

OC2017 A-093 - Åpen

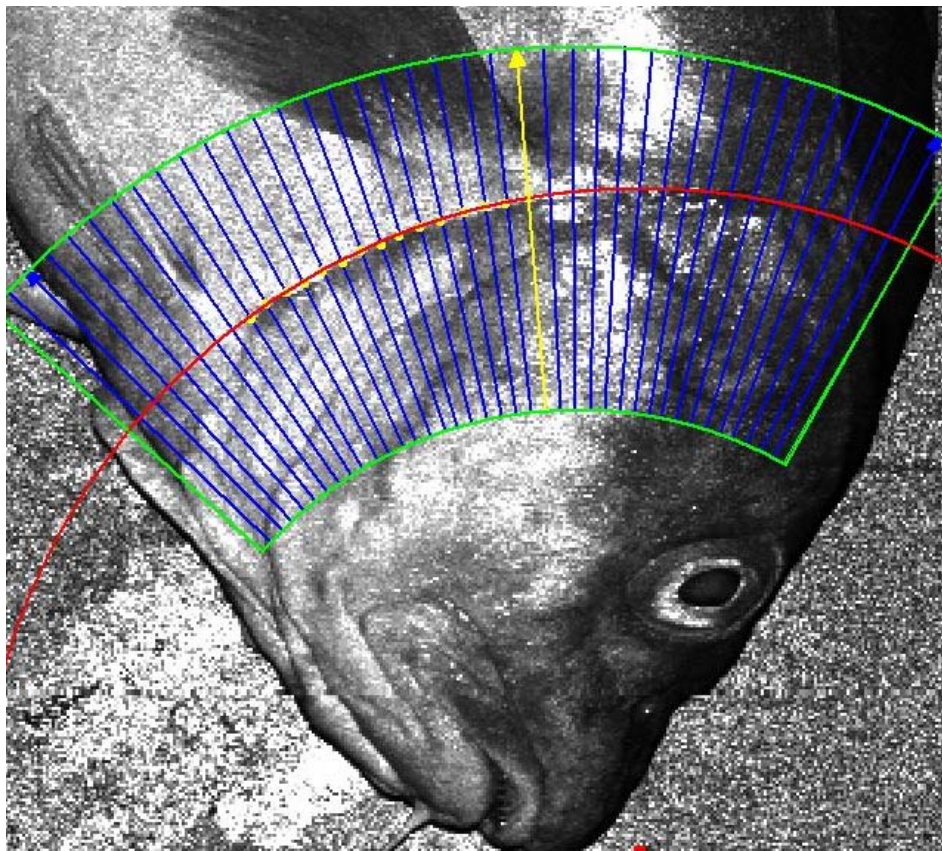
Rapport

Bløggomat1

Automatisk bløgging av hvitfisk og laks

Morten Bondø

Morten Bondø, John Reidar Mathiassen, Cecilie Salomonsen



Rapport

Bløggomat1

Automatisk bløgging av hvitfisk og laks

VERSJON

1

DATO

2017-03-06

FORFATTER(E)

Morten Bondø, John Reidar Mathiassen, Cecilie Salomonsen

OPPDRAGSGIVER(E)

FHF

OPPDRAGSGIVERS REF.

Roar Pedersen

PROSJEKTNR

Fhf #901015

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

23

SAMMENDRAG

Den opprinnelige målsetningen til prosjektet, om å instrumentere opp en tidligere utviklet bløggemaskin (Bløggomaten), ble forkastet. Prosjektet endret kurs og så på bløgging av laks og torsk i skålbånd. I denne bløggeprosessen lå fisken med buken opp i et skålbånd.

I prosjektet ble det også sett på et konsept for bløgging av hvitfisk som ligger på siden på et transportbånd og bløgges med robot. Dette har ført til at det har blitt utviklet flere nye avbildningsprinsipper og algoritmer for deteksjon av gjellebue/bløggepunkt gjennom prosjektets forløp.

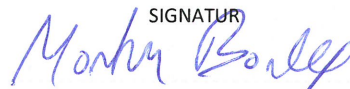
Det har også blitt gjennomført en test av maskinsynssystem ombord på Molnes. Ut fra bildene som ble tatt ombord er det ikke mulig å konkludere med at automatisk bløgging ombord er mulig med denne teknologien.

Ved prosjektets slutt har man kommet med flere ulike konsepter, men har ikke blitt enig med industrien om en spesifikk løsning som det er ønskelig å kommersialisere. Basert på resultatene fra prosjektet har vi tro på at det med et fokusert videre arbeid kan utvikles robust teknologi for automatisk bløgging av hvitfisk ombord og på land.

UTARBEIDET AV

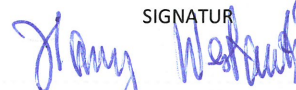
Morten Bondø

SIGNATUR

**KONTROLLERT AV**

Harry Westavik

SIGNATUR

**GODKJENT AV**

Marit Aursand

SIGNATUR



RAPPORTNR	ISBN	GRADERING	GRADERING DENNE SIDE
OC2017 A-093	978-82-7174-284-3	Åpen	Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1	2017-03-09	versjon for gjennomlesning hos samarbeidsparter

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	5
2	Bakgrunn.....	5
3	Prosjektgjennomføring.....	6
3.1	Prosjekt fase 1: Arbeid med bløggemaskin fra snurrevadprosjektet (august 2014-januar 2015)	6
3.2	Prosjekt fase 2: Skålbåndsbløgger (januar 2015-desember 2015)	9
3.2.1	Test av skålbåndsløning på lab	9
3.2.2	Test av maskinsynsløsning på Marine Harvest Ulvan 29.05.2015.....	9
3.3	Prosjekt fase 3: Avbildningsenhet ombord på Molnes og testing av bløgging på Torsk (januar 2016-januar 2017).....	14
3.3.1	Bakgrunn og tidligere arbeid på laks.	15
3.3.2	Test av kamerasystem ombord på Molnes	15
3.3.3	Bløggeforsøk med robot.....	19
4	Diskusjon og konklusjon	23

BILAG/VEDLEGG

[Skriv inn ønsket bilag/vedlegg]

1 Sammendrag

Det har blitt gjennomført et prosjekt som kan deles i 3 faser. I den første fasen ble det jobbet med automatisering/forbedring av en tidligere utviklet bløggemaskin for hvitfisk. Dette arbeidet ble avsluttet før det ble fullført på grunn av manglende tro på dette konseptet og fordi det ble utviklet idéer til nye konsepter. I den andre fasen ble det utviklet et nytt konsept basert på en skålbåndsbløggelinje. I denne bløggeprosessen lå fisken med buken opp i et skålbånd, og her var i all hovedsak laks som ble bløgget. Hensikt med test og utvikling av kamerasystem og algoritmer var å finne gjellelokkene og kverken på fisken for så å kutte av kverken med en automatisk posisjonert kniv. Maskinen og algoritmene ble ferdigstilt, men ingen av disse linjene har blitt montert ute på slakteri. I den tredje fasen av prosjektet ble det sett på et konsept for bløgging av hvitfisk som ligger på siden på et transportbånd og bløgges med robot. Dette er en videreutvikling av teknologi SINTEF og SeaSide har jobbet med for laks tidligere, og fortsatt jobber med for bruk på laks. Bløgging av torsk og laks ble testet på en robot utviklet for laks på verkstedet hos SeaSide med lovende resultat. Datainnsamling og test av maskinsynssystem ble utført ombord på Molnes og viste at det er flere utfordringer med et slikt utstyr som for eksempel: begrenset plass til kamera, bevegelse på båndet og varierende arter og plassering. Ut fra bildene som ble tatt ombord på Molnes er det ikke mulig å konkludere med at en bløgging av fisken liggende i tilfeldig utvalg og med tilfeldig plassering er mulig å gjennomføre med dagens maskinsynteknologi. Kamerateknologien og algoritmene som er utviklet i dette prosjektet er også benyttet i Optimar sin nye bløggelinje for laks som er montert hos Bakkafrost på Færøyene.

Summary

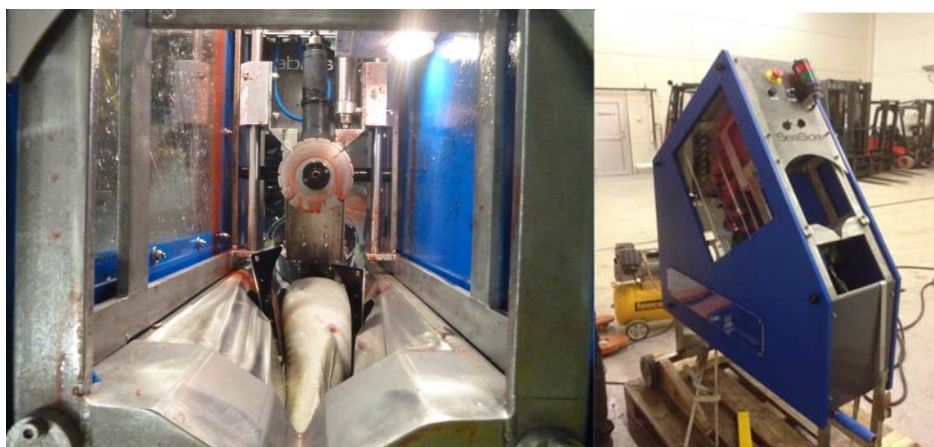
A project in three phases has been executed. During the first phase improvement and automation of previously designed bleed cutting machine for white fish. This work was not completed because of lack of faith in the concept and in favor of new ideas. During the second phase a new concept based on a bleed cutting device with a conveyor with cups for the fish were tested. In this cups the fish lay with the belly up. The system was mainly tested on salmon. The purpose of the tests and development of machine vision was to detect the position of the gills and throat of the fish, and cutting the throat with an automatically positioning of a knife. The machine and algorithms was finished, but the system has not been mounted in a processing plant. During the third phase of the project a concept for bleed cutting of fish lying on the side on a conveyor was tested. This is a further development of a technology previously developed by SeaSide AS and SINTEF for bleed cutting of atlantic salmon. Bleed cutting of cod and salmon with a robot were tested with good results. A machine vision system was tested on board Molnes. There has been some challenges with limited space, movement of fish on the conveyor and variance in species, size and appearance of the fish. From the data collected on board it is not possible to conclude that it is possible to do bleed cutting with the fish lying randomly selected on a conveyor with the current machine vision technology. Camera and algorithms developed in the project are also used in Optimars new bleed cutting machine installed at Bakkafrost on the Faroe Islands.

2 Bakgrunn

I 2011 til 2014 ble det gjennomført et prosjekt "Automatisk fangstbehandling av hvitfisk på snurrevadfartøy" (FHF-prosjekt 900526) samt et prosjekt hos Forskningsrådet "Automatisk bedøving og bløgging av hvitfisk ombord på snurrevadfartøy (210883/030). I disse prosjektene ble det jobbet med forskjellige teknologier for elektrobedøving, levendelagring, vektestimering og artssortering samt bløgging. Det ble i prosjektene utviklet to prototyper av en automatisk bløggeenhet. Den ene prototypen ble demonstrert under

Skreifestivalen på Myre februar 2014. Maskinen er vist i Figur 1. Testene viste at maskinen fungerte, men at "brystfinneholderen" som var implementert ikke fungerte som tilsiktet. Det medførte at bløggekuttet ofte kunne bli feil dersom fisken hadde myke finner.

Derfor ble det søkt et nytt prosjekt – BLØGGOMAT1 – med målsetning om å videreutvikle og instrumentere en bløggemaskin med et maskinsynsystem og tilhørende algoritmer for beregning av bløggepunkt. Motivasjonen for dette er at sensorisk utstyr for posisjonering/styring av kniven vil trolig kunne øke nøyaktighet på plassering av kuttet, sett i forhold til en rent mekanisk "brystfinneholder". Den nye teknologien skulle også testes under reelle forhold ombord på en fiskebåt med representativt utvalg av råstoff.



Figur 1: Bløggemaskin prototype fra Automatisk fangstbehandling av hvitfisk på snurrevadfartøy

3 Prosjektgjennomføring

Prosjektet startet først med å instrumentere opp prototypen i Figur 1, men etter ønske fra utstyrsleverandør ble målsetning endret til å omfatte to nye bløggekonsepser. Det ble først satt i gang et arbeid mot en løsning der fisken ligger med ryggen ned i et skålbånd som beveger seg, og kverken på fisken kuttes på samme måte som i bløggomat1-prototypen. SeaSide hadde kunder som etterspurte en slik maskin for bruk på laks. Det ble derfor jobbet med laks for å utvikle maskinsyn og algoritmer. Etter hvert ble det klart at mange av fartøyene som har sløyning ombord ønsket at kverken på fisken holdes intakt. Derfor ble det også lagt til en del i prosjektet med bløgging av hvitfisk gjennom gjellelokket mens fisken ligger sideveis på transportbånd. Dette er teknologi tidligere utviklet og implementert av SINTEF Fiskeri og Havbruk og SeaSide for bløgging av laks gjennom gjellelokket, men for å ta i bruk teknologien ombord gjelder andre forutsetninger. Prosjektarbeidet ble utført i 3 faser, der fase 2 og 3 hadde delvis overlapp.

3.1 Prosjekt fase 1: Arbeid med bløggemaskin fra snurrevadprosjektet (august 2014-januar 2015)

I de første fasene av prosjektet ble det jobbet med konsept for instrumentering av bløggemaskinen, heretter omtalt som Bløggomaten, som ble utviklet i prosjektet "Automatisk fangstbehandling av hvitfisk på snurrevadfartøy" (FHF #900526).

Denne prototypen ble utviklet for å ha manuell innmating og automatisk bløgging, men baserte seg på en fast bløggeavstand. I BLØGGOMAT1-prosjektet var opprinnelig plan utelukkende at det skulle implementeres

og testes et maskinsynsystem og automatisk innjustering av bløggepunkt, samt forbedre noen av komponentene og styringen i den eksisterende Bløggomaten (se Figur 1). Det ble gjennomført et oppstartsmøte i august 2014.

I september ble det kjørt en intern workshop hos SINTEF for å finne robuste sylindere som gir rask og presis innregulering av kniven, kamerautstyr og løsninger for å kunne instrumentere opp Bløggomaten. Forskjellige løsninger både for mekanikk og maskinsyn ble vurdert opp mot hverandre, og endelig valg av kameraløsning ble gjort. Det ble ikke bestemt endelig løsning for sylindere i denne workshopen.

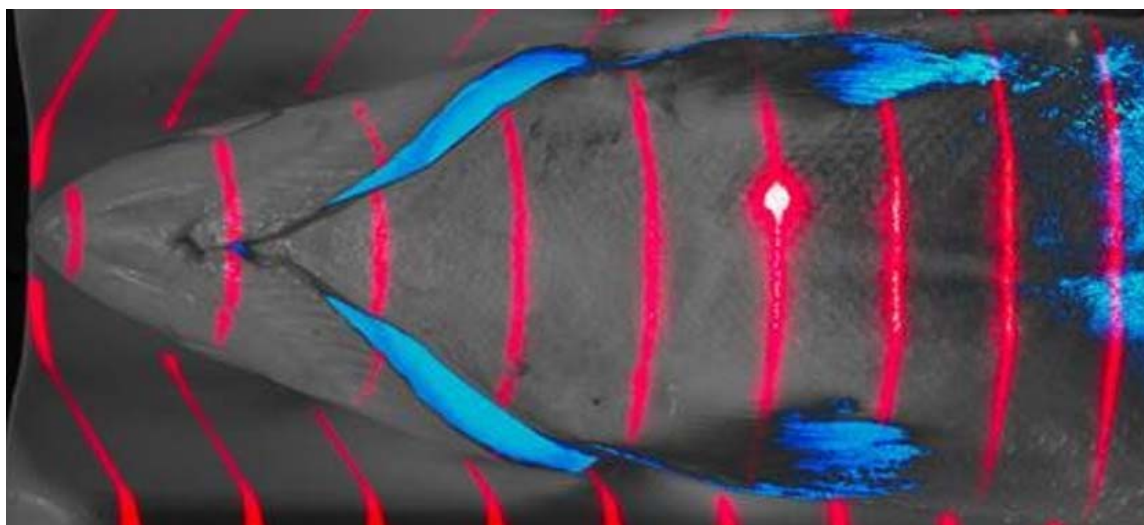
Det ble i etterkant av workshopen bestilt kamerautstyr, et Ximea xiQ USB 3.0 kamera, tilhørende optikk, og en rød (660nm) laser med DOE (diffraktivt optisk element) som genererer et såkalt multi-line-mønster med 11 laserlinjer.

Når utstyret var på plass ble det først gjort noen eksperimenter med utstyret montert provisorisk på lab. Det ble gjort forsøk som antydde at følgende enkle algoritme kunne benyttes:

1. Laser projiserer 11 laserlinjer på fisken i forkant av bløggekniven
2. Kamera analyserer kontinuerlig med høy avbildningshastighet på den laserlinjen som er nærmest bløggekniven og gir beskjed til neste trinn i algoritmen når en fisk har brutt laserlinjen
3. Når første laserlinje er brutt analyseres laserlinjene med hensyn til å finne 3D profilen på fisken samt brystfinnenes posisjon.
4. Basert på hvilken laserlinjen brystfinnen detekteres på og geometrien i bildet beregnes avstanden fra fiskens snute til bløggepunktet.
5. Bløggeavstanden regnes som et forhold mellom snutepunkt og brystfinner.

Den valgte løsningen ble ansett som gunstig siden den kunne analysere hastigheten fisken kommer med inn i Bløggomaten. Det ble også vurdert hvorvidt gjellelokkets åpning var nødvendig for å kunne presist detektere bløggepunkt, men det ble på det tidspunktet vurdert som for utfordrende og med fare for at det ikke kunne gi en sikker deteksjon. Dette ble diskutert som en ekstra funksjonalitet for å forbedre bløggepunktet dersom det skulle vises seg å bli nødvendig. Det ble startet på et program i LabVIEW for maskinsynsalgoritmer for beregning av stikkepunkt ut fra bilder tatt med laserlinjer i Bløggomaten, vist i Figur 2.

I desember 2014 ble det påbegynt montering av kamera og laser i bløggeautomaten. Det ble bestemt at den beste løsningen var å bestille en lineæraktuator fra Festo uten motor. På denne var det tenkt montert elektrisk servo med styresystem fra Omron. Omron ble valgt frem Festo fordi denne løsningen ble antatt å gi nødvendig hurtighet og kraft som behøves for å posisjonere stoppeklaffen så hurtig som mulig. Motor og sylindere ble bestilt, men ordren ble senere kansellert da prosjektet fikk endret målsetning og Bløggomaten ble satt til side som følger av diskusjon i styringsgruppemøte og i samråd med SeaSide som hadde et nytt konsept hvor fisken føres fram til kniven i et skålbånd. Bløggealgoritmene og forutsetningene for deteksjon skulle i stor grad være det samme, og det ble derfor bestemt at fokus i prosjektet skulle være opp mot denne skålbåndsløsningen istedenfor å gjøre ferdig arbeidet med Bløggomaten.



Figur 2: Bilde fra maskinsynkamera med laser med DOE, og indikering av gjellebuer og brystfinner

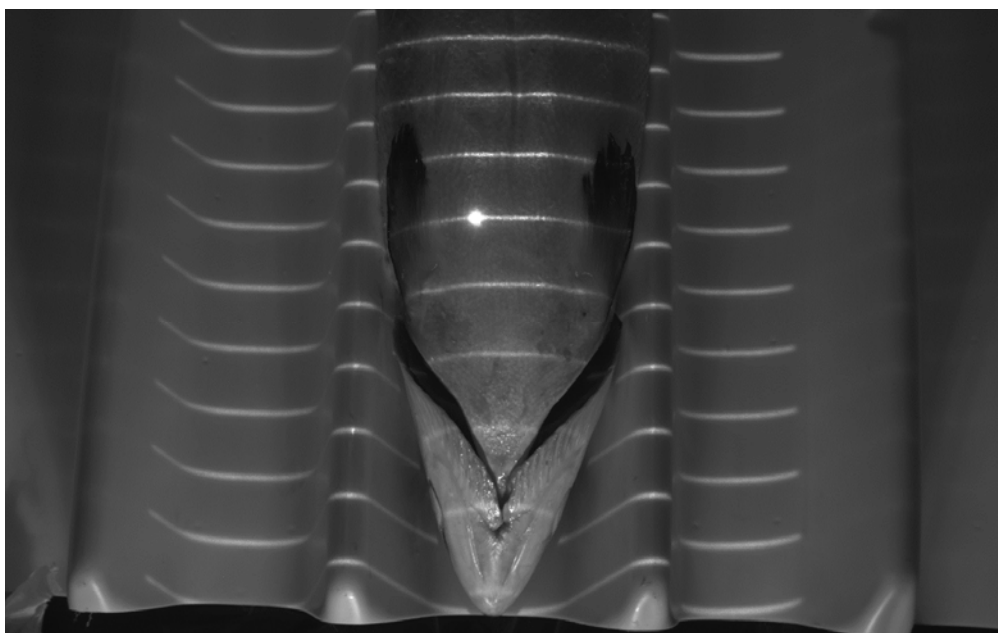
3.2 Prosjekt fase 2: Skålbåndsbløgger (januar 2015-desember 2015)

Siden SeaSide ønsket å jobbe videre med en skålbåndsbløgger ble Bløggomaten satt til side. Det var også ønske om at skålbåndsløsningen kunne benyttes til laks. Derfor begynte prosjektet nå å benytte laks for utvikling og avbildningsforsøk. SeaSide hadde en kunde som ønsket en slik løsning på laks, og det er betydelig enklere å skaffe tilstrekkelig laks for å innhente bildedata.

3.2.1 Test av skålbåndsløning på lab

SeaSide sendte aktuelle skålbånd til SINTEF for test på lab og for å utvikle maskinsynsoppsettet.

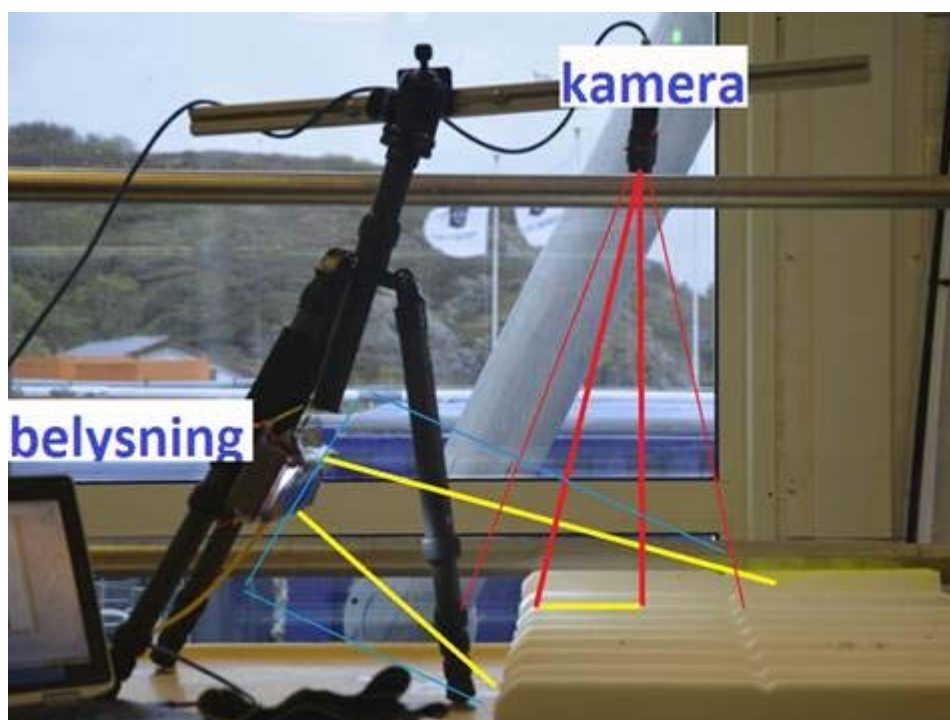
Det ble kjøpt inn 2 nye Grasshopper 3 kamera som var ansett som bedre egnet da de hadde mulighet til å styre flere lyskilder, hadde bedre sensor med høyere oppløsning og bedre avbildningsdynamikk (eng. dynamic range). Det ble utviklet LabVIEW-kode for å styre disse kameraene og belysningen, og et eksperimentelt oppsett med skålbånd og kamera ble satt opp på SINTEF Sealab i Trondheim. Det ble prøvd ut forskjellige oppsett med eksisterende belysningsutstyr og kamera som SINTEF hadde fra før og det ble jobbet fram et oppsett som framhevet gjellelokkene på fisken ved å gi skygge i åpningen. Tester ble utført på død fisk. Linjelaseren som ble kjøpt til første fase av prosjektet ble testet, bilde vist i Figur 3 viser dette. Det ble brukt hvitt LED linjelys av typen LW300 fra Smart Vision Lights.



Figur 3: Test hos SINTEF med skålbånd, LED belysning og linjelaser

3.2.2 Test av maskinsynsløsning på Marine Harvest Ulvan 29.05.2015

De første forsøkene ble gjort med 11-linjers laser fra Bløggomaten, viste at brystfinner og 3D-profil ikke var tilstrekkelig til å beregnet et presist bløggepunkt på laks. Linjelaseren ble derfor forkastet og erstattet av en lav lyskilde inn mot hodet av fisken med krysspolarisering, vist i Figur 4. Denne løsningen gir mørke gjellebuer og veldig god deteksjon så lenge gjellelokkene er åpne. Forsøk på lab viste at alle laks hadde åpne gjellebuer og at dette ga en 100% deteksjon av posisjon til kverken på laksen. Oppsettet som ble testet hos Sealab ble montert som en transportabel rigg, og det ble planlagt et forsøk hos Marine Harvest på Ulvan for å samle inn et større datagrunnlag for utvikling av algoritmer.



Figur 4: Testoppsett med lav/polarisert LED-belysning

Testoppsettet i Figur 4 viser skålbånd og kameraoppsett med polarisert LED-belysning i lav vinkel. Dette oppsettet ble tatt med til Marine Harvest på Ulvan for et større forsøk med flere og helt ferske fisk rett fra bedøving. Den 29. mai 2015 ble det lagret bilder av ca. 300 fisk, i tillegg til noen fisk som ble lagt opp/ ned og bak i skålbåndene, og noen med fisken i bevegelse.

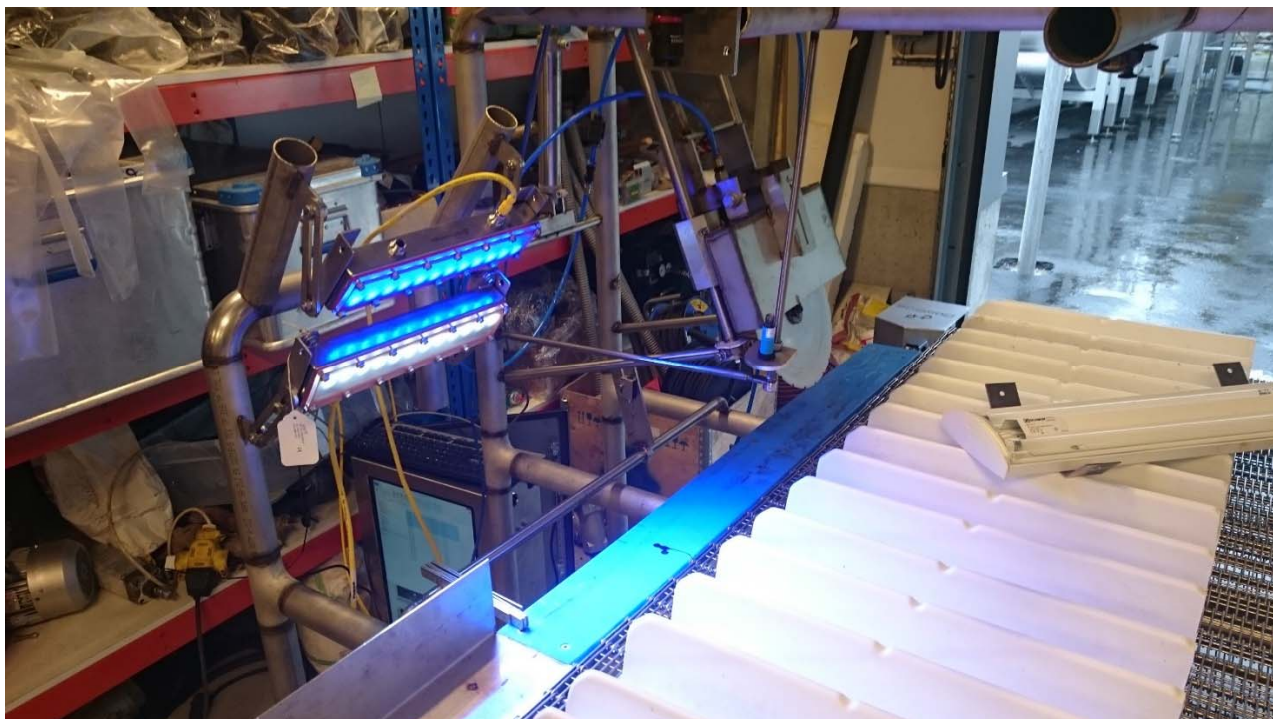
I etterkant av forsøkene ble det jobbet med algoritmeutvikling for å detektere gjellebuer og kverken på fisken, samt å beregne bløggepunktet ut fra dette. Flere av fiskene viste seg å ha gjellelokkene lukket når de kom fra bedøving, dette gjorde deteksjon mer utfordrende. Det var også utfordrende å segmentere fisken fra skålbåndene. Derfor ble det bestemt at det skulle benyttes blå skålbånd og et blått lys i tillegg til det hvite for å få en sikker segmentering av fisken. Resultatene fra algoritmeutviklingen viste at det var greit å finne kverken nøyaktig på fisken med åpne gjellebuer og at også fisken med lukkede gjellelokk likevel var mulig å detektere et godt bløggepunkt på.

Det ble kjøpt inn blå og hvit LED-belysning fra Smart Vision Lights av typen LW300, og utviklet kode som trigget og tok bilde av fisken uten lys, med blått lys og med hvitt lys. Med denne avbildningsteknikken var det mulig å segmentere fisken tydelig ut fra skålbåndene og søke etter gjellebuene og kverken på fisken.

SINTEF hadde diskutert at det skulle være mulig å beregne 3D koordinater til fisken ved å måle forflytningen til fisken sideveis i bildet. Siden kamera står i ro og har et kjent perspektiv, og hastigheten fisken beveger seg med er kjent vil punkter som befinner seg nærme kamera flytte seg mindre i bildet enn punkter som befinner seg lengre unna. Denne effekten (3D-fra-bevegelse) ble antatt å kunne gi den høydeinformasjonen som var nødvendig for å sette knivens kuttedybde med god nok presisjon. Denne 3D-fra-bevegelse-metoden er på en måte en forenklet stereo-3D som kun krever et kamera.

De nye lysene kom i starten av august og ble satt opp og testet på Sealab og et avbildningsforsøk hos SeaSide på Stranda ble planlagt. Forsøk ble utført hos SeaSide 18. august 2015. Kameraet tok 300 bilder i sekundet med blått lys på, hvitt lys på og lys av i sekvens. Dette ga mulighet til å lage isolerte bilder i de

forskjellige lysene og fjerne påvirkningen av rombelysningen. Det ble benyttet en blå bakgrunn under der hodet til fisken passerer, dette for å gi bedre segmentering i kombinasjon med det blå lyset.



Figur 5: Forsøksoppsett hos SeaSide med skålbåndslinje, blå og hvit LED belysning, kamera og roterende kniv

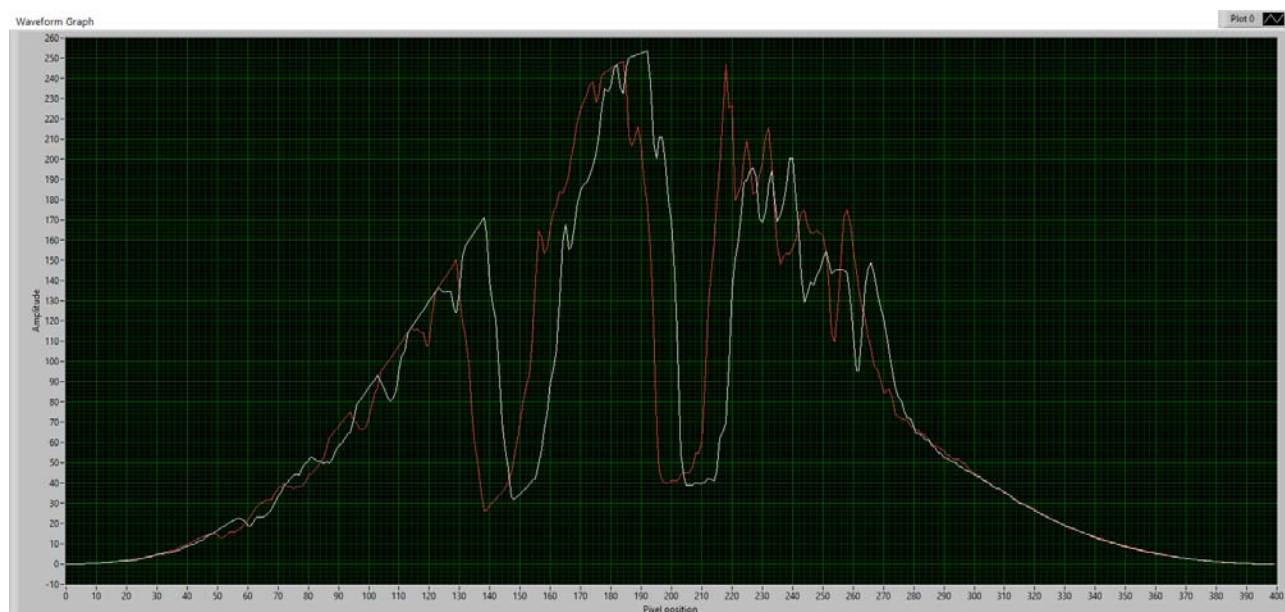


Figur 6: Utklipp fra video som viser bløgging med roterende kniv

Det ble tatt bilde av en kasse laks, samt lagret kalibreringsbilder, for å teste ut hvilken nøyaktighet det var mulig å oppnå ved hjelp av "3D-fra-bevegelse"-funksjoner.

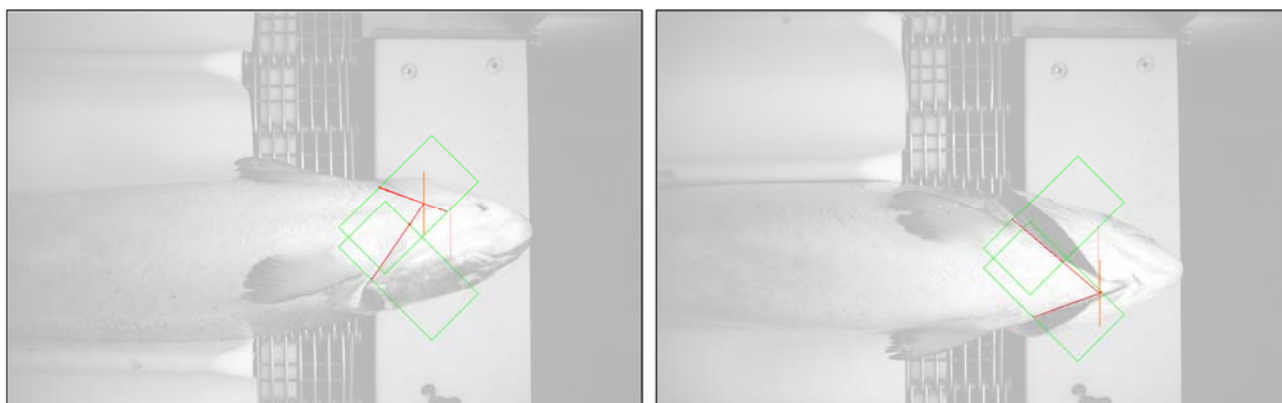
Det ble gjort forsøk på bløgging med roterende kniv, satt til fast kuttedybde, vist i Figur 6. Det så ut til å fungere godt, og kniven kutter svært effektivt over kverken på fisken samtidig som fisken ligger stødig i skålbåndet. (se også video av dette i videopresentasjon av prosjektet)

Bildene fra forsøkene hos SeaSide ble behandlet videre i september og oktober 2015. Kalibreringsbildene fra "3D-fra-bevegelse" viste seg å gi en nøyaktighet på underkant av 30mm.



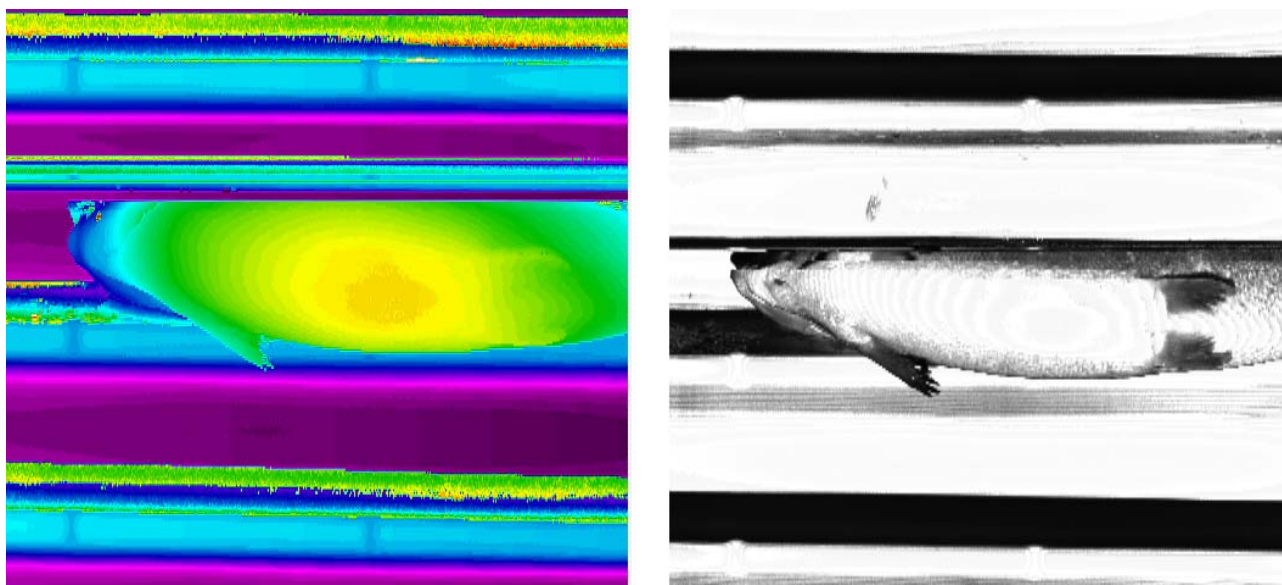
Figur 7. Eksempel på to intensitetsprofiler fra to etterfølgende bilder, som ble brukt til å beregne 3D-fra-bevegelse.

Første steg i algoritmen er å finne fiskens hode. Dette gjøres ved å se på områder som beveger seg fra et bilde til det neste. Når hodet er funnet, settes det opp to søkeområder (grønne firkanter i Figur 8 under) for å finne gjellebuen. Gjellebuene tilpasses med to linjer (skrå rød streker i Figur 8) og skjæringspunktet mellom gjellebuen beregnes, og bløggepunktet settes i dette skjæringspunktet (rød vertikal strek i Figur 8). Dersom algoritmen ikke finner en eller begge gjellebuer, beregnes et bløggepunkt ut fra hodets størrelse (dette bløggepunktet er vist med vertikal oransje strek i Figur 8). Når bløggepunktet er beregnet, blir 3D-fra-bevegelse brukt til å finne hvor mye en intensitetsprofil sentrert i bløggepunktet forflytter seg fra et bilde til det neste. Denne forflytningen er illustrert i Figur 7 over. En spesiell utfordring her er at fiskens hode beveger seg i og med at den henger ut over kanten og fordi fisken er et glatt og deformerbart bevegelig objekt. Dermed er mye av forflytningen ikke på grunn av faktisk forflytning, men på grunn av fiskens bevegelse relativt skålbåndet. På grunn av dette blir nøyaktigheten på 3D-fra-bevegelse unøyaktig.



Figur 8. Gjellebue og bløggepunkteteksjon for fisk med lukket (til venstre) og åpen (til høyre) gjellebue.

Siden 3D-fra-bevegelse ikke viste seg å være godt nok, samt at segmentering av fisken ikke var perfekt ble det vurdert om en ny og avansert 3D-lasertriangleringsmetode med Point Grey kamera og linjelaser heller burde benyttes i dette prosjektet. I desember 2015 ble det derfor satt opp en forsøksrigg med linjelaser som står på tvers av bevegelsesretningen til fisken. Figur 9 viser resultatbilde av laks i skålbåndsløsning med 3D og 2D bilde. Det resulterende 3D-bildet er av meget god kvalitet og har en høydeoppløsning på 1mm. Disse bildene er meget godt egnet for segmentering av hvor fisken ligger og

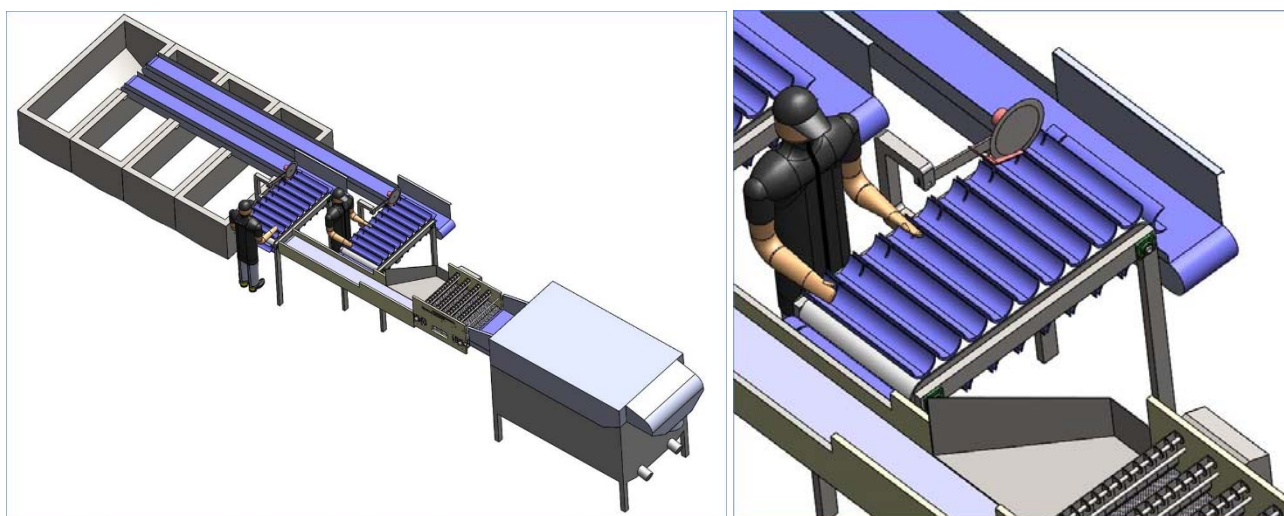


Figur 9: resultatbilde fra 3D lasertrianglering i skålbånd

3.3 Prosjekt fase 3: Avbildningsenhet ombord på Molnes og testing av bløgging på Torsk (januar 2016-januar 2017)

Den 16. juni 2015 var SINTEF med på et møte for Prosjekt i bedrift sammen med SeaSide, Steeltech og Nordic Wildfish. På dette møte ble det presentert at SeaSide ønsket å levere en skålbåndsløsning for montering ombord, basert på samme prinsipp som skålbåndsløsningen for laks.

Steeltech laget tegninger for ombordhåndteringssystem som inkluderte denne skålbåndsløsningen, vist i Figur 10 og Figur 11 under.



Figur 10 til venstre: Konsept: skålbåndsløsning for montering ombord på Molnes

Figur 11 til høyre: Konsept: skålbåndsløsning for montering ombord på Molnes, detalj.

På møtet ble det diskutert rundt hvorvidt denne løsningen faktisk kunne benyttes siden kverken på fisken kuttes av og Baader 424 maskinene som de skulle benytte ombord fordret at kverken på fisken var intakt. De ønsket derfor at fisken ble bløgget på en slik måte at kverken ikke kuttes over. Det ble diskutert muligheter for å bløgge fisken inn fra siden slik som det gjøres på laks, samtidig som at halebløgging også ble nevnt i diskusjonen.

Det ble klart at Nordic Wildfish og "Prosjekt i bedrift" kunne bidra for å sørge for at kamera og bløggeprinsippene som det ble jobbet med i Bløggomat1 kunne testes ombord.

Den 21. desember 2015 ble det gjennomført et styringsgruppemøte over telefon med Svein Roger Karlsen, Arne Antonsen, Frode Kjøllås, Roar Pedersen, Morten Bondø og Harry Westavik deltok. I dette møtet ble det gjennomgått status i prosjektet, skålbåndsløsning og algoritmer i forbindelse med dette. Igjen ble det tatt opp en diskusjon rundt hvorvidt kverken skulle kuttes av slik som i skålbåndsløsningen eller om det var ønskelig med bløgging med kverken intakt. Det ble diskutert endel rundt hvilken løsning som ville gi tilstrekkelig utblødning noe som tidligere har blitt tatt opp i Snurrevadprosjektet (2012-2014).

Det ble i møtet diskutert at en slik løsning med bløgging av fisken inn fra siden av gjellelokket burde vært utprøvd ombord. SeaSide foreslo en løsning med lineærføring og aktuator, og at maskinsynsløsning som SINTEF tidligere har utviklet for laksebløgging for SeaSide skulle forbedres og modifiseres for å kunne brukes med den begrensede plassen ombord og for å være tilpasset deteksjon av bløggepunkt på hvitfisk.

Skålbåndsløsningen ble forkastet som løsning for hvitfisk, men det ble avtalt at denne likevel fullføres for laks. Videre var det ønskelig med en test på hvitfisk ombord der fisken ligger på et transportbånd og bløgges fra siden av fisken via lineærføringer og aktuatorer. Det ble foreslått at dette utstyret kunne testes ombord på Molnes, og at prosjektet ville bli ytterligere forsinket i tid som følge av dette.

Det ble i januar 2016 innvilget en tilleggsbevilgning på 350 000 for å bygge et testoppsett ombord på Molnes.

3.3.1 Bakgrunn og tidligere arbeid på laks.

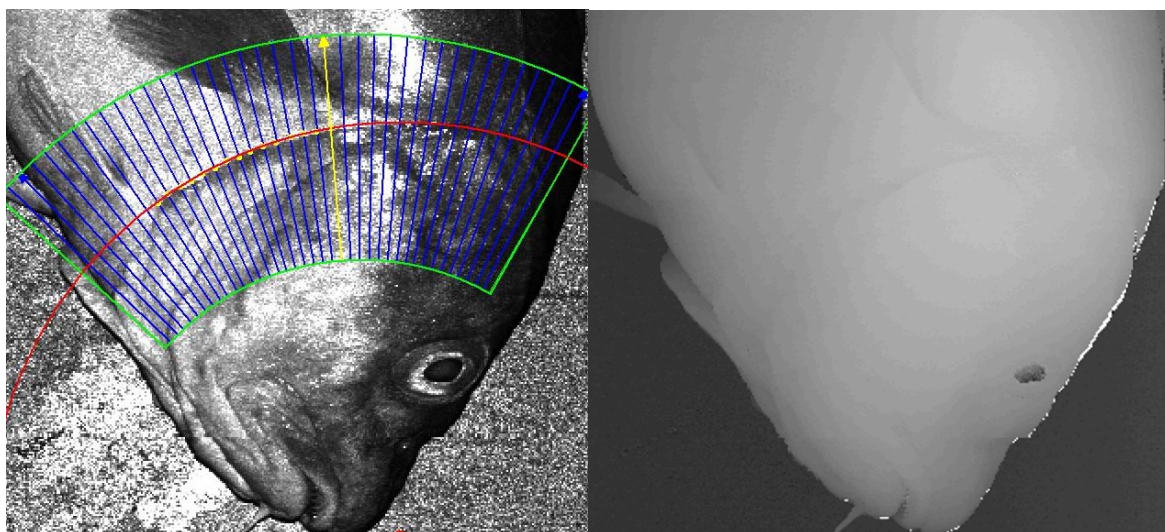
SINTEF og SeaSide har siden 2007 jobbet sammen med flere konsepter for bløgging av laks. Det har blitt testet flere forskjellige konsepter og bygget og montert flere generasjoner av bløggerobot og tellelinjer ute på anlegg. De tidligste linjene baserte seg på tidligere generasjons 3D-kamera og laserteknologi og pneumatisk luftsyndere satt sammen som en robotlinje. Flere maskinsynskonsepter har blitt testet for å få til en mest mulig stabil deteksjon av bløggepunkt på laks med så høy bløggeprosent og så liten feilstikkprosent som mulig. Linjene som har vært i bruk har typisk oppnådd en bløggeprosent på rundt 80% ved en feilstikkprosent under 1%. Arbeidet har vært finansiert av SeaSide og Norges Forskningsråd (BIP), 2007-2010. Det ble gjennomført en forbedring av teknologien i årene 2011-2012.

I løpet av 2015 har SeaSide og SINTEF jobbet med å bygge om hele konseptet med en ny type robot som har bedre kapasitet og er mer pålitelig i drift, nytt maskinsynssystem med bedre bildekvalitet og nye algoritmer for beregning av bløggepunkt ved hjelp av gjellebuedeteksjon. Dette er et arbeid som har vært finansiert av SeaSide. Den nye versjonen er montert opp og under uttesting på Bakkafrost sitt anlegg på Glyvrrar, Færøyene. Roboten som ble utviklet for dette ble brukt som utgangspunkt for uttesting av bløgging av torsk, beskrevet i avsnitt 3.3.3.

3.3.2 Test av kamerasystem ombord på Molnes

SINTEF startet arbeidet med å teste en modifisert versjon av eksisterende linjeskann/3D kameraoppsett som tidligere var benyttet av SINTEF i andre prosjekter. Det ble laget et testoppsett på lab der høyden på kamera og laser ble senket så mye som det var mulig med det SINTEF hadde av utstyr tilgjengelig for å simulere perspektivet som oppnås ombord. Siden det er begrensninger i takhøyde ombord på Molnes måtte det også bestilles en spesiell linjelaser med større spredningsvinkel og linse med bredere synsvinkel for å dekke hele transportbåndet. Det er ikke problematisk å få bred nok synsvinkel, men perspektivet som man får når man senker kamera gjør 3D avbildning utfordrende.

Det ble kjørt et forsøk hos SINTEF på torsk med et provisorisk forsøksoppsett. En sjarkfisker i Trondheimsfjorden skaffet rund fisk, og det ble gjort et avbildningsforsøk på SINTEF Sealab. Med grunnlag i bildene som ble tatt under forsøket ble det utviklet en algoritme for gjellebuedeteksjon. Deteksjon av gjellelokk/gjellebue på død torsk så ut til å fungere svært godt, slik som Figur 12 viser, men antallet fisk som ble benyttet som datagrunnlag var svært begrenset. Algoritmene og avbildningsmetoden som ble bruk benyttet PointGrey Grasshopper 3 kamera med SINTEF-utviklet software i LabVIEW som utfører kompensasjon for bakgrunnslys (eng: blackframe subtraction), laserlinjedeteksjon, 3D beregning og gjellebuedeteksjon.



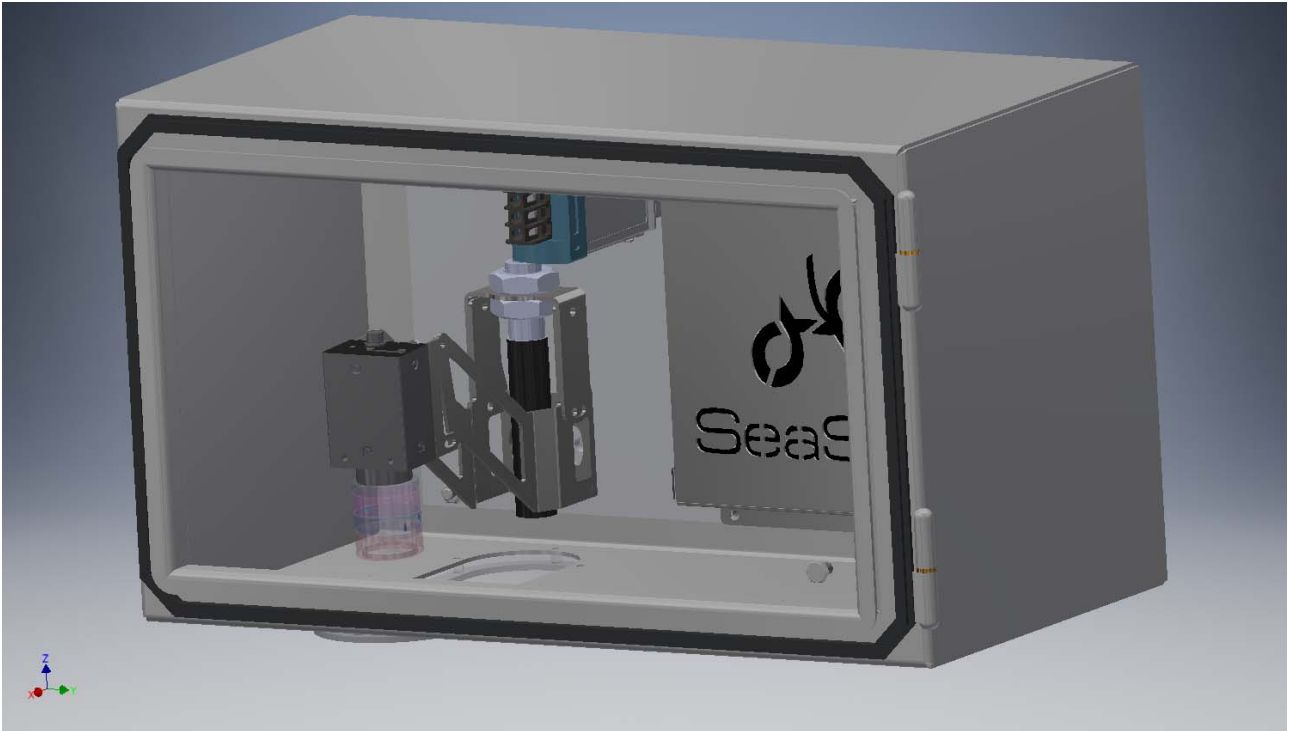
Figur 12: Scanning av torsk hos SINTEF, 2D med indikasjon av gjellebuedeteksjon og 3D bilde.

SeaSide fikk i oppgave å bygge et skap og klargjøre utstyret for montering ombord på Molnes. Det ble utover våren 2016 endel diskusjoner rundt bløggeopplegg for montering ombord, og diskusjoner rundt hvorvidt det var plass, og rundt hvilke aktuatorer som skulle testes, og hvilket utstyr som kunne benyttes.

Det viste seg i april, etter SeaSide hadde vært ombord å inspisert båten, at det var for lite plass ombord til å få montert testutstyr for bløgging, samt at transportbåndet som var montert ombord var glatt og uegnet for bløgging. Både kamerahus og planlagt bløggeutstyr for testing ombord lot vente på seg, og prosjektet ble yttligere forsinket utover vårparten.

Derfor ble det kallet inn til styringsgruppemøte 16.06.2016 der kun SINTEF ved Harry Westavik, Marit Aursand og Morten Bondø og SeaSide ved ny prosjektleder Oddbjørn Myklebust møtte. Det ble diskutert hvordan kamerahus og bløggeanordning i det hele tatt var mulig å plassere ombord. Det ble i møtet foreslått en løsning der bløggeanordning i første omgang testes hos SeaSide på Stranda, og billeddata samles inn ombord slik som først planlagt. Det ble satt opp en plan med nye frister og tettere oppfølging for at SeaSide skulle ha kamerahus klart for montering ombord og det ble forsøkt å finne en dato hvor det passet å montere ombord.

Etter sommeren var nytt kamerahus tegnet (se Figur 13 under) og bestilt av SeaSide.



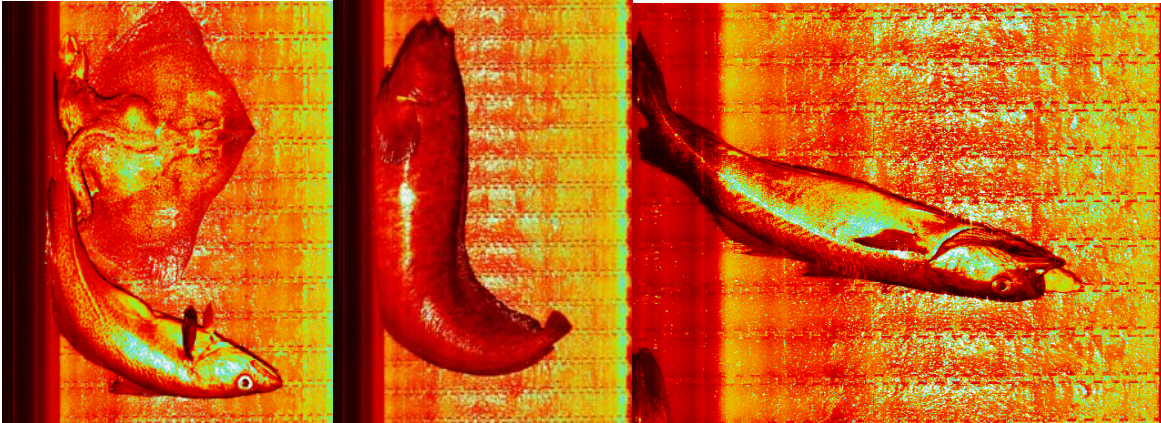
Figur 13: Hus for kamera, laser og datamaskin, her vist uten lokk.

Den 21. september 2016 ble kamerahus montert ombord på Molnes for å gjøre innsamling av bildemateriale. Det ble i den påfølgende måned samlet inn mye data, men flere uheldige faktorer gjorde at bildene som ble lagret i denne omgangen ikke kunne brukes, og det var behov for å kjøre et nytt forsøk med lagring av bilder ombord.

Den 30. november 2016 ble utstyret ombord på Molnes omkonfigurert og en oppdatert software ble lagt inn. I påfølgende måned ble nytt datainnsamlingsforsøk gjennomført ombord. Denne gangen ble det gode bilder. 02.01.2017 fikk SINTEF tilbake harddisk med lagrede bilder fra Molnes. Disse bildene var av god nok kvalitet til å utføre tester av maskinsyns algoritmer og gjøre vurderinger rundt hvorvidt dette kan brukes videre. Det er utfordrende å lagre bilder siden kamera produserer en større datamengde enn datamaskinen klarer å lagre. Derfor ble det lagret bolker på 10 000 bilder som tilsvarer ca 70 sekunder logging. Det ble en bolke hvert 12. minutt.

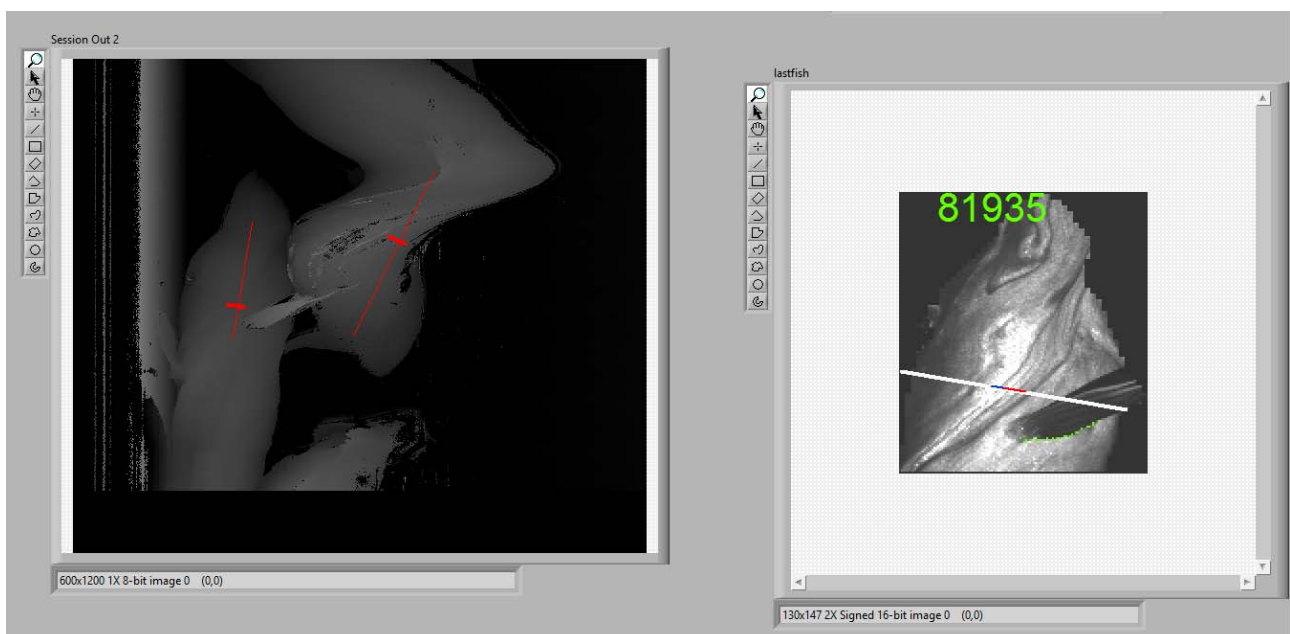
Datasettet som ble samlet ombord besto av både torsk, hyse, brosme, steinbit, skate, uer og kveite. Figur 14 viser litt av variasjonen. Algoritmer som tidligere har blitt utviklet for deteksjon av gjellebuene ble testet på bildene. Det ble justert litt på algoritmene for å fungere best mulig opp mot bildene. Etter litt tilpasning og omprogrammering var det mulig å finne gjellebuen på en god andel av torsk og hyse som ligger forholdsvis godt innrettet på båndet. Dersom fisken ligger for mye på skrå var algoritmene som har blitt utviklet ikke i stand til å finne fisken, og tilsvarende er det i noen tilfeller vanskelig og segmentere to fisk fra hverandre, og dermed å detektere fisk som ligger med overlapp. Bildene er litt mer utfordrende å jobbe med på grunn av perspektivet som den lave monteringen over transportbåndet gir (vises i Figur 15). Avstanden gjør at polariseringen til laseren gir mindre effekt i å fremheve gjellebuen, slik at kontrasten er dårligere enn hva som oppnås med lengre avstand fra fisk til kamera og laser. Det er flere utfordringer med deteksjon av bløggepunkt på fisken som ble lagret bilder av. Den bør mates inn jevnere enn det som ble observert. Det ble ikke observert at algoritmene klarte å finne bløggepunkt på steinbit, brosme eller kveite. Gjellebuen på disse fiskene har ingen kontrast som algoritmene klarer å detektere, så en evt. bløgging av disse måtte

programmeres på en annen måte. Figur 14 viser også en fisk der svømmeblæren stikker ut av munnen på fisken, og gjør at estimering av bløggepunkt ut fra 3D og fastsatte avstander bak fra snuten på fisken er utfordrende.



Figur 14: Viser at det kan komme flere forskjellige arter på bløgebåndet

Dersom fisken flytter seg på båndet fra når den ble avbildet til bløggeroboten skal stikke vil ikke stikkekunktet bli beregnet riktig. På bildesettet som ble lagret på Molnes ble det observert flere tilfeller der fisken forflytter seg på bildet mens den skannes. Figur 15 viser et eksempel på en torsk som flytter seg sideveis på båndet. Fisken som lå til venstre på transportbåndet er også bløggepunkt vist på 2D bildet. Siden fisken ligger ute på kanten gjør den lave kameramonteringen at perspektivet på fisken blir slik at vi ikke ser lengre opp på hodet enn rundt øyet. Dette gjør det utfordrende å detektere gjellebuen, og som vist på 2D bildet beregner algoritmen brystfinnen som gjellebue, og angir derfor også et bløggepunkt som ligger litt for langt bak på hodet.



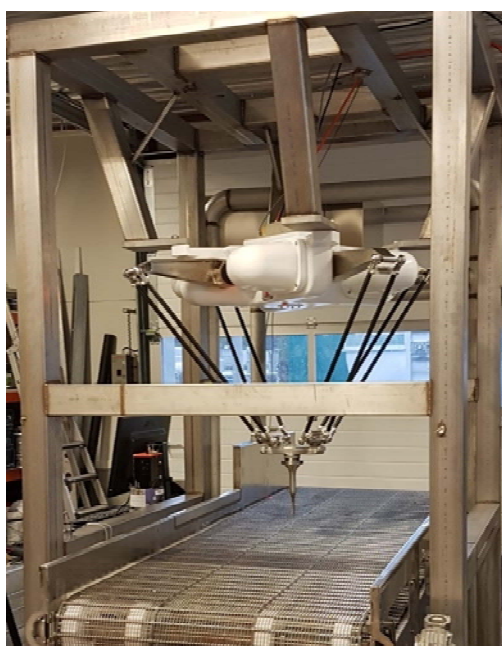
Figur 15: bilde som viser utfordring når fisken spreller eller sklir på båndet

3.3.3 Bløggforsøk med robot

En av målene i prosjektet var å teste maskinsyn og bløgging. Pga utfordringer med å få plass til bløggerobot ombord ble det bestemt at bløggforsøk med robot utføres på land. Den 6. og 7. desember 2016 ble det utført en større test med bløgging av torsk og laks liggende sideveis på transportbånd hos SeaSide på Stranda. Det var skaffet flere kasser med torsk og laks for å utføre testing på. Det var ønskelig å teste på levende torsk som var elbedøvd fordi torsken sprer ut gjellelokkene etter elbedøving. Det lot seg dessverre ikke gjennomføre å skaffe og holde levende torsk til forsøket hos SeaSide. Derfor ble det kjørt forsøk med død fisk. Formålet med testen var å få testet hvordan torsken oppfører seg med hensyn til bløgging med kniv inn fra siden på hodet, gjennom gjellelokket, ved bruk av robot. Det ble vurdert at dette fint lot seg teste uavhengig av om fisken er død.

En misforståelse fra fiskeren førte til at fisken som kom ikke var sløyd, men var bløgget ved at kverken var kuttet over, slik at hodet bøyde bakover på mange fisk. Det ble gjort det beste utav det og hodet ble før test bøyd på plass så godt som det lot seg gjøre.

Roboten som testene ble utført på er en Adept Quattro robot som er levert av Omron til SeaSide for bruk på lakseslakteri hos Bakkafrost på Færøyene. Det er en såkalt parallellarmrobot med 4 servomotorer og armer. Roboten som benyttes her ville være for stor for å passe ombord på fiskebåt, men det finnes mer kompakte roboter som kunne vært benyttet ombord. Det ble derfor ansett som uvesentlig at roboten ikke er av samme type som det som kan benyttes ombord. Bløggelinjen hos Bakkafrost er satt i drift og kan bløgge 80 fisk per minutt per robot. Det mangler enda data på bløggeprosent og feilprosent på denne linjen, men det er antatt at over 95% av fisken bløgges, med en feilprosent på under 1%.



Figur 16: Adept robot, og bløggkniv montert hos SeaSide. (Foto: Stein Kjerstad, Steeltech)

Kameraoppsettet var tilsvarende som det som har blitt benyttet og utviklet tidligere i prosjektet med et PointGrey Grasshopper 3 kamera og Z-laser rød linjelaser. Kamerahuset er avbildet i Figur 17.

Kamersystemet benytter black frame subtraction og de nyutviklede algoritmene for beregning av høydedata.



Figur 17: Bilde av kamerahus med Z-laser linjelaser, datamaskin, kamera og elektronikk for å styre laser

Første dag ble det skannet fisk for å tilpasse algoritmene som var utviklet til kameraoppsettet og fisken. Målet var å kunne gjøre en kjapp tilpasning av algoritmene slik at gjellebuen og hodet detekteres likt fra gang til gang på de fleste av fiskene, slik at et fastsatt bløggepunkt i forhold til gjellebuen kunne prøves ut.

Dag 2 var det testing av robot og bløgging av fisken. Av de som var inviterte til å komme å se på forsøket var bare Frode Kjølås fra SeaSide og Stein Kjerstad fra Steeltech som var tilstede under forsøkene. Fisken ble matet manuelt inn på transportbåndet. Slik algoritmene er utviklet kan fisken ligge med hode eller hale først, og med en rotasjon på ca +/-30 grader. Dette har med hvordan algoritmene er utviklet med hensyn til å detektere hodet og gjellebuen på fisken og beregne bløggepunktet.

Det ble først kjørt test med bløggepunkt ca 20mm foran gjellebuens bakerste punkt. På dette punktet er gjellelokket relativt mykt, og kniven hadde ingen problemer med å penetrere og slapp fisken igjen når kniven trekkes ut. Det ble observert at et slikt bløggepunkt i flere tilfeller at dette bløggepunktet ikke treffer hverken gjellebue eller hovedpulsåren på fisken, men bare området rundt kverken på fisken, noe som ville gitt utilstrekkelig utblødning.

Bløggepunktet ble så flyttet fram til ca. 50mm foran gjellebuens bakerste punkt (vist i Figur 18) slik at den treffer midt i gjelleområdet. Her er gjellelokket på torsken tykt og hardt. Roboten og kniven fungerte overraskende godt i form av at den i alle tilfellene var i stand til å penetrere gjellelokket på fiskene som ble testet. I mange tilfeller ble fisken hengende igjen på kniven, vist i Figur 19. Et slikt bløggepunkt vil derfor kreve at det er en mekanisme som holder igjen fisken når kniven skal trekkes ut. Dette bløggepunktet traff gjellebuene på fisken, og ville etter erfaringer SINTEF og SeaSide har fra bløgging av laks gi en tilstrekkelig utblødning såfremt fisken får ligge i våt utblødningstank.

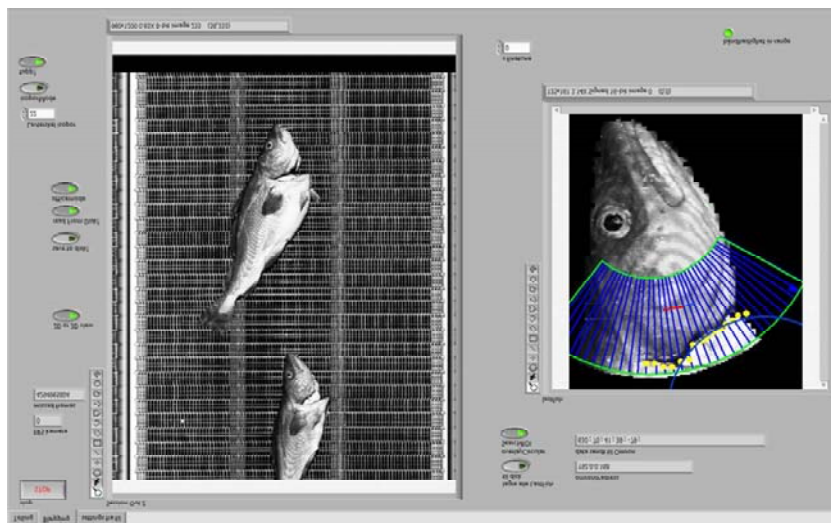


Figur 18: torsk som viser det bløttestpunkt på det harde området 50mm foran gjellebuen. (Foto: Stein Kjerstad, Steeltech)



Figur 19: bilde fra testing, som viser en torsk som henger fast på kniven

Algoritmene som ble testet under forsøkene på SeaSide så lovende ut med hensyn til å detektere gjellelokket på torsk. Etter noen timers justering så deteksjonsprosenten ut til å ligge på ca 60%. Bildene gir god kontrast på overgangen mellom hode/gjellebue og kroppen på fisken. Figur 20 viser et utsnitt fra LabVIEW-programvare utviklet for å detektere bløggepunkt og kommunisere med roboten. Gjellebuen detektert er vist ved gule punkter og bløggepunktet er indikert med rød (rygg) og blå (buk) strek på gjellelokket. Torskens variasjon i utseende og geometri gjør likevel deteksjon av gjellebue mer utfordrende enn for laks. Algoritmene må nok derfor videreutvikles og tilpasses en god del for å oppnå en tilfredsstillende høy bløggeprosent. Forsøkene ombord på Molnes har vist hvordan utfordringen med variasjon i råvarene, plasseringen til fisken på båndet, bevegelse og et krevende miljø gjør bløgging ombord mer utfordrende enn bløgging på land.



Figur 20: Bilde fra LabVIEW software som viser deteksjon av gjellebue, og beregning av bløggepunkt

4 Diskusjon og konklusjon

Den opprinnelige målsetningen til prosjektet, om å instrumentere opp en tidligere utviklet bløggemaskin (Bløggomaten), ble forkastet siden det ikke virket til å være interesse for å ta i bruk en slik maskin. Dette pga uenighet i forhold til å kutte av kverken på fisken, og problemer som det medfører for anlegg med automatisk sløyemaskin. Videre gjorde Bløggomaten det nødvendig med manuell innmating som enkelte så på som like tidkrevende som manuell bløgging. Denne første endringen i prosjektets målsetning er den første i en rekke av kursendringer som har gjort prosjektet ekstra utfordrende og tidskrevende.

Prosjektet endret kurs og begynte å se på bløgging av laks og torsk i skålbånd. Dette har ført til at det har blitt utviklet flere nye avbildningsprinsipper og algoritmer for deteksjon av gjellebue/bløggepunkt. Avbildningsteknikkene har gjort det mulig å ta bedre bilder uten at kamerahus må skjermes fra omgivelsesbelysning, og kan ta både 2D og 3D bilder samtidig. Disse teknologiene har allerede kommet til nytte i SeaSide/Optimar sitt system for bløgging av laks som monteres hos Bakkafrost på Færøyene, og teknologien er også klar for å benyttes til en skålbåndsbløgger for laks dersom det er ønskelig. Skålbåndsbløggeløsning ville også være mulig å ta i bruk for hvitfisk og ville også kunne være godt egnet for bruk ombord siden fisken ligger fiksert i skålene og ikke vil bli påvirket av bevegelse fra båten. Ulempen med en slik løsning er at fotografering av fisken fra undersiden gjør deteksjon av art, størrelse og vektestimering vanskelig. Løsningen krever også at det står en person som legger inn fisken i skålbåndene. Selv om løsningen er utviklet for bløggekniv som kutter av kverken med en roterende kniv skulle det også være mulig å tilpasse den med en kniv som stikker fisken ned i hovedpulsåren uten å kutte av kverken.

Prosjektet endret videre kursen og fokuserte på bløgging av hvitfisk som ligger sideveis på transportbånd. Her ble det oppdaget flere utfordringer. Særlig gjelder dette for bløgging av hvitfisk ombord på båt. Variasjonen i råstoffet, både i form av størrelse, utseende, art og fysiske forhold ombord gjør problemet utfordrende. SINTEF tror det enda ligger mye arbeid igjen før det er mulig å montere et system for automatisk bløgging ombord på fiskebåt, og det vil være nødvendig å lage et helhetlig system ombord der maskinsynssystemet er hensyntatt fra starten av. Fisken må presenteres for maskinsynssystemet på en måte slik at fisken kommer forholdsvis singulært og ensrettet. Dette vil også være en nødvendighet for at en bløggearbeidning skal kunne bløgge fiskene. Videre må systemet være lagd på en slik måte at fisken ikke kan skli/bevege seg fritt på båndet selv om det er litt bevegelse ombord i båten. Prosjektet har også vist at bare det å få samlet inn reelle bildemateriell av relevant råstoff er mer krevende enn for system som skal testes på land. Det hadde vært en stor fordel om en bløggelinje for hvitfisk kunne vært utviklet og ferdig implementert for testing på et landanlegg før teknologien tas videre ombord på fiskebåt.

Det kan også stilles spørsmålsteget til hvorvidt en automatisk bløgging ombord på fiskebåt som kan ha store variasjoner i fangst mht art og størrelse i det hele tatt vil være mulig å lage med en god nok ytelse til at det er hensiktsmessig. Den store variasjonen i fisk som ble observert på datasettet fra Molnes viser at manuell bløgging av en del av fangsten likevel vil være en nødvendighet, og da er det usikkert om en stor automatisk bløggelinje ombord da vil være hensiktsmessig. For drift der det er mindre innblanding av ulike arter, og med hovedsakelig torsk, sei og hyse vil det kunne være mulig å utvikle en slik teknologi, selv om det fortsatt gjenstår en god del arbeid før en slik helautomatisk løsning kan være moden.

Ved prosjektets slutt har man kommet med flere ulike konsepter og validert disse på ulike vis, men ikke blitt enig med industrien om en spesifikk løsning som det er ønskelig å kommersialisere. Fordi prosjektets fokus ikke har vært avklart i starten og holdt der, har prosjektet spredd seg relativt tynt over flere konsepter. For hvert av disse konseptene har man måttet utvikle nye maskinsynalgoritmer, og gjort nye avbildningsforsøk med ulike oppsett. Dette medførte betydelig merarbeid i forhold til opprinnelig prosjektmål om å holde seg til ett konsept, og dermed kom man ikke så nærme et industrielt kommersialiserbar teknologi som ønsket. Lærdommen av dette er at det i videre arbeid med teknologi for automatisk bløgging må tilnærming og mål avklares tydelig i starten av prosjektet, slik at det blir fokus på en spesifikk art og bløggemetode gjennom hele prosjektet. Basert på resultatene fra prosjektet har vi tro på at det med et fokusert videre arbeid kan utvikles robust teknologi for automatisk bløgging av hvitfisk ombord og på land.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no