



SINTEF

Prosjektrapport

Fangstkontroll i notfiske etter pelagiske arter: Fase 2

Faglig sluttrapport

Hovedforfatter:

Lars T. Kyllingstad, SINTEF Ocean

Rapportnummer:

2021:00579 - Åpen

Oppdragsgiver(e) (evt samarbeidspartner):

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering



Foto: Guro M. Tveit, SINTEF Ocean

Prosjektrapport

Fangstkontroll i notfiske etter pelagiske arter: Fase 2

Faglig sluttrapport

EMNEORD:

Klikk eller trykk her for å skrive inn tekst.

VERSJON

1

DATO

2021-06-01

FORFATTER(E)Lars T. Kyllingstad, SINTEF Ocean
Joakim Haugen, SINTEF Ocean
Maria Tenningen, Havforskningsinstituttet
Mike Breen, Havforskningsinstituttet**OPPDRAGSGIVER(E)**

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

FHF-prosjektnummer 901350

PROSJEKTNUMMER

302002652

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

38 + 0

SAMMENDRAG

Prosjektet har hatt som hovedmål å bedre fangstkontroll i ringnotfiske gjennom å forske på instrumenter og analysemetoder som gir bedre grunnlag for beslutninger under fangstprosessen. Vi har utviklet

- et **beslutningsstøttesystem** som gir skipper råd om navigering av fartøy og posisjonering av ringnot i forhold til fiskestim før kast
- metoder som bidrar til mer effektiv **akustisk fangstovervåking**
- metoder for å **bestemme art, størrelse og atferd** av fisk i kommersielt ringnotfiske
- indikatorer for **stress og potensiell overlevelse** i kommersielt ringnotfiske for å bidra til å definere grenseverdier for slipp av uønsket fangst

UTARBEIDET AV


Lars T. Kyllingstad

SIGNATUR

**KONTROLLERT AV**

Harry Westavik

SIGNATUR

**GODKJENT AV**

Gunvor Øie

SIGNATUR



Gunvor Øie (Jun 1, 2021 13:24 GMT+2)

RAPPORTNUMMER

2001:00579

ISBN

978-82-14-07679-0

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	Versjonsbeskrivelse
1	2021-05-31	Første versjon levert til FHF.

Innholdsfortegnelse

1	English summary	5
2	Innledning	6
2.1	Bakgrunn	6
2.2	Omfang og organisering.....	7
3	Problemstilling og formål	11
4	Prosjektgjennomføring.....	12
4.1	Beslutningsstøtte for setting av ringnot (AP 2).....	12
4.1.1	Metodikk.....	12
4.1.2	Gjennomføring.....	13
4.2	Fangstovervåking på stimnivå ved hjelp av akustiske metoder (AP 3).....	13
4.2.1	Metodikk.....	13
4.2.2	Gjennomføring.....	14
4.3	Egenskaper og adferd på individnivå (AP 4)	14
4.3.1	Instrumenter og metoder for overvåking av individuell fiskeatferd og miljøvariabler (aktivitet 1)	15
4.3.2	Prototype av et stereokamerasystem (aktivitet 2).....	17
4.3.3	Overvåking av makrellatferd på individnivå (aktivitet 3)	19
4.3.4	Test av prototype av stereokamerasystem (aktivitet 4)	19
4.4	Indikatorer for fangstkondisjon (AP 5).....	20
4.4.1	Kontrollerte eksperimenter i Austevoll (aktivitet 1).....	21
4.4.2	Vurdering og valg av indikatorer for stress/velferd (aktivitet 2)	21
4.4.3	Observasjoner i kommersielt fiskeri (aktivitet 3)	22
5	Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon	23
5.1	Beslutningsstøtte for setting av ringnot (AP 2).....	23
5.1.1	Resultater og diskusjon	23
5.1.2	Konklusjon og anvendelser	25
5.2	Fangstovervåking på stimnivå ved hjelp av akustiske metoder (AP 3).....	25
5.2.1	Resultater og diskusjon	25
5.2.2	Konklusjon	27
5.2.3	Anvendelser	28
5.3	Egenskaper og adferd på individnivå (AP 4)	28
5.3.1	Resultater og diskusjon	28
5.3.2	Konklusjon	29
5.3.3	Anvendelser	30

5.4	Indikatorer for fangstkondisjon (AP 5).....	30
5.4.1	Resultater og diskusjon	30
5.4.2	Konklusjon	33
5.4.3	Anvendelser	34
6	Hovedfunn	35
7	Leveranser	36
8	Referanser.....	37

Følgende deler av rapporten er forfattet og kvalitetskontrollert av Havforskningsinstituttet: 4.2, 4.3, 4.4, 5.2, 5.3 og 5.4. SINTEF Ocean AS hefter ikke for innholdet i disse.

1 English summary

The project's main objective has been to **improve catch control in purse seine fisheries** by researching and developing instruments and methods which provide a stronger foundation for decisions during the catch process. We have developed:

- a **decision support system** which advises the skipper on how to navigate the vessel and position the purse seine relative to a fish school prior to casting the net;
- methods which contribute to improved **acoustic catch monitoring**;
- methods for **describing the species, size and behaviour** of fish schools in commercial purse seining;
- indicators for **stress and survival potential** in commercial purse seining to inform on safe limits for slipping unwanted catches.

The results are expected to benefit the fishing fleet in several ways, including:

- improved utilisation of available data on-board to understand the **interplay between vessel, fishing gear and environment** during the catch process;
- **catch and gear monitoring instruments** which can provide better control of the capture process and more information about the catch;
- more precise **biomass estimates** by taking fish school behaviour into account;
- **improved fish welfare and quality** due to improved control of catch and fishing gear
- a **prototype stereo camera system** which can identify and measure the average length of fish before and during early capture
- documented **effects of catch-related stressors** on the vitality and survival potential of the catch, as well as the quality of the retained catch; and
- improved understanding of how slipping procedures affect the **survival potential of slipped catch**.

2 Innledning

Under fiske er det viktig å ha kontroll over hele fangstprosessen fra fiskeleting til landing av fangsten for å få best mulig økonomisk utbytte av de kvotene man har fått tildelt. Samtidig er det viktig å ivareta kvaliteten til råstoffet og sikkerheten om bord, samt overholde fiskerireguleringene. Dette krever at man ikke tar for store fangster om gangen og at man ikke har for høy innblanding av uønskede arter eller undermåls fisk. Dette er viktig i de fleste fiskerier, men settes på spissen i fiske med ringnot, hvor et enkelt kast av nota kan resultere i en fangst på flere hundre tonn til en verdi av millioner av kroner.

Etter at en fiskestim er oppdaget med sonar må skipperen på en ringnotsnurper ta flere valg: Er stimen av passe størrelse? Indikerer sonarbildet at den er av riktig art og har riktig sammensetning? Hvordan skal vi manøvrere fartøyet i forhold til stimen? Når og hvor skal vi begynne å sette ut nota? Underveis i fangstprosessen må skipperen så følge nøye med på fangsten, først ved hjelp av sonar og etter hvert ved direkte visuell observasjon, for å kunne ta en eventuell beslutning om å avbryte og slippe fisken så tidlig som mulig. Ifølge norske fiskeriforskrifter er siste sjanse for slipping når man har kommet til det punktet at man tar om bord «hvitblåsa» – en hvit markeringsblåse som er påmontert nota ved 7/8 av dens lengde [1]. Etter dette anses sannsynligheten som svært høy for at fisken har blitt påført så mye stress og fysiske påkjenninger at den ikke vil overleve et eventuelt frislipp.

Formålet med prosjektet *Fangstkontroll i notfiske etter pelagiske arter: Fase 2* har vært å utvikle teknologi og metoder som skal gi skipperne bedre kontroll på hele denne prosessen – fra valget om å fangste en stim er tatt, og frem til og med beslutningen om å lande eller slippe fangsten. Dette inkluderer:

- *Før* kast: Optimal navigasjon av fartøy og posisjonering av not i forhold til fiskestimen
- *Under* kast: Tidligere og bedre informasjon om fangstsammensetning, -mengde og -atferd
- *Etter* kast: Metoder og grenseverdier for å vurdere om det er forsvarlig å slippe fangsten

Vi har forsket på instrumenter og metoder for innsamling, sammenstilling og analyse av akustiske, optiske og andre typer data om fangst, miljø og fartøy. Resultatene fra prosjektet har stort potensiale for å utvikles videre til praktisk bruk til fangstovervåkning om bord. Kunnskapen vil også være viktig for en eventuell reevaluering av nåværende regelverk for slipping fra not.

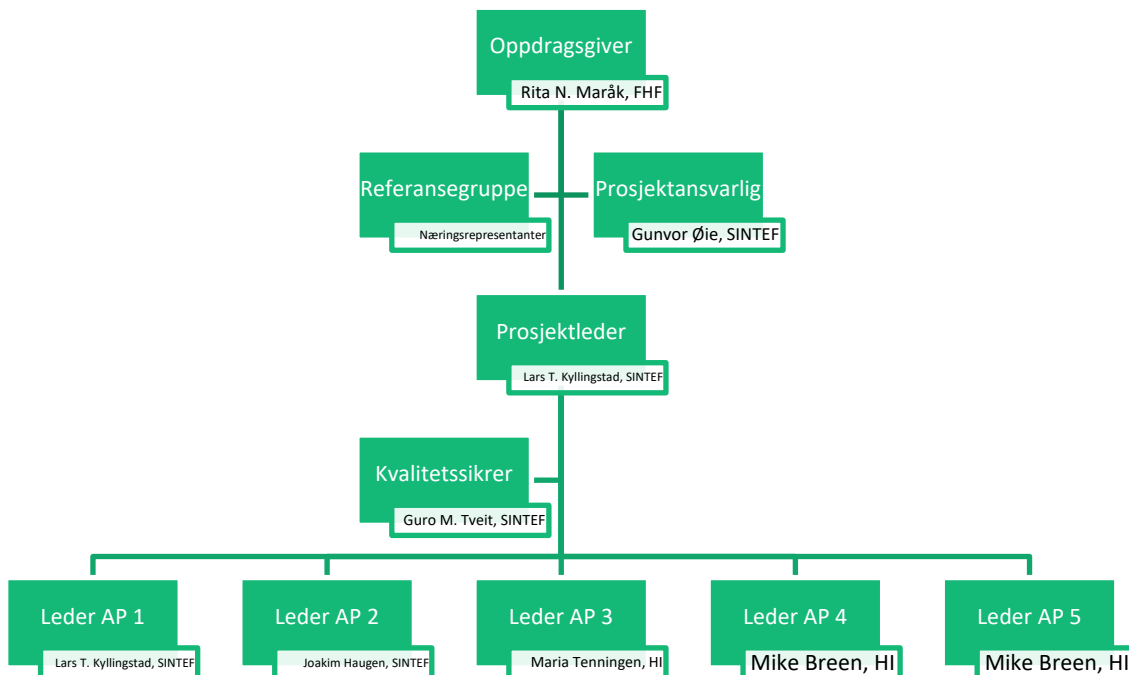
I denne sluttrapporten gir vi en kortfattet oppsummering av metodene vi har brukt og resultatene vi har oppnådd i løpet av prosjektet. For ytterligere detaljer henviser vi leseren til rapportene og artiklene vi har publisert underveis. En liste over disse finnes til slutt i rapporten (seksjon 7).

2.1 Bakgrunn

Prosjektet ble initiert som en videreføring av forprosjektet *Fangstkontroll i notfiske etter pelagiske arter: Fase 1*, finansiert av FHF¹ i 2016. Vi har tatt opp tre av de strategiske forskningsområdene som ble prioritert av forprosjektets styringsgruppe:

- Kompetanseutvikling
- Overvåkning og identifisering under fangst
- Identifikasjon av indikatorer for stress og potensiell overlevelse i kommersielle snurpenotfangster for å bidra til å definere grenseverdier for slipp av uønsket fangst

¹ FHF-prosjektnummer 901204



Figur 1. Prosjektorganisasjonen .

2.2 Omfang og organisering

Prosjektet har blitt gjennomført i perioden 2017–2021 med deltakelse fra tre ulike forskningsinstitutt: SINTEF Ocean AS, Havforskningsinstituttet og Nofima AS. Budsjettet var på cirka 28 mill. NOK, finansiert av FHF, Havforskningsinstituttet (gjennom fiskeriforskningsavgiften) og Fiskeridirektoratet (gjennom toktstøtteordningen). SINTEF Ocean har ledet prosjektet.

Aktivitetene har vært organisert i fem *arbeidspakker* (AP), oppsummert i tabellen under. Tema for hver av disse er beskrevet nærmere i seksjon 3.

Tabell 1. Oversikt over prosjektets arbeidspakker.

Nummer	Navn	Ansvarlig
AP1	Prosjektadministrasjon og kommunikasjon	SINTEF Ocean
AP2	Fangstovervåking: Visualisering av ringnot og stim	SINTEF Ocean
AP3	Fangstovervåking: Stimnivå / akustiske metoder	Havforskningsinstituttet
AP4	Fangstkontroll: Egenskaper og atferd på individnivå	Havforskningsinstituttet
AP5	Fangstovervåking: Indikatorer for fangstkondisjon	Havforskningsinstituttet

Prosjektets ledergruppe har bestått av prosjektleder og arbeidspakkeledere. Denne gruppen har møttes med jevne mellomrom for å koordinere de ulike aktivitetene og sikre god drift og fremgang i prosjektet.

I tillegg har prosjektet hatt en *referansegruppe* oppnevnt av FHF, bestående av deltakere fra fiskeri- og leverandørindustrien. Referansegruppen har hatt en rådgivende rolle i prosjektet. De har bistått prosjektet faglig og vært en diskusjonspartner i forbindelse med endringer i planene. I tillegg har gruppen selv foreslått

endringer som har blitt gjennomført. Referansegruppemøter ble avholdt ved prosjektoppstart og deretter på årlig basis.

Figur 1 viser prosjektorganisasjonen slik den så ut ved prosjektets slutt. Tabell 2 gir en oversikt over personer og organisasjoner som har bidratt betydelig til prosjektet.

Tabell 2. Prosjektets bidragsytere.

Rolle	Navn	Organisasjon
Oppdragsgivers kontaktperson	Rita Naustvik Maråk	FHF
Prosjektansvarlig	Gunvor Øie	SINTEF Ocean AS
Prosjektleder	Hanne Digre (2017–2020) Lars T. Kyllingstad (2020–2021)	SINTEF Ocean AS
Kvalitetssikrer	Lars T. Kyllingstad (2017–2020) Guro Møen Tveit (2020–2021)	SINTEF Ocean AS
Leder AP1	Hanne Digre (2017–2020) Lars T. Kyllingstad (2020–2021)	SINTEF Ocean AS
Leder AP2	Joakim Haugen	SINTEF Ocean AS
Leder AP3	Maria Tenningen	Havforskningsinstituttet
Leder AP4 og AP5	Mike Breen	Havforskningsinstituttet
Øvrige prosjektmedarbeidere	Aud Vold (pensjonert) Gavin Macaulay Jostein Saltskår Neil Anders Jan Tore Øvredal (pensjonert) Bjørn Totland (pensjonert) Liz Kvalvik Erik Schuster Sigurd Hannaas Héctor Peña Arne Johannes Holmin Bjørn Magne Hufthammar Svanhild Lohne Gokstad Harald Fitje	Havforskningsinstituttet

Rolle	Navn	Organisasjon	
Øvrige prosjektmedarbeidere (forts.)	Harry Westavik	SINTEF Ocean AS	
	Stian Skjong		
	Per Gunnar Auran		
	Bjarne Kvæstad		
	Karl-Johan Reite		
	Marianne Fon		
	Ulf Erikson		
	John Reidar Mathiassen		
	Bjørn Roth		Nofima AS
	Izumi Sone		
Torstein Skåra			
Referansegruppe	Egil Sørheim	Sørheim Holding AS	
	Bjørn Sævik	Kings Bay AS	
	Per Magne Eggesbø	Ramoen AS	
	Ole Morten Vassdal	M/S Kamilla G	
	Olav Dale	Dales rederi AS	
	Ivar Gustad	Idar Gustad og sønner AS	
	Tony Hatland (2020–2021)	Norges Sildesalgslag	
	Kjell Bjørnar Bakken (2018–2021)	Støttfjord holding AS	
	Lars Olav Lie (2017–2019)	Liegruppen AS	
	Rita Naustvik Maråk	FHF	
Eksterne bidragsytere	Skule H. Husemoen	Masterstudenter, Universitetet i Bergen	
	Thomas Riedinger		
	Inigo Exposito Ochoa		
	Aurelien Keller		
	Skule H. Husemoen	Masterstudent, Universitetet i Oslo	
	Ana Jiménez Talavera	Praktikanter, IMBRSea MSc Programme	
Alexandre Greve			
Chenrui Yang			
Rita Matos			
Inigo Exposito Ochoa			

Rolle	Navn	Organisasjon
Eksterne bidragsytere (forts.)	Pouyan Shariffiasl	BirdView AS
	Dino Vele	
	Magnus Sørлие	
	Mohibb Malik	
	Eirik Anfindsen Solberg	Mohn Technology AS
	Magnus Rogne Myklebost	
	Stein Mohn	
	Einar Mehl	
	Saber Derouiche	
	Nils Dunkelberg	
	Thor Bærhaugen	Kongsberg Maritime AS
	Ivar Wangen	

Prosjektet retter også en stor takk til mannskapet på følgende fiskefartøy som har vært benyttet under forskningstokt:

- *Fiskebas* (skipper Geir Madsen)
- *Eros* (skipper Pål Cato Reite)
- *Christina E* (skippere Nils Gunnar Holm og Espen Ervik)
- *Vendla* (skipper Tormod Haugland)

3 Problemstilling og formål

Prosjektets hovedmål har vært å bedre fangstkontroll i ringnotfiske gjennom å utvikle instrumenter og analysemetoder som gir bedre grunnlag for beslutninger under fangstprosessen.

For å oppnå dette har vi satt oss følgende delmål for de ulike arbeidspakkene:

- AP2: Utvikle et beslutningsstøttesystem som gir skipper råd om navigering av fartøy og posisjonering av not i forhold til fiskestim før og under kast².
- AP3: Utvikle effektive akustiske fangstovervåkingsmetoder.
- AP4: Utvikle metoder for å bestemme art, størrelse og atferd av fisk i kommersielt ringnotfiske.
- AP5: Utvikle indikatorer for stress og potensiell overlevelse i kommersielt ringnotfiske for å bidra til å definere grenseverdier for slipp av uønsket fangst.

Formålet har vært å gi notflåten bedre kontroll over redskap og fangst og derigjennom øke fangstverdi og lønnsomhet. Den forventede konkrete nytteverdien for flåten kommer gjennom:

- Bedre utnyttelse av tilgjengelige datakilder om bord for å forstå samspillet mellom fartøy, utstyr og omgivelser under fangstprosessen.
- Effektiv akustisk fangst- og redskapsovervåking under utsetting og snurping av not for bedre fangstsuksess og bedre kontroll over fangstprosessen.
- Estimat av fangstbiomasse i en tidlig fangstfase som gjør det mulig for skipperen å slippe deler av for store fangster på en ansvarlig måte.
- Forbedret fiskevelferd og kvalitet som følge av økt fangst- og redskapskontroll.
- Et optisk alternativ til akustisk system som i løpet av kort tid vil kunne brukes til å karakterisere fangsten.
- Benyttelse av data for verifisering og kalibrering av det akustiske systemet (f.eks. artsidentifikasjon, måling av størrelsesfordeling, lokal tetthet, orientering og polarisering av fisk).
- Dokumenterte effekter av fangstrelaterte stressfaktorer på fangstens vitalitet og overlevelsespotensial.
- Økt forståelse av hvordan slipping kan påvirke overlevelsespotensialet til sluppet fangst.

² Den opprinnelige målsetningen var å «utvikle [en] applikasjon som benyttes om bord under fangst for å visualisere stim/biomasse og notgeometri». Etter ønske fra referansegruppa ble fokuset underveis i prosjektet endret fra fasen *etter* kast til fasen *før* kast.

4 Prosjektgjennomføring

I denne seksjonen gir vi en beskrivelse av hvordan prosjektet har vært gjennomført og forklarer og begrunner metodikken som ble valgt i hver enkelt arbeidspakke.

4.1 Beslutningsstøtte for setting av ringnot (AP 2)

4.1.1 Metodikk

Første fase av arbeidspakken (2017–2018) gikk ut på å etablere et system for datainnsamling om bord. Hensikten med systemet var å legge til rette for en enhetlig sammenstilling av data fra ulike signalkilder om bord, som navigasjonsinstrumenter, fiskeletingsutstyr, notsensorer med mer. Datainnsamlingen hadde to hovedformål:

- langvarig, kontinuerlig innsamling av data til bruk under utvikling av beslutningsstøttesystem
- innsamling av data under forskningstokt for bruk i atferdsanalyser i AP 3–5

For å muliggjøre sistnevnte ble SINTEF Oceans eksisterende datainnsamlingsplattform, *Ratatosk*, utvidet og tilpasset til en tredjeparts programvare for atferdsanalyse, *Noldus Observer XT*. Noldus Observer XT ble dermed ansvarlig for datasammenstilling fra alle signalkilder. Signalene kom da fra fartøyet (via *Ratatosk*) og midlertidig montert utstyr (f.eks. videokamera) samt data som ble importert i analyseverktøyet i etterkant. Arbeidet og de ulike programvarekomponentene er beskrevet nærmere i et separat leveransenotat [2].

Arbeidspakkens andre fase (2018–2021) gikk ut på å utvikle et system for å gi skipperen råd om optimal gjennomføring av et ringnotkast, fra det øyeblikket man har bestemt seg for å fange en bestemt stim og frem til nota er satt ut. Til grunn for metodevalget vårt har vi her lagt de egenskapene og beslutningsprosessene en ringnotskipper benytter seg av i fangstprosessen. En dyktig skipper må både ha god persepsjons- og prediksjonevne. Det vil si at vedkommende må evne å forutsi sannsynlige utfall av ulike operasjonelle valg basert på den tilgjengelige informasjonen. Valgene som vil påvirke utfallet er i hovedsak knyttet til navigasjon av fartøyet og tidspunktet man begynner å sette ut nota. Informasjonen som må integreres inkluderer fartøyets og stimens relative posisjon og hastighet, stimens dybde, strømforhold i området med mer.

Proseduren har mye til felles med et typisk *optimalreguleringsproblem*. På mange måter kan man faktisk si at skipperen opptrer som en *modellprediktiv regulator* hvis målsetning det er å gjennomføre en ringnotoperasjon på optimalt vis. Litt mer systematisk kan vi identifisere følgende sentrale elementer:

- bruk av tilgjengelig sensorisk informasjon
- forståelse av prosessens hovedelementer
- prediksjon av sannsynlige utfall
- planlegging av en rekke målrettede handlinger
- oppnåelse av et veldefinert mål

Disse sammenfaller akkurat med byggesteinene i et optimalreguleringsproblem, hvilket er hovedbegrunnelsen for at vi har valgt dette som problemløsningsmetode. Den største utfordringen i arbeidet var å beskrive disse elementene matematisk. Vi utformet formuleringen som et såkalt *banepanleggingsproblem* hvis løsning består av

- en foreslått bane som fartøyet skal følge
- et punkt i tid og rom der settingen av nota skal starte
- eventuell tilleggsinformasjon som kan bidra til økt situasjonsforståelse

Informasjonen vi valgte å la inngå i løsningen av problemet var:

- brukerens preferanser for hvordan prosessen skal utføres
- stimens dybde, posisjon og hastighet i forhold til fartøyet
- informasjon om overflatestrømhastighet og -retning

Data om de to sistnevnte må være gjort tilgjengelig fra de relevante instrumentene via et passende kommunikasjonsgrensesnitt (for eksempel *Ratatosk*). Når systemet har funnet en løsning kan denne presenteres til skipperen på en lettfattelig måte, for eksempel via en grafisk visualisering som inkluderer kartvisning av den foreslåtte banen.

En mer fullstendig metodebeskrivelse er inkludert i leveranserapporten [3].

4.1.2 Gjennomføring

I løpet av 2018 ble det gjennomført to forskningstokt: ett med M/S *Eros* under nordsjøsildefisket i juni og ett med M/S *Christina E* under makrellfisket i september/oktober. I AP 2 benyttet vi disse til testing og demonstrasjon av datainnsamlingsystemet. Det ble samlet inn data fra navigasjonsinstrumenter, notsensorer, strømprofilmåler, snurpevinsjer og mye mer.³ Under toktene ble dataene overført til *Noldus Observer XT* for bruk i atferdsanalyser. Etter toktene har systemet fortsatt å samle inn data kontinuerlig fra flere systemer på begge fartøy. Disse dataene har vært brukt under utviklingen av baneplanleggingsalgoritmen, især som grunnlag for å modellere notas synkeoppførsel.

Utviklingen av selve baneplanleggeren har bestått av fire hovedaktiviteter:

- matematisk formulering av baneplanleggingsalgoritmen
- implementasjon av algoritmen i programvareform
- implementasjon av et grafisk brukerverktøy som benytter algoritmen (for demonstrasjonsformål)
- testing i et simulert miljø

Resultatet er en programvare med tilhørende teknisk og matematisk dokumentasjon som vi har publisert åpent på nett.

4.2 Fangstovervåking på stimnivå ved hjelp av akustiske metoder (AP 3)

4.2.1 Metodikk

Hovedmålet i AP 3 har vært å utvikle mer effektiv akustisk fangstovervåkingsmetodikk. Vi har forsket på de akustiske omgivelsene under fiske med not, vurdert hvordan man bedre kan måle fangsten og gjort forsøk med å tilpasse eksisterende metoder og instrumenter til notfiske. I tillegg har vi videreutviklet metoder for måling av stimatferd med sonar [4]. Vi har målt atferden til pelagiske fiskestimer og deres reaksjoner til tidlig fangstfase og undersøkt hvordan stimatferd påvirker biomasseestimering. Arbeidspakken har inkludert følgende aktiviteter:

4.2.1.1 Beskrivelse av de akustiske omgivelsene under fiske med not

En av grunnene til at det mangler overvåkingssystemer av fangsten inni nota er at det er et utfordrende miljø å måle fiskestimer i. For å kunne utvikle noe som fungerer under notfisket trenger man en forståelse av det akustiske miljøet. Vi fokuserte på to hovedproblemstillinger: propellstøy (luftbobler) og akustisk refleksjon fra not. Luftboblestøy fra propellere ble målt om bord på innleid kommersiell ringnotbåt. Side- og hovedpropell bruk under notfiske ble simulert og luftboblene (ekkestyrke og utbredelse) ble målt med en sonar med høy oppløsning (Aris, Sound Metrics) og et 70 kHz ekkolodd (EK80, Kongsberg Maritime AS).

³ Det var noen forskjeller i hvilke data som ble samlet inn på de to fartøyene. Se notatet [2] for detaljer.

Akustisk refleksjon fra notlin ble målt i småskala forsøk på HIs feltstasjon i Austevoll med 38, 70 og 200 kHz (EK80, Kongsberg Maritime AS). Resultatene fra forsøkene ble sammenlignet med motsvarende akustisk informasjon om de vanligste pelagiske målartene (makrell, sild og lodde) og det ble undersøkt hvordan notlin og luftbobler mellom fartøymontert instrumentering og fiskestim kan påvirke målingene.

4.2.1.2 Utvikling og testing av instrumentering

Basert på resultatene fra småskala forsøk (luftbobler og notlin) og en kritisk vurdering av tilgjengelig akustisk instrumentering, utviklet og testet vi metoder for fangstovervåking i not. Målet var å undersøke mulighetene for å montere instrumentering inni nota eller på nota. I samarbeid med Kongsberg Maritime ble det gjennomført forsøk med å sette ut en fri flytende bøye med 38 og 200 kHz ekkolodd og tilpasse Simrad PX trålløye til not. I tillegg utviklet man i samarbeid med Birdview AS flyvende drone med 200 kHz bredbåndsekkolodd og trådløs kontakt med båten. I første omgang var målet å undersøke datakvalitet av de akustiske dataene, og finne fungerende løsninger for dataoverføring og praktisk bruk i notfiske.

4.2.1.3 Analyse av stimatferd målt med fiskerisonar

Fiskestimer (makrell, sild og lodde) ble målt med Simrad SN90 sonar (Kongsberg Maritime AS) under kommersielt fiske. Dataene ble lagret og tolket i programvaren *Large Scale Survey System* (LSSS). Stimenes atferd før fangst og reaksjoner til tidlig fangstfase ble undersøkt gjennom estimering av svømmehastighet, tetthet, stimorganisering, dybde og retning i forhold til båten. I tillegg målte vi innfallsvinkelen av de akustiske strålene i forhold til fiskens svømmeretning, undersøke forholdet mellom innfallsvinkel og ekkostyrke og påvirkning på stimbiomasseestimering.

4.2.2 Gjennomføring

Forsøkene har bestått av kontrollerte felt- og merdforsøk og måling av fiskestimer og instrumentutvikling i kommersielt fiske. Utvikling og testing av ny instrumentering er blitt gjennomført i nært samarbeid med næringsaktører (Birdview AS og Kongsberg Maritime AS). Sonardata er blitt analysert som del av masteroppgaven *Pelagic fish school behaviour measured with multibeam sonar: school reactions to capture by purse seine and implications of fish behaviour on school biomass estimation*. Følgende forsøk er blitt gjennomført:

- Beskrivelse av luftboblestøy fra propellere og påvirkning på akustisk fangstovervåking i ringnot: juni 2017 (2 døgn), MS Fiskebas
- Akustisk karakterisering av notlin: september 2018 (2 døgn) og juni 2019 (2 døgn), HIs feltstasjon i Austevoll
- Utvikling og testing av ny akustisk instrumentering på kommersielle ringnotbåter: 2018–2020 (ca. 48 toktdøgn fordelt på fem tokt)
- Stimatferd målt med sonar : 2018–2019 (ca 22 toktdøgn fordelt på to tokt og data samlet inn i tidligere prosjekt på HI).

4.3 Egenskaper og adferd på individnivå (AP 4)

For å imøtekomme målene for arbeidspakken ble følgende aktiviteter planlagt:

1. Utvikle instrumenter og metoder for overvåking av individuell fiskeatferd i pelagiske fiskestimer og miljøvariabler (inkludert temperatur, oksygenkonsentrasjon og lysnivå) i kommersielt snurpenotfiske.
2. Utvikle en prototype av et stereokamerasystem for identifisering av artssammensetning og størrelsesfordeling som støtte for, eller alternativ til, akustiske metoder.
3. I kombinasjon med AP 3 og 5, overvåke atferd av makrell på individnivå samt viktige miljøvariabler under fangstprosessen i not.

4. Teste effektiviteten av en prototype av et stereokamerasystem for identifisering av artssammensetning og størrelsesfordeling i kommersielle fangster.

Vi vil fokusere hovedsakelig på aktivitet 2 og 4 i denne seksjonen. Aktivitet 1 og 3 var tett knyttet til AP 5, og metodikken for disse er beskrevet i seksjon 4.4. Fullstendige detaljer om teknologiene, metodene og resultatene finnes i en separat leveranserapport [5].

4.3.1 Instrumenter og metoder for overvåking av individuell fiskeatferd og miljøvariabler (aktivitet 1)

4.3.1.1 Metodikk

De to første årene av prosjektet fokuserte vi på å utvikle en rekke nye teknologier for overvåking av stress- og velferdsindikatorer i forskjellige stadier av fangstprosessen (i nota, under pumping og i RSW-tanken). Hovedverktøyet i denne pakken er *fangstovervåkningssonden* (Catch Monitoring Probe, CMP). Denne består av et *Nikon KeyMission 360*-kamera og en *RINKO ID* oksygen-, temperatur- og dybde logger i en innkapsling som beskytter og stabiliserer instrumentene under utsetting og drift. Sonden har systematisk blitt brukt til å samle inn data om atferdsmessige responser i forhold til stressfaktorene *trenging* og *hypoksi*. Sonden blir satt ut i nota (*CMP-net*) ved hjelp av en pneumatisk kanon (Figur 2).

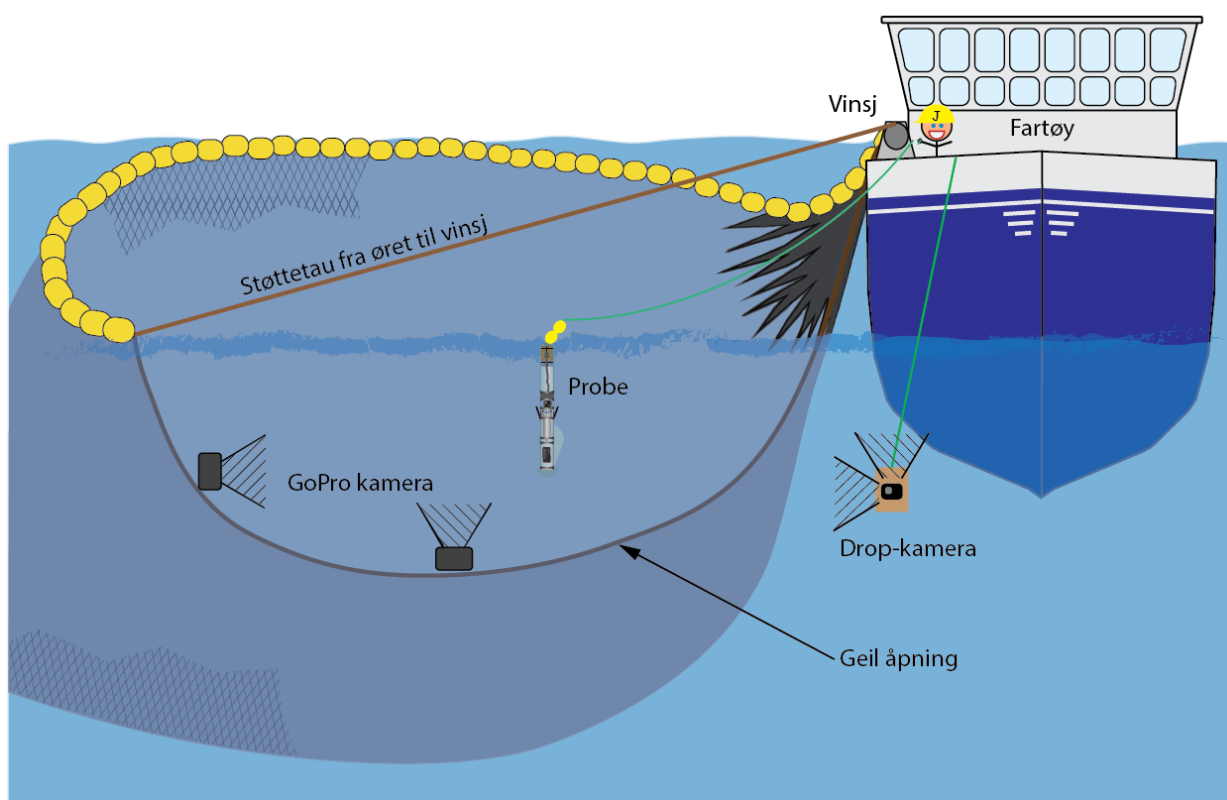
For å overvåke fangsten under pumping ble en enklere versjon av overvåkningssonden (*CMP-pump*) festet til fartøyets fiskepumpe. Denne består av en *RINKO ID* oksygen-, temperatur- og dybde logger og et *GoPro 4*-kamera (Figur 3). I RSW-tanken ble en *RINKO ID* oksygen-, temperatur- og dybde logger eller en *SAIV* konduktivitets-, temperatur-, dybde- og oksygen logger (CTDO) med *GoPro 4*-kamera festet, senket ned i tanken like før pumping og etterlatt i tanken i opptil 24 timer.



Figur 2. Fangstovervåkningssonden (CMP) i beskyttende hus (høyre) forberedt for utplassering fra en trykkluftkanon (venstre).



Figur 3. Fangstovervåkningssonden (CMP-pump) montert på fiskepumpen



Figur 4. En oversikt over instrumentene som brukes til å overvåke stress-/velferdsindikatorer (f.eks. massetetthet, oppløst oksygen, svømmeaktivitet og stimorganisering) under fangst og slipping i ringnot.

Under slipping ble i tillegg to kameraenheter montert på utslippåpningen (geil) for å observere atferden til fisk som frigjøres gjennom åpningen (Figur 4). Det horisontale kameraet var plassert 5 meter fra notøret, tvers over åpningen, mens det vertikale kameraet (oppover) var montert i flere ulike posisjoner. I tillegg ble to slippkameraer (vertikale og horisontale) festet på en SAIV CTDO og senket ned utenfor utslippåpningen i en dybde på 10–25 m. For fullstendig informasjon om slippmetodikken, se ref. [6].

4.3.1.2 Gjennomføring

De to CMP-variantene ble utviklet og testet i løpet av de to første årene av prosjektet (2017–2018), inkludert feltforsøk i fire forskningstokt. Se seksjon 4.4 for mer informasjon.

4.3.2 Prototype av et stereokamerasystem (aktivitet 2)

4.3.2.1 Metodikk

Valget av stereokamerapakken, Intel RealSense Depth Camera (D435i), ble gjort av Mohn Technology etter å ha gjennomgått flere kommersielt tilgjengelige systemer. En omfattende gjennomgang av de viktigste kommersielt tilgjengelige dybdekamerasystemene, som ble utført på samme tid, konkluderte med at Intel RealSense D400-serien viste seg å ha fremragende egenskaper sammenlignet med andre trianguleringsbaserte systemer [7].

RealSense dybdekameraer bruker «stereosyn» til å beregne dybde i et visualisert rom, hvorfra dimensjoner på objekter innenfor dette rommet kan anslås. Implementeringen av stereosyn består av en venstre bildesensor, høyre bildesensor og en infrarød prosjektør som kan slås av. Den infrarøde prosjektøren projiserer et usynlig statisk IR-mønster for å forbedre dybdenøyaktigheten i situasjoner med lav tekstur. Venstre og høyre bildesensor registrerer innkommende infrarødt lys og sender de rå monokrome bildedataene til en «Vision Processor». «Vision Processor» beregner igjen dybdeverdier for hver piksel i bildet ved å geometrisk korrelere punkter mellom piksler i venstre og høyre bilde. Dybdepikselverdiene settes sammen til en dybderamme som representerer dybden for hver pixel i bildet. En IMU kombinerer akselerometre og gyroskop for å registrere både rotasjon og bevegelser langs de 3 aksene -x, -y og -z. Dette brukes til bildestabilisering og forbedrer dermed også kalibreringen av kameraet. Alle disse dataene kombineres til en strøm av bilde, dybde og bevegelse osm en slags video.

I databehandlingsenheten håndteres strømmen av bilde- og dybde data av et ROS (Robot Operating System) som gjør bruk av Intels RealSense-rammeverk av åpen kildekode. Dette gir muligheter til å manipulere, samt gjøre beregninger og målinger på bilde-, dybde- og bevegelses-dataene. Ved bruk av noen av disse funksjonene genererer vårt system Vårt system gjør bruk av noen av disse funksjonene for å igjen generere avstandsrammer som viser avstand mellom piksler. Sammen med dybdeinformasjon kan man da gjøre størrelsesestimering av objekter i bildene.

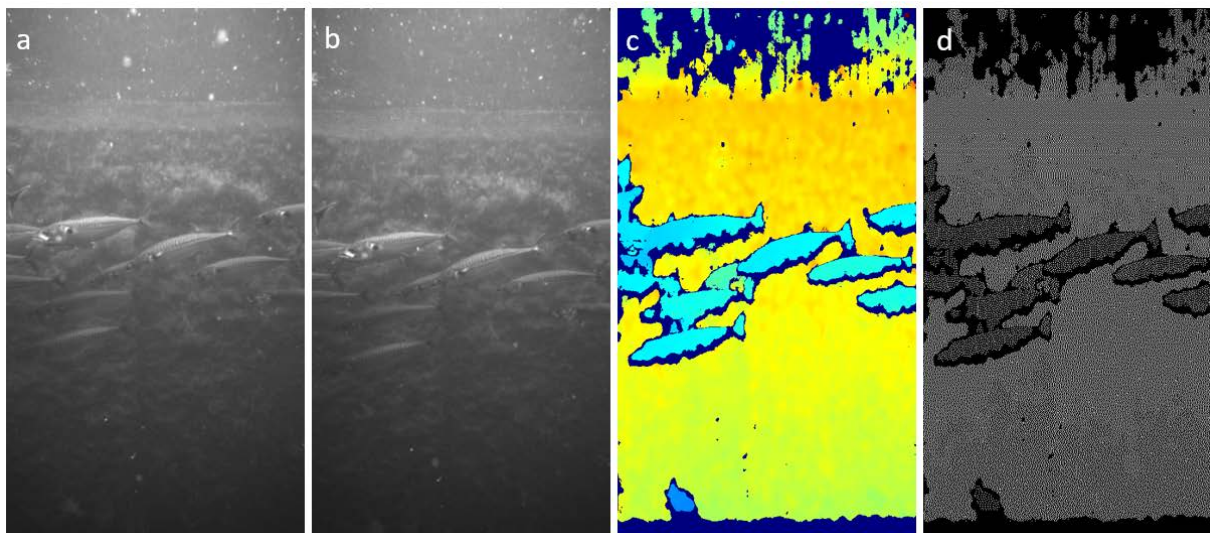
Merk: Under tidlige forsøk med kameraet ble det identifisert at det projiserte IR-mønsteret forårsaket forstyrrelser (det vil si laserrefleksjoner) som reduserte målnøyaktigheten og presisjonen på grunn av refleksjon i plexiglasset på det vantette huset. Derfor ble IR-prosjektøren deaktivert; som endrer dette aktive dybdekameraet til et passivt stereokamera. Stereokameraet kan imidlertid fortsatt brukes til å generere et dybdefelt og estimere måldimensjoner.

Hovedtrekkene i Intel RealSense Dybdekamera D435i:

- Hovedkomponenter: Intel® RealSense™-modul D430 + RGB-kamera, Intel® RealSense™ Vision-prosessor D4
- Bruk Miljø: Innendørs / Utendørs
- Lengde × Dybde × Høyde: 90 mm × 25 mm × 25 mm
- Nominell separasjon ved baseline: 50 mm
- Bildesensorteknologi: Global lukker, 3µm × 3µm pikselstørrelse
- RGB-sensor FOV (H × V × D): 69,4° × 42,5° × 77° (±3°)
- RGB sensoroppløsning og bildefrekvens: 1920 × 1080, 30 fps
- Dybdeteknologi: Aktiv IR Stereo
- Dybde FOV (DxVxH): 86° × 57° (±3°)
- Dybdeoppløsning og bildefrekvens: Opptil 1280 x 720, opptil 90 fps
- Intern Inertial Measurement Unit (IMU)
- Minimum dybdeavstand: 0.2m
- Maksimal rekkevidde: 10m + varierer avhengig av ytelsesnøyaktighet, scene og lysforhold
- Kontakter: USB 3.0

Programvaren *Mohn Technology Measure* som brukes til å måle objekter i bildene fra stereokamerasystemet er utviklet av Mohn Tech (Figur 9) og blir på grunn av kommersiell konfidensialitet ikke diskutert her.

Protokoller for å analysere både fisk og «checkerboard»-bilder, inkludert valg av passende bilder som skal analyseres med *Mohn Technology Measure*, er forfattet av Mohn Technology og HI (se vedlegg 1 i ref. [5]).



Figur 5. Et eksempel på korresponderende bilder fra *Mohn Technology Measure*: a) Infrarød 1; b) Infrarød 2; c) dybdekart; d) avstandskart. Observatøren som gjennomfører analysen presenteres vanligvis bare med bilder a, c & d. Disse bildene ble tatt av stereo-proben (S-CMP), derav deres vertikale orientering. I denne konfigurasjonen er dermed Infrarød 1-bildene fra den nedre IR-sensoren (normalt venstre side) og Infrarød 2 fra den øvre IR-sensoren (normalt høyre side).

4.3.2.2 Gjennomføring

Makrellens respons til en ROV i merd

15. og 28. oktober 2019 ved Havforskningsinstituttets forskningsstasjon på Austevoll.

Forsøk ble gjennomført for å undersøke om man med en ROV kan komme nærmere nok makrellen og filme den med et stereokamera for å måle størrelsen. Makrellens respons ved bruk av lys på ROV ble også vurdert.

4.3.2.2.1 Målinger av makrellstimer i fangenskap

HIs forskningsstasjon på Austevoll.

Disse forsøkene undersøkte målefeilen for stereokamerasystemet. Gjennomsnittslengden (med 95% konfidensintervall) på makrell i en merd ble målt med stereokamerasystemet og sammenlignet med gjennomsnittslengden på makrellen målt ved tømning av merd. Forsøkene ble utført ved Havforskningsinstituttets forskningsstasjon på Austevoll i tre separate forsøk:

1. 27. juni 2019 – kun stereokamera-kapsel (Mohn Technology & HI).
2. 7. mai 2020 – S-CMP (HI)
3. 23. juni 2020 – S-CMP (HI)

4.3.2.2.2 Målinger av en standard målestav

HIs forskningsstasjon på Austevoll, 7. mai og 23. juni 2020.

Et objekt med nøyaktig kjente dimensjoner ble målt, for å vise variasjonen i stereomålingene med hensyn til flere mulige påvirkende faktorer: størrelsen på målt objekt, avstand til målt objekt, det målte objektets orientering, samt objektets plassering i bildet (vertikalt og horisontalt).

4.3.3 Overvåking av makrellatferd på individnivå (aktivitet 3)

CMP-variantene ble brukt til å overvåke fiskeatferd og miljøet i nota i 52 kast under kommersielt fiske. Se seksjon 4.4 for mer informasjon.

4.3.4 Test av prototype av stereokamerasystem (aktivitet 4)

4.3.4.1 Metodikk

I utgangspunktet ble stereokamerasystemet utviklet for fangstobservasjon under innhaling av not. Målet er å gi fiskeren mulighet til å se artssammensetning og individstørrelser på et tidlig tidspunkt da det fortsatt er lovlig og ansvarlig å slippe uønskede fangster.

Informative data fra fisken i nota krever at observasjonsinstrumenter blir satt ut minst 15–20 m fra fartøyet. Dette er for å unngå fare for at instrumentet skal vikle seg inn i nota. To ulike metoder for utsetting, en passiv og en aktiv, ble valgt ut og testet i kommersielt fiske:

- *Stereo Catch Monitoring Probe (S-CMP, Figur 6)*: En pneumatisk kanon ble brukt til å skyte ut en probe med instrumentpakke inn i nota. Proben åpnet seg og instrumentpakken senket seg ned i fangsten på en forhåndsbestemt observasjonsdybde (cirka 5–15 m). Avstanden fra til fartøyet ble kontrollert med en tynn line av spectra festet i proben. Kommunikasjonen med instrumentpakken i proben var via WiFi, med antenne festet i flotøren.
- Fjernstyrt farkost (ROV, «FishBot», Figur 7): En liten, robust ROV ble senket ned fra siden av fartøyet og inn i nota. ROVen kunne aktivt styres til fisken. Kommunikasjonen med ROV var via kabel.

Ideelt sett ønsker man å observere fangsten før kasting og dermed unngå fangst av uønsket fisk. Det kan medføre betydelige besparelser i forbruk av drivstoff (cirka 600 liter per kast). Det kan derimot være vanskelig å manøvrere båten nært nok (>2 m) fisken og holde posisjonen lenge nok til å få gode observasjoner. Det er sannsynlig at fisken unnviker båten [8, 9]. Både proben og ROV-plattformene var egnet for bruk i et slikt scenario. Det er heller ikke behov for å skyte ut proben med kanon, men den kan senkes ned over skutesisden.



Figur 6. Oversikt over deler i *Stereo Catch Monitoring Probe (S-CMP)*.



Figur 7. «FishBot 2» ROV-plattform for stereokamerasystem. (Bilde: Mohn Technology AS)

4.3.4.2 Gjennomføring

4.3.4.2.1 Utsetting av ROV fra kommersielt fiskefartøy

18.–19. September i Byfjorden, Bergen, M/F Fiskebas.

Forsøk ble gjennomført for å teste utsetting og ombordtaging av ROV fra fartøyet under kommersielt fiske, samt undersøke ytelse inni nota.

4.3.4.2.2 Drift av Stereo Catch Monitoring Probe (S-CMP) under kommersielle fiskeoperasjoner

21. september til 4. oktober 2020, M/F Fiskebas.

Forsøk ble gjennomført for å teste funksjonaliteten til stereo-catch monitoring probe (S-CMP) for å utplassere et stereokamerasystem for å måle makrell i stim før eller etter fangst under kommersielt fiske.

4.3.4.2.3 Drift av en ROV («FishBot 2») under kommersielle fiskeoperasjoner

21. september til 4. oktober 2020, M/F Fiskebas.

Forsøk ble gjennomført for å teste funksjonaliteten til en forbedret ROV-plattform («FishBot 2») for å utplassere et stereokamerasystem for å måle makrell i stim før eller etter fangst under kommersielt fiske.

4.3.4.2.4 Målinger av makrell i et kommersielt fiskeri

21. september til 4. oktober 2020, M/F Fiskebas.

Forsøk ble gjennomført for å sammenligne stereokameraestimer av fiskelengde fra S-CMP og ROV («FishBot 2») plattformene med estimer fra prøver tatt fra de observerte makrellstimene.

4.4 Indikatorer for fangstkondisjon (AP 5)

Arbeidet i denne arbeidspakken ble gjennomført i form av tre hovedaktiviteter:

1. Kontrollerte studier for å undersøke effekten av fangstrelatert stress (trengning, hypoksi, skade) på atferd, fysiologi (inkludert filet kvalitet) og overlevelsespotensial hos makrell.
2. Analysere resultater fra laboratorieforsøk og definere kriterier (fysiske, atferdsmessige og/eller fysiologiske) som kan brukes som indikatorer for fangstkondisjon i forbindelse med stress og potensiell overlevelse hos makrell i uønsket fangst.
3. I samarbeid med AP 2, 3 og 4, overvåke indikatorer for fangstkondisjon i kommersielt ringnotfiske på makrell.

Vi vil nå beskrive metodikk og gjennomføring for hver av disse for seg.

4.4.1 Kontrollerte eksperimenter i Austevoll (aktivitet 1)

4.4.1.1 Metodikk

Makrellens respons på trengselsstress ble studert i en serie kontrollerte eksperimenter, utført i 2019 på Austevoll forskningsstasjon ved Havforskningsinstituttet. Disse eksperimentene bygget på metoder utviklet som en del av det NFR-finansierte prosjektet RedSlip [10, 11], samt pilotstudier utført i 2017–2018.

De første eksperimentene (utført i januar og februar 2019) undersøkte forholdet mellom stress, fysiologi og kjøttkvalitet. Små grupper av makrell (bestående av ≤ 20 individer) ble etablert i en av to akvarietanker eller i en akvakulturmerd. Fra hver gruppe ble det tatt prøver av tilfeldige individer for grunnverdier av blodfysiologi og kjøttkvalitet i ustresst tilstand. De resterende fiskene ble utsatt for trenging, ved å plassere dem i en notseksjon som deretter ble løftet i vannet for å redusere det tilgjengelige svømmeområdet. Det ble tatt prøver av den trengte fisken for å undersøke effekten av trenging på fysiologi og kjøttkvalitet. Blodprøver ble samlet fra den kaudale vaskulaturen ved hjelp av hepariniserte sprøyter, og analysert på stedet eller senere i laboratorie. Prøvetaking av kjøttkvalitet fant sted umiddelbart for noen beregninger, mens andre ble bestemt i laboratoriet etter to eller syv dager med lagring på is. Eksperimentene er beskrevet i detalj i ref. [12] og resultatene presentert i leveranserapport [13].

4.4.1.2 Gjennomføring

Pilotstudier i tank var planlagt i 2017 og 2018, men ble utsatt med omtrent et år som følge problemer med makrell som måtte avlives på grunn av veldig kalde sjøvannstemperaturer ($<5^{\circ}\text{C}$) i februar/mars 2018. Videre viste pilotstudiene at makrellen var kronisk stresset på grunn av fangenskap. Dermed ble det bestemt at forsøkene skulle gjennomføres i merd [10], og en ny FOTS-lisens ble søkt og godkjent.

4.4.2 Vurdering og valg av indikatorer for stress/velferd (aktivitet 2)

4.4.2.1 Metodikk

Basert på systematisk undersøkelse av over 30 mulige indikatorer for stress og/eller velferd målt i de kontrollerte eksperimentene (se seksjon 4.4.1) ble flere identifisert som potensielt informative og praktiske operasjonelle stress/velferdsindikatorer (S/WI) (se Breen et al, 2020b for definisjoner av disse kriteriene).

«Stressindikatorer» ble i første omgang valgt fordi de sannsynligvis ville være informative på et eller annet nivå av stressresponsen til trenging. En stressindikator som reagerte betydelig på stressorene, ble kun referert til som en «velferdsindikator» hvis den kunne settes i sammenheng med fiskenes velferdsstatus. Det er, i henhold til vår funksjonelle definisjon av fangstvelferd [14], når en stressindikator kunne være direkte relatert til enten den potensielle overlevelse av dyret og/eller dens mulige virkning på kjøttkvaliteten. For at S/WI skal være av interesse for dette prosjektet, må det først være informativt som en stressindikator, med potensiale til å bli ytterligere testet og relatert til velferdsrelaterte terskler. En informativ indikator kan deretter utvikles for praktisk anvendelse i kommersiell fiskerikontekst, med det endelige målet å muliggjøre utvikling av operative velferdsindikatorer (OWI) [15].

Resultatene og anbefalingene fra denne vurderingen er presentert i en separat leveranserapport [13].

4.4.2.2 Gjennomføring

Når resultatene fra eksperimenter ble samlet og analysert, ble utvalgsriteriene brukt for å identifisere potensielt informative og praktiske S/WI-er for bruk i aktivitet 3.

4.4.3 Observasjoner i kommersielt fiskeri (aktivitet 3)

4.4.3.1 Metodikk

Som en del av AP4 utviklet vi en serie nye teknologier for overvåking av S/WI på forskjellige stadier av fangstprosessen (i nota, under pumping og i RSW-tanken), beskrevet i seksjon 4.3.1.1. Hovedverktøyet i denne suiten er Catch Monitoring Probe (CMP) som ble brukt til å samle inn data om atferdsmessige responser i forhold til stressfaktorene: trenging og hypoksi.

Under slipping ble også to kameraenheter montert på utslippsåpningen for å observere fiskens atferd, som beskrevet i seksjon 4.3.1.1.

I tillegg til å overvåke atferd inni nota, ble fiskens vitalitet vurdert under pumping og etter pumping i RSW-tankene basert på atferd og reflekstester. I senere tokt, ble det tatt blodprøver av fisk (via kaudal punktering), som ble analysert på stedet for blodlaktat ved bruk av Lactate Pro 2 (Arkray Inc., Kyoto, Japan) punkt- POC-analysator.

4.4.3.2 Gjennomføring

Totalt åtte forskningstokt ble gjennomført under dette prosjektet hvor teknologier og metoder for overvåking av stress-/velferdsindikatorer ble utviklet og undersøkt. I tillegg ble tre tokt gjennomført forut for dette prosjektet, som også samlet relevante data, som en del av den tidlige utviklingen av CMP og metodene for overvåking av slipping i prosjektene CRISP, RedSlip og «Slipping: Beste praksis» [4, 6].

Toktene i 2017 fokuserte på utvikling av CMP (og stereokamera), som en del av AP4 [5]. Utviklingen bygget videre på prototypen utviklet i CRISP-og RedSlip-prosjektene for å overvåke fangsten i nota for bedre forståelse av hva som skjer under slippoperasjoner. I 2008 skiftet strategien og teknologiene mot overvåking av fangsten i nota under pumping og lagring i RSW-tankene. Dette skjedde av flere grunner. For det første ble det stadig vanskeligere å finne fartøy som er villige til å bevisst slippe fangster med tanke på overvåking, særlig i løpet av makrellfiskesesongen. For det andre hadde utviklingen av metodene for vitalitetsvurdering avdekket at prøvetaking direkte fra fangsten under pumping ga oss en unik mulighet til å undersøke virkningen av trengsel og hypoksi, i realistiske målestokker [13]. Videre fordi CMP-net observasjoner hadde avslørt at fisken kan oppleve lignende trengingstettheter under slipping som under pumping, kan denne tilnærmingen gi informasjon om stress og velferdsstatus av fisk før slipping under «worst-case» scenarier. Til sist hadde foreløpige data fra Austevoll-eksperimentene vist at stress før slakting kan påvirke kjøttkvalitet i makrell [12], og det kan derfor være nyttig å overvåke fisken under pumping for å identifisere reduserende tiltak i fremtiden. Dette nødvendiggjorde utvikling av de alternative CMP-ene for utplassering i pumpefangsten og i RSW-tankene.

5 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

I denne seksjonen gir vi en oversikt over resultatene som er oppnådd i de ulike arbeidspakkene. Vi drøfter funnene uten å gå altfor mye i dybden, da lesere som ønsker mer informasjon kan finne dette i de detaljerte leveranserapportene. Vi presenterer også våre betraktninger rundt mulighetene for videre utvikling og anvendelse av prosjektresultatene.

5.1 Beslutningsstøtte for setting av ringnot (AP 2)

5.1.1 Resultater og diskusjon

Arbeidspakken har resultert i følgende:

- metodikk og programvare for datainnsamling og -sammenstilling om bord
- en algoritme for baneplanlegging før og under ringnotkast, implementert som programvaren *Mimir*
- et enkelt beslutningsstøttesystem som skal demonstrere algoritmen, kalt *Balder*

De to sistnevnte, inkludert programkode og all teknisk dokumentasjon, er i skrivende stund publisert åpent og fritt tilgjengelig på *GitHub*, et populært nettsted for deling av kildekode og samarbeid om programvareutvikling. Lenker til kildekode og andre ressurser kan finnes via prosjektets hjemmeside, <http://fangstkontroll.no>. Figur 8 viser skjermbilder fra en typisk brukersesjon med beslutningsstøttesystemet.

Målet for arbeidet var å nå TRL 6, som vil si at teknologien skal være demonstrert i relevant miljø.⁴ Av praktiske og økonomiske årsaker har vi ikke kunnet gjennomføre avsluttende tester av programvaren i reelle ringnotoperasjoner. I stedet har vi testet den mot *simulerte* operasjoner. Dette har gitt oss en veldig fleksibel testplattform som har gjort det mulig å teste med mange ulike initialbetingelser og operasjonsvalg. Med dette har vi demonstrert metodens potensielle nytteverdi for praktisk bruk i ringnotfiske. Vi mener også at programvaren i seg selv holder et teknisk kvalitetsnivå som tilsvarer TRL 6. Vi vil allikevel være forsiktige med å påberope oss en slik TRL før programvaren er testet i en reell operasjon. Dette er dermed et naturlig neste steg i en industrialiseringsprosess.

Andre steg som må inngå på veien mot et kommersielt produkt er:

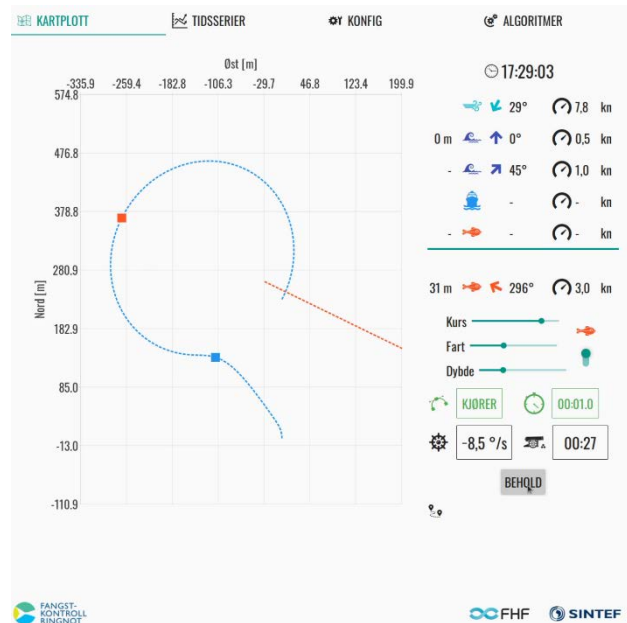
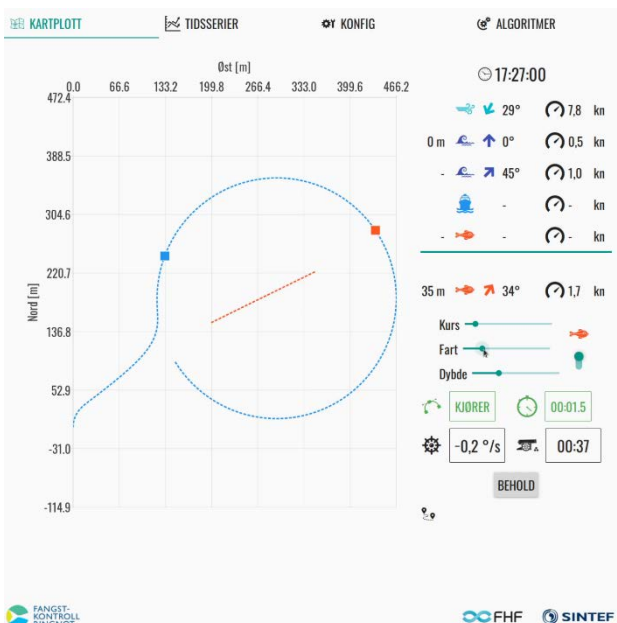
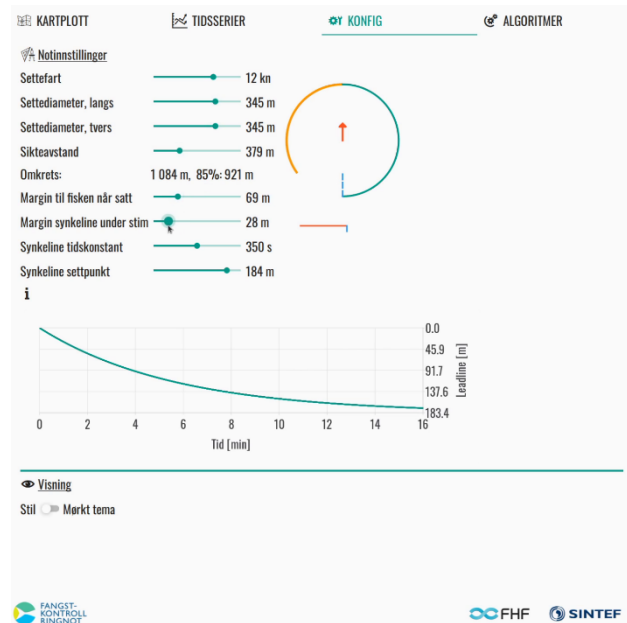
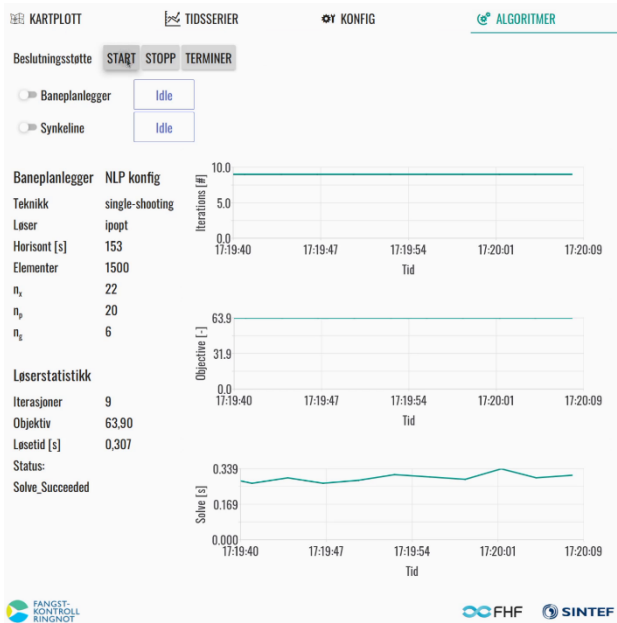
- utvidet testing og «tuning», både i simulator og i full skala, mot ulike fartøy, nøter, strømningsbilder og stimoppførsler
- utvikling av bedre metoder for feilhåndtering, for å oppdage og håndtere situasjoner der algoritmen ikke gir noen realistisk løsning
- tettere integrasjon mot andre systemer om bord, som sonar og kartplotter

På forskningssiden ser vi behov for videre forskning innenfor tre hovedområder:

1. *Modellering av notas synkerespons*: Modellen som ligger til grunn for baneplanleggerens beregninger av hvor fort nota synker er særdeles enkel. Basert på det datagrunnlaget vi hadde ser den ut til å passe godt, men datagrunnlaget i seg selv er for tynt. Her trengs det mer forskning på notmodeller og et omfattende, systematisk datainnsamlings- og -analysearbeid.

⁴ TRL (Technology Readiness Level) er en indikator på modenheten til en teknologi. Vi benytter oss av Europakommisjonens TRL-skala, som er en *de facto* standard innen europeisk FoU. Se f.eks. *Horizon Europe Main Work Programme, Annex B*, for definisjoner av nivåene.

2. *Formulering av optimeringsproblemet:* Baneplanleggeren søker per nå å finne en settebane som er ellipseformet sett fra referanserammen som følger overflatestrømmen. Det kan tenkes at andre, mindre begrensede baneformer vil være mer hensiktsmessige ut fra fiskeoperasjonsmessige hensyn.
3. *Nye datakilder:* Tilgang på flere ulike typer data kan tenkes å gi systemet en enda bedre «situasjonsforståelse» og grunnlag for mer avansert beslutningsstøtte. Et eksempel kan være informasjon fra sonaren om stimens utstrekning. Dette kan muliggjøre planlegging av settebaner som sirkler inn bare en avgrenset del av stimen, noe som vil være svært nyttig for fangstbegrensningsformål.



Figur 8. Eksempel på en brukersesjon med beslutningsstøttesystemet. Øverst til venstre: Start baneplanleggingsalgoritmen. Øverst til høyre: Velg brukerinnstillinger i henhold til redskapskonfigurasjon, f.eks. settebanedimensjoner og synkemarginer. Nederst til venstre: Brukeren velger å overstyre stimbeskrivelsen som er beregnet av sonaren. Nederst til høyre: Foreslått settebane er akseptabel og beholdes i kartplottet. Anbefalt kursrate og nedtelling mot settepunktet oppdateres kontinuerlig.

5.1.2 Konklusjon og anvendelser

Det å sette en ringnot krever at skipperen har god situasjonsforståelse og kontroll på de ulike elementene i prosessen. Fartøyets posisjon, kurs og hastighet må ses i sammenheng med stimens hastighet, retning og størrelse, samt vannstrøm og andre eksterne forhold. Det krever mye trening og erfaring å få til dette på en god måte. Selv for en erfaren ringnotskipper er det mye å holde styr på. Idéen bak AP 2 har vært å lage et beslutningsstøttesystem som kan avlaste skipperen og bidra til situasjonsforståelsen ved å automatisere noen av disse elementene. Baneplanleggingsalgoritmen som er hovedresultatet fra arbeidspakken kan – gitt tilstrekkelig informasjon om fartøy, stim og omgivelser – beregne en bane som fartøyet bør følge og et punkt langs denne banen hvor man bør begynne å sette ut nota for å fange stimen på best mulig vis.

Den åpenbare og umiddelbare anvendelsen av dette er i et beslutningsstøttesystem til bruk om bord. Per nå er ikke baneplanleggeren knyttet til noen bestemt instrumentpakke eller -leverandør. Dette er en styrke, da det gjør det mulig å tilpasse den til ulike leverandørers løsninger. Et fremtidig kommersielt system vil derimot dra nytte av en tettere integrasjon med andre systemer ombord, det være seg et mer detaljrikt grensesnitt mot sonar eller mulighet til å vise foreslåtte settebaner i kartplotter. Vi forventer derfor at leverandører som ønsker å utvikle metoden videre vil gjøre det i kontekst av sine eksisterende systemer, og vi har utviklet programkoden med dette i tankene. Bedrifter som kan føre dette arbeidet videre vil typisk være leverandører av broløsninger, fiskeletingsutstyr eller lignende.

Systemet vil kunne forbedres og utvides basert på erfaringer med praktisk bruk og innspill fra erfarne ringnotskippere. Slik vil kunnskap akkumuleres i systemet over tid, og vi forventer at det etter hvert vil kunne spille en ny rolle som et opplæringsverktøy for ferskt mannskap.

I et litt lengre tidsperspektiv kan man se for seg at baneplanleggingsalgoritmen kan videreutvikles til et autopilotsystem som direkte tar hånd om å styre fartøyet under fangstoperasjonen. Sammen med økt grad av robotiserte dekkoperasjoner kan den på sikt bidra til del- eller helautomatisering av ringnotfisket.

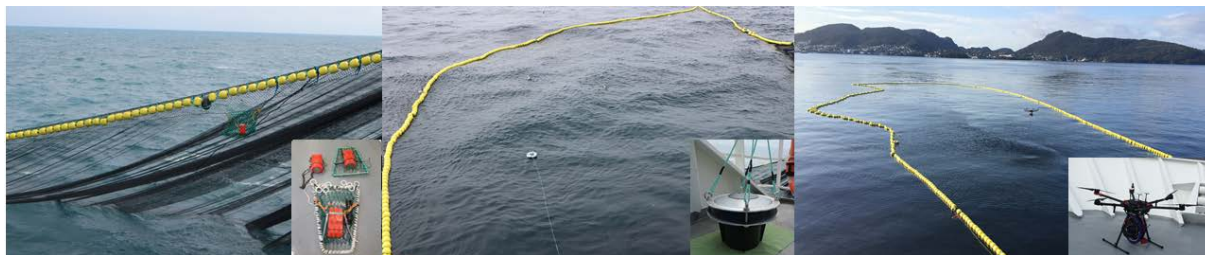
5.2 Fangstovervåking på stimnivå ved hjelp av akustiske metoder (AP 3)

5.2.1 Resultater og diskusjon

5.2.1.1 Akustisk miljø – luftbobler og notlin

De akustiske omgivelsene under fiske med not er utfordrende. Resultatene viser at luftbobler fra båtens propeller og notlin mellom båt og fiskestim forstyrrer, demper og i noen tilfeller blokkerer de akustiske signalene fra fartøymonterte instrumenter [16]. Videre viser resultatene at ekkostyrken fra propell genererte luftbobler og notlin er i samme spekter eller sterkere enn ekko fra sild og makrellstimer, noe som gjør det vanskelig å skille fisk som er nærme notveggen eller inni propellervann. Makrell er spesielt vanskelig å måle inni nota på grunn av lav målstyrke og en frekvensrespons som ser ut til å være veldig lik den til nota.

Baugpropell boblestøy kan unngås gjennom å måle i perioder der propellen ikke er i bruk eller med instrument montert under bobleskyen (> 8 m dybde), men luftboblene fra hovedpropell blokkerte de akustiske signalene og ble værende lenge i vannet (>5 min) og er dermed mer problematiske. Ekkostyrken fra notlin økte med frekvens og det kan dermed være en god ide å bruke lavfrekvent ekkolodd om man ønsker minst mulig påvirkning fra not. Ekkostyrken fra notlin er varierende og korrigeringsfaktor for demping vanskelig. Videre ligger nota ofte i folder ved siden av båten under innhaling og det kan øke akustisk dempingen og gjøre ekkostyrken enda mer variabel.



Figur 9. Akustisk fangstovervåkingsinstrumentering som er blitt utviklet og testet i prosjektet. Venstre: notsensor (Kongsberg Maritime AS) med 200 khz ekkolodd og trådløs akustisk kommunikasjon til båten, midten: Notbøye (Kongsberg Maritime) med 70 og 200 khz ekkolodd dataoverføring og kontakt over wifi til båten. Flyvende drone med ekkolodd (Birdview AS) 200 khz ekkolodd og mini wbt (Simrad) montert under dronen, elektrisk winch som senker ned ekkoloddet, dataoverføring og kontakt med ekkolodd over radiolink.

5.2.1.2 Instrumentering

For å unngå problemene med luftboblestøy fra propeller og notlin har vi undersøkt alternativer til å montere instrumentering inni eller på nota (Figur 9) [17].

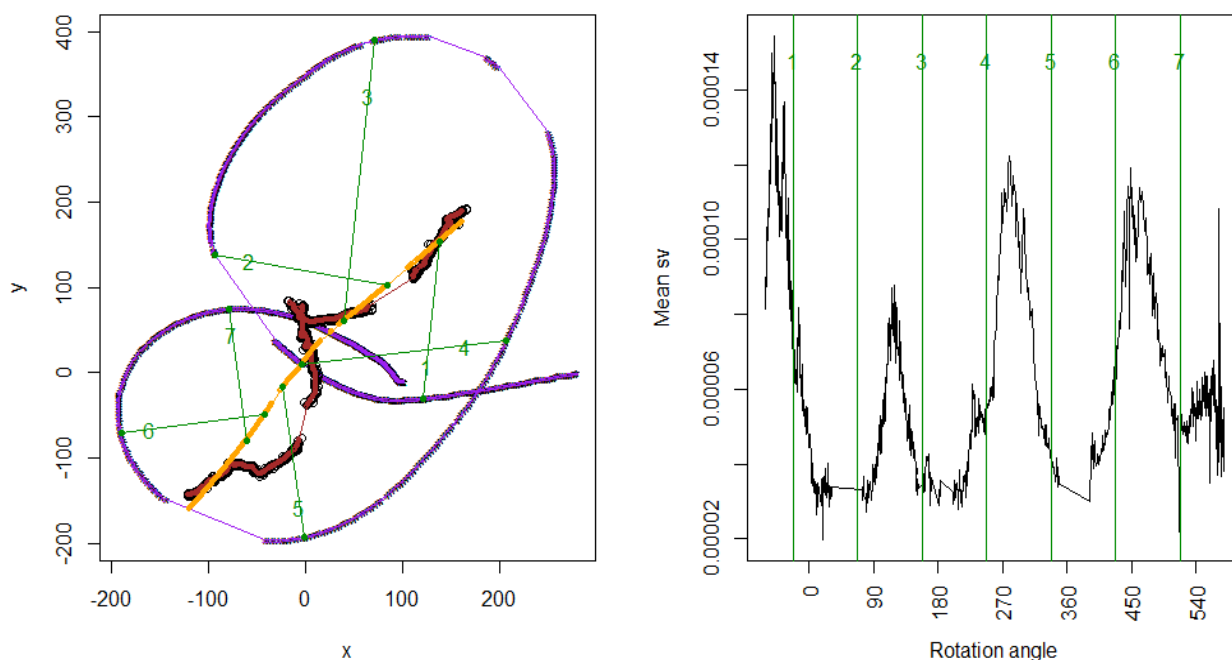
Det ble gjort forsøk på å måle fisken inni nota med en frittflytende trådløs bøye utstyrt med ekkolodd (Simrad ES14-38 og ES14-200 transdusere og Simrad WBT mini tranceiver, Kongsberg Maritime AS). Fordelen med en frittflytende bøye er at det er lite begrensning på vekt på instrumentering og bøyen vil ikke bli utsatt for like røff behandling som instrumenter montert på nota. Utfordringen i våre forsøk var at det var vanskelig å få bøyen langt nok ut i nota og uten særlig kontroll på bøyens posisjon drev den lett inn i flåen. Bøyen var også utsatt for bølger og overflatestøy (f.eks. bobler fra bølgeskulp). For at dette systemet skal være praktisk i fiskerier er det behov for enkel utsetting og opptak, en form for styring og en annen utforming som gjør at transduseren er dypere i vannet og mindre utsatt for bevegelsene i overflaten.

I samarbeid med Birdview AS har Havforskningsinstituttet utviklet og gjort forsøk med flyvende drone med ekkolodd (Simrad ES200 – 7CDK transduser og Simrad WBT mini tranceiver, Kongsberg Maritime AS). Systemet ble utviklet for å kunne fly ut til fiskestimer detektert med fiskerisonar og måle fiskestørrelse, tetthet og vertikalfordeling. Transduseren senkes noen meter under overflaten med hjelp av elektrisk vinsj. Under rolige værforhold fungerte prototypen bra og ekkoloddet kunne opereres fra styrhuset og dataene overføres i sanntid over radiolink. Dette er et interessant konsept for fremtidens fiskerier og utviklingen videreføres av Birdview AS.

En på kort sikt mer praktisk og rimeligere løsning er montering av trådløse ekkolodd på nota. Vi tilpasset Simrad PX trådløyer (Kongsberg Maritime AS) til fiske med not og undersøkte om de kan gi nyttig informasjon om fangstmengde og fiskens posisjon i nota. Vi fikk god kontakt mellom sensor og hydrofon gjennom å senke hydrofon dypere i vannet (under propellstøy) og utviklet metode for å feste sensor stabilt noen meter under flåtelne og praktisk av og påmontering. Det var antydning til identifikasjon av fisk på ekkoloddene, men det gjenstår arbeid før systemet kan være en praktisk og nyttig løsning. Spørsmålet er om ekkoloddet i notsensoren har bra nok oppløsning for identifisering av fangst eller om det må vurderes annen type akustisk instrumentering.

5.2.1.3 Stimatferd med sonar

Vi har videreutviklet metoder for kvantitativ analyse av stimatferd målt med multistråle fiskerisonar. Metodene er blitt brukt til å analyses svømmeatferd (svømmehastighet, relativ fisketetthet og grad av polarisering i stimen) i lodde, makrell og sildestimer [5]. Foreløpige resultat viser at makrellstimene svømte raskere og var mer polariserte sammenlignet med sild og loddestimene. Makrell og lodde viste ikke tegn til endret atferd under utsetting av not, men det er mulig at metodene vi brukte ikke oppdaget raske endringer



Figur 10. Til venstre: Båtens posisjon i lilla, stimens senterpunkt i rødt og glattet stim svømmeretning i gult. De grønne linjene og tallene viser innfallsvinkel. Til høyre: Ekkostyrke (sv m-1) i forhold til rotation angle (1. runde = 1 - 360°, 2. runde = 361 - 720°). De grønne strekene og tallene viser relativ posisjon for båt og stim.

i svømmeretning og hastighet som kan være relevant for makrell. Sildestimene økte svømmehastighet og dykket når omringet av not.

For at man skal kunne nøyaktig estimere biomasse på en fiskestim trenger man informasjon om fiskens svømmeatferd og stimorganisering [18, 19]. Grunnen er at målstyrken fra enkelt fisk kan variere med opptil 30 dB avhengig av hvilken retning den blir målt fra [20]. I biomasseestimering bruker man målstyrke til konvertering av ekkostyrke til fisketetthet [21]. Vi har utviklet en metode som måler innfallsvinkel og gir en indikasjon på intern stimorganisering (grad av polarisering) (Figur 10). Våre data viser at ekkostyrken (Sv, dB re 1 m⁻¹, [22]) fra fiskestimen kan variere med omtrent 10 dB avhengig av hvilken retning stimen blir målt fra og hvor polarisert stimen. Med kunnskap om innfallsvinkel og stimorganisering kan man velge mer riktig målstyrke og få mer nøyaktig estimering av stimbiomasse.

I løpet av prosjektet har vi før første gang lagret rådata med Furuno FSV25, importert og tolket dataene i LSSS programvaren og utviklet og gjort preliminare forsøk med kalibrerings software. Tidligere har dette kun vært mulig med Simrad sonarer.

5.2.2 Konklusjon

De kontrollerte forsøkene beskriver de akustiske egenskapene av luftboblestøy fra fiskebåt propellere og notlin. Til tross for at forholdene på fiskefeltet varierer og kan være vanskelig å fullt gjenskape i småskala forsøker dette nyttig informasjon om man ønsker å gjøre målinger gjennom propellstøy eller notlin.

Vi har gjort preliminare forsøk med å montere overvåkingsinstrumenter inni eller på nota. Vi har sett på ulike løsninger til trådløsdatooverføring over og under vann og utviklet robuste og praktiske løsninger for å feste instrumentering i nota. Med begrenset tid og midler var det ikke mulig å utvikle et ferdig produkt, eller nye instrumenter som det kanskje trengs, men vi har vist potensialet med både avansert droneteknologi og notmontert instrumentering for fangstovervåking.

Med relativt få stimer og stor mellom – stim variasjon i atferden er det vanskelig å dra generelle konklusjoner om hvordan ulike pelagiske arter reagerer til fangst med not. Men vi har utviklet og brukt nye metoder til analyse av stimatferd målt med sonar som kan være viktig for å bedre forståelsen av fiskestimers atferd i ulike forhold og mer nøyaktig stimbiomasseestimering.

5.2.3 Anvendelser

- Valg av målstyrke (TS) i stim biomasseestimering bør ta hensyn til innfallsvinkel (strålens retning i forhold til stimens svømmeretning) og grad av polarisering i stimen (svømmer all fisk i samme retning).
- Om interessen og behovet for overvåking av fiskestim inni nota er til stede er det gode muligheter for utvikling av mer avansert notsensor som kan produsere høyoppløselig data fra stimen (fangst mengde og posisjon i nota, eventuelt også størrelse og art med bredbåndsteknologi).
- Birdview AS jobber videre med utvikling av flyvende drone med akustiske måleinstrumenter. Teknologien er i tidlig utviklingsfase, men kan i fremtiden om prisen og størrelsen blir redusert og fullt automatisert drift bli interessant for fiskerinæringen.

5.3 Egenskaper og adferd på individnivå (AP 4)

5.3.1 Resultater og diskusjon

5.3.1.1 Prototype av et stereokamerasystem (aktivitet 2)

5.3.1.1.1 Makrellens adferdsrespons til en ROV i merd

Forsøkene har vist at ROV kan nærme seg og foreta vellykkede målinger av makrell i en stim i merd. Selv med lys på, var det ingen tegn til unnvikelse. Dette antyder at ROV kan være en praktisk observasjonsplattform for stereokamerasystemet under kommersielle fiskeoperasjoner.

5.3.1.1.2 Målinger av makrellstimer i fangenskap

Forsøkene har vist at det under kontrollerte forhold er mulig å oppnå mindre enn 5% målefeil ved å estimere den gjennomsnittlige lengden på makrell i en stim ved hjelp av et Intel RealSense-basert stereokamerasystem (tabell 1). Det fremkom imidlertid noe usikkerhet i dybdemålingene (eller z-dimensjonen), som viste seg ved økte feil når målfisken er skrått orientert mot kameraet, og/eller den er mer enn 2,5 m fra kameraet.

5.3.1.1.3 Målinger av en standard målestav

Analyse av estimerte mål av et objekt med kjent lengde var en informativ tilnærming for å vise potensielle avvik i stereokamerasystemets lengdeestimer. Analysen viste et systematisk positivt avvik i lengdeestimatene med økende avstand fra kameraet. Videre var det spesifikke undergrupper som viste effekter på lengdeestimatene som ikke forklares av denne avstandseffekten, for eksempel horisontal skråstilt orientering.

5.3.1.2 Test av prototype av stereokamerasystem (aktivitet 4)

5.3.1.2.1 Implementering av en ROV fra et kommersielt fiskefartøy

ROV ble vellykket utplassert og navigert rundt snurpenot, med minimal forstyrrelse av fiskeoperasjonene.

5.3.1.2.2 Drift av Stereo Catch Monitoring Probe (S-CMP) under kommersielle fiskeoperasjoner

S-CMP med stereokamerasystem kan brukes til å måle makrell i en stim under kommersiell fiskeoperasjon. Sonden S-CMP (figur 21) ble utplassert 12 ganger: Seks med vellykkede stereoopptak, tre hvor kameraet ikke fungerte, og tre hvor det ikke var mulig å se makrell. Kamerafeilene skyldtes sannsynligvis at dårlig WiFi-kommunikasjon slo av kameraet og/eller den innebygde datamaskinen. Imidlertid viste en

ytterligere feil den 29. september 2020 (etter at WiFi-kommunikasjonen var fjernet) at problemene også kan skyldes akselerasjonskreftene under utskyting og/eller landing på sjøen, selv om dette ikke hadde vært et problem med annen instrumentering som ble brukt i den opprinnelige CMP.

5.3.1.2.3 Drift av en ROV («FishBot 2») under kommersielle fiskeoperasjoner

FishBot ble utplassert i totalt 10 forsøk, både i og utenfor noten. Det var åtte «før-kast-forsøk» (det vil si uten not) hvor ROVen ble vellykket utplassert. I fire av disse forsøkene klarte FishBot å lokalisere makrellstimen og gjøre vellykkede stereoopptak for senere analyse. Ytterligere to vellykkede stereoopptak ble gjort i to notkast.

Ved to anledninger kunne ikke ROVen sjøsettes på grunn av problemer med thrusterkontrollerne. Etter at den første thrusteren svikte, måtte ROVen kjøres med seks eller syv operative thrustere i stedet for alle åtte. Dette forårsaket noe ustabilitet og mindre skyvekraft mens ROVen var i drift, men det var fortsatt mulig å gjennomføre operasjonen. Da en tredje thruster sviktet under notkast 03, ble ROV-operasjonene stoppet resten av toktet.

5.3.1.2.4 Måling av makrell i et kommersielt fiskeri

Forsøk i åpent hav viste at både Stereo ROV («FishBot 2») og Stereo-Catch Monitoring Probe (S-CMP), understøttet av Mohn Technologys måleprogramvare, var i stand til å estimere gjennomsnittlig lengde på individer i stimer med mindre enn 10% feil for alle estimer, og mindre enn 5% feil for de fleste.

Det ble imidlertid også vist et avstandsrelatert avvik, noe som påvirker estimatenes nøyaktighet og presisjon. Forsøk på å løse denne skjevheten ved å begrense datasettet til fisk målt innen tre meter fra kameraet forbedret estimatenes nøyaktighet bare marginalt, og reduserte dessuten presisjonen (se Breen et al, 2021 a og b for detaljer).

ROVen kom seg konsekvent nærmere makrell enn S-CMP. Til tross for dette og den avstandsrelaterte avviket, var det ingen åpenbar forskjell mellom de to plattformene med hensyn til estimatenes generelle nøyaktighet og presisjon. Årsaken til dette er ukjent, men fremtidig arbeid bør undersøke hvordan forskjeller i bildestabilitet og fiskens unnvikelse påvirker målenøyaktigheten og presisjonen.

5.3.2 Konklusjon

Resultatene av disse forsøkene viser at både «FishBot 2» og «S-CMP», sammen med måleprogramvaren, klarte å estimere gjennomsnittslengden i en stim med under 10 % feilmargen for alle forsøkene, og under 5% i de fleste forsøkene. I de kontrollerte merd-forsøkene ble det observert målefeil på under 1%. Det ble også utført forsøk med en målestav med tre faste avstander og analysene av disse målingene bekreftet at kamerasystemet hadde et systematisk positivt avvik i lengdeestimatene med økende avstand fra kameraet. Dette tilsier at systemet bør videreutvikles for ytterligere å forbedre lengdemålingenes presisjon og nøyaktighet. Mulige løsninger kan bl.a. være å forbedre prosedyrene for kalibrering og validering, samt å øke stereokameraets dybdeoppløsning ved å øke avstanden mellom kamerasensorene. I pelagiske fiskerier benyttes vanligvis gjennomsnittlig individvekt i fangsten, og ikke lengde, som beregningsgrunnlag. For at stereokamerasystemet skal kunne estimere gjennomsnittsvekt nøyaktig må det videre utvikles metoder for å oppdatere standardmodellene for forholdet mellom lengde og vekt. Dette må kunne skje i sanntid om bord basert på blant annet presis informasjon om lokasjon og sesong.

Begge utplasseringsplattformene («S-CMP» og «FishBot 2») fungerte tilfredsstillende som forskningsplattformer i utviklingen av stereokamerasystemet. ROV-en kom seg nærmere makrellen enn proben klarte i alle forsøkene. Til tross for dette og det avstandsrelaterte avviket, var det totalt sett ingen tilsynelatende forskjell mellom plattformenes presisjon og nøyaktighet i lengdeestimatene. Likevel er ingen av disse plattformene hensiktsmessige for bruk i kommersielt fiske per i dag ettersom fiskefartøyet må svært tett på stimen for å kunne benytte dem. Dette fører som regel til at stimen skremmes bort fra fiskefartøyet. Utvikling av metoder

for å komme tett på stimen i stillhet, uten å skremme den bort, kan likevel muliggjøre bruk av plattformene kommersielt. Et ideelt system vil kunne karakterisere en stim 500–1500 m unna fiskefartøyet. Dette kan for eksempel innebære bruk av en flygende drone med en probe som kan senkes ned, eller en autonom undervannsfarkost (AUV).

5.3.3 Anvendelser

For videreutvikling av dette stereokamerasystemet som et verktøy for å måle gjennomsnittslengde og artssammensetning i fiskestimer under kommersielt notfiske, anbefales følgende:

- Videreutvikle prosedyrer for kalibrering og validering av målinger for å minimere avstandsrelatert avvik i måleestimatene.
- Undersøke om større avstand mellom stereokameraets sensorer kan øke systemets målenøyaktighet ved forbedret dybdeoppløsning.
- Utvikle metoder for å muliggjøre bruk av stereokamerateknologi under dårlige lysforhold, slik at systemet kan brukes under nattfiske, f.eks. ved hjelp av kunstige lyskilder som ikke påvirker fiskens atferd.
- Estimere ytterligere morfologiske beregninger til lengden fra stereobilder og bruke disse til å utvikle stokastiske modeller for mer nøyaktig prediksjon av individuell vekt.
- Utvikle metoder for automatisk størrelsesestimering som er raske nok til at fiskerne kan ta operasjonelle avgjørelser om fangsten før nota kastes basert på estimatene (for eksempel ved bruk av datasyntese/*computer vision*).
- Undersøke/utvikle alternative plattformer for utplassering av systemet. Disse skal kunne operere 500-1500 m fra fiskefartøyet og kan for eksempel være en drone med nedsenkbar probe, eller en autonom undervannsfarkost (AUV).

Vellykket utvikling av et nøyaktig og presist stereokamerasystem for å karakterisere artssammensetning og gjennomsnittlig individstørrelse i en stim vil fremme både bærekraft og gjøre det lettere å etterleve reguleringer i kommersielt notfiske. Det vil sette fiskere i stand til å unngå å gjøre kast på stimer med uønsket karakteristikk, og på den måten minimere behovet for slipping av fangst med de konsekvenser dette kan ha. Ved å unngå unødvendige notkast vil fiskeriets karbonavtrykk kunne reduseres som resultat av redusert drivstofforbruk.

5.4 Indikatorer for fangstkondisjon (AP 5)

5.4.1 Resultater og diskusjon

5.4.1.1 Aktivitet 1 og 2

Det første viktige resultatet fra de kontrollerte eksperimentene var at det ikke ble observert signifikant dødelighet ved trengingstettheter lavere enn 92 kg/m³. Med sammenlignbare resultater fra det tidligere RedSlip-prosjektet [10], gir dette en informativ foreløpig «sikker terskel» for observasjoner under pumping eller slipping i kommersielt notfiske.

Dødelighet ble observert i trengingstettheter på 146 kg/m³ og høyere. Videre tok dødeligheten minst 4 dager å utvikle i hver behandling, og alle døde fisk hadde betydelige hudlesjoner (Figur 11), noe som tyder på at den mest sannsynlige dødsårsaken var abrasjonsskade. I tillegg så vi at en høy grad av trenging (cirka 180 kg/m³) over tid hadde ugunstige effekter på flere kjøttkvalitetsparametre, inkludert filetfarge, gaping og fasthet [12]. Disse var sannsynligvis et resultat av lavere pre- og post-mortem muskel-pH og en medfølgende tidlig tilslagstid og økt styrke av rigor mortis, samt økt cathepsin B&L-aktivitet, i den stressede makrellen. Basert på disse kontrollerte eksperimentene identifiserte vi flere praktiske og informative stress-/velferdsindikatorer (S/WI-er) som kandidater for testing i aktivitet 3. S/WI-er som gir nær sanntidsdata



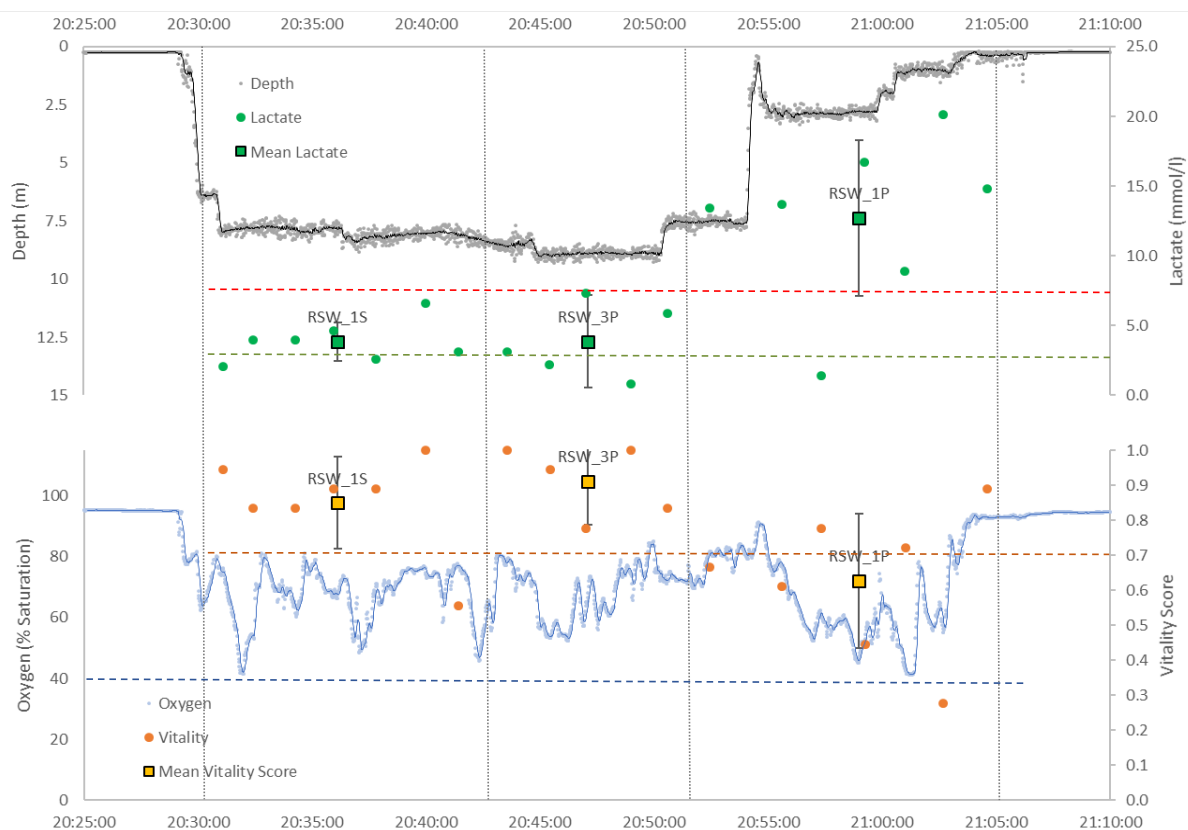
Figur 11. Eksempler på makrellhudskader. All fisk med hudskader, uavhengig av alvorlighetsgrad eller skadested, ble klassifisert som «skadet».

og/eller intuitivt tolkede resultater, som oksygenkonsentrasjon, temperatur og atferdsindikatorer viste seg mest lovende som potensielle operasjonelle S/WI-er.

5.4.1.2 Aktivitet 3

Ved å overvåke utvalgte S/WI (dvs. mengdetetthet, oksygen, vanntemperatur, stimorganisering, svømmeaktivitet, vitalitet og blodlaktat) under ringnotfangstprosessen, identifiserte vi tre kritiske faser (dvs. slipping, pumping og RSW-lagring) der det er potensiell høy risiko for dårlig velferd som kan påvirke overlevelsen til sluppet uønsket fangst og/eller kvaliteten på den beholdte fangsten. Ved samtidig å overvåke ulike S/WI-er kunne vi trekke mer velbegrunnede slutninger om fangstens stress-/velferdsstatus i hver fase av fangstprosessen. Dette betyr at vi kan mer pålitelig måte karakteriserer d stressresponsene gjennom hele renseprosessen, identifisere hvor og når kritiske stressfaktorer forekomme, så vel som utvikling av egnede indikatorer for å overvåke status fangst på de kritiske punkter.

Ved å ta prøver direkte fra fangst under pumping hadde vi en anledning til å undersøke virkningen av trenging og hypoksi i realistiske skalaer. Dette viste at god velferd kunne opprettholdes i relativt lange perioder (cirka 20 minutter) i makrellfangster der hypoksi ble unngått (Figur 12). Imidlertid kan velferdsstatus forverres raskt, med tilsvarende fall i vitalitet og økning i laktat, hvis hypoksiske forhold utvikler seg i fangstene. Disse dataene kan også brukes til å forbedre vår forståelse av stress- og velferdsstatus før slipping av fangster under «worst-case» høytrenghets scenarier, fordi CMP-net-observasjoner hadde avslørt at fangster tatt under slipping kan oppleve lignende trengingstettheter som



Stress/Welfare Status	Good (1.6)	Compromised? (1.4)	Compromised (1.0)	
Crowding	Compromised (1)	Bad (0)	Bad (0)	
Hypoxia	Good (2)	Good (2)	Good (2)	
Lactate	Compromised? (1.5)	Compromised? (1.5)	Bad? (0.5)	
Vitality	Good (2)	Good (2)	Compromised? (1.5)	

Figur 12. Kast K09 (190 tonn). *Over*: Blodlaktat (mmol/l) og CMP-dybde (m) over tid under pumping. Vertikale prikkede linjer: avgrensning av delprøveperioder (dvs. når individuelle RSW-tanker ble fylt). Rød stiplet linje: konsentrasjoner av laktat assosiert med kvalitetseffekter og dødelighet på 11,5% (95% KI: 3-33%) i Austevoll-eksperimenter. Grønn stiplet linje: kontroll (ikke-stresset) laktatnivåer fra Austevoll-eksperimenter. *Midten*: Vitalitetspoeng og oksygenkonsentrasjon (% metning) over tid under pumping. Oransje stiplet linje: nominelt nivå for «normal» vitalitet (0,7) – under dette anses fisken å være kompromittert. Blå stiplet linje: «sikker terskel for oppløst oksygenkonsentrasjon» for overfylt makrell (40% metning) som definert av Handegard et al (2017). *Under*: En oppsummerende matrise (hypotetisk) av stress-/velferdsindikatorer. For detaljer om beregning og tolkning, se rapport [11].

pumpede fangster. Det skal også bemerkes at velferdsstatus generelt var bedre i makrellfangstene, sammenlignet med sildefangster, fordi fiskerne var forsiktige med å unngå bevisst overtrenging av makrellen for å ikke påvirke fangstkvaliteten.

Til slutt avslørte observasjoner av fisk i RSW-lagertankene gjennomgående svært dårlig velferdsstatus. Hensikten med RSW-lagring er å opprettholde kvaliteten på fangsten, så fiskens død var en forventet del av denne prosessen. Imidlertid økte blodlaktat i makrell som ble tatt ut fra RSW-tankene betydelig, sammenlignet med nivåer fra pumpet fangst, til konsentrasjoner som var sammenlignbare med høytetthetsforsøkene i aktivitet 1. Dette antyder ikke bare at denne slakte-/lagringsprosessen er veldig belastende, men at den kan påvirke filetkvaliteten.

5.4.2 Konklusjon

I kombinasjon med data fra tidligere relaterte trengningseksperimenter i RedSlip-prosjektet, gir dataene fra aktivitet 1 oss betydelig tillit til at det ikke er noen signifikant dødelighet i makrell ved tettheter mindre enn 92 kg/m^3 . Imidlertid er det svært få replikatforsøk for tetthet større enn 92 kg/m^3 , noe som i stor grad reduserer vår tillit til forholdet mellom trengsel og dødelighet ved høyere tetthet. Derfor er det behov for flere replikatforsøk for å underbygge disse funnene, samt videreutvikle vår forståelse av trengsel, hypoksi, abrasjonsskade og temperatur med overlevelse, vitalitet og fangstkvalitet.

Videre er skalaen på eksperimentene i aktivitet 1 liten (cirka 500 kg) sammenlignet med kommersielle fiskefangster (10–100 tonn). Dermed var hypoksi ikke godt representert som en stressor i de kontrollerte eksperimentene, mens sannsynligheten for kontakt med fisk til garn i disse eksperimentene var langt høyere enn det ville være i en kommersiell fangst. Disse avvikene forklarer sannsynligvis forskjellen i både omfanget og tidspunktet for dødeligheten sett i disse eksperimentene, og de som ble utført i større simulerte fangster på sjøen [23], som hadde betydelig høyere dødelighet (opptil 100%) som generelt forekom innen 2 dager med trengsel. Mens det i aktivitet 1 ikke ble observert dødelighet før dag 2, og disse ble tilskrevet abrasiv hudskade.

Derfor bør fremtidige eksperimenter undersøke forholdet mellom trengsel og hudskader, for bedre å forstå deres effekt på overlevelse og fangstkvalitet etter slipping. Videre, for å kunne trekke mer informerte konklusjoner om velferdsstatusen til makrell og sild under hypoksiske hendelser, bør fremtidig arbeid undersøke de maksimale og standardmetabolske hastighetene (oksygenforbruk) ved en rekke svømmeaktiviteter, oksygenkonsentrasjoner og temperaturer i vannet, så vel som hypoksitoleransegrenser hos begge arter. Ytterligere kontrollerte eksperimenter bør utføres for å undersøke de sammensatte effektene av både trengsel og hypoksi på vitalitet/dødelighet og de andre indikatorene for stress/velferd. Endelig, for å kunne trekke slutninger om velferdsstatusen til makrell og sild under lagring, bør fremtidige studier undersøke disse artenes toleranse overfor akutt temperaturendring, samt faktorer som kan påvirke filetkvalitet under lagring i RSW-tanker.

I alle tilfeller vil S/WI-ene undersøkt i dette prosjektet kreve videreutvikling for å sikre at de tilfredsstillende informative (dvs. relevante, sammenlignbare, nøyaktige og følsomme) og praktiske (dvs. brukbare, pålitelige og sanntid) kriterier for å kunne være akseptable operasjonelle indikatorer. Spesielt robuste beregninger var mengdetetthet, oppløst oksygen, vanntemperatur, vitalitet og blodlaktat (se rapporten [13] for detaljer). Svømmeaktivitet (haleslagfrekvens og stil) viste seg vanskelig å tolke i feltobservasjoner og ville kreve bedre tidsoppløsning og kontekstuell informasjon for å kunne trekke pålitelige slutninger om velferdsstatus. Utvikling av en alternativ metodikk, f.eks. «split-beam»-ekkolodd [24], kan være gunstig her. En vanlig begrensning ved de videobaserte S/WI-ene var tiden det tok å trekke ut de nødvendige dataene fra videoen for analyse. For å utvikle sanntids operasjonelle velferdsindikatorer basert på disse beregningene, må dataauthenticeringen fra videoene automatiseres. For dette formål vil det være fordelaktig å bruke dataene og analysene fra dette prosjektet som opptreningsmateriale for maskinsynsalgoritmer.

Dette prosjektet har lyktes i å samlet S/WI-data fra 52 kast, fra 8 forskningstokt i dette prosjektet og 3 fra tidligere prosjekter. Flertallet av disse observasjonene har vært i beholdt fangst ($n = 37$). Videre er de fleste slippobservasjonene fra simulerte slipp, der hele fangsten ble sluppet ved hjelp av «beste praksis»-metoden [6]. Derfor er det et presserende behov for flere observasjoner under ekte slipp hendelser, spesielt kontrollert slipping, der bare en andel av fangsten slippes og resten beholdes.

Ved å overvåke S/WI under beholdte fangster, spesielt i pumpefasen, har vi samlet veldig informative data om effekten av trengsel og hypoksi på fangsten i realistisk skala. Dessuten, fordi CMP-net-observasjonene hadde avdekket at fangst under slipping kunne oppleve lignende trengingstetthet som pumpet fangst, kunne denne tilnærmingen gi informasjon om stress og velferdsstatus for fangster før slipping under «worst-case»-scenarier. Disse dataene antyder at «beste praksis»-metoden for kontrollert slipping [6] sannsynligvis vil

selektivt slippe fisk med høyere vitalitetspoeng (dvs. nær den øverste og ytre kanten av fangsten), forutsatt at slippshendelsen ikke tar lang tid (dvs. <15 minutter) og ikke innebærer en dødelig hypoksisk episode (dvs. 4,5 mg/l; <40% metning ved 10°C). Dette tar imidlertid ikke hensyn til potensialet for forsinket dødelighet som følge av hudskader fra abrasiv kontakt under trenging. Derfor er det behov for mer forskning for bedre å forstå sannsynligheten for skadelig kontakt (fisk-til-garn og fisk-til-fisk) assosiert med høyere trengingstetthet. Spesielt vil det være nødvendig for fremtidige prosjekter å underbygge dataene om effekten av høyere tetthet og hypoksi på individuelle overlevelses-/vitalitets- og kvalitetsparametere, og knytte disse til andre potensielle S/WI-er.

5.4.3 Anvendelser

Kunnskapen generert i dette prosjektet har startet utviklingen av pragmatiske, operasjonelle indikatorer for stress/velferd, med det endelige målet å til slutt gi overvåkingsverktøy for daglig bruk i snurpenotfiskeri. Hvis disse utvikles fullt ut, kan de være gunstige for å fremme både overlevelsen av den slupne uønskede fangsten og kvaliteten på den tilbakeholdte fangsten fra norsk ringnotfiskeri.

Verktøyene og teknikkene som er opprettet i dette prosjektet bør videreutvikles og brukes for å løse noen av de viktige kunnskapshullene som er identifisert av dette prosjektet, spesielt med hensyn til:

- å få bedre forståelse av naturlig og pre-fangst stim- og individadferd, inkludert naturlig svømmehastighet og nærmeste-nabo-avstand, ved bruk av CMP-er distribuert ved hjelp av AUV og/eller droner;
- banebrytende hydroakustiske data (inkludert estimater for stimtetthet) fra naturlige og fangede stimer ved bruk av de samme AUV-/drone-CMP-ene;
- å utvikle maskinvisjonsalgoritmer for å automatisere kvantifisering av atferdsmetoder (f.eks. tetthetsscore og stimorganisering) ved å bruke dataene og analysene fra dette prosjektet som treningsmateriale;
- gjennomføre ytterligere kontrollerte eksperimenter for å bedre forstå effekten av trengsel, hypoksi, sliteskade og temperatur på makrellens og sildens vitalitet, overlevelse og kjøttkvalitet;
- forbedre vår forståelse av ekte slipppraksis, særlig kontrollert slipping, for bedre å fremme bærekraften til snurpenotfiskeriet;
- undersøke pumpepraksis og utvikle overvåkings- og kontrolltiltak for å fremme bedre fangstvelferd og kvalitet; og
- å utvikle slaktemetoder som fremmer bedre fangstvelferd og kvalitet ved å sikre at all fangst blir gjort permanent bevisstløs før den havner i RSW-tankene.

Når det gjelder direkte anvendelse av kunnskap fra dette prosjektet til fiskeindustrien, for å fremme god velferd og overlevelse av sluppet fangst, anbefales det at fiskere under slipping sørger for at:

- Trengingstettheten i nettet holdes under 100 kg/m³ (CDS <4)
- Konsentrasjonen av oppløst oksygen i fangsten ikke synker under 4,5 mg/l (40% metning ved 10°C)
- Uorganisert oppførsel i fangsten unngås, for å redusere risikoen for skadelig kontakt inne i nettet og for å fremme funksjonell stimatferd og effektiv rovdyrunggåelse ved og utenfor utslippåpningen.

For å lette disse tiltakene anbefales det videre at det utvikles overvåkningssystemer som gir bilder og data i sanntid til fartøyet under slippoperasjoner. Dette vil gjøre det mulig for fiskerne å kontrollere innhalingshastigheten på nettet – med sikte på å opprettholde god velferdsstatus i fangsten – enten til slippprosessen er fullført, eller til to eller flere av «sikkerhetstersklene» er oversteget slik at slippprosessen må stanses. Slike overvåkings- og kontrolltiltak kan relativt enkelt utvikles fra fangstovervåkingsplattformene (CMP) fra dette prosjektet. Videre kan disse overvåkings- og kontrolltiltakene utvides til å omfatte pumpeprosessen for å fremme god velferd og høy fangstkvalitet.

6 Hovedfunn

Prosjektets hovedfunn kan oppsummeres som følger:

- Vi har utviklet en algoritme som kan finne optimal fartøysbane og tidspunkt for utsetting av nota for å fange en bestemt stim. Denne kan utvikles videre til et beslutningsstøttesystem til bruk om bord.
- Vi har fått en forståelse for hvordan fiskens atferd og de akustiske omgivelsene påvirker akustisk fangstovervåking i notfiske. Denne kunnskapen er blitt brukt til å foreslå og teste nye måter for fangstovervåking i not.
- Vi har utviklet en rekke instrumenter for å overvåke individuell fiskeatferd og miljøvariabler under fiskeoperasjoner. Disse har blitt brukt med hell i mer enn 50 snurpenotkast. Blant disse instrumentene var et stereokamerasystem, utviklet i samarbeid med Mohn Technology AS, for å karakterisere artssammensetning og størrelsesfordeling i pelagiske fiskestimer før og under fangst i kommersielt fiskeri. Dette systemet var i stand til å estimere gjennomsnittlig fiskelengde i stimer med mindre enn 10% feil for alle estimer, og mindre enn 5% feil for flertallet.
- Prosjektet har forbedret vår forståelse av stressresponsene til makrell og sild under fangst i snurpenot. Vi har brukt denne kunnskapen til å utvikle indikatorer for overvåking av stress og velferd. Ved å overvåke disse indikatorene under fangstprosessen i kommersielt fiskeri identifiserte vi tre kritiske faser (slipping, pumping og RSW-lagring) der det er potensielt høy risiko for dårlig velferd som kan påvirke overlevelsen av frigitt uønsket fangst og kvaliteten på den beholdte fangsten.

7 Leveranser

Tabellen under inneholder en oversikt over alle de faglige leveransene i prosjektet.

Tabell 3. Faglige leveranser. Bokstavene i kolonnen "Type" har følgende betydninger: D = demonstrasjon, P = prototype/programvare, R = rapport

Dato	Leveranse	Type	AP	Referanser
2018-12-01	Sammenstilling av data er demonstrert i relevante omgivelser	D	2	[2]
2018-12-01	Anbefalinger for (videre)utvikling av effektiv akustisk fangstovervåking under fiske med not	R	3	[16]
2020-10-31	Indikatorer for fangstkondisjon (fysiske, atferdsmessige og/eller fysiologiske) for å vurdere status for stress og potensiell overlevelse i uønskede makrellfangster	R	5	[13]
2020-12-01	Stereokamerasystem for sanntidsidentifisering av artssammensetning og størrelsesfordeling i kommersielt snurpenotfiske	P	4	[5]
2021-02-01	Spesifikasjon av forbedret montering og/eller instrumentering for akustisk fangstovervåking	R	3	[17]
2021-06-01	Sluttrapport og programvare med dokumentasjon	P	2	[3]
2021-04-30	Bruk av stim- og individadferd samt andre stressindikatorer til å beskrive velferdstilstanden til makrell og sild under fangst og slipping i ringnot	R	4,5	[25]

8 Referanser

- [1] *Forskrift om utøvelse av fisket i sjøen (Utøvelsesforskriften), §48a, 2004.*
- [2] J. Haugen, «Programvare for datainnsamling (notat),» SINTEF Ocean, 2018.
- [3] J. Haugen og L. T. Kyllingstad, «Baneplanlegging for ringnotfartøy (SINTEF-rapport 2021:00578),» SINTEF Ocean, Trondheim, 2021.
- [4] CRISP, «Sluttrapport,» 2019.
- [5] M. Breen, E. Schuster, S. Hannaas, J. Saltskår, E. A. Solberg og M. R. Myklebost, «Et prototype stereo-kamera-system for beskrivelse av artssammensetning og størrelsesfordeling i kommersielt notfiske,» Havforskningsinstituttet, 2021.
- [6] A. Vold, N. Anders, M. Breen, J. Saltskår, B. Totland og J. T. Øvredal, «Beste praksis for slipping fra not – Utvikling av standard slippemetode for makrell og sild i fiske med not (Rapport fra havforskningen, 6-2017),» Havforskningsinstituttet, 2017.
- [7] S. Giancola, M. Valenti og R. Sala, *A Survey on 3D Cameras: Metrological Comparison of Time-of-Flight, Structured-Light and Active Stereoscopy Technologies*, Springer, 2018.
- [8] O. A. Misund, «Sonar observations of schooling herring: School dimensions, swimming behaviour, and avoidance of vessel and purse seine,» *Rapp. p.-v. réun. - Cons. int. explor. mer.*, nr. 189, pp. 135-146, 1990.
- [9] O. A. Misund, «Predictable swimming behaviour of schools in purse seine capture situations,» *Fisheries Research*, vol. 14, nr. 4, pp. 319-328, 1992.
- [10] N. O. Handegard, M. Tenningen, K. Howarth, N. Anders, G. Rieucau og M. Breen, «Effects on Schooling Function in Mackerel of Sub-Lethal Capture Related Stressors: Crowding and Hypoxia,» *PLOS ONE*, vol. 12, p. e0190259, 2017.
- [11] N. Anders, K. Howarth, B. Totland, N. O. Handegard, M. Tenningen og M. Breen, «Effects on individual level behaviour in mackerel (*Scomber scombrus*) of sub-lethal capture related stressors: Crowding and hypoxia,» *PLOS ONE*, vol. 14, nr. 3, p. e0213709, 2019.
- [12] N. Anders, I. Eide, J. Lerfall, B. Roth og M. Breen, «Physiological and flesh quality consequences of pre-mortem crowding stress in Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*),» *PLOS ONE*, vol. 15, nr. 2, p. e0228454, 2020.
- [13] M. Breen, N. Anders, M. Tenningen, G. M. Tveit, M. Bondø, J. R. Mathiassen og B. Roth, «Report on indicators (physical, behavioural and physiological) to assess stress & welfare status in purse seine catches,» Havforskningsinstituttet, 2020.

- [14] M. Breen, N. Anders, O.-B. Humborstad, J. Nilsson, M. Tenningen og A. Vold, «Catch Welfare in Commercial Fisheries,» i *The Welfare of Fish*, Springer, 2020, pp. 401-437.
- [15] C. Noble, K. Gismervik, M. H. Iversen, J. Kolarevic, J. Nilsson, L. H. Stien og J. F. Turnbull, *Welfare indicators for farmed Atlantic salmon: tools for assessing fish welfare*, 2018.
- [16] M. Tenningen, J. T. Øvredal og G. Macaulay, «Akustisk fangstovervåking i not – Utfordringer og løsningsforslag til bedre metodikk. Rapport fra Havforskningen 42-2018,» Havforskningsinstituttet, 2018.
- [17] M. Tenningen, E. Schuster, J. Saltskår og J. T. Øvredal, «Akustisk sensor for fangstkontroll i notfiske – Spesifikasjoner for montering og bruk,» Havforskningsinstituttet, 2021.
- [18] Y. Nishimori, K. Iida, M. Furusawa, Y. Tang, K. Tokuyama, S. Nagai og Y. Nishiyama, «The development and evaluation of a three-dimensional, echo-integration method for estimating fish-school abundance,» *ICES Journal of Marine Science*, vol. 66, pp. 1037-1042, 2009.
- [19] A. J. Holmin, N. O. Handegard, R. J. Korneliussen og D. Tjostheim, «Simulations of multi-beam sonar echos from schooling individual fish in a quiet environment,» *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 132, pp. 3720-3734, 2012.
- [20] Y. Tang, Y. Nishimori og M. Furusawa, «The average three-dimensional target strength of fish by spheroid model for sonar surveys,» *ICES Journal of Marine Science*, vol. 66, pp. 1176-1183, 2009.
- [21] H. Peña, G. J. Macaulay, E. Ona, S. Vatnehol og A. J. Holmin, «Estimating individual fish school biomass using digital omnidirectional sonars, applied to mackerel and herring,» *ICES Journal of Marine Science*, 2021.
- [22] D. N. MacLennan, P. G. Fernandes og J. Dalen, «A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics,» *ICES Journal of Marine Science*, vol. 59, pp. 365-369, 2002.
- [23] I. Huse og A. Vold, «Mortality of mackerel (*Scomber scombrus* L.) after pursing and slipping from a purse seine,» *Fisheries Research*, vol. 106, nr. 1, pp. 54-59, 2010.
- [24] N. O. Handegard, G. Pedersen og O. Brix, «Estimating Tail-Beat Frequency Using Split-Beam Echosounders,» *ICES Journal of Marine Science*, vol. 66, pp. 1252-1258, 2009.
- [25] M. Breen, J. Saltskår, M. Tenningen, G. M. Tveit og B. Roth, «Behaviour & welfare of mackerel & herring during capture in purse seine,» Havforskningsinstituttet, 2021.