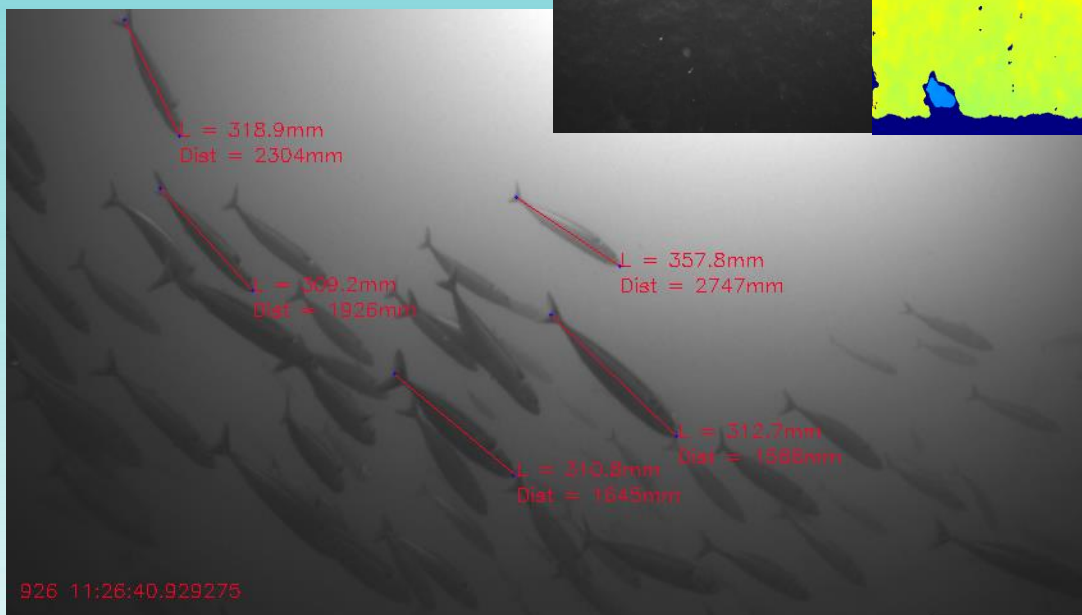
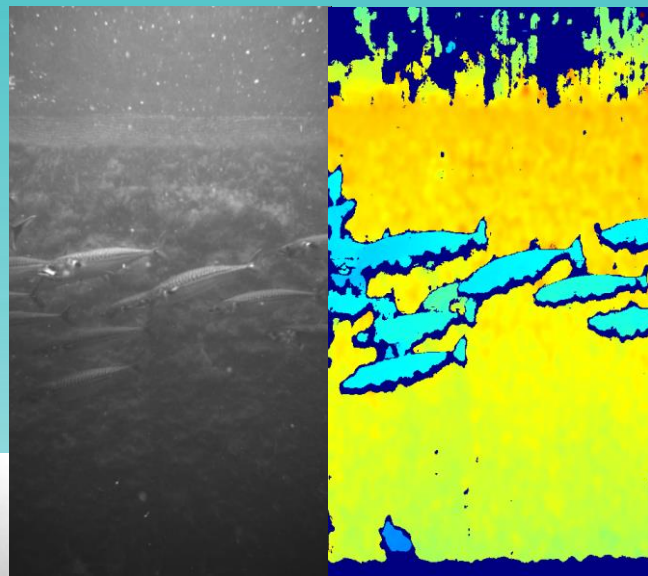




ET PROTOTYPE STEREO-KAMERA-SYSTEM FOR BESKRIVELSE AV ARTSSAMMENSETNING OG STØRRELSFORDELING I KOMMERSJELT NOTFISKE.

Leveringsrapport 4.1 til «Fangstkontroll i notfiske
etter pelagiske arter» (FHF 901350)

Mike Breen, Erik Schuster, Sigurd Hannaas, Jostein Saltskår [IMR]
Eirik Anfinsen Solberg and Magnus Rogne Myklebost [Mohn
Technology]



Tittel (norsk og engelsk):

ET PROTOTYPE STEREO-KAMERA-SYSTEM FOR BESKRIVELSE AV ARTSSAMMENSETNING OG STØRRELSFORDELING I KOMMERSJELT NOTFISKE.

A PROTOTYPE STEREO-CAMERA SYSTEM FOR IDENTIFICATION OF SPECIES COMPOSITION AND SIZE DISTRIBUTION IN COMMERCIAL PURSE SEINE FISHING.

Undertittel (norsk og engelsk):

Leveringsrapport 4.1 til «Fangstkontroll i notfiske etter pelagiske arter» (FHF 901350)

Deliverable report 4.1 for «Catch Control in Purse Seine Fisheries for Pelagic Species» (FHF 901350)

Dato: 08.01.2021

Forfatter(e):

Mike Breen, Erik Schuster, Sigurd Hannaas, Jostein Saltskår [Havforskningsinstituttet, HI]

Eirik Anfindsen Solberg and Magnus Rogne Myklebost [Mohn Technology]

Distribusjon: Leveringsrapport til Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF)

Oppdragsgiver(e): Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF)

Oppdragsgivers referanse: 901350

HI Prosjektnr: 15130

Program: Norskehavet

Programleder(e): Bjørn Erik Axelsen

Forskningsgruppeleder(e): Svein Løkkeborg (Fangst)

Antall sider: 56

Sammendrag

For pelagiske arter som makrell (*Scomber Scombrus*) og sild (*Clupea Harengus*) er fangstverdien sterkt påvirket av den gjennomsnittlige fiskestørrelsen. En fangst bestående av flere arter gir ytterligere redusert verdi på fangsten og påvirker i tillegg fartøyets kvoter negativt. Uønsket fangst (for eksempel undermåls fisk eller ulike arter i samme nothal) kan bli sluppet ut fra noten i en prosess populært kalt «slipping». Dersom slippingen gjennomføres på feil måte, kan fangsten bli stuert for tett sammen, og en betydelig andel av fisken som slippes risikerer i verste fall å ikke overleve. For å fremme bærekraft og etterleve reguleringer i disse fiskeriene ved å redusere dødelighet hos uønsket fangst, er det ønskelig å kunne undersøke både artssammensetning og gjennomsnittlig individstørrelse i fangsten.

Dette prosjektet har undersøkt hvor nøyaktig et stereokamerasystem (Intel RealSense D435i, med Mohn Technology *Measure* måleprogramvare) kan måle lengden på individuelle makrell, både i kontrollerte forsøk i merd og i kommersielt fiske med snurpenot. I tillegg ble to ulike plattformer for utplassering av stereokameraet testet; en probe (*Stereo Catch Monitoring Probe*, «S-CMP») som skytes ut med luftdrevet kanon dit man ønsker den plassert i nota, og en fjernstyrt undervannsfarkost (ROV, *Remotely Operated Vehicle*) kalt «FishBot 2».

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 % feilmargin for alle forsøkene, og under 5 % for flertallet av forsøkene. I de kontrollerte merd-forsøkene ble det til og med 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-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 føre 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, *Autonomous Underwater Vehicle*).

For videreutvikling av dette stereokamerasystemet som et verktøy for å måle en fiskestims gjennomsnittsstørrelse og artssammensetning i 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 gaffellengden 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 datasyn/*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 drivstoff forbruk.

Summary

The catch value for pelagic species (e.g. mackerel, *Scomber scombrus*, and herring, *Clupea harengus*) is strongly influenced by the average individual size of the fish. Moreover, mixed catches composed of different species can further reduce catch value, as well as adversely affect a vessel's quota. Unwanted catches (i.e. undersized and/or mixed species) are frequently released from purse seine via a process calling "slipping". If slipping is conducted badly, the catch can become overcrowded in the net, which can result in significant mortalities in released fish. To promote sustainability and compliance in these fisheries, with respect to reducing unutilised mortality, it would therefore be advantageous to be able to characterise the catch in terms of both species composition and mean individual size.

This project has investigated the accuracy and precision with which a stereo camera system (Intel RealSense D435i, with Mohn Technology Measure software) can measure individual mackerel length during controlled cage experiments and in commercial purse seine fishing operations. Also assessed was the performance of two different platforms for deploying the stereo camera in the target schools of mackerel: a Stereo Catch Monitoring Probe (S-CMP) and a stereo ROV ("FishBot 2").

The results from these trials have demonstrated that both the Stereo ROV ("FishBot 2") and Catch Monitoring Probe (S-CMP), and supporting MT Measure software, were capable of estimating the mean length of target schools with less than 10% error for all estimates, and less than a 5% error for the majority. Indeed, measurement errors of less than 1% were observed during controlled cage trials. Analysis of a standard-length test-bar confirmed that the camera system had a systematic positive bias of length estimates with increasing distance from the camera. Therefore, there is capacity to further improve this system with respect to both accuracy and precision of measured length. Solutions for addressing this include improved stereo calibration and validation protocols, as well as increasing the inter-sensor (camera) baseline. To be able to accurately estimate fish size in terms of mean individual weight, the usual metric used by the pelagic fishing industry, it will also be necessary to develop methods for updating standard length-weight relationship models with accurate local and seasonal data, in real-time.

The current deployment platforms (S-CMP and ROV) are functional as research platforms for the development of the stereo camera system. The ROV was consistently able to get measurements closer to the mackerel than the S-CMP. Despite this and the distance related bias, there was no apparent difference between the two platforms with respect to overall accuracy and precision of estimates. However, these platforms are likely to be suboptimal in a commercial fishery because of the limited range they can operate from the fishing vessel, which necessitates the vessel approaching the target school at close range at the risk of inducing evasion responses in the fish. Development of stealthy approach tactics by the vessels may facilitate this strategy. However, the ideal system would likely use a platform that can inspect and characterise a target school at a range of 500-1500 m from the fishing vessel, e.g. a drone, with deployable probe, or an autonomous underwater vehicle (AUV).

For the further development of this stereo camera system as a tool for characterising target schools (in terms of species composition and mean size) during commercial purse seine fishing operations, it is recommended that:

- Calibration and measurement validation protocols are further developed to minimise any distance related bias in the measurement estimates.
- Increasing the inter-sensor baseline to further improve measurement accuracy is investigated.
- Methods are developed for enabling the use of stereo-camera technology in low light conditions, to allow the system to be used during night fishing, e.g. using artificial light sources that do not affect the behaviour of the target fish.
- Additional morphological metrics to fork length are estimated from stereo images and used to develop stochastic models for more accurate prediction of individual weight.
- Methods are developed for producing size estimates for the fishers in a timescale that will enable them to make operational decisions about the target catch (e.g. machine vision).
- Alternative deployment platforms are developed that can work at a range of 500-1500 m from the fishing vessel, e.g. a drone, with deployable probe, or an autonomous underwater vehicle (AUV).

The successful development of an accurate and precise stereo camera system for characterising target schools, in terms of both species composition and mean individual size, will promote both sustainability and compliance in commercial purse seine fisheries. It will enable fishers to avoid taking unwanted catches into their nets, and therefore eliminate the potential for mortality in any released catches. Moreover, by avoiding unnecessary setting of the net, considerable savings could be made in terms of fuel usage and associated carbon footprint.

Innholdet

Sammendrag	ii
Summary	v
1 Bakgrunn	1
2 Teknisk beskrivelse av hovedteknologier	4
2.1 Stereokamera og databehandling	4
2.1.1 D435i dybde kamera	4
2.1.2 Kamerakalibrering	6
2.1.3 Stereomåling – beskrivelse av metode og programvare	9
2.2 Plattform for observasjoner	11
2.2.1 Valg av observasjonsplattformer	11
2.2.2 Stereo-probe system (hus og telemetri)	11
2.2.3 FishBot ROV [Mohn Technology].	17
3 Sammendrag av nøkkelaktiviteter og resultater	19
3.1 Demonstrasjon av nøyaktighet og presisjon i stereomålinger	19
3.1.1 Målinger av makrellstimer i fangenskap	19
3.1.2 Målinger av en standard målestav	20
3.1.3 Målinger av vill makrell i et kommersielt fiskeri	23
3.2 Forsøk for å undersøke observasjonsplattformenes funksjonalitet	27
4 Discussion	30
4.1 Størrelsesestimering - Nøyaktighet og presisjon	30
4.1.1 Hvilken nøyaktighet og presisjon bør vi ta sikte på å utvikle for et stereomålingssystem for bruk i kommersielle fiskerier?	30
4.1.2 Hvordan kan nøyaktighet og presisjon forbedres?	31
4.2 Teknologiske suksesser og utfordringer	34
4.2.1 Stereo kamera system	34
4.2.2 Distribusjonsplattformer	36
5 Konklusjoner og anbefalinger	41
6 Anerkjennelser	43
7 References	44

1 Bakgrunn

Notfiske er en metode som brukes i fiske etter pelagisk stimfisk, for eksempel makrell (*Scomber scombrus*), sild (*Clupea harengus*) og sardiner (*Sardina pilchardus*) (Marçalo et al, 2019). Globalt har notfiske vært en av de mest produktive fiskemetodene de siste seks tiårene, og står for omtrent en fjerdedel av den globale fangsten etter vekt (Watson og Tidd, 2018). I Norge i 2019 var totallandinger av makrell og sild henholdsvis 159 000 tonn og 562 000 tonn, og utgjorde 29 % av totallandingene for alle arter (etter vekt) og 23,5 % (5 083 MNOK) av total landet verdi (21 637 MNOK) (SSB, 2020). Fangstverdien for disse pelagiske artene påvirkes sterkt av den gjennomsnittlige individuelle størrelsen på fisken (Breen et al, 2012; Marçalo et al, 2019). Videre kan blandede fangster bestående av ulike arter redusere fangstverdien, samt påvirke fartøyets kvote negativt.

Uønskede fangster (det vil si fisk under minstemål og / eller blandede arter) slippes ofte fri fra noten i en prosess kalt «slipping» (Breen et al, 2012; Marçalo et al, 2019). Hvis slippingen gjennomføres feil, kan fangsten bli stuet for tett sammen, og en betydelig andel av fisken som slippes kan ha redusert sjanse til å overleve, eksempelvis for makrell (Lockwood et al. 1983; Huse og Vold 2010), sild (Tenningen et al. 2012) og sardin (Marçalo et al. 2006; Marçalo et al. 2010). I Norge er det ulovlig å slippe uønsket fangst dersom det er lite sannsynlig at fisken overlever (Dyrevelferdsloven, 2009). Norge (NSFR, 2014) og EU (EU., 2014a & b) har derfor vedtatt forskrifter for å kontrollere praksisen med å slippe ut fisk, nettopp for å sikre at uønsket fangst slippes ut før sjansen for overlevelse blir redusert i større grad.

For å fremme bærekraft og lette etterlevelse av reguleringer i disse fiskeriene, og da særlig ved å redusere dødeligheten hos ubenyttet fangst, er det ønskelig å kunne undersøke både artssammensetning og gjennomsnittlig individstørrelse i fangsten. I tillegg kan det gjøres betydelige besparelser når det gjelder drivstoffbruk og tilhørende karbonavtrykk ved å unngå unødvendige notkast (dert brukes f.eks. omtrent 600 liter diesel per kast; norsk fiskeskipper, pers. komm.).

Under pelagisk fiske utføres søk etter fangst og inspeksjon av målstimer hovedsakelig med hydroakustisk utstyr, det vil si ekkolodd og flerstråle sonar (Ben-Yami, 1994; Tenningen et al, 2017). Disse redskapene gir fiskeren informasjon om stimens hastighet, retning og omtrentlige størrelse. Med utvikling av splitbeam ekkolodd og bredbånds ekkoloddteknologi utvikles også metoder for å estimere den omtrentlige størrelsesfordelingen av fisk i en stim (Imaizumi et al, 2016). Nøyaktige akustiske estimater av biomasse og størrelsesfordeling i en stim er imidlertid avhengig av veldefinerte målstyrker (*Target Strength*, TS) for de forskjellige artene. Utfordringen ligger i at det blir stor variasjon i akustisk tilbakespredning på grunn av endringer i fiskenes relative orientering i strålen (Cutter og Demer, 2007; Holmin et al., 2012) og målstyrken TS er direkte påvirket av dette.

Stereokamerateknologi kan være et effektivt alternativ til hydroakustikk for å estimere størrelsesfordeling og karakterisering av artssammensetning i fiskestimer før fangst, og i en tidlig fase av fangstprosessen (Shortis et al, 2013; Underwood et al, 2014; Hao et al, 2015; Williams et al, 2016; Boldt et al, 2018). Hvis systemet utplasseres på en diskret plattform, kan det fungere som et ikke-dødelig og lite forstyrrende verktøy for å karakterisere stimer av fisk og deres oppførsel.

I tillegg gir slikt utstyr muligheten for permanente bildeopptak som letter nøyaktig og repeterbar måling av fisk, samt beskrivelse av atferd, for å bistå forskning og utvikling av overvåkingsteknologi og -metoder (Harvey et al. 2010). Disse dataene kan også brukes til verifisering og kalibrering av det akustiske systemet, (f.eks. artsidentifikasjon, måling av størrelsesfordeling, lokal tetthet, orientering og polarisering av fisk). Alternativt kan dataene brukes til å beskrive atferd som kan gi informasjon om velferden til individene i fangsten (Anders et al, 2019; Breen et al, 2020).

Men bruk av stereokamerasystemer i kommersielt fiskeri har flere utfordringer. For det første har stereofotogrammetri (bruk av stereokamera) i hovedsak blitt brukt som et vitenskapelig verktøy, med noen utviklingsprogrammer for bruk i akvakultur (f.eks. Torisawa et al, 2011). For å overføre slik teknologi til et kommersielt fiskeri, vil det være nødvendig å utvikle robuste og pålitelige stereokamerasystemer som enkelt og raskt kan settes ut, betjenes og tas om bord igjen, samtidig som nøyaktigheten og presisjonen som kreves for å karakterisere målstimen beholdes eller sågar forbedres. For det andre må også utplasseringsplattformen være pålitelig og robust, samt stabil nok til å sikre kvalitetsbilder fra stereokameraene. Videre må plattformen få kameraet nær nok målfisken slik at informative bilder kan gi gode måleresultater, samtidig som man unngår å forårsake fluktnespons fra stimen som igjen vil redusere bildekvaliteten og tilgjengelig tid for å samle tilstrekkelig datamengde fra stimen. En siste utfordring er at tilgjengelige stereokamerasystemer først og fremst er utviklet for å måle fiskelengde. Imidlertid oppgir pelagisk fiskeindustri vanligvis individuell størrelsesfordeling innenfor en fangst i masse (gram, g). Derfor vil det være nødvendig å utvikle metoder som nøyaktig kan estimere individvekt fra fiskelengde, i tillegg til andre biometriske parametere (se f.eks. Beddow et al, 1996).

I prosjektene «CRISP» (NFR), «Beste praksis for slipping fra not» (FHF 900999) og «RedSlip: Reducing slipping mortality in purse seines by understanding interactions and behaviour» (NFR 243885), utviklet Havforskningsinstituttet en plattform for å utplassere et kamerasystem i stimer fanget i nøter (ved hjelp av en probe som er skutt ut av en luftkanon) (Breen et al, i.d.). I prosjektet «Fangstkontroll i notfiske etter pelagiske arter» (FHF 901350), var ett av delmålene å videreutvikle denne plattformen til et stereokamerasystem for innsamling av stereofotogrammetridata i kommersielle notfiskerier. For å løse dette har Havforskningsinstituttet samarbeidet med Mohn Technology, et kommersielt forsknings- og utviklingsselskap som har stereokameraløsninger for å identifisere og måle fisk. Instituttet har

tilpasset og modifisert et av Mohn Technologys stereokamerasystemer til å bli utplassert som en del av fangstovervåkingsproben. I tillegg har instituttet stilt opp med forskningsfasiliteter og gitt dem mulighet til å teste ut sitt eget ROV-baserte utplasseringssystem for stereokameraet, «FishBot».

Vellykket utvikling av et nøyaktig og presist stereokamerasystem for å karakterisere fiskestimer, både når det gjelder artssammensetning og gjennomsnittlig individuell størrelse, vil fremme både bærekraft og lette etterlevelse av reguleringer i kommersielle notfiskerier. Et velfungerende system vil gjøre det mulig for fiskere å unngå å sette nøta på stimer med uønsket karakteristikk, og dermed eliminere potensialet for dødelighet i eventuelle frigjorte fangster.

Formålet med denne rapporten er å:

- Beskrive prototypesystemer (stereoprobe- og ROV-systemer), inkludert:
 - Stereokamerasystem med metode for analyse av data fra stereokamera og støtteprogramvare, og
 - utplasseringsplattformer – *Stereo Catch Monitoring Probe (S-CMP)* og Stereo ROV («FishBot 2»).
- Oppsummere forsøk gjort for å vurdere funksjonaliteten til distribusjonsplattformene med tanke på å identifisere operasjonelle utfordringer og begrensninger.
- Demonstrere stereo-analysesystemenes nøyaktighet i estimering av gjennomsnittlig individuell størrelse (lengde og vekt) for fisk i en observert populasjon (merd- og sjøstudier).
- Diskuter og gi anbefalinger for videreutvikling av teknologi og metoder for å estimere gjennomsnittsstørrelse (lengde og vekt) av en fiskebestand ved hjelp av stereofotogrammetri.

2 Teknisk beskrivelse av hovedteknologier

2.1 Stereokamera og databehandling

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 Depth Camera-serien "viste seg å ha fremragende egenskaper sammenlignet med andre trianguleringsbaserte systemer" (Giancola et al, 2018).



Figur 1 - Intel RealSense Dybdekamera D435i. [Bilde: Intel].

2.1.1 D435i dybde kamera

RealSense dybdekameraer bruker «stereo visjon» til å beregne dybde i et visualisert rom, hvorfra dimensjoner på objekter innenfor dette rommet kan anslås. Implementeringen av stereovisjonen består av en venstre bilde sensor, høyre bilde sensor og en infrarød prosjektør som kan slås av. Den infrarøde prosjektøren projiserer et ikke-synlig statisk IR-mønster for å forbedre dybdenøyaktigheten i situasjoner med lav tekstur. Venstre og høyre bilde sensor 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 pixler 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 dybdedata 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 pixler. 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; Keselman et al, 2017) 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 [Intel, 2020; Kesselman et al, 2017]:

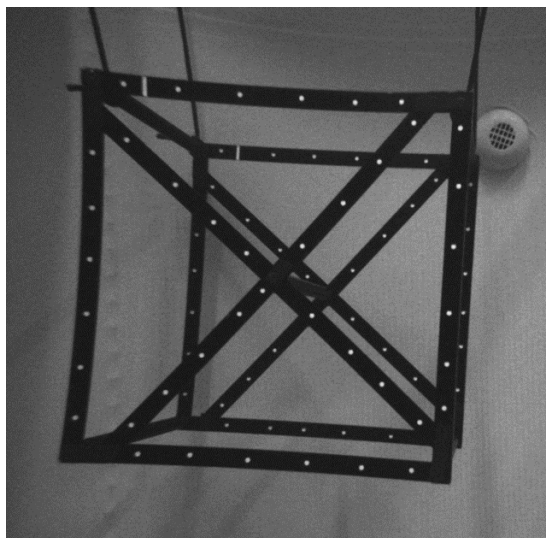
- Hovedkomponenter: Intel® RealSense™-modul D430 + RGB-kamera, Intel® RealSense™ Vision-prosessor D4
- Bruk Miljø: Innendørs / Utendørs
- Lengde × Dybde × Høyde: 90 mm × 25 mm × 25 mm
- Nominell separasjon ved baseline: 50 mm
- Bildesensorteknologi: Global lukker, 3µm × 3µm pikselstørrelse
- RGB-sensor FOV (H × V × D): 69,4° × 42,5° × 77° (±3°)
- RGB sensoropløsning og bildefrekvens: 1920 × 1080, 30 fps
- Dybdeteknologi: Aktiv IR Stereo
- Dybde FOV (DxVxH): 86° × 57° (±3°)
- Dybdeopløsning 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



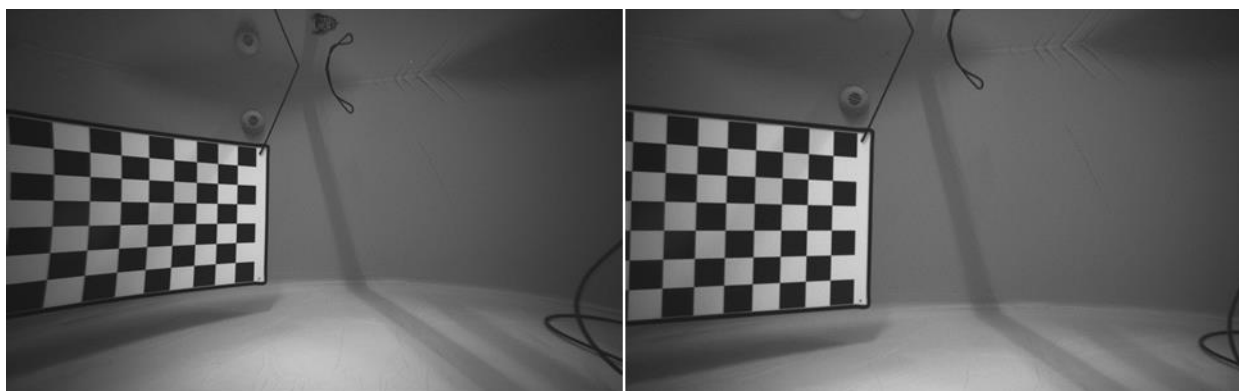
Figur 2 – Eksplosjonsvisning av hovedkomponenter i Intel RealSense Dybde kamera D435i. [Bilde: Intel]

2.1.2 Kamerakalibrering

For å kalibrere et stereokamera settes et objekt med veldefinerte referansepunkter (f.eks. en kube eller et sjakkbrett med forhåndsdefinerte punkter) foran kameraet i forskjellige posisjoner og retninger i kameraets synsfelt. Dedikert programvare, ved hjelp av triangulering og epigeometriske metoder, kan deretter brukes til å analysere de resulterende bildene for å bestemme kalibrerings- og kameraorienteringsparametere (f.eks. baseseparasjon, brennvidde og linseforvrengninger) (Boutros et al, 2015; Giancola et al, 2018) Det er viktig å merke seg at valget av kalibreringsmetode kan påvirke nøyaktigheten og presisjonen til stereogeometri (Boutros et al, 2015). I en direkte sammenligning av kalibreringskubemetoden (SeaGIS, 2020) og en checkerboard-metode (Bouget, 2013), viste Boutros et al (2015) at et kamera kalibrert ved hjelp av kubemetoden hadde overlegen nøyaktighet og presisjon sammenlignet med to planarkalibreringsmønstre (det vil si A3- og A4- checkerboards) i en rekke typiske operasjonsavstander mellom kamera og objekt.

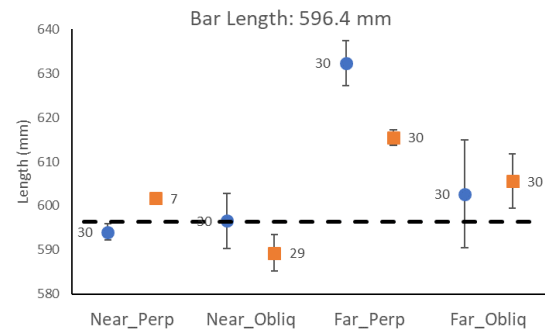
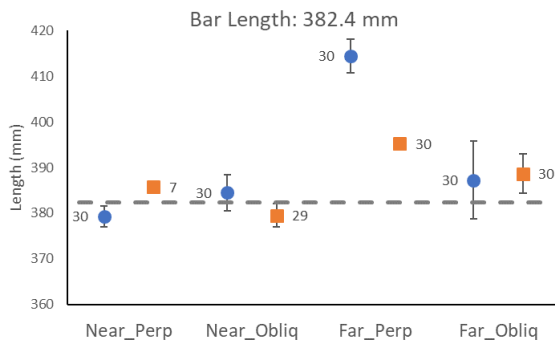
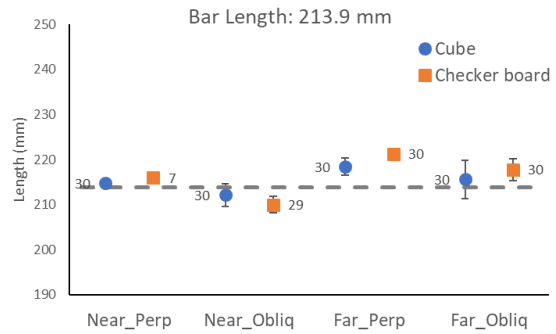
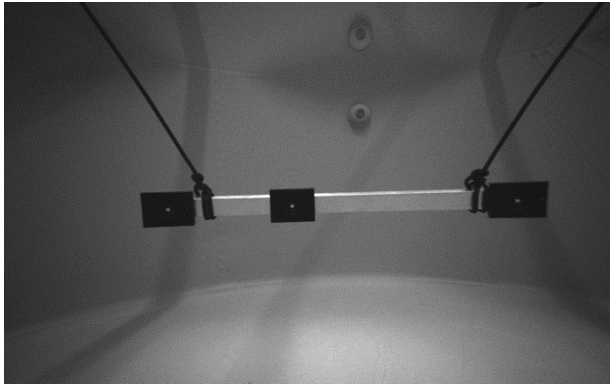


Figur 3 – Rå-bilde av SeaGIS kalibreringskuben, som viser noe forvrengning av kubens på grunn av optisk avvik på den ytre venstre kanten av bildet. Under kalibreringsprosessen identifiseres hvert av de hvite punktene som er synlige i bildet, og respektive plassering registreres i de to bildene (venstre og høyre) ved hjelp av SeaGIS CAL-programvaren [bilde: Mohn Tech.].



Figur 4 - Checkboard kalibreringsbilder: pre-kalibrering, med optisk avvik på den ytre kanten av bildet (venstre); og etter kalibrering, med uforvrent bilde av checkerboard (høyre) [bilder fra Mohn Tech].

Kalibrering av kameraet ble utført i Mohn Technology sin testtank på Laksevåg. I utgangspunktet ble to kalibreringsmetoder brukt og sammenlignet for så å kunne velge den beste metoden for videre bruk i prosjektet. Den første metoden var SeaGIS-metoden med en kalibreringskubus (SeaGIS, 2020). Den andre var en proprietær metode utviklet av Mohn Tech, som bruker et plant kalibreringsmønster (i form av et checkerboard) i kombinasjon med egenutviklet programvare basert på Intel's RealSense åpne kildekode.



Figur 5 - gjennomsnittlig estimerte lengder av avstander mellom tre merkede punkter på en standard test-bar (øverst til venstre); kort: 213,9 mm (øverst til høyre); medium: 382,4 mm (nederst til venstre); og lang: 596,4 mm (nederst til høyre) - på to avstander fra kameraet (nær: ~ 0,5-1,0m; og fjern: ~ 1,2-1,7m) og to orienteringer (vinkelrett og skrå). [Bilde av test-bar: Mohn Tech].

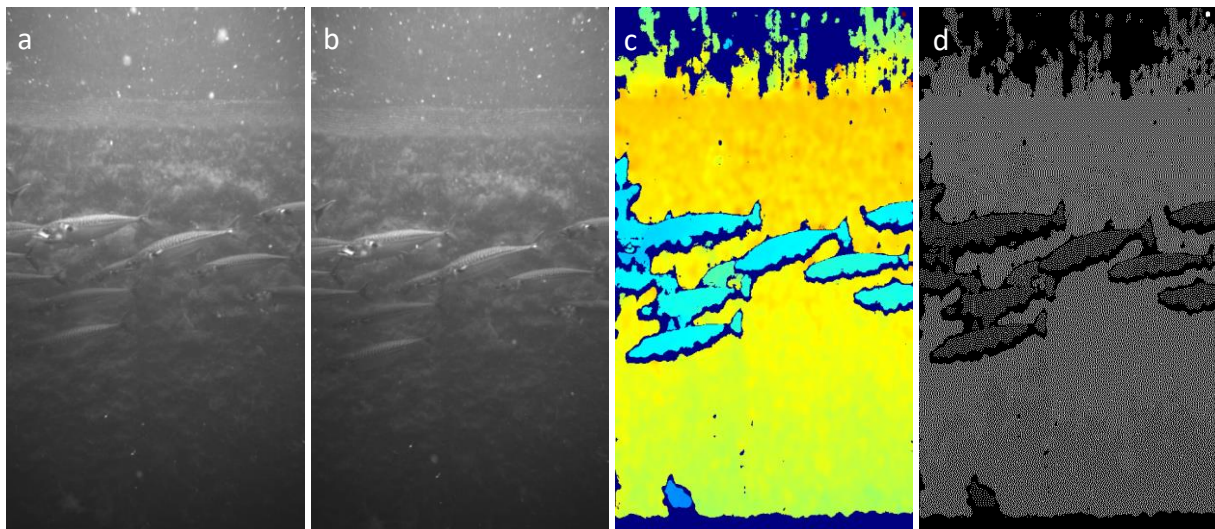
SeaGIS Event Measure-programvaren, med kubekalibreringsmetode, gav de mest nøyaktige estimatene for kort testlinjelengde (213,9mm) og også på nært hold (~0,5-1m) med medium og lang testlinjelengde (figur 5). Det oppstod imidlertid en uttalt feil ved bruk av denne metoden ved måling av middels og lang testlinjelengde på lengre avstand ("Langt": ~ 1,2-1,7m), spesielt når testlinjen var vinkelrett på kameraet. Mohn Tech-måleprogramvaren, med checkerboard-kalibreringsmetoden, produserte vanligvis mer presise, men mindre nøyaktige estimater, med mindre uttalt feil på lengre avstand. Videre var det betydelig mer tidseffektivt å gjennomføre kalibreringen med checkerboard metoden. Denne metoden (filming og etterbehandling) ble fullført på ~ 1 time, mens med kubemetoden tok rundt 4-6 timer å filme og etterbehandle data. I tillegg var kalibreringsparametrene generert av de to metodene forskjellige og å oversette SeaGIS-parametrene til parametrene som brukes av Mohn Tech's measurement software (seksjon 2.1.2) var en arbeidskrevende øvelse. Basert på disse resultatene ble det besluttet å bruke checkerboard kalibreringsmetoden sammen med Mohn Tech's kalibreringsprogramvare for alle påfølgende kalibreringer under prosjektet.

2.1.3 Stereomåling – beskrivelse av metode og programvare

Programvaren (Mohn Technology Measure) som brukes til å måle objekter i bildene fra stereokamerasystemet (seksjon 2.1.1) er utviklet av Mohn Tech. Dette er således deres proprietære kode som derfor er ikke gjengitt og diskutert i denne rapporten på grunn av kommersiell konfidensialitet.

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).

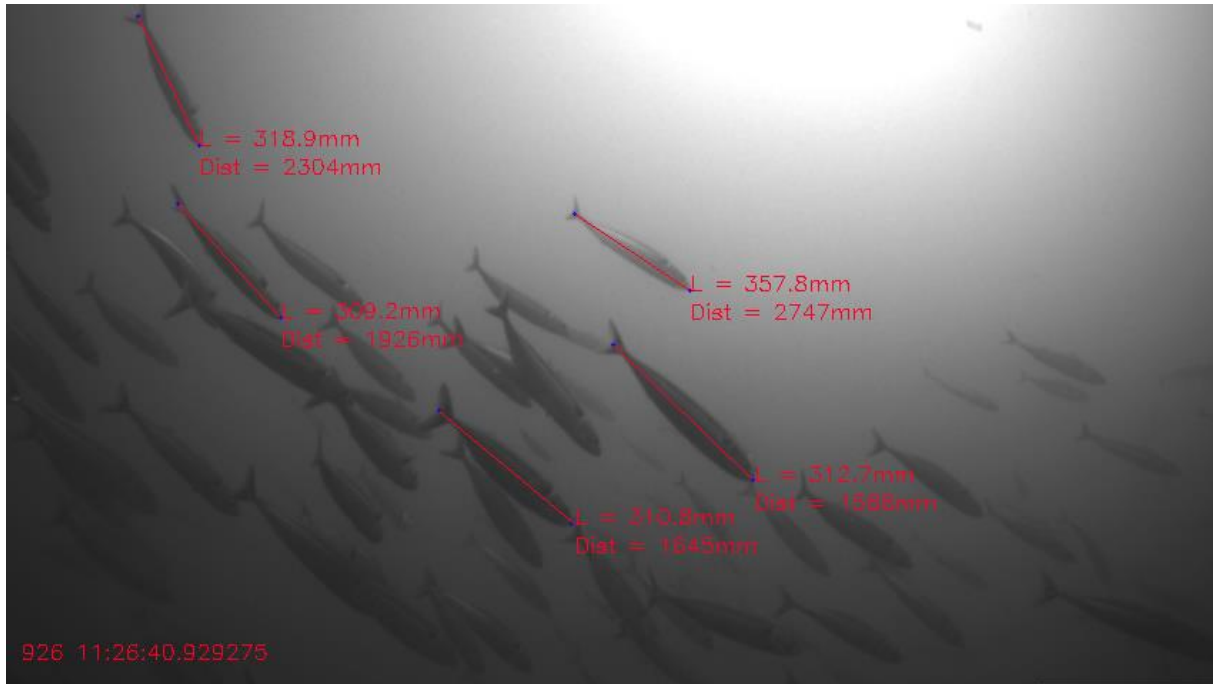
Oppsummert, etter at opptak var gjort og bildene lastet ned fra stereokamerasystemet, ble målinger utført manuelt av en observatør ved hjelp av en datamaskin. Merk – dersom prototypen skal videreutvikles til et kommersielt produkt vil denne prosessen automatiseres og bli utført i sanntid. For hvert bilde som skulle analyseres, fikk observatøren presentert et bilde fra det infrarøde (IR) bildeparet (#1, venstre side), sammen med de tilsvarende dybde- og avstandskartene generert av Mohn Technology måleprogramvaren, basert på korresponderende dybderamme fra Intel RealSense-kameraet (figur 6).



Figur 6 – Et eksempel på korresponderende bilder fra Mohn Technology Measure analyse programvarepakke: 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).

Observatøren brukte deretter musepekeren til å identifisere punktene som skal måles, ved å klikke på dem i IR-bildet. På en fisk var dette definert som nesens og halen (i gaffelen på halen). Measure-programvaren oversatte deretter dette ved hjelp av epipolar geometri til tilsvarende posisjoner på dybde-/avstandskartene, som igjen ble vist på IR-bildet som blå punkter. Ut i fra dette brukte Measure-programvaren eukleidisk metode for å beregne avstanden mellom

de to målepunktene, samt medianavstanden mellom kameraet og målepunktene. Resultatene ble deretter vist på skjermen (figur 7). Hvis de epipolare punktene på IR-bildet ikke samsvarte godt med de valgte målepunktene (som angitt med en linje på IR-bildet), eller hvis det var andre feil (f.eks. en null-lengdemåling), ble målingen neglisjert. Ellers ble posisjons-, avstands- og lengdedataene registrert i en csv-fil for senere statistisk analyse.



Figur 7 – Eksempel på stereomålinger på et bilde av en makrellskole tatt under sjøforsøk på et kommersielt fiskefartøy.

Målinger utført i 2019 brukte en annen prosedyre for å beregne avstanden til objekter i bildet. Lav oppløsning på avstandsmålingen forårsaket at målinger hadde en progressivt økende feil med hensyn til avstand (fra ~ 10mm ved 1m til ~ 500mm ved 3m). Målealgoritmene ble forbedret i 2020 for å fjerne denne grupperingen.

2.2 Plattform for observasjoner

2.2.1 Valg av observasjonsplattformer

Den første observasjonsstrategien var å gjennomføre observasjoner av fangsten under innhaling av noten. I prinsippet ville dette gi fiskeren mulighet til å se på artssammensetning og individstørrelser på et tidlig tidspunkt og gjøre det mulig å avgjøre om fangsten skulle beholdes eller frigjøres uten å skade fisken på grunn av sammenpressing i not.

For å kunne samle informative data fra fangster under fiskeoperasjoner med snurpe-not (fra inne i nettet), må observasjonsinstrumenter settes inn minst 15-20m fra fartøyet. Dette er for å unngå fare for at instrumentet skal vikle seg inn i nota. For å oppnå dette ble to distribusjonsplattformer, en passiv og en aktiv, valgt ut til forsøk i kommersiell fiskedrift:

- Probe - en pneumatisk kanon ble brukt til å skyte en probe som inneholder instrumentpakken inn i noten. Proben åpnet seg deretter, og senket instrumentpakken ned i fangsten på en forhåndsbestemt observasjonsdybde (ca. 5-15m), hvor den passivt drev rundt. For å ha kontroll over avstand til fastøyet brukes en tynn line av spectra. Kommunikasjonen med instrumentpakken i proben var via WiFi, med en antenne montert i flotøren som ligger i havflaten.
- Fjernstyrt enhet – en liten, robust ROV ble senket ned fra siden av fartøyet inn i noten. Derifra kunne operatøren aktivt oppsøke stimen med fisk som fantes i noten. Kommunikasjonen med ROV var via kabel.

Det ville vært fordelaktig å kunne gjøre observasjoner før kasting. Da kan potensielt uønskede fangster unngås og det kan medføre betydelige besparelser i forbruk av drivstoff (~ 600 liter per kast). På den andre siden vil det by på utfordringer å komme nært nok (>2 m) til å kunne få gode observasjoner fordi dette krever manøvrering mot og å ligge over stimen i tilstrekkelig tid til å samle nok data for å kunne ta en avgjørelse. Dette er en manøver som sannsynligvis vil initiere en unnvikelsesrespons av stimen (Misund, 1990 og 1992). Både proben og ROV-plattformene var egnet for bruk i et slikt scenario. I tilfelle av med proben, ville det være unødvendig å skyte med kanonen, da den bare kunne senkes over siden av fartøyet.

2.2.2 Stereo-probe system (hus og telemetri)

For å kunne samle informative data fra fiskestimer i notfiske, må instrumenter settes inn minst 15-20 meter fra fartøyet (Breen et al, n.d.). For å oppnå dette brukes en pneumatisk kanon til å skyte en "probe" (CMP - Catch Monitoring Platform) som inneholder instrumenter ut i havet. En Vónin Line-thrower L-75. Ved et arbeidstrykk på 10 bar er det mulig å distribuere CMP (veier ~ 5kg) mer enn 30m fra fartøyet; avhengig av vindforhold og banevinkel. Denne distribusjonsmåten bestemmer formfaktor og dimensjonene til CMP-huset og komponentene den inneholder.



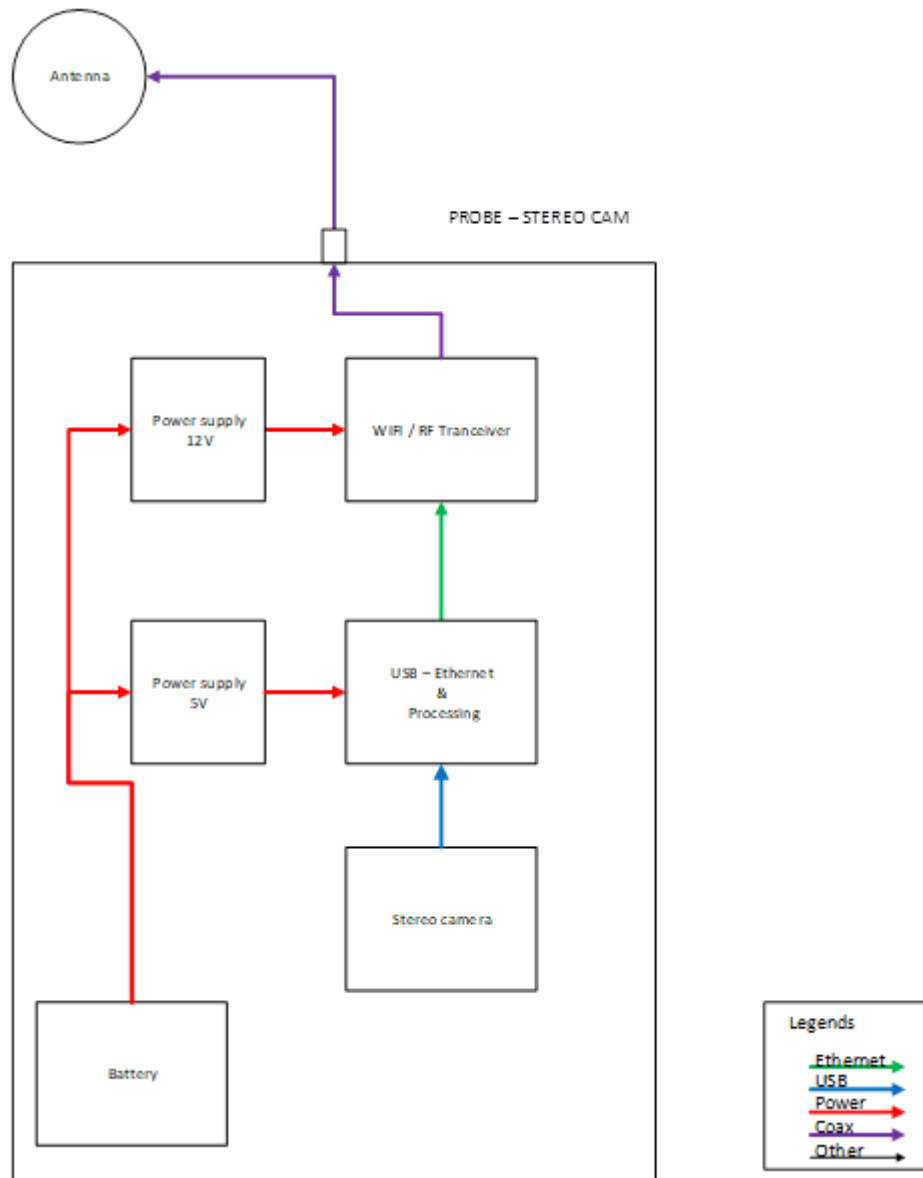
Figur 8 –Oversikt over deler i Stereo-Catch Monitoring Proben (S-CMP) .

2.2.2.1 Vanntett hus

Hovedformålet med huset er å beskytte kameraet og elektronikken under bruk. CMP-huset har to hoveddeler: en overflateflotør og instrumentpakken (figur 8). I tillegg til å være lett og robust (for å tåle kreftene ved å bli skutt ut med den pneumatisk kanonen), ble huset også designet så slank og glatt som mulig for å minimere risikoen for å henge fast i nota ved bruk.

CMP-S-proben er konstruert med to lag. Den ytre delen er av 100mm PE (Poly-etylen) rør, med et indre rør (vanntett hus) i to deler, hvor den ene inneholder telemetri og UP datakort, mens den andre inneholder kamera og batteri. Det indre røret er konstruert i POM, med en mellomflens og to endeflenser i aluminium. Det indre huset er gjort vanntett med o-ringer på alle flensene. Mellomflensen holder all innvendig hardware, slik at de to indre rørene kan skyves fra hverandre for å få tilgang til HW inni. Tre gjengede stenger holder huset sammen.

Huset er trykktestet til 37 meter.



Figur 9 – Oversiktsdiagram for stereofangstovervåkingsplattformen (CMP-S) viser forbindelsene mellom de viktigste elektroniske komponentene.

2.2.2.2 AAEON UP Bord

På grunn av den begrensede plassen som er tilgjengelig i S-CMP-huset, var det ikke mulig å benytte det interne prosessorkortet som ble brukt på ROV ("FishBot 2") (det vil si et AAEON UP Squared Board). I stedet er det benyttet det mindre AAEON UP Board'et. Dette har høy ytelse og lavt strømforbruk og er pakket i "kredittkort" størrelse, med en Intel® Atom™ x5 Z8350 prosessor (Cherry Trail) på 64-bits og opptil 1,92 GHz. UP Board er designet med 4GB DDR3L RAM og 32GB eMMC. UP Boards CPU støttes med Linux gjennom UP-community. I vår applikasjon har prosessorkortet blitt satt opp med en Ubuntu linux distro som kjører ROS og Intel RealSense programvare som har USB-enhetsdriver for kamera, administrerer lagring av

bildestrøm lokalt på prosessorkortet, og også generere en komprimert video-strøm som kan distribueres eksternt over Wi-Fi- og vises på en PC.



Figur 10 - Bilde av AAEON UP-prosessor kort. [Bilde: up-board.org]

Funksjoner AAEON UP-CHT01:

- CPU Intel® Atom™ x5-Z8350 prosessor CPU frekvens opp til 1,84 GHz
- Minnetype innebygd DDR3L-1600
- Maks minnekapasitet 4 GB
- Innebygd eMMC 32 GB
- BIOS SPI BIOS - 64Mb flash
- Strømkrav 5V 4A
- Strømforbruk (typisk) <6 W (Soc SDP <2W)
- Dimensjoner (L x B) 85,6 x 56,5 mm (3,4 x 2,2")
- Driftstemperatur 0 ~ 60 °C (32 ~ 140 °F)
- Eksterne enheter:
 - Ethernet Realtek RTL8111G-CG
 - USB 2.0 x 4 USB 3.0 x 1 (Micro USB Type B, støtte USB 3.0 OTG)

2.2.2.3 Telemetri og antenne

RF-signaler som sendes ut nært havflaten kan være en utfordring på grunn av at refleksjoner fra overflaten blander seg med de direkte radiobølgene og fører til at RF signalet ikke kan mottaes. Ettersom antennen er montert i flotøren vil den av og til være svært nær overflaten og medføre at datatrafikken ikke mottaes. For å motvirke dette blir det brukt et Wi-Fi-system med høy effekt, 2X MIMO-sender/mottaker og en retningsstyrt antenne. Grensesnittet er Ethernet (100MB/s) og seriell (for eventuelt fremtidige instrumenter). Den totale rekkevidden for systemet er teoretisk 6 km med en datahastighet på rundt 25 MB/s.



Figur 11: Microhard pMDDL2450 med hovedkort [Bilde: Microhard]

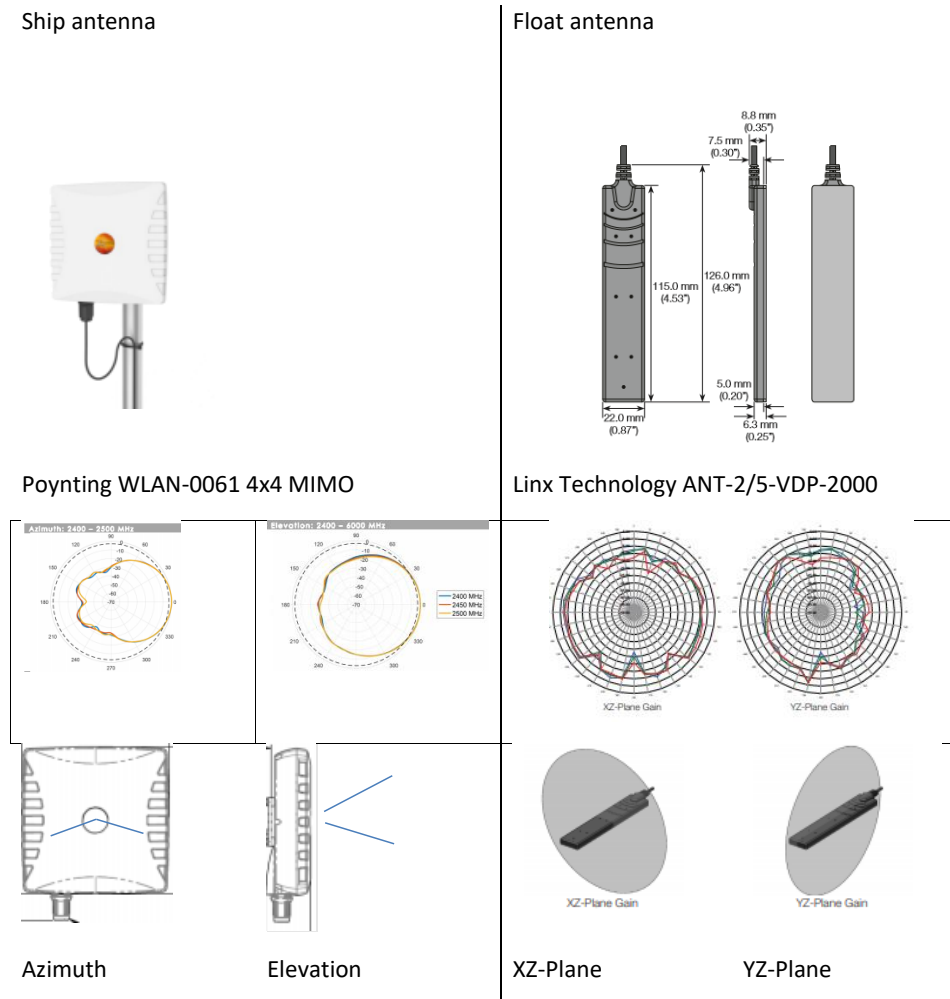
Pico MIMO Digital Data Link er en miniatyr 2,4 GHz trådløs OEM-løsning med høy effekt og 2x2 MIMO som gir en båndbredde og rekkevidde som trengs for komplekse dataintensive applikasjoner.

Funksjoner pMDDL2450:

- Robust 2X2 MIMO 2,4 GHz drift
- Opptil 25 Mbps lperf datahastighet @ 8 MHz kanal (-78 dBm)
- Ekstremt lite fotavtrykk og veldig lett
- Port for seriell kommunikasjon
- Doble 10/100 Ethernet-porter (LAN/WAN)
- Justerbar total sendereffekt (opptil 1 W)
- Grensesnitt via lokal konsoll, telnet og nettleser
- Temperatur: -40°F til 185°F (-40°C til +85°C)
- Fuktighet: 5-95%, ikke-kondenserende
- Vekt: 50g (OEM + Hovedkort)
- Dimensjoner: 50mm x 76mm x 18mm (OEM + Hovedkort)

2.2.2.4 Antenner.

Systemet er designet med en dipol antenne i probens flotør da denne typen antenne kan motta og sende i alle retninger. Om bord på skipet er det en retningsstyrt antenne som dekker styrbord side med en vinkel på 120 grader.



Figur 12 - Antenner og deres egenskaper: retningsantenne om bord på skipet (øverst til høyre); direktivitet for antenne om bord på skipet (nedre høyre); omnidirectional antenne i flotør (øverst til venstre); direktivitet for antenne i flotør (nederst til høyre). [Bilde til høyre: Poynting.Tech ; Bilde venstre: linxtechnologies.com]

Egenskaper for antenner:

- Forsterkning:
 - Retningsstyrt antenne: 9dBi, 120° med 30°.
 - Dipol antenne: 2dBi 360° med 120°.
- Effektbudsjett for radiolink +27dBm TX, -78 dBm RX -> 105dB
- 105dB gir en beregnet teoretisk avstand på 6km @ 2,4 GHz frekvens.

2.2.2.5 Batteri- og strømforbruk

Batteri som brukes er av Li-Po (Lithium Polymer) type. Det har en vekt per ampere ratio på 0,089 kg/A som er en viktig egenskap i forbindelse med vekten til proben.

Egenskaper batteri:

- Kapasitet: 6750mAh
- Spenning 14.8V
- Vekt: 605g
- Dimensjoner 135x42x44mm

Strømforbruk probe:

- Standby (batteri tilkoblet) – 350mA
- Drift (videoopptak og overføring - WiFi) - 520mA

Driftstid: $6750\text{mAh} / 520\text{ mA} = 13$ timer. Legger til en margin på 50% gir ca. 6 timers driftstid.

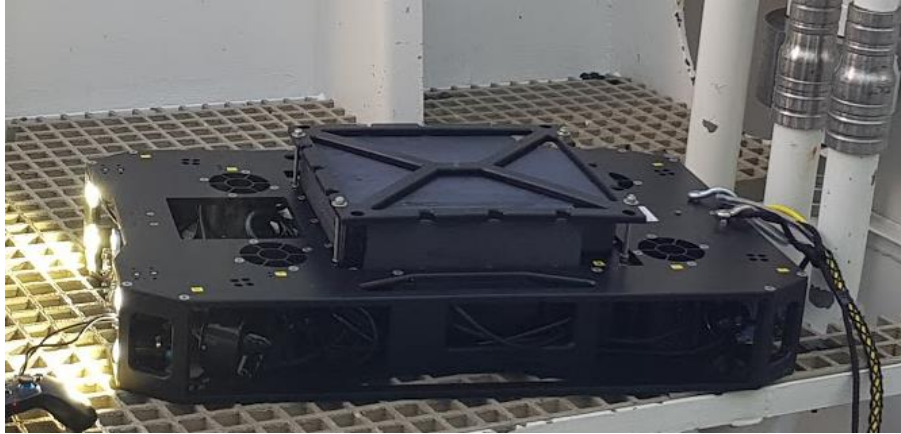
2.2.2.6 Ekstern datamaskin

En ekstern datamaskin brukes til administrasjon av hardware i proben. Denne eksterne datamaskinen kjører på samme Ubuntu distro som probens prosessorkort. Den kjører også ROS, som gjør det mulig for oss å se live stream video fra probens stereokamera. For å koble oss til proben bruker vi secure shell (SSH) som en ekstern pålogging til prosessorkortet. Dette gjør det mulig for oss å starte / stoppe opptak, administrere filer og gjøre filoverføringer fra systemet i proben.

2.2.3 FishBot ROV [Mohn Technology].

En ROV ble valgt på grunn av sin evne til å endre posisjoner under vann raskt, og på denne måten oppsøke fisken og opprettholde en passende avstand og orientering. ROV kan endre plasseringen og retningen raskt og nøyaktig slik at kameraet kan følge fisken i sin bevegelse. Den kan bygges for å ha en lang rekkevidde, både horisontalt og vertikalt i vannmassene. En ROV kan også legges til rette for en mer variert sensorpakke, da den er større enn mange andre alternativer, inkludert S-CMP.

De viktigste tekniske utfordringene var å ha et lett og robust fartøy, som ville gi en smidig og stabil plattform for stereokamerasystemet. Kjøretøyet må være enkelt å sette ut og hente opp på siden av fiskefartøyet. Den må også kunne operere over en lengre periode uten lading. ROV må være robust for eksponering mekaniske påkjenninger, hydrostatisk trykk og saltvann under drift.



Figur 13 – "Fish Bot 2" ROV plattform for Stereo-kamera system. [Bilde: Mohn Technology AS]

FishBot spesifikasjoner:

- Dimensjoner:(L x B x H) 0,8 x 0,5 x 0,25 m
- Vekt: ~ 30kg
- Antall motorer/ propellere: 8
- Dybdebegrensning: 50m

2.2.3.1 ROV Instrumentering

Et Intel RealSense D435(i) stereokamera brukes til å måle individuell størrelse på fisk (se pkt. 2.1.1). Live bilder fra kameraet ble overført til en monitor for å gjøre det mulig for ROV-piloten å lokalisere og optimalisere posisjonen av ROV i forhold til fiskestimen. Bildene ble også tatt opp på ROV-harddisken under drift. Det var bildene som ble målt manuelt etter opptakene ved hjelp av programvare utviklet av Mohn Technology AS (se pkt. 2.1.3).

For navigasjonsformål var ROVen også utstyrt med dybdemåler, gyroskopisk kompass og pitch-, roll- og yaw-sensorer. Disse dataene ble overført og gjort tilgjengelig for piloten samtidig som de lagres i systemet.

3 Sammendrag av nøkkelaktiviteter og resultater

Her gis et sammendrag av hovedaktiviteter og de viktigste resultatene, for å vise nøyaktigheten og presisjonen til et stereokamerasystem (Intel RealSense D435i, med Mohn Technology *Measure* måleprogramvare) som måler individuell makrellengde i kontrollerte merdeksperimentet og i kommersielt notfiskeri. To ulike plattformer for utplassering av stereokameraet i makrellstimer ble også vurdert: en sonde, *Stereo Catch Monitoring Probe* (S-CMP) og en stereo ROV ("FishBot 2"). Utfyllende detaljer om disse aktivitetene og resultatene er beskrevet i Breen et al, 2020b.

3.1 Demonstrasjon av nøyaktighet og presisjon i stereomålinger

Denne delen vil oppsummere flere forsøk som undersøkte nøyaktigheten og presisjonen til målinger gjort ved hjelp av stereokamerasystemet, utplassert ved hjelp av enten S-CMP eller Mohn Techs ROV, "FishBot".

Nøyaktigheten til en måling er hvor nær estimatet er til den sanne verdien. I disse studiene er målnøyaktighet beskrevet ved hjelp av "feil", som er definert som prosentavviket mellom den målte størrelsen på et objekt og objektets virkelige størrelse; der null er den mest nøyaktige, eller omvendt, jo høyere feilverdi (positiv eller negativ), jo verre er nøyaktigheten. Presisjon er definert som spredning av de målte verdiene rundt gjennomsnittsverdien og beskrives ved hjelp av 95 % konfidensintervaller (95% KI). Derfor vil et ideelt system, det vil si det aller mest nøyaktige og presise, ha en feil nær null og et svært lite konfidensintervall rundt den estimerte verdien.

Formålet med disse forsøkene var å undersøke nøyaktigheten og presisjonen til stereomålinger, med hensyn til objekter (det vil si en kalibrert målestav) og fiskebestander med kjente eller estimerte gjennomsnittlige individlengder. Eksperimentene ble utført ved Havforskningsinstituttets forskningsstasjon på Austevoll, samt under et forskningstokt om bord på M/S Fiskebas. Målet var å demonstrere at stereokamerasystemet er nøyaktig nok til å konsekvent estimere gjennomsnittlig lengde og vekt med en feil på mindre enn 10%. I tillegg undersøkte disse studiene faktorer som kan påvirke estimatenes nøyaktighet og presisjon, med det formål å redusere disse effektene.

3.1.1 Målinger av makrellstimer i fangenskap

Disse forsøkene undersøkte målefeilen for stereokamerasystemet, ved å bruke systemet til å måle lengden på makrell i innfangede stimer, og sammenligne den estimerte gjennomsnittslengden (med 95 % konfidensintervall) fra disse målingene med en nøyaktig måling av gjennomsnittslengden for den undersøkte stimen. Dette arbeidet ble utført i merdene 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)

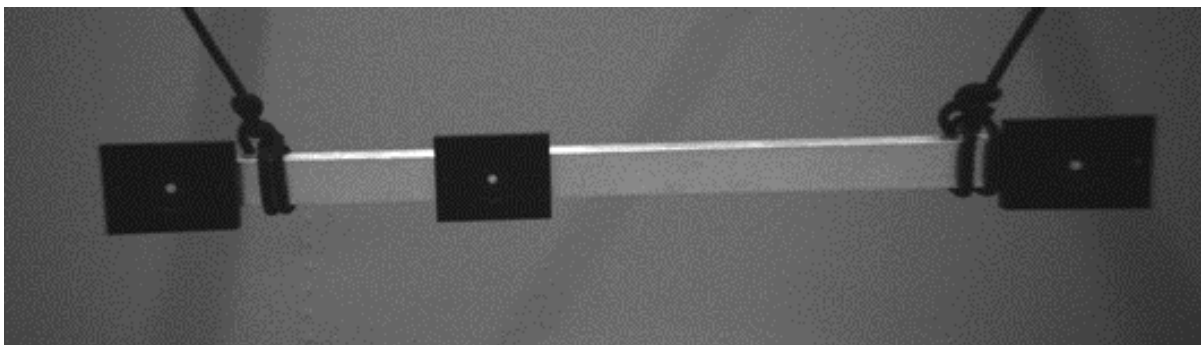
Forsøkene har vist at det under kontrollerte forhold er mulig å oppnå mindre enn 5 % målefeil ved å estimere den gjennomsnittlige lengden på makrell i en målstim ved hjelp av et Intel RealSense-basert stereokamerasystem (tabell 1). Det fremkom imidlertid noe usikkerhet i dybdemålingene (eller z-dimensjonen),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

Tabell 1 - Sammendrag av estimater for objektlengde og avstand til kameraet, hentet fra forsøkene på Austevoll

	Anslått lengde (i mm)						Anslått avstand fra kamera (i mm)				
	g.snitt	SD	n	se	95% KI	målefeil %	g.snitt	se	95% KI	Min	Maks
<u>Forsøk 1 - 27. juni 19.</u>											
Baseline: målt makrell	379.86	22.27	176	1.68	3.29	0.00					
Stereo - i luften	375.37	21.21	175	1.60	3.14	-1.18					
Stereo - i vann	390.68	26.24	141	2.21	4.33	2.85	1150.09	24.63	48.69	480.7	2277.1
<u>Forsøk 2 - 07. mai 20.</u>											
Baseline: målt makrell	392.62	23.32	103	2.30	4.56	0.00					
Vinkelrett - alle	390.41	37.98	97	3.86	7.65	-0.56	1879.53	70.70	140.34	625.5	3138.5
Skrå - alle	351.68	62.18	99	6.25	12.40	-10.43	1943.94	52.10	103.38	1172.5	3096.0
Kombinert - alle	370.85	55.04	196	3.93	7.75	-5.55	1912.07	43.73	86.24	625.5	3138.5
Vinkelrett <2.5m	388.67	36.20	78	4.10	8.16	-1.01	1679.94	70.73	140.85	625.5	2453.0
Skrå <2.5m	359.77	57.50	85	6.24	12.40	-8.37	1802.61	44.14	87.78	1172.5	2490.0
Kombinert <2.5m	373.60	50.47	163	3.95	7.81	-4.85	1743.91	41.09	81.13	625.5	2490.0
<u>Forsøk 3 - 23. juni 20.</u>											
Baseline: målt makrell	387.17	20.18	60	2.60	5.21	0.00					
Vinkelrett - alle	401.82	43.03	114	4.03	7.99	3.79	2380.59	57.58	114.07	1261.5	3587.0
Skrå - alle	374.98	46.55	117	4.30	8.52	-3.15	2411.63	32.45	64.27	1681.5	3099.5
Kombinert - alle	388.23	46.73	231	3.07	6.06	0.27	2396.31	32.77	64.57	1261.5	3587.0
Vinkelrett <2.5m	390.45	27.91	57	3.70	7.41	0.85	1861.95	50.12	100.41	1261.5	2467.0
Skrå <2.5m	370.08	52.40	59	6.82	13.65	-4.41	2111.78	26.88	53.80	1681.5	2498.0
Kombinert <2.5m	380.09	43.23	116	4.01	7.95	-1.83	1989.02	30.37	60.15	1261.5	2498.0

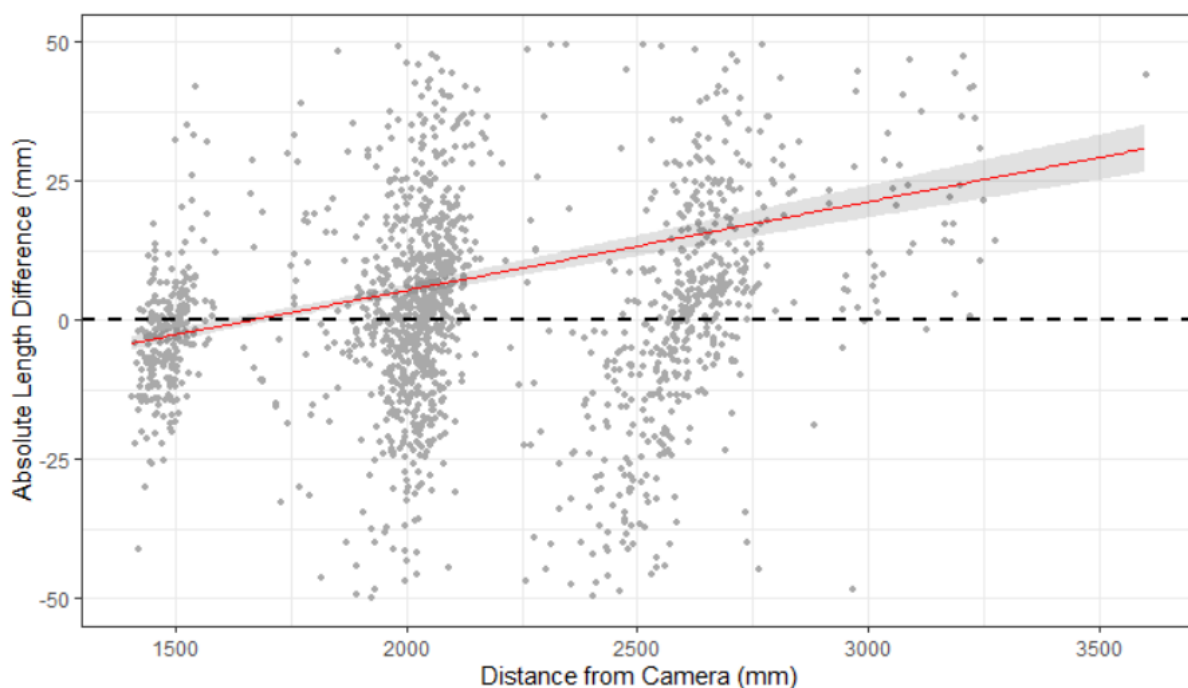
3.1.2 Målinger av en standard målestav

Disse forsøkene ble gjennomført i merdene ved Havforskningsinstituttets forskningsstasjon på Austevoll 7. mai og 23. juni 2020. Her ble et objekt med nøyaktig kjente dimensjoner 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). Den "kalibrerte målestaven" som ble brukt var en SeaGIS standard målestav. Denne har tre punkter med høy kontrast (hvit på svart) (figur 14), med tre nøyaktig definerte avstander: 213,9 mm, 382,4 mm og 596,4 mm. Måledataene ble senere modellert for å fastslå betydningen av disse potensielle effektene.

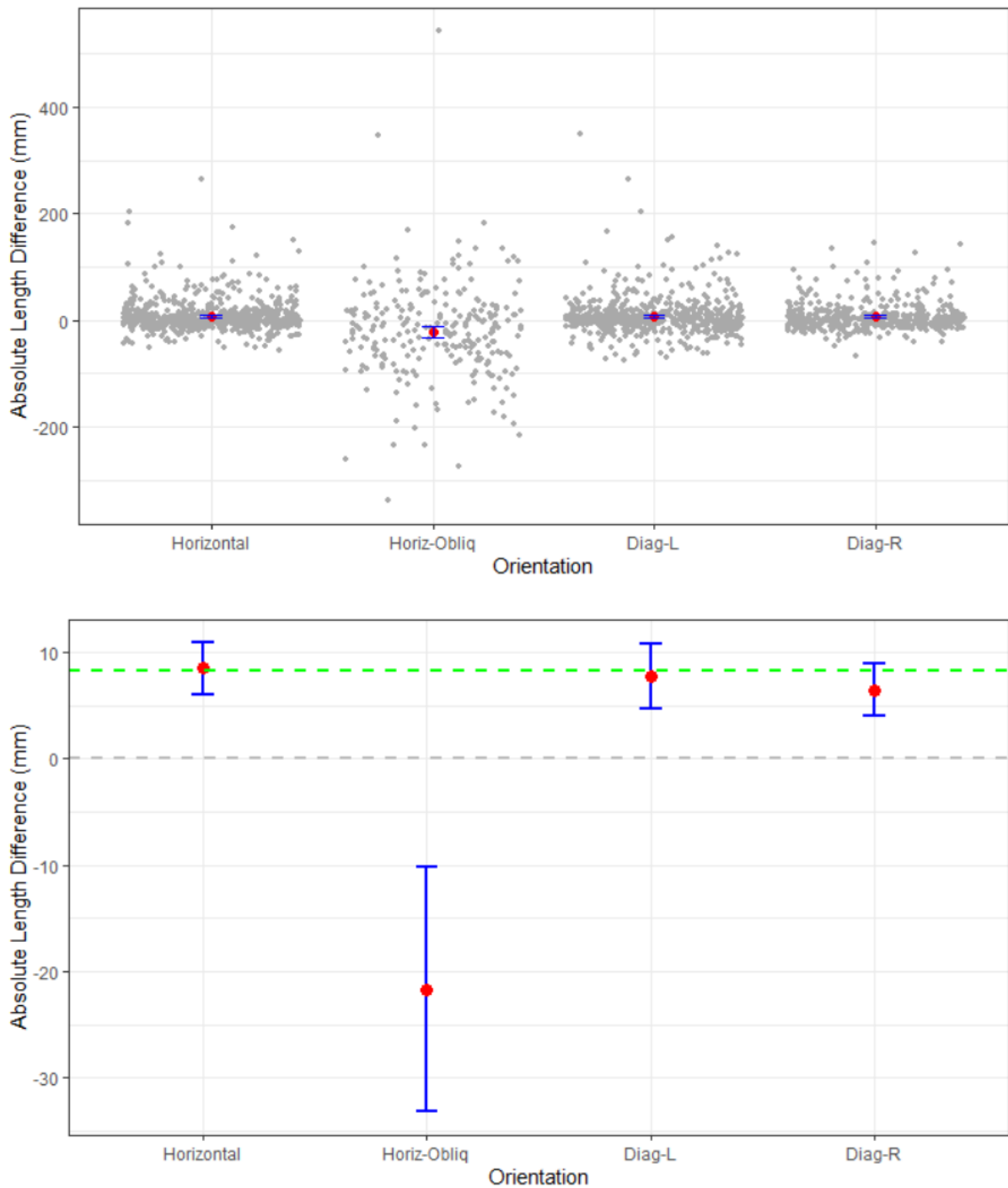


Figur 14 – SeaGIS standard målestav. Den har tre punkter med høy kontrast (hvit på svart) med tre nøyaktig definerte avstander: 213,9 mm, 382,4 mm og 596,4 mm. Bildet er tatt i Mohn Techs testtank.

Denne analysen av estimerte mål på testlinjens standardlengder var en informativ tilnærming for å vise potensielle avviker i stereokamerasystemets lengdeestimat. Analysen viste at det er en systematisk positiv avvik i lengdeestimatene med økende avstand fra kameraet (figur 15). Videre var det spesifikke undergrupper som viste effekter på lengdeestimatene som ikke forklares av denne avstandseffekten, for eksempel horisontal skråstilt orientering (figur 16).



Figur 15 - Forholdet mellom absolutt lengdeforskjell (i mm) og avstand mellom målestaven og kameraet (i mm). Den røde linjen er tilpassede verdier fra GLS-modellen, med 95 % konfidensintervall (grått område). Merk at skalaen for absolutt lengdeforskjell er justert til verdier mellom -50 og 50 mm for å kunne se den røde linjen bedre.



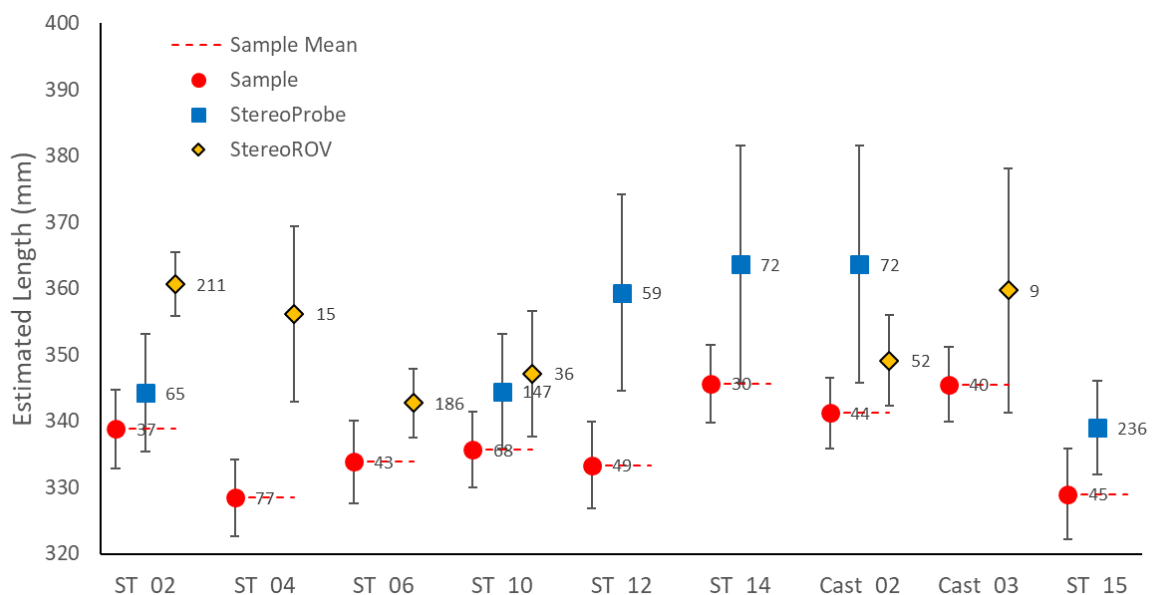
Figur 16 - Gjennomsnittlig absolutt lengdeforskjell (røde punkter) med 95 % konfidensintervall (blå feilfelt) mellom estimer og sanne verdier for fire orienteringer av målestaven («Horizontal», «Horizontal-skråstilt», «Diagonal-venstre» og «Diagonal-høyre»). Øverste diagram vises spredningen av alle datapunkter. Nederst vises gjennomsnittsverdiene for å illustrere effektens størrelse. Horizontal grønn stiplet linje er avstandseffektens gjennomsnittsstørrelse ($8,3 \pm 1,3$ mm).

3.1.3 Målinger av vill makrell i et kommersielt fiskeri

Intel RealSense-stereokamerasystemet ble utplassert underveis i kommersielle fiskeoperasjoner, ved hjelp av plattformene S-CMP og ROV ("FishBot 2"). Estimer av fiskelengde fra disse forsøkene ble sammenlignet med estimer basert på prøver tatt fra de observerte makrellstimene. Forsøkene ble gjennomført på et forskningstokt om bord i M/S Fiskebas under kommersielt fiske av makrell i Norskehavet og Nordsjøen, fra 21. september til 4. oktober 2020.

Det ble gjort 17 forsøk på "før-fangst-undersøkelser", hvorav åtte lyktes med å innhente både stereobilder og levedyktige fiskeprøver (tabell 2). Av disse ble S-CMP utplassert 12 ganger: seks med vellykkede stereoopptak, tre når kameraet ikke var i bruk og tre der det ikke var mulig å se makrell (se avsnitt 3.2 for mer informasjon). ROV'en ble utplassert åtte ganger under "før-fangst-undersøkelsene", hvorav det var fire hvor FishBot var i stand til å lokalisere makrellstimen og gjøre vellykkede stereoopptak for senere analyse (se avsnitt 3.2 for mer informasjon).

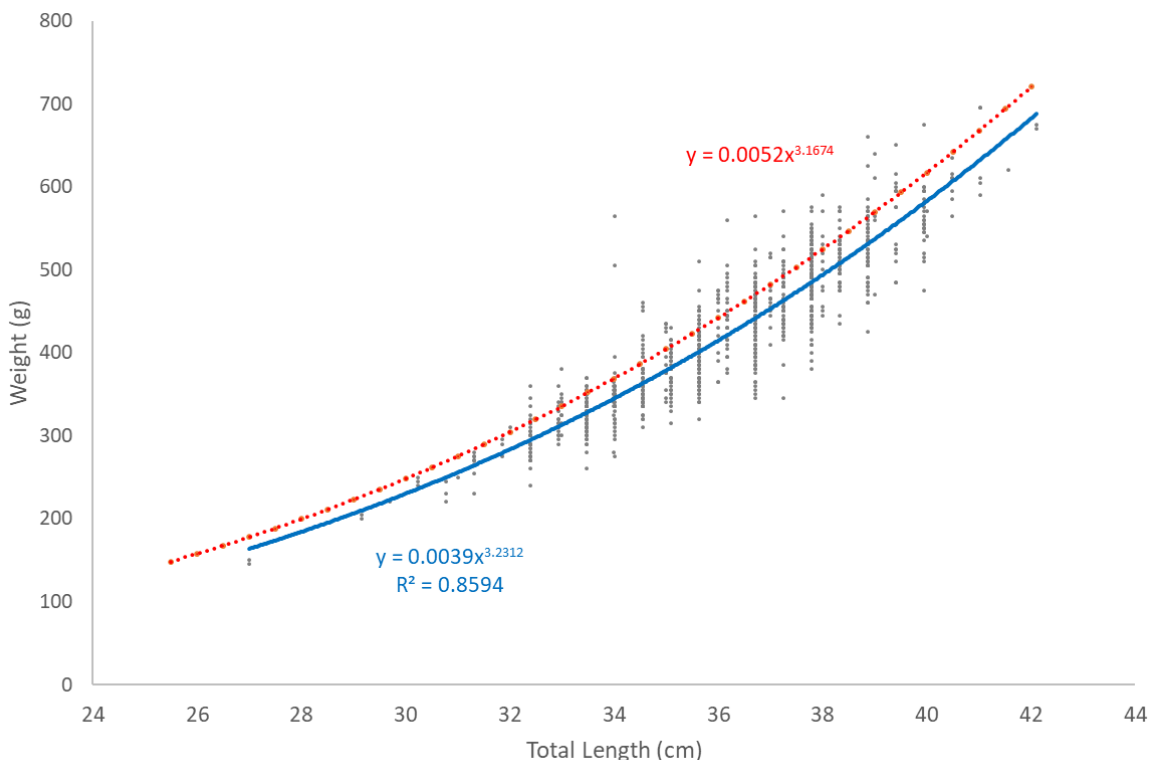
Disse forsøkene til sjøs viste at både Stereo ROV ("FishBot 2") og Stereo-Catch Monitoring Probe (S-CMP), understøttet av Mohn Technologys måleprogramvare, var i stand til å estimere gjennomsnittlig lengde på individer i målstimer med mindre enn 10% feil for alle estimer, og mindre en 5% feil for de fleste (figur 17).



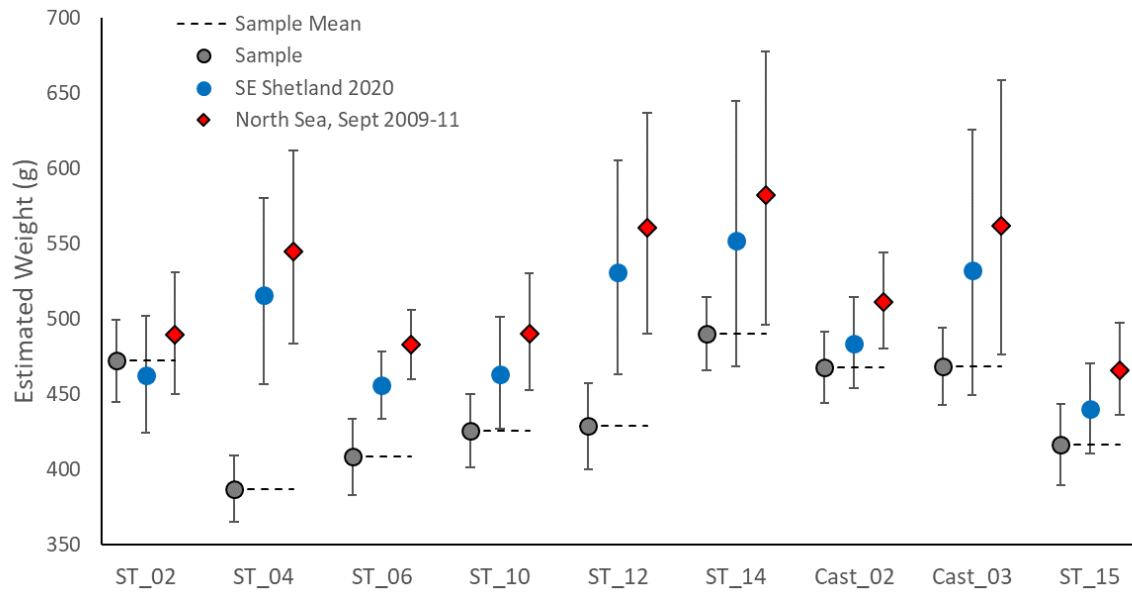
Figur 17 - Oversikt over gjennomsnittslengde-estimatene i mm (med 95 % konfidensintervall) for fiskeprøver (røde prikker og stiplet rød linje), Stereo Catch Monitoring Probe (S-CMP, blå firkanter) og Stereo ROV ("FishBot 2", gule diamanter). Eksempelstørrelser (n) vises til høyre for datapunktene.

Det ble imidlertid også vist en iboende avstandsrelatert avvik, noe som påvirker disse 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, 2020b for detaljer).

Forholdet mellom individuell total lengde og totalvekt fra de kombinerte Fiskebas-dataene er illustrert i figur 18, samt for et eksempel fra den vitenskapelige litteraturen for et sammenlignbart område og årstid (Nordsjøen) (Silva et al, 2013). Disse forholdstallene ble brukt til å anslå gjennomsnittlig individuell totalvekt for hver stereoundersøkelse fra det beste stereoestetimatet av total lengde (figur 19). Ved hjelp av Fiskebas L-V-forholdet kunne vi nøyaktig estimere gjennomsnittsvekten til de fysiske prøvene i seks av ni tilfeller, fire av dem med et akseptabelt presisjonsnivå. Dette var imidlertid ved bruk av en romlig og tidsmessig nøyaktig L-V-relasjon – generert fra selve de fysiske målingene. Ved bruk av et mer generelt L-V-forhold fra den vitenskapelige litteraturen (dvs. Silva et al, 2013), ble bare ett av ni tilfeller estimert nøyaktig. Dette viser at å lykkes i utviklingen av et fremtidig stereokamerasystem for å karakterisere en målstims størrelsesfordeling (lengde og vekt) fordrer en mer nøyaktig metode for å estimere vekt basert på stereobilder (se avsnitt 4.1.2 for videre diskusjon).



Figur 18 - Forholdet mellom total lengde (Total Length, cm) og totalvekt (Weight, g). Blå linje: Tilpasset potensregresjon for Fiskebas-dataene (SØ Shetland, september 2020) med ligningen og «goodness-of-fit» (R^2). Rådata er vist som grå punkter. Rød prikket linje: Regresjonslinje for eksempeldata fra Nordsjøen (september 2009-11) (Silva et al, 2013).



Figur 19 – Estimert individuell vekt (Estimated Weight, g), med 95 % konfidensintervall, fra fysiske prøver (grå punkter og stiplet linje) og fra stereo-lengdeestimer som anslått basert på lengde-til-vekt-forholdet totalt sett, fra Fiskebas-data (SØ Shetland, september 2020, blå punkter) og tilsvarende for eksempeldata fra Nordsjøen, september 2009-11 (Silva et al, 2013; røde diamanter).

Tabell 2 – Sammendrag av forsøk med stereokamera, utplassert ved hjelp av Stereo-Catch Monitoring Probe og ROV'en («Fishbot 2»).

Forsøk #	Dato	Tid (UTC)		Posisjon (Desimal)		Aggregering av fisk Merknader	Plattform for utplassering av stereokamera	
		Start	Slutt	Breddegrad	Lengdegrad		Probe (S-CMP)	ROV
ST_01	23-09-20	7:22	7:55	59.313	-0.420	Tynn - 10-20m dyp	Nei	Ja - ingen fiskebilder
ST_02	23-09-20	14:43	15:56	59.389	-0.912	Stor stim; 5-50m dyp	Ja (15m) - Gode fiskebilder	Ja – OK fiskebilder
ST_03	25-09-20	9:00	9:23	59.531	-0.742	For tynn for ROV	Nei - stim for dypt	Ja - ingen fiskebilder
ST_04	25-09-20	9:54	10:10	59.501	-0.783	Tynn lag; 15-40 variabel	Nei - stim for dypt	Ja – dårlig fiskebilder
ST_05	25-09-20	10:56	11:00	59.491	-0.790	Stor ~1000t; > 15m dyp	[Ja (15m) - stoppet tidlig, ingen fiskebilder]	Nei - problemer med thruster
ST_06	25-09-20	11:24	11:43	59.468	-0.814	Stor; 15-20m	Nei - dyp test forberedes	Ja – Gode fiskebilder
ST_07	25-09-20	13:37	13:56	59.605	-0.737	bare sild	Ja (36m) - ingen makrell	Ja - ingen makrell
ST_08	25-09-20	14:42	14:59	59.724	-0.705	Tynn; ~30m	Nei	Nei
ST_09	25-09-20	15:03	15:13	59.726	-0.686	For dyp; ~40m	Nei	Nei
ST_10	25-09-20	15:21	15:36	59.738	-0.676	Stim; 20-50m	Ja (36m) - OK fiskebilder	Ja – OK fiskebilder
ST_11	25-09-20	16:11	16:35	59.728	-0.685	10-20 lav tetthet; 20-35 middels tetthet	Ja (36m - med RINKO) - ingen fiskebilder	Nei - problemer med thruster
ST_12	27-09-20	10:08	10:25	59.720	-0.712	10-20m - forstyrret av at båten kom nærmere => 20-35m => 10-25m Tynn	Ja (36m) - få fiskbilder, fisk spredte seg ved utplassering	Nei
ST_13	27-09-20	10:39	10:52	59.705	-0.697	22-35m Tynn	[Ja (36m) - mislyktes i å starte opp]	Ja - ingen fiskebilder
ST_14	27-09-20	11:02	11:15	59.693	-0.700	30-40m => 33m Tynn	Ja (36m) - OK fiskebilder	Nei
Cast_02	27-09-20	11:34	12:57	59.689	-0.707	I not	Nei	Ja - i not, Gode fiskebilder
Cast_03	27-09-20	14:30	15:34	59.663	-0.719	I not	Nei	Ja - thrustere sviktet - dårlige bilder
ST_15	29-09-20	11:05	11:15	59.478	-0.159	15-35m; tettest på 30m	Ja (36m => trukket grunnere) - OK fiskebilder	Nei
Cast_05	29-09-20	13:09	14:31	59.451	-0.153	I not	[Ja] i not, men slå av på utsetning	Nei
ST_16	02-10-20	12:50	12:55	58.855	0.117	18-30m	Ja (Kabel @ 25m; RINKO) - ingen bilder; opptak startet da proben forlot stimen	Nei
ST_17	02-10-20	13:04	13:53	59.824	0.112	25-40m => 20-40m	Ja (kabel @ 25m; RINKO) - dårlige bilder i) blendet av solen; og ii) fisk langt unna og dypt nede	Nei

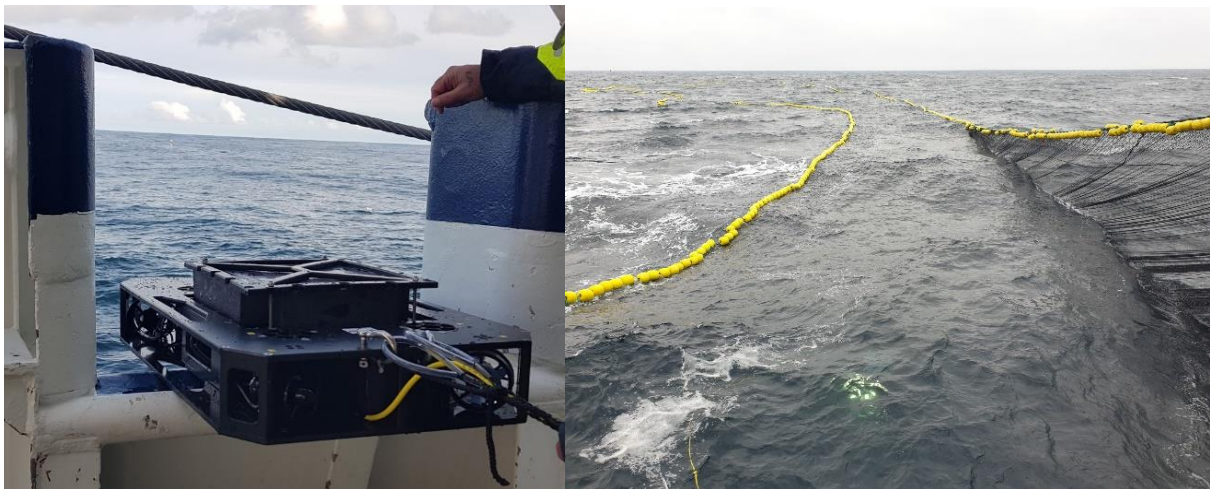
Merknader:

1. vellykkede forsøk, hvor det ble produsert brukbare stereobilder, er uthevet i grønt.
2. mislykkede forsøk, på grunn av tekniske problemer, er uthevet i gult.

3.2 Forsøk for å undersøke observasjonsplattformenes funksjonalitet

Her oppsummeres flere forsøk som undersøkte ytelsen til to forskjellige plattformer for utplassering av stereokameraet i makrellstimer: En sonde (*Stereo Catch Monitoring Probe, S-CMP*) og en stereo ROV:

- Innfanget makrells adferdsrespons til en ROV – gjennomført 15. og 28. oktober 2019 ved Havforskningsinstituttets (HI) forskningsstasjon på Austevoll.
- Utplassering av en ROV fra et kommersielt fiskefartøy - 18. September 2019 i Byfjorden i Bergen, ved starten av et havforskningstokt om bord på M/S Fiskebas, et kommersielt notfiskefartøy.
- Drift av en ROV ("FishBot 2") under kommersielle fiskeoperasjoner - gjennomført på et forskningstokt om bord i M/S Fiskebas under kommersielt fiske av makrell i Norskehavet og Nordsjøen, fra 21. september til 4. oktober 2020.
- Drift av Stereo Catch Monitoring Probe (S-CMP) under kommersielle fiskeoperasjoner - gjennomført på et forskningstokt om bord i M/S Fiskebas under kommersielt fiske av makrell i Norskehavet og Nordsjøen, fra 21. september til 4. oktober 2020.



Figur 20 – Venstre: ROV ("FishBot" Mk II), som forberedes til utplassering. Høyre: ROV (med lys på) inne i noten under kommersielle fiskeoperasjoner (haling).

Det ble gjennomført 17 stereo-observasjonsforsøk før fangst (ST01-17) og tre notkast hvor stereo-observasjoner ble forsøkt (Tabell 2). Fishbot (figur 20) ble utplassert i totalt 10 av disse 20 forsøkene, både i og utenfor noten (tabell 2). Det var åtte «før-kast-forsøk» (det vil si uten not) hvor ROV'en 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 notkast 02 og 03 (tabell 2).

Ved to anledninger kunne ikke ROV'en sjøsettes på grunn av problemer med thrusterkontrollerne. Etter at den første thrusteren sviktet, måtte ROV'en kjøres med seks

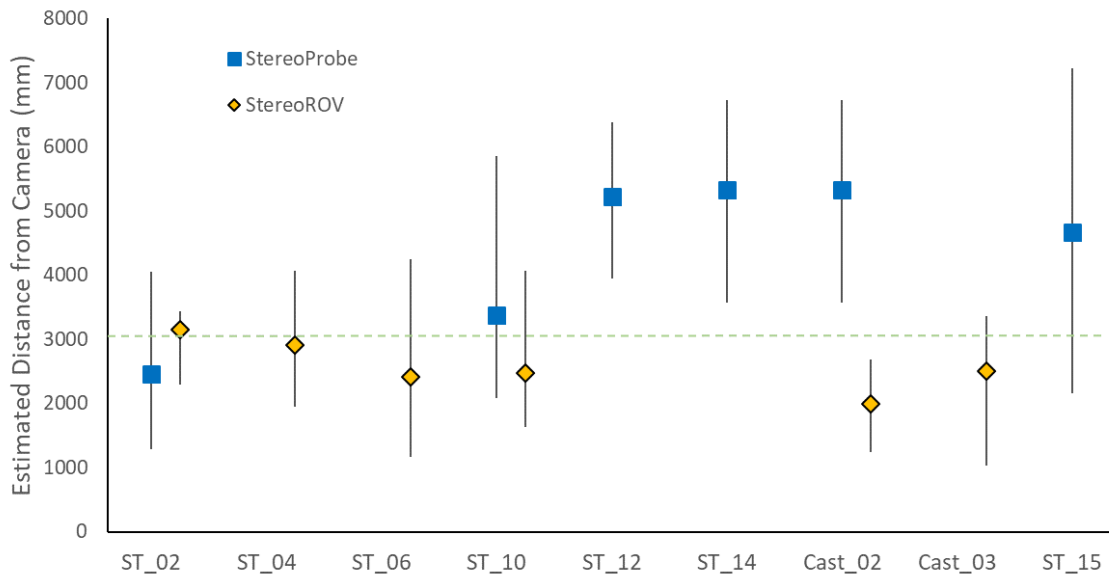
eller syv operative thrustere i stedet for alle åtte. Dette forårsaket noe ustabilitet og mindre skyvekraft mens ROV'en var i drift, men det var fortsatt mulig å gjennomføre operasjonen. Da en tredje thruster sviktet under notkast 03, ble ROV-operasjonene stoppet resten av toktet. FishBot klarte imidlertid å ta noen stereobilder fra notkast 03 for senere analyse.



Figur 21 - Sonden «Stereo Catch Monitoring Probe» (S-CMP) klar for utplassering under forskningstoktet på M/S Fiskebas. Flytedelen og kameradelen er koblet sammen ved hjelp av en støttelinje, slik at dybden på kameraet kan kontrolleres i forhold til overflaten. Kabelen fra kameradelen er festet til støttelinjen og passerer gjennom flottøren. Denne versjonen er utstyrt med en Ethernet-kabel for direkte videostrøm fra sonden, samt ekstra ballast og flyt for å stabilisere kameraets vertikale posisjon i vannet.

Sonden S-CMP (figur 21) ble utplassert 12 ganger: Seks med vellykkede stereoopptak (se avsnitt 3.1.3 for ytterligere detaljer og resultater), tre hvor kameraet ikke fungerte, og tre hvor det ikke var mulig å se makrell. Mistanken var at de to første kamerafeilene skyldtes 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 sannsynligvis heller skyldtes 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 (Breen et al, i.d.).

ROV'en kom seg konsekvent nærmere makrell enn S-CMP (figur 22). 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 fiskeunndragelsesatferd påvirker målenøyaktigheten og presisjonen.



Figur 22 - Oversikt over gjennomsnittlig estimert avstand («Estimated Distance from Camera», mm) fra kameraet (med maksimum- og minimumsverdier) for Stereo Catch Monitoring Probe (S-CMP, blå firkanter) og Stereo ROV ("FishBot 2", gule diamanter). En grønn vannrett linje viser kamerasystemets ideelle avstand til målet (dvs. <3 m).

Disse forsøkene viste at de nåværende distribusjonsplattformene (S-CMP og ROV) fungerer tilfredsstillende som forskningsplattformer under utviklingen av stereokamerasystemet. Forsøkene understreket viktigheten av å opprettholde pålitelig kommunikasjon med kamerasystemene, både for å kunne kontrollere dem, og for å kunne vise levende bilder. Pålitelig og rask kommunikasjon vil være avgjørende dersom dette systemet skal videreutvikles til å muliggjøre sanntidsanalyse av målstimens gjennomsnittlige størrelseskarakteristikk. ROV'en fikk konsekvent målinger nærmere makrellen enn S-CMP klarte. 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. Imidlertid er trolig begge disse plattformene suboptimale i et kommersielt fiskeri, på grunn av den korte avstanden de kan operere fra fiskefartøyet, noe som krever at fartøyet kommer seg svært nær målstimen, med fare for å introdusere fluktnesponser i fisken. Dersom det utvikles taktikk som gjør fartøyene i stand til å komme seg nær fisken i stillhet, kan det bidra til å gjøre denne strategien mulig.

4 Discussion

4.1 Størrelsesestimering - Nøyaktighet og presisjon

Nøyaktigheten til en måling er hvor nær estimatet er til den sanne verdien. I denne rapporten er målnøyaktighet beskrevet ved hjelp av "feil", som er definert som prosentavviket mellom den målte størrelsen på et objekt og den sanne størrelsen. Der null er den mest nøyaktige, eller omvendt, jo høyere feilverdi (positiv eller negativ), jo dårligere er nøyaktigheten. Presisjon er definert som spredningen av de målte verdiene rundt gjennomsnittsverdien og blir beskrevet ved hjelp av 95 % konfidensintervaller. Derfor vil et ideelt stereokamerasystem, det vil si mest nøyaktige og presise, ha en feil nær null og et svært lite konfidensintervall rundt den estimerte verdien.

4.1.1 Hvilken nøyaktighet og presisjon bør vi ta sikte på å utvikle for et stereomålingssystem for bruk i kommersielle fiskerier?

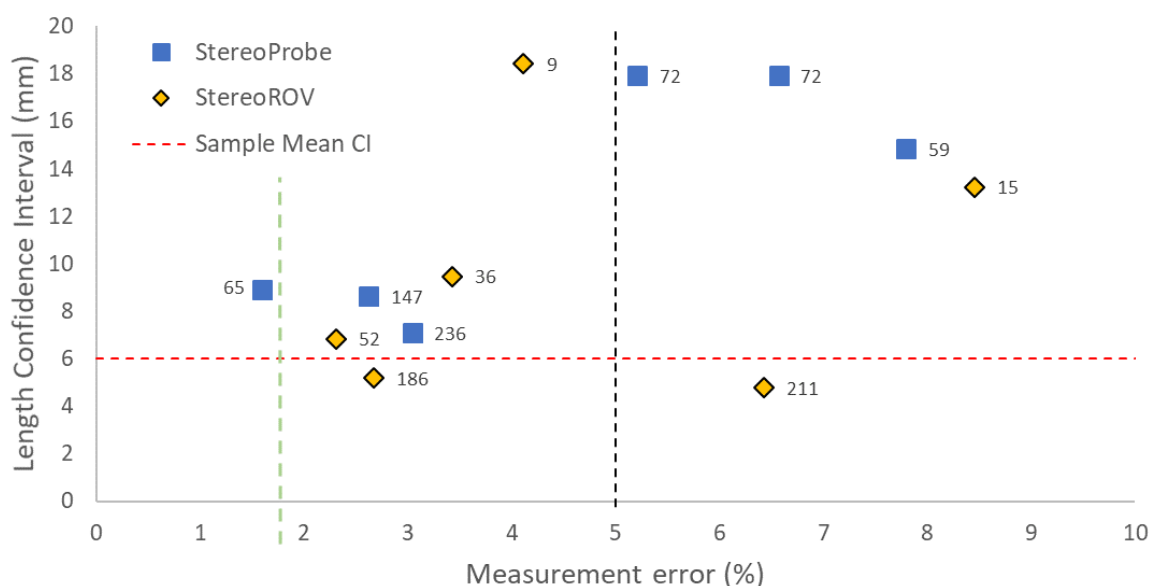
For å svare på dette spørsmålet, ville det være nyttig å sette disse målene (nøyaktighet og presisjon) i sammenheng med hva fiskernes oppfattelse av nøyaktighet og presisjon på gjennomsnittlig størrelse (lengde) i en fangst. Vi kan bruke fiskeprøvene som fiskerne tar på forskningstoktet som et eksempel på hva som kan oppnås nå, uten stereomålingssystemer, for å gi noen indikatornivåer. En rimelig antagelse er at fiskerne forventer lignende eller bedre nivåer av nøyaktighet og presisjon fra en høyteknologisk løsning for måling av fisk, som de kan oppnå ved å fange og måle fisken på dekk slik det gjøres idag.

Med tanke på presisjon var det gjennomsnittlige konfidensintervallet fra de fysiske fiskeprøvene under stereoundersøkelsene 6 mm. Når det gjelder å estimere hvor nøyaktig disse prøvene som ble tatt var, er det vanskelig å gi et absolutt svar uten å måle hele fangsten hvilket ikke ble gjort. Men basert på statistisk teori kan vi si at et utvalg nøyaktig beskriver en sann verdi når det er inkludert i konfidensintervallet (Crawley, 2015). [For et konfidensintervall på 95 % skal den sanne verdien falle innenfor konfidensintervallet i 95 % av prøvene]. Derfor, gitt en presisjon (95% CI) på 6mm, hvis en fiskestim hadde en gjennomsnittlig lengde på 340mm, ville et utvalg som var nærmere enn $\pm 6\text{mm}$ fra 340mm være et nøyaktig estimat av gjennomsnittsstørrelse i stimen. Dette tilsvarer en nøyaktighet på ca. $<1,8\%$ (det vil si $100 \times 6/340$).

I figur 51 vises resultatene fra forskningstoktet sammen med disse "teoretiske ideelle målene", for å sette dem i sammenheng med fiskerens sannsynlige forventninger. Når det gjelder "ideell" nøyaktighet og presisjon (det vil si $<1,8\%$ feil og 6mm 95% KI), faller ingen av våre estimater inn i det "ideelle" området nederst til venstre i figur 51. Ett eksempel (ST02_Probe) hadde imidlertid en feil (nøyaktighet) på bare 1,6%, men hadde en 95% CI

(presisjon) på 8,9 mm. Også to prøver oppnådde "ideell" presisjon: ST02_ROV med 4,8 mm KI og 6,4% feil; og ST06 med 5,2 mm KI og 2,7% feil.

Imidlertid vil stereomålingen av prøver sannsynligvis ha flere fordeler fremfor fysisk fangede prøver. For det første er den «ikke ødeleggende», så målinger kan gjøres uten å drepe fisk. Det vil trolig være raskere og mer praktisk, når målingene blir automatisert. Det vil også måle fisk som ikke lett kan fanges ved pilking, for eksempel sild. Dette vil også være svært nyttig for å identifisere potensielt blandede fangster. Derfor kan det være rimelig å anta at i tidlig utviklingsløpet vil disse fordelene være de viktigste. Ut ifra figur 23, er det positivt å se at, i en gruppe på seks prøver (det vil si 50% av prøvene) som er gruppert ved feil <4% og Kler <10mm. Sammenstilt med resultatene fra Austevoll-studiene (avsnitt 3.1.1), hvor målefeilen var 0,56-2,85 % med Kler på mellom 4,32 og 7,65 mm, ser man tydelig at rimelig nøyaktige og presise måling av fangster i kommersielle fiskerier er oppnåelige ved hjelp av undervannsstereokameraer.



Figur 23 - Forholdet mellom lengdemålingsfeil og lengde konfidensintervall for stereomålinger under forskningstoktet med Fiskebas. Stereo Catch Monitoring Probe (S-CMP; blå firkanter) og Stereo ROV ("FishBot 2"; gule diamanter). Eksempelstørrelser (n) vises til høyre for datapunktene. Den røde horisontale linjen viser gjennomsnittlig konfidensintervall for lengdeestimer fra fiskeprøver, som et indikatormål for presisjon (f.eks. 6 mm). Den grønne vertikale linjen viser det teoretiske ideelle målet for nøyaktighet (det vil vil utgjøre 1,8% feil), mens den svarte vertikale linjen er målet satt i begynnelsen av dette prosjektet (det vil vil vil 5%).

4.1.2 Hvordan kan nøyaktighet og presisjon forbedres?

Fra statistisk teori, og forutsatt at det ikke er noen iboende skjevheter, kan både nøyaktighet og presisjon forbedres med økte utvalgsstørrelser (Crawley, 2015). Gjennomsnittlig utvalgsstørrelse for fiskeprøvene var 48,1, mens gjennomsnittsprøvestørrelsene for S-CMP og

ROV var henholdsvis 108,5 og 84,8. Stereomåling vil uunngåelig ha mer iboende målefeil sammenlignet med en direkte fysisk måling, noe som krever en større prøvestørrelse for å forbedre både nøyaktighet og presisjon. Gitt at det ikke er noen skjevhet, kan vi bare øke prøvestørrelsene ytterligere for å forbedre nøyaktighet og presisjon. Videre kan den nødvendige utvalgsstørrelsen estimeres ved hjelp av statistisk teori (power analyse) og/ eller simuleringsmodeller (bootstrapping) (Crawley, 2015). Selv om prøvestørrelsen også vil være en funksjon av hvor godt en plattform kan plassere stereo-kameraet nære nok målet og med tilstrekkelig stabilitet over tid, for å få nok brukbare bilder (se avsnitt 4.2.2 for mer diskusjon).

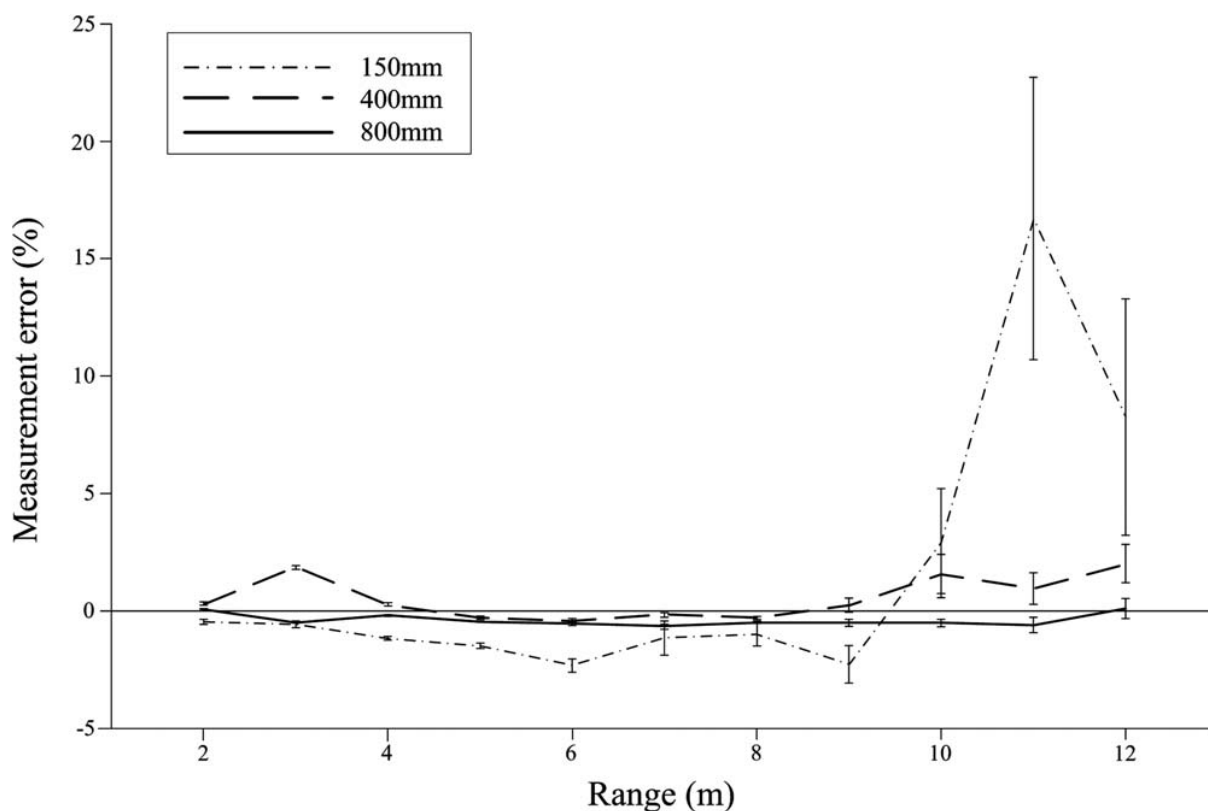
Det er imidlertid et avvik med hensyn til avstand (se avsnitt 3.1), som må adresseres hvis nøyaktigheten skal forbedres. Presisjonen kan forbedres, uavhengig av avvik, men eventuelle estimerte middelværdier ville bli påvirket av avviket; så eventuelle resulterende estimater ville være nøyaktig unøyaktig, det vil si feil. Derfor bør hovedmålet med enhver fremtidig utvikling av dette kamerasystemet ta sikte på å redusere målefeil og skjevheter.

Det ble gjort forsøk på å redusere effekten av avstandsrelaterte avvik ved å begrense data til målinger gjort innen 3m av kameraet, dette gav bare marginal forbedring. Selv om dette reduserte målefeilen i fem estimater, var disse forbedringene relativt små (<3 prosentpoeng). Videre, i tre av de seks S-CMP estimatene var det ingen målinger nærmere enn 3m fra kameraet, og i to eksempler (ST04_ROV og ST15_Probe) økte målefeilen.

For å redusere målefeil bør man gjennomgå metodene som brukes til å kalibrere stereokamerasystemet. Stereokameraene som ble brukt i disse studiene ble kalibrert i Mohn Technology (MT) testtank ved hjelp av checkerboard-metoden sammen med deres proprietære kode for kalibrering (se pkt. 2.1.2). Boutros et al (2015) anbefalte bruk av SeaGIS Calibration Cube-metoden, men våre observasjoner fant ingen vesentlig forskjell mellom de to metodene. Det eneste unntaket var med middels og langlinjemålinger ("Tiltak 2 og 3"), orientert vinkelrett på kameraene på avstander > 2m; når MT-kontrolltavlemetoden ga de mer nøyaktige estimatene (se pkt. 2.1.2). Ytterligere sammenligninger av disse to kalibreringsmetodene, i kombinasjon med en standard kjent lengde, kan være nyttig. Videre er MT-testtanken et ferskvannssystem. Selv om forskjellen i brytningsindeks mellom ferskvann og sjøvann er liten (henholdsvis 1,3323 og 1,3386, for ~ 640nm lys på 1 bar og ~ 10°C; Anon, 1976), kan det ha introdusert en systematisk feil i kalibreringen som delvis kan utgjøre for den observerte skjevheten (Temple, 2007). Derfor bør kalibreringer (med test-bar validering) utføres i både ferskvann og filtrert sjøvann, som en komparativ øvelse.

En ytterligere teknisk løsning for å øke målnøyaktigheten ville være å øke grunnlinjen (baseline) mellom bildesensorene (kameraene). Boutros et al (2015) viste signifikante økninger i nøyaktighet med økende baseline fra 150mm til 800mm, spesielt ved avstander på > 8m fra kameraet (figur 24). Lengre baseline kan imidlertid også påvirke kameraets nær-operasjonsområde negativt (det vil si den korteste avstanden et objekt kan måles fra kameraet). Generelt, jo lenger grunnlinjen er jo lenger unna må objektet være for å være

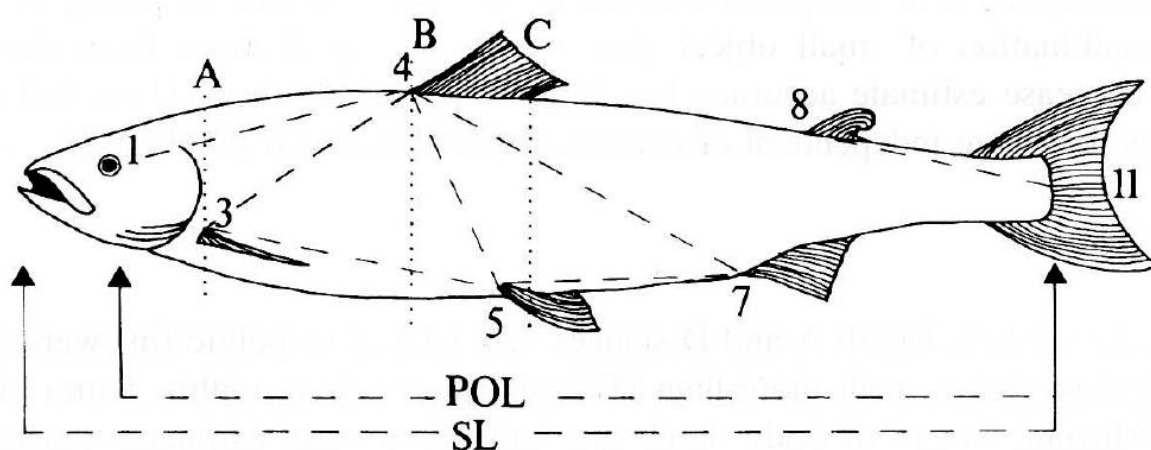
målbart. Dette kan imidlertid til en viss grad løses ved å vinkle kameraenes synsfelt mot hverandre. Kameraet som brukes i dette prosjektet (RealSense D435i) har en nominell baseline separasjon på 50mm. Intel har gitt ut et nytt aktivt IR stereokamera D455 med en økt baseline på 95 mm. I henhold til dataspesifikasjoner fra Intel dybdefelt (z-akse) området for D455 er (min / maks) 0,4 /20m versus 0,1 /10m for D435i.



Figur 24 - et eksempel på målefeil fra stereo-videosystemer med baseline på 150 mm, 400 mm og 800 mm, som viser hvordan nøyaktigheten øker med økende baseline. Feilbarene representerer ± 1 standardfeil. [Bildekilde: Boutros et al, 2015].

Til slutt beskriver den pelagiske fiskeindustrien normalt den individuelle størrelsesfordelingen innenfor en fangst når det gjelder individuell vekt (i gram, g). For at et stereokamera system for å være av reell verdi for denne industrien det må estimere individuell vekt, i tillegg til eller i stedet for individuell lengde. I pkt. 3.1.3 ble det vist hvordan anslag over gjennomsnittlig individuell fiskelengde i en stim av fisk kan brukes til å estimere deres tilsvarende gjennomsnittlige individuelle vekt ved hjelp av et passende lengde-vekt (L-W) forhold. Ved hjelp av romlig og tidsmessig relevante L-W-data, generert fra de lokale fiskeridataene, kan en produsere rimelig nøyaktige estimater av gjennomsnittlig vekt. Men når man bruker et generelt L-W-forhold, blir gjennomsnittsvektsprognosene vesentlig mindre nøyaktige på grunn av geografisk-relatert, sesong-relatert og årlig variasjon i L-W-forholdet (Coull et al,

1989; Silva et al, 2013; Olafsdottir et al, 2016). For å løse denne utfordringen ville det kreve et system som kontinuerlig oppdatert L-W forholdet med lokale sanntidsdata som i et kommersielt, offshore fiskeri kan være en upraktisk strategi. Alternativt har det blitt vist at ved bruk av ytterligere morfologiske beregninger fra stereobilder, er det mulig å utvikle stokastiske modeller som nøyaktig kan forutsi individuelle fiskevekter (Beddow et al, 1996)(figur 25). Videre, med nylige fremskritt innen maskinsyn, har slike flere metriske metoder potensial til å bli automatisert (Hao et al, 2015; Sanchez-Torres et al, 2018; Nystad, 2018).



Figur 25 – et eksempel på ytterligere morfologiske beregninger som kan trekkes ut fra et stereobilde, i tillegg til lengde, for å estimere individuell vekt av en fisk [Kilde: Beddow et al, 1996].

4.2 Teknologiske suksesser og utfordringer

4.2.1 Stereo kamera system

Intel RealSense D435i-kameraet fungerte vanligvis bra, med pålitelig opptak og overføring av stereobildedata. Dette systemet er imidlertid i hovedsak designet for bruk i luft. Innkapslingen som måtte til for å gjøre systemet vanntett medførte utfordringer på grunn av optisk brytning i vinduet som kameraet ser igjennom. Selv om kamerasystemene i begge plattformene (S-CMP og FishBot2) ble kalibrert i vann i et forsøk på å ta høyde for dette, har resultatene av dette prosjektet vist at det er en systematisk målefeil, som øker proporsjonalt med avstanden til det målte objektet fra kameraet. I tillegg var det betydelig mer målefeil når objekter ble observert i et skrått perspektiv i forhold til kameraet. I kombinasjon tyder disse to effektene på at det er betydelig usikkerhet knyttet til estimeringen av dybdefeltet (z-aksen) ut av dataene fra stereokameraet (som omtalt i pkt. 3.1 og 4.1).

RealSense D435i har en passiv IR-projektor som projiserer et 3D-referansemønster for å fremme mer nøyaktige dybdemålinger. I begynnelsen av forsøkene ble det imidlertid identifisert at dette projiserte IR-mønsteret forårsaket forstyrrelser på grunn av refleksjoner i vinduet i undervannshuset (såkalt laser -speckling). Derfor ble IR-projektoren deaktivert.

Dette kan imidlertid ha påvirket nøyaktigheten og presisjonen av lengdeestimerer negativt ved å øke usikkerheten innenfor dybdefeltet. Den vitenskapelige / tekniske litteraturen antyder at det kan være tekniske løsninger for å unngå at laser-speckling forekommer og som bør undersøkes dersom dette kameraets kapasiteter skal kunne utnyttes fullt ut.

En begrensning med RealSense D435i er den korte baseline dette kameraet har (nominelt 50mm). Fordelene ved lengre intersensor baseline for å forbedre målnøyaktigheten, spesielt av dybdefeltet, diskuteres i pkt. 4.1.2. Selv om Intel har en ny modell av RealSense-kamera med en lengre baseline, RealSense D455 (nominell baseline: 95 mm), er dette betydelig kortere enn de mest nøyaktige kameraene som for tiden brukes til undervannsmåling av fisk, disse kan ha baselines opptil 800mm (f.eks. Boutros et al, 2015). Men å gå over til et helt nytt kamerasystem vil sannsynligvis kreve betydelig omarbeiding av kalibrering- og måleprogramvaren som Mohn Technology har utviklet.

For å være av interesse for fiskeindustrien må stereokamerasystemet produsere størrelsesestimerer for fiskerne i en tidsskala som gjør dem i stand til å ta operasjonelle beslutninger om fangsten før nota kastes. Nedlasting av bilder var imidlertid relativt treg (1,5 x opptakstid med WiFi og 0,3 x opptakstid via Ethernet; pkt. 3.2) som i stor grad begrenser kapasiteten til dette systemet til å utføre sanntidsanalyse. Dette tyder på at hvis sanntidsanalyse skal kunne gjøres, må man ha helautomatisk analyse i den innebygde datamaskinen i stereoplattformen og bare sende bearbejdede data og eksempelbilder til fiskefartøyet. Faktisk er det nylig gjort betydelige fremskritt innen maskinsynsteknologi som har gjort automatisk og pålitelig deteksjon og måling av fisk fra undervannsbilder mulig (f.eks. Hao et al, 2015; Nystad, 2018; Sanchez-Torres et al, 2018). Et annet alternativ for å redusere mengden data som overføres kan f.eks. IR, dybde- og avstandsbilder bli delvis bearbejdet før de blir overført til fartøyet der analysen kan utføres med et visst nivå av operatørintervensjon. Her kan man f.eks. benytte maskinsyn til å velge ut bilder som inneholder målbar fisk. Og så kan en operatør gjøre lengdemålinger på dette data utvalget.

Måleprogramvaren Mohn Technology Measure var generelt pålitelig og relativt brukervennlig til tross for at den er på et tidlig steg i utviklingsløpet– selv for operatører med lite Linux erfaring. Under forsøkene ble det oppdaget at det var økt sannsynlighet for VOID-bilder med økende avstand mellom objektet og kameraet. VOID-bilder er en merkelapp operatøren setter på målinger som han eller hun mener ikke oppfyller visse kriterier.

Til slutt, som med alle optiske systemer, er stereokamerasystemer begrenset av tilgjengelighet av lys og sikten i vannet det bukes i. Høy turbiditet (partikkelkonsentrasjon i vannet) er normalt ikke et problem i et pelagisk miljø hvor man bruker snurpenot. Imidlertid forekommer mye av fiskeriet med snurpenot om natten. Bruk av kunstig hvitt lys som er synlig for fisken vil ikke være praktisk i disse fiskeriene, både fordi det ville introdusere uønsket unnvikelsesrespons og fordi det er spesielt regulert imot (ICES, 2012 og 2013). Derfor, for å sikre at denne stereokamerateknologien er fullt anvendelig for alle fiskerier med snurpenot,

ville det være en fordel å undersøke kunstige lyskilder som enten er usynlige for målfisken eller som i det minste ikke initierer noen uønskede reaksjoner hos den. Alternativt kan den siste utviklingen innen ekkolodd eller "akustiske kameraer" (f.eks. DIDSON og ARIS) gi en praktisk, men kostbar løsning (f.eks. Boswell et al, 2008; Boutros et al, 2015). Dette kan gi identifikasjon av noen arter (f.eks Langkau et al., 2012), samt lengde måling med en nøyaktighet på 2-7 cm (Burwen et al. 2010).

Tabell 3 - En oversikt over de viktigste fordeler og ulemper med stereokamera distribusjons plattformer: Stereo Catch Monitoring Probe (S-CMP) og Stereo-ROV ("FishBot 1 & 2").

Karakteristikk	ROV		S-CMP (Wifi, wired)	
	Pros	Cons	Pros	Cons
Manøvrering	Følge fisk/ stim	Visuell kontakt for å styre	Flyter fritt i vannet	Kan ikke følge fisk
Fleksibilitet ny instrumentering	God plass/ muligheter	-	-	Lite plass/ Elektronikk utsatt for G-krefter
Kostnad	Billig å oppgradere	Dyr i innkjøp	Billig å lage flere/ oppgradere	Expensive prototype
Ekspertise	-	Egen spesialisert ROV pilot	Krever 1 person for å opereres	Dyr prototype
Arbeids intensitet	-	Pilot + 2 personer	Krever 1 person for å opereres	+ 1 person for å ta ut av sjøen
Avstand	-	Begrenset pga dra i tether	Lang avstand 150m +	Begrenset av antenner må se hverandre (field of view) 50 meter
Dybde	-	20 meter?	40 meter	5 meter(wifi gikk i stykker ved 15 m dybde)
Bilde kvalitet	God	-	God	
Stabilitet	God	-	God	Justere fløyt for at denne skal utgjøre en sjøhund
Turnover tid	Harddrive,>10timer opptak	Sein nedlasting av data	1 time opptak	sein nedlasting av data ekstremt sein nedlasting av data
Power kapasitet	-	Operere 30 min?	Operere >5 timer	-
Orientering	Horisontalt	-	Vertikalt	-
Live view (FPV), kontroll	Ja/ja	-	Ja/ja	Ustabil kommunikasjon

4.2.2 Distribusjonsplattformer

Dette prosjektet har benyttet to forskjellige distribusjonsplattformer for stereokamerasystemet: Stereo Catch Monitoring Probe (S-CMP), som er utviklet av Havforskningsinstituttet; og Stereo-ROV ("FishBot 1 & 2"), utviklet av Mohn Technology. Begge plattformene har fordeler og ulemper, en oversikt som presenteres i tabell 3, med forklarende notater i teksten nedenfor. Oppsummert er ROV ("FishBot 2") et manøvrerbart system som kan finne og nærme seg målfisken konsekvent. Det er imidlertid en relativt dyr kapitalinvestering som krever en dyktig pilot og et medlem av mannskapet for å operere i et kommersielt fiskeri. Alternativt ville S-CMP være relativt billigere å produsere og er enklere å

betjene. Men det er et passivt system som er avhengig av god posisjonering av fartøyet i forhold til fiskestimen, samt gunstig vind og strømforhold for å sikre at den kommer i nærheten av målfisken.

Fleksibilitet for ny/ekstra instrumentering - ROV er en allsidig plattform med fleksibilitet til å legge til nye/forskjellige instrumenter (f.eks. ekkolodd). Dette kan være delikat utstyr som også krever en del plass. I denne forbindelsen har S-CMP begrensninger i hvilken ekstra instrumentering som kan inkluderes fordi det er plassbegrensninger i konstruksjonen og i tillegg betydelige G-krefter utstyret blir utsatt for når det distribueres via en luftkanon.

Turnaround tid/ batterikapasitet – Turnaround tid (tid for å gjøre klar til neste utsett) for de ulike plattformene er avhengig av tre hovedelementer: lagringskapasitet, hastighet på dataoverføring og tid for/mellom lading /bytte av batterier. For S-CMP er tiden mellom lading / bytte av batterier ikke sett på som en begrensende faktor, da den kan operere > 5 timer på samme batteri, og batteriet kan byttes veldig enkelt (det vil si åpen flens, bytte batteri og lukke flens). For ROV er driftstiden rundt 30 minutter, mens ladetiden er betydelig lengre og batteriene kan ikke byttes enkelt (det innebærer å: åpne lokk, demontere batteri, montere batteri på nytt, lukke lokk og trykktesting). Lagringskapasiteten for ROV er bare begrenset av størrelsen på harddisken om bord, og anses ikke som en begrensning for turnaround tid. For S-CMP er lagringskapasitet 1 time. Dette kan utvides ved å inkludere en funksjon for lagring til ekstern USB-minnepinne, som kan byttes samtidig som batteriet. Dataoverføring fra ROV er via et kablet Ethernet-modem. Dette gir ikke en rask dataoverføring (som forventet fra ekte Ethernet), men i forhold til dataoverføring med Wifi på S-CMP, er det minst 10 ganger raskere. For den modifiserte kablede S-CMP er dataoverføringshastigheten i samme størrelsesorden som for ROV. Til tross for høy intern lagringskapasitet, er det nødvendig å overføre data ofte med hensyn til datasikkerhet, da risikoen for tap av data er høy på grunn av maskinvarefeil forårsaket av vann inntrengning, etc.. Dette gjelder begge plattformene.

Retning – IR-kameraoppløsningen er 1280 x 720. Dette er et perspektivforhold på 16:9. I ROV er kameraet orientert horisontalt, mens det i S-CMP er orientert vertikalt. Siden målobjektene (fisk i stimer) antas å bevege seg for det meste i et horisontalt plan, forventes det at den horisontale retningen i ROV gir nesten 2 ganger (16/9) mer nøyaktig lengde (flere piksler i horisontalplan) målinger av fisk enn vertikal orientering (figur 26). Det øker også systemets nærområdefunksjoner (det vil si den minste nødvendige avstanden mellom kamera og objekt for å dekke hele objektet /fisken).



Figur 26 - som illustrerer en 16:9 ramme plassert over fisk av samme relative størrelse. Venstre: horisontal visning; Høyre: vertikal visning.

Live view / control - Live view eller "first-person view" (FPV) av kameraets bildeopptak er en viktig funksjon i begge systemene. Hvis dette ikke virker, er det ikke mulig å vite om kameraet tar bilder av fisk eller ikke. Operasjon av ROV vil også være vanskeligere, da piloten trenger visuell kontakt med ROV sammen med FPV for å nærme seg mål. For S-CMP er manøvrering ikke avhengig av FPV. Muligheten til å kontrollere (start/stopp) av opptak er avgjørende for å unngå bortkastet tid i opptak når det ikke er fisk å observere.

4.2.2.1 S-CMP - Tekniske utfordringer

Målet var å utvikle en plattform med Ethernet og seriell kommunikasjon i et hus hvor ulike sensorer og instrumenter kan monteres avhengig av bruksområdet. Bruk av et allerede utviklet stereokamerasystem for måling av fiskelengde (utviklet av Mohn-teknologi) forpliktet til bruk av spesifikk maskinvare. Dette viste seg å være en utfordring i dette systemet som er utsatt for krefter introdusert ved måten å distribuere den ved hjelp av en luftkanon. Imidlertid hadde tidligere versjoner av fangstovervåkingssonden (CMP) vist at allment tilgjengelig elektronikk er i stand til å overleve disse kreftene (Breen et al, n.d.). Plassbegrensninger gitt av at utstyret må passe i et kanonløp (rør med 100mm ytre diameter) med en indre diameter 65 mm inne i huset begrenset valget av leverandører med telemetriteknologier (wifi) betydelig.

En annen utfordring var demping av radiosignaler. Demping av radiosignaler fra S-CMP skjedde ikke bare når antennen gikk under vannflaten, men også på grunn av refleksjoner og fading fra vannflaten. Den flytende antennen måtte være minst en bølgelengde; (ved 2,5 GHz er det ca. 125 mm) unna havoverflaten for å opprettholde et godt strålingsmønster og holde standbølgeforholdet (VSWR er et mål på hvor effektivt radiofrekvenskraft overføres fra en effektforsterker gjennom en overføringslinje, til en antenne) så godt som mulig (VSWR 1:1).

Sist men ikke minst trenger elektronikk et tørt miljø. Inntrenging av sjøvann kan ødelegge all elektronikk på et øyeblikk.

Under forsøkene på Austevoll lekket huset på grunn av avvik i utforming av O-ringspor i midtseksjonen og flensene. Denne feilen ødela ett stereokamera og noen kontakter, mens datakortet og batteriet heldigvis overlevde. Etter modifisering av undervannshuset ble O-ringsporene endret og nye O-ringer montert. Nye våttester viste da at huset ble vanntett til 37 meter.

Under felttesting sluttet telemetri hardwaren å fungere. Dette mistenktes å være forårsaket av at antennen går under overflaten og dette fører til høye svingninger i VSWR, kombinert med høy effekt (0,1 watt gikk bra, mens ved 0,2 watt gikk dette i stykker). Hvis Wi-Fi skal brukes i fremtiden, må flotøren med innebygd antenne redesignes for å løse dette problemet.

Et annet problem var at prosessorkortet stoppe av og til mens proben var i bruk, dette ble mistenkt for å være relatert til akselerasjons-/retardasjonsstyrkene under utskyting med luftkanonen.

For å komme rundt den ødelagte telemetrimaskinvaren ble proben ombygd til å få kommunikasjon gjennom en Ethernet-kabel. Dette førte til at proben ikke kunne skytes ut med kanonen men måtte istedet fires ned fra skutensiden Dette gjorde at man likevel kunne samle inn data for prosjektet og fullføre analysene.

Andre problemer, som bør løses i fremtiden, er muligheten til å bruke en USB-minnepinne til å lagre bilder i stedet for å lagre dem lokalt på prosessorkortet. Dette støttes for øyeblikket ikkeda det krever et script som monterer USB-minnepinnen i prosessorsystemet. Denne implementasjonen ville gi en opptakstid på mer enn 60 minutter (begrenset av innebygd minnestørrelse på prosessorkort) og en rask turnaround tid på proben (bare bytte USB-pinne og batteri) før nytt utsett.

4.2.2.2 ROV ("FishBot" og "FishBot 2") Tekniske utfordringer

FishBot2 ble forbedret med større batterier og EMC (Electronic Motor Controller) for å kjøre thrusterne på full kapasitet over lengre perioder. Dette viste seg nødvendig under ROV-studien i Byfjorden (september 2019) hvor strømmen i vannet og fra thrusterne til fiskefartøyet begrenset ROV'en betydelig. Det var fortsatt noen problemer med at ROV drev vekk fra fartøyet under forskningscruiset på Fiskebas i september 2020. Dette kan forbedres i fremtiden ved å fjerne en sikkerhetsgrense på 85% til thrusterne eller designe ROV for å ha mindre drag under drift.

FishBot2 ble også oppdatert med selvutviklede thrusterestryringer for å redusere størrelse og kunne øke forsyningsspenningen. Tre av disse kontrollerene gikk i stykker under cruiset i september 2020 på grunn av en dårlig isolert kabel. ROV måtte derfor utføre de fleste testene

med bare 7 eller 6 thrustere som virket, noe som forårsaket stabilitetsproblemer. Dette førte igjen til dårlig manøvrerbarhet og ustabile og uskarpe bilder. Problemer med thrusterkontrolleren vil bli undersøkt og løst før ytterligere operasjonelle forsøk.

Det var vanskelig å lokalisere fisk hvis FishBot ikke kom direkte inn på stimen etter utsetting. Å se seg rundt etter fisken ved hjelp av kameraet var upraktisk på grunn av begrenset synsfelt i vannet. Dette kan forbedres i fremtiden ved å inkludere andre instrumenter på ROV, for eksempel ekkolodd.

4.2.2.3 Alternative plattformer

Nær tilnærming av fiskefartøyet til stimen er problematisk, fordi det kan føre til uønskede unndragelsesreaksjoner i stimen. Derfor foretrekker fiskere å karakterisere stimen på avstand i kommersielle fiskeoperasjoner, det vil si 500-1500m avstand. Verken S-CMP eller nåværende ROV-distribusjonsplattformene kan praktisk brukes til denne strategien. For videre kommersiell utvikling av dette stereokamerasystemet, må alternative plattformer finnes for å sikre at stereokameraet konsekvent kan settes inn innen få meter fra måleobjektet (fisk), men ha en rekkevidde på mer enn 500 meter fra fiskefartøyet. Eksempler på slike plattformer kan omfatte: drone, utstyrt med en versjon av S-CMP som kan senkes inn i stimen (f.eks BirdView, i WP3 av dette prosjektet) med antenne i dronen for trådløs overføring; eller et autonomt undervannsfartøy (AUV).

4.2.2.4 Operasjonell taktikk for utsett av instrumenter

I en videre utviklingsfasene vil det trolig være nødvendig å fortsette å jobbe med S-CMP- og ROV-plattformene. Derfor ville det være en fordel å utvikle en taktikk for å nærme seg fiskestimer med fiskefartøyene på en rolig og lite skremmende måte. Dette ble prøvd og oppnådd til en viss grad, på Fiskebas cruise (september 2020). Det er svært avhengig av god kommunikasjon mellom skipper, forskere og teknisk personell på dekk. Det vil si at det bare er et tidsbegrenset vindu der instrumentene kan settes inn og observere i fiskestimen, før fisken svømmer vekk fra det drivende fartøyet. Derfor må alle systemer være klare for umiddelbar utsetting, så snart fartøyet finner en stim.

Momenter som bør inngå i taktikken er for det første å forutse hastighet og retning på stimen, og i forhold til de rådende vind og strømforhold kan skipperen optimalisere «tilnæringsvektoren» for å sikre at fartøyet driver i en gunstig retning for å kunne sette ut instrumentene drivende mot stimen slik at eventuelle kabler som er utplassert på styrbord side ikke kommer under fartøyet. Videre er det viktig at drift mot stimen foregår relativt stille med motorer i nøytral. Dette vil kunne redusere sannsynligheten for uønskede unndragelsesresponser fra stimen.

5 Konklusjoner og anbefalinger

Dette prosjektet har undersøkt hvor nøyaktig et stereokamerasystem (Intel RealSense D435i, med Mohn Technology måleprogramvare) kan måle lengden på individuelle makrell, både i kontrollerte forsøk i merd og i kommersielt notfiske. I tillegg ble to ulike plattformer for utplassering av stereokameraet testet; en probe (*Stereo Catch Monitoring Probe*, «S-CMP») som skytes ut med luftkanon dit man ønsker den plassert, og en fjernstyrt undervannsfarkost (ROV, *Remotely Operated Vehicle*) kalt «FishBot 2».

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 % feil for alle estimer, og under 5 % for flertallet av målingene. I de kontrollerte merd-forsøkene ble sågar målefeil under 1 % observert. En standard målestav ble også testet, og analysene av disse målingene bekreftet at kamerasystemet hadde en systematisk positiv 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 protokollene for stereokalibrering og validering, samt å øke stereokameraets dybdeoppløsning ved å øke avstanden mellom kamerasensorene. I pelagiske fiskerier benyttes vanligvis gjennomsnittlig individvekt i fangsten, ikke lengde, som beregningsgrunnlag. For at stereokamerasystemet skal kunne estimere gjennomsnittsvekt nøyaktig må det i tillegg utvikles metoder for å oppdatere standardmodellene for lengde-vekt-forholdet i sanntid, med presis informasjon om lokasjon og sesong.

Begge utplasseringsplattformene («S-CMP» og «FishBot 2») fungerer tilfredsstillende som forskningsplattformer i utviklingen av stereokamerasystemet. ROV-en kom seg konsekvent nærmere makrellen enn proben klarte, men tross både dette og den avstandsrelaterte avviket, var det tilsynelatende ingen forskjell totalt sett 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, noe som kan føre til at stimen skremmes bort. Utvikling av metoder for å komme tett på stimen i stillhet, uten å indusere fluktespons, 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, *Autonomous Underwater Vehicle*).

For videreutvikling av dette stereokamerasystemet som et verktøy for å måle en fiskestims gjennomsnittsstørrelse og artssammensetning til bruk i kommersielt notfiske, anbefales følgende:

- Videreutvikle protokoller for kalibrering og validering av målinger for å minimere avstandsrelatert avvik i måleestimatene.
- Undersøke om større avstand mellom stereokameraets sensorer vil øke systemets målenøyaktighet ved at dybdeoppløsningen forbedres.

- 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 gaffellengden 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 basert på estimatene (for eksempel ved bruk av *datasyn/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 kravetterlevelse i kommersielt notfiske. Det vil sette fiskere i stand til å unngå å kaste på stimer med uønsket karakteristikk, og på den måten eliminere potensiell dødelighet for fangst som ellers måtte slippes. Ved å unngå unødvendige notkast vil dessuten store mengder drivstoff spares, og følgelig vil fiskeriets karbonavtrykk reduseres betraktelig.

6 Anerkjennelser

Arbeidet beskrevet i denne rapporten ble primært finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF) -finansiert prosjekt «Fangstkontroll i notfiske etter pelagiske arter» (FHF 901350). Imidlertid har den også bygd på teknologier og metoder som er utviklet i prosjektene: «Beste praksis for slipping fra not» (FHF 900999), «*RedSlip: Reducing slipping mortality in purse seines by understanding interactions and behaviour*» (NFR 243885) og den norske Forskningsrådets “Center for Research based Innovation in Sustainable Fish capture and Pre-processing Technology” (CRISP). Mohn Technology AS har finansiert sin egen utvikling og timebruk i prosjektet.

Forfatterne erkjenner takknemlig:

- Jan Tore Øvredal og Bjørn Totland for deres tekniske ekspertise og ressurssterkhet i utviklingen og implementeringen av Stereo Catch Monitoring Probe (S-CMP).
- Neil Anders for sin stereoanalyse av bilder fra kalibrerings- og valideringsøvelser for WeeView stereokamera (ikke rapportert her).
- Bjørn Magne Hufthammar og teknisk teamen ved Austevoll Research Station, som fanget, vedlikeholdt og overførte makrellen som ble brukt i denne studien.
- Maija Tenningen for å ha ledet oss i dette prosjektet og for korrekturlese av denne rapporten.
- Våre kolleger hos Mohn Technology, Stein Mohn, Einar Mehl, Nils Dunkelberg og Saber Derouiche, for deres kontinuerlige samarbeid og entusiasme under vår felles utvikling av stereokameraovervåkingsplattformene.

Til slutt, vår oppriktig takk til mannskapet og skipperen (Geir Madsen) på det kommersielle snurpenotfartøyet, M / F Fiskebas. Din ekspertise, ærlige råd og fortsatte støtte har vært uvurderlig for å lykkes med dette arbeidet.

7 References

- Anders, N., Breen, M., Saltskår, J., Totland, B., Øvredal, J. T., & Vold, A. (2019a). Behavioural and welfare implications of a new slipping methodology for purse seine fisheries in Norwegian waters. *PloS ONE*, 14(3), e0213031.
- Beddow, T.A., Ross, L.G. & Marchant, J.A. 1996. Predicting salmon biomass remotely using a digital stereo-imaging technique, *Aquaculture*, 146 (3–4), 189-203, ISSN 0044-8486, [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01384-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01384-1).
- Ben-Yami, M. 1994. Purse seining manual, Fishing News Books, Oxford. 416 pp.
- Boldt, J.L., Williams, K., Rooper, C.N., Towler, R.H. & Gauthier, S. 2018. Development of stereo camera methodologies to improve pelagic fish biomass estimates and inform ecosystem management in marine waters, *Fisheries Research*, 198, 66-77, ISSN 0165-7836, <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.10.013>.
- Boswell, K. M., M. P. Wilson, and J. H. Cowan. 2008. Semiautomated approach to estimating fish size, abundance, and behavior from Dual-Frequency Identification Sonar (DIDSON) data. *N. Am. J. Fish. Manage.* 28: 799–807. doi:10.1577/M07-116.1
- Bouguet, J. 2013. Camera calibration toolbox for MATLAB. California Institute of Technology. Available from http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html
- Boutros, N., Shortis, M.R. and Harvey, E.S., 2015. A comparison of calibration methods and system configurations of underwater stereo-video systems for applications in marine ecology. *Limnol. Oceanogr. Methods*, 13: 224-236. <https://doi.org/10.1002/lom3.10020>
- Breen, M., Isaksen, B., Ona, E., Pedersen, A.O., Pedersen, G., Saltskår, J., Svoldal, B., Tenningen, M., Thomas, P.J., Totland, B., Øvredal J.T. & Vold, A. 2012. A review of possible mitigation measures for reducing mortality caused by slipping from purse-seine fisheries. ICES CM 2012/C:12
- Breen, M., Anders, N., Humborstad, O.-B., Nilsson, J., Tenningen, M. & Vold, A., 2020a. Catch Welfare Commercial Fisheries. In *Fish Welfare* (Kristiansen, T. S., Fernö, A., van de Vis, H., eds), pp. 401-438. Springer Nature, Switzerland. ISBN: 978-3-030-41674-4. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-41675-1>
- Breen, M., Schuster, E., Hannaas, S., Saltskår, J., Solberg, E.A. and Myklebost, M.R. 2020b. A Prototype Stereo-Camera System for Identification of Species Composition and Size Distribution In Commercial Purse Seine Fishing. Deliverable Report 4.1 for «Fangstkontroll i notfiske etter pelagiske arter» (FHF 901350).
- Breen M, Saltskår J, Anders N, Totland B, Tenningen M, Handegard NO, et al. (n.d.). A novel method for monitoring the behaviour of mackerel (*Scomber scombrus*) in relation to crowding and oxygen concentrations in commercial purse seine catches. Unpublished manuscript. 2018.
- Burwen, D. L., S. J. Fleischman, and J. D. Miller. 2010. Accuracy and precision of salmon length estimates taken from DIDSON sonar images. *Trans. Am. Fish. Soc.* 139: 1306–1314. doi:10.1577/T09-173.1
- Coull, K.A., Jermyn, A.S., Newton, A.W., Henderson, G.I. and Hall, W.B. (1989). Length/Weight Relationships for 88 Species of Fish Encountered in the North East Atlantic. *Scottish Fisheries Research Report*, 43, 81pp.
- Crawley, M.J. 2015. *Statistics: An Introduction Using R* (2nd Edition). John Wiley & Sons, Chichester, 2015. ISBN 978-1-118-94109-6. 339 pp. USD 45.00 (P). <http://www.imperial.ac.uk/bio/research/crawley/statistics/>
- Cutter, G. R., and Demer, D. A. 2007. Accounting for scattering directivity and fish behaviour in multibeam-echosounder surveys. *ICES Journal of Marine Science*, 64: 1664–1674.

- EU. (2014a). Discard Plan for certain pelagic fisheries in north-western waters. Commission Delegated Regulation (EU), No 1393/2014.
- EU. (2014b). Discard Plan for certain pelagic fisheries in the North Sea. Commission Delegated Regulation (EU) No 1395/2014.
- Giancola, S. et al., 2018. A Survey on 3D Cameras: Metrological Comparison of Time-of-Flight, Structured-Light and Active Stereoscopy Technologies, Springer Briefs in Computer Science, https://doi.org/10.1007/978-3-319-91761-0_1
- Hao, M., Yu, H. & Li. D. 2015. The Measurement of Fish Size by Machine Vision - A Review. 9th International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA), Sep 2015, Beijing, China. pp.15-32, [ff10.1007/978-3-319-48354-2_2ff](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48354-2_2ff). [ffhal-01614170f](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48354-2_2ff)
- Harvey, E. S., J. Goezte, B. McLaren, T. Langlois, and M. Shortis. 2010. Influence of range, angle of view, image resolution and image compression on underwater stereo video measurements: High-definition and broadcast resolution video cameras compared. *Mar. Technol. Soc. J.* 44: 75–85. doi:10.4031/MTSJ.44.1.3
- Holmin, A. J., Handegard, N. O., Korneliussen, R. J., and Tjostheim, D. 2012. Simulations of multi-beam sonar echoes from schooling individual fish in a quiet environment. *Journal of the Acoustical Society of America*, 132: 3720–3734.
- Hunt, J.J. & Stobo, W.T., 1976. Conversion factors for length measurements of Atlantic mackerel. ICNAF Res. Doc, 76/XII/136.
- Huse, I. and A. Vold, 2010. Mortality of mackerel (*Scomber scombrus* L.) after pursing and slipping from a purse seine. *Fisheries Research*, 2010. 106(1): p. 54-59.
- Imaizumi, T., Abe, K., Takahashi, R., Matsuo, I. and Akamatsu, T. 2016. "Visualization of fish movement and size estimation of the fish by using broadband split-beam echo sounder," 2016 Techno-Ocean (Techno-Ocean), Kobe, 2016, pp. 552-555, doi: 10.1109/Techno-Ocean.2016.7890716.
- ICES. 2012. Topic Group on the Use of Artificial Light in Fishing. In the Report of the ICES-FAO Working Group on Fishing Technology and Fish Behaviour (WGFTFB), 23-27 April 2012, Lorient, France. ICES CM 2012/SSGESST:07. 206 pp.
- ICES. 2013. Topic Group on the Use of Artificial Light in Fishing. In the Report of the ICES-FAO Working Group on Fish Technology and Fish Behaviour (WGFTFB), 6-10 May 2013, Bangkok, Thailand. ICES CM 2013/SSGESST:11. 116 pp.
- Intel, 2020. <https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d435i/>
- Keselman, L., Woodfill, J.I., Grunnet-Jepsen, A., Bhowmik, A. 2017. Intel RealSense Stereoscopic Depth Cameras. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops, 2017, pp. 1-10
https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2017_workshops/w15/html/Keselman_Intel_RealSense_Stereoscopic_CVPR_2017_paper.html
- Langkau, M. C., H. Balk, M. B. Schmidt, and J. Borcharding. 2012. Can acoustic shadows identify fish species? A novel application of imaging sonar data. *Fish. Manage. Ecol.* 19: 313–322. doi:10.1111/j.1365-2400.2011.00843.x
- Lockwood, S.J., M.G. Pawson, and D.R. Eaton, 1983. The effects of crowding on mackerel (*Scomber scombrus* L) - physical condition and mortality. *Fisheries Research*, 1983. 2(2): p. 129-147.

- Mahé, K., Bellamy, E., Delpéch, J., Lazard, C., Salaun, M., Vérin, Y., . . . Travers-Trolet, M. (2018). Evidence of a relationship between weight and total length of marine fish in the North-eastern Atlantic Ocean: Physiological, spatial and temporal variations. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98(3), 617-625. doi:10.1017/S0025315416001752
- Marçalo, A., Mateus, L, Correia, J.H.D., Serra, P., Fryer, R., Stratoudakis, Y., 2006. Sardine (*Sardina pilchardus*) stress reactions to purse-seine fishing. *Marine Biology*, 149, 1509–1518.
- Marçalo, A., Marques, T., Araújo, J., Pousão-Ferreira, P., Erzini, K., and Stratoudakis, Y. 2010. Fishing simulation experiments for predicting effects of purse-seine capture on sardines (*Sardina pilchardus*). *ICES Journal of Marine Science*, 67: 334–344.
- Marçalo, A., Guerreiro, P.M., Bentes, L., Rangel, M., Monteiro, P., Oliveira, F., M. L. Afonso, C., Pousão-Ferreira, P., Benoit, H.P., Breen, M., Erzini, K. & Gonçalves, Jorge M. S. (2018). Effects of different slipping methods on the mortality of sardine, *Sardina pilchardus*, after purse-seine capture off the Portuguese Southern coast (Algarve). *PLoS ONE* 13(5): e0195433. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195433>
- Misund, O.A. 1990. Sonar observations of schooling herring. School dimensions, swimming behaviour, and avoidance of vessel and purse seine. *Rapp. p.-v. réun. - Cons. int. explor. mer.* 189: 135–146
- Misund, O.A. 1992. Predictable swimming behaviour of schools in purse seine capture situations. *Fisheries Research*. 14(4): 319-328.
- Norwegian Animal Welfare Act, 2009. <https://www.regjeringen.no/en/dokumenter/animal-welfare-act/id571188/>
- NSFR. (2014). Regulations relating to sea-water fisheries. Norwegian Ministry of Fisheries and Coastal Affairs. Amended 7th April 2014. <https://www.fiskeridir.no/.../20140407-regulationsrelating-to-sea-water-fisheries.pdf>
- Nystad, L-H. N. 2018. Automated Detection and Weight Estimation of Fish in Underwater 3D Images. MSc Thesis. Dept. Computer Sci. Norwegian University of Science & Technology, Trondheim. 40pp.
- Olafsdottir, A. H., Slotte, A., Jacobsen, J. A., Oskarsson, G. J., Utne, K. R., and Nøttestad, L. Changes in weight-at-length and size-at-age of mature Northeast Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) from 1984 to 2013: effects of mackerel stock size and herring (*Clupea harengus*) stock size. – *ICES Journal of Marine Science*, 73: 1255–1265.
- Pinheiro J, Bates D, DebRoy S, Sarkar D, R Core Team (2020). *nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-150, <URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>>.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Sanchez-Torres G., Ceballos-Arroyo A., and Robles-Serrano S, 2018. Automatic Measurement of Fish Weight and Size by Processing Underwater Hatchery Images. *Engineering Letters*, 26:4, EL_26_4_09. http://www.engineeringletters.com/issues_v26/issue_4/EL_26_4_09.pdf
- SeaGis 2020. <https://www.seagis.com.au/>
- Shortis, M.R., Ravanbaksh, M., Shaifat, F., Harvey, E.S., Mian, A., Seager, J.W., Culverhouse, P.F., Cline, D.E., Edgington, D.R., 2013, May. A review of techniques for the identification and measurement of fish in underwater stereo-video image sequences. In: *Videometrics, Range Imaging, and Applications XII; and Automated Visual Inspection*. vol. 8791. International Society for Optics and Photonics, pp. 87910G.
- Sildesalglaget, 2020. Mackerel weight classes. <https://www.sildesalget.no/en/fisheries/mackerel/>

Silva, J. F. Ellis J. R. and Ayers, R. A. 2013. Length-weight relationships of marine fish collected from around the British Isles, 2013, Cefas Science Series Technical Report no. 150

Statistics Norway, 2020 <https://www.ssb.no/en/fiskeri>

Temple, S. 2007. Effect of salinity on the refractive index of water: Considerations for archer fish aerial vision. *Journal of Fish Biology*. 70. 10.1111/j.1095-8649.2007.01432.x.

Tenningen, M., A. Vold, and R.E. Olsen, 2012. The response of herring to high crowding densities in purse-seines: survival and stress reaction. *ICES Journal of Marine Science*, 2012. 69(8): p. 1523-1531.

Tenningen, M., Macaulay, G. J., Rieucou, G., Peña, H., and Korneliussen, R. J. 2017. Behaviours of Atlantic herring and mackerel in a purse-seine net, observed using multibeam sonar. *ICES Journal of Marine Science*, 74: 359–368.

Torisawa, S., Kadota, M., Komeyama, K., Suzuki, K. and Takagi, T., 2011. A digital stereo-video camera system for three-dimensional monitoring of free-swimming Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, cultured in a net cage. *Aquat. Living Resour.* 24 (2) 107-112. DOI: 10.1051/alr/2011133

Underwood MJ, Rosen S, Engås A, Eriksen E (2014) Deep Vision: An In-Trawl Stereo Camera Makes a Step Forward in Monitoring the Pelagic Community. *PLoS ONE* 9(11): e112304. doi:10.1371/journal.pone.0112304

Watson, R. A., and Tidd, A. 2018. Mapping nearly a century and a half of global marine fishing: 1869–2015. *Marine Policy*, 93: 171–177.

Williams, K., Lauffenburger, N., Chuang, M-C., Hwang, J-N., and Towler, R. 2016. Automated measurements of fish within a trawl using stereo images from a Camera-Trawl device (CamTrawl), *Methods in Oceanography*, 17, 138-152. ISSN 2211-1220. <https://doi.org/10.1016/j.mio.2016.09.008>.

Vedlegg - Merknader om bildevalg og målekriterier

1. Bruk stor HD-skjerm for måling - for å maksimere definisjonen under måling
2. Prøv å måle all målbar fisk i et bilde - målbarheten til en fisk i et bilde antas å være en tilfeldig prosess. Hvis nødvendig, fordi et målbart fiskebilde tilsløres av målekommentarer, lagrer du (trykk på den midterste museknappen) og fjern bildet - gjenta deretter bildet.
3. Forsøk å unngå å måle den samme fisken aktivt / bevisst flere ganger, i samme gjentatte bilder eller sammenhengende bilder [med mindre en del av intra-observatør / målefeiltest]. Imidlertid vil det under analysen antas at det var tilfeldig prøvetaking med erstatning - så det blir tatt hensyn til sporadisk tilfeldig utvalg av samme fisk.
4. Unngå dårlig fokuserte bilder
5. Unngå overlappende / tilslørt fisk (fra andre fisker, gjenstander eller analysekommentarer)
6. Unngå snu eller bøyd fisk
7. Unngå fisk i vinkler (i z-dimensjon) på $> 45^\circ$
8. Mål nesen (først) til halen (mellom gaffelen) (andre) - for senere diskriminering mellom målepunktene.
9. Sjekk dybdekart => det skal ha en klart definert form
10. Blå prikker (relatert til tilsvarende posisjoner i dybdekartet) skal stemme overens med brukerdefinert lengde (rød linje) - hvis ikke, avvis.