal 02.05 til 16.05.01. Det ble gjort opptak av torsk, hyse og brosme. Det ble også gjort tilbakespillingsforsøk med fiskelyd.
- Tokt med F/F Fangst i Ramfjorden/Balsfjorden 30.09. til 12.10.01. Atferden til akustisk merket torsk ble studert under tilbakespilling av biologisk lyd.

### *Opptak av biologisk lyd fra torsk i merd*

Ved Havforskningsinstituttets Akvakulturstasjon i Austevoll er det gjort lydopptak av torsk i merd. Hensikten har vært å kunne gjøre mer grunnleggende studier av torskens bruk av lyd enn det som er mulig i felt. Faktorer som har vært undersøkt er bl.a. om torskens bruk av lyd og kvaliteten/ oppbygningen og hyppigheten av lydsignalene endrer seg f.eks. med fiskens størrelse (vekst), tid på døgnet, sesonger/årstider og biologiske stadier.

### *Verktøy for lydanalyser*

Fiskelydene som er spilt inn i prosjektperioden er lagret i digitalt format, og senere analysert ved hjelp av analyseprogrammet Avisoft-SASLab Pro. Her kan man analysere faktorer som temporal-struktur (tidsforløp), frekvensspekter og energiinnhold.

## **Resultater**

### *Lydopptak*

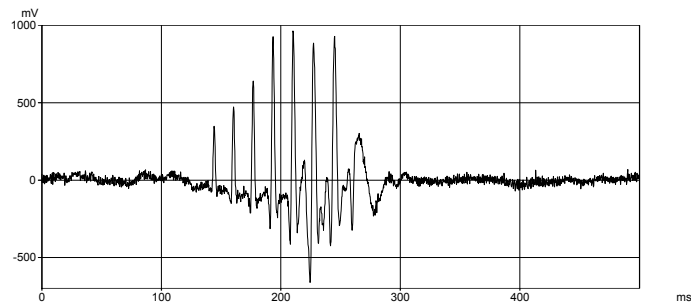
Lydopptakene som ble gjort gjennom forsøksperioden viste at biologisk lyd fra torsk, hyse, sei og brosme hadde følgende karakteristika:

- Den var lavfrekvent (oftest 50 - 500 Hz)
- Den besto av en “grunnpuls” gjentatt i ulike mønstre og hastigheter
- Lydpulsmønstrene, tids- og frekvensoppbyggingen av lydene var artsspesifikke

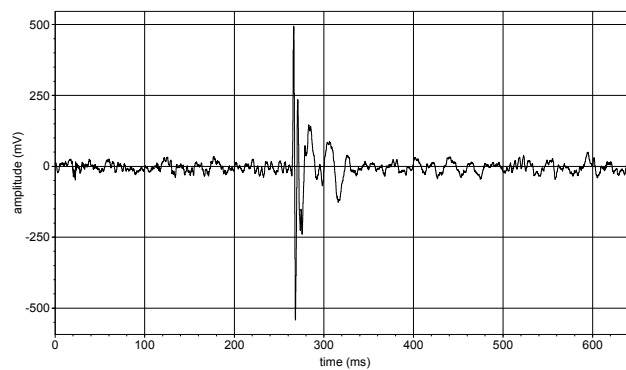
Når det gjelder lydopptak som er gjort i løpet av prosjektperioden henvises til CD-en som er vedlagt sluttrapporten.

Torsken lager flere ulike lydtyper som vi har kalt ”grynt”, ”bop” og lange serier av ”bop” (Figur 3).

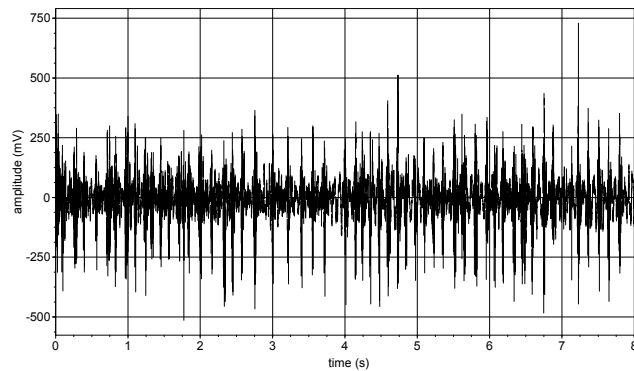
Torske”grynt”:



Torske”bop”



Serie med ”bop”:

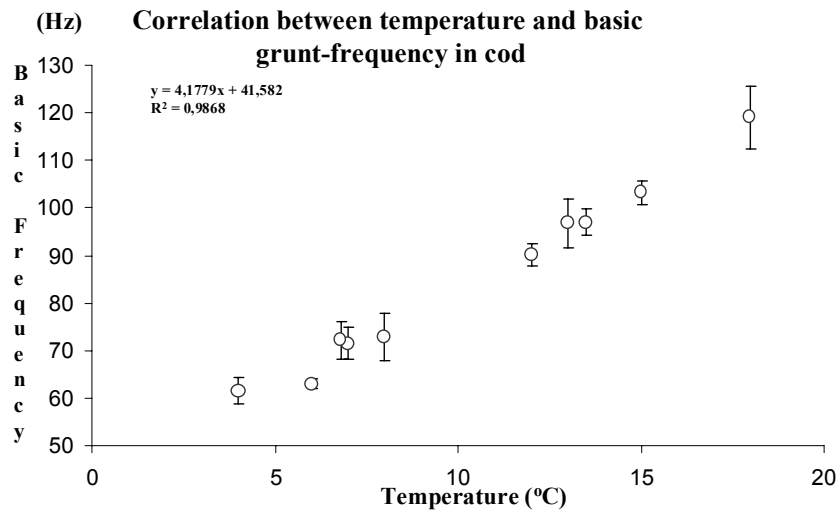


**Figur 3: Ulike lyder fra torsk**

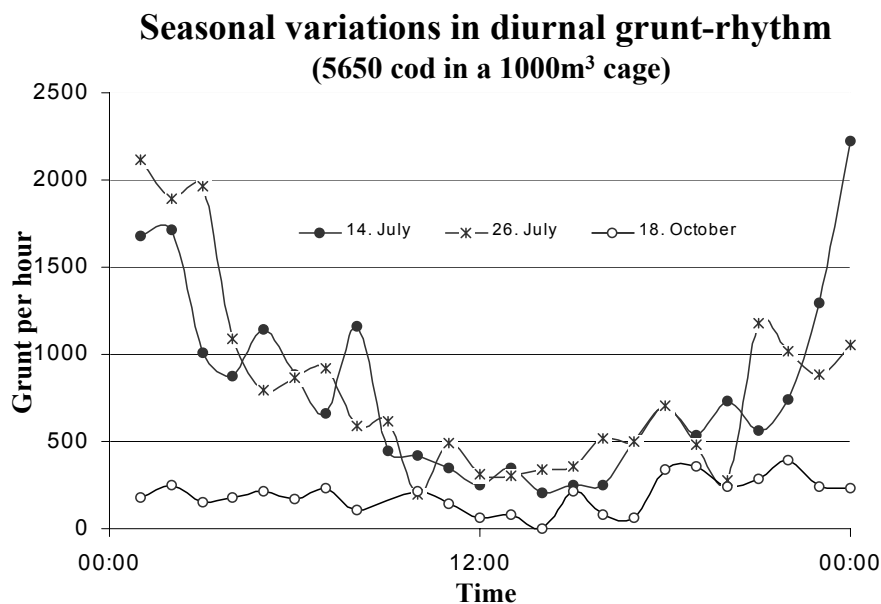
Vi har også dokumentert at torsken benytter et spesielt lyd-vokabular under forspill og gyting. En hovedfagsstudent ved Havforskningsinstituttet er nå i ferd med å studere sammenheng mellom fiskeatferd og lydbruk under gyting.

Ved å følge torsk i merd i Austevoll gjennom året ble det påvist at grunnfrekvensen i torskens grynt er svært avhengig av temperaturen i vannet torsken oppholder seg i (Figur 4). Det er

også vist at torskene bruker lyd hyppigere om sommeren enn om vinteren og at lydbruken er mest intens om natten (Figur 5).

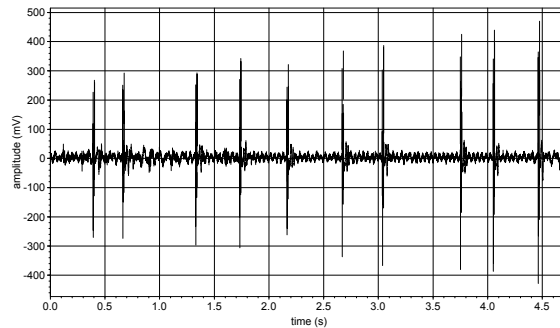


Figur 4. Grunnfrekvensen i torskens grynt viser seg å være sterkt korrelert med sjøtemperaturen der fisken lever.

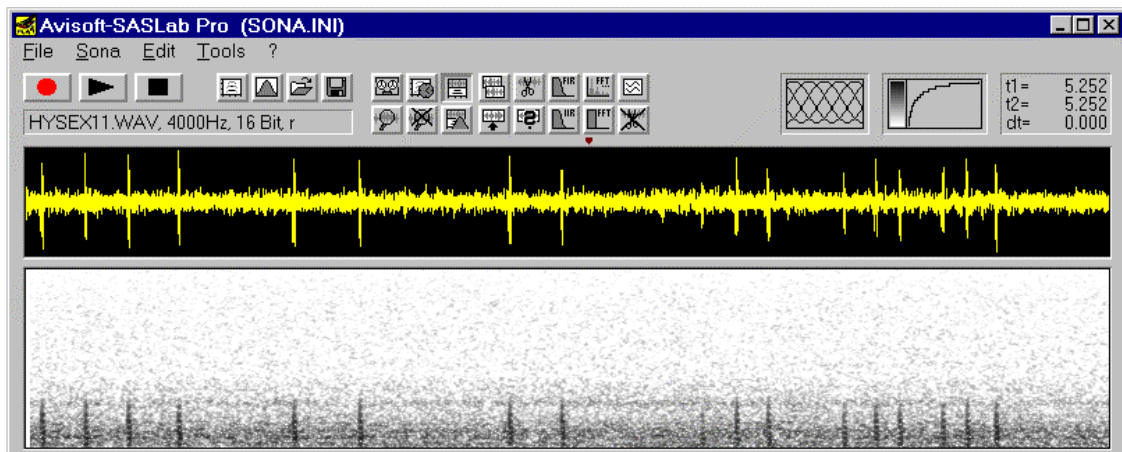


Figur 5. Torskene bruker lyd mer aktivt om natten enn om dagen, og lydaktiviteten er høyere om sommeren enn om høsten.

Hysa lager korte ”dunk” som gjentas med varierende antall og hyppighet (Figur 6 og 7):

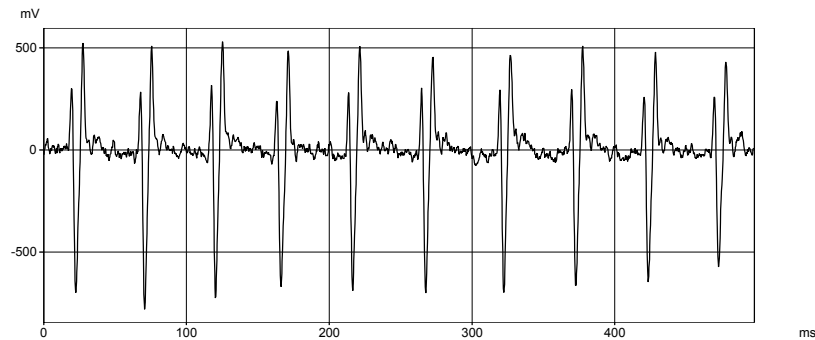


Figur 6: Figuren viser tidsstrukturen av såkalte ”dunk” fra hyse.



Figur 7: Analyse-bilde av en serie hyse”dunk”. Den gule kurven viser energiinnholdet i lydsignalene over tid, mens det nederste feltet viser spektrogram eller frekvensfordeling over tid.

Brosma lager lange serier med korte pulser som høres nesten ut som knurring



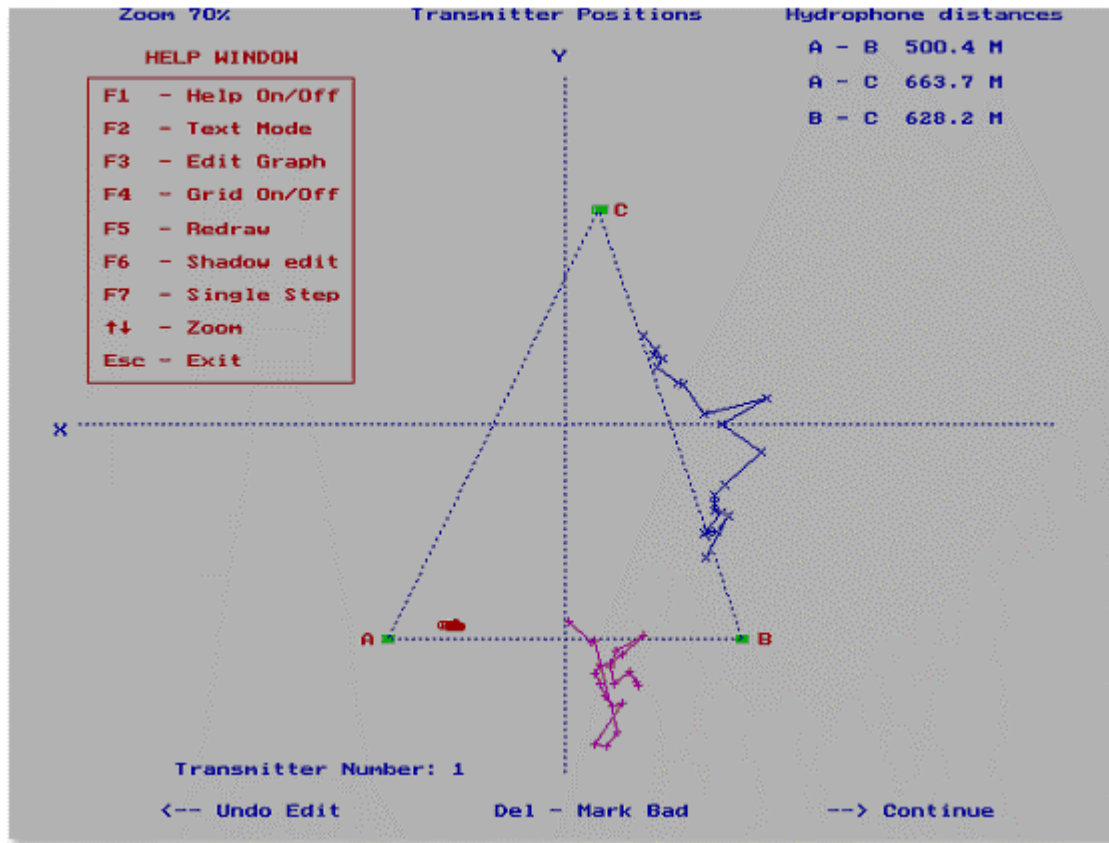
**Figur 8:** Figuren viser utsnitt av tidsstrukturen i knurring fra brosme.

### *Tilbakespilling av lyd*

Figur 9 viser svømmemønsteret til to torsk under tilbakespilling av en såkalt ”bopserie” fra torsk. Den ene fisken svømte først raskt vekk fra lydkilden, men snudde og svømte rundt i området. Den andre trakk vekk fra lydkilden. Under tilbakespilling av lydopptak som er gjort av fisk i felt og merd, har man observert kortvarige alarm- og attraksjonsrespons. Det er imidlertid klart at fiskens reaksjon på de utsendte lydsekvensene må ses i sammenheng med det totale stimulibildet som fisken utsettes for. Selv om lyden fra en stor aggressiv torsk umiddelbart vil virke skremmende på et byttedyr som for eksempel småhyse eller sei, forsvinner denne fryktreaksjonen relativt raskt når lydstimuliet ikke koples til et visuelt stimuli, dvs. at predatoren ikke er synlig. For å kunne forstå fiskens reaksjoner på tilbakespilt lyd og kunne dra nytte av disse til for eksempel fangst, kreves det omfattende grunnleggende studier av fiskeatferd under lydpåvirkning. Det er viktig å ikke se på lyd som isolert stimuli, men å forstå det i sammenheng med det totale stimulibildet.

Et annet stort problem under tilbakespillingsforsøk er at fisk, særlig torsk, kondisjoneres svært raskt. De lærer seg raskt til å gjenkjenne de utsendte lydsignalene, og de erfarer at lydene de hører ikke følges av noen positive eller negative stimuli som det har noen hensikt å reagere på. Dette har vi observert i felt. Torsk har i de første tilbakespillingsforsøkene tilsynelatende blitt tiltrukket til torskegrynt, men har beveget seg vekk fra lydkilden når vi har sendt ut

såkalte ”bopserier” fra torsk som vi antar har en aggressiv eller revirhevdende betydning. Etter to til tre repetisjoner av forsøkene, forsvinner effekten, trolig på grunn av kondisjonering.



Figur 9. Eksempel på torsks svømmeatferd under tilbakespilling av lyd. A, B og C er lyttebøyer plassert ut i sjøen. De røde sirklene litt til høyre for A markerer høyttalerens plassering. De to linjene markert med x er svømmemønsteret til to torsk under utsending av torskelyd.

## **B. Akustisk adferd mellom spekkhogger og sild**

Av Børge Damsgård, Fiskeriforskning

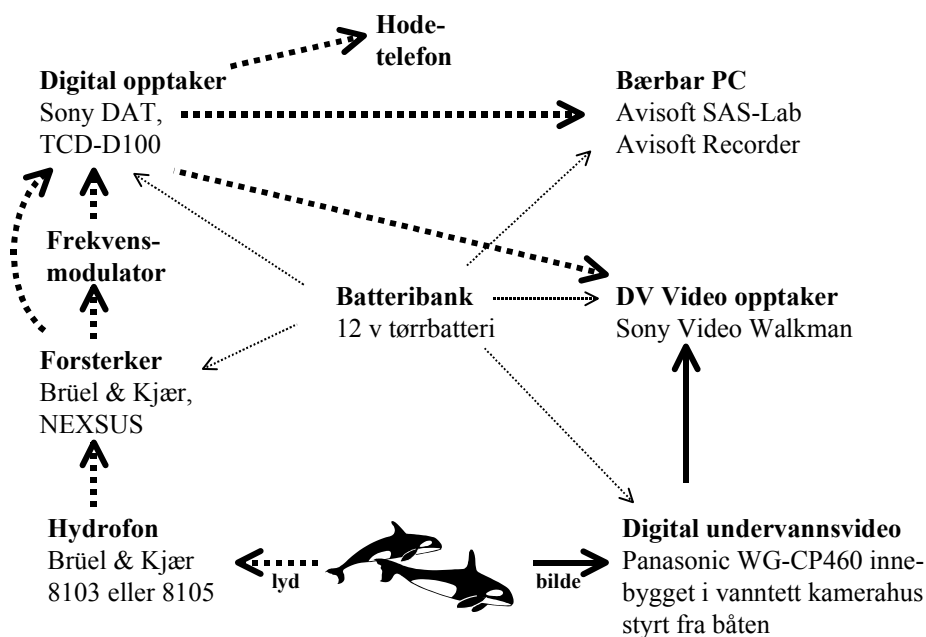
### **Innledning**

Kunnskap om akustiske interaksjoner mellom marine predatorer og fisk kan benyttes til å styre fiskens adferd i forbindelse med fangst. Spekkhogger bruker ekkolokalisering for å finne byttfisk, og det er kjent at kvalene bruker akustiske signaler for å samle eller forvirre byttet. Spekkhoggere har et rikt forråd av lyder, inklusiv klikkelyder, plystrelyder og pulsllyder. Betydningen av ulike lyder og dialekter er bare delvis kjent. Norske spekkhoggere følger den sesongmessige vandringsen til norsk vårgytende sild. Spekkhoggere i Nord-Norge bruker flere teknikker til å fange silda, blant annet en “karuselljakt” som kan beskrives med at flere kvalene isolerer og “gjeter” en liten stim med sild, mens enkeltvis kvaler spiser sild etter at de har slått noen sild i svime med et kraftig slag med halen. Akustisk adferd ved karuselljakt er ikke undersøkt, men en kan ofte høre ulike lyder mens spekkhoggerne gjeter og spiser av sildestimene. En trodde tidligere at fisk ikke var i stand til å oppfatte lyder over 2-3 kHz og dermed ikke kunne høre klikkene til spekkhoggerne. Det har imidlertid vist seg at enkelte fiskearter kan oppfatte høyfrekvente klikk med et høyt lydtrykk. Med tanke på at vi i dette prosjektet først og fremst har vært interessert i akustiske signaler som kan tenkes benyttet i forbindelse med selektiv fangst har vi derfor gjort opptakene mens kvalene søker og jakter på sildestimer.

### **Material og metode**

I prosjektperioden 1998-2001 gjorde vi akustiske opptak av spekkhoggere i Vestfjorden i området fra Tysfjord til Henningsvær, i tiden fra sent i oktober til tidlig i desember. Feltarbeidet ble planlagt og gjennomført av Børge Damsgård, i samarbeid med Tiu Similä og Teo Leyssen. Sammenliknet med fiskelyder har opptak av kval-akustikk noen spesielle utfordringer. Feltarbeidet ble gjort sent på høsten i svært værutsatte områder. Det var ikke mulig å gjøre opptakene fra store båter, og vi var avhengig av å finne og følge kvalene i løpet av korte perioder med lys. Etter at kvalene var lokalisert fulgte vi dem på avstand. I tilfelle de begynte å jakte på sild gjorde vi de fleste opptakene og observasjoner fra gummibåt helt i nærheten av kvalene. Slike observasjoner kunne bare gjøres dersom det ikke var fiskebåter og kvalsafaribåter i nærheten. Alt utstyr måtte være mobilt, vanntett, kuldetolerant og drevet av

12 v tørrbatteri. I tillegg var vi avhengig av å jobbe i et frekvensområde som ligger utenfor det menneskelige audioområde. Disse forutsetningene gjorde at vi bruke en del tid på metodeutvikling og –utprøving (Figur 10). Opptakene ble gjort med Brüel & Kjær hydrofoner (8103 og 8105) og forsterker (Nexusus). For å studere høyfrekvente lyder samtidig som vi tok opp lyder i audioområdet benyttet vi en frekvensmodulator på den ene kanalen. Både høyfrekvent og lavfrekvent signal ble deretter overført til en digital opptaker. I løpet av feltsesongen 2001 gjorde vi i tillegg digitale undervannsoptak av spekkhoggeren sammen med lydopptakene, for å undersøke kvalenes adferd når de bruker de høyfrekvente lydene.



**Figur 10. Skjematisk oversikt over utstyret benyttet til lyd og bildeopptak av spekkhoggere i Vestfjorden.**

Bruk av frekvensmodulator viste seg å være en enkel metode for å estimere frekvensen på klikkene. I tillegg har vi arbeider med en metode der vi kan ta opp høyfrekvent lyd direkte til bærbar PC ved hjelp av Avisoft Recorder (Berlin, Tyskland).

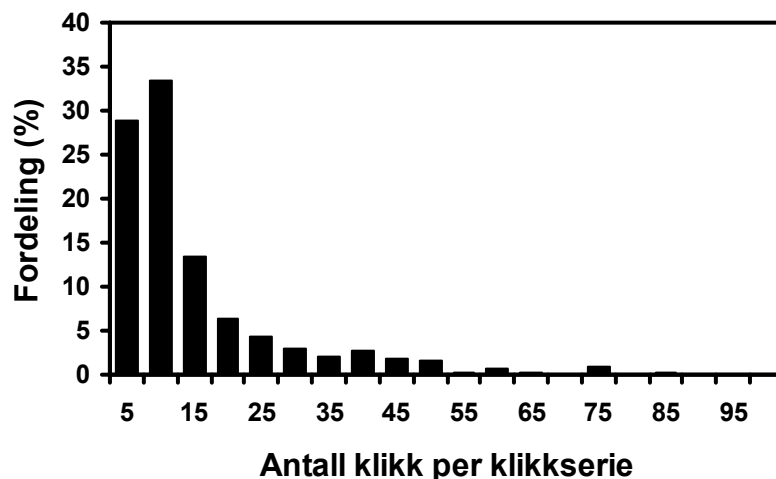
Målet med analysene var å identifisere fellestrekk i lydene som blir benyttet når spekkhoggere jakter på sild. Alle analysene av lydopptakene ble gjort ved hjelp av Avisoft SAS-Lab (Berlin, Tyskland). Vi har totalt om lag 6-8 timer opptak. Av disse opptakene digitaliserte vi ca 1200 klikkserier. Vi valgte deretter ut alle klikkserier som kunne identifiseres og skilles fra bakgrunnstøy, båter og andre kvaler. Vi ekskluderte også serier som ikke var komplett på grunn av overload, dårlige opptaksforhold eller liknende. De utvalgte klikkseriene ble

analysert med hensyn til totale tid, antall klikk og tid mellom hvert klikk i klikkserien. Deretter gjorde vi en frekvensanalyse av hvert målbare klikk i klikkserien. Det ble totalt analysert 329 klikkserier med totalt om lag 4200 klikk. Vi har også gjort en test av repeterbarheten i analysene våre, og testen viste liten variasjon i estimatene. Datamaterialet er fortsatt under statistisk bearbeidelse.

## Resultat og diskusjon

Analysene av klikkseriene viste at når spekkhoggerne jaktet på sild bruker de stort sett kortvarige serier med få klikk. Klikkseriene hadde et gjennomsnitt på 13,2 klikk per serie (n=329), og en variasjon fra 2 til 83 klikk. De fleste klikkseriene (62%) hadde under 10 klikk (Figur 11). Se også vedlagte CD for nærmere opplysninger om ulike akustiske signaler fra spekkhoggerne i Norge og andre steder i verden.

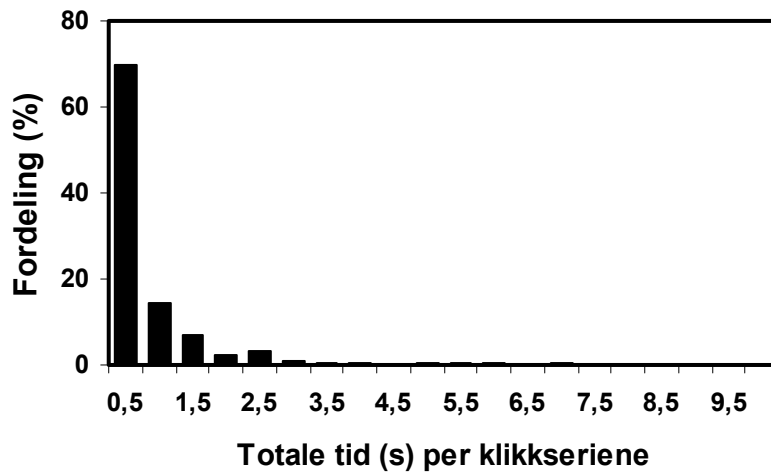
Det er imidlertid flere feilkilder som påvirker resultatet. Andre kvalarter sender flere klikkserier med korte opphold mellom seriene, og dette ble i våre analyser registrert som flere lyder. Det er også større sjans for at en lang lyd mangler så mye av informasjonen at den ble forkastet i analysen. På den annen side var det så stor overvekt av korte lyder at det er grunn



til å anta at opptakene er representativt.

**Figur 11. Fordeling (%) av antall klikk per klikkserie hos spekkhogger som jakter på sild i Vestfjorden.**

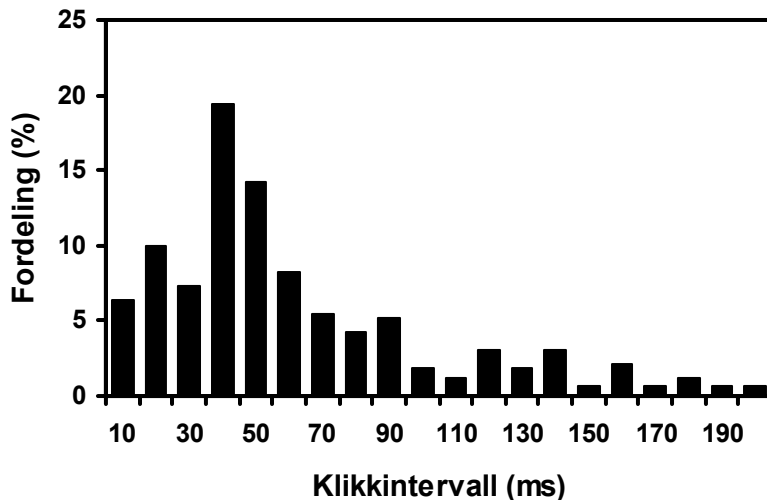
Den totale tiden på lydene var i gjennomsnitt 0,59 sekunder (n=329) med en variasjon fra 0,05 s til 6,7 s. Om lag 70% av klikkseriene var kortere enn 0,5 s (Figur 12).



**Figur 12. Fordelingen (%) av totale tid (sekund) per klikkserie hos spekkhogger som jakter på sild i Vestfjorden.**

Tiden mellom klikkene (klikkintervall) var i gjennomsnitt 69 millisekunder (n=329), med en variasjon fra 6 ms til 750 ms (Figur 13). Det var en tendens til at klikkintervallene var større i begynnelsen av klikktoget i forhold til i slutten, men dette er ikke endelig analysert.

Klikkintervallet indikerte at mange klikkserier ble benyttet på relativt kort avstand. Hvis vi legger til grunn at kvalene bruker 20 ms (av et intervall på 70 ms) til å tolke og sende ut ny lyd, kan vi estimere at klikket blir brukt på en avstand som tilsvarer bevegelsen av en lyd på 50 ms. Med en snitt hastighet på 1500 m per sekund tilsvarer 50 ms en avstand på 75 m, eller omkring 37 m mellom kvalen og objektet. Fordelingen av klikkintervallene indikerer at de fleste klikkene ble brukt i en avstand under 40 meter. Noen få klikkserier hadde intervaller over 200 ms, og det største intervallet var 750 ms. Dette tilsvarer en avstand på henholdsvis 150 m, og maksimalt 550 m mellom kvalen og objektet. Det var tilsynelatende ingen klar sammenheng mellom antall klikk, totale klikktid og klikkintervallene.



**Figur 13.** Fordelingen (%) av klikkintervallene (millisekunder) hos spekkhogger som jakter på sild i Vestfjorden. Klikk over 200 ms er ikke med i figuren.

Hvert enkelt klikk var svært kortvarig (0,05-0,2 ms), og det er derfor vanskelig å estimere frekvensområdet for hele klikkserien uten å bli påvirket av bakgrunnstøy. Det er heller ikke mulig å analysere klikkseriene i audioområdet der delen av lyden åpenbart er over grensen for opptakene på DAT-spillere. Av alle klikkserier kunne frekvensområdet bestemmes i 19 serier i audioområdet. Disse klikkseriene hadde en snitt topp på 14,6 kHz med en variasjon fra 6,0 til 21,5 kHz. Snitt bandbredde var 13,3 kHz. Analysene viste at svært mye av klikkene lå i det hørbare området for menneske. Det er også tilsynelatende forskjeller i bandbredden, og klikkseriene kan enten være bredbandet eller smalbandet. Frekvensområdet kan også endre seg i løpet av klikkserien. Noen av lydene hadde bare en topp i frekvensområdet, mens andre lyder hadde flere klart adskilte toppe.

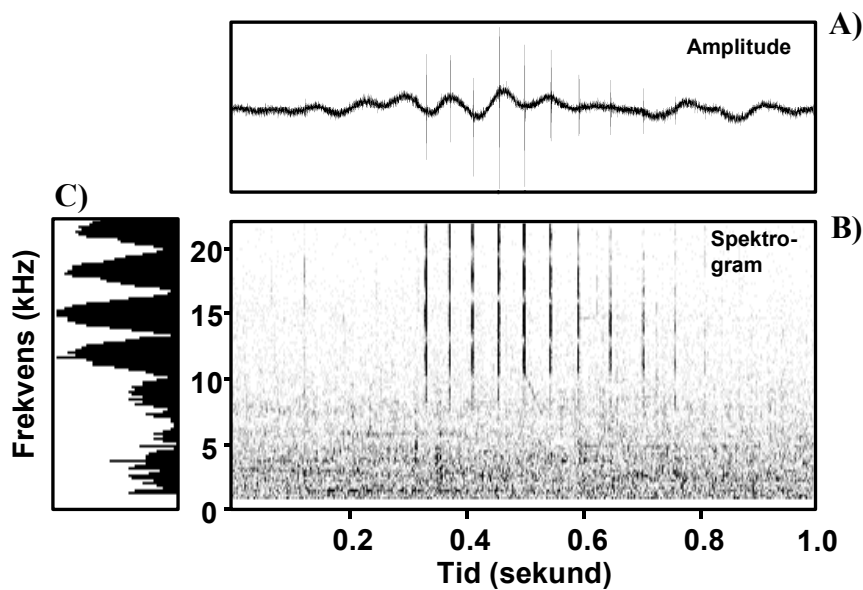
For å undersøke hvor stor andel av klikkseriene som er over audioområdet, gjør vi nå en statistisk bearbeidelse av lydene som er tatt opp i det høyfrekvente område. Dette omfatter mange tusen lyder og bearbeidelsen er ikke ferdig. Resultatene så langt viser at mye av energien i klikkene lå mellom 20 og 30 kHz, men enkelte lyder var opptil 80-100 kHz. Dette er lavere og mer bredbandet enn f.eks. nisa som produserer smalband-klikk omkring 120-140 kHz.

På bakgrunn av dette studiet kan vi konkludere at et typisk akustisk signal i forbindelse med fødeadferd hos spekkhogger vil være en klikkserie med om lag 10-13 klikk med et

klikkintervall på 40-60 ms, og en total tid på 0,4-0,5 s. En typisk klikkserie har et frekvensområde fra ca 5-30 kHz, med en maksimal energi omkring 15-20 kHz. Figur 14 viser et eksempel på en slik typisk klikkserie. Opptaket er gjort 3. nov. 1999 i Kanstadfjorden, under gode opptaksforhold med flere flokker av kvaler som jaktet på sild. Klikkserien har 10 klikk, en totaltid på 0,43 s, og et snitt klikkintervall på 53 ms (Figur 14 a). Klikkintervallet økte fra 49 til 61 ms i løpet av serien. Hvert klikk besto av et dobbeltklikk med et konstant intervall på ca 0,35 ms, mens selve klikket var ca 0,12 ms. Slike dobbeltklikk er observert hos andre delfinarter, men betydningen er usikker. En kan imidlertid tenke seg at det siste av dobbeltklikkene er ekkoet av lyden som treffer båtsiden eller vannflaten, og reflekteres tilbake til hydrofonen. Det viser seg imidlertid at dobbeltklikket også blir tatt opp uten slike ekkoflater, og at intervallet mellom dobbeltklikkene varierer uavhengig av opptaksforholdene.

Det var liten forskjell i frekvensområdet på hver klikk, og maksimale frekvens var ca 15 kHz mens bandbredden var fra 10 til over 20 kHz (Figur 14 b). Det ble ikke gjort høyfrekvente målinger av denne lyden, men det er grunn til å tro at den stoppet noe over 20 kHz. Den gjennomsnittlige maksimale frekvensen og bandbredden var noe høyere i begynnelsen av klikkserien enn i slutten. Det var klare toppler i frekvensområdet. Det er fortsatt uklart om slike toppler er harmonier (på lik linje med kallesignaler fra spekkhoggere), og intervallene mellom toppene er tilsynelatende konstant om lag 3 kHz (Figur 14 c).

Denne klikkserien var separat fra andre serier, men ble etterfulgt av en ny serie 0,6 s etter siste klikk. Den nye serien på 15 klikk hadde lengere klikkintervall, og klikk på 0,25 ms med 0,45 ms intervall mellom dobbeltklikkene. Klikkserien hadde også en annen sammensetning av frekvenser, med mindre intervall mellom frekvenstopperne. Det er ikke mulig uten videoopptak å si om disse to seriene ble laget av samme kval som skiftet frekvensområde. For øvrig vises til vedlagte CD for nærmere beskrivelser av klikkserier og andre lyder fra spekkhoggere.



**Figur 14. Amplitude og spektrogram for en typisk klikkserie fra spekkhogger som jakter sild i Vestfjorden. Klikkene i amplitude-figuren er svært kortvarige og er vanskelig å se på figuren.**

Resultatene så langt indikerer at silda kan høre klikkene fra spekkhoggeren, fordi de fleste lydene hadde deler av frekvensområdet innenfor hva som er mulig å høre for silden. Kvalene er som regel taus når de jakter på dyr som kan høre høyfrekvente lyder (f.eks. sel), og når kvalene likevel bruker lyden i jakten på sild, så indikerer dette at lydene kan ha en funksjon i forbindelse med ekkolokalisering eller kvalens gjeting av silda. Avstanden lydene ble brukt på indikerer at spekkhoggerne bruker klikkserier også innenfor den avstanden de normalt burde se silden.

## Publisering og forskningsformidling

### Rapporter og publikasjoner

Damsgård, B. 2000. Det er lyd i havet! I: Damsgård, B. & Haug, T. (red.). Spekkhogger - staurkval. Ottar nr 2, 2000. Tromsø Museum, side 31-36.

Damsgård, B. 2000. Fra Moby Dick til Free Willy - natursyn i endring? I: Damsgård, B. & Haug, T. (red.). Spekkhogger - staurkval. Ottar nr 2, 2000. Tromsø Museum, side 37-44.

Damsgård, B. 2000. Fra vögnhvalr til spekkhogger - hvorfor heter den det? I: Damsgård, B. & Haug, T. (red.). Spekkhogger - staurkval. Ottar nr 2, 2000. Tromsø Museum, side 4.

Damsgård, B. 2001. From Mody Dick to Free Willy. In: Damsgård, B. & Haug, T. (eds.). Killer whales. Way North, University of Tromsø, pp 49-59.

Damsgård, B. 2001. Killer whale acoustic. In: Damsgård, B. & Haug, T. (eds.). Killer whales. Way North, University of Tromsø, pp 41-48.

Damsgård, B., Similä, T & Leyssen, T. 2002. Sounds of Norwegian killer whales. CD, Fiskeriforskning, Tromsø.

Midling, K., Soldal, A.V., Fosseidengen, J.E. and Øvredal, J.T. 2002. Calls of the Atlantic cod: Characteristics and variations with time, season and temperature. Submitted to Bioacoustics (accepted for publication in 2002).

Similä, T. & Damsgård, B. 1998. Akustisk adferd hos spekkhogger. Fauna. 51: 82-88.

Similä, T. & Damsgård, B. 2000. Djevelfisk eller effektiv jeger? I: Damsgård, B. & Haug, T. (red.). Spekkhogger - staurkval. Ottar nr 2, 2000. Tromsø Museum, side 23-30.

Similä, T. & Damsgård, B. 2001. Demon fish or effectiv hunters In: Damsgård, B. & Haug, T. (eds.). Killer whales. Way North, University of Tromsø, pp 31-40.

Soldal, A.V. 1999. Biologisk produsert lyd brukt til artsselektiv fangst; Forprosjekt. Sluttrapport til Norges Forskningsråd Prosjekt 121344/121. Havforskningsinstituttet, Senter for Marine Ressurser 29.1.1999, 7 p.

Soldal, A.V. 2001. Fisken „snakker“! Kan vi utnytte fiskens språk til selektivt fiske? I Anon. Havets Ressurser, Fisken og Havet nr. 1?.

Soldal, A.V., Midling, K.Ø., Fosseidengen, J.F. Svellingen, I. and Øvredal, J.T. 2000. Fish sound, a future tool for selectivity. In Zakharia, M.E. (ed): Proc 5<sup>th</sup> European Conference on Underwater Acoustics July 10-13, 2000, Lyon, pp. 551-521.

Soldal, A.V. and Totland, B. 2002. Biologisk lyd fra fisk. CD produsert ved Havforskningsinstituttet, Fangstseksjonen, februar 2002.

Svellingen, I., Totland, B. and Øvredal, J.T. 2002. A remote-controlled instrument platform for fish behaviour studies and sound monitoring. Submitted to Bioacoustics (accepted for publication in 2002).

### **Vitenskapelige artikler under utarbeidelse:**

Damsgård, B., Similä, T & Leyssen, T. (in prep.). The use of high frequency clicks of killer whales feeding on herring.

Soldal, A.V., Totland, B., Ulvestad, B.H., Øvredal, J.T. Effects of sounds generated by fish on cod behaviour; a replay experiment. ICES Symposium on Acoustics in Fisheries and Aquatic Ecology, Montpellier, France, 10-14 June 2002.

### **Posters**

Midling, K., Soldal, A.V., Fosseidengen, J.E. and Øvredal, J.T. 2001. Calls of the Atlantic cod: Characteristics and variations with time, season and temperature. Poster at Symposium on Fish Bioacoustics, Chicago, May 30-June 2, 2001.

Soldal, A.V., Damsgård, B., Holand, B., Kjellsby, E., Midling, K., og Olsen, K. 1999. Biologisk lyd brukt til selektivt fiske. Poster ved avslutningsseminar for NFR's program Teknologitutvikling i Fiskerisektoren, Hell 18.-19. oktober 1999.

Soldal, A.V., Midling, K.Ø., Fosseidengen, J.E., Svellingen, I., and Øvredal, J.T. Fish sound, a tool for selectivity. 2000. Poster at Fifth European Conference on Underwater Acoustics, Lyon 10.-13. July 2000.

Svellingen, I., Totland, B. and Øvredal, J.T. 2001. A remote-controlled instrument platform for fish behaviour studies and sound monitoring. Poster at Symposium on Fish Bioacoustics, Chicago, May 30-June 2, 2001.

### **Annen forskningsformidling**

- Fiskens språk - nyttig for fiskerne? Artikkel i Fiskerimagasinet nr. 4, 1998.
- Kan fiskens lyd brukast i selektivt fiske? Havforskningsnytt nr. 16 1999.
- Soldal, A.V. Om biologisk lyd fra fisk i Naturens Verden, NRK P1, 6. august 2000.
- "Hør torsken!" Oppslag i Dagbladet 07.08.00.
- Fiskelyd kan bli viktig for fremtidig fangst. Kystmagasinet, april 2000.
- Innslag om biologisk lyd i P4 (radio) våren 2000

- Innslag i NRK Hordaland 28.3.01
- Intrafish Nettavis 01.04.01
- Interjuv i nitimen April 2001
- Innslag i Schrødingers Katt, NRK TV1, 21. juni 2001
- Opptak av torskelyd bruk som del av multimedia-kunstverk ved utstilling i Dundee Museum for Contemporary Arts, by Will MacLean, research professor, Fine Art University of Dundee.