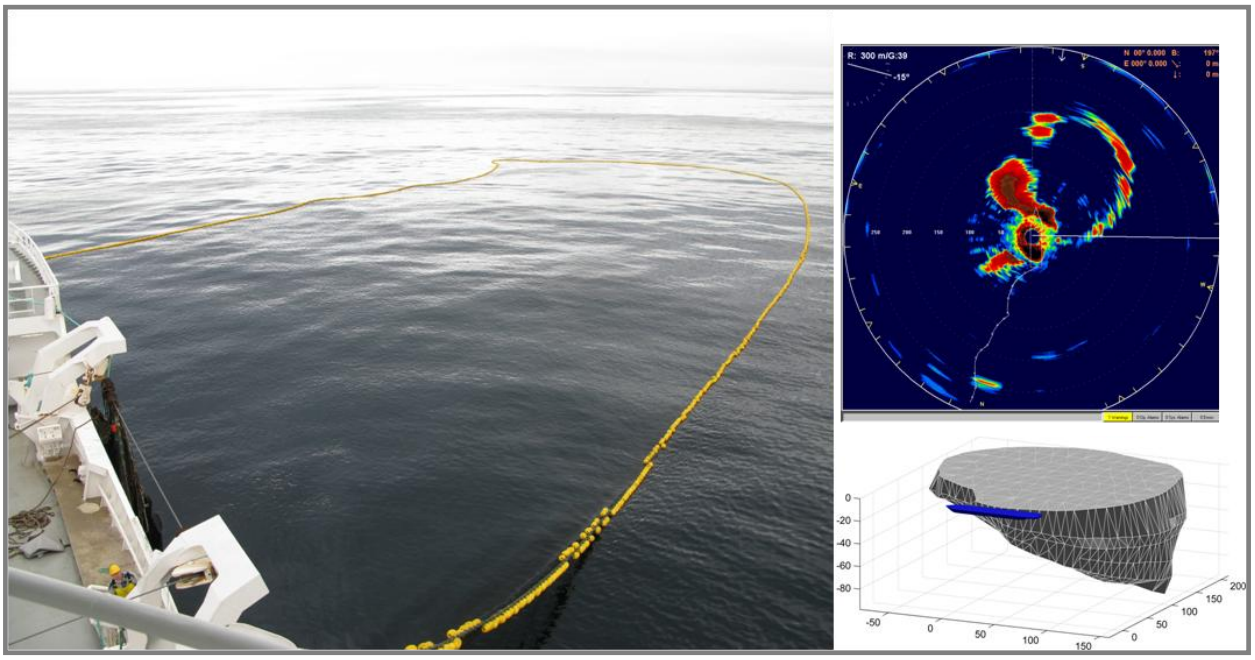
Sluttrapport

FHF-Prosjekt 900688

Tettheter av makrell og sild i not under kommersielt fiske

av

Maria Tenningen, Héctor Peña og Gavin Macaulay



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH
www.imr.no

Oslo 28.02.2014

Innholdsfortegnelse

Sammendrag 2
Summary in English 3
Innledning 4
Prosjektmål 6
Prosjektgjennomføring 6
Datainnhenting 6
Dataanalyser 9
Avvik i forhold til prosjektplan 14
Oppnådde resultater og konklusjon 15
Notform og -volum 15
Fisketettheter 17
Transponderdata 18
Fangstscenarioer 20
Usikkerhet 20
Konklusjoner 21
Implementering og nytteverdi for sjømatnæringen 22
Leveranser 23
Kvalitetssikring av prosjektgjennomføring og resultater 23
Takk 23
Referanser 24

Sammendrag

Slipping av fisk fra not blir brukt til å regulere fangststørrelse og kvalitet. Uønskede fangster slippes ofte i en sen fase av innhalingen når fisken er hardt trengt inni nota. Overlevingsforsøk med sild og makrell har vist at de høye fisketetthetene som oppstår i nota kan påføre dødelighet og stress hos fisken som slippes. Det er et økende fokus på slipping fra not, og det blir stadig strengere regler rundt slipping og krav om at man skal kunne bevise at fisken er fanget på en ansvarlig måte. I Norge er det ulovlig å slippe død eller døende fisk, og i EU er man i ferd med å innføre ilandføringsplikt av alle fangster unntatt om man kan dokumentere at fisken som blir dumpet eller sluppet overlever. Samtidig er det viktig å ivareta lønnsomheten i fiskeriene også under et strengere regelverk. For å lykkes med dette er det behov for regler som er basert på vitenskapelig data og som sikrer at fisk som slippes overlever. Ledd i dette er utvikling av instrumenter som gir fangstinformasjon før nota blir satt ut eller i en tidlig fase av innhaling og redskapsutvikling som gjør det mulig å slippe på en skånsom måte. Overlevingsforsøk har vist at dødeligheten av fisk som slippes fra not er tetthetsavhengig og at overlevelsen kan være høy om fisk slippes før den er hardt trengt i nota. I 2011 ble det innført en regel i norske makrellfiskerier som sier at det ikke er lov å slippe etter at 7/8 deler av nota er tatt om bord. Problemet er at det ikke finnes noen praktisk måte å måle fisketetthet i not, eller utstyr for å overvåke nota og fangsten under kommersielt fiske, noe som gjør det vanskelig å implementere regler om slipping. Målet med dette prosjekt var å øke kunnskapen rundt det som skjer i fangstprosessen og dermed gi et best mulig datagrunnlag for regulering av slipping i not.

Høyfrekvent fiskerisonar og akustisk undervanns posisjoneringssystem med transpondere festet i nota ble brukt til å overvåke fiskeprosessen. Det viste seg å være vanskelig å skille fisk fra not på sonardisplayet, spesielt mot slutten av innhalingen. Sonar- og transponder-dataene ble brukt til å rekonstruere den tredimensjonale formen på nota og til å beregne notvolumet. Fisketettheter ble estimert gjennom å dele fangststørrelse med notvolum under innhaling. Resultatene tyder på at tetthetene ikke er skadelig høye ved den nåværende grensen for slipping i makrellfisket, også ved store fangster. Man må likevel være oppmerksom på at det er noe usikkerhet i volumestimatene. Transponderposisjonene stemte relativt godt overens med sonarposisjonene av nota, men de indikerte at formen på nota er mer kompleks enn det som blir fanget opp av sonaren. For å kunne estimere notvolum mer nøyaktig, og også under den siste delen av innhaling, er det behov for en videre utvikling av metodene og av teknologien. Videre er det behov for informasjon om fiskens atferd i nota og dødelighetsrater under forskjellige fiskeforhold. En slik utvikling vil kunne bidra til bedre regulering av slipping, redusert utilsiktet dødelighet og mulighet til sanntidsovervåking av nota under fisket.

Summary in English

Slipping, the release of fish from the net while it is still in the water, is used to adjust catch size or increase catch value in many purse seine fisheries. High fish crowding densities prior to slipping have been shown to result in high mortality of the slipped fish. There are currently no available estimates of fish densities inside the net during purse seining or any practical methods for monitoring the catches or the net during commercial fishing, making the regulation of slipping difficult. In this project the aim was to improve the information available from the fishing process and to develop a method for monitoring the capture situation. Net volume was monitored during the hauling phase (5 to 80% hauled net) using an omnidirectional fisheries sonar to image the net and hence create three dimensional representations of the net. An acoustic positioning system with transponders mounted in the net walls was used to monitor the location of various parts of the purse seine and to validate the sonar-based net borders. Fish densities during hauling were estimated by dividing catch biomass with the available volume and were generally below 1 kg m^{-3} and exceeded 5 kg m^{-3} towards the end of the haul for larger catches. The results indicate that lethally high densities of mackerel and herring are not expected to occur during the first 80% of hauling even for large catches. The estimates are subject to some uncertainty and data is not available for the last and most critical phase of the set. A continuation and improvement of these investigations will require technological developments and should consider fish behavior and the effects of different biological and environmental conditions on the survival of fish. The product of these efforts will lead to the scientific basis for regulations on slipping methods and improve gear monitoring in purse seine fisheries.

Innledning

Slipping blir brukt til å regulere fangststørrelse og kvalitet i notfiskeriene. Under slipping blir uønskede fangster sluppet ut fra nota før fisken blir tatt om bord. Slipping skjer ofte i en sen fase av innhaling av not når høye fisketettheter allerede har oppstått. Overlevingsforsøk av fisk som blir trengt og så sluppet fra not har vist at de høye fisketetthetene som ofte oppstår i nota kan påføre dødelighet og stress hos fisken som slippes (Lockwood et al., 1983; Huse og Vold, 2010; Marçalo et al, 2010; Tenningen et al., 2012). Fisk som dør som følge slipping er et sløseri med verdifulle ressurser og kan bidra til feilaktig bestandsvurdering dersom dødeligheten ikke blir tatt i betraktning i den totale fiskedødelighetsraten (Simmonds et al., 2010). I Norge er det ulovlig å slippe død eller døende fisk, mens man i EU er i ferd med å innføre ilandføringsplikt av alle fangster, men med unntak for fiskerier der det kan dokumenteres at fisk som slippes eller kastes ut overlever (STECF, 2013). I april 2009 ble de norske notfiskeriene etter makrell, Nordsjøsild og NVG-sild sertifisert i henhold til Marine Stewardship Council's regelverk for ansvarlig fiske, men for å beholde sertifiseringen var det satt krav om å registrere, beregne og redusere omfanget av slipping fra notflåten. Utfordringen nå er å innføre regler som sikrer at fisk som slippes fra not overlever. Hvordan kan man bevise at fisk som slippes fra not overlever, og hvordan kan man redusere slippedødelighet samtidig som man ivaretar lønnsomheten i fiskeriene?

For å redusere dødelighet av fisk som slippes fra not er det behov for regleverk som er basert på vitenskapelig data og en praktisk og lett kontrollerbar implementering av regelverket. Det er også behov for teknologiutvikling som reduserer behovet for slipping, og som sikrer at dersom fisk slippes, så blir det gjort før skadelig høye tettheter oppstår og på en skånsom måte som ikke medfør dødelighet. I CRISP, Havforskningsinstituttets senter for miljøvennlig fangst, jobber man med å utvikle sonarteknologi som gir mer nøyaktige estimat av stimstørrelse, art og individstørrelse både før nota blir satt ut og i en tidlig fase av kastet. I det nylig avsluttede FHF prosjektet 900514 "Utvikling av miljø- og ressursvennlig notteknologi" har man jobbet med utvikling av fysiske prøvetakingsmetoder for å bestemme kvalitet, art og størrelse i en tidlig fase av kasting og med utvikling av skånsom slippemetodikk. I 2011 ble det innført en regel i makrellfisket som tilsier at det ikke er lov å slippe fisk etter at 7/8 deler av nota er tatt om bord (§ 48 i Forskrift for utøvelse av fisket i sjøen, Anon 2005). Det er blitt vist at størrelsen på dødeligheten av makrell, sild og sardin som blir trengt i not er tetthetsavhengig og øker med økende tettheter (Lockwood et al., 1983; Huse og Vold 2010; Marçalo et al., 2010; Tenningen et al., 2012) . Man har videre vist at makrell og sild som slippes før skadelig høye tettheten oppstår, og som slippes på en skånsom måte, har høy overlevelsesrate (Huse og Vold 2010; Tenningen et al., 2012). Dermed er det en fornuftig tilnærming å regulere slipping gjennom å avgjøre maksimale

tettheter som kan tillates før slipping. Problemet er at det ikke finnes noen praktiske metoder til å overvåke fangst eller nota under kommersielt fiske.

Notforskning har stort sett fokusert på de tidlige fasene av kasting fra nota blir satt ut og til bunnen blir lukket gjennom å hale inn snurpelinen (snurping) (Ben Yami, 1994; Misund, 1992; Kim og Park, 2009; Hosseini et al., 2011). Disse fasene er viktige for å fange fisken. Fram til nota er lukket har fisken mulighet til å rømme. Mye mindre fokus er blitt rettet mot innhalingsfasen, men det er viktig å forstå hvordan nota og fisken oppfører seg også under denne fasen dersom fisk skal slippes. Under innhaling blir nota tatt om bord, volumet minker og fisken blir etter hvert trengt inni nota. I begynnelsen av innhalingen kan fisken stime fritt inni nota, men etter hvert som det begynner å bli trangt om plassen blir fisken tvunget til høyere tettheter enn de som er naturlige for dem. Da kan stimstrukturen ikke lenger opprettholdes og fisken opplever stress, fysiske skader, oksygenmangel og fysisk utmattelse (Marcalo et al., 2006; Tenningen et al., 2012). Fangsting med not er en dynamisk prosess der nota er i konstant bevegelse og formen på nota endres hele tiden som følge båtens bevegelser og måten redskapet opereres på, samt strøm- og vindforhold (Ben Yami, 1994). De store dimensjonene og notas fleksible egenskaper gjør det vanskelig å overvåke redskapet og fangsten under kommersielle forhold. Videre må overvåkingsinstrumenter som monteres på nota tåle den tøffe behandlingen de må igjennom når nota settes ut og når den blir halt inn gjennom triplexen. Undervannsakustikk som ofte blir brukt til fangst- og redskapsovervåking er vanskelig å bruke under et notkast på grunn luftboblene som dannes av propeller og thrustere som brukes til å posisjonere båten i forhold til nota under fiske.

Til tross for disse utfordringene er det veldig viktig at vi øker kunnskapen om denne fasen av et notkast og utvikler teknologi og metoder som kan brukes til overvåkning av både fangst og not. Dette er kunnskaper som er nødvendig om man skal kunne dokumentere at fisk som slippes overlever, og for å kunne implementere regelverk som tar vare på bestanden og samtidig ivaretar fiskernes interesser best mulig. For å gi svar på noen av disse problemstillingene ble dette prosjekt initiert høsten 2011. Prosjektet har vært et samarbeid mellom Havforskningsinstituttet (Forskningsgruppene Fangst og Observasjonsmetodikk) og Lie-rederiet. Underveis har vi også fått nyttige innspill fra styringsgruppen.

Prosjektmål

Det overordna mål i prosjektet var å øke kunnskapen om fangsprosessen og dermed bidra til et mer skånsomt notfiskeri med redusert utilsiktet dødelighet som følge slipping, samtidig som slipping kan forbli et akseptabelt hjelpemiddel til å regulere fangster.

Hovedmålet med prosjektet var å beregne tetthet av makrell og sild gjennom hele prosessen med innhaling av not i kommersielt fiske med følgende delmål:

1. Undersøke hvordan variasjon i fangststørrelse og fiskeforhold påvirker fisketettheten i not
2. Sammenligne fisketettheter og trengingstider brukt i kommersielt fiskeri med de som ble brukt i overlevingsforsøk på trengt makrell og sild
3. Kartlegge fiskeatferden i nota under fangstprosessen.

Prosjektgjennomføring

Datainnhenting

Data ble samlet inn under tre tokt; to som ble gjennomført under kommersielt fiske og ett som en del av et større forskningstokt på HI.

Tokt 1 – Kommersielt makrellfiske

Fartøy: MS ”Libas”

Tidspeiode: 14.09-16.09.2011 & 29.09-03.10.2011

Det første toktet gikk i stor grad ut på å undersøke om fiskerisonar kunne brukes til å identifisere nota og stimen inni nota etter at bunnen var snurpet sammen, og om transponderne ville tåle den harde behandlingen de ville bli utsatt for i not. Forsøkene ble gjennomført om bord på MS ”Libas” på makrellfiske høsten 2011. Libas har en Simrad SH80 sonar (Kongsberg Maritime) montert i senkekjøl. Sonaren kan holdes nede under hele kastet og er relativt dypt i vannsøylen (ca 9 meter) når senkekjølen er senket, hvilket betyr at den sannsynligvis kommer under en del av luftboblestøyen fra propellene. Libas er også utstyrt med HiPAP (High Precision Acoustic Positioning System, Kongsberg Maritime). HiPAP består av en transducer montert i båtens skrog som blir brukt til å beregne 3D-posisjoner av en eller flere transpondere. Libas var dermed spesielt godt egnet til forsøket.

På toktet ble det lagret data under 10 kast, 7 av dem med fangst. En HiPAP transponder ble først montert i snurperingene slik at den kunne tas av foran triplexen. I tillegg ble en tom

transponderbeskyttelse, som var sydd inn i notveggen, kjørt gjennom triplexen flere ganger for å se om den tålte behandlingen. Da man så at dette gikk bra, ble to transpondere montert i notveggen (Figur 1). Innhalingstid ble registrert og flåen ble filmet for å bestemme hvor mye not som var tatt om bord til enhver tid og til å knytte volumestimatene til andel not tatt om bord. Videre ble fangststørrelse og fiskeforhold registrert.

Tokt 2 – Kommersielt makrellfiske

Fartøy: MV "Libas"

Tidspeiode: 30.09 – 09.10.2012

På tokt 1 ble det utviklet en metode for innsamling av sonardata som kunne brukes til å gjenskape 3D form av nota. Hele nota ble skannet på 15-30 sekunder gjennom først å rette sonarstrålen horisontalt, i.e. vinklingsgrad 0°, så gradvis med ca. 5° mellomrom øke vinklingsgraden til bunnen av nota ble identifisert. Serier av påfølgende horisontale snitt gjennom nota ble kombinert og brukt til 3D rekonstruksjoner av nota. På dette tokt ble opptil 6 transpondere festet i nota. Transponderne var festet i nota fra 10 til 200 m fra geilen og i en dybde mellom 10 m og 75 m fra flåen (Figur 2). Seks kast ble overvåket under dette tokt.

Tokt 3 – Forskningstokt

Fartøy: FF "GO Sars" og MS "Artus"

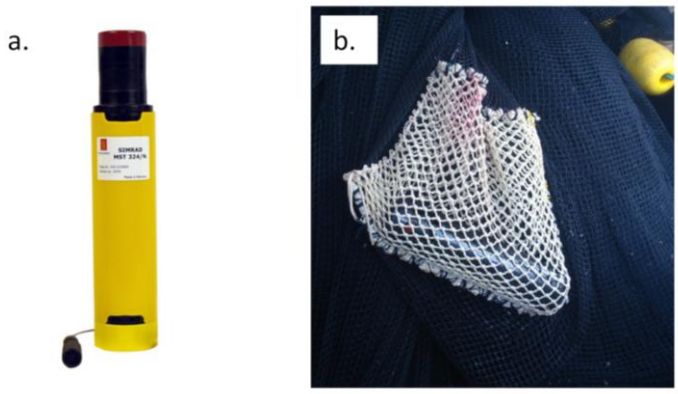
Tidspeiode: 17-26.3.2013

Toktet ble gjennomført i samarbeid med Havforskningsinstituttets tokt "CRISP: Fangsting av sildestimer etter 2D og 3D sonarmåling"

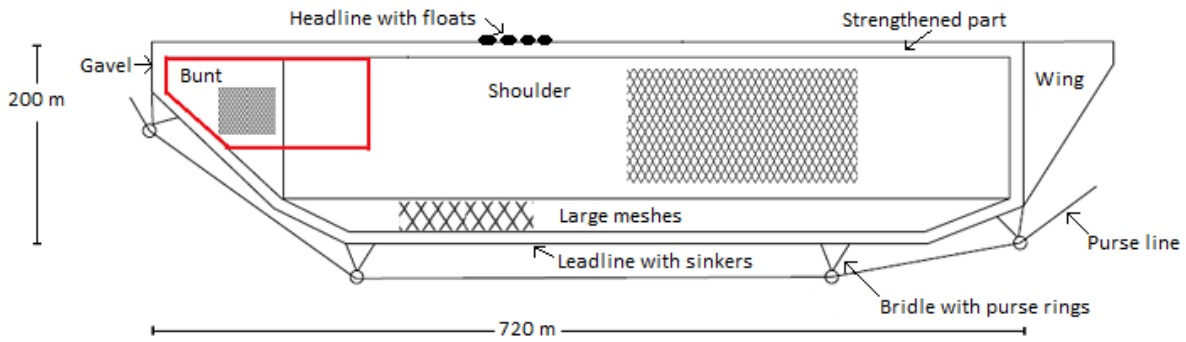
Hovedmålsetning med forsøkene på toktet var å utfylle og forbedre tidligere målinger av notvolum basert på data samlet inn på MS "Libas" og videre å utvikle og undersøke metoder for måling av fisketetthet i not.

Mål:

1. Undersøke formen på nota (spesielt i vertikal retning) som grunnlag for beregning av notvolum
2. Måle styrken av den akustiske refleksjonen fra nota
3. Beregne presisjon av HiPAP-transpondere montert i notveggen under kasting



Figur 1. Illustrasjon av en HiPAP transponder (35 cm lang og 8.5 cm i diameter) (a) og hvordan den ble festet i nota (b). Transponderne ble satt inn i beholdere som skulle beskytte dem fra belastningen av å bli kjørt gjennom triplexen., Beholderne med transpondere ble så satt inn i relativt store notposer slik at transponderen kunne bevege seg fritt inni posen. Posene ble så festet i notveggen.

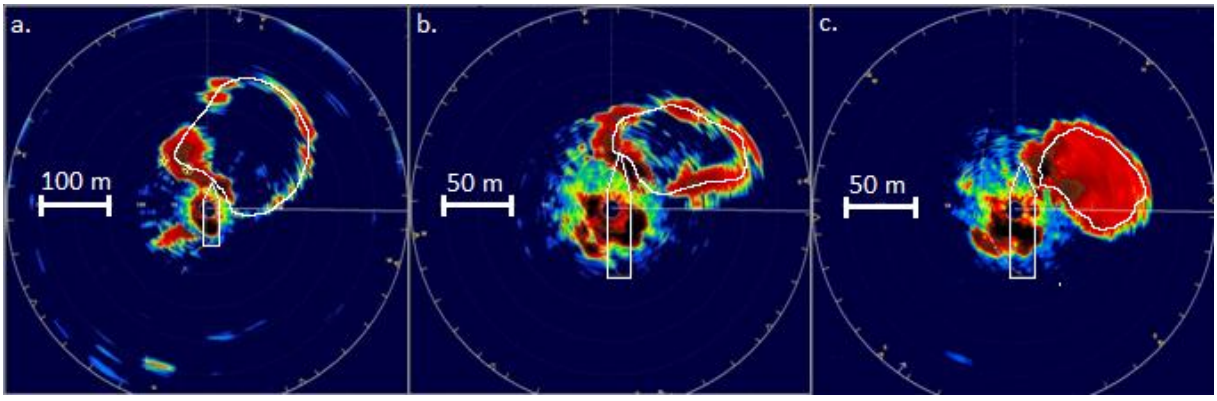


Figur 2. Skisse av nota som ble brukt i forsøkene. De røde linjene indikerer området der transponderne ble festet.

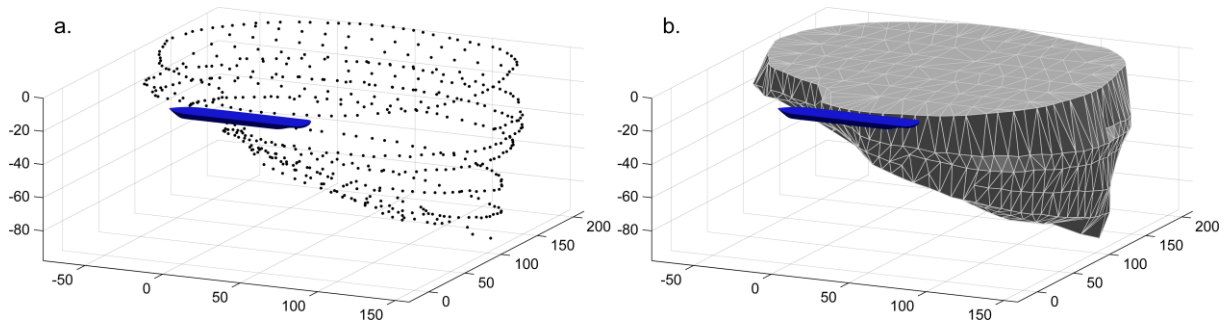
Dataanalyser

Prosedyre for beregning av notvolum

1. Skjermbilder fra sonardisplayet ble lagret med 2 sekunders mellomrom under hele innhalingen av not
2. Serier av skjermbilder som viste hele nota tydelig (3-6 tverrsnitt som dekket hele nota) ble valg ut til videre analyser.
3. Notveggene ble avtegnet manuelt på skjermbildene der den akustiske refleksjonen var sterkest og i midten av refleksjonen (Figur 3).
4. X og y koordinatene av linjene ble hentet ut og dybden (z koordinatene) ble bestemt fra cosinus av vinklingsgraden på sonaren.
5. Data fra flere tverrsnitt av nota ble kombinert til 3D punktskyer. Nota ved vannoverflaten ble antatt å være samme som i det første tverrsnittet omtrent 9 meter under vannoverflaten, og disse dataene ble lagt til datasettet (Figur 4a).
6. En triangulert overflate ble konstruert med ball-pivoting algoritme (Figur 4b) (Bernadini et al., 1999)
7. Volum av den traingulerte notoverfalten ble estimert ved bruk av divergence theorem (DeCew et al., 2013)



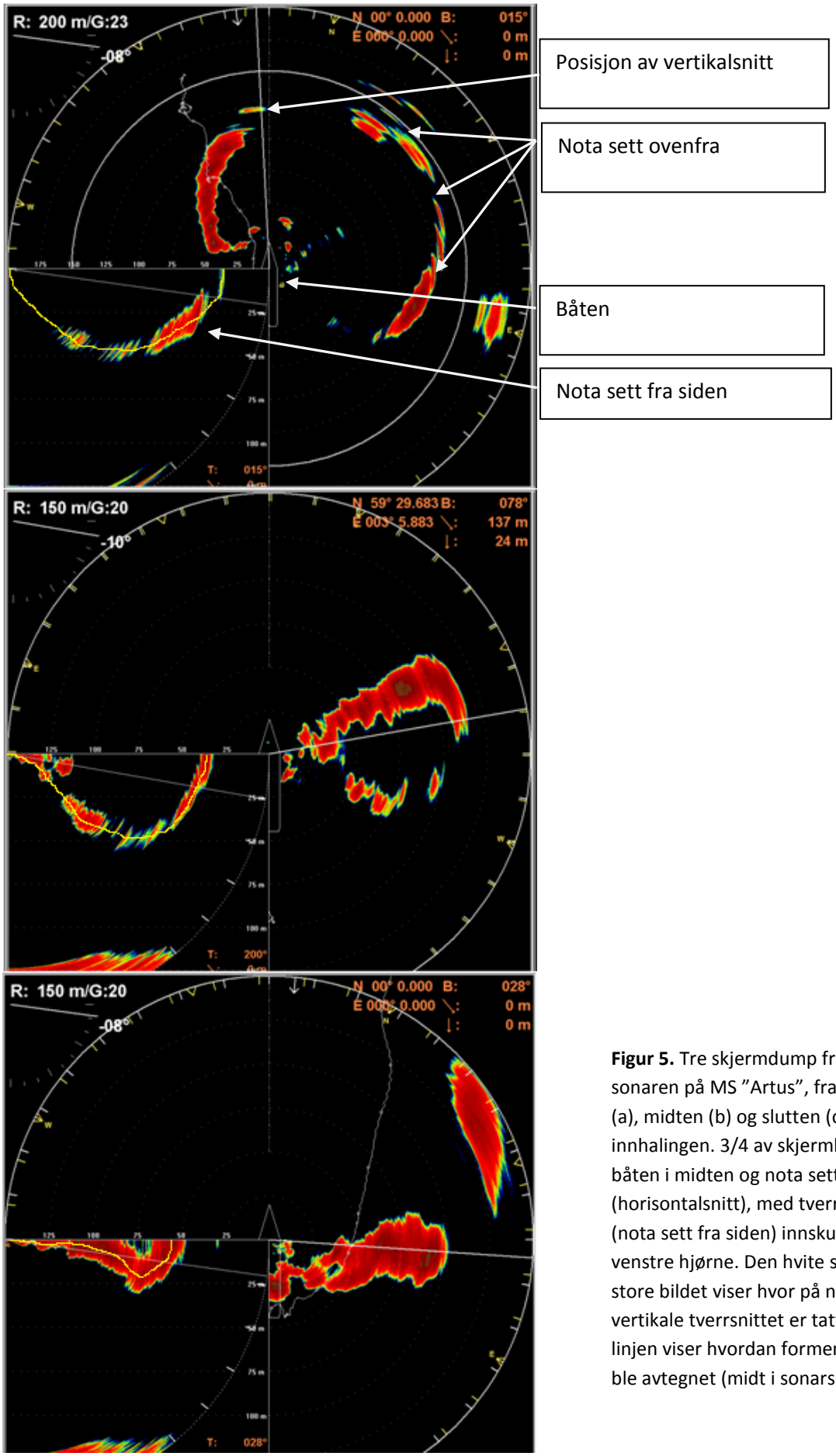
Figur 3. Skjermdump fra SH80-sonaren der nota er illustrert med en vinklingsgrad på 15° når ca. 20 % (a) og ca. 40 % (b) av nota er tatt om bord, og med en vinklingsgrad på 10° når ca. 70 % (c) er tatt inn. Båten er illustrert i midten av bilden og den hvite linjen viser hvordan notveggene ble tolket.



Figur 4. Tre-dimensjonal punktsky basert på data fra flere tverrsnitt gjennom nota fra ulike vinklingsgrader (a) og den triangulerte overflaten brukt til å beregne volum (b).

Form av notbunnen

På tokt 3 brukte vi vertikalsnitt-funksjonen i sonaren til å se på formen av notbunnen (Figur 5). På samme måte som i horisontalsnittene ble notbunnen avtegnet manuelt ved å dra linjen i midten av sonarsignalene. Formen og dybden ble brukt som kontroll mot 3D rekonstruksjonene basert på de horisontale tverrsnittene.



Figur 5. Tre skjermdump fra SH90 sonaren på MS "Artus", fra begynnelsen (a), midten (b) og slutten (c) av innhalingen. 3/4 av skjermbildene viser båten i midten og nota sett ovenifra (horisontalsnitt), med tverrsnitt av nota (nota sett fra siden) innskutt i nedre venstre hjørne. Den hvite streken i det store bildet viser hvor på nota det vertikale tverrsnittet er tatt. Den gule linjen viser hvordan formen på bunnen ble avtegnet (midt i sonarsignalet).

Fisketetthet

Fisketetthet og hvordan den ville øke under innhaling ble estimert indirekte gjennom å dele fangstmengde med volumestimatene for hvert kast.

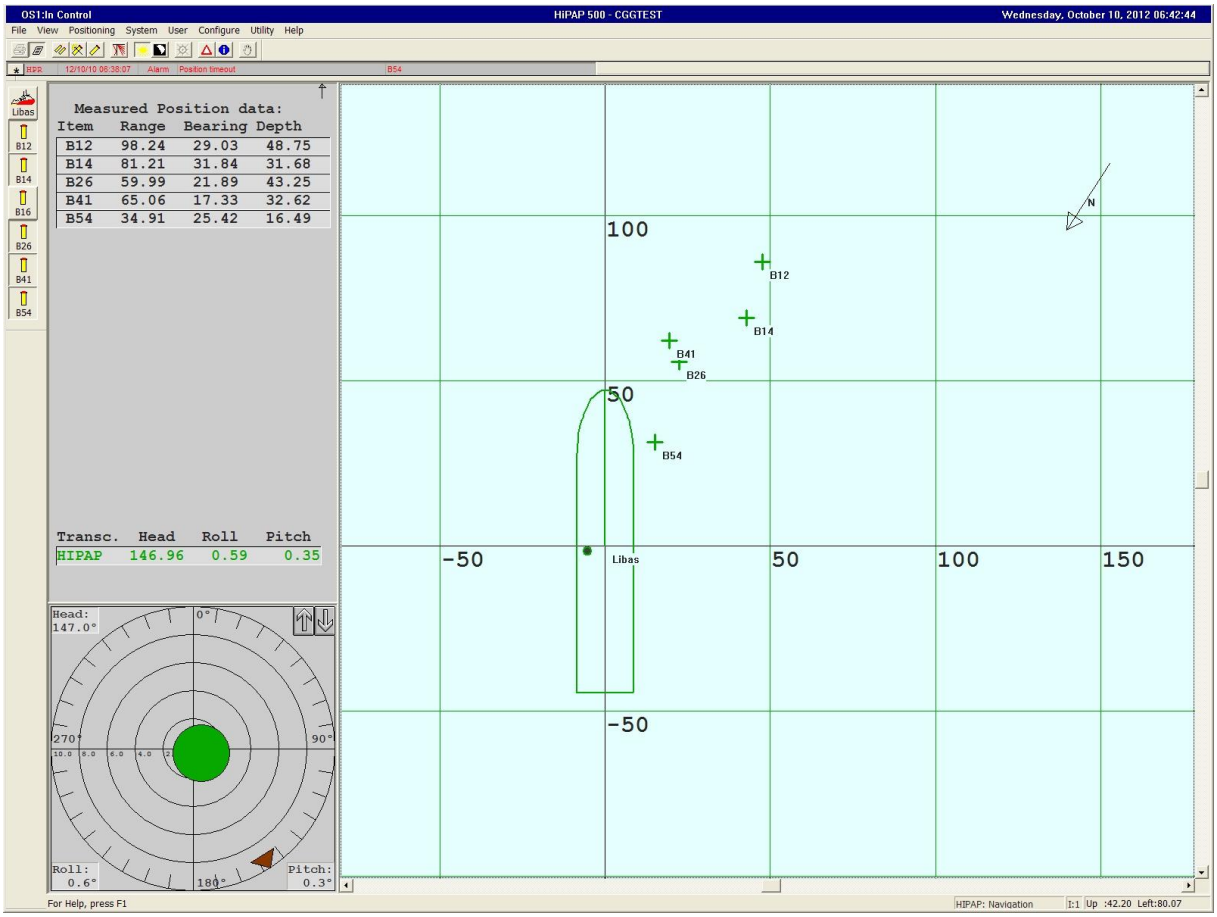
På tokt 3 ble innledende forsøk gjort på å skille akustisk mellom nota og sild eller makrell. Dersom man kan skille mellom disse to, kan man sannsynligvis måle absolutte fisketettheter inni nota med sonaren. Når man kjenner til styrken av den akustiske refleksjonen fra nota, samt den fra fisken, har man to mulige måter å mellom not og fisk:

1. Om det er en klar forskjell i tilbakespredningsstyrken fra fisk og not kan man legge inn en lydterskel og filtrere ut lyd som er lavere enn den valgte terskelen, for eksempel den fra nota.
2. Om forskjellen i tilbakespredningsstyrken ikke er klar nok til å skille fisk fra not, kan man eventuelt trekke den akustiske refleksjonen fra nota ifra den totale refleksjonen. For at dette skal være mulig må tilbakespredningsstyrken fra nota være stabil mellom kast eller ha en klar trend i hvordan den endres under et kast.

Disse to metodene vil gjøre det mulig å stå igjen med refleksjonen fra bare fisk, som så kan omvandles til antall fisk, biomasse og fisketetthet.

Data fra transpondere

Transponderposisjoner ble registrert under hele innhalingen av not (én registrering per sekund) (Figur 6). Posisjonene ble sammenlignet med sonarbaserte posisjoner målt på samme tid og i samme dybde. I 2011 forsøkene ble transponderposisjonene lagt inn i sonarskjermbildene for å se hvor godt de samsvarte med sonarindikasjonene av nota. I 2012-forsøkene ble den horisontale avstanden mellom sonar-baserte notposisjoner og transponder-baserte notposisjoner målt for å gi et kvantitativt estimat på samsvar mellom de to målemetodene.



Figur 6. Skjermdump fra HiPAP-displayet. MS "Libas" er markert i midten av bildet med HiPAP transponder posisjon vist som et punkt midt i båten litt på babord side. Fem transpondere festet i ulike deler av nota kan observeres på styrbord side av båten. I venstre del av skjermen kan man følge med de eksakte registreringene fra hver transponder (avstand fra transduceren, peiling og dybde).

Presisjon av HiPAP transponderdata

HiPAP-systemet har en nøyaktighet på omtrent 0,1 m (avstand) og 0,20° (peiling) (Kongsberg Maritime, 2013). Under fiske med not oppstår det ofte luftboble-støy fra båtens propeller og thrustere, og støy fra selve nota som kan forstyrre kommunikasjonen mellom transponderne og fartøy. I tillegg er vinkelen til transponderne lavere i disse forsøkene enn den de er generelt beregnet for. Derfor ble det kjørt et forsøk i tokt 3 der presisjonen av transponderne under fiske ble testet.

Fire transpondere ble festet i haneføttene som fester snurperingene til grunntelna (Figur 7). To transpondere ble festet i samme hanefot, én på hver sin side. Posisjonsdata ble lagret under kasting og snurping, og transponderne ble tatt ut da ringen ble løsnet fra nota.

Dersom transponderne gir nøyaktige målninger, så burde i prinsippet de målte posisjonene fra transponderne være like unntatt den monterte avstanden mellom transponderne.

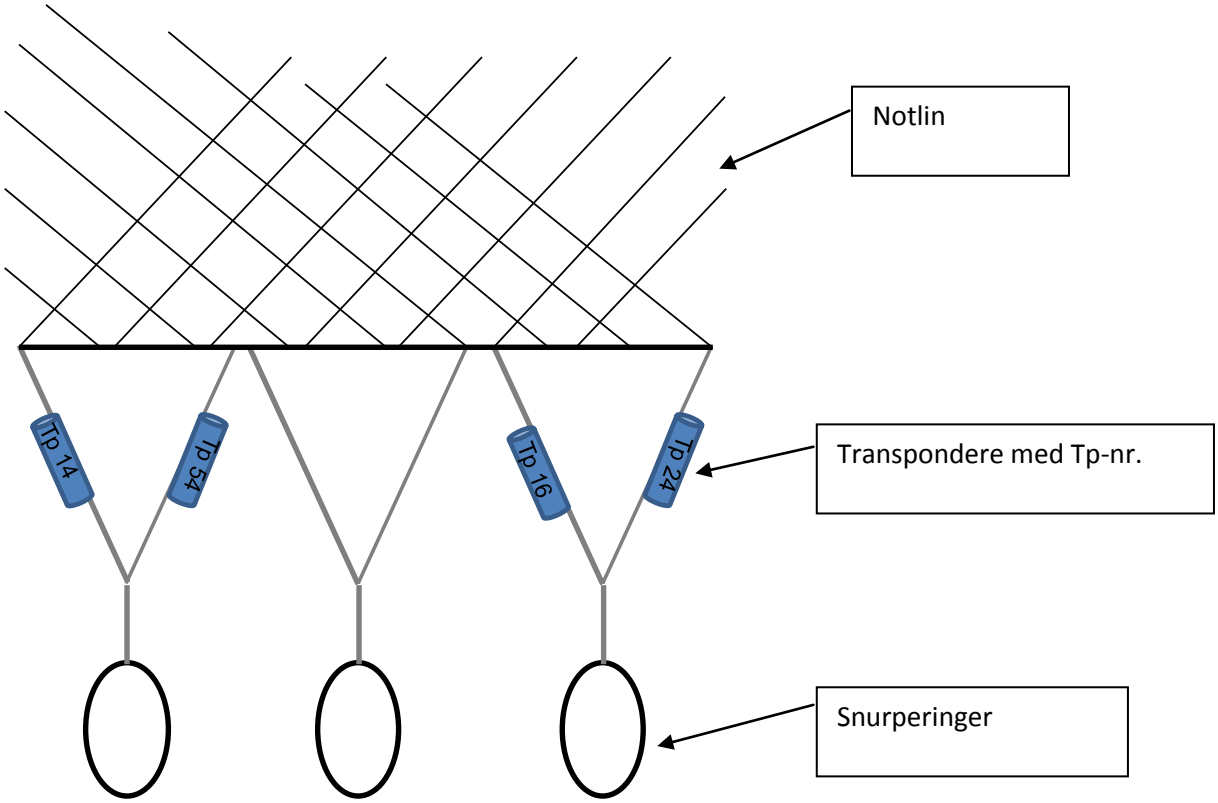


Figure 7. Montering av HiPAP transpondere i haneføttene.

Avvik i forhold til prosjektplan

Et av målene i prosjektet var å kartlegge fiskestimen inni nota. Det viste seg å være vanskelig å skille fiskestimen fra nota, spesielt i slutten av kastet, og derfor kunne ikke denne målsetningen oppfylles.

Det ble noen forandringer i toktgjennomføringen. Istedenfor de to planlagte sildetoktene, ble ett av toktene slått sammen med makrelltoktet i 2012 (tokt 2) og ett ble kjørt i samarbeid med et annet HI tokt (Tokt 3). Grunnen til dette var problemer med å få kvoter til å kjøre forsøkene som planlagt. Det var likevel ikke noen forandring i antall planlagte toktdøgn.

Oppnådde resultater og konklusjon

Notform og -volum

Kvaliteten på sonardataene varierte en del mellom kast, og spesielt mot slutten av kastet var det mye luftboble-støy som gjorde at dataene fra de siste 20 % av innhaling ikke kunne brukes. Dermed fikk vi ikke heller dekket 7/8 dels not (grensen for slipping i makrellfisket) som er omtrent når 88 % not er tatt om bord. Notvolum ble målt i 8 kast fra begynnelsen av innhaling til mellom 50 og 80 % av nota var tatt om bord (Tabell 1). Notvolum og hvordan det minket varierte noe mellom kast, men var i gjennomsnitt 1 300 000 m^3 da 5-15 % var tatt om bord og 130 000 m^3 da 70-80 % av nota var tatt om bord (Figur 8). En lineær regresjonsmodell ble tilpasset dataene og beskrev notas volum under innhaling med formelen y=exp(14.33-0.04*x) der x er andel not tatt om bord ($F_{(1, 60)}$=180.1, R^2=0.75, p<0.0001).

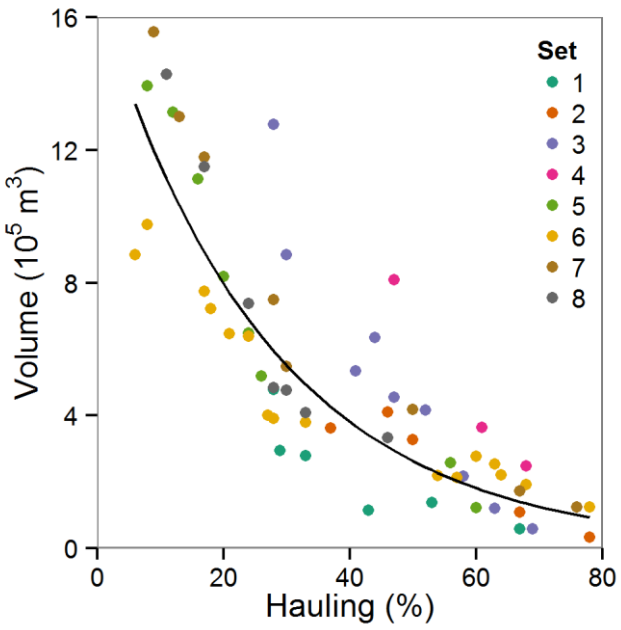
Notdybden på det dypeste punktet omtrent midt i nota varierte mellom 20 og 60 m (Figur 9). I begynnelsen av innhaling fluktuerte dybden mellom 30 og 50 m, i midtfasen var dybden mer stabil og lå omtrent på 50-60 m. Mot sluttet minket dybden til omtrent 20 m. Formen varierte en del men var generelt sett enten formet som en halv ellipse eller som en halv vanndråpe, med den dypeste delen lengst unna båten. Den målte dybden i vertikalsnittet stemte godt overens med dybden i 3D rekonstruksjonene basert på horisontale tverrsnitt.

Tabell 1. Åtte notkast var av høy nok kvalitet til å brukes til volum- og tetthetsberegninger. I fem av kastene ble det fanget fisk, og størrelsen på fangstene varierte mellom 115 og 635 tonn.

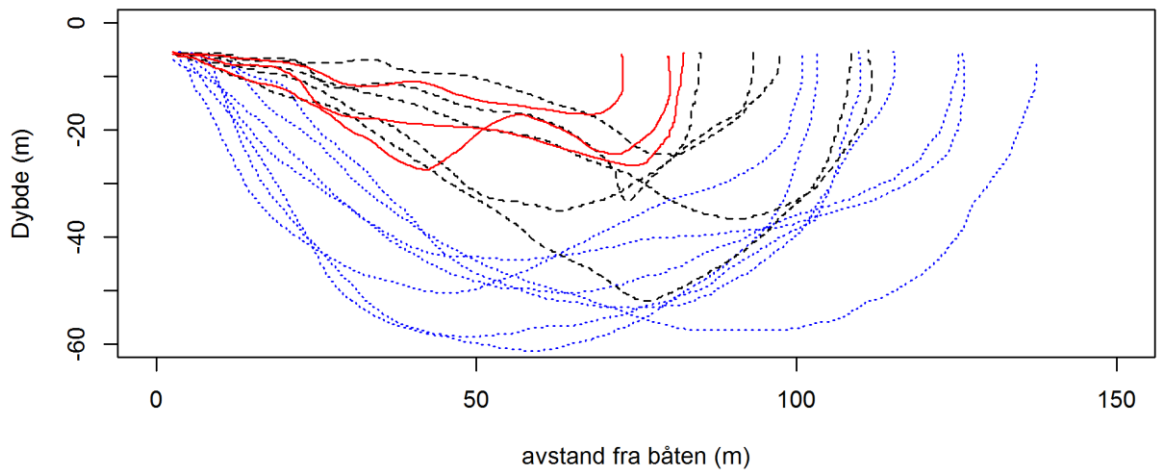
Kast	År	Tid	Mål	Innhaling (min)	Hastighet haling (m s^{-1})	Fangst (t)	Antall Tp*	Antall 3D rekonstr.	Første (%)**	Siste (%)**
1	2011	Dag	N/A	75	0.16	Vask	2	6	28	67
2	2011	Dag	Slør	47	0.26	Bom	2	5	37	78
3	2011	Dag	Slør	36	0.33	320	2	9	28	69
4	2011	Dag	Slør	58	0.21	115	2	3	47	68
5	2012	Natt	slør	49	0.24	635	0	8	8	60
6	2012	Natt	Slør	65	0.18	150	5	16	6	78
7	2012	Natt	Slør	47	0.26	Bom	5	8	9	76
8	2012	Dag	slør	62	0.19	440	5	7	11	46

* Tp = transponder

** mengde not tatt inn i prosentandel av det totale ved første og siste rekonstruksjon



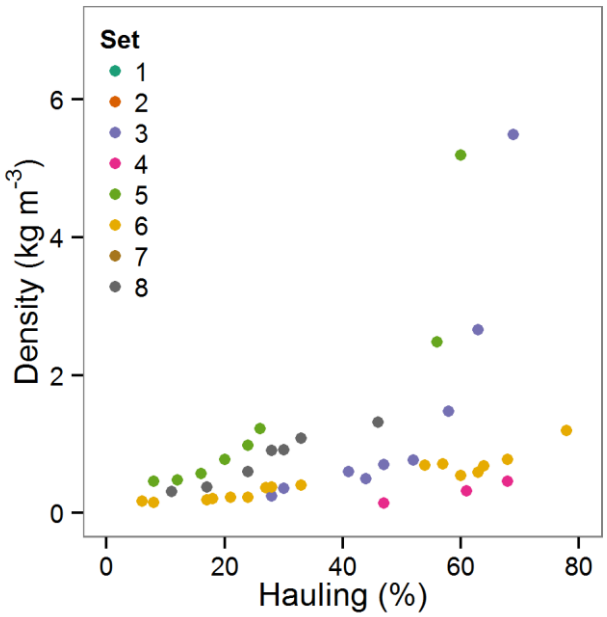
Figur 8. Notvolum basert på 3D rekonstruksjoner av nota fra begynnelsen av haling til 80 % av nota er tatt om bord. Linjen er fra en lineær regresjonsmodell tilpasset logtransformert notvolum og andel not tatt om bord.



Figur 9. Formen på notbunnen omtrent i midten av nota. De blå linjene representerer den første fasen av innhaling (5-40 % av innhalingstiden), de svarte den midterste fasen (41-60 % av innhalingstiden) og de røde den siste fasen (61-80 % av innhalingstiden).

Fisketettheter

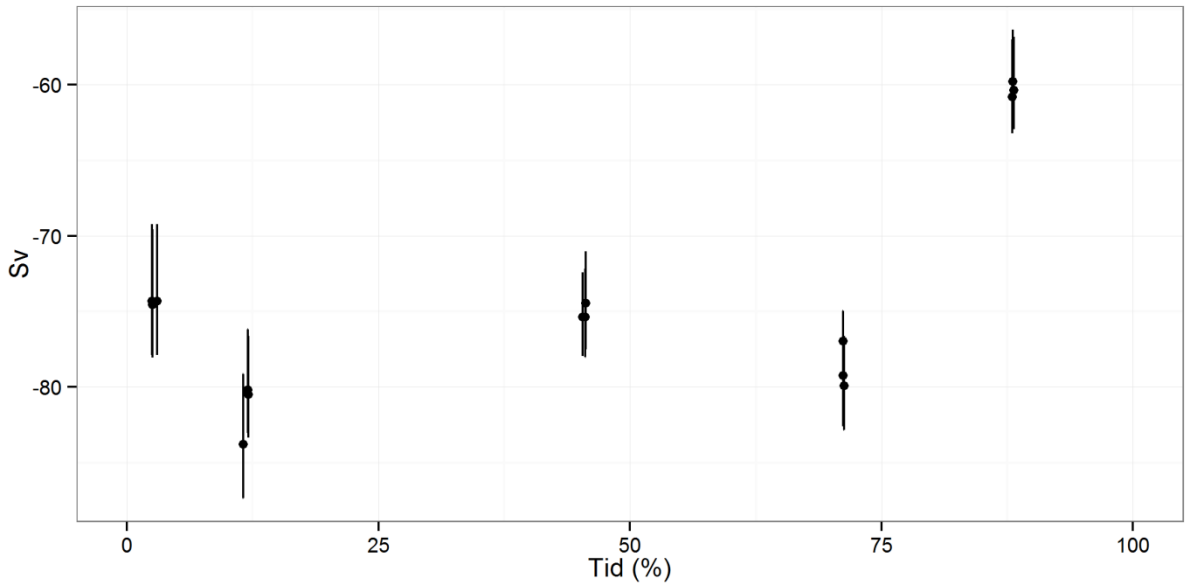
I de fem kast der det var fangst (Tabell 1) ble fisketettheter estimert ved å dele fanget biomasse i kg med estimert notvolum under innhaling. Fisketettheten var stort sett under 1 kg m^{-3}, men i kast 3 og 5 økte tettheten til 5-6 kg m^{-3} etter at mer enn 60 % av nota var tatt inn (Figur 10).



Figur 10. Estimert fisketett under innhaling av not i kast 3-6 og 8.

Den akustiske tilbakespredningsstyrken per volumenhet, Sv dB re 1 m^{-1}, fra nota ble målt i et kast på tokt 3 der det ikke ble fanget noe fisk (Figur 11). Sv lå mellom -85 og -70 dB frem til omtrent 70 % av nota var tatt om bord. En verdi på omtrent -60 dB ble målt da 85% av nota var tatt om bord. De høyere verdiene målt mot slutten av innhalingen kan enten forklares med at mer av nota var registrert i hver volumenhet fordi nota kan ha vært snurpet sammen i folder eller rynker, eller det kan også ha vært forårsaket av luftboble støy. Den målte Sv styrken av nota er lavere enn den som er kjent fra tidligere målinger av sild og makrell. Sild Sv er blitt målt til omtrent -40 dB og makrell til omtrent -55 dB i stimer under naturlige forhold (pers. comm. Héctor Peña). Makrell og sild fanget i not forventes videre å ha en høyere tetthet inni nota enn i naturlige stimer (Misund, 1993), noe som også vil gi et høyere Sv og dermed også et større avvik mellom not og fisk. Det er derfor mulig at man kan skille akustisk mellom fisk og not, og dermed beregne fisketettheter. På tokt 3 ble små sildestimer mellom 10 og 20 tonn fanget. Disse var ikke store nok til å prøve å skille mellom not og fisk. I

fremtiden hadde det vært interessant å gjøre videre målninger av kast med og uten fangster for å vurdere brukbarheten av denne metoden.

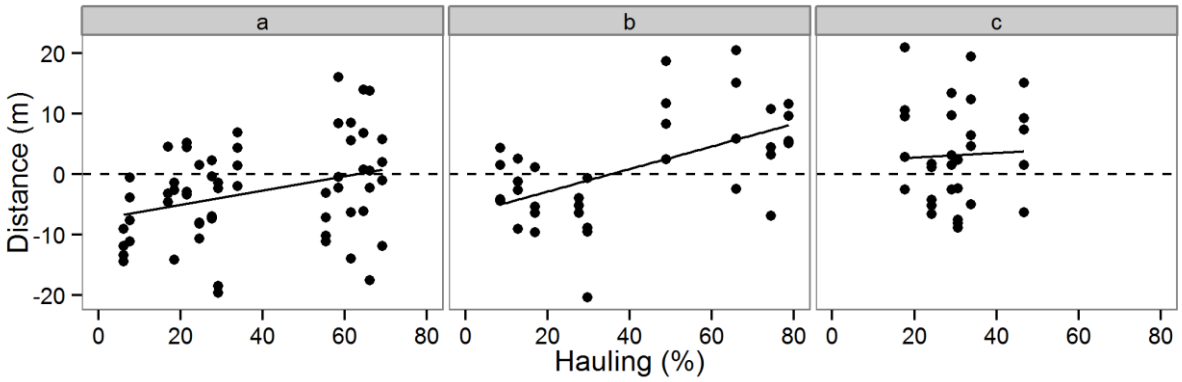


Figur 11. Tilbakespredningsstyrke (Sv, dB re 1 m^{-1}), av nota under innhaling. Data er presentert som medianer med første og tredje kvartaler.

Transponderdata

Avvik mellom sonar- og transponder-baserte notposisjoner

Det horisontale avviket mellom transponderposisjoner og notdimensjoner basert på sonardata varierte fra -20 m (sonar-baserte posisjoner på innsiden av transponder-baserte posisjoner, og dermed undervurdering av notas egentlige dimensjoner) til +20m (sonar-baserte posisjoner på utsiden av transponder-baserte posisjoner, og dermed overvurdering av notas egentlige dimensjoner). I gjennomsnitt lå avviket på 0,3 meter, noe som tyder på en liten tendens til at notas dimensjoner var underestimert basert på sonardata. Videre registrerte man et lite skift fra en tendens av negative avvik i begynnelsen til positive avvik mot slutten av en innhaling. Dette betyr at volumet kan ha vært noe underestimert i begynnelsen og noe overestimert mot slutten av innhalingen. Resultatene indikerer at nota sannsynligvis har en mer kompleks form enn den som blir fanget opp av sonaren. De sonar-baserte notveggene ble tegnet i midten av den akustiske refleksjonen (Figur 3) og den egentlige formen på nota ble dermed jevnet ut.



Figur 12. Avvik mellom transponder- og sonar-baserte notposisjoner under innhaling i kast 6 (a), 7 (b) og 8 (c), mål på tokt 2.

Presisjon av HiPAP transpondere

Gjennomsnittsavstanden mellom transponderne, etter at det var tatt hensyn til den monterte avstanden, var 1.6 meter med en standardavvik på 1.5 meter horisontalt og 2.7 m med en standardavvik på 2.4 meter vertikalt (Figur 13). Noe av variasjonen kan forklares med at den monterte avstanden mellom transponderne ikke var stabil under kastet og at tiden for registrering av posisjon fra transponderne avvek med mellom 1 og 4 sekunder. Når dette tas i betraktning, kan det konkluderes med at presisjonen er god.

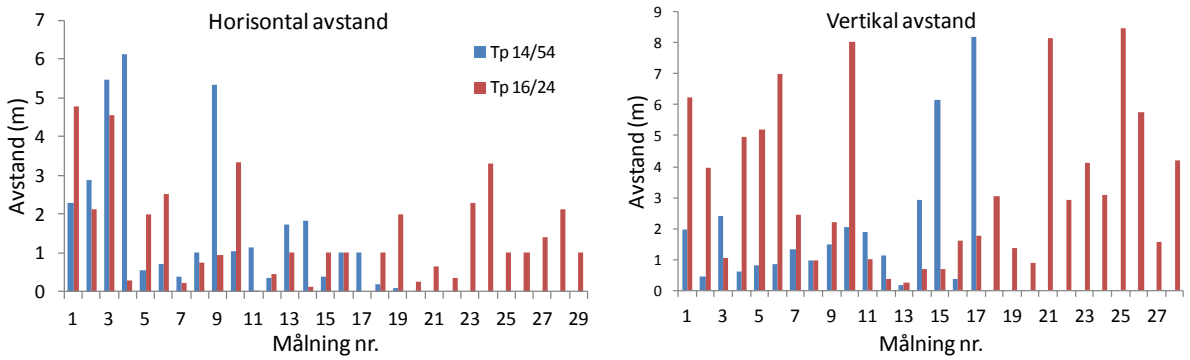
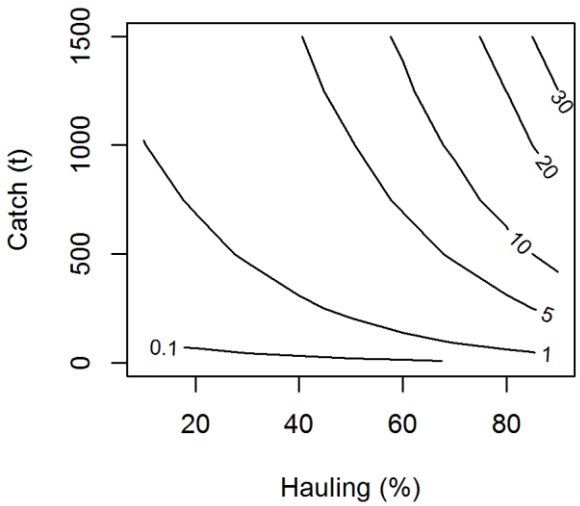


Figure 13. Horisontal (a) og vertikal (b) avstand mellom transponder-par (Tp 14 og 54 og Tp16 og 24) etter at den monterte avstanden er trukket ifra.

Fangstscenarioer

Modellen som ble tilpasset volumestimatene (Figur 8) ble brukt til å simulere fangstscenarioer der fisketettheter ble estimert for en rekke potensielle fangststørrelser fra 50 til 1500 tonn fra start av innhaling til 90 % av nota var tatt om bord. Dermed kunne man også få en indikasjon på forventede fisketettheter ved 7/8 dels not (ca. 88 %). Resultatene indikerer at fisketettheter når 90 % av nota tatt om bord kan forventes å være omtrent 20 kg m^{-3} i et kast på 1000 t og omtrent 10 kg m^{-3} i et kast på 500 t (Figur 14).



Figur 14. Forventet fisketetthet (kg m^{-3}) som en funksjon av andel not tatt om bord og fangststørrelse basert på den lineære regresjonsmodellen tilpasset volumestimatene.

Usikkerhet

Volumestimat

Det er to hovedkilder til usikkerhet i volum estimatene

1. Sonaren som ble brukt har en relativt lav oppløsning, og derfor var det en viss usikkerhet om den eksakte posisjonen til notveggene på sonarbildene. Videre var det en subjektiv vurdering hvordan notveggene ble tolket og avtegnet i sonarskjermbildene.

2. Luftboble-støyen rundt båten forstyrret til tider både sonar- og transponderdataene og forklarer også mangelen på data fra de siste 20 % av halet.

Tetthetsestimat

Vi vet altfor lite om fiskens atferd i nota. Her har vi antatt at det er notas volum samt fangststørrelsen som direkte avgjør fisketettheten. Dette stemmer trolig ikke før sent i kastet. I en tidlig fase må man anta at fiskens opprettholder en normal stimatferd med de tettheter som er vanlig i en stim. Det er lite sannsynlig at fisken opptar høyere tettheter enn de den tåler før den blir tvunget til det på grunn av begrenset plass i nota, men dette vet vi ikke med sikkerhet. Vi vet heller ikke hvordan atferden, tettheten og dermed dødeligheten kan bli påvirket av ulike fiskeforhold.

Konklusjoner

Fisketetthetene som ble estimert under innhaling av not (0-80 % not tatt om bord) i fem kast med fangster mellom 115 og 636 t var under 6 kg m^{-3}. Makrelldødelighet er blitt estimert til 10-30 % ved en tetthet på ca 30 kg m^{-3} (Lockwood et al., 1983; Huse og Vold, 2010) mens sild ser ut til å tåle betydelig høyere tettheter. Hos sild ble ingen dødelighet registrert ved en tetthet på 100 kg m^{-3} (Tenningen et al., 2012). Fisketetthetene som ble estimert i dette prosjekt var dermed lavere enn de som fisken forventes å ta skade av. Dessverre kunne ikke alle kast overvåkes til 80 % av nota var halt inn, og data fra de siste 20 % av innhalingen var for usikre til å kunne brukes til volumestimering. Fangstscenarioene gir et eksempel på hvordan de estimerte notvolumen kan bli brukt til å utforske hvordan fisketettheten øker under innhaling, og hvordan de kan bli påvirket av fangststørrelse på et mer generell basis. Resultatene tyder på at ved 7/8 not (omtrent 88 % not halt inn) er risikoen for skadelig høye fisketettheter, spesielt for sild men også for makrell, lav også i store kast. Det kan dermed konkluderes med at den nåværende grensen for slipping i makrellfisket ved 7/8 dels not er føre-var og sikrer at fisk ikke dør som følge av trenging i not etter slipping. Grensen kunne sannsynligvis plasseres i en senere fase i sildefiskeriene. Det er likevel viktig å huske at i fangstscenarioene har man ikke tatt hensyn til variasjoner i notvolum mellom kast. Målingene er gjort på kun not av én størrelse, mens ulike båter bruker nøter av forskjellige størrelser. I tillegg er det en viss grad av usikkerhet i volumestimatene. For å vurdere om grensen for slipping i makrellfisket er bra som den er, eller om den kunne optimaliseres, og for å vurdere hvor grensen for slipping i sildefisket burde bli satt, er det behov for mer nøyaktige estimater av notvolum. Det er også behov for data fra den siste delen av kastet. I

tilegg er det behov for bedre forståelse av fiskens atferd i nota og hvordan den varierer under forskjellige forhold.

Det er tvilsomt om slipping bør tillates ved et senere stadium enn i dag selv om notvolum og fisketettheter kunne måles nøyaktig. Fisketettheten ved et visst punkt under innhaling forventes å variere sterk mellom kast på grunn av variasjoner i notvolum, fangststørrelser og muligens også variasjoner i fiskens atferd under forskjellige forhold. Et ”point of no return” eller et fast punkt under innhaling hvoretter det ikke lenger er tillatt å slippe må ta hensyn til denne variasjonen. Dette er uheldig for fiskerne ettersom det i de aller fleste tilfeller da vil være for tidlig å si noe sikkert om fangstkvantum og kvalitet som er nødvendig grunnlag for å ta en avgjørelse om slipping (Vold et al., 2013). For å finne en løsning som også tar hensyn til fiskernes interesser er det behov for enten å utvikle en fleksibel grense for slipping, som igjen vil kreve direkte målninger av fisketetthet i sanntid under fisket eller volumestimat og mer nøyaktige anslag av fangststørrelse. Alternativt må man få på plass en måleteknologi som gir fiskerne den informasjon de har behov for i en tidlig fase av kastet.

Implementering og forslag til videre arbeid

Resultatene fra prosjektet kan betraktes som første steg mot utvikling av en metode for måling av fisketettheter i not og mot sanntidsovervåking av not under fisket. Dette har vært et eksperimentelt prosjekt, og det er brukt mye tid på å utvikle metoder for å estimere fisketetthet i not med den teknologien som var tilgjengelig. Resultatene gir en indikasjon på hvor høye tettheter som kan forventes i nota under innhaling og hvor stor variasjon som kan forventes mellom kast.

Det å kunne bevise at fisk som slippes fra not ikke dør er viktig for et bærekraftig og ansvarlig notfiskeri. Krav om å kunne dokumentere at fisken blir fanget på en ansvarlig måte og at det ikke er utilsiktet eller uregistrert dødelighet i fiskeriene vil sannsynligvis øke i fremtiden fra politisk hold og markedssiden. For å kunne dokumentere at fisk som slippes fra not overlever, er det helt nødvendig å ha en forståelse av hva som skjer under innhaling av not, både med nota og med fisken inni nota. Derfor burde arbeidet som er påbegynt i dette prosjekt videreføres. Vi har vist at både sonar og transpondere kan brukes til å overvåke nota under kommersielt fiske. I videre forsøk er det anbefalt å bruke sonarer med høyere oppløsning enn den som ble brukt i våre. Sonarteknologi rettet mot bruk inni nota under kasting er også under utvikling og kan bli et nyttig verktøy i fremtidige forsøk.

Vi ser også stort potensial i å utvikle et posisjoneringssystem for bruk i not og andre fiskerier. Undervanns posisjonering og dynamiske modeller brukes i akvakultur for måling av merdvolum (DeCew et al., 2013). Dette er noe som kunne videreutvikles til overvåking av

not. Et system som HiPAP har en stor fordel i at én transducer kan brukes til å estimere posisjonen til et stort antall transpondere, men slik den fremstår i dag er systemet dyrt og transponderne upraktisk store. Det er imidlertid sannsynlig at mindre og mer fiskerivennlige HiPAP-transpondere kan utvikles dersom produsenten ser et marked for et slikt produkt.

Leveranser

Tabell 2. Leveranser

Leveranser satt opp før prosjektstart	Leveranser
Toktrapport makrell 2011	Statusrapport inkludert rapport fra første tokt
Toktrapport sild 2012	ICES poster presentasjon 2012
Toktrapport makrell 2012	HI Nytt Nr.1 – 2013 (tokt 1 og 2)
Toktrapport sild 2013	Toktrapport: ”sildetokt” 2013
Populærvitenskapelig faktaark	Planlagt kronikk i fiskeribladet fiskaren mars 2014
Vitenskapelig artikkel	Manuskript sendt til Fisheries Research 2014

Kvalitetssikring av prosjektgjennomføring og resultater

Forskningsmetodene er blitt diskutert internt i HI med spesialister innenfor de forskjellige fagområdene. Lie-rederiet har vært involvert i planlegging og gjennomføring av alt som har hatt med det praktiske fisket å gjøre. Kongsberg maritime har bidratt i arbeidet med HiPAP og Tor Herman Gunhildstad var med på deler av tokt 2 som spesialist på HiPAP.

Prosjektresultatene er sendt til Fisheries Research der de vil gå gjennom en faglig vurdering. Kvaliteten og språket i sluttrapporten er blitt kontrollert av Aud Vold på HI.

Takk

Vi vil takk Lie-rederiet og mannskapet på Libas, spesielt Per William Lie, Ole Christer Lie og Lars Olav Lie som har vist interesse for prosjektet fra begynnelsen av og hjulpet oss i planleggings- og gjennomføringsfasen. Vi vil også takke mannskapet på Artus for et godt samarbeid og Kongsberg Maritim, spesielt Thor Bærhaugen og Tor Herman Gunhildstad for lån av transpondere og innspill og råd. Vi takker Aud Vold for koordinering av alle notprosjekt på HI og for hjelp i dette prosjekt. Vi vil takke FHF, Fiske og Fangst, som har finansiert dette prosjektet.

Referanser

Anon 2005. Forskrift om utøvelse av fisket i sjøen. FOR-2004-12-22-1878 Nærings- og fiskeridepartementet. Med korreksjon av 26.02.2013 (§ 48 første ledd nr. 3).

Ben-Yami, M. 1994. Purse seining manual. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fishing News Books, Oxford. 416 pp.

Bernardini, F., Mittleman, J., Rushmeier, H., Silva, C., Taubin, G. 1999. The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 5, 349–359.

DeCew, J., Fredriksson, D.W., Lader, P.F., Chambers, M., Howell, W.H., Celikkol, B., Frank, K., Hoy, E. 2013. Field measurements of cage deformation using acoustic sensors. Aquacult. Eng. 57, 114-125.

Hosseini, S.A., Lee, C-W., Kim, H-S., Lee, J., Lee, G-H. 2011. The sinking performance of the tuna purse seine gear with large-meshed panels using numerical method. Fish. Sci. 77, 503-520.

Huse, I., Vold, A. 2010. Mortality of mackerel (*Scomber scombrus* L.) after pursing and slipping from a purse seine. Fish. Res. 106(1), 54-59.

Kim, Y-H., Park M-C. 2009. The simulation of the geometry of a tuna purse seine under current and drift of purse seiner. Ocean Eng. 36, 1080-1088.

Kongsberg Maritime, 2013. HiPAP High Precision Acoustic Positioning, model 501/451/351/101. Instruction Manual. Kongsberg Maritime AS.

Lockwood, S.J., Pawsn, M.G., Eaton, D.R. 1983. The effects of crowding on mackerel (*Scomber scombrus*): physical conditions on mortality. Fish. Res. 2, 129-147.

Marçalo, A., Marques, T.A., Araújo, J., Pousão-Ferreira, P., Erzini, K., Stratoudakis, Y. 2010. Fishing simulation experiments for predicting the effects of purse-seine capture on sardine (*Sardina pilchardus*). ICES J. Mar. Sci. 67(2), 334-344.

Misund, O.A. 1992. Predictable swimming behaviour of schools in purse seine capture situations. Fish. Res. 14(4), 319-328.

Simmonds, J., MacLennan, D. 2005. Fisheries Acoustics, Theory and Practice, 2nd ed. Blackwell Science Ltd, UK. 437 pp.

STECF, 2013. Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries - Landing obligation in EU fisheries (STECF – 13 – 23). Publications Office of the European Union, Luxembourg, EUR 26330 EN, JRC 86112.

Tenningen, M., Vold, A., Olsen, R.E. 2012. The response of herring to high crowding densities in purse-seines: Survival and stress reaction. ICES J. Mar. Sci. 69(8), 1523-1531.

Vold, A., Langedal, G., Isaksen, B., Misund, R. Saltskår, J. 2013. Rapport frå prosjektet ”Slipping av makrell ved notfiske høsten 2011 og 2012”. Observasjon og evaluering av utøvelsen av ny forskrift for slipping av makrell fra snurpenot. Samarbeidsprosjekt mellom Fiskeridirektoratet og Havforskningsinstituttet. Rapport fra Fiskeridirektoratet 16.05.2013, 29 pp.