

Sluttrapport FHF-prosjekt 901360

Optibløgg

Rapport utarbeidet av: Johan Espelund, Daniel Kvam, Andreas F. Norman, Lars A. Langøyli Giske
01.09.2023



Innhold

Sammendrag	3
Innledning.....	3
Mål.....	4
Gjennomføring av prosjekt.....	4
Tester.....	6
Hovedfunn	9
Resultater	10
Bilder	11
Konklusjon	13
Leveranser	14
Prosjektgruppe	14

Sammendrag

I dette prosjektet som har pågått fra 2017-2023 var målet å komme frem til en automatisert metode for å bløgge hvitfisk om bord i trålere. Optimar har nå fullført lab-testing der villfanget avlivet torsk ble brukt. Torsken var dagsfersk.

Test lab bestod av disse hovedkomponentene: kamerasystem, 7kg en arms robot, maskinlærings-pc og transportør.

På første leveranse av fisk samlet vi 200 bilder av torsk som er et noe tynt treningsgrunnlag for å trene en maskinlæringsmodell. Maskinlæringsmodellen ble trent på bildene som ble samlet inn. På den andre leveringen av fisk bløgget vi fisk basert på treningsdata fra første levering, ca. 20 fisk ble bløgget. Vi oppnådde et godt resultat på detektering av bløggepunkt samt stikking av fisk. Repetisjonsnøyaktigheten var også godt innenfor hva som kan aksepteres basert på Optimars erfaring fra automatisert bløgging av oppdrettsfisk. Det var ingen feilstikking av fisk, derimot var det noen fisk som vårt system ikke klarte å definere bløggepunkt på, grunnen for dette er mangelfull treningsdata.

Innledning

Prosjektet kommer som en naturlig oppfølging til prosjektene «Optipro», «Optipro-2», «Bløggomat1» og «art- og størrelsessortering ved bruk av bildeteknologi». Disse prosjektene er også oppfølging fra tidligere prosjekter i regi av FHF. De to første prosjektene er prosjekter som har hatt som mål å øke kvaliteten på trålfanget hvitfisk. Kvaliteten og verdien forringes raskt når fisk dør, og tappt kvalitet kan ikke gjenvinnes. I disse prosjektene har man funnet ut at man får best kvalitet dersom man bløgger fisken når den er levende, og at det er minst blod i fiskekjøttet dersom fisken er ustresset når den bløgges. Da vil det meste av blodet samle seg i innvollene. Dette kan man få til ved å ta fisken levende om bord, og la den restituere seg i tanker fylt med vann i minimum seks timer. Det kreves at mottakstanker og restitusjonstanker designes på en ny måte. Dette er beskrevet i rapportene. Det er også gjort erfaringer med dette ombord i hvitfisktråleren Molnes, som man vil bruke i dette arbeidet.

I den videre prosessen har det vist seg at å bløgge levende restituert fisk er tungt og vanskelig. Ønsket er derfor å bedøve fisken før den bløgges. Det brukes i dag en elektrobedøver fra Optimar til dette, og flere trålere og linebåter har dette installert. Det er også gjort forskning på området og riktig parameter for bedøvelse er etablert.

Ifølge foreløpig rapport fra «Bløggomat 1», så gjenstår det mye arbeid for å få til automatisk bløgging av torsk om bord i en tråler, selv om man har kommet et stykke på vei i arbeidet. Det pekes i rapporten på at det trolig vil være nødvendig å fastslå både art og størrelse, før et bløggesystem med nøyaktighet kan bestemme hvor fisken skal bløgges. Derfor blir dette hovedfokuset i dette prosjektet.

Bløgging om bord er i dag en manuell prosess.

Etter bløgging skal fisken blø ut. For å få en hvitest mulig fisk av god kvalitet er det avgjørende at utblødingen foregår ved rett temperatur og i vann. Forsøk viser at best resultat oppnås om fisken også holdes noe i bevegelse under utblødingen, for eksempel gjennom å røre om i vannet vha. dyser eller lignende.

I de tidligere prosjektene har det meste foregått på et teoretisk- eller laboratorie-stadium med en del testing for å komme nærmere en industriell løsning. Dette prosjektet vil muliggjøre at forskningen som til nå har blitt utført, utvikles til et industrielt nivå slik at næringen kan nyttiggjøre seg den.

Mål

Hovedmålet er å realisere en fullskala levendelagringssystem med automatisk bløgging ombord i tråler.

Delmålene er:

- Design av prosesslinje fra levendelagring til utblødning
- Utvikling av bildeanalyse for automatisk bløgging av hvitfisk
- Utvikling av bløggerobot for hvitfisk om bord i tråler
- Videreutvikling av utblødningstanker med automatisk tidsforløp

Gjennomføring av prosjekt

2017: Gjennomgang av prosjektet med de involverte i prosjekt gruppen og styringsgruppe. Prosjektet ble opprettet internt og fikk tildelte ressurser.

2018: Optimar satte i gang med idéskisser og forslag til design på robotløsning. Erfaringsdata ble samlet inn fra tidligere laksebløggingsprosjekt og nytteverdi fra tidligere prosjekt ble målt opp mot dette prosjektet. Komplett gjennomgang av eksisterende kamerateknologi og software ble utført. Det ble da besluttet å utvikle ny programvare med bedre treffsikkerhet og vurdere alternativ lyskilde og kamerateknologi. Ny programvare ble utviklet dette året og testet på bløggerobot på laks med godt resultat.

2019: Forsøk på bløgging av torsk i hode ble utført hos Nofima med godt resultat. Forsøket simulerte en automatisert løsning ved at fisken ble lagt på en jigg og en kniv bløgget fisken ved å bli droppet fra en gitt høyde. Resultatene viste tre akseptable stikkpunkt fra et utblødningsperspektiv. En intern teststasjon ble etablert hos Optimar på Valderøy. Det ble samlet inn tilstrekkelig treningsdata på dagsfersk avlivet torsk for å kunne utføre en testbløgging. Bløggeforsøk ble utført ved hjelp av robot med bra resultat, tross noe mangelfullt treningsgrunnlag. Optimar besluttet ut ifra testen at vi er klare for å gjøre testing i større skala, der vi også får tilgang på en større mengde fisk og arbeidet med å finne en pilotkunde startet.

2020: Gjennom dette året har vi jobbet med å finne pilot kunder for prosjektet. Det har vært utfordrende å finne en kunde som hadde plass til å ta om bord testriggen som vi har brukt til testing på Valderøya og vi har fokusert på å finne en samarbeidspartner som har mulighet for å teste denne på oppdrettstorsk (på land). Vi har også samtidig fokusert på å finne andre robotløsninger som er mindre plasskrevende og enklere å få plassert om bord i tråler for uttesting.

Testing hos slakteri på land har vist seg å være vanskelig å få til i år på grunn av Covid 19.

2021: Optimar har funnet en ny robot-type som bygger mindre enn den opprinnelige testroboten som er næringsmiddelgodkjent og har en IP-grad på 69K, samt ei relativt lav vekt. Kapasiteten blir lettere å skalere etter kundens ønske med denne løsningen.

2022: Igjennom dette året så har vi fokusert på å utvikle bløggesoftware, samt lære oss å programmere en ny type robot som ikke er kjent i næringen fra før. Spesielt mye tid gikk med til å utvikle programvare for håndtering av kommunikasjon mellom robot og maskinsynprogramvare.

Siden hvitfisk vil ha mye høyere variasjon enn laks/ørret, kunne vi ikke gjenbruke det kommersielt tilgjengelige systemet for å detektere bløggepunkt for laks/ørret, og en del arbeid har gått med til å gjenoppbygge dette deteksjonsprogrammet mtp. å være mindre sensitivt for størrelsesvariasjoner og ulikheter i utseende.

2023: Testing og justering av ny programvare for å detektere bløggepunkt har blitt gjennomført. Robotprogram har blitt testet og justert i mange iterasjoner. Kalibreringsrutiner er lagt inn, slik at det er relativt enkelt for kunde å justere inn kameraoppsettet ved hjelp av et webgrensesnitt med instruksjoner og ulike kalibreringsobjekt som sendes gjennom systemet.

Bløggerobot ble ferdig testet i august dette året og er nå klar til å selges som en prototype.

Tester

Kamerasystem

Utforming: Lærdom fra dette prosjektet, med tanke på valg av kamera, kamerahus, gjennomføringer og innfestninger, har allerede blitt videreført til andre anlegg på land og om bord, og har på den måten blitt testet i realistiske omgivelser.

Artsbestemmelse: Dersom det blir nødvendig med artsbestemmelse har vi testet et oppsett med fargekamera, og ulike lys og filter for å få et best mulig fargebilde av fisken. Vi har også laget programvare som fletter sammen bilder fra to kamera til ett enkelt RGBD-bilde som har både farge og dybde, samt kalibreringsrutiner for å kompensere for påvirkning fra omgivelseslys.

Stabilitet: Selve kameraet og forbindelsen til dette må tåle lange produksjonsperioder i krevende omgivelser. Dette går mye på utforming, men vi har også utviklet og testet programvare som sørger for at systemet starter opp igjen automatisk ved brudd på strøm eller dataforbindelse.

Kalibrering

Utstyr: Vi har testet ut ulike kalibreringsobjekt for å automatisk korrigere eksponeringstid, forvrengning fra kameraets posisjon og linse, og farger ved bruk av fargekamera.



Fig 2. Sirkulært objekt for kalibrering av 3D rom

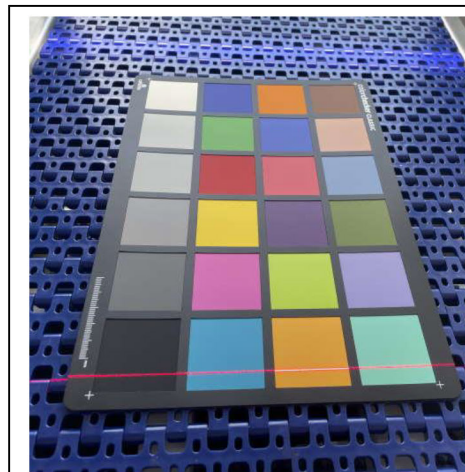


Fig 3. Macbeth-kort for kalibrering av eksponeringstid og farger.

Nøyaktighet: For å bestemme nøyaktighet demonterer vi utstyret og monterer det igjen, etterfulgt av én runde med kalibrering. Dette har blitt gjort flere ganger, og vi har sett på avvik.

Brukervennlighet: Av erfaring er det vanskelig å levere den presisjonen som trengs for å prosessere fisken riktig over lang tid. Det er også tungvint å sende servicepersonell for å gjøre smårettinger. Derfor har vi med hjelp fra ansatte i andre avdelinger testet brukervennligheten på kalibreringsrutinene. Med tanke på at nesten hvem som helst skal kunne utføre dette selv med instruksjoner på skjerm. Kalibreringen foregår ved å sende en rekke nøye utvalgte objekter gjennom systemet.

Programvare

Deteksjon: En algoritme har blitt utviklet for å finne hver enkelt fisk og regne ut dimensjoner og volum. Tester har blitt utført på kunstig og villfanget fisk for å kontrollere at målene stemmer overens med virkeligheten. Nøyaktighet på volummåling er kontrollert ved hjelp av 3D-printede testobjekt med kjent størrelse.

Stikkpunkt: En maskinlæringsmodell ble brukt for å finne stikkpunkt. Denne kan trenes opp på de fleste oseaniske og pelagiske arter. Systemet kan kanskje få problemer med å finne et godt stikkpunkt på fisk som ligger på buken, som skjer oftere for bentopelagiske fiskeslag. Hvis systemet ikke finner stikkpunkt vil dette indikeres med lamper over fisken ved utmating.

Brukervennlighet: Vi har kontrollert at bruker kan endre mellom ulike arter og stikkpunkt. At punktet flytter seg det antall millimeter i enhver retning som angitt. At vinkelen er korrekt uavhengig av

fiskens rotasjon. At stikkpunktet vises riktig i henhold til hvilken kniv som er brukt. At bruker kan velge dybde på stikket og at roboten overstyrer dette hvis stikket er satt dypere enn fisken faktisk er.

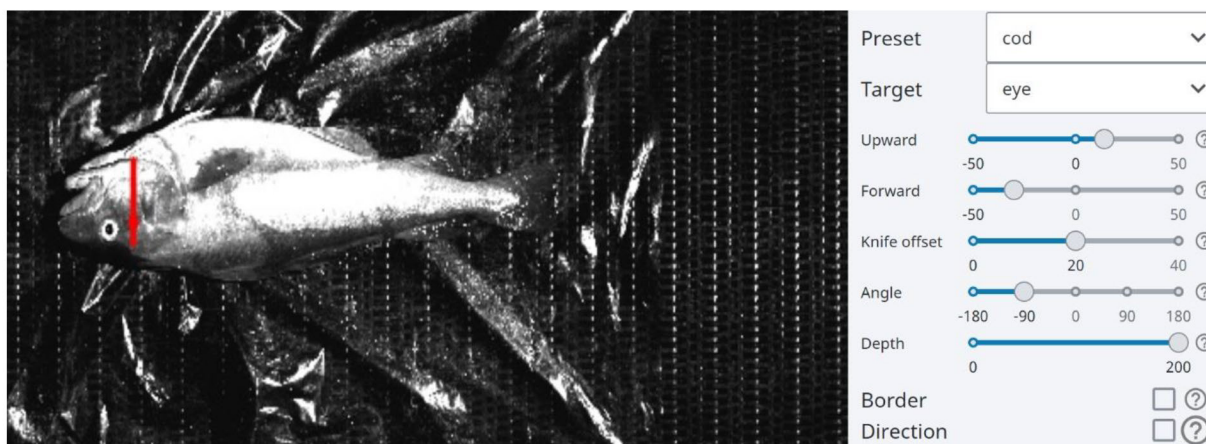


Fig 4. Torsk på plast med stikkpunkt og justeringsmuligheter vist til høyre.

Robot

Kommunikasjon: Roboten skal følge objektene, fullføre et stikk hvis mulig og rapportere tilbake til kamerasystemet som loggfører operasjonen. Et logginnelegg inneholder størrelse og posisjon på objektet eller fisken, eventuell deteksjon av stikkpunkt på fisken, om roboten fullførte et stikk på fisken, og eventuelt hvorfor ikke. Vi har også testet at kommunikasjonen gjenopptas ved brudd på strøm eller dataforbindelse.

Kniv: Denne har blitt designet og testet, og vi har fått den godkjent av Nofima for hvitfisk. Vi har kjørt tre runder med testing på torsk med denne kniven. Hvor torsk med ulik størrelse ble sendt gjennom systemet i ulike orienteringer. I første test prøvde vi å kutte gjellebuer, og i de påfølgende to satte vi et stikkpunkt 3-4cm bak øyet med en 90-graders vinkel nedover (figur 4) for å kutte dorsale aorta over gjellene.

Kapasitet: Hastighet i stikk-bevegelsen er testet og justert for å minimere syklustid uten å påvirke nøyaktigheten på kritiske bevegelser. Det understrekes at nøyaktighet blitt vektlagt mer enn syklustid. Grunnet hvordan bevegelsesinstrukser defineres i robotprogrammet er det nødvendig å tilpasse bevegelseskurven etter at fabrikkspesifikke variasjoner er kjent. Det er uansett anslått at slike justeringer vil i liten grad påvirke syklustiden. I tillegg kan det være aktuelt med en vurdering av hvorvidt slike justeringer vil påvirke serviceintervall og levetid på komponenter.

Stresstest: Roboten, sammen med omkringliggende systemer, ble testet i 12 timer. For å være en fungerende løsning i produksjon må oppetid være nær hundre prosent, så lenge det ikke er mekaniske feil på utstyret. Under utviklingen har det forekommet situasjoner relatert til arbeidsområde, rekkevidde og køhåndtering som har resultert i systemstopp eller uønsket funksjon, og som ville ha resultert i et svakere utgangspunkt for produktet. Derfor har det blitt lagt stor vekt på å tilpasse robotens handlingsrom og prioriteringer for å gi best mulig flyt. Samme test ligger til grunn for kartlegging av kapasitet og begrensninger, da dette er noe som best kan fastslås over tid. Stresstesten ble utført ved å montere et rikelig antall sirkulære objekter med ulik høyde på transportøren. En syl ble montert på robotens endeplate til fordel for bløtgekniv, for bedre å kunne

observere stikkpunkt med nøyaktighet. Kerasystemet ble satt til å finne midtpunktet på de nevnte objektene, og sende dette som stikkpunkt til roboten.

Nøyaktighet: Produsent oppgir en nøyaktighet på 0.01mm, og vi klarte ikke å dokumentere avvik fra dette på stasjonære mål. Å isolere robotens avvik på bevegelige mål er ikke mulig med vårt utstyr.

Hovedfunn

- Torsk kan bløgges med enarmsrobot på 7 kg
- Valgt kamera system kan ta bilder av torsk med godt resultat.
- Maskinlæringsmodellen kan finne bløggepunkt på torsk med høg nøyaktighet
- Repetisjonsnøyaktighet er godt innenfor hva som kreves.

Resultater

Kamerasystem

Utforming: Vi har etter flere års utprøving endt opp med en totalpakke som tåler miljøet det skal monteres i og har hygienisk design.

Lasertriangulering: Vi har funnet to alternative fremgangsmåter ved lasertriangulering: En «kompromiss-løsning» hvor en godtar litt unøyaktighet, i bytte mot enklere kalibrering og prosesseringstid. Men også en løsning med gjentatt eksponering, hvor en dobler eller tredobler hastigheten på kameraet og kjører flere ulike eksponeringer på samme område og velger det beste fra hvert bilde.

Artsbestemmelse: Vi har foreløpig valgt en løsning hvor bruker velger type stikk, og utfører det samme stikket på alle arter som går gjennom. Dette er den minst krevende løsningen. Men vi har også utviklet det som trengs for å bestemme art, derunder fargebilder og kalibrering, forutsett at vi samler inn bilder og trener en modell for dette.

Stabilitet: Test på 12 timer viste ingen stabilitetsproblemer. Test med induserte forbindelsestap førte til at systemet startet opp igjen som forventet. Det har vært isolerte tilfeller knyttet til grafikkprosessor som krever en full omstart av systemet, men det er utenfor vår kontroll og skjer kun i veldig spesielle tilfeller.

Kalibrering

Nøyaktighet: Avvik fra registrerte størrelsesmålinger ved testing har vært innenfor akseptable nivåer i høyde, lengde, bredde, areal og volum. Avvikene vil variere med art, og viktige indikatorer vil være grad av motskygge, og om sporden går klar av transportbånd. Avvik på stikkpunkt påvirkes ikke av disse.

Brukervennlighet: Vi ble nødt til å kjøre test i tre runder med tilbakemeldinger før deltakerne i tredje runde klarte å kalibrere programmet uten tidligere kjennskap til systemet.

Programvare

Deteksjon: Telling er ventet å ha en feilrate på om lag én promille, basert på erfaringer fra andre anlegg som har tilsvarende utstyr for telling. Det ble ikke registrert feiltelling under testing. Men det er knyttet usikkerhet til veldig stor villfanget torsk. Den endrede formen på fisken hvis gjellene blåser seg opp i sekundene etter elbedøving, er antatt å være ugunstig for nåværende algoritme.

Stikkpunkt: I programvaren er det oppnåelig med en nøyaktighet på ± 1 mm for stikkpunkt, før mekaniske avvik. Men vi har lagt oss på ± 2 mm som gir en reduksjon i dataprosessering på 75%.

Robot:

Kommunikasjon: Det har ikke blitt registrert avvik i kommunikasjon mellom kamerasystem og robot. Robot overstyrer kommandoer som ikke er tillatt og holder seg innenfor arbeidsområdet.

Kniv: I vår test på villfanget torsk kom det frem at fisken kan skli litt på band under stikking, men ikke mer en det som tillates for å få en vellykket bløgging. Testing ble utført med en fiskestørrelse på mellom 3-4,5 kg. Det kan være behov for å endre litt på knivdesign dersom man ønsker å bløgge større fisk.

Kapasitet: Ut fra utførte lab-tester så estimerer vi en kapasitet på ca. 40 fisk per minutt per robot. Vi ser også at det er muligheter for å oppnå en del høyere momentankapasitet i et kortere tidsintervall.

Beltesporing: Tester gjennomført med robot har vist gode resultater. Kompensasjon i bevegelse for objektets forflytning på båndet fungerer tilsynelatende svært godt.

Transportør: Det har i varierende grad forekommet avvik i stikkpunkt tilsvarende totalt $\pm 4\text{mm}$ inklusiv de forventede ± 2 fra programvaren. Dette er trolig forårsaket av mekaniske svakheter ved transportøren som ble benyttet under utvikling og testing; drivhjul diameteren er for liten, som fører til oscillasjoner i båndhastigheten. Det er uvisst om disse blir tatt høyde for av enkoderenheten som fasiliteterer «belt tracking». Utover dette fører de nevnte oscillasjonene til bevegelse i kamerariggen som er montert i transportørens rammeverk - omfanget av disse bevegelsene er ukjent. Ved fremtidig test av produktet i samarbeid med en pilotkunde, hvor elementer som transportør og kamerastativ er bedre egnet, vil denne problematikken granskes og eventuelt utbedres hvis nødvendig.

Bilder



Test rig



Test av repetisjonsnøyaktighet



Stikkpunkt på torsk

Konklusjon

Denne bløggeroboten står seg som et godt alternativ til automatisk bløgging. Treffsikkerhet og repetisjonsnøyaktighet ligger innenfor forventet resultat. Stikkebevegelsens motsatt-virkende kraft på robotarmen er innenfor robotens toleranse, og selve stikkebevegelsen er tilstrekkelig for bløgging av torsk (og formentlig andre typer fisk og stikkpunkt, basert på erfaring).

Leveranser

- ✓ Referat fra oppstartsmøte i SG
- ✓ Referat fra møte 2 i SG
- ✓ Referat fra møte 3 i SG
- ✓ Faglige delrapport fra fase 1
- ✓ Referat fra møte 4 i SG
- ✓ Referat fra møte 5 i SG
- ✓ Sluttrapport
- ✓ Faktaark
- ✓ Populærvitenskapelig artikkel.

Prosjektgruppe

Johan Espelund

Vidar Pettersen

Fredrik Bolstad

Andreas Flem Norman

Daniel Kvam

Lars A. Langøyli Giske

Av prosjektdeltakere har det vært mange flere – takk for alle små og store bidrag.