

Toktrapport 2020851

Fangstkontroll og fiskevelferd i ringnotfiske etter NVG sild

Fiskebas 15.10 – 22.10



Maria Tenningen, Michael Breen, Jostein Saltskår, Erik Schuster og Sigurd Hannaas



Innhold

Bakgrunn og toktmål.....	3
Stimovervåking med FURUNO FSV-25 sonar.....	6
Kalibrering	6
Rådata-prosessering og stimatferd	7
Utvikling av notsensor for fangst og redskapsovervåking	10
Montering	11
Hydrofon	11
Foreløpige resultater og konklusjon.....	12
Overvåking av fangst- og håndteringsstressorer og fiskeatferd i nota	18
Objective	18
Methods.....	18
Preliminary Results	19
Effekt av fangst og håndteringsstress på vitalitet og overlevelse.....	23
Objective:	23
Methods:.....	23
Preliminary Results:	26
Takk.....	30
Referanser.....	30

Bakgrunn og toktmål

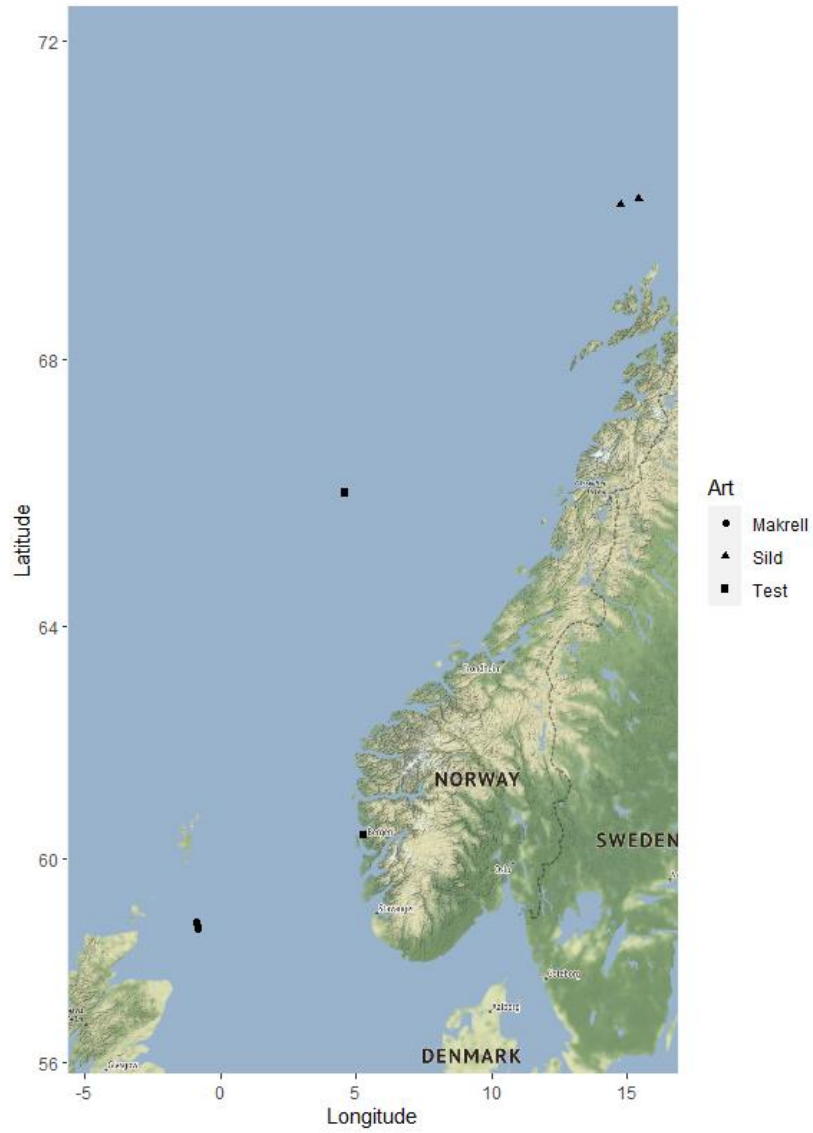
Toktet støtter prosjekt Fangstkontroll i notfiske etter pelagiske arter (FHF 901350). Prosjektets hovedmål er å bedre fangstkontrollen i ringnotfisket gjennom å utvikle instrumenter og analysemetoder som gir bedre grunnlag for beslutninger i fangstprosessen. Målsettingene på toktet var videreutvikling av instrumenter og metoder for overvåking av fangst, samt å bedre kunnskapen om fiskens atferd og reaksjoner i forbindelse med fangst for å undersøke hva som påvirker henholdsvis overlevelse ved slipping og filetkvalitet.

Toktet er en fortsettelse av tokt 2020822 som ble delvis gjennomført i februar på gyteområdene til NVG sild utenfor Mørkekysten. Etter seks døgn ble det bestemt å avbryte toktet siden silden ikke lenger var tilgjengelig for fangst; enten sto den på grunt vann der det ikke var mulig å kaste, på stengte fiskefelt på Haltenbanken, eller den var ferdig gytt og hadde begynt å vandre ut på havet. Vi ble enig med rederne om å fortsette toktet på høsten når NVG sildefisket skulle fortsette.

M/S Fiskebas var innleid til det åtte-dager lange toktet som startet i Bergen 15.10.2020. Været på sildefeltet var dårlig, og det ble tatt en beslutning om å gjøre første forsøk på makrellfeltet der været var bedre, og deretter gå lenger nord til sildefeltene (Figur 1). Utvikling og testing av nye instrumenter og metoder kan like godt gjennomføres på makrell som sild. Under toktet ble det tatt sju kommersielle fangster i tillegg til et testkast i Byfjorden i Bergen før man gikk ut (Tabell 1); fire kast på makrell inkludert et bomkast og tre kast med fangster mellom 34 og 407 t, og tre kast på sild inkludert et testkast og to kast med fangster på 140 og 500 t.

Følgende aktiviteter ble gjennomført:

- Stimovervåking med FURUNO FSV-25 sonar
- Videreutvikling og testing av notsensorer
- Overvåking av fangstrelaterte stressorer og fiskeatferd i nota
- Effekt av fangst og håndteringsstress på vitalitet



Figur 1. Kart med oversikt over ringnotkastene.

Tabell 1. Oversikt over ringnot kastene som ble gjennomført under toktet

Kast	Dato	Posisjon		Fiske tid (utc)		Vind		Strøm (40 m)		Bølger	Fangst		Instrumentering / observasjoner					Notater
		Lat.	Lon.	Start	Stop	Styrke (m/s)	Retning (°)	Styrke (kn)	Retning (°)	(m)	Fangst vekt (t)	G.snitt Individ. Vekt (g)	Not Øye	CMP (i not)	CMP (pump)	CMP (RSW)	VA	
Test	15-10-20	60°24.942N	5°17.034E	12:21:02	13:28:00	<2	0	-	-	<0.5	NA	NA	Y	N	N	N	N	Test kast
1	16-10-20	58°48.479N	0°53.096W	6:57:58	8:21:23	5	22.5	0.4	60	1 - 1.5	44.2	472	Y	Y	Y	Y	P,R	Makrell
2	16-10-20	58°46.741N	0°53.363W	8:56:15	10:20:00	7	22.5	0.4	60	1 - 1.5	33.6	439	Y	Y	Y	Y	P,R	Makrell
3	16-10-20	58°42.589N	0°50.827W	10:49:25	11:53:19	8	22.5	1.3	164	1.5	0	NA	Y	Y	N	N	N	Slipped
4	16-10-20	58°39.81N	0°49.70W	12:41:27	14:51:35	6.7	45	0.8	136	1.5	406.5	444	Y	Y	Y	N	P	Makrell
5	19-10-20	66°05.02N	4°37.17E	10:05:14	11:11:09	14	22.5	0.5	301	2	NA	NA	Y	N§	N	N	N	Test kast
6	20-10-20	70°02.38N	14°47.10E	15:56:42	17:40:00	7.9	110	0.9	230	<1	140.3	280	Y	N§	Y	Y	P	Sild
7	20-10-20	70°07.239N	15°25.803E	19:48:42	22:08:00	4.5	120	1.1	215	<1	500.1	234	Y	N§	Y	Y	P,R	Sild

Y = utplassert; N = ikke utplassert; F = utplassert med mislyktes

v = med video; § = for mørkt

P = VA mellom pumping; R = VA i RSW

Stimovervåking med FURUNO FSV-25 sonar

Mål: Måle fiskestimer med sonar og beskrive stimatferd i forbindelse med fangst. Delmål:

- Teste sonarkalibrering ved bruk av NetCDF rådatafiler
- Tolke data innsamlet i NetCDF format i LSSS
- Beskrive stimenes svømmehastighet, retning og akustisk tilbakespredning

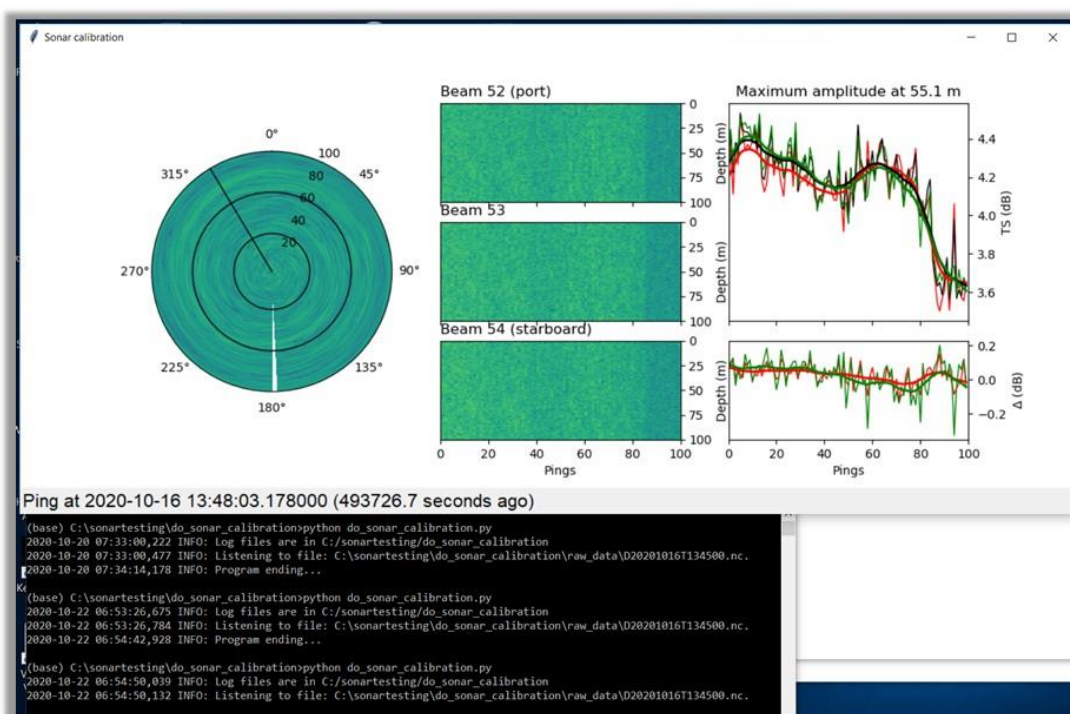
Bedre forståelse av fiskestimenes oppførsel og kvantifisering av stimatferd er viktig for effektiv fangst og mer nøyaktig stimbiomasseestimering. Det er utviklet metoder for kvantifisering av stimbiomasse med flerstråle fiskerisonarer (Peña et al, accepted). Nøyaktige estimat krever at sonaren er kalibrert og at man kjenner til styrken av ekkot fra enkeltfisk. Det er også utviklet kalibreringsmetoder for flerstråle fiskerisonarer (Macaulay et al., 2016). En av de store gjenstående utfordringene er at ekkostyrken varierer sterkt avhengig av den relative vinkelen mellom fiskens svømmeretning og den akustiske strålen. Derfor er det viktig å ha informasjon om fiskens svømmeretning og stimorganisering (f.eks. grad av polarisering). Videre har kalibrering og tolking av rådata kun vært mulig der man har fått informasjon om dataformat fra sonar produsenten. I 2018 gav ICES ut en rapport hvor et felles dataformat for rådata fra fiskerisonarer blir beskrevet (Macaulay and Peña, 2018). Dette skal gjøre det mulig for alle sonarprodusenter som ønsker det å gjøre data tilgjengelig til forskning. Furuno har valgt å gi ut data i netCDF formatet fra sin FSV-25 sonar. Rådataene lagres på en PC med *Furuno data recorder* programvare som kobles til sonar prosessoren. Sonaren styres fremdeles fra hovedoperasjonspanelet men de visuelle innstillingene kan også endres i *data recorder* programmet på logge-PCen. Data lagring ble testet på tokt 2020822 og fungerte veldig bra. Før dette toktet testet man tolking av dataene i LSSS. Det ble oppdaget noen mindre feil og mangler i filene og de fleste ble rettet opp av Furuno Japan før toktet. Før toktet hadde man også som mål å ha klar kalibreringsprogramvare til netCDF-filformatet. Representanten fra Furuno satte opp rådatalagring fra FSV-25 sonaren før toktstart.

Kalibrering

Fiskerisonarer kan kalibreres ved å senke ned en metallkule med kjent refleksivitet noen meter foran sonar strålene ved hjelp av en kalibreringsrigg (Vatnehol et al. 2015). En sonarstråle blir kalibrert om gangen og kulen blir posisjonert i senter av strålen ved hjelp av et kalibreringsprogram. Programmet leser sonardatafilene, måler og visualiserer ekkostyrken fra kalibreringskulen i strålen som skal kalibreres, og i en stråle på hver side av den. Kulen

posisjoneres sånn at ekkostyrken fra kulen er lik i de to ytterste strålene, som er en indikasjon på at kulen er i senter av den midterste strålen.

Første dagen av toktet var satt av til kalibrering, men programvaren var ikke klar til det og planlagt kalibrering ble flyttet til slutten av toktet. I løpet av toktet fikk vi testet kalibreringsprogrammet. Det viste seg at lesing av sonarfiler i sanntid ikke var mulig. Furuno rakk ikke å endre programvaren sin for å tillate sanntidslesing av filene i løpet av toktet, men kalibreringsprogrammet er testet med lagrede filer og fungerer godt. Rett etter toktet ble endringene som trengtes for sanntidslesing gjort av Furuno Japan. Til tross for at vi ikke fikk kalibrert er programmet testet og alt er klart til kalibrering.



Figur 2. Skjermdump av kalibreringsprogrammet som måler ekkostyrken fra kalibreringskulen i strålen som skal kalibreres (svart linje), og en stråle på hver side av den som skal kalibreres (rød og grønn linje). Kalibreringskulen blir senket ned i vannet foran strålene ved hjelp av en kalibreringsrigg. Målet er å posisjonere kulen i midten av strålen som skal kalibreres. Dette blir gjort gjennom å sammenligne målingene fra de tre strålene og justere posisjonen til ekkoet er likt i de to ytterste strålene og kulen dermed er i midten av den midterste strålen.

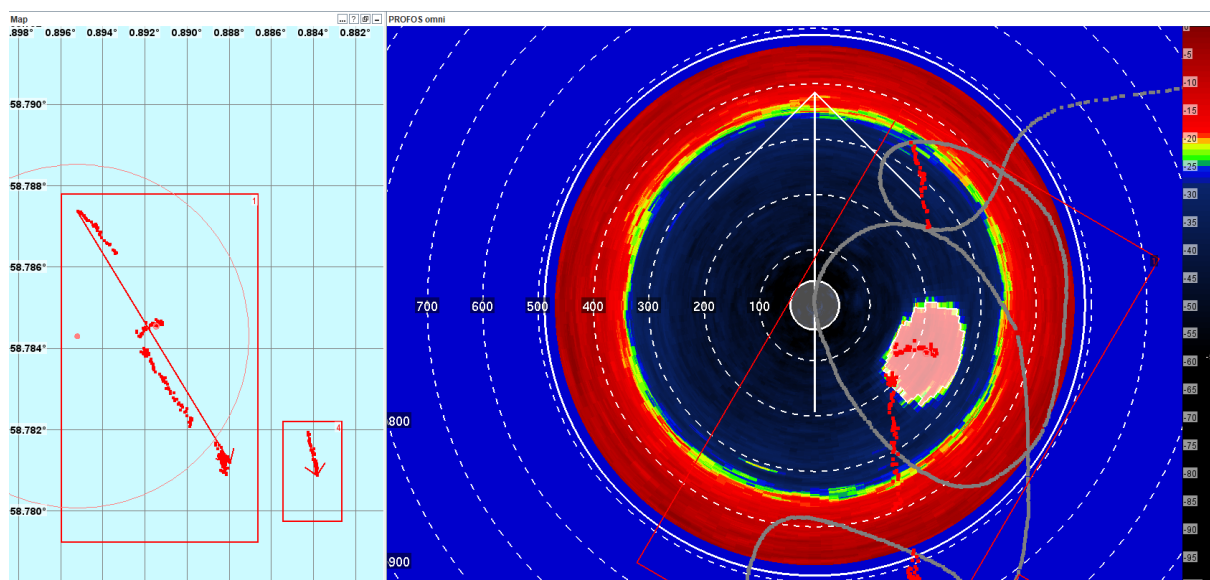
Rådata-prosessering og stimatferd

Sonar NetCDF filene kan tolkes i profos modul for analyse av fiskerisonardata i LSSS programvaren, men det mangler fortsatt verdier (effective pulse duration) som trengs for å beregne volume backscattering strength (S_v i dB re 1 m^{-1}). Foreløpig er det kun mulig å

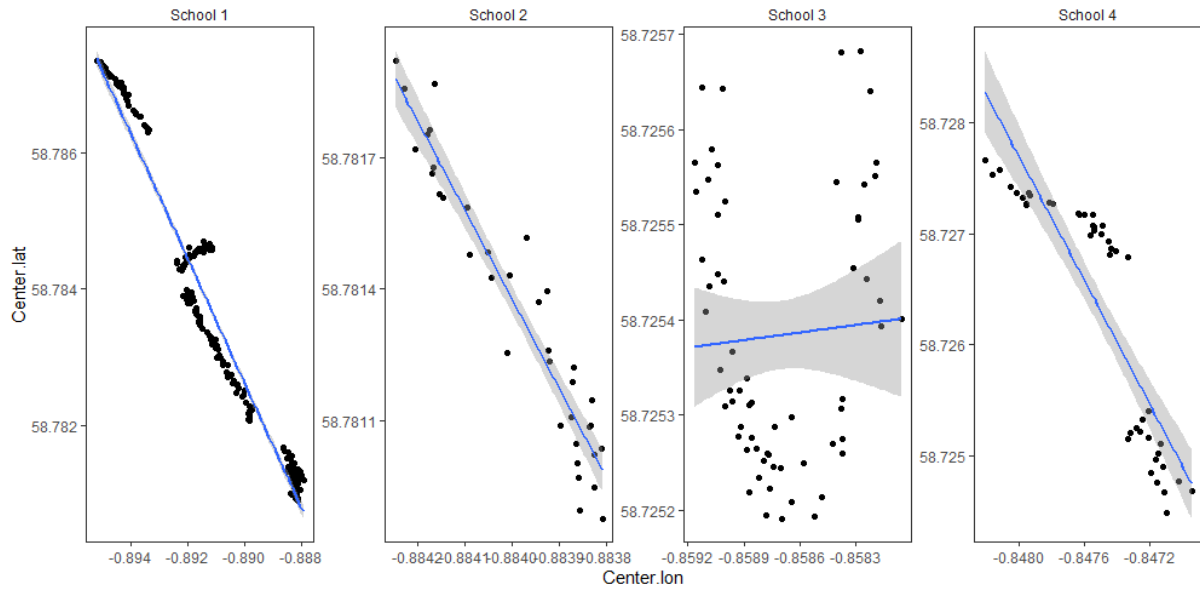
beregne backscatter target strength-verdier (TS i dB re 1 m²). Det jobbes nå med å få på plass S_v-beregning.

Fra dataene som ble logget, har vi så langt klart å tolke fire makrellstimer. Resultatene viser at tre av stimene svømte i en sør / sørøstlig retning med gjennomsnittlig svømmehastighet på 0.91 til 3.94 m s⁻¹ (Figur 4). En av stimene hadde estimert hastighet på 0.44 m s⁻¹, men ser ut til å ha vært relativt stasjonær (Figur 4). I LSSS blir stimhastighet estimert ved å tilpasse en lineær regresjon til målinger av stimens senterpunkt (vektet med ekkostyrke). Altså tar man ikke hensyn til at endringer i svømmeretning og intern stimdynamikk kan påvirke hvor senterpunktet til stimen er. Stimene var store, og arealet ble estimert til 13 000 – 28 000 m², det er en del usikkerhet knyttet til arealestimering fra sonardata. Arealet er direkte avhengig av terskelverdiene som blir brukt til å skille ut fiskestim fra bakgrunnsstøy og er ikke korrigert for bredden på strålen.

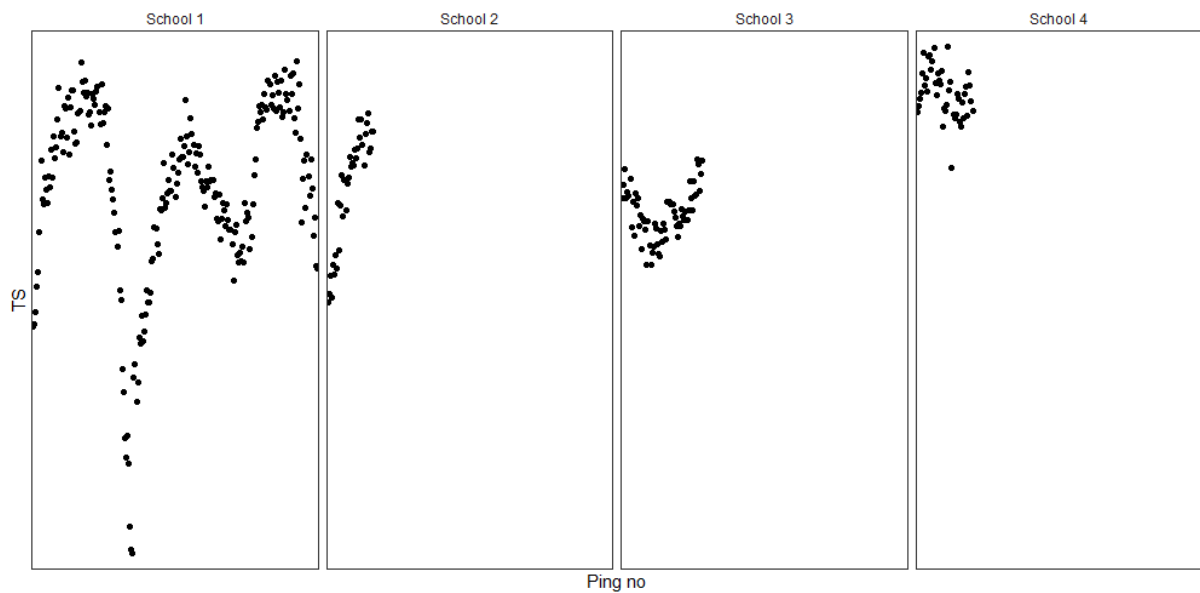
Figur 5 viser variasjonen i gjennomsnittlig ekkostyrke (i TS) per ping fra stimene. En av stimene ble målt i 220 ping og viser et vanlig mønster for en stim som svømmer i samme retning (posisjonene i figur 4 støtter dette), der båten går rundt stimen og måler den fra ulike retninger. Det var ikke mulig å måle de andre stimene i mange nok ping for å se om de hadde samme mønster. Basert på svømmehastighet og retning forventer man at den mer stasjonære stim nummer 3 ikke ville hatt de regelmessige svingningene i ekkostyrke over tid.



Figur 3. Skjermdump fra LSSS Profos modul for prosessering av fiskerisonardata. Til høyre ser man en stim som er skilt ut fra bakgrunnssekkene og til venstre posisjonen til to stimer målt over tid, med estimert svømmeretning.



Figur 4. Posisjoner av vektet senterpunkt i 4 makrellstimer målt i flere akustiske ping. En lineær regresjon er tilpasset og blir brukt til å beregne gjennomsnittlig svømmeretning og hastighet.



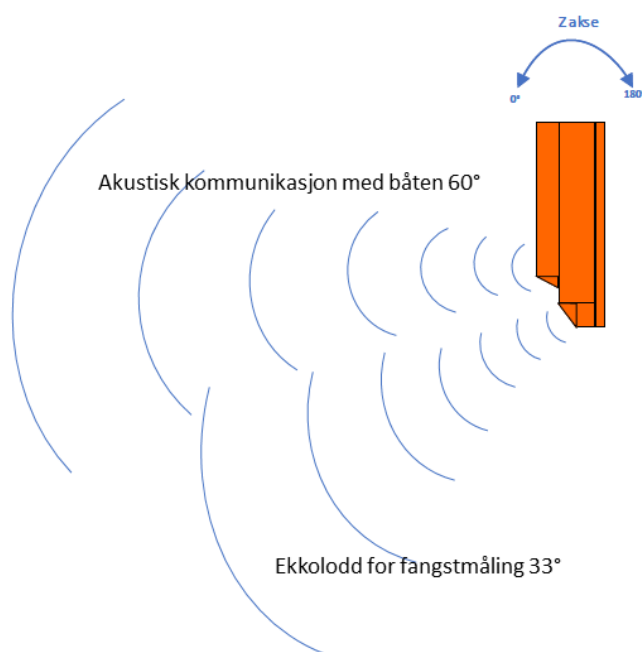
Figur 5. Gjennomsnittlig ekkostyrke (TS) per ping i fire makrellstimer. Antall ping det var mulig å skille ut stimen fra bakgrunnsekkoer varierte fra 40 til 220.

Utvikling av notsensor for fangst og redskapsovervåking

Mål: Utvikle og teste notsensor som gir informasjon om fangst i tidlig fase

I samarbeid med Kongsberg Maritime har vi gjort forsøk med å bruke modifiserte Simrad PX tråloer i nota. Tråloene har et 200 kHz ekkolodd med 33° åpningsvinkel. I not versjonen er strålen rettet 30° ned når sensoren henger vertikalt (Figur 6). Kommunikasjon til båten foregår akustisk. Åpningsvinkelen for kommunikasjon er 60° og derfor mister man kontakten om sensoren peker i «feil» retning. Vi har brukt rekkevidde på 100 og 200 m. I trål er behovet for rekkevidde mye kortere og fisken går gjennom et begrenset volum. Spørsmålet er om sensorene kan fungere i notfiske der det er behov for betydelig lenger rekkevidde, og fisken kan svømme i et større volum. Et annet moment er om montering i nota som er i bevegelse og endrer form kontinuerlig kan gi informasjon som er mulig å tyde.

Sensorene er nå blitt testet på tre tokt. Det er blitt gjort endringer i selve sensorene og monteringen underveis for mer stabilitet. Tidlig i forsøkene viste det seg at kontakten til båtens hydrofon varierer mye og er avhengig av fiskeforhold, bruk av propellere og thrustere og hydrofonens posisjon. Derfor har vi i forrige og dette toktet brukt en egen hydrofon som ble senket ned til 12 m dyp på babord side.



Figur 6. Notsensor med illustrert stråleretning og åpningsvinkel for kommunikasjon med hydrofon på båt og ekkolodd for fangstovervåking. Z-aksen viser pitch på sensor og når sensoren henger vertikalt er pitch 90°.

Montering

En til to sensorer ble montert omtrent 4 m under flåtelen på nota. Tidligere forsøk tyder på at montering omtrent midt på notas lengde gir best datakvalitet; man har god kontakt med hydrofonen, sensoren henger relativt stabilt i nota, og man overvåker perioden i fisket da nota er åpen og det er mindre risiko for å få not med i ekkoene (begynnelse til ½ not halt om bord). Sensoren var montert i en stålramme som var enkel å ta av før nota gikk gjennom triplex og monterte på igjen bak i notbingen (Figur 7). Sensoren var godt festet inne i rammen for å unngå bevegelse, rammen var tung nok til å henge rett ned i vannet og et sikringstau ble festet for å unngå at rammen ble slengt over flåen når nota gikk ut. Dette skjedde i det første test kastet. En til to sensorer ble montert i ringene omtrent midt på nota (Figur 7). Her var det behov for å spenne sensoren fast med tau fra hvert hjørne for å unngå at den roterte. Noen av sensorene hadde innebygd pitch, roll og dybdesensor, og i noen av forsøkene ble en ekstern vinkelmåler montert sammen med sensoren.

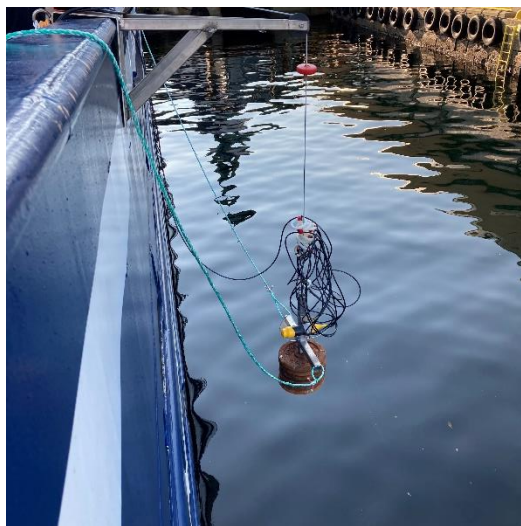


Figur 7. Montering av notsensor i ramme noen meter under flåtelen og i ringene.

Hydrofon

En enkel vinsj løsning ble laget til hydrofonen som ble festet til rekken på babord side (Figur 8). Den elektriske vinsjen med 15 meter kabel ble brukt til å sette ut hydrofonen når nota var ute og båten hadde bakket. Lodd under hydrofonen gjorde at den hang stabilt på 12 meters

dyp. Frem til hydrofonen ble senket ned ble data mottatt med båten egen hydrofon montert under båten og etterpå ble begge brukt. Kontakten var betydelig bedre med den portable hydrofonen som var dypere i vannet. Båtens hydrofon er montert under båten på ca. 6-7 m dybde og blir påvirket av boblestøy fra thrustere.



Figur 8. Kongsberg maritimes portable hydrofon montert på elektrisk vinsj festet i rekkverket på båten. Hydrofonen ble senket til 12m dyp når nota var satt ut og båten hadde stoppet, for å motta data fra sensorer med ekkolodd montert i nota.

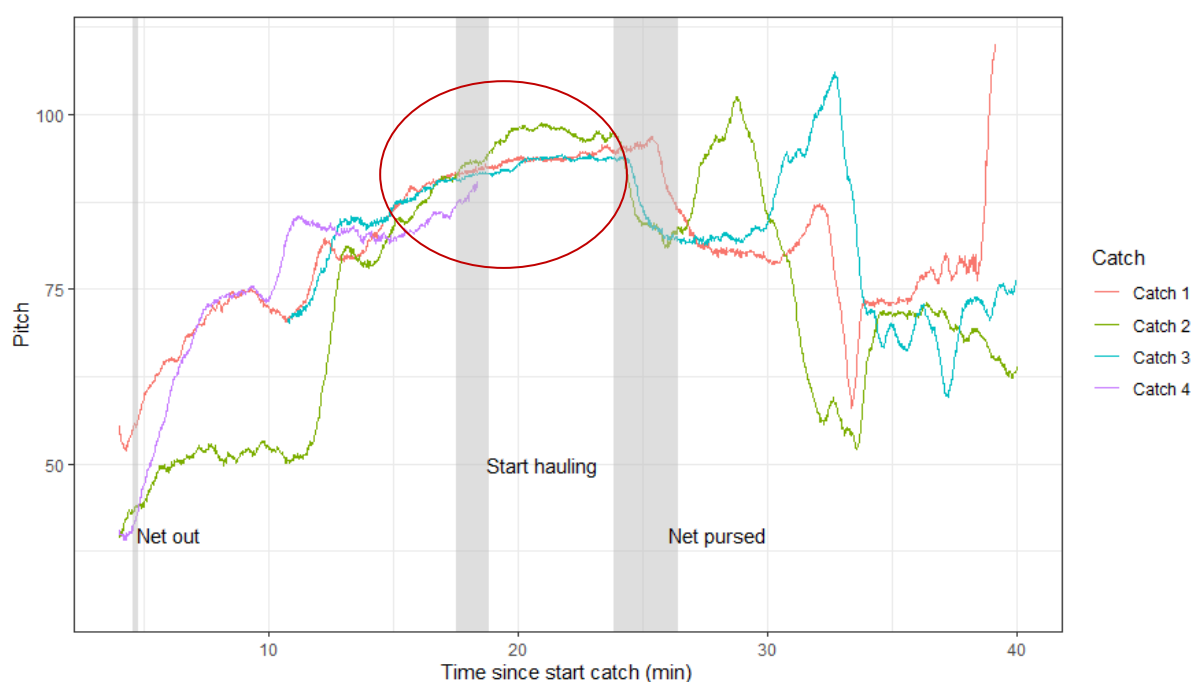
Foreløpige resultater og konklusjon

Dataene ble visualisert i TV80-programmet (Kongsberg Maritime). Ekkolodd-dataene er vanskelige å tolke på grunn av lav oppløsning og usikkerhet om hvilken retning man ser i. Pitch og dybde-dataene hjelper med å få bedre oversikt over hva ekkolodd-dataene viser. Mot slutten av snurping og i begynnelsen av innhaling ser det ut som om sensoren henger relativt vertikalt og stabilt (Figur 9) og dermed er dette en periode det kan være mulig å få gode målinger med sensor montert under flåen. Illustrasjonen i figur 10 viser at en pitch mellom 80 og 100° ikke er problematisk med tanke på overflatestøy eller bunnekkøer, spesielt med 100 m rekkevidde. På 200 meters avstand blir strålen veldig bred og det er sannsynlig at ekkøer fra bunn og not blandes inn. Dermed ble rekkevidden redusert til 100 m som også gir bedre oppløsning på dataene (raskere pingrate).

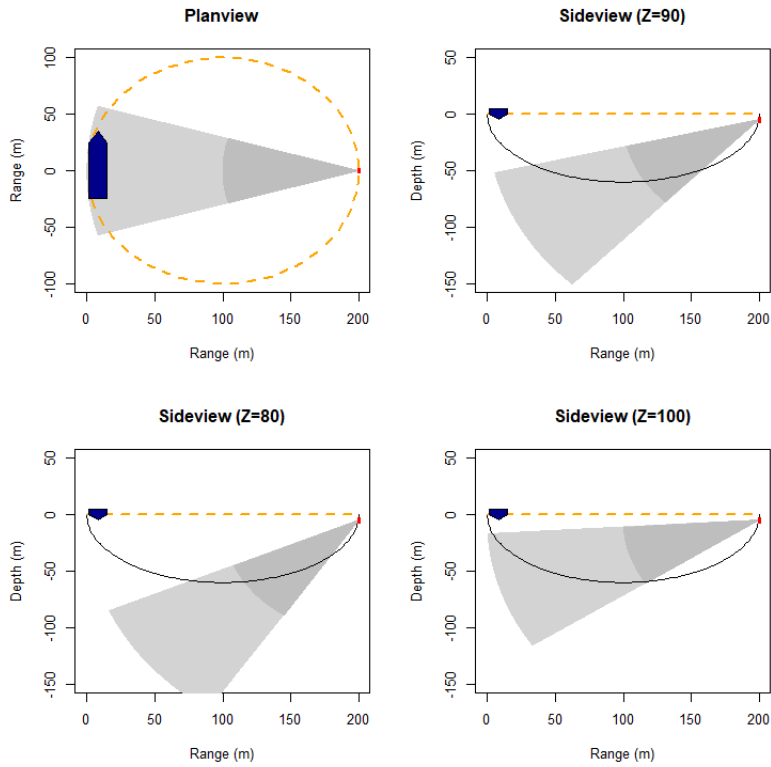
Vi klarte ikke å identifisere makrell i fangstene til tross for fangster med mange hundre tonn fisk (Figur 11). Grunnen til dette er uklar, men en mulig forklaring er at i den tidlige fasen av kastet var makrellen i borte enden av nota og dypere i vannet og kom dermed ikke inn i strålen. I sildefangstene så dataene veldig annerledes ut med sterke ekkøer (Figur 12). Innstillingene var ikke optimale. I det største kastet var i tillegg kontakten dårligere muligens på grunn av at stimen blokkerte akustisk kommunikasjon. Det var ikke heller mulig å si med

sikkerhet om fisken ble målt med sensoren i ringene. Dybdemålinger passer godt overens med overflateekkoer og mellom sensor og overflate er det 50 – 100 m med klart bilde der det burde være mulig å identifisere fisk (Figur 13). Dataene er ikke ferdig analysert, men vi kan foreløpig konkludere med at:

- Sensorene har god og stort sett stabil kontakt med hydrofon på 12 m dyp
- Sensorene er enkle å håndtere og robuste
- Ekkogrammene er vanskelige å tolke på grunn av lav oppløsning, lite kontroll over retning på ekkolodd og kun en liten del av notvolumet blir overvåket. De er mulig dette blir bedre med erfaring og optimalisering av innstillinger
- Et system med smalere akustisk stråle som enten kan beveges (skanning) eller flere stråler og kompass bør vurderes.

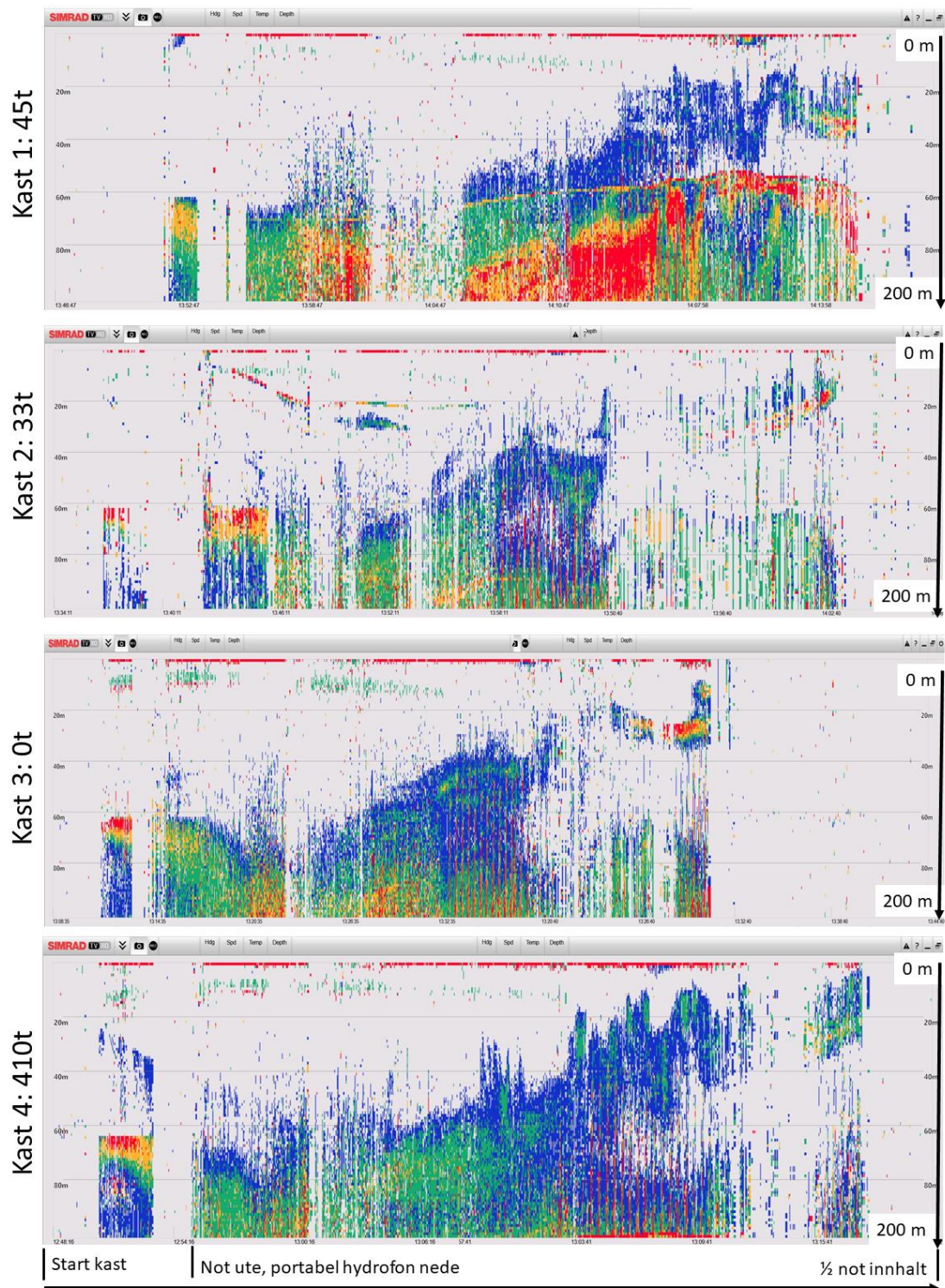


Figur 9. Notsensor pitch i fire kast (pitch 90° = sensoren henger vertikalt, se figur 6). Den røde ringen indikerer en fase i kastet i begynnelsen av innhaling og når nota er nesten snurpet sammen der sensoren ser ut til å henge relativt stabilt med en pitch mellom 80 og 95° (se figur 10).



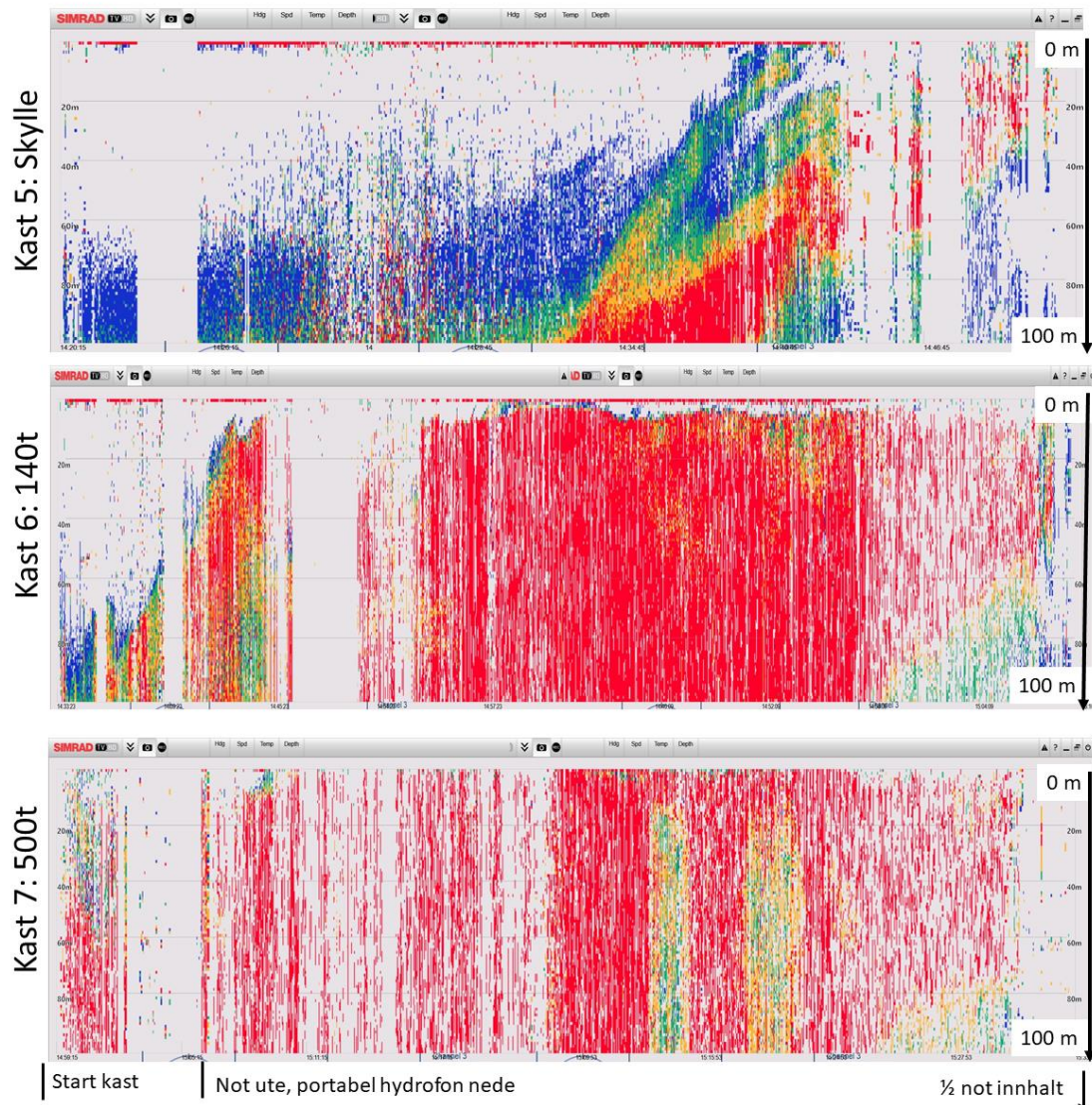
Figur 10. Illustrasjon av arealet ekkolodd strålen dekker sett ovenifra og fra siden med ulik pitch på sensoren (80 - 100°) tilsvarende det som ble målt i kastene (figur 9). Lysegrå sektor er for 200 m range og mørkegrå for 100 m range. Her illustrert med en oppsnurpet not med maksimum dybde på 60 m. Dette vil naturligvis variere under kastet.

Notøye (midt på nota, ca 4 m under flåen) Makrell 200 m range



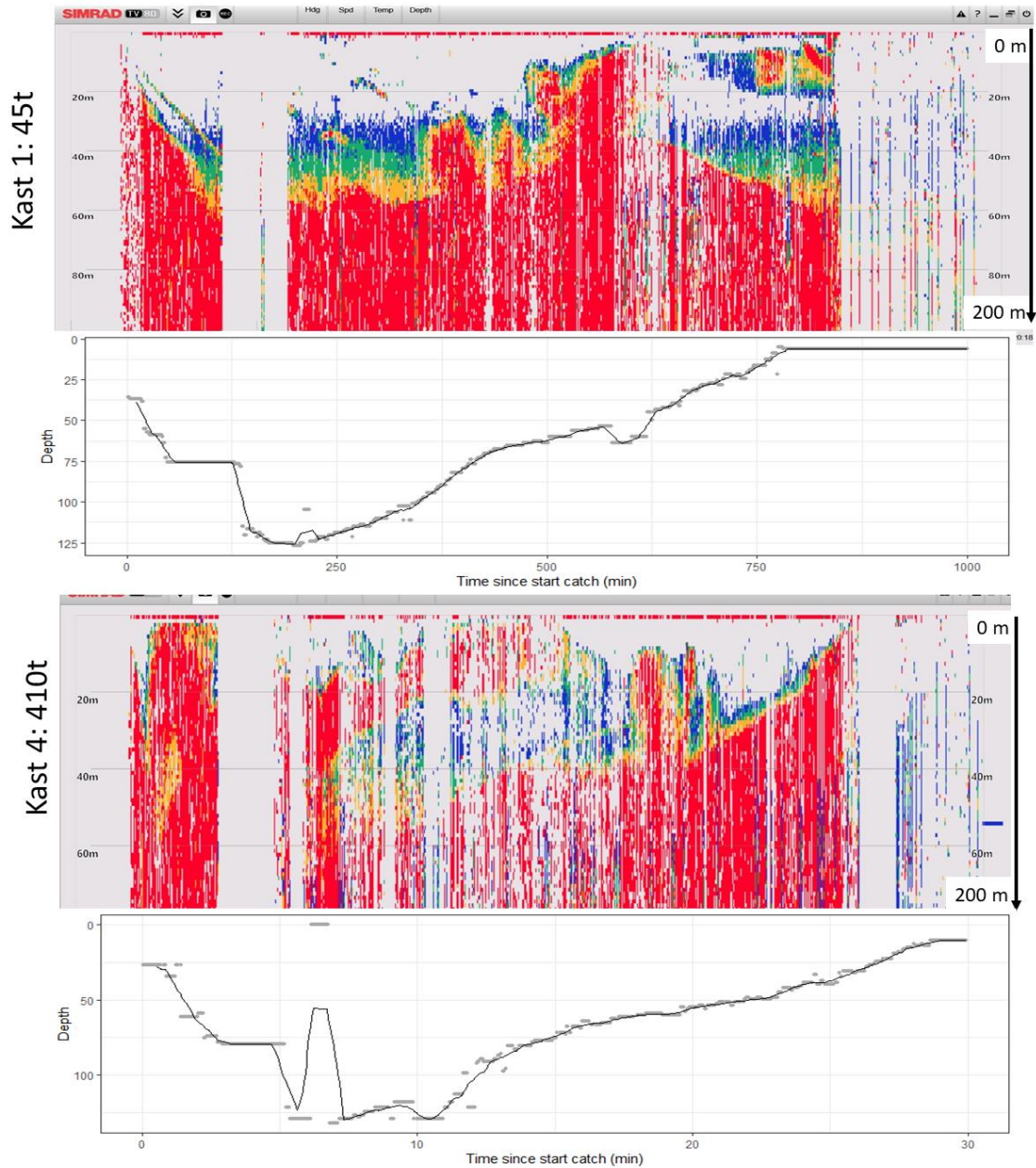
Figur 11. Eksempler av ekkogram i kast 1 – 4 fra nota går ut til nesten halv not halt inn. Sensorene var montert omtrent midt i not (lengde) og 4 meter under flåen. Rekkevidden var 200 m. Fargen indikerer ekkostyrker i økende styrke fra blå – grønn – gul og rød. Det er usikkert hva ekkøene vi ser er; not, bunn eller fisk og overraskende at vi ikke ser klare fiskekkoer i kast 4 med 410 tonn makrell i nota.

Notøye (midt på nota, ca 4 m under flåen) Sild 100 m range



Figur 12. Eksempler av ekkogram i kast 5 – 7 fra nota går ut til nesten halv not halt inn. Sensorene var montert omtrent midt i not (lengde) og 4 meter under flåen. Rekkevidden var 100 m. Fargen indikerer ekkostyrker i økende styrke fra blå – grønn – gul og rød. Det er usikkert hva ekkøene vi ser er; not, bunn eller fisk, men i sildefangstene er det betydelig mer registreringer sammenlignet med skyllekastet, noe som tyder på at siden gir registreringer.

Seine 2 (ringene midt på nota) Makrell – 200m range



Figur 13. Eksempel ekkogram fra notsensor montert i snurperingene i makrellkast 1 og 4. Under ekkogrammene vises data fra dybdesensoren. Dybdeprofilene i de to kastene var like foruten noen spesielle registreringer med 0 dybde i kast 4. Sterkere registreringer og noe dårligere kontakt med hydrofonen i kast 4 med 410 tonn makrell.

Overvåking av fangst- og håndteringsstressorer og fiskeatferd i nota

Objective

To monitor potential stressors during capture (i.e. crowding, fish to net and fish to fish contact, hypoxia and temperature change) and behavioural responses to those stressors.

Methods

IMR/HI has developed a Catch Monitoring Probe (CMP) that was deployed during various stages of the capture process: in the net; during pumping; and in the refrigerated seawater (RSW) tanks. This system comprises several instruments, in different configurations, depending on where it is deployed.



Figure 4.1: Catch monitoring probe (CMP) in protective housing (right) prepared for deployment from a compressed air canon (left).

When used in the net, the CMP is deployed using a pneumatic canon and comprises: a shock proof housing (to protect, support and stabilise the instruments during deployment and operation); a Sony 360 Camera (for complete contextual views around the probe); and RINKO ID oxygen, temperature & depth logger (figure 4.1). When used on the pump, a simpler version of the monitoring probe (containing; a RINKO ID oxygen, temperature & depth logger; and GoPro 4 camera) was attached to the vessel's catch pump, to monitor the catch during pumping; where it would be too hazardous to deploy the CMP. In the RSW tank, a RINKO ID oxygen, temperature & depth logger or a SAIV Conductivity, Temperature, Depth and Oxygen (CTDO) logger, with GoPro 4 camera attached, were lowered into the tank just prior to pumping and remained in the tank for up to 24 hours.

Preliminary Results

As described, due to bad weather in the herring fishery, it was decided to continue making observations of mackerel catches, as a continuation of the previous research cruise (#2020823). As such, these data are not discussed in detail here, but will be reported in the Cruise Report #2020823 (Breen et al, 2021).

Here we report preliminary results for the two casts targeting herring; casts #06 and #07. It was not practical to use the CMP in the net during these casts due to strong currents. Moreover, it was a night fishery, so natural light conditions would not allow us to capture any informative video of the herring during the capture process. However, the CMPs on the pump and in the RSW tanks were deployed, to provide data on changes in dissolved oxygen and temperature, in support of the vitality assessments described in section 5.

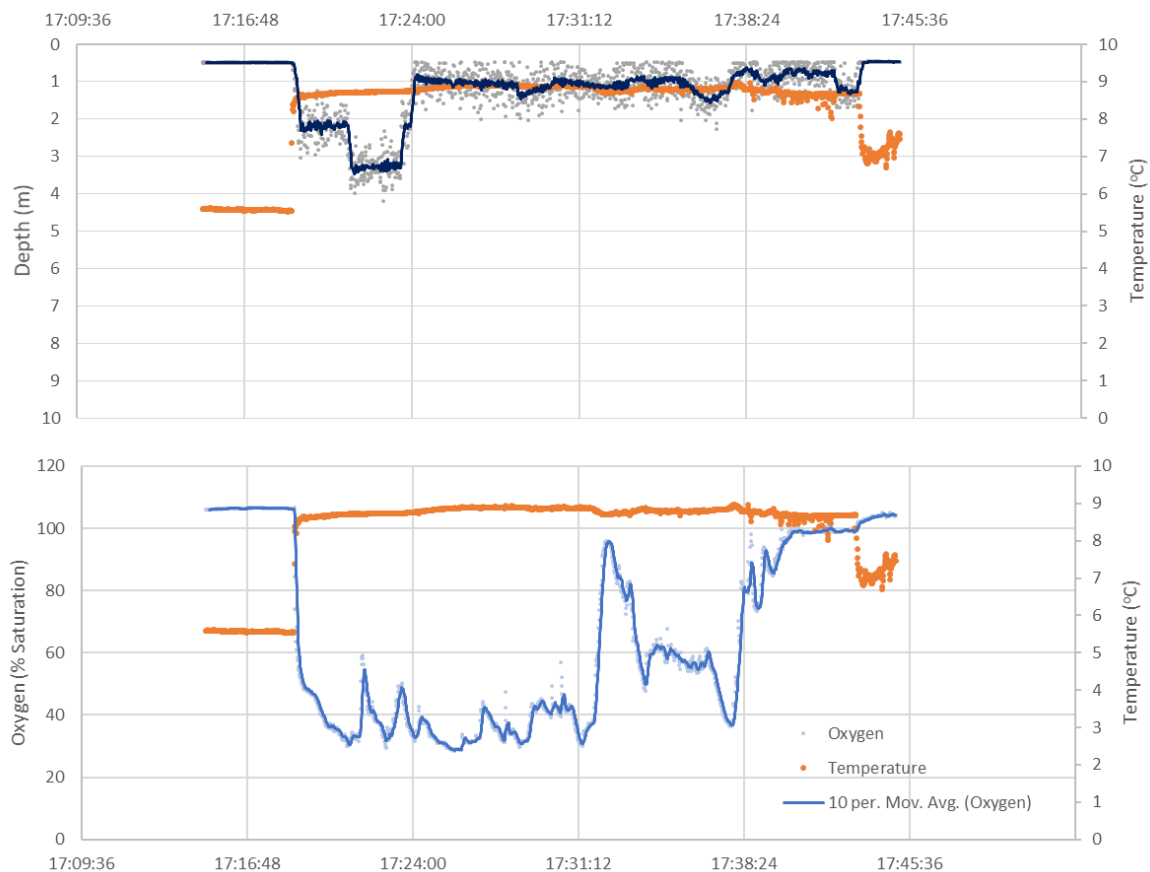


Figure 4.4: temperature (°C) (orange), dissolved oxygen saturation (%) (blue) and CMP depth (m) (black) data from cast #06 during pumping.

During the pumping phase in casts #06 and #07, water temperature remained relatively stable (~8.5°C and ~8.0°C, respectively). Although there was some variation when the pump head (with the CMP attached) was close to the surface (Figures 4.4 and 4.5).

In cast #06 (140t), dissolved oxygen concentration (% saturation) remained relatively low (<50% saturation) throughout the first half of the pumping operation, with a minimum of 28.39% saturation (3.288 mg/l) (figure 4.4). During the second half of the operation, when the biomass in the net was less, dissolved oxygen became much more variable (40 to 98% saturation). However, it is unclear what caused the rapid increase in oxygen concentration at ~17:32, as there are no substantial changes in the pump depth.

Cast #07 (500t) was a much larger catch. As a result, the initial oxygen minimum was lower (19.21 % sat; 2.274 mg/l) than observed in cast #06. Then there was a gradual increase in dissolved oxygen over time, as the biomass in the net is gradually reduced. As herring mostly float near the surface when in the catch, the pump was kept near the surface for most of the pumping operation. However, at ~21:36, there is sudden increase in depth, as the pump is used to clear the bottom of the net, presumably prior to hauling in more net. This corresponds with dissolved oxygen returning to baseline levels (~100%; 7.6 mg/l). When the pump head was returned to the surface, and into the floating catch, dissolved oxygen drops again to ~40% saturation.

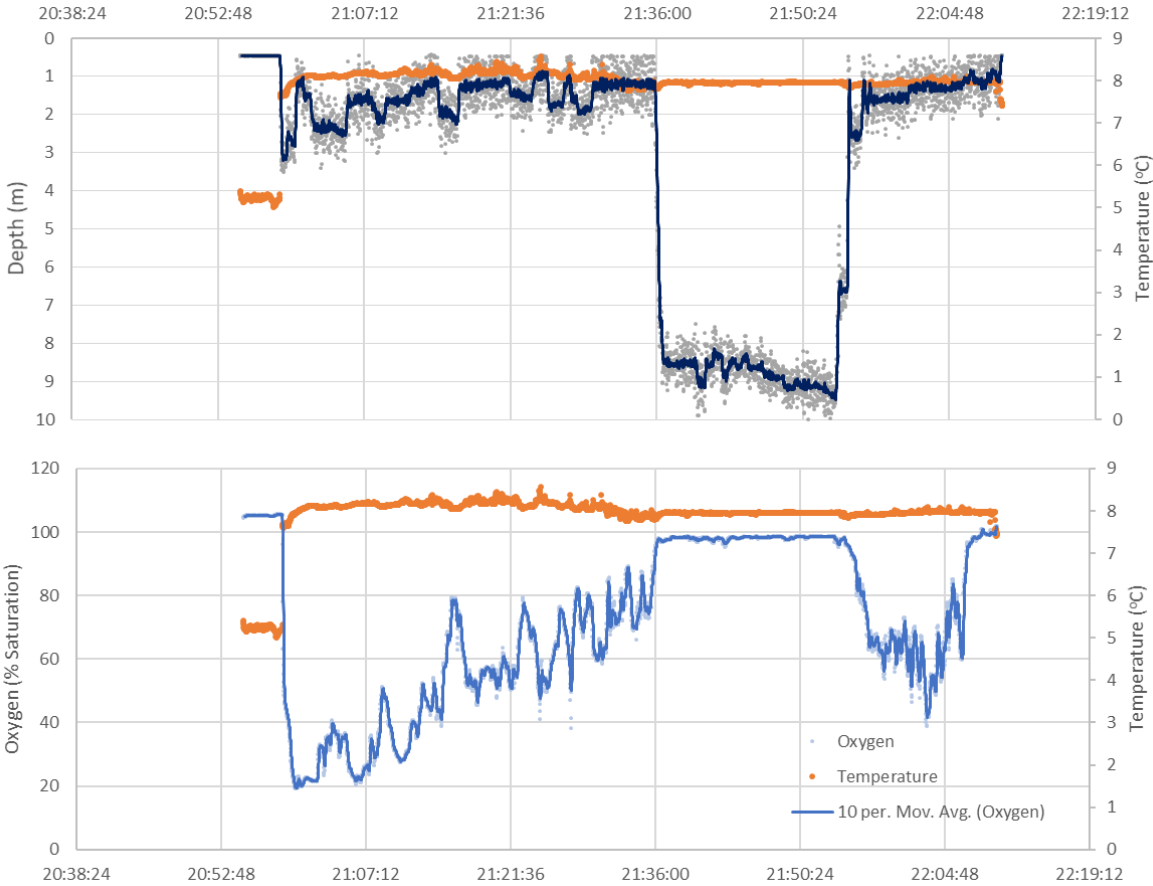


Figure 4.5: temperature (°C) (orange), dissolved oxygen saturation (%) (blue) and CMP depth (m) (black) data from cast #07 during pumping.

Using data from this and other recent research cruises (Fiskebas Oct 2019 and Sept 2020), the oxygen minimum during hauling in the net and particularly during pumping appears to be correlated with catch sizes (figure 4.6). Interestingly, the relationship between catch size and minimum oxygen concentration during pumping in herring catches (from this cruise and Vendla in June 2019; #2019833) showed a considerably greater oxygen depletion for comparable catch sizes when compared to mackerel catches. The Fiskebas skipper and crew stated that they deliberately try to avoid over-crowding mackerel during pumping, and this difference in oxygen minima for comparable catch sizes may be supporting evidence of this practice.

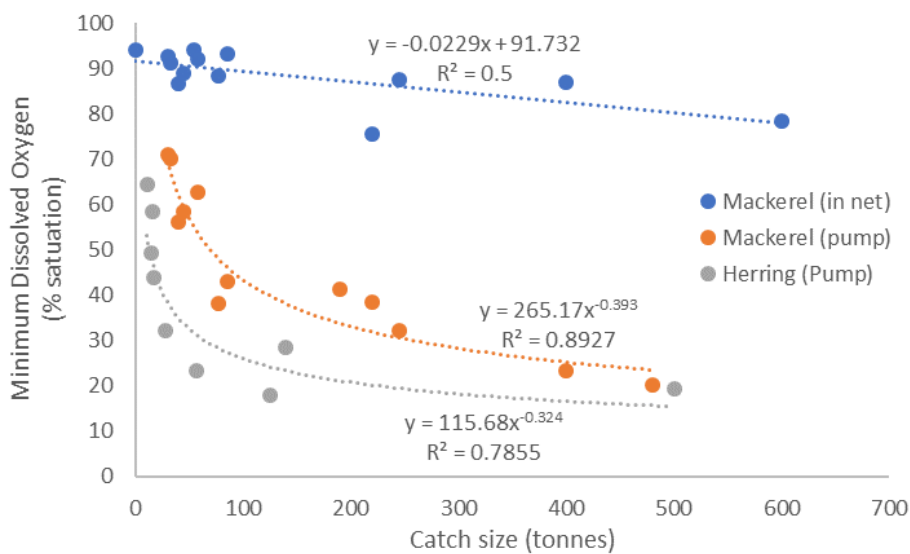


Figure 4.6 – minimum dissolved oxygen concentrations (% saturation) in relation to catch sizes of herring and mackerel during the hauling (mackerel only) and pumping phases.

The first fish entering the RSW tank experienced a rapid temperature drop to $<-1^{\circ}\text{C}$ (from $\sim 8^{\circ}\text{C}$). However, as more catch was added, the temperature increased rapidly to $\sim 3.5^{\circ}\text{C}$, where it stabilised during the vitality assessment. After the vitality assessment, the tank was sealed and flushed with water from the neighbouring tanks, which resulted in an initial spike in temperature to $\sim 5.5\%$, followed by a steady cooling to $\sim -1.5^{\circ}\text{C}$, approximately 10 hours after pumping finished.

There was also a very rapid drop in dissolved oxygen in the tank and within 10 minutes of pumping it had dropped to approximately 25% saturation. There was some fluctuation in dissolved oxygen throughout the pumping process, but once complete it stabilised at $\sim 35\%$ saturation throughout the vitality assessment. There are two conspicuous drops in the dissolved oxygen measurements during this period, which were associated with vertical profiles with the CMP before and after the vitality assessment. These demonstrated that dissolved oxygen decreases with increasing depth in the tank and was lowest immediately above the catch lying on the bottom of the tank, with an oxygen minimum of $<10\%$

saturation. As with temperature, after an initial spike following an initial flush of water from the neighbouring tanks, dissolved oxygen then declines at a steady to a minimum of 3.69% saturation (0.601 mg/l) at approximately 10 hours after pumping ceased.

Behavioural observations of fish in the RSW tank were not possible from video observations due to blood in the water limiting visibility. However, the behaviour of fish sampled from the RSW tank was observed during the vitality assessments (see section 5).

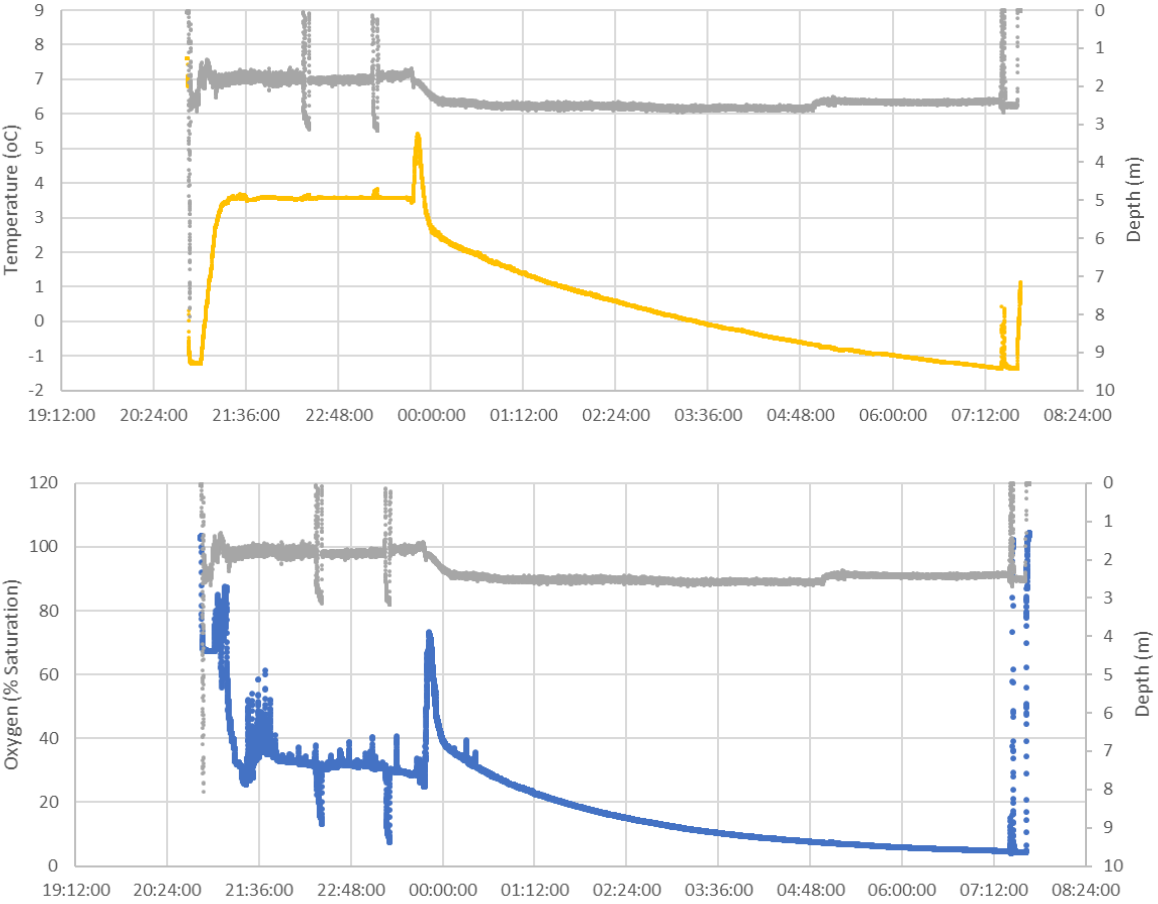


Figure 4.7: temperature (°C) (orange), dissolved oxygen saturation (%) (blue) and CMP depth (m) (grey) data from cast #07 in the RSW tank.

Effekt av fangst og håndteringsstress på vitalitet og overlevelse

Objective:

to determine the stress- (or welfare-) status of the catch at different stages of the capture process using vitality assessments.

Methods:

In addition to monitoring the behaviour of fish in the catch (see above), on this tokt we also used a suite of behaviours/reflexes to monitor the “vitality” of individual fish sampled from the catch after pumping from the net and for sub-samples taken from the RSW tanks at various times after pumping.

“Vitality” is an objective measure of how alive an animal is, or conversely how close to death it is. Its objective measurement relies on using a selection of behavioural metrics, or reflexes, that can reliably indicate their ability to respond to a range of different stimuli, both contextual and physical. In this assessment, nine different metrics were used; 5 free swimming observations (in an observation tank) and 4 observations while handling (see table 6.1).

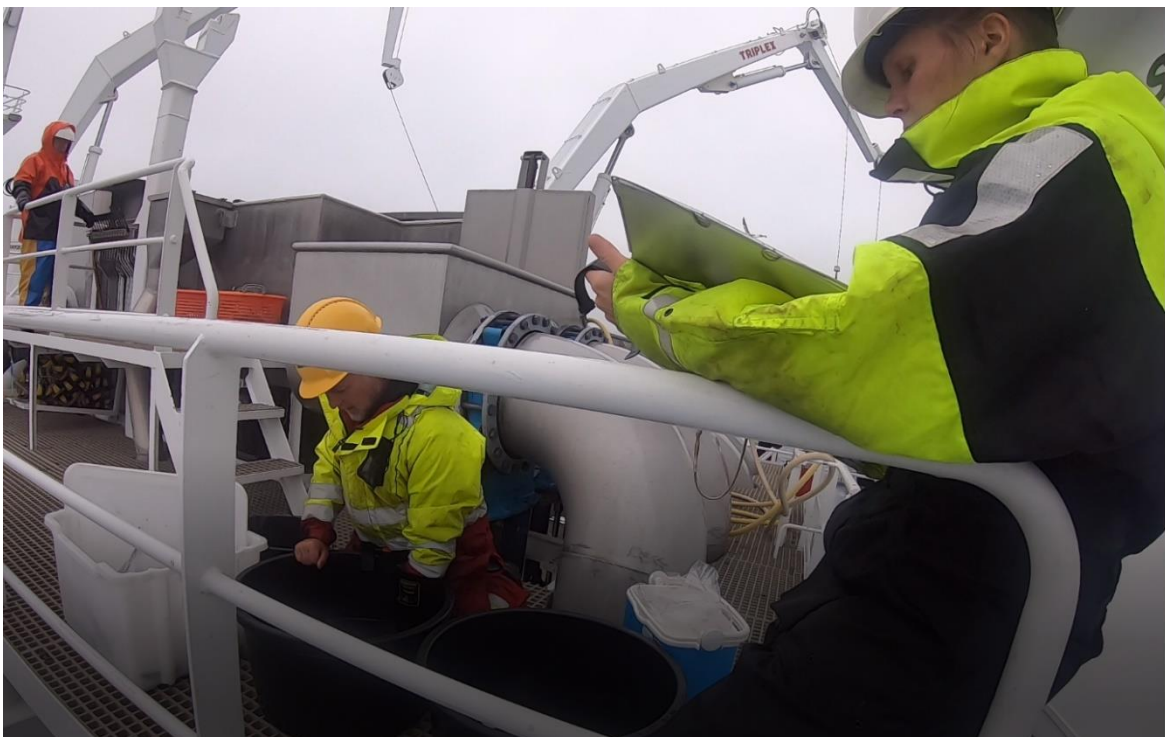


Figure 6.1 – mackerel are examined after sub-sampling from pump dewatering grid (in background).

Table 6.1 – Summary of vitality metrics used for mackerel sub-sampled from the pump and RSW tanks.

	Test	Positive Response	Negative implications (i.e. response absent or weak)
Free Swimming Observations			
Evasion 1	Fish transfered from net into observation tank	A "startle" response, or swims around tank seeking "escape".	Fish lacks awareness of substantial change in environment. Or is unable to respond due to exhaustion, or physical injury.
Orientation / Self-righting	Fish transfered from net into observation tank	Can self-orientate dorsal side up within 5 seconds of transfer.	Fish has lost a basic reflex - balance. Therefore, swimming and avoidance of potential threats will be severely compromised.
Head Complex	Fish transfered from net into observation tank	A coordinated and regular use of mouth and operaculæ - indicative of normal respiration (> 1 per 10 sec).	Absence - respiratory failure, fish is dead or close to death. Very strong - fish may be hypoxic or fatigued.
Evasion 2	Observer's hand, in water, approaches fish from side; in preparation for "caudal reflex test (see below).	A "startle" response, or swims around tank seeking "escape".	Fish lacks awareness of potential visible threat. Or is unable to respond due to exhaustion, or physical injury.
Caudal Reflex	Observer touches, or attempts to hold, caudal fin.	Fish immediately (<1 sec) attempts to swim away from physical contact.	Fish lacks awareness of potential physical threat. Or is unable to respond due to exhaustion, or physical injury.
Observations While Handling			
Body Flex 1 - Restrained	Observer hold fish firmly in clenched hand, with thumb and fore-finger just posterior of operculæ.	Fish should flex its tail musculatur in an attempt to escape (< 3 sec). [NB - test starts in water, as observer attempts to remove fish from tank].	Fish lacks awareness of strong physical threat (i.e. restraining). Or is unable to respond due to exhaustion, or physical injury.
Vestibulo-ocular response	Observer - while holding fish as above - rotates fish on the longitudinal axis.	Fish should attempt to hold eye steady, with respect to horizontal. That is, looking from the posterior, the eye should appear to look down, as the head is rotated clockwise; and <i>vice versa</i> .	Fish has lost a basic reflex - balance. May indicate loss of functionality in brain stem.
Mouth Closure	Observer - while holding fish as above - uses finger to open open fish's mouth.	Fish should attempt to resist opening action. May also respond with a "head-complex motion" and/or "body flex" (< 3 sec).	Fish lacks awareness of an intrusive physical threat. Or is unable to respond due to exhaustion, or physical injury.
Body Flex 2 - Flat surface	Fish is laid, unrestrained, on a flat surface.	Fish should flex its tail musculatur (< 3 sec).	Fish lacks awareness of substantial change in physical status - i.e. released but emersed. Or is unable to respond due to exhaustion, or physical injury.

In addition to vitality metrics, a sub-sample of mackerel had blood samples taken (via caudal puncture), which were analysed on site for blood lactate using the Lactate Pro 2 (Arkray Inc., Kyoto, Japan) point-of-care (POC) analyser.

When sub-sampling from the RSW Tank, fish were collected using a purposely made sampling net, supported on a stainless-steel ring ($\varnothing = 0.8\text{m}$). At each sampling period (see table 6.2), two sub-samples were taken: A) from fish swimming or floating in the water column above the bottom of the tank; and B) from the bottom of tank, with a ~5kg weight attached to one side of the ring of the sampling net to ensure it penetrated any layer of fish collecting on the bottom of the tank. When sampling for fish swimming or floating in the water column, the number of fish per haul with the sampling net was noted (as an indicator of relative density; i.e. catch per unit effort). When five consecutive samples had zero fish sampling was abandoned, based on the assumption that all fish were on the bottom of the tank. In addition, the depth of the tank was measured at each sampling period to determine the proportion of the catch that had accumulated on the bottom of the tank over time.

Table 6.2 – Summary of Vitality Assessments, by Cast.

Stage	A) from water column			B) from the bottom			"Ullage" Depth (m)	Tank Vol (m ³)	Catch %
	Period	Start	End	Period	Start	End			
<u>Cast #01 => 44.2 tonnes of mackerel into RSW 3S (44.2 tonnes total)</u>									
Pumping	0.00 hrs	8:11	8:21	-	-	-	-	-	-
Tank sample 1a	0.50 hrs	8:34	8:52	-	-	-	6.1m	36.9	80.0
Tank sample 1b	-	-	-	0.75 hrs	8:55	8:59	5.7m	47.5	103.2
<i>By Displacement</i>	-	-	-	-	-	-	5.75m	46.0	100.0
<u>Cast #02 => 33.6 tonnes of mackerel into RSW 3P (33.6 tonnes total)</u>									
Pumping	0.00 hrs	10:11	10:20	-	-	-	-	-	-
Tank sample 1a	0.40 hrs	10:28	10:50	-	-	-	6.4m	28.7	80.6
Tank sample 1b	-	-	-	0.80 hrs	10:55	11:08	6.25m	32.9	92.4
<i>By Displacement</i>	-	-	-	-	-	-	6.15m	35.0	100.0
<u>Cast #04 => 80.6 tonnes of herring into RSW 1P (then into 1S, 2P, 2S, 4P & 4S)(406.5 tonnes total)</u>									
Pumping	0.00 hr	13:46	14:51	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>By Displacement</i>	-	-	-	-	-	-	4.25m	84.0	100.0
<u>Cast #06 => 105 tonnes of herring into RSW 3S (then 35.3 t into 3P) (140.3 tonnes total)</u>									
Pumping	0.00 hr	17:24	17:40	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>By Displacement</i>	-	-	-	-	-	-	3.25m	112.9	100.0
<u>Cast #07 => 99.9 tonnes of herring into RSW 1P (then 2P, 1S, 2S, 4P & 4S) (500.1 tonnes total)</u>									
Pumping	0.0 hrs	21:00	22:08	-	-	-	-	-	-
Tank 1	1.75 hrs	22:39	23:09	-	22:19	-	4.00m	90.8	84.5
		-	-	-	23:12	-	3.65m	100.9	93.9
<i>By Displacement</i>	-	-	-	-	-	-	3.40m	107.4	100.0

Stowage ratio for mackerel = 0.96

Stowage ratio for herring = 0.93

Preliminary Results:

In cast #06 [pumping time: ~15mins], the vitality scores of herring declined over time during pumping, with the catch's prolonged exposure to crowding and hypoxic conditions (figure 6.2). However, in cast #07 [pumping time: ~65mins], while a similar decline in vitality was evident in the first ~25 mins, the vitality score was generally more variable over time. The period of lowest vitality was when the pump was at its deepest, while lifting dead and dying fish from the bottom of the net (figure 6.3).

In both casts, blood lactate generally increased over time with increasing exposure to crowding and hypoxic conditions (figure 6.2 and 6.3). However, in cast #07, the most pronounced increase in blood lactate was during the first ~25 mins of the pumping operations, after which mean blood lactate remained consistently high (>12 mmol/l) despite very variable vitality scores (figure 6.3). For context, previous studies have observed mean

blood lactate concentrations of approximately 2 to 3 mmol/l in unstressed herring (Olsen et al, 2012; Tenningen et al, 2012). Tenningen et al (2012) also observed that herring blood lactate was elevated to ~4-8 mmol/l, after 10 minutes of crowding stress at densities of 403 to 478 kg/m³ and associated mortalities of 52% and 50.7%, respectively. Furthermore, Olsen et al (2012) observed that among herring which had experienced substantial scale loss (25-50%) moribund fish had lactate concentrations of between 3 and 11 mmol/l. This suggests that a proportion of the fish in casts #06 and #07 were likely fatally compromised after ~10 minutes of crowding during the pumping process. This is supported by the apparent inverse correlation between vitality score and blood lactate concentration (figures 6.2 and 6.3).

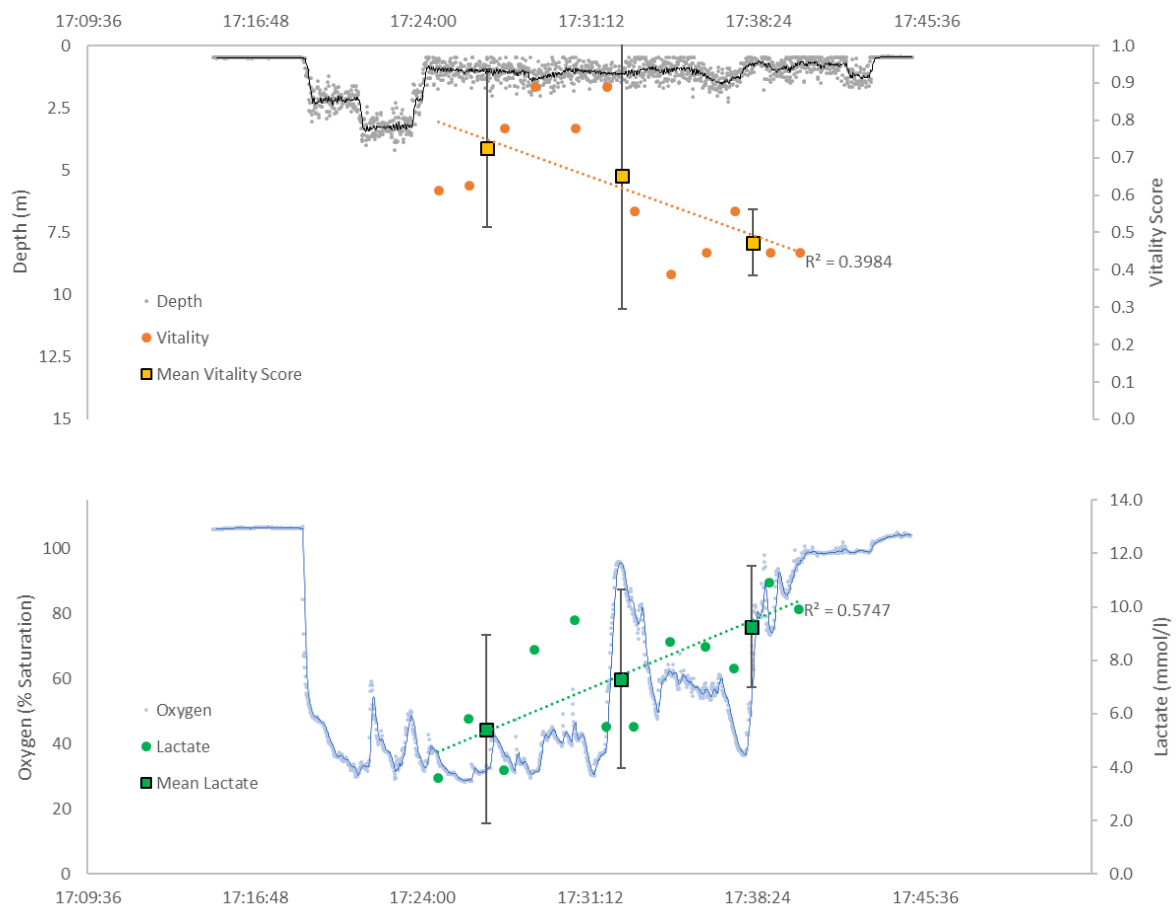


Figure 6.2: Top: Vitality scores and CMP (pump) depth (m) over time; Bottom: blood lactate concentration (mmol/l) and oxygen concentration (% saturation) over time, during pumping cast #06 (140 tonnes). Mean values (& 95% confidence intervals) are shown for subsamples of the catch destined for different RSW tanks.

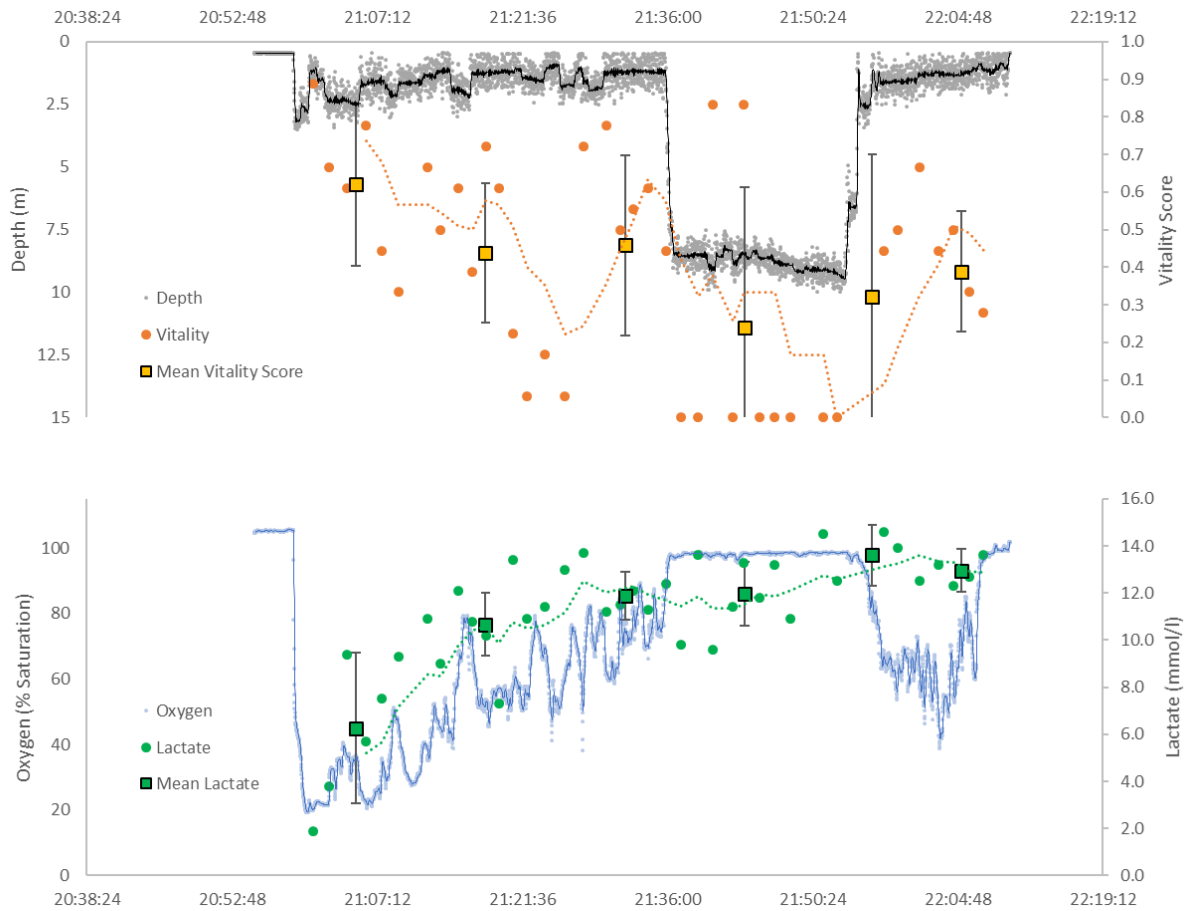


Figure 6.3: Top: Vitality scores and CMP (pump) depth (m) over time; Bottom: blood lactate concentration (mmol/l) and oxygen concentration (% saturation) over time, during pumping cast #07 (500 tonnes). Mean values (& 95% confidence intervals) are shown for subsamples of the catch destined for different RSW tanks. Trend lines are 5 period moving averages.

In the RSW tanks, previous research cruises have identified two distinct sub-components of fish in the tank: A) fish swimming or floating in the water column above the bottom of the tank; and B) fish laying on the bottom of the tank. From depth measurements, it appears that when the vitality assessment began for cast #07 (at 22:19, approx. 1.75 hours after pumping operations began) most herring (84.5%) had sunk to the bottom of the RSW tank, to become part of subcomponent B, (see table 6.2). This proportion had increased to 93.6% of the population in the tank by the end of the vitality assessment, at 23:12. Furthermore, all of the sampled fish in sub-component A had a zero vitality. This is contrary to observations on Vendla in 2019 (#2019833)(Tenningen et al, 2019), which showed that most of the fish sampled from the water column (sub-component A) had vitality scores of >0.5 for up to 4 hours after entering the RSW tank. The more rapid loss of vitality (i.e. mortality) seen in cast #07 in this cruise (i.e. Fiskebas Oct20) is thought to have been the result the low concentrations of dissolved oxygen experienced during both pumping (19.21% saturation; 2.274 mg/l) and on first entry into the RSW tank (~25% saturation; ~3.4 mg/l).

The analysis of this data will continue with the aim of better understanding the stress responses of fish during pumping and transfer to RSW tanks, and their welfare implications, by developing statistical models of the relationship between vitality and key explanatory variables (e.g. crowding exposure time, dissolved oxygen concentration, temperature change).

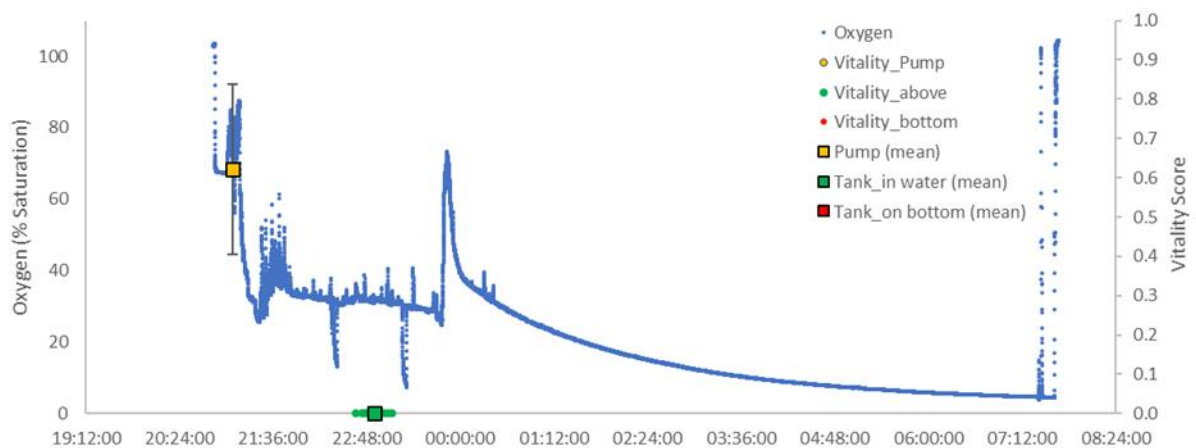


Figure 6.6: Vitality scores and oxygen concentration (% saturation) over time, from cast #07 in RSW Tank 1P; b) cast #12 in RSW Tank 3P; and b) cast #13 in RSW Tank 1P (temperature ~0°C).

Takk

Vi takker Fiskebas med mannskap for godt samarbeid igjen. Vi takker også Thor Bærhaugen i Kongsberg Maritime for godt samarbeid og støtte under taktet i forbindelse med utvikling og testing av notsensorer samt Furuno Norge og Japan for godt samarbeid i testing av netCDF sonarfiler og hjelp med installering av vitenskapelig software om bord på Fiskebas.

Referanser

Peña, H., Macaulay, G.M., Ona, E., Vatnehol, S. and Holmin, A.J. Estimating individual fish school biomass using digital omnidirectional sonars, applied to mackerel and herring. In review ICES Journal of Marine Science.

Macaulay, G.J. and Peña, H. (Eds.). 2018. The SONAR-netCDF4 convention for sonar data, Version 1.0. ICES Cooperative Research Report No. 341. 33 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.4392>.

Macaulay, G.J., Vatnehol, S., Gammelsæter, O.B., Peña, H., Ona, E. 2016. Practical calibration of ship-mounted omni-directional fisheries sonars. *Methods in Oceanography*, 17, pp 206-220.

Olsen RE, Oppedal F, Tenningen M, Vold A. Physiological response and mortality caused by scale loss in Atlantic herring. *Fish Res.* 2012; 129: 21–27.

Tenningen, M., Vold, A., Olsen, R.E. (2012). The response of herring to high crowding densities in purse-seines: Survival and stress reaction. *ICES Journal of Marine Science*, 69, 1523–1531.

Vatnehol, S., Totland, A. and Ona, E. 2015. Two mechanical rigs for field calibration of multi-beam fishery sonars. *Methods in Oceanography*, 13–14, pp. 1-12, [10.1016/j.mio.2016.02.001](https://doi.org/10.1016/j.mio.2016.02.001)