



SINTEF

Sluttrapport

OWITOOOLS: Teknologiske verktøy for objektiv dokumentasjon av velferd hos laksefisk ved håndteringsoperasjoner

Forfatter(e):

Merete Bjørgan Schrøder, Birger Venås, Siri Kristine Gåsnes, Kristine Gismervik, Ewa Harasimczuk, Carolyn Rosten, Kristbjörg Edda Jónsdóttir, Zsolt Volent, Christian Schellewald, Walter Caharija, Martin Føre, Mats Aarsland Mulelid, Morten Bondø

Rapportnummer:

2022:00663 - Åpen

Oppdragsgiver:

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering -FHF

Rapport

OWITOOOLS: Teknologiske verktøy for objektiv dokumentasjon av velferd hos laksefisk ved håndteringsoperasjoner

EMNEORD

Klikk eller trykk her for å skrive inn tekst.

VERSJON

1

DATO

2022-06-24

FORFATTER(E)

Merete Bjørgan Schrøder, Birger Venås, Siri Kristine Gåsnes, Kristine Gismervik, Ewa Harasimczuk, Carolyn Rosten, Kristbjörg Edda Jónsdóttir, Zsolt Volent, Christian Schellewald, Walter Caharija, Martin Føre, Mats Aarsland Mulelid, Morten Bondø

OPPDRAGSGIVER(E)

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering - FHF

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

901594

PROSJEKTNUMMER

901594

ANTALL SIDER OG VEDLEGG

67

SAMMENDRAG

Se side 5

UTARBEIDET AV

Mats Aarsland Mulelid

SIGNATUR

KONTROLLERT AV

Nina Blöcher

SIGNATUR

GODKJENT AV

Merete Bjørgan Schrøder

SIGNATUR

Historikk

| VERSJON | DATO | VERSJONSBEKRIVELSE |
|---------|------------|-----------------------------|
| 1.0 | 2022-04-19 | Dokument opprettet |
| 1.1. | 2022-06-03 | Versjon til referansegruppe |
| 1.2 | 2022-06-09 | Kvalitetssikring |
| 1.3 | 2022-06-24 | Endelig versjon |

Innholdsfortegnelse

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Sammendrag..... | 5 |
| 1.1 | Sammendrag | 5 |
| 1.2 | Abstract..... | 7 |
| 2 | Innledning..... | 9 |
| 2.1 | Faglig bakgrunn | 9 |
| 2.2 | Prosjektets omfang | 10 |
| 2.3 | Prosjektorganisering | 10 |
| 2.3.1 | Prosjektgruppe | 11 |
| 2.3.2 | Referansegruppe | 11 |
| 3 | Problemstilling og formål..... | 12 |
| 4 | Prosjektgjennomføring | 13 |
| 5 | AP1: Objektiv dokumentasjon av fiskevelferd ved bruk av verktøyet sensorfisk | 14 |
| 5.1 | Teknologi for økt informasjonskvalitet og utvidet datafangst fra sensorfisk | 14 |
| 5.1.1 | Posisjonsbestemmelse | 14 |
| 5.1.2 | Nye sensorer | 16 |
| 5.1.3 | Databehandling og presentasjon..... | 17 |
| 5.1.4 | Validering av sensorfisk som metode for å dokumentere velferdsmessig forsvarlighet i håndteringssystemer for laks | 18 |
| 5.1.4.1 | Dødfiskforsøk I..... | 19 |
| 5.1.4.2 | Dødfiskforsøk II..... | 20 |
| 5.1.4.3 | Forsøk med levende fisk | 27 |
| 5.1.5 | Vurdering/drøfting av mulighetene for videre anvendelse av resultater fra prosjektet..... | 30 |
| 5.2 | Velferdsmessige betydninger av trykk- og støtmålinger | 31 |
| 5.2.1 | Støtforsøk | 31 |
| 5.2.2 | Studentoppgave – Assessing fish welfare using the finite element method | 32 |
| 5.2.3 | Trykkforsøk | 33 |
| 5.2.4 | Vurdering/drøfting av mulighetene for videre anvendelse av resultater fra prosjektet..... | 36 |
| 6 | AP2. Teknologiutvikling for visuell og akustisk sanntidsovervåkning av fiskevelferd | 38 |
| 6.1 | Utvikle automatiske metoder for visuell måling av to utvalgte tilstandsindikatorer (svømmehastighet og munnåpningsrytme)..... | 38 |
| 6.1.1 | Detaljert oversikt over oppnådde resultater..... | 38 |
| 6.1.2 | Vurdering av funnene | 40 |
| 6.1.3 | Vurdering/drøfting av mulighetene for videre bruk av resultater fra prosjektet ... | 41 |
| 6.2 | Utvikling av teknologi for overvåkning av lydbilde i laksemerder | 41 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 6.2.1 | Detaljert oversikt over oppnådde resultater..... | 41 |
| 6.2.2 | Vurdering av funnene | 46 |
| 6.2.3 | Vurdering/drøfting av mulighetene for videre bruk av resultater fra prosjektet ... | 46 |
| 7 | AP 3 Integrasjon av fysiske og biologiske data i modelleringsverktøy | 47 |
| 7.1 | Dataintegrasjon, modellering og optimering..... | 47 |
| 7.1.1 | Detaljert oversikt over oppnådde resultater..... | 47 |
| 7.1.2 | Vurdering av funnene | 48 |
| 7.1.3 | Vurdering/drøfting av mulighetene for videre anvendelse av resultater fra prosjektet (implementering) | 50 |
| 7.2 | Trådløs metode for posisjonering og overføring av data fra sensorfisken..... | 50 |
| 7.2.1 | Detaljert oversikt over oppnådde resultater..... | 50 |
| 7.2.2 | Vurdering av funnene | 52 |
| 7.2.3 | Vurdering/drøfting av mulighetene for videre anvendelse av resultater fra prosjektet (implementering) | 53 |
| 8 | AP4: Oversikt over teknologiske verktøy for måling av operative velferdsindikatorer..... | 54 |
| 9 | Hovedfunn | 63 |
| 9.1 | AP1 | 63 |
| 9.2 | AP2 | 63 |
| 9.3 | AP3 | 63 |
| 9.4 | AP4 | 63 |
| 9.5 | Generelt | 64 |
| 10 | Referanser | 65 |
| 11 | Leveranser fra OWITOOLS-prosjektet..... | 67 |

BILAG/VEDLEGG

1 Sammendrag

1.1 Sammendrag

Prosjektet "Teknologiske verktøy for objektiv dokumentasjon av velferd hos laksefisk" har hatt som mål å frembringe nye verktøy og teknologier for objektiv dokumentasjon av velferd hos laks, og fremskaffe ny kunnskap om nye mulige velferdsindikatorer og forskningsbehov. Arbeidet var inndelt i fire arbeidspakker.

Arbeidspakke 1. SINTEF har utviklet en Sensorfisk som har vært benyttet til å måle belastning levende fisk blir utsatt for gjennom rørtransport. Det har vært usikkerhet knyttet til om en frittflytende sensorpakke som sendes gjennom et rør er en god metode for å måle belastning levende fisk opplever, eller om levende fisk har mulighet til å unngå utsatte områder i rørsystemene. Resultatene fra prosjektet indikerer at en frittflytende sensorpakke kan være en god metode for å avdekke områder med mekanisk belastning for fisken. Både ventiler, bend, splittere og spylere gav utslag på støtmålingen utført på levende fisk. Resultatene viser også at belastningen øker med økende strømningshastighet. Det ble også gjennomført isolerte labforsøk for å studere fiskens tålegrenser med tanke på støt og hurtige undertrykksendringer. I trykkforsøkene ble fisken utsatt for hurtige trykkendringer tilsvarende en sugehøyde på 7-8 meter i løpet av 2,5-3,5 sekunder. Fiskens reaksjon på hurtige undertrykksendringer ble undersøkt nærmere, og blant annet endringer i adferd, oppdrift og luftslipp ble registrert. Obduksjon viste ingen tydelige makroskopiske tegn til skade på svømmeblæren til laksen som følge av trykkforsøkene. Resultatene er relevante for å forstå mekanismene i forhold til velferd under rørtransport og pumping av fisk. Støtforsøkene ble gjennomført på et mindre antall fisk i et dose-respons forsøk, der dosen var hastighet i kollisjonsøyeblikket. Dyp anestesert laks ble påført ulike grader av støt mot hode i et kontrollert laboratorieoppsett. Resultatene viste få signifikante forskjeller i skade og velferdsskår mellom gruppene. I gruppen som mottok høy grad av støt døde 2 av 21 fisk. Det var ikke dødelighet i de gruppene som mottok lavere grad av støt eller i kontrollgruppene.

Konseptet Sensorfisk har blitt videreutviklet og resultatene viser også at utforming av sensorpakken (hardhet, fleksibilitet, størrelse) og spesifikasjonen (spesielt samplingsrate) til sensorikken påvirker resultatet i stor grad. Dette viser behovet for å standardisere metoden om man på sikt ønsker å benytte innsamlet datamateriale til 'benchmarking' og dermed kunne sammenligne seg med andre og lære av de beste. Det har også vært utfordrende å knytte måledata fra sensorfisken til posisjon i rørsystemet med tilstrekkelig oppløsning (< ~0.5 meter). Metoder basert på treghetsnavigasjon har vært undersøkt, men dette er utfordrende på grunn av høy dynamikk i systemet og begrenset nøyaktighet på sensorene. Eksisterende løsning med magnetbånd plassert rundt røret på strategiske steder i rørsystemet ble forbedret, men er ikke en tilstrekkelig robust løsning. Dette arbeidet ble tatt videre i arbeidspakke 3 der trådløs kommunikasjon gjennom rør og vann ble testet ut og demonstrert. Sensorfisken ble også videreutviklet og det ble implementert et kamera i sensorfisken som forhåpentligvis vil kunne gi en visuell indikator på hvor man er i rørsystemet.

Resultatene fra arbeidspakke 1 har vært et viktig løft i videreutviklingen av Sensorfisken, og anses som et viktig bidrag i videreutviklingen av skånsomme håndteringssystemer og også et bidrag til å hjelpe næringen med å møte mattilsynets krav til objektiv velferdsdokumentasjon og minimere og erstatte bruk av levende forsøksfisk på sikt.

Arbeidspakke 2. I prosjektet er det utviklet automatiske metoder for visuell måling av svømmehastighet og munnåpningsrytme. Et stereokameraoppsett ble bygget for å samle inn videodata som ble brukt til å lage en 3D-modell av et kar med fisk. Sporing av lett gjenkjennelige attributter på fisken, i dette tilfellet øyet, gjorde det mulig ekstrahere (hente ut) en bevegelsesbane for øyet i 3D. Videoene ble også brukt til å måle munnåpningsrytmen til laksen. Det ble i feltforsøk vist at munnåpningsrytmen økte ved forhøyet CO₂-nivå i karet, noe som kan tyde på økt respirasjonsrate og stress. Munnåpningsrytme har et potensial som en

visuell velferdsindikator for CO₂-nivå. Svømmehastighet og -bane viste ingen signifikant sammenheng mellom CO₂-nivå og bevegelsesmønstre, dette kan skyldes at viktig data filtreres bort under baneekstraheringer, eller at det ikke er en direkte sammenheng mellom bevegelse og CO₂-konsentrasjoner.

Arbeidspakke 2 omhandler også utvikling av teknologi for overvåkning av lydbilde i merder med laks. Det ble utviklet og bygget en rigg for innsamling av lyddata ved bruk av hydrofoner, det vil si en ikke-invasiv metode for overvåkning. Det ble gjennomført tre feltforsøk i liten, middels og stor skala, og analysene av lydbildene viser at lydbildet endres når fisken er stresset, og lydbildet er endret under og etter føring sammenlignet med før føring. Laksen påvirker trolig lydbildet på to måter; ved å gi fra seg lyd, og ved å dempe/absorbere omkringliggende støy.

Arbeidspakke 3 har utforsket to muligheter for å koble biologiske data og fysiske data fra sensorfisken. 1: integrere sensorfiskdata i matematiske modeller og optimeringsalgoritmer. 2: frembringe metoder for trådløs sporing og dataauthenting fra sensorfisken når den sendes gjennom et rørsystem. Det har blitt utviklet en modell for posisjonering av sensorfiskdata i rør. Og det har blitt utviklet en ny metode for trådløs kommunikasjon med Sensorfisk, gjennom rørveggen. Det kan gi mulighet til å gi posisjoneringsbånd på utsiden unik ID. Dette øker kvaliteten på datasettet og det gir bedre mulighet for å spore data i sanntid, samt nøyaktig posisjonsangivelse i systemet.

Arbeidspakke 4. I prosjektet er det utarbeidet en oversikt over eksisterende og utviklede metoder for måling av operative velferdsindikatorer. Et hovedfunn er at det er lite tredjepartsdokumentasjon og validering tilgjengelig i næringen. Dette kan i seg selv være problematisk med tanke på fiskevelferd. Og det er problematisk for utarbeiding av en oversikt over teknologier. Det førte også til at oversikten fikk et begrenset omfang. Et annet funn var at det er mye etablert teknologi for overvåkning av miljøparametere, mens det er mindre for overvåkning av populasjonen. Teknologi for måling av operative velferdsindikatorer på individnivå er på et tidlig stadium og lite utbredt.

Kunnskapen som er fremskaffet i prosjektet viser både relevansen til verktøy, slik som sensorfisken, og behovet på videre forskning på koblingen mellom sensordata og fisken.

Resultatene fra prosjektet har vakt stor oppmerksomhet i medier og på konferanser. Næringen har behov for kunnskap, og en nærmere diskusjon av resultater fra prosjektet vil også komme i etterfølgende vitenskapelige publikasjoner.

1.2 Abstract

The goal of the project "Teknologiske verktøy for objektiv dokumentasjon av velferd hos laksefisk" has been to develop new tools and technology for objective documentation of salmon welfare, and to bring forth new knowledge about welfare indicators and research needs. The project was split in four work packages.

Work package 1. SINTEF has developed the Sensorfish, which has been used to measure the physical loads live fish are exposed to during transport through pipes. There have been uncertainties about if the method of sending a free-floating sensor package through a pipe is a good method to measure what live fish experience during transport, and if live fish can avoid exposed sections/areas in the pipe system. The results from the project indicate that a free-floating sensor package may be a good method for identifying sections with higher mechanical strain on the fish. Valves, bends, splitters and pressure nozzles all gave noticeable impacts on live fish instrumented with sensors. The results show a correlation between impacts and flowrates through the pipe system.

Laboratory experiments were carried out to study the fish's tolerance limits with respect to mechanical impact and rapid negative changes in pressure. In the pressure experiments the fish was exposed to rapid changes in negative pressure equivalent to 7-8 meters suction height in 2,5-3,5 seconds. The salmon's reaction to rapid changes in negative pressure was examined closer, and changes in behavior, buoyancy, and air release was registered. Autopsy showed no clear microscopic signs of damage on the swimming bladder as a result of the pressure experiments. The results are relevant in order to understand the mechanisms between fish welfare and pumping and transport of fish through pipe systems. The impact experiments were carried out on a low number of fish in a dose-response experiment, where the dose was velocity. Groups of heavily anesthetized fish were exposed to impact to the head at different velocities, in a controlled laboratory setup. The experiments show few significant differences in damage and welfare score between the groups. In the group with high impact 2 of 21 fish died. There were no mortalities in the groups with lower impact, or in the control group.

The Sensorfish concept has been further developed and the results show that the physical form of the sensor package (hardness, flexibility, size) and specifications (especially sampling rate) of the sensor greatly affects the results. This underlines the need of standardizing the method, if the collected data in the future should be used for benchmarking and use the data to compare systems. Tying the measured data to physical positions and attributes in the pipe system, with a high enough resolution ($< \sim 0,5$ meters), has been difficult. Methods based on inertial navigation has been tested, but this has been challenging since the pipe systems are highly dynamic, and the sensors have a limited resolution. The existing solution using magnetic bands placed on strategic places in the system was improved, but this is not a sufficiently robust solution. The work on position estimation was further investigated in work package three, where wireless communication through the pipe and water was tested and demonstrated. The Sensorfish was developed further by implementing a camera, which hopefully can provide visual information from the Sensorfish in the pipe system. The results from work package 1 have been important in the continued development of the Sensorfish, and should be considered as an important contribution in the development of gentle fish handling systems, and also as an important contribution helping the fish farming industry meet the requirements and regulations provided by the Norwegian Food Safety Authority (Mattilsynet) on objective documentation of fish welfare, and minimizing and replacing live fish in experiments in the future.

Work package 2. In the project there has been developed methods for automatic visual measurement of swimming speed and mouth opening frequency of salmon. A stereo camera setup was built to collect video data, and that was used to develop a 3D-model of a tank with fish. Tracking easily identifiable attributes on the fish, in this case the eye, made it possible to extract a trajectory of the eye's movement in 3D. The videos were also used to measure the mouth opening frequency of the salmon. In field trials it was shown that the mouth opening frequency increase when CO₂ levels increase in the tank, which can imply increased respiratory rate and stress. Mouth opening frequency has the potential to be a visual welfare

indicator for CO₂ levels. Swimming speed and path showed no significant correlation between CO₂ levels and movement patterns, this can be caused by important data being filtered out during the path extraction, or it can be because there is no direct correlation between movement and CO₂ levels.

Work package 2 also developed technology for surveilling the sound image of net cages with salmon. A rig of hydrophones was developed and built to collect sound data, this is a non-invasive method for monitoring the fish. Three field trials at small, medium, and large scale were carried out, and the analysis of the sound images show that the sound image changes when the fish is stressed, and the sound image changes during and after feeding, compared to before feeding. The salmon probably affect the sound image in two ways; by actively giving of sound, and by absorbing sound.

Work package 3 has explored two approaches for linking biological data with physical data from the Sensorfish. 1: integrating Sensorfish data in mathematical models and optimization algorithms. 2: develop methods for wireless tracking and data transfer from the Sensorfish as it is transported through a pipeline. There has also been developed a method for wireless communication with the Sensorfish through the pipe and water. This can provide the opportunity to assign ID to positioning bands on the outside of the pipe. This increases the quality of the datasets and gives an opportunity to track the data in real-time, along with precise position estimates in the system.

Work package 4. An overview of existing and recently developed methods for monitoring operative welfare indicators (OWIs) has been developed in the project. One of the main findings was that there is little third-party documentation and validation. This by itself can be problematic with regards to fish welfare, and it is a challenge when developing an overview of technologies. Therefore, the overview is of limited extent. Another finding was that there are many technologies for monitoring of environmental parameters affecting operative welfare indicators, and fewer for measuring operative welfare on a population level. Technologies for measuring operative welfare indicators on the individual level is at early stages, and uncommon.

The results from the project shows both the relevance of developing new tools, such as the Sensorfish, and the need for further research on interpreting sensor data and link this to fish welfare. .

The results from the project have attracted much attention in the media and at conferences. The industry needs knowledge, and a closer discussion of results from the project will be provided in subsequent scientific publication.

2 Innledning

2.1 Faglig bakgrunn

Trenging og håndtering av fisk utgjør en velferdsrisiko, både ved flytting, sortering og behandling mot f.eks lakselus. Etter at en har redusert antallet medikamentelle avlusninger og i stor grad gått over til IMM (Ikke-medikamentelle metoder), har antall håndteringsoperasjoner pr år økt betraktelig. IMM er så langt tatt i bruk uten at effekten på fisken og eventuell påvirkning på fiskevelferd har vært tilstrekkelig dokumentert. Det har manglet både metoder, teknologi og data for å kunne evaluere hvordan fiskevelferden påvirkes i avlusnings- og rørsystemer. Ulike avlusningsenheter og brønnbåter er forskjellige og under stadig optimalisering. Det er dermed behov for å utvikle teknologi og metoder for analysering av hva som skjer med fisken i systemet, og hva det betyr for fiskevelferden. Både næring og forvaltning etterspør objektive metoder som kan brukes for dokumentasjon av effekter på fiskehelse og velferd.

Det er lovbestemt at all teknologi skal være dokumentert som velferdsmessig forsvarlig før den tas i bruk (Dyrevelferdsloven § 8), og i 2018 kom det en regelverksendring i Akvakulturdriftsforordningens § 20 som spesifiserer vilkårene for utprøvinger av teknologi, samt krav om meldeplikt.

Boken "Velferdsindikatorer for oppdrettslaks" (Noble et al., 2018) identifiserer og systematiserer en lang rekke operative velferdsindikatorer (OVI), både på gruppe- og individnivå. Flere av OVI'ene beskriver effekten en behandling har hatt på fisken i ettertid av behandlingen, og krever at en benytter levende fisk i uttestingen. Under utvikling og testing av ny teknologi ønsker en å vurdere velferdsrisiko så objektivt som mulig, og det er viktig å se utprøvingen av ny teknologi i sammenheng med 3R-prinsippet (Replace = erstatning, Reduce = reduksjon og Refine = forbedring av dyreforsøk) ved å gjennomføre færrest mulig forsøk med levende fisk, og med bruk av færrest mulig fisk. (Gismervik et al., 2017) beskriver hvordan 3R-prinsippene kan implementeres i et produktutviklingsløp som en trinnvis prosess med innledende teoretiske studier, videre uttesting av utstyret uten bruk av fisk (erstatning), og deretter forsøk med fisk i gradvis større skala før utstyret er kommersielt tilgjengelig (reduksjon og forbedring). Dette er ikke systematisk gjennomført ved utvikling og utprøving av alt utstyr i havbruk i dag. Objektive målinger kan bidra til lettere sammenlikning mellom ulike metoder som utvikles eller optimaliseres, samt bedre vurderingsgrunnlaget for hva som kan aksepteres med tanke på fiskevelferd.

Et hovedmål i OWITOOLS har vært å videreutvikle sensorfiskkonseptet, en frittflytende sensorpakke, som kan sendes gjennom rør og avlusningssystemer. Sensorfisken kan brukes som ett av verktøyene for å dokumentere hva som skjer i rør og avlusningssystemer. Det har blitt arbeidet med å kartlegge koblingen mellom data målt med sensorfisk, og betydningen dette har for laks. Gjennom en serie felt- og laboratorieforsøk har laks blitt utsatt for belastninger som korresponderer med målinger gjort i felt med sensorfisken. Det har vært spesielt fokus på støt (hurtige endringer i akselerasjon) og hurtige endringer i trykk, siden dette er forhold som kan oppstå i en feltsituasjon.

I tillegg til nye OVI'er, er det også et generelt behov for å etablere nye velferdsindikatorer. Ny teknologi, eller teknologi anvendt på en ny måte, muliggjør måling av fenomener som til nå ikke er kartlagt eller lett tilgjengelig å bruke. Eksempler på dette kan være lydmålinger eller atferdsmål som bevegelsesmønster og munnåpningsfrekvens. OWITOOLS har gjennomført utviklingsarbeid på dette området, inkludert måling av lyd i merd i forbindelse med operasjoner og føring (arbeidspakke 2). Det har også vært gjennomført arbeid med å kartlegge munnåpningsfrekvens og bevegelsesmønster til fisk i kar ved bruk av stereokamera og maskinsyn.

For å gi en helhetlig og fornuftig fremstilling av resultatene i prosjektet er rapporten herfra og ut delt inn etter arbeidspakkene. Arbeidspakkene har forskjellig omfang, oppbygning og problemstilling, og det er derfor mest naturlig og oversiktlig å fremstille de hver for seg.

2.2 Prosjektets omfang

Prosjektet er finansiert av fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF) og har en økonomisk ramme på inntil 15 millioner kroner og tidsramme fra februar 2020 til juli 2022.

Tidsrammen ble utvidet fra februar 2022 til juli 2022 som følge av utfordringer i forbindelse med koronapandemien.

2.3 Prosjektorganisering

SINTEF Ocean er ansvarlig organisasjon for prosjektet, og forskningsleder Dr. Merete Bjørgan Schrøder er prosjektleder.

Prosjektgruppen har bestått av forskere fra SINTEF Ocean, Veterinærinstituttet (VI), Norsk institutt for naturforskning (NINA) og Norges teknisk-naturvitenskapelig universitet (NTNU).

Arbeidet har vært delt inn i fire arbeidspakker:

Arbeidspakke 1: Objektiv dokumentasjon av fiskevelferd ved bruk av verktøyet sensorfisk

Arbeidspakkeleder: Birger Venås, SINTEF Ocean

Medvirkende: SINTEF Ocean, Veterinærinstituttet, NINA

Arbeidspakke 2: Teknologitviking for visuell og akustisk sanntidsovervåking av fiskevelferd

Arbeidspakkeleder: Carolyn Rosten, NINA

Medvirkende: NINA og SINTEF Ocean

Arbeidspakke 3: Integrasjon av fysiske og biologiske data i modelleringsverktøy

Arbeidspakkeleder: Martin Føre, NTNU. (Walter Caharija, SINTEF Ocean, frem til 1. august 2021)

Medvirkende: NTNU og SINTEF Ocean

Arbeidspakke 4: Sammenstilling og kommunikasjon til sluttbrukere og administrasjon av prosjektet

Arbeidspakkeleder: Merete Bjørgan Schrøder, SINTEF Ocean

Medvirkende: SINTEF Ocean med bidrag fra alle samarbeidspartnere

2.3.1 Prosjektgruppe

Prosjektgruppen er sammensatt av tverrfaglig ekspertise med både biologisk og teknologisk kompetanse.

Fra SINTEF Ocean:

Dr. Merete Bjørgan Schrøder, forskningsleder - **AP4-leder** og prosjektleder

Birger Venås, forsker - **AP1-leder**

Dr. Zsolt Volent, seniorforsker

Dr. John Reidar Mathiassen, seniorforsker

Dr. Christian Schellewald, forsker

Dr. Kristbjörg Edda Jónsdóttir, forsker

Eirik Svendsen, Stud. PhD og seniorforsker

Morten Steen Bondø, forsker

Mats Aarsland Mulelid, Master of Science

Dr. Ulf Erikson, seniorforsker

Leif Magne Sunde, forskningsleder

Dr. Walter Caharija, seniorforsker - **AP3-leder** frem til august 2021

Fra NINA:

Dr. Carolyn Rosten, forsker - **AP2-leder**

Dr. Ingebrigt Uglem,

Dr. Bengt Finstad, Vitenskapelig rådgiver

Ingrid Solberg, Forsker

Fra Veterinærinstituttet (VI):

Siri Kristine Gåsnes, veterinær/forsker

Dr. Kristine Gismervik, veterinær, fagansvarlig fiskevelferd

Dr. Ewa Harasimczuk, fiskehelsebiolog, fagansvarlig fiskehelse

Dr. Ingunn Sommerset, fagansvarlig fiskehelse

Brit Tørud, fagansvarlig fiskehelse

Fra NTNU:

Dr. Martin Føre, førsteamanuensis - **AP3-leder** fra august 2021

Dr. Jo Arve Alfredsen, førsteamanuensis

2.3.2 Referansegruppe

Margareth Bergesen - Mattilsynet

Harald Takle - Cermaq Group AS

Henrik Trengereid - Mowi ASA

Fra FHF: Kjell Maroni

3 Problemstilling og formål

Prosjektets hovedmål har vært å utvikle teknologiske verktøy og validere biologisk betydning av tekniske målinger for å sikre objektiv dokumentasjon av fiskevelferd ved håndteringsoperasjoner av laksefisk.

Dette har blitt gjort gjennom følgende delmål:

- Utvikling av metodikk og teknologinøytrale verktøy for overvåking av fiskens velferd under håndteringsoperasjoner, med potensiale for anvendelse gjennom produksjonen forøvrig.
- Forbedre eksisterende og utvikle nye teknologiske verktøy for dokumentasjon av ulike steg ved validering av utstyr for håndtering av fisk.
- Studere biologisk betydning av målingene som de nye teknologiske verktøyene genererer, og evaluere om og i hvilken grad målingene er representative og robuste for å beskrive fiskens velferd og tilstand.

Prosjektet har vært delt inn i fire arbeidspakker med underliggende delarbeidspakker:

AP1: Objektiv dokumentasjon av fiskevelferd ved bruk av verktøyet sensorfisk

1.1. Korrelere støtdata fra sensorfisk med støt registrert av levende fisk, samt øke informasjonskvalitet og øke antallet parametere sensorfisken kan måle.

1.2 Avdekke tålegrenser for laks med tanke på trykk og støt.

AP2: Teknologit utvikling for visuell og akustisk sanntidsovervåking av fiskevelferd

2.1 Undersøke om visuelt registrert svømmehastighet og munnåpningsrytme er egnede sanntids velferdsindikatorer for laks.

2.2 Undersøke egnetheten for lyd som sanntids velferdsindikator for laks.

2.3 Utføre småskala forsøk med lydbilde og visuelle parametere.

2.4 Studere endringer i lydbilde og munnbevegelser under en reell oppdrettssituasjon.

AP3: Integrasjon av fysiske og biologiske data i modelleringsverktøy

3.1 Data og metadata fra AP1 og 2 skal sammenstilles med data fra KVALISYS-prosjektet, og sorteres/struktureres på en slik måte at det samlede datasett kan fungere som et grunnlag for modellutvikling.

3.2 Bruke datagrunnlaget fra AP3.1 til å implementere matematiske eller datadrevne modeller som basert på inputs (f.eks. systemtype, fiskestørrelse, miljøparametere) estimerer fiskens velferd og biologiske respons mot trening/behandlingsoperasjoner.

AP4: Sammenstilling og kommunikasjon til sluttbrukere og administrasjon av prosjektet

4.1 Utarbeide en oversikt over eksisterende og utviklede teknologiske metoder som kan brukes for å måle OVI ved forskjellige operasjoner.

4.2 Arrangere en fagdag.

4 Prosjektgjennomføring

OWITools har utviklet metoder og målemetodikk for innsamling av data som kan brukes til å evaluere fiskevelferd i forbindelse med håndteringsoperasjoner.

Arbeidspakke 1 har jobbet med videreutvikling av sensorfiskkonseptet, med fokus på å relatere sensordata til biologisk respons/påvirkning hos levende og død fisk.

Dette er gjort gjennom en serie laboratorie- og feltforsøk, der det har blitt sett på blant annet støt/slag/kollisjon, hurtige trykkforandringer og dødfiskkjøringer gjennom avlusningssystem. Alle fiskeforsøk er godkjent av forsøksdyrforvaltningens tilsyns- og søknadssystem (FOTS), og er gjennomført i tråd med 3R-prinsipper. For å sikre en vitenskapelig tilnærming, er flere analyser gjennomført blindet, det vil si at de som avleser er uten kjennskap til hva som tilhører eksponert- og hva som er kontrollgrupper. I tillegg er det også benyttet veterinærer utenfor prosjektgruppa til obduksjon og analyse.

Arbeidspakke 2 utviklet teknologi for visuell og akustisk sanntidsovervåkning av fiskevelferd. Arbeidet har involvert innsamling av store datasett i felt, med påfølgende analyse. Akustisk sanntidsovervåkning har blitt gjort ved bruk av hydrofonrigger installert i og nært merd med fisk i. Forsøkene og datainnsamlingen har blitt gjort ved forskjellige lokaliteter.

Visuell sanntidsovervåkning har blitt gjort ved bruk av et stereokamera fra SINTEF Ocean. Kameraet ble installert i settefiskkar ved NINAs forskningsanlegg på IMS. I analysene har det vært fokus på munnåpningsfrekvens, som et mål på respirasjonsrespons på endring i CO₂ i tanken.

Arbeidspakke 3 har jobbet med integrasjon av fysiske og biologiske data i modelleringsverktøy. Her har det blant annet blitt jobbet med en ny metode for posisjonsestimering i lukkede rørsystemer ved bruk av RFID/Induksjon. Sommerstudent/masterstudent ved NTNU har stått for deler av simulering og utprøving i laboratorium.

Arbeidspakke 4 har primært vært en litteraturstudie, i kombinasjon med intervjuer med enkelte aktører i leverandørindustrien, fiskehelsetjenester og lakseoppdrettere.

Tabell 1: Godkjente FOTS-søknader knyttet til OWITools

| | |
|-------|--|
| 24384 | OWItools - Feltforsøk med levende fisk |
| 24374 | Biologisk betydning av måledata i "Sensorfisken" |
| 27404 | Biologisk betydning av måledata i "Sensorfisken" - trykk |

De fire arbeidspakkene har blitt gjennomført i parallell, og synergieffekter mellom arbeidspakkene har blitt utnyttet i den grad det har vært aktuelt og mulig.

Fordi arbeidspakkene er ulike i metode, omfang og mål har hver arbeidspakke fått et eget kapittel der metode, resultat og konklusjon beskrives pr kapittel.

5 AP1: Objektiv dokumentasjon av fiskevelferd ved bruk av verktøyet sensorfisk

Bakgrunn: Sensorfisk-designet har gjennomgått flere iterasjoner i utviklingsprosessen og er i dag å anse som en prototype. Sett bort fra vekt og oppdriftsnøytralitet har det så langt ikke vært noe mål å etterligne en vanlig fisk ved utvikling av sensorfisken, da en passiv sensorpakke uansett skiller seg fra levende fisk ved at den ikke har egen fremdrift eller mulighet for å posisjonere seg i forhold til rørveggene. Et naturlig og nødvendig steg videre vil være å knytte objektive måledata fra sensorpakken til fiskevelferd. Dette innebærer å validere sensorfiskstøtmålinger mot det levende fisk opplever, samt undersøke den biologiske betydningen av registrerte data. Behandling og innsamling av nye data vil være nødvendig for å videreutvikle selve metoden. Det er også nødvendig å videreutvikle og robustgjøre designet for å sikre og forbedre datakvaliteten, samt øke informasjonsmengden.

5.1 Teknologi for økt informasjonskvalitet og utvidet datafangst fra sensorfisk

Sensorfisken er i dag en rørformet kapsel innstøpt i gul polyuretan (se Figur 1). Sensorfisken måler akselerasjon, rotasjon, magnetfelt og temperatur. For ytterligere spesifisering henvises det til tidligere FHF prosjekt Kvalisys, FHF 901397 (Caharija et al., 2021). Sensorfisken slippes inn i rørsystemer og logger data internt i eget minne som må lastes over til PC etter endt test. En viss grad av databehandling er nødvendig før resultatene foreligger i form av en trykk- og støtprofil gjennom systemet.



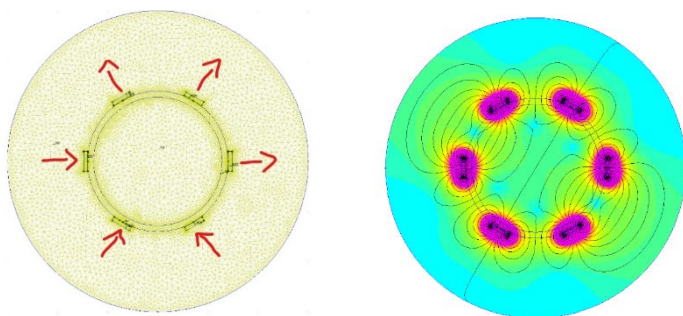
Figur 1: Sensorfisk

5.1.1 Posisjonsbestemmelse

Det har stor verdi å kunne knytte datamålingene fra sensorfisken til posisjoner i rørsystemet for å kunne se hvor de forskjellige utslagene oppstår. Sensorfisken har i utgangspunktet basert seg på å estimere posisjon ved å måle magnetfeltet induert av magnetbånd montert på strategiske steder (innløp sugetrakt, innløp pumpe, ventiler, bend etc) på utsiden av rørsystemene, men dette har vært upålitelig på grunn av støy fra andre magnetfeltkilder som høyspentutstyr og strømningsmålere eller svak magnetfeltstyrke. For å øke presisjonen i posisjonsmålingene ble det sett på mulighetene for treghetsnavigasjon og optimalisering av eksisterende magnetbåndløsning.

Det ble gjennomført flere forsøk på å estimere posisjonen til sensorfisken ved hjelp av treghetsnavigasjon, det vil si å utnytte målinger av sensorfiskens bevegelse (akselerometer og gyro) til å estimere posisjon. Grunnet høy grad av dynamikk i miljøet (støt, turbulens etc) og sensorer med begrenset nøyaktighet var det ikke mulig å oppnå tilstrekkelig grad av nøyaktighet i posisjonsestimatene da metoden innebærer dobbeltintegrasjon av akselerasjon og dette fordrer perfekt gravitasjonskompensering, noe som er krevende i et miljø med mye dynamikk (se ytterligere detaljer i kapittel 7.1) .

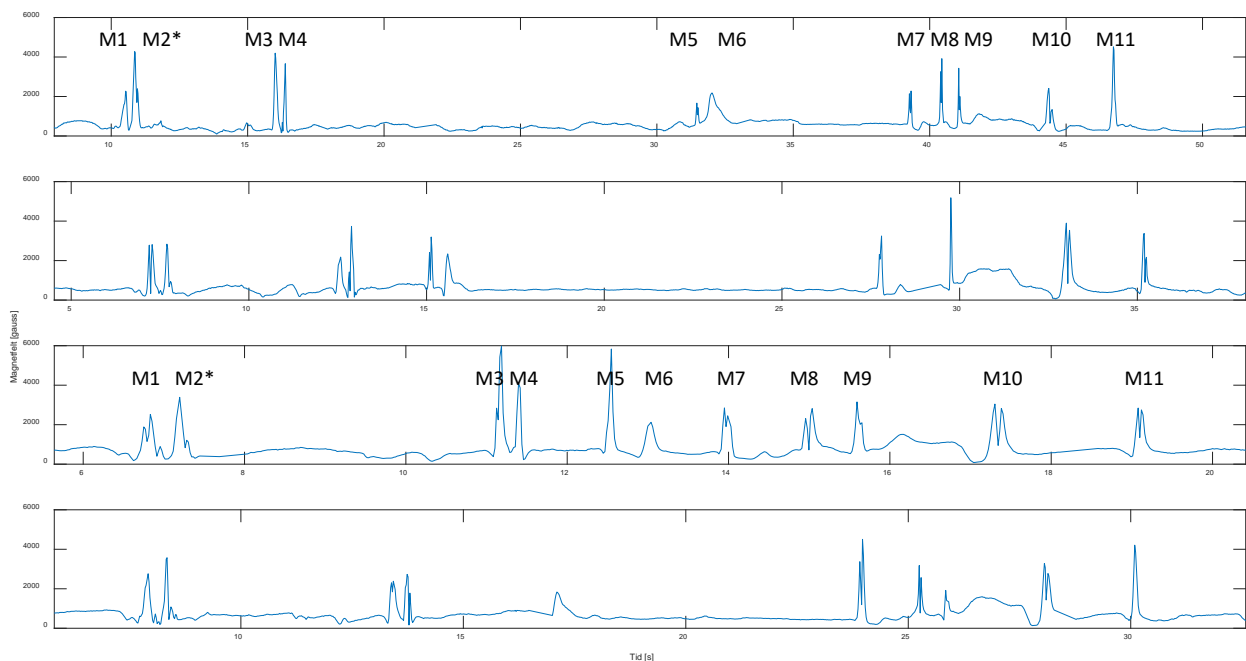
Det ble også gjennomført forsøk i lab og i felt med en forbedret utgave av den eksisterende magnetbåndløsningen. Basert på simuleringer og målinger ble det foreslått følgende konfigurasjon, Figur 2:



Figur 2: Skisse som viser magneter festet på utsiden av et rør med anbefalt magnetbåndkonfigurasjon. Figuren viser anbefalt plassering og polaritet (til venstre) og simulert magnetfeltstyrke (til høyre)

Løsningen består av 6 magneter der 3 har N inn mot senter og 3 har S inn mot senter. Konfigurasjonen gir et sterkt og stabilt magnetfelt. Fysiske tester med sensorfisk viser at konfigurasjonen gir maksimalt signal i magnetometeret til sensorfisk. Sensorfisk registrerte ingen dead-spots. Konfigurasjonen med 6 magneter er valgt over 8 magneter med bakgrunn i vekt og monteringsvennlighet. 8 magneter vil gi et sterkere magnetfelt, men testene med sensorfisk viser at 6 magneter gir et tilfredsstillende resultat. Det viktigste funnet er at det er orienteringen til magnetene som er det viktigste, ikke antall magneter. Det må være en asymmetrisk konfigurasjon slik at magnetfeltet får "flyte" gjennom røret. Dersom to identiske magneter står med N-pol pekende mot hverandre må magnetfeltet være avtagende inn mot senter mellom magnetene.

Det ble gjennomført et forsøk på en avlusingsleker med et nytt magnetbånd. Det nye båndet ble testet ut i et forsøk på en kommersiell avluser med til sammen 11 magnetbånd der magnetbånd M1 og M2 (ny type) ble plassert med ca 0.5 meters mellomrom på innløpet på sugeslangen. Det skal nevnes at sugeslangen i gummi er erfaringsmessig det enkleste stedet å registrere magnetbånd og dette punktet ble valgt for å få mest konsistente målinger og mulighet til å sammenligne gammel og ny type magnetbånd. Figur 3 viser eksempel på 4 gjennomkjøringer og det er tydelig stor variasjon i målingene. De fleste målingene viste bedre utslag på M2 enn M1, men stor variasjon i utslag (fra 88% til 1 % peak-verdi forbedring). Kun gjennomkjøring nr 1 og 3 registrerte alle 11 magnetbåndene. Testene viser en viss forbedring, men det er rimelig å anta at også den nye typen bånd vil være for vanskelig å detektere 100%, noe som er nødvendig får automatisk postprosessering av data.



Figur 3: Magnetfeltmålinger gjennom avlusingsleker. Absoluttverdi av magnetfeltvektor på y-akse. Gjennomkjøring nr 1 og 3 fra toppen registrerte alle magnetbåndene. Magnetbånd er ikke indikert på gjennomkjøring 2 og 4 da det er usikkert hvilke magnetbånd man ikke har detektert. M2* er oppgradert magnetbånd.

5.1.2 Nye sensorer

Det ble gjennomført en screening av potensielt nye måleparametere for å kunne øke sensorfiskens verdi ytterligere. Det har tidligere vært utviklet en sensorfisk med trykkfølsom overflate, (Kvalisys, FHF prosjektnr 901397, (Caharija et al., 2021)), men dette har vist seg å være en utfordrende oppgave å løse og det ble heller ikke i dette prosjektet funnet nye løsninger som kan bidra til å lokalisere hvor slag/støt eller spylestråle inntreffer på sensorfiskkroppen. Basert på intervjuer med næringsaktører ble det besluttet å implementere et kamera i sensorfisken for å gi en bedre visuell forståelse av hva som foregår i rørsystemene.

Det ble utviklet en sensorfisk med kamera og lys (Datamaskin: Nvidia Jetson Nano, kameramodul: IMX219, LED-lys: ADAFRUIT Sequins Warm White, Strømforsyning: Goji mobile powerbank. 5VDC, 3A). På grunn av covid-utfordringer (besøksbegrensninger) ble det vanskelig å komme ut i felt for å testkjøre utstyret. Det ble gjennomført ett forsøk i en kommersiell testrigg april 2022, men tekniske utfordringer med sensorfisken resulterte i at forsøket ble mislykket.



Figur 4: Sensorfisk med kamera. Innmat til høyre.

5.1.3 Databehandling og presentasjon

Tiden det tar fra målingene blir utført til dataene er ferdig prosessert og presentert har tidligere blitt kritisert av næringsaktører da man ønsker umiddelbar tilbakemelding for å kunne teste forskjellige innstillinger i systemene som testes ut. Som en del av arbeidspakken ble det engasjert en studentgruppe for å se på muligheten for å automatisere prosessen med å prosessere data og presentere denne for en kunde på en interaktiv måte med et brukervennlig grensesnitt.

En gruppe på 4 studenter fra NTNU (Bachelor i Dataingeniør) jobbet med følgende forskningsspørsmål:

- *Hvilken teknologi bør tas i bruk for å lage et system som er mer brukervennlig enn dagens løsning?*
- *Hvordan effektivisere prosessen fra Sensorfisk kjøres hos oppdretter til en rapport blir levert til kunden?*
- *Hvordan bør sikkerhet implementeres i systemet, slik at uvedkommende ikke får tilgang til sensitiv informasjon?*
- *Hvordan få til å visualisere data på en interaktiv, men uforstyrrende måte?*

Det ble utviklet et webbasert, interaktivt grafisk brukergrensesnitt der data fra sensorfisken kjøpt kan lastes opp og presenteres for bruker. Sensorfisken kobles til en PC og laster opp dataen som igjen sender det videre til databasen der det blir lagret. Brukeren kobler seg på systemet via en nettleser, systemet henter så data fra databasen slik at dette kan visualiseres i nettleseren til brukeren (Martinsen et al., 2020).



Figur 5: Skjermbildeeksempler fra brukergrensesnitt. Figuren til høyre viser sammenligning av flere trykkkurver, mens bildet til venstre viser menyer for opplasting av data.

5.1.4 Validering av sensorfisk som metode for å dokumentere velferdsmessig forsvarlighet i håndteringssystemer for laks

Sensorfisken består av et aluminiumsrør som er innstøpt i polyuretan. Polyuretan er et fleksibelt, men relativt hardt materiale og kombinert med stivheten til aluminiumsrøret gjør dette at støtene blir relativt korte og harde. En konsekvens av dette er at akselerometrene kan gå i metning ved kraftige støt. Hver akse har et begrenset måleområde opp til 20 g. Dette vil gi seg utslag i resultatene der de kraftigste slagene sannsynligvis er enda hardere enn det som vises i resultatene og figurene.

For å korrelere støtmålinger fra sensorfisk med det levende fisk opplever, er det nødvendig å gjøre sammenligninger mellom disse. En sensorfisk (stiv konstruksjon med relativt hard overflate og annen form) vil måle høyere akselerasjon enn en biologisk fisk (fleksibel og myk) ved sammenstøt mot rørvegg. Det er også rimelig å tro at sensorfisken vil bevege seg annerledes gjennom et rør enn en levende fisk som aktivt kan posisjonere seg i forhold til rørveggen, eller svømme med- eller motstrøms. Fiskens mulighet for egenposisjonering vil imidlertid også være avhengig av gjennomføringsfart og antall fisk/fyllingsgrad i systemet.

Sensorfisken er utstyrt med akselerometer og måler støt på sin vei gjennom et rørsystem. Tidligere målinger fra Kvalisys-prosjektet viser at repeterbarheten på disse målingene er relativt høy og indikerer at støtregistreringene skjer i samme fysiske områder i rørsystemet. For å forberede forsøk med levende fisk, ble det gjennomført tester med dødfisk og sensorfisk. Dødfisk har i likhet med sensorfisken ikke mulighet til å posisjonere seg selv i vannstrømmen (passiv transport), men har en helt annen form, strukturell fleksibilitet og hardhet. En eventuell korrelasjon eller mangel på korrelasjon mellom sensorfisk og dødfisk vil være viktig for videre fysisk design av sensorfisken. En dårlig korrelasjon vil indikere at sensorfisken kanskje bør endre utforming.

I alle forsøkene er det benyttet 3-akse akselerometre. Gravitasjon vil påvirke alle målinger med et konstant bidrag på 1 g (~9.81 m/s). Dette kan kompenseres for ved hjelp av flere teknikker hvor man estimerer orienteringen til sensoren for videre å trekke fra gravitasjonskomponenten som alltid peker nedover mot

jorda. Dette fordrer god estimering av orienteringen noe som kan være veldig utfordrende i et miljø med mye dynamikk som i våre forsøk. Resultatene i denne rapporten er presentert ved å benytte absoluttverdien til akselerasjonsvektoren (akselerasjonsnorm) til ikke-kompenserte akselerasjonsmålinger noe som introduserer en usikkerhet på ± 1 g. For en vektor $a = (x, y, z)$ i det tre-dimensjonale rommet, vil dette si $||a|| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

Det ble benyttet forskjellige typer sensorer i forsøkene både på grunn av pris, ytelse og form. Sensorene som ble benyttet er beskrevet i Figur 6 og Tabell 2.



Figur 6: Dataloggere. Fra venstre: Cefas, Technosmart, Yost, og sensorfisk

Tabell 2: Sensorspesifikasjon

| Merke | Modell | Akselerasjon (3-akse) | Magnetfelt (3-akse) | Rotasjons hastighet | Trykk | Temperatur | Samplingsrate [Hz] |
|-------------|---------|-----------------------|---------------------|---------------------|-------|------------|--------------------|
| Cefas | G7 | x | - | - | x | x | 30 |
| Technosmart | AGM | x | x | x | x | x | 100 ¹ |
| Yost | 3-Space | x | x | x | - | - | 180 |
| Sensorfisk | - | x | x | x | x | x | 1000 |

5.1.4.1 Dødfiskforsøk I

Det ble gjennomført en test med en avluser på Frøya 11/03/2020. Akselerometre (Yost-loggere) ble pakket inn i gummi for vanntetting og sydd inn i buken på 2 døde fisk. Det var dessverre store utfordringer med å sende gjennom enkeltfisk da disse stoppet gjentatte ganger på samme sted i rørsystemet. Fiskene, både sensorfisker og dødfisk, ble stående i en bakevje og hvor de fikk hard medfart sannsynligvis på grunn av turbulent strømming (man kunne høre sensorfisken stå å slå mot rørveggen). Det var vanskelig å konkludere med om dette var et problem på grunn av systeminnstillinger eller et problem som oppstod på grunn av at enkeltfisk ble sendt gjennom og ikke store fiskemengder.

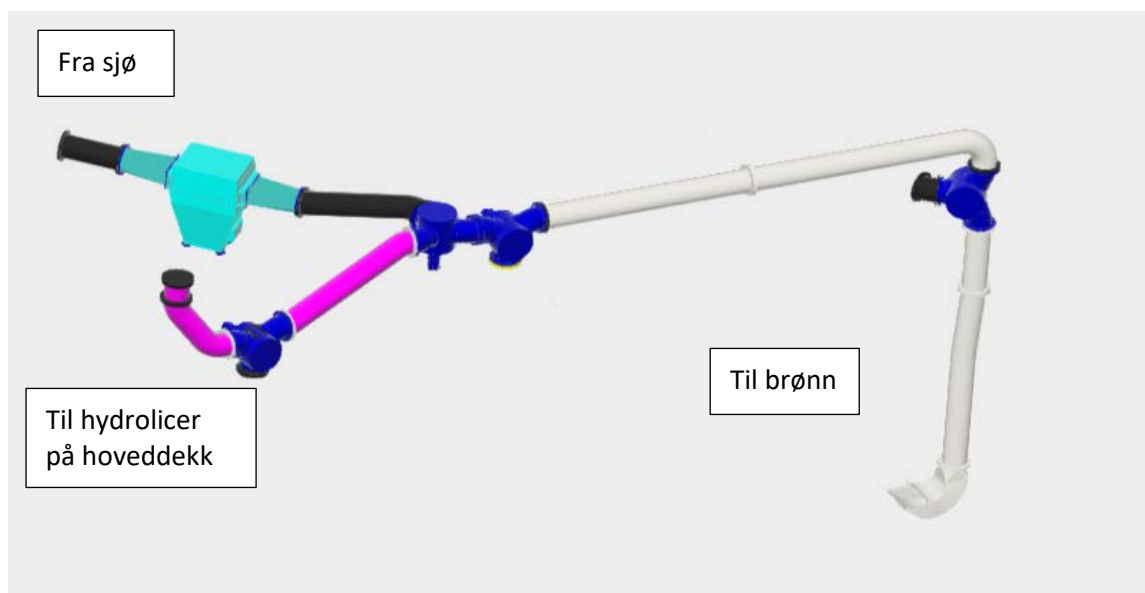
Det ble avdekket en svakhet i metode med å sy inn sensorene da det var tidkrevende å utføre og sårene revnet. Det ble også testet å plassere sensorer i magesekk via munn, noe som var effektivt og robust. Det ble også gjennomført forsøk der hele fisken ble pakket inn i plast. Det ble ingen brukbare måleresultater fra forsøket.

¹ Trykksensor har bare 1Hz samplingsrate

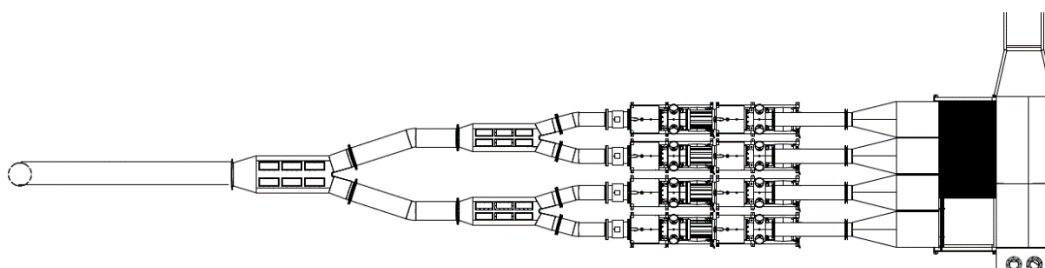
5.1.4.2 Dødfiskforsøk II

Det ble gjennomført et nytt forsøk på Frøya 23/06/2020, med en brønnbåt som er utstyrt med en Hydrolicerlinje. Figur 7 viser rørføring fra skuteside til bunn av brønn. Sugerslange var 20" og 12 meter lang og går fra sjø til skutesiden. Denne er ikke vist i figuren under. Videre går det 20" rør som fører inn til brønn med skyveskott. Fra brønn kan fisken returneres via samme rør tilbake til sjøen eller sendes videre gjennom hydrolicersystemet på øverste dekk ved hjelp av å sjalte en treveisventil. Rør som går videre til hydrolicerlinje er vist i rosa i figuren. På hoveddekk splittes røret i to, og igjen i to til totalt 4 behandlingslinjer. (20"->14"->10") noe som gir tilnærmet konstant vannstrømningshastighet gjennom hele røret. Splitting er vist i Figur 8. Vannet pumpes inn eller ut av systemet ved å skape undertrykk eller overtrykk i brønnen.

Det ble benyttet 5 døde fisker i relativt lik størrelse til forsøket og akselerometre (6 Yost-loggere og 1 Cefas-logger) ble montert i munnhule og magesekk i henhold til Tabell 3. Hver fisk ble sendt gjennom systemet 10 ganger. Cefaslogger ble testet ut med tanke på senere forsøk med levende fisk.



Figur 7: Layout-tegning. Rør i rosa fører videre opp til hydrolicerlinje. Mørkeblå komponenter er 3-veis ventiler. Komponenter i Cyan er fisketeller. Fleksibel sugerslange på innløpet vises ikke, men er koblet til rørfless til venstre i figuren.



Figur 8: Rørsplitt og hydrolicerlinje på dekk

Tabell 3: Oversikt over dødfisker og sensorplassering. To fisk ble utstyrt med 2 sensorer i henholdsvis mage og munnhule.

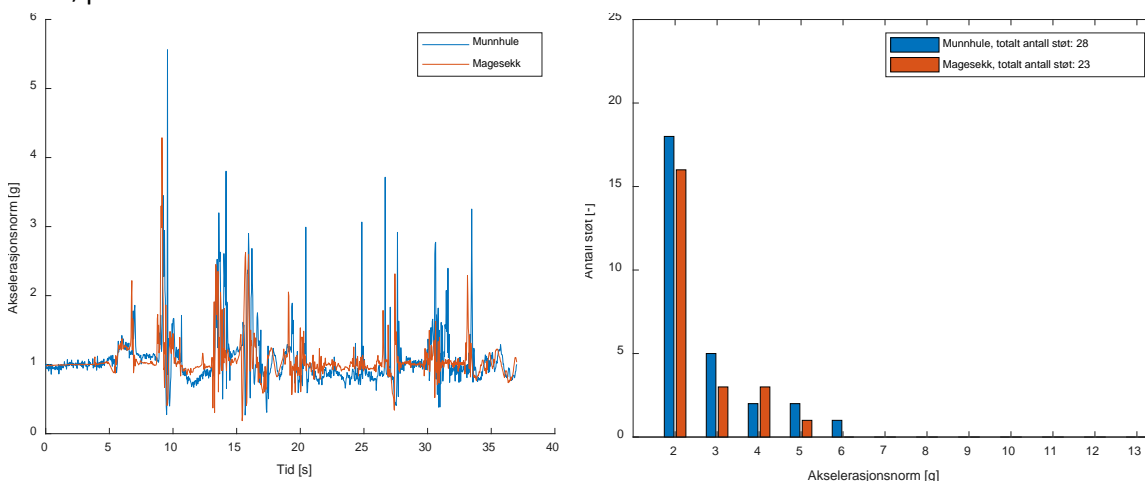
| Dødfisk nr | Vekt [kg] | Lengde gaffelbånd [cm] | Sensor i mage (Sensornavn) | Sensor i munnhule (Sensornavn) |
|------------|-----------|------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| DF1 | 4,5 | 77,5 | Yost | Yost |
| DF2 | 4,5 | 72,5 | Cefas | Yost |
| DF3 | 4,3 | 72,0 | Yost | Ingen sensor |
| DF4 | 4,5 | 71,5 | Yost | Ingen sensor |
| DF5 | 5,5 | 74,5 | Yost | Ingen sensor |

Ved forsøk fra brønn til utløp var det utfordringer ved at sensorfisker satte seg fast i "splittere" vist i Figur 8 og det ble ingen gjennomkjøringer fra brønn til utløp der sensorfiskedata kunne sammenlignes med data fra dødfisk. Det ble gjennomført tre vellykkede forsøk med dødfisk der fisk ble ført inn i sugeslange fra sjø, transportert til brønn og pumpet ut igjen via Hydrolicerlinje til avsilingsrist på hoveddekk. Hydrolicere var ikke aktive (spyling ikke aktivert) under forsøket på grunn av utfordringer med oppstart av anlegg.

Logger i dødfisk nr 5 (DF5) fungerte ikke som forventet.

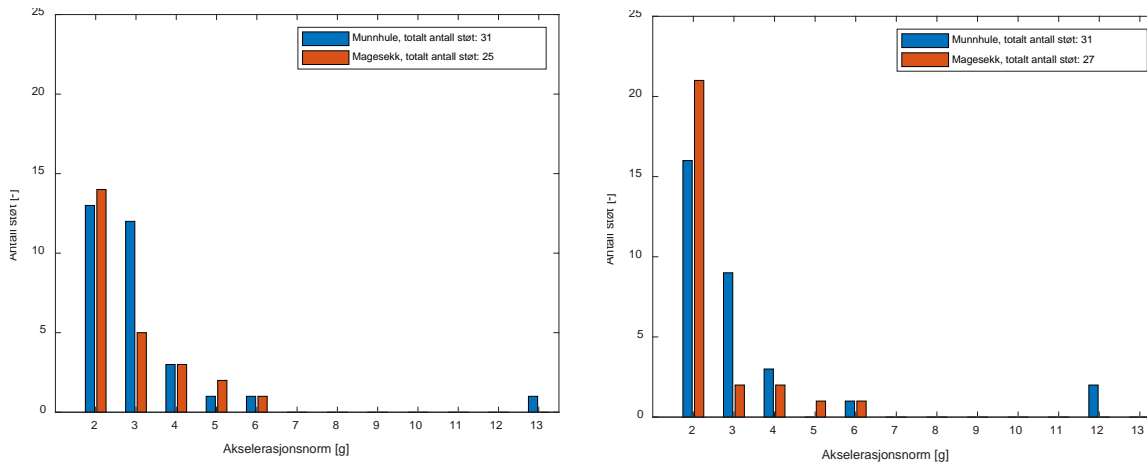
Magesekk vs munnhule

Figur 9 viser eksempel på akselerasjonsnorm for sensor plassert i munnhule og i magesekk på vei fra brønn til utløp.



Figur 9: T.v.: Tidsserie av akselerasjonsdata (DF1) registrert i henholdsvis munnhule og magesekk fra brønn til utløp. T.h.: Histogram som viser antall støt og styrke.

Det er tydelig samsvar mellom sensorene, med høyest utslag på sensor plassert i munnhule. Dette er forventet da det er antatt mindre demping på sensor plassert i munnhule i forhold til sensor plassert i magesekk, og hode er mer utsatt enn mageregionen. Figur 9 viser også et histogram med antall støt per gruppering med 1 g oppløsning. Det er benyttet en terskelverdi på 1,5 g for å detektere støt (alt under dette blir ikke analysert) og en minimumsavstand på ¼ sekund mellom støtene for å kunne registreres. Tilsvarende histogram for de to andre gjennomkjøringene er vist i Figur 10.

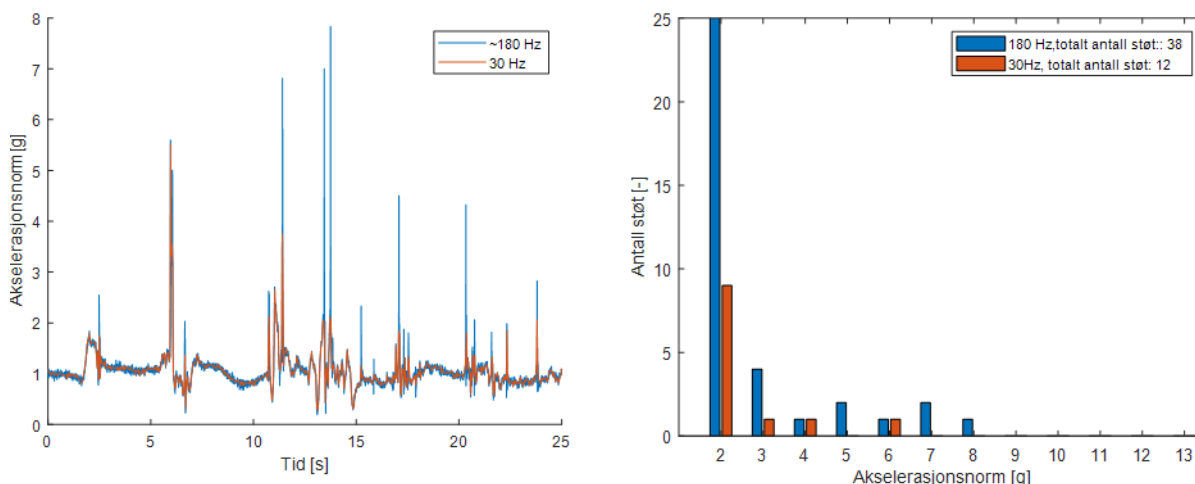


Figur 10: Histogram for gjennomkjøring 2 og 3 med DF1 – fra brønn til utløp.

Figurene viser relativt bra samsvar med ca 30 støt registrert for sensor i munnhule og ca 25 for sensor i magesekk selv om støtene er fordelt med forskjellig styrke. Det ble stort sett registrert støt i området fra 1,5-6,5 g med et par enkle kraftige støt i området 12-13 g.

Effekt av samplingsrate

Kollisjoner og støt har en kort varighet, jo hardere og stivere strukturen er jo kortere varer støtet. Samplingsraten beskriver hvor ofte sensoren tar en måling og er ofte oppgitt i Hz som er målinger per sekund. For lav samplingsrate betyr i praksis at man ikke får målt maks utslag i støtene og mens høy samplingsrate vil gå på bekostning av batteri- og lagringskapasitet. Figuren under illustrerer effekten av å nedsample akselerometerdata fra 180 Hz til 30 Hz (Henholdsvis samplingsrate til Yost-logger og Cefas-logger).



Figur 11: Sammenligning 180 Hz vs 30 Hz samplingsrate

Det er tydelig at effekten av samplingsrate påvirker resultatet vesentlig både i antall støt registrert og amplituden til støtene.

Repeterbarhet av støtmålinger

Figur 12 - Figur 14 viser akselerasjonsmålinger for henholdsvis DF1, DF4, DF5 og sensorfisk fra sjø inn til brønn ved 6 gjentatte forsøk. Kun sensorer i mage er benyttet for å kunne gi et sammenligningsgrunnlag. Rødstiplet linje indikerer innløpet til sugeslangen.

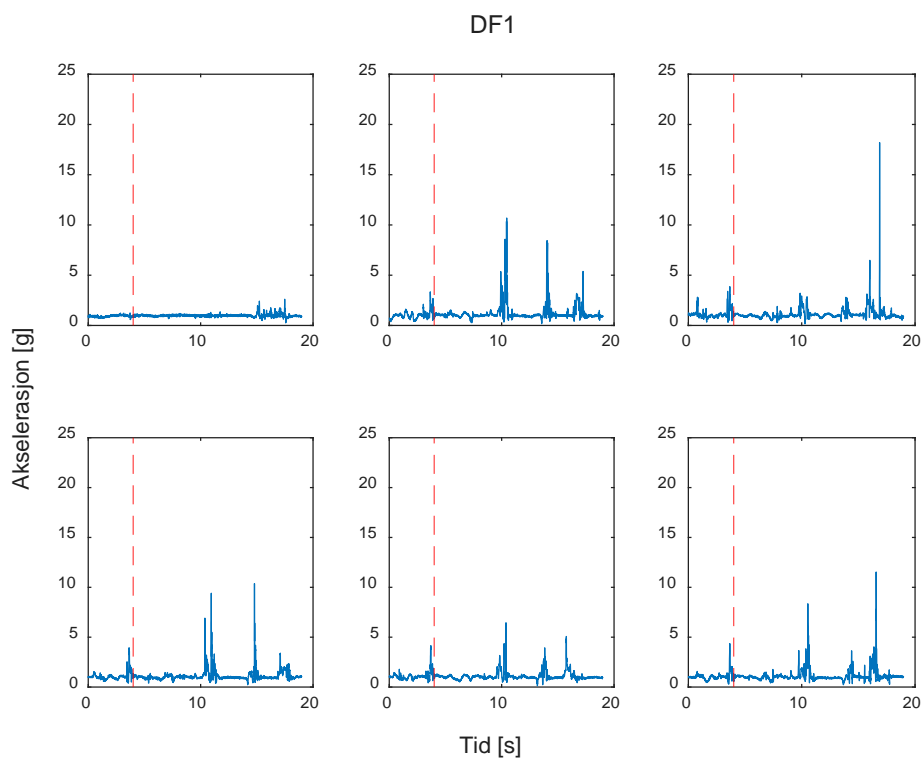
Målingene viser et relativt repeterbart mønster med 3 tydelige utslag. Ved hjelp av magnetbåndplassering og trykkmålinger er det mulig å koble disse 3 utslagene til fysiske posisjoner i rørsystemet som i dette tilfellet var to 3-veis-ventiler og bunn av stigerør som vist i Figur 18.

Det er relativt stor variasjon i utslagene mellom dødfiskene, og spesielt DF 4 viser et jevnt over høyere utslag enn de to andre dødfiskene. Fiskene er av relativt lik størrelse, så denne variasjonen skyldes trolig plassering av sensor i magen på fisken, der sensoren i DF 4 sannsynligvis er mer utsatt enn de to andre.

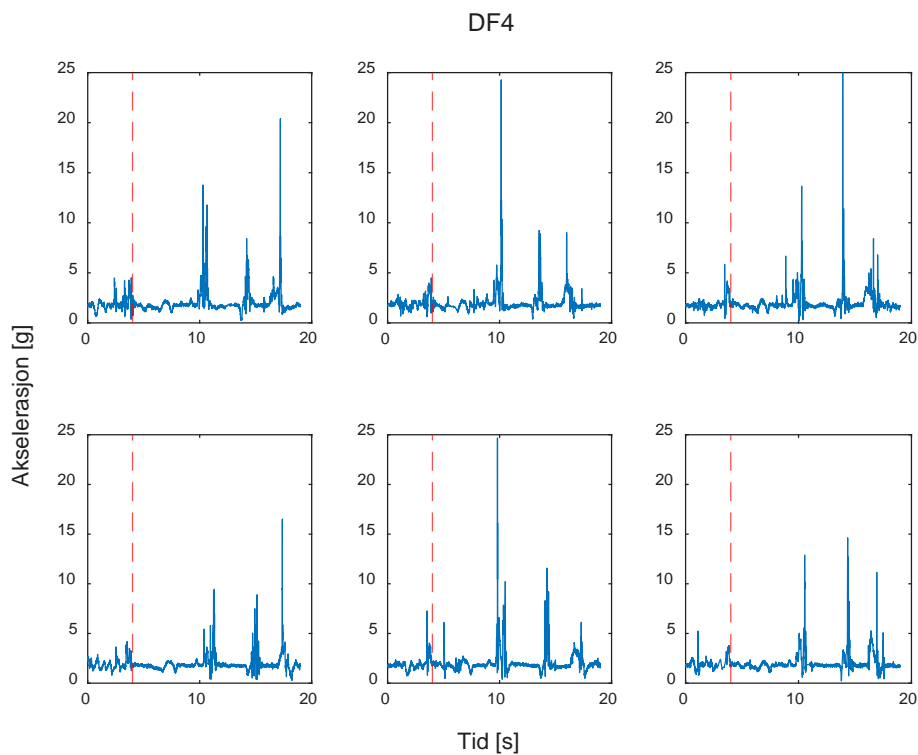
Det er også en variasjon i utslag på de samme posisjonene ved gjentatte gjennomkjøringer med samme fisk. Fisken vil ved alle gjennomkjøringene ha en litt forskjellig bane og orientering som vil påvirke i hvilken grad den slår seg i de eksponerte posisjonene. Dette illustrerer nødvendigheten av flere målinger for å kunne kartlegge og identifisere utsatte posisjoner i et rørsystem med denne metoden.

Effekten av sensorfiskens harde ytre og stive konstruksjon kombinert med høy samplingsrate vises tydelig i Figur 15. Utslagene er jevnt over høyere og flere enn målingene med dødfisk. Dette kan justeres ved hjelp av postprosessering av måledata om man ønsker et bedre sammenligningsgrunnlag. Et eksempel på dette er illustrert i Figur 16 som viser filtrerte måledata (glidende gjennomsnitt med 50 datapunkter) av Figur 15. Det er tydelig at sensorfisk og dødfisk som begge er passive, flytende enheter blir utsatt for mye av de samme kreftene på veien gjennom rørsystemet.

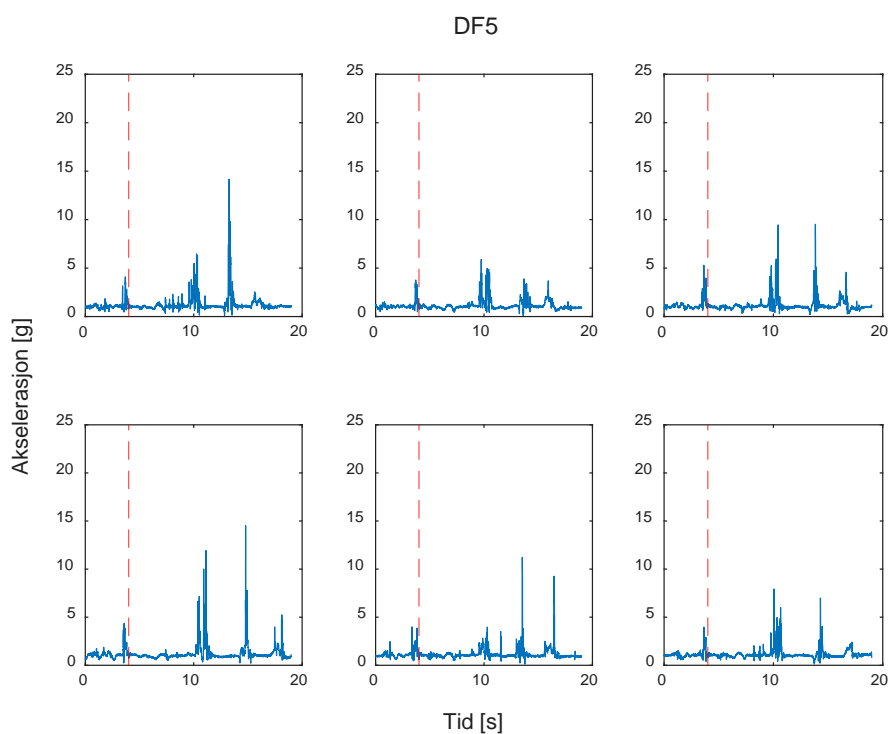
Variasjonen i dødfiskmålingene er illustrert i histogramformat i Figur 17. Figuren viser snittverdier på fisk DF1, DF4 og DF5 for de samme gjennomkjøringene som vist i Figur 12 - Figur 14. Her ser man enda tydeligere at sensoren i DF4 sannsynligvis er mest eksponert og mer sensitiv for støtregistrering. Tilsvarende er det rimelig å anta sensoren i DF1 ligger mest beskyttet i magesekken. Av de tre fiskene er DF5 størst, men ligger mellom de to andre fiskene i sensitivitet i figurene under så det er vanskelig å si noe om vekt påvirker målingene.



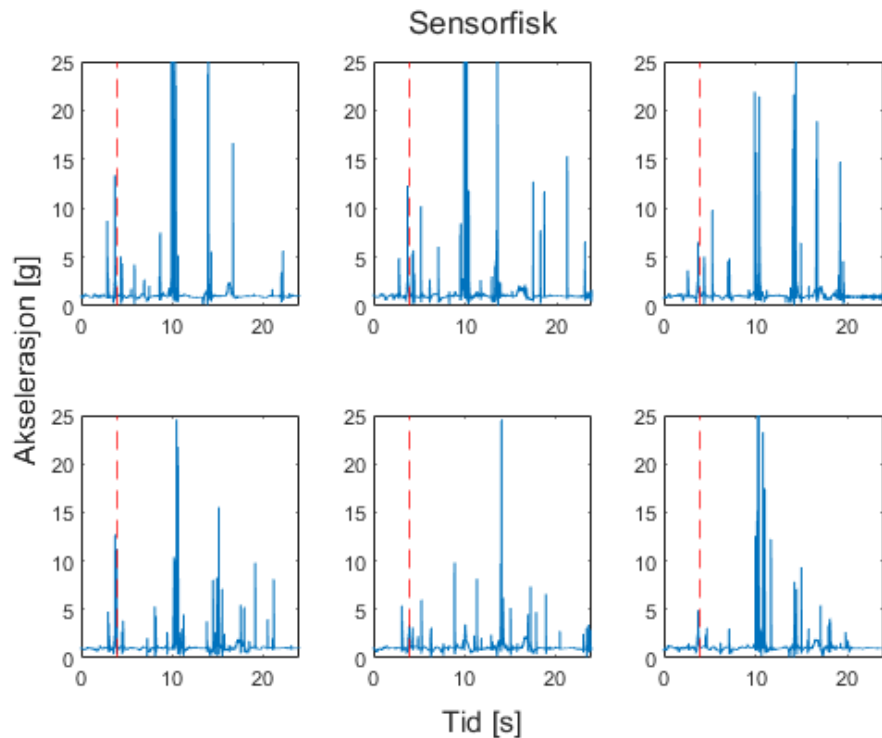
Figur 12: Sammenligning av gjentatte målinger med dødfisk nummer 1 (DF1). Rødstiplet linje indikerer innløp til sugeslange. Første dataserie (oppe til venstre) gav korrupte måledata.



Figur 13: Sammenligning av gjentatte målinger med dødfisk nummer 4 (DF4). Rødstiplet linje indikerer innløp til sugeslange

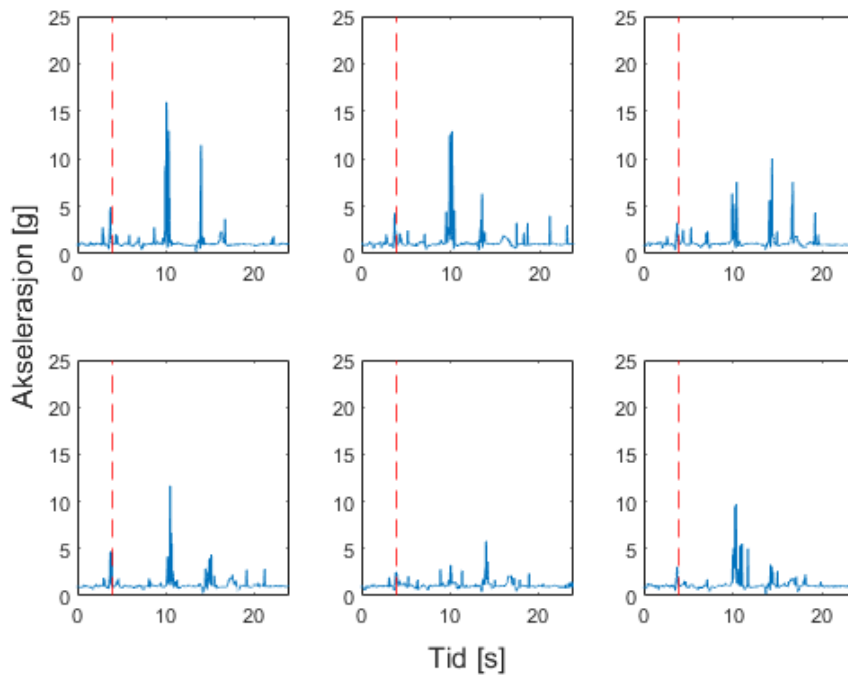


Figur 14: Sammenligning av gjentatte målinger med dødfisk nummer 5 (DF5). Rødstiplet linje indikerer innløp til sugeslange

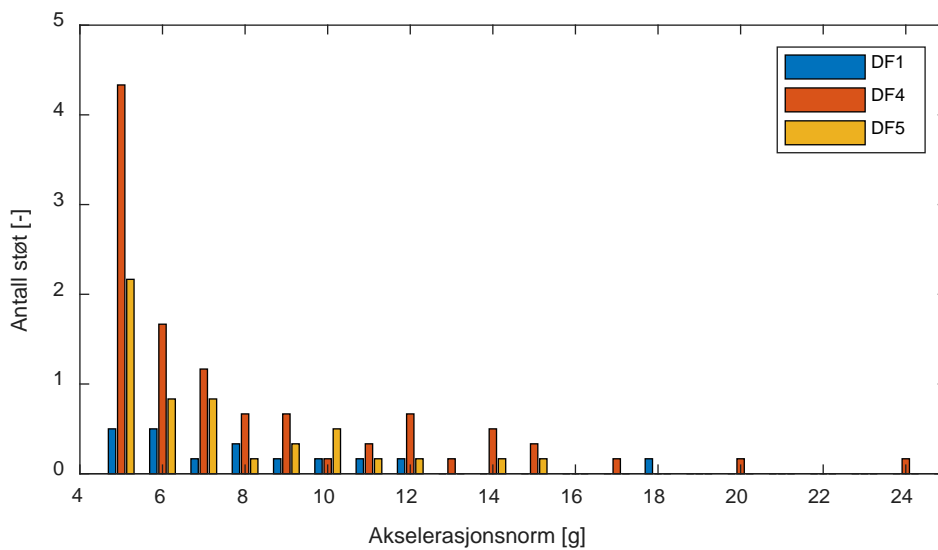


Figur 15: Sammenligning av gjentatte målinger med sensorfisk. Rødstiplet linje indikerer innløp til sugeslange

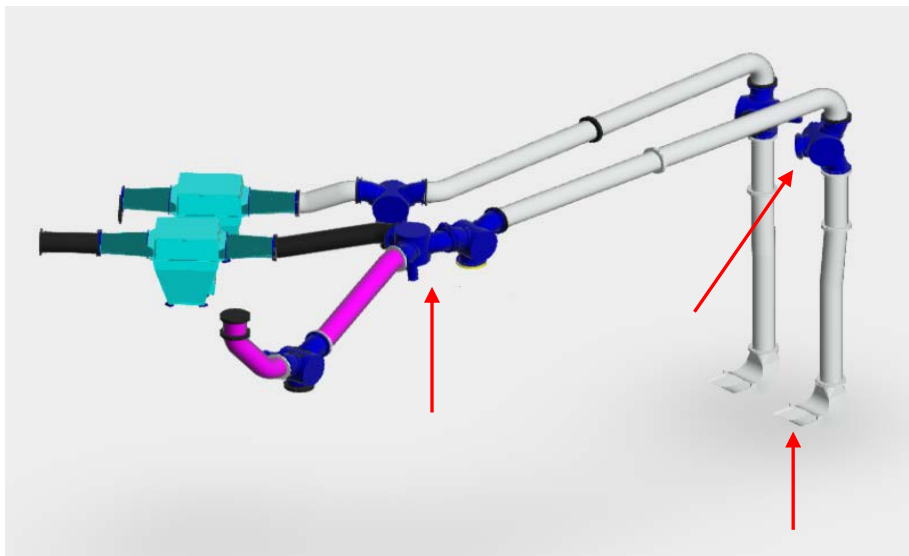
Sensorfisk – filtrerte måleverdier



Figur 16: Eksempel på effekt av glatting av måledata fra sensorfisk ("moving average", 50).



Figur 17: Histogram over snittstøt for hver dødfisk etter 6 gjennomkjøringer



Figur 18: Identifiserte områder med høyt utslag på akselerometer

5.1.4.3 Forsøk med levende fisk

Det ble til slutt gjennomført et forsøk med levende fisk utstyrt med gastriske sensorer (sensorer plassert i magesekk på fisk via spiserøret) for å se om levende fisk utsettes for støt i samme grad og på de samme posisjonene som dødfisk og sensorfisk.

Forsøket ble gjennomført på samme brønnbåt som beskrevet i kap 5.1.4.1 (29/04/2021). Basert på erfaring fra forsøk med dødfisk og Cefas-loggere og effekten av lav samplingsrate (30Hz), ble det besluttet å teste ut en ny type sensor med mindre byggemål og høyere samplingsrate (Technosmart, AGM, 100Hz). Forsøket ble gjennomført ved slakteri og 30 fisk ble holdt adskilt i egen merd. Det ble tatt ut 10 fisk som i tur og orden ble sedert, utstyrt med sensor plassert i magesekk, sluppet ut i oppvåkingskar og til slutt sluppet tilbake til ny merd. Her fikk fisken svømme fritt til normal svømmeadfærd ble observert (5-15 min). De 10 fiskene ble så sugd inn i brønnen via sugeslange og videre ut gjennom hydrolicer på dekk til silkasse og avlivet med en overdose Benzoak i kar. Forsøket ble gjentatt 3 ganger med 3 forskjellige rørstrømningshastigheter. Etter forsøk nr 3 ble fisken avlivet som normalt, men sensor beholdt og den døde fisken ble sendt gjennom systemet ytterligere to ganger. Hensikten med dette var å kunne sammenligne død og levende fisk. Forsøksoppsett og vannhastigheter er beskrevet i

Tabell 4. Rørføring er vist i Figur 7 og Figur 8.

Tabell 4: Forsøksoppsett

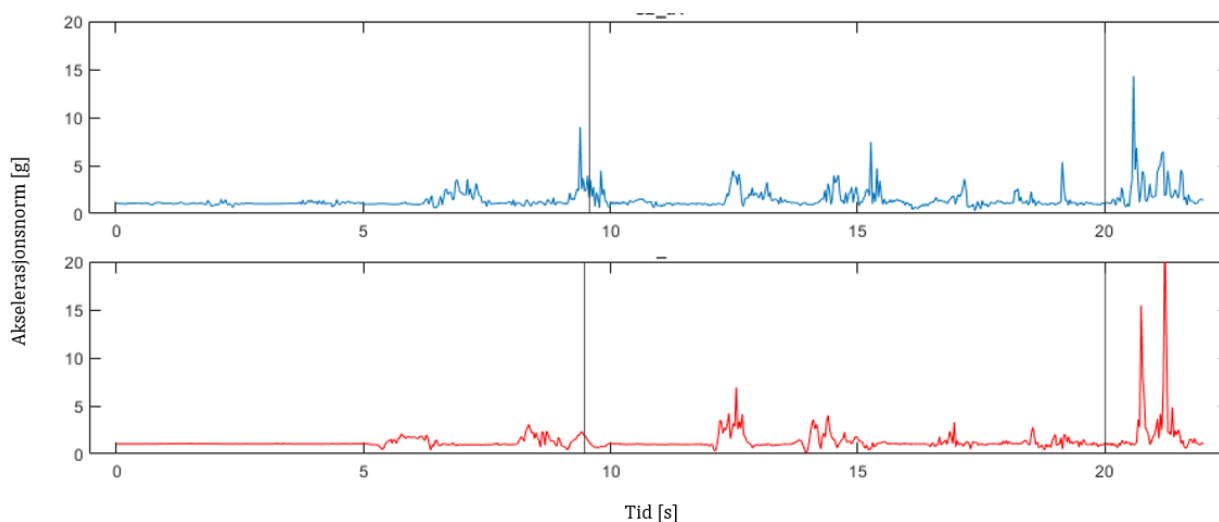
| Forsøk nr: | Strømnings-hastighet [-] | Strømnings-hastighet lasting [m/s] | Strømnings-hastighet lossing [m/s] | Antall fisk | Tilstand fisk | |
|------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|---------------|-----|
| | | | | | Levende | Død |
| 1 | Medium | 4.0 | 2.0 | 10 | x | |
| 2 | Høy | 4.2 | 2.3 | 10 | x | |
| 3 | Lav | 3.5 | 1.6 | 10 | x | |
| 4 | Lav | 3.5 | 1.6 | 10 | | x |
| 5 | Høy | 4.1 | 2.3 | 7 ² | | x |

Resultatene fra forsøket er planlagt publisert i tidsskrift med fagfellevurdering, og der vil detaljer fra forsøket bli presentert.

Gjennomløpstiden på fisken transportert fra sjø til brønn (både død og levende) var ikke konsistent og det er derfor vanskelig å si noe om strømningshastigheten i rørsystemet faktisk var som var forventet og beskrevet i Tabell 4. Videre resultater er derfor basert på rørstrekket fra brønn til utløp ved avsilingskasse på dekk hvor resultatene viser en gradvis kortere gjennomløpstid ved økende strømningshastighet.

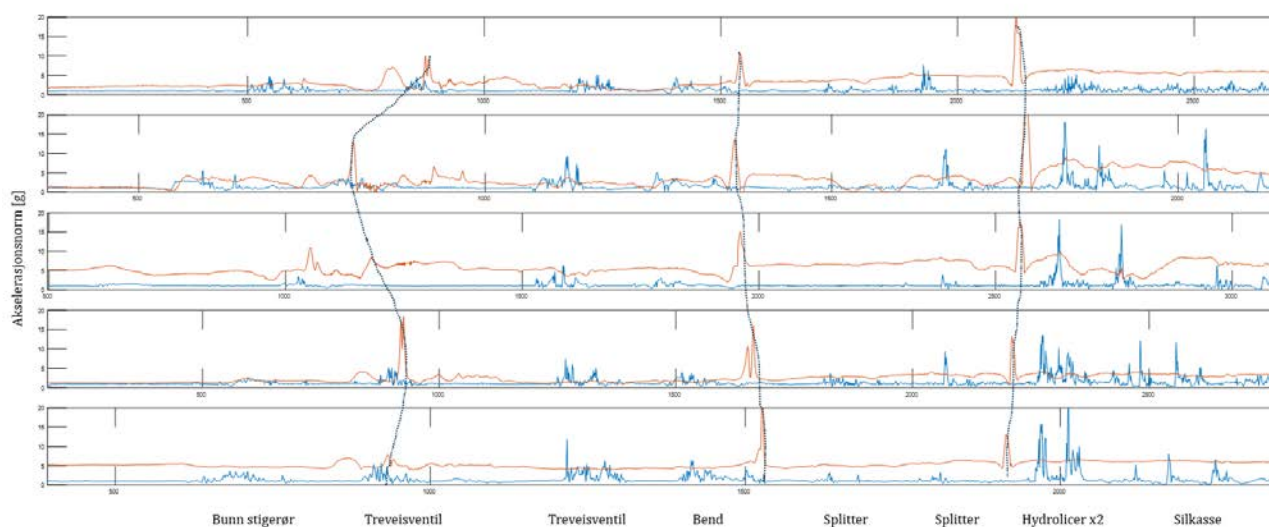
Figur 19 viser et eksempel på en tidsserie fra støtmålinger registrert av samme fisk i død og levende tilstand, i samme rørsystem, med samme maskininnstillinger. Figuren viser en tydelig lik "støt-signatur" der den levende fisken ser ut til å utsettes for støt i de samme områdene som den døde fisken.

² 3 dødfisk ble sittende fast i brønnen under forsøk nr 4.



Figur 19: Støtprofil på levende (blått) og død fisk (rødt) fra brønn til utløp. Svarte vertikale streker indikerer magnetbåndpassering.

Figur 20 viser 5 gjennomkjøringer med levende fisk ved samme systeminnstilling. Basert på magnetbåndregistreringer er det mulig å identifisere de utsatte områdene i rørsystemet.



Figur 20: Tidsserier for 5 gjennomkjøringer med levende fisk fra brønn til utløp. Akselerasjonsnorm i blått og magnetfelt i oransje. Magnetbåndpasseringer markert med svart stiplet linje.

Utslagene er sterkest ved slutten av tidsserien som er passering av to hydrolicer-spyleenheter. Dette er gjennomgående for flere av forsøkene, samtidig som noen forsøk nesten ikke viser utslag i det hele tatt. Dette kan tyde på at fisken kan få en kraftig rystelse av vannstrålen som kommer ut fra rørveggen om den passerer for nær dysene. Etter hydrolicerene kommer fisken ut av rørsystemet ut i friluft over en silkasse og over i vannfylt åpen renne som vanligvis sender fisken tilbake til sjø. Treveisventilene i systemet gir også jevnt over høyt utslag på støtmålingene. Bend er i dette systemet et 90 graders bend. Rørsplittere gir også en viss mekanisk påkjenning på fisken, der splitter nr 2 ser ut til å påvirke mest. Dette er kanskje å forvente da rørtverrsnittet reduseres for hver splitt og fisken har begrenset mulighet for å unngå splitteren (20"->splitter1->14"->splitter2->10").

Forsøkene fra brønn til utløp viser også at det er en positiv korrelasjon mellom rørstrømningshastighet og støt – det vil si økende strømningshastighet gir kraftigere støt på fisken.

Ytterligere resultater er planlagt presentert i vitenskapelig publikasjon som en del av leveransene i prosjektet som beskrevet i kapittel 11.

5.1.5 Vurdering/drøfting av mulighetene for videre anvendelse av resultater fra prosjektet

Dagens løsning med magnetbånd er ikke robust, selv med forbedret konfigurasjon, og hindrer automatisk prosessering av data. Manuell tolkning og behandling av data er svært tidkrevende og begrenser mulighet for presentasjon av data direkte i etterkant av forsøk – noe industriaktører har pekt på som et viktig forbedringspunkt ved videreutvikling av Sensorfisken. Tematikken ble videreført i AP3 for å se om kommunikasjon gjennom vannfylte stålrør er mulig både med tanke på sanntidsoverføring av data samt mulighet for Radio-Frequency Identification (RFID) teknologi i posisjonsbåndene på rørene. Dette vil kunne gi unik id til hvert bånd og være en mye mer robust løsning enn dagens magnetbåndløsning.

Det ble også utviklet et interaktivt brukergrensesnitt i prosjektet. Brukergrensesnittet øker verdien av sensorfisk-resultatene ettersom brukeren da har mulighet til å gjøre sammenligninger mellom ulike gjennomkjøringer, zoomer inn ved interessante områder, sammenligne forskjellige linjer eller maskiner og ikke forholde seg til et statisk utvalg av grafer i rapportformat. Det ble gjennomført intervju med potensielle brukere i forbindelse med dette arbeidet. Løsningen er foreløpig ikke lansert da det gjenstår noe IT-teknisk arbeid med tanke på sikker lagring av data.

Det er foreløpig ikke gjennomført forsøk med sensorfisk med kamera, men tilbakemeldinger fra næringen tilsier at dette kan bli et nyttig supplement da man vil få enda bedre mulighet til å koble interessante funn fra måledata til fysisk posisjon i rørsystemet.

Resultatene viser også at utforming av sensorpakken (hardhet, fleksibilitet, størrelse) og spesifikasjonen (spesielt samplingsrate) til sensorikken påvirker resultatet i stor grad. Dette viser behovet for å standardisere metoden om man på sikt ønsker å benytte innsamlet datamateriale til 'benchmarking' og dermed kunne sammenligne seg med andre og lære av de beste.

Forsøk med levende og død fisk viser at fisken ikke har særlig mulighet til å unngå slag/støt ved utsatte områder i rørsystemer. Dette skyldes trolig at fisken har begrenset volum å bevege seg i, det er mørkt og fisken har trolig lite annet valg enn å følge vannstrømmen. Dette funnet bekrefter at en frittflytende sensorpakke kan være en god metode for å måle mekanisk belastning en levende fisk blir utsatt for gjennom et rørsystem. Akslerasjonsmålinger fra sensorfiskdata har så langt blitt brukt til å avdekke utsatte områder i et rørsystem og man har fokusert mer på relative målinger (posisjon A har et dobbelt så høyt utslag som posisjon B) mer enn absolutte verdier (antall g). På sikt ønsker man også å etablere tålegrenser for laksen slik at man kan benytte sensorfisken til å si noe om skadepotensialet til akselerasjonsmålingene.

Resultatene indikerer også at mekanisk påkjenning fisken opplever gjennom rørtransport, øker med økende rørstrømningshastighet. Resultatene viser også at rette rørstrekk uten ventiler, bend splitter etc er det mest skånsomme for fisken. Dette er et viktig funn som kan være med på å øke bevisstheten rundt utforming og maskininnstillinger i håndteringssystemer.

5.2 Velferdsmessige betydninger av trykk- og støtmålinger

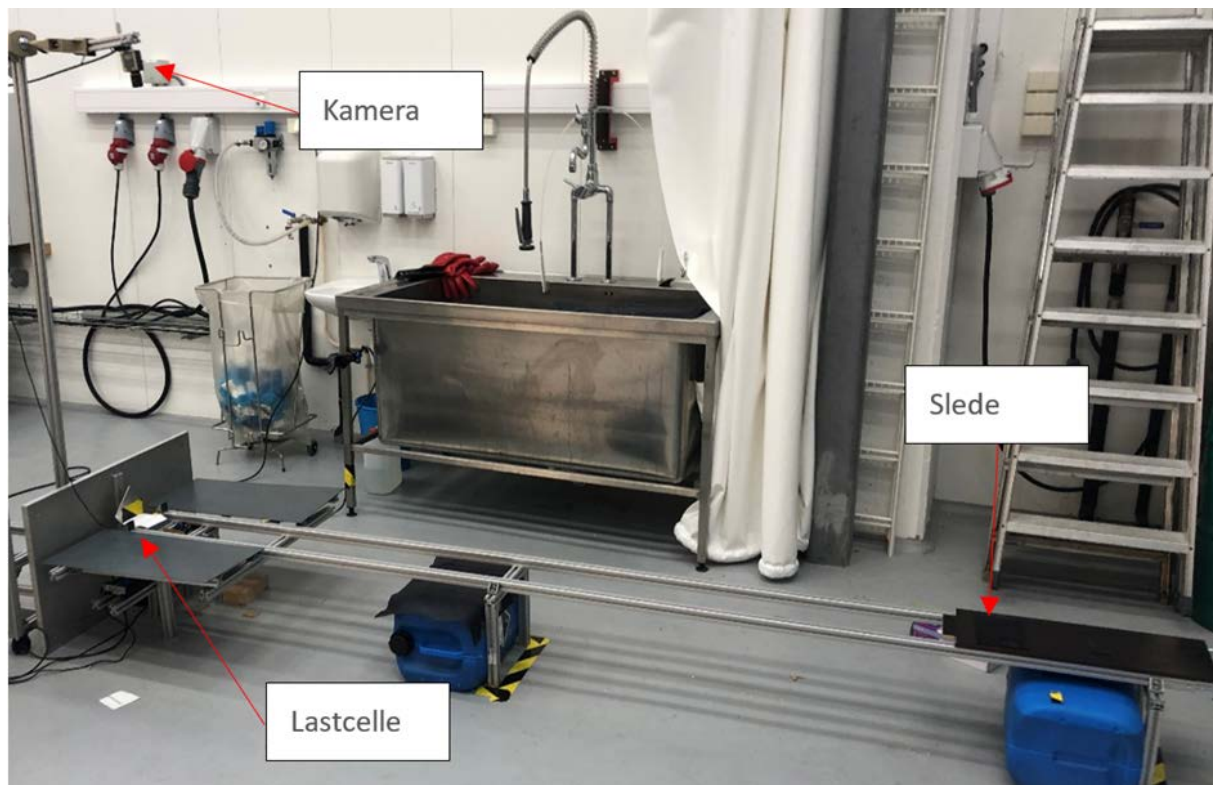
Sensorfisken benyttes per i dag i medikamentfrie avlusningssystemer med hensikt å minimere og erstatte bruk av levende forsøksfisk på sikt. Sensorfisken måler temperatur, trykk og registrerer støt (akselerometer) og kan knytte disse til ulike posisjoner i konstruksjonen for å identifisere hvor de forskjellige utslagene oppstår. For å utnytte potensiale i sensorfisken gjenstår imidlertid å kunne korrelere de objektive måldataene fra sensorpakken til fiskevelferd dvs. den biologiske betydningen av de data sensorpakken registrerer. For temperatur finnes en god del litteratur som kan knyttes til velferd ((Nilsson et al., 2019),(Gismervik et al., 2019)), men for trykk og støt, er det svært lite forskning og data som er tilgjengelig. Det som finnes på støt er i stor grad knyttet til slakteprosess, hvor tap av bevissthet før utblødning og død er formålet(Roth et al., 2006)

5.2.1 Støtforsøk

For å se nærmere på hvordan sammenhengen er mellom støt som registreres av sensorfisken og den biologiske responsen til en fisk som opplever samme nivå av støt ble det gjennomført et forsøk i SINTEF Ocean sine lokaler på Brattøra høsten 2020. Formålet med dette forsøket var å se på skadepotensialet for fisk som blir transportert i rørsystemer; det vil si få informasjon om hvilke utslag på støt i sensorfisken som vil være forenelig med uakseptabel fiskevelferd under kontrollerte betingelser.

Hjerneblødning og akutt dødelighet forekommer relativt ofte (Fiskehelse rapporten 2021,(Sommerset et al., 2022)) under mekanisk og termisk avlusning. Hvorvidt dette kan skyldes slag/støt mot hode som fisken blir utsatt for gjennom rørtransport var verdt å undersøke nærmere. Som beskrevet i kap 5.1.4 er det stor variasjon i styrkene i støtene da hver enkelt fisk vil ha en litt forskjellig bane og orientering gjennom rørsystemet. Det ble derfor besluttet å benytte kontrollerte laboratorieforsøk som metode hvor man har mulighet til å isolere effekter og repetere forsøkene. Det ble besluttet å gjennomføre forsøket i luft da det ville være vanskeligere å gjennomføre forsøket under vann med tilstrekkelig kontroll og repeterbarhet. At fisken går "tørt" er heller ikke uvanlig i mange håndterings situasjoner der fisk går over avsilingsrister eller føres i renner. Det er ikke mulig å benytte måldata fra sensorfisken direkte for å kunne spesifisere dosene, men man har likevel ved flere anledninger opplevd at sensorfisken har stoppet helt opp i rørsystemer - dvs oppbremsing fra 2 m/s (typisk strømnings hastighet) til 0 m/s og det ble derfor besluttet å benytte hastighet som dose. Prosjektet var kjent med at lasting til brønnbåt i visse båter foregår i overkant av 4 m/s, og relevante støtnivå ble satt i dette spennet. Forsøket ble utført på fisk i full anestesi, (grad 4,(Schoettger and Julin, 1967)). Støtet ble gitt mot hodets snuteparti i en støttrigg som etterligner sammenstøt mot en rist- eller rørvegg. Valg av støt mot hode og ikke kroppsmuskel beror på at det er sannsynlig at treffpunkt mot hode har størst sensitivitet i forhold til å evaluere fiskevelferd. For en vitenskapelig tilnærming ble det besluttet å utføre et "dose-respons" studium, der det inkluderes flere individer per belastningsgrad og man søker å finne informasjon om styrken på støtet kan indikere grenseverdier for fiskevelferd. Fisk eksponert for støt fra 1-3 m/s ble holdt i kar for oppvåkning og vurdering av effekt, før avlaving etter 2 timer. Det ble gjennomført en vurdering av ytre og innvendige skader ved full obduksjon inkludert vevsprøver til histologi, og blodprøver ble analysert for kortisol. To grupper ble holdt i seks dager for vurdering av eventuelle seneffekter. Fisk utsatt for 4 m/s ble avlivet rett etter støt (terminalt).

Forsøksriggen ble konstruert horisontalt for å unngå gravitasjonskomponenten på lastcellemålingene. Riggeren ble utstyrt med motorstyrt slede som ble styrt fra en pc. Sleden øker gradvis hastighet og kan programmeres til ønsket slutthastighet i kollisjonsøyeblikket. Bilde av riggen er vist i Figur 21. Kamera nr 2 er ikke vist i bildet, men ble plassert for å ta bilder fra siden. Hastighet ble målt ved bruk av kamera og lastcellen måler kraften i støtet. Kraft kan regnes om til akselerasjon når man kjenner massen til objektet.



Figur 21: Rigg for kontrollerte støtforsøk.

Resultatet fra forsøket er planlagt publisert i en vitenskapelig artikkel og er derfor ikke presentert i sin helhet i denne rapporten. Resultatene viste få signifikante forskjeller i skade og velferdsskår mellom gruppene. I gruppen som mottok høy grad av støt døde 2 av 21 fisk. Det var ikke dødelighet i de gruppene som mottok lavere grad av støt eller i kontrollgruppene.

5.2.2 Studentoppgave – Assessing fish welfare using the finite element method

Som en del av arbeidet ble det engasjert en student for å se på mulighetene til å utvikle nye verktøy for å kunne koble akselerasjonsmålinger til hodeskadepotensiale hos laks. Tilsvarende metode er utviklet for mennesker og det eksisterer etablerte tålegrenser for hvilke nivå av akselerasjon en menneskehjerne tåler (HIC - Head Injury Criterion). Denne kunnskapen benyttes blant annet i bilindustrien ved kollisjonstester (Marjoux et al., 2008). Ved å gjennomføre en tilsvarende kartleggingsjobb for laks vil man kunne komme et steg videre i å tolke støtdata registrert av sensorfisk og dermed kunne vurdere skadepotensialet i et nyutviklet håndteringssystem før man sender levende fisk gjennom. Følgende avsnitt er hentet fra sammendragkapitlet til oppgaven (Steinke, 2020):

This project presents the connection between technology and biology with regards fish welfare. Salmon experience impacts during a de-lice operation, and no one really understand the consequences of these. This project presents the knowledge needed to gain a deeper understanding of such a problem and proposes methods for further study. To understand the effect of the impact force a salmon experiences, the physiology and anatomy of the salmon must be known. The anatomy of the skeleton, muscular system and brain are presented in the project. The focus is on creating an understanding of the mechanism behind a cerebral hemorrhage induced by an impact. Furthermore, the various damage mechanisms that a brain can experience are presented. The method proposed to create a deeper understanding and potentially solve such a problem is the finite element method (FEM). Various material laws and material properties that are needed to use FEM are presented. This method requires knowledge in modeling; thus, a procedure is presented with examples of how such an analysis should be performed. When a FE-analysis is performed, it

is important that it is validated. A procedure is presented on how such a model can be validated by means of an experiment. Based on the knowledge gained in this project, it has been concluded that an FE analysis is appropriate for understanding the biological responses of a impact.

5.2.3 Trykkforsøk

Trykkmåling er en relativ måling og det er vanlig å benytte to måter å referere på: 1) relativt til atmosfæretrykk (barg – bar gauge) eller 2) relativt til absolutt vakuum (bara – bar absolute). Resultatene videre i rapporten er beskrevet ved bruk av bara. Dette vil si at en trykkmåler utsatt for vanlig atmosfæretrykk viser 1 bar og utsatt for absolutt vakuum viser 0 bar (Vanlig praksis i industrien er å referere vanlig atmosfæretrykk til 0 bar og absolutt vakuum til -1 bar.)

Det er begrenset litteratur tilgjengelig på hvordan trykk påvirker laksefisk. Studier om ungfisk passasje i hydroturbiner (Brown et al., 2012; Richmond et al., 2014) viser at undertrykk/undertrykksendringer kan føre til dødelige skader som blant annet blødninger i svømmeblæren og andre organer, samt kvelning pga. luftembolier. Disse skadene skyldes raske trykkendringer, og trykkendringene beskrevet over er langt større enn det som er relevant for norsk oppdrettslaks. To FHF-prosjekter ledet av Nofima utførte forsøk på fisk ifm. pumping. Resultatene antyder at vakuum i seg selv ikke er skadelig for laks, men fører til økt svømmeaktivitet, fiskene slipper luft og er synlig stresset (Espmark et al., 2012). Videre konkluderes det med at skadene som kan observeres kommer av at vakuum skaper uro og fisken kolliderer i karveggen og andre fisk pga. økt aktivitet. Disse studiene har ikke undersøkt effekten av raske trykkendringer. Sammenlignet med vårt forsøk var trykkendringen i Nofima sine forsøk «trege» (om lag 10-15 ganger i størrelsesorden). Laks i sitt naturlige miljø utsettes aldri for undertrykk, og det laveste trykket fisken opplever er ved vannoverflaten som tilsvarer atmosfæretrykk (1 bar). Oppdrettslaks derimot utsettes for undertrykk ved ulike driftsoperasjoner som for eksempel ved flytting og ulike behandlinger som krever at fisken pumpes inn i slanger. Undertrykket som fisken utsettes for avhenger av elevasjon, pumpenes plassering og systemets utforming.

For å se nærmere på sammenhengen mellom hurtige, negative trykkendringer og forandringer i adferd, fysiologi og patologi, ble det gjennomført et pilotforsøk og et hovedforsøk hvor Atlantisk laks ble utsatt for undertrykk i en trykktank. Pilotforsøket ble gjennomført i laboratoriet ved SINTEF Ocean og hovedforsøket ble gjennomført ved forsøksstasjonen til LetSea ved Sandnessjøen.

En trykktank ble konstruert for å kunne gjennomføre kontrollerte trykkforsøk (Figur 22). Trykktanken ble instrumentert med trykk-, temperatur- og oksygenmåler, og disse parameterne ble overvåket under forsøkene. Tanken ble bygget av 5 mm tykt transparent polykarbonatør med en ytre diameter på 400 mm, og en indre lengde på 950 mm med et totalvolum på 113 liter. Endelokkene ble designet med gjennomslittige vinduer for å kunne observere fisken fra sidene med kameraer. Lavtrykkskilden var en 24-liters akkumulatortank prekondisjonert til et definert vakuum av en trykkluftdrevet ejetorpumpe. Ved utløpet var to strupeventiler koblet parallelt for å kunne justere hastigheten av luftstrømmen i slangene - en for "høy" hastighet og en for "lav" hastighet. Hele tanken kunne roteres fra horisontal til vertikal orientering for å forenkle fyllingsprosessen og overføring av fisk til tanken. Tre kameraer ble montert på riggen, ett med perspektiv nedenfra og opp og ett på hver side av tanken slik at fiskens adferd ble registrert. Testtrykkregimet ble kontrollert og automatisert ved bruk av et Labview-basert kontrollsystem som logget dataene og kontrollerte de aktive på/av-ventilene med forhåndsinnstilte tidsintervaller for å starte vakuumeringsprosessen og avlast undertrykket ved å slippe luft inn i tanken. Totalgass innholdet i vannet ble målt med jevne mellomrom før og etter forsøk.



Figur 22: Bilde av trykktanken.

Pilotforsøk

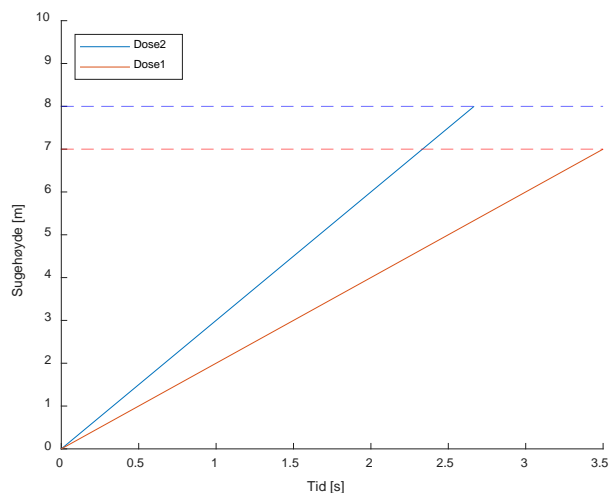
Basert på tidligere trykkmålinger i felt fra KVALISYS-prosjektet ble det valgt en "høy" og en "medium" trykkendringsrate, der 11 laks totalt inngikk i en pilottest på Sintef Sealab våren 2021. Resultatene fra pilotforsøket gav viktig grunnlag for å se hvilken adferd man kan forvente i hovedforsøket, samt hvilke nivåer av trykkendring som skulle brukes (bar/sekund) og hvordan man best mulig kunne registrere adferd ved hjelp av kamera.

Hovedforsøk

Hovedforsøket ble gjennomført hos LetSea forsøksstasjon på Solfjellsiden i Dønna juni 2021 (Tabell 5). Fjorten dager før forsøkstart ble fisken flyttet fra stor merd til mini merd (5X5 m) for akklimatisering. Fisken ble bedøvet med Benzoak, merket med PIT i buk for individgjenkjenning, og ytre velferdsindikatorer ble også registrert. På forsøksdagen ble fisken håvet fra merd individuelt, og plassert i trykktanken etterfulgt av 5 min akklimatisering og 1 min trykksettingsperiode. Deretter ble trykket sluppet gradvis tilbake til 1 bar over en periode på 1 min. Fiskene ble delt inn i tre grupper med forskjellig eksponering; kontroll og fisk utsatt for henholdsvis ≈ 0.2 og ≈ 0.3 bar/s (Tabell 5). Planlagt holdetrykk under trykksetting var 0.2 bar, men på grunn av forskjellig trykkluftforsyning på anlegget i forhold til pilotforsøket responderte riggen annerledes og for Dose 1 ble holdetrykket 0.3 bar. For å relatere dette til en operasjonell situasjon er dette omregnet til sugehøyde og varighet og illustrert i Figur 23.

Tabell 5: Testoppsett og gruppefordeling. *En fisk hoppet ut av holdekaret, og ble funnet død og ble derfor tatt ut av forsøket. **Pga. Variabelt kompressortrykk på anlegget var det vanskelig å oppnå likt trykk under trykksettingsperioden, trykket varierte mellom 0.33-0.19 bar.

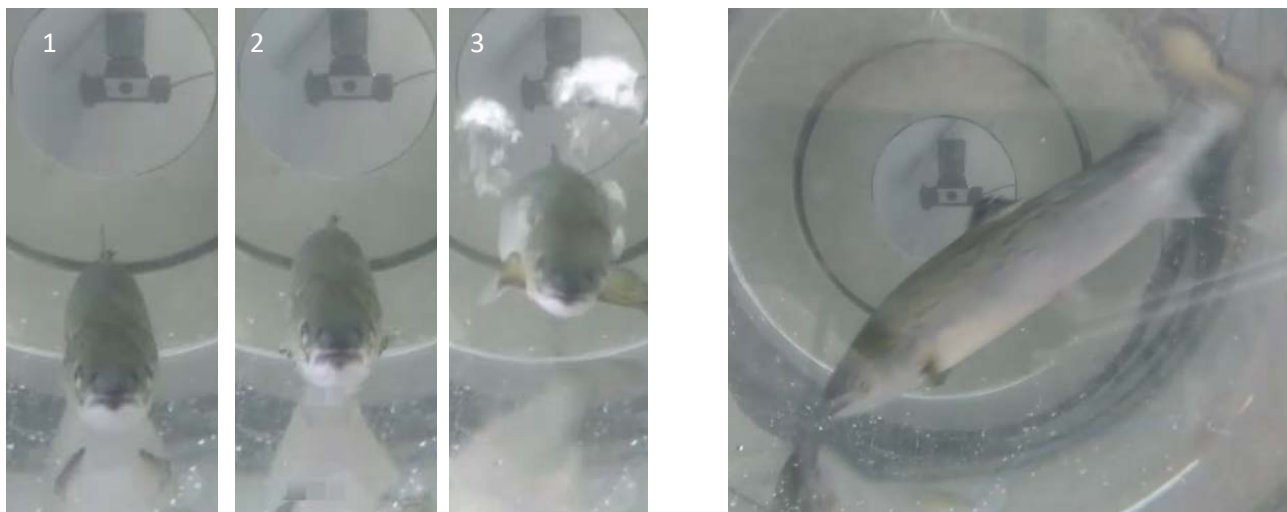
| Behandlingsgruppe | Antall | Trykke ndring [bar/s] | Holdetrykk [bar] | Antall fisk avlivet dag 0 | Antall fisk til observasjon, avlivet 14 dager post trykkendring |
|-------------------|--------|-----------------------------|---------------------|------------------------------|---|
| Kontroll | 28 | 0 | 0 | 14 | 14 |
| Dose 1 | 27 | $\approx 0,2$ | 0,3** | 13* | 14 |
| Dose 2 | 28 | $\approx 0,3$ | 0,2** | 14 | 14 |
| Sum | 83 | | | 41 | 42 |



Figur 23: Doser illustrert som simulert sugehøyde og varighet.

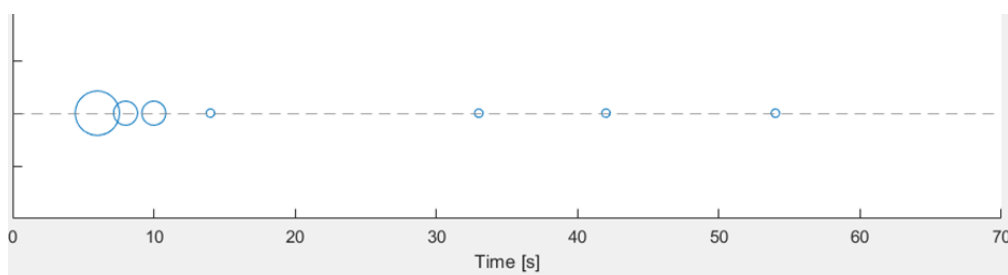
Adferden til fisken i trykktanken ble registrert av tre ulike kameraene. Halvparten av fisken ble flyttet til individuelle holdekar i 3 timer med vanngjennomstrømming, deretter avlivet, med en overdose Benzoak (20–22 ml Benzoak pr. 100 liter vann), etterfulgt av blodprøvetaking og registrering av ytre velferdsindikatorer. Laktatmålinger ble utført rett etter blodprøvetaking med håndholdt laktatmåler. For kortisolmålinger ble blodprøveglass tilsatt heparin oppbevart på is fram til sentrifugering ved 3000 omdreininger i 5 min. Plasma ble deretter pipettert over på eppendorfrør og fryst ned umiddelbart. Før obduksjon og prøvetaking til histologi ble fisken avblødd. Følgende prøver ble tatt til histolog: både høyre og venstre øye, 2. gjellebue, pseudobranch, hjerte, lever, nyrer, pankreas/pylorusblindsekker, milt, hud/muskel og hjerne. Den andre halvparten av fisken ble flyttet til en minimerd (5x5 m) og holdt i 14 dager. Deretter ble fisken håvet individuelt og avlivet med en overdose Benzoak, etterfulgt av blodprøvetaking, registrering av ytre velferdsindikatorer, obduksjon og prøvetaking til histologi.

Resultatene fra forsøket er planlagt for publisering i vitenskapelig artikkel er derfor ikke presentert i sin helhet i denne rapporten. Ved å redusere omgivelsestrykket til fisken vil svømmeblæren utvide seg på grunn av økt differansetrykk og fisken vil dermed øke oppdriften. Videoopptak fra forsøkene viser som forventet at fisken stiger vertikalt i tanken før den slipper luft og svømmer skrått nedover for å kompensere for økt oppdrift. Eksempel på disse observasjonene er vist i Figur 24. Når trykket returnerer til atmosfæretrykk skjer det motsatte og fisken ble "tung", sank og svømte skrått oppover for å holde seg over bunnen av tanken. Det var ingen luftlomme i tanken og det var heller ingen tendens til at den søkte til toppen av tanken for å forsøke å fylle luftblæren.



Figur 24: Bildeserie av fisk utsatt for undertrykk. Til venstre: 1) før trykksetting, 2) flyter opp 3) slipper luft. Til høyre: kompenserer for økt oppdrift ved å svømme nedover.

Videoene ble analysert og hvert luftslipp ble manuelt kategorisert fra grad 1-3 der grad 3 er størst. Figur 25 viser en typisk luftslippprofil der fisken slipper en større mengde luft relativt kort tid etter trykksetting, mens den fortsetter å slippe mindre mengder luft gjennom hele trykksettingsperioden på 1 min. Dette var ganske typisk for alle fisk og spesielt det første slippet kommer brått og i store mengder og virker mer ukontrollert. De resterende slippene kommer i mindre doser og med jevne mellomrom og virker mer kontrollert.



Figur 25: Eksempel på luftslipp for en enkelt fisk under trykksettingsperioden. Undertrykk skrudd på ved tid t=0 sekunder og av ved t=60 sekunder. Sirkelstørrelse angir grad av luftslipp i en skala fra 1-3.

5.2.4 Vurdering/drøfting av mulighetene for videre anvendelse av resultater fra prosjektet

En nærmere diskusjon av resultater fra trykk og støtforsøk er planlagt ifm. vitenskapelig publisering av forsøkene. Når det gjelder støtforsøket var fisken av dyrevelferdsmessige hensyn dypt anestesert, noe som avviker fra en normal avlusingsituasjon. Lett sedering under operasjoner er imidlertid noen ganger tatt i bruk i kommersiell skala.

Når det gjelder fisk som blir utsatt for undertrykk endres oppdriften og forsøket viste at fisken slipper luft enten bevisst eller ubevisst. I en praktisk situasjon vil det si at fisken i stor grad vil miste luft ved rørtransport basert på undertrykkslasting (typisk brønnbåt) med en viss sugedybde. Tilbakemeldinger fra næringsaktører er at dette i mange tilfeller kan observeres ved at fisken står dypt i brønn etter lastning. Det er usikkerhet om fisk alltid har tilgang til luftlomme i brønnbåt, men i noen kjente tilfeller har den det. Det er imidlertid usikkert om fisken benytter seg av denne og fyller luftblæren i brønnen. Trykkforsøkene viser også at fisken trolig vil ligge høyere i horisontale rør i lastelinjen på grunn av positiv oppdrift og lavere i



horisontale rør ved overtrykkslossing da fisken har negativ oppdrift. At fisken slipper luft gjennom hele trykksettingsperioden (1 min) betyr at fisken bruker litt tid på å tilpasse seg endringer i omgivelsestrykk for å gjenoppnå nøytral oppdrift.

Trykkforsøkene utført i dette prosjektet har begrenset seg til hurtige undertrykksendringer, og det er fortsatt mange ubesvarte spørsmål rundt kombinasjoner av undertrykk/overtrykk som er vanlig i en avlusingsituasjon. Nye driftsmetoder med nedsenket drift åpner også for større differansetrykk under lasting og lossing som bør utforskes.

En utfordring i isolerte lab-forsøk er det lave antallet som er praktisk mulig å gjøre i et forsøk i forhold til 200 000 fisk i en merd i en avlusingsoperasjon, der man typisk kan oppleve dødelighet på 0.2-2 % avhengig av helsetilstanden til populasjonen. Dette illustrerer utfordringen med å etablere tålegrenser for laks da både størrelse, helsestatus og stressnivå trolig påvirker disse tålegrensene. Likevel er vurderinger knyttet til tålegrenser til fiskegrupper, og belastning en håndteringsoperasjon vil påføre gruppen, noe som gjøres jevnlig på merdkanten i forbindelse med daglig drift. Ny kunnskap, bedre diagnostiske verktøy basert på objektive målemetoder er alle viktige momenter for å utvikle bedre beslutningsstøtteverktøy som næringen etterspør både i forbindelse med håndtering av laks og ved utvikling av nytt utstyr der man plikter å dokumentere velferdsmessig forsvarlighet.

6 AP2. Teknologit utvikling for visuell og akustisk sanntidsovervåkning av fiskevelferd

6.1 Utvikle automatiske metoder for visuell måling av to utvalgte tilstandsindikatorer (svømmehastighet og munnåpningsrytme)

Målet med denne deloppgaven var å teste og utvikle visuelle målemetoder for å analysere laksens bevegelser og munnåpningsfrekvens. Data ble innsamlet på NINA sin forskningsstasjon på Ims ved hjelp av et kamerasystem bestående av et stereokamera og en kontrollenhet i et kabinett (Figur 26).



Figur 26: Figuren viser stereokamera (til venstre) og kabinettet (til høyre) med kontrollenhet, som brukes for observasjon av laksen i en av tankene ved Ims forskningsstasjon.

Ettersom vi kjenner geometrien til stereokameraoppsettet kan vi benytte oss av triangulering for å bestemme 3D-posisjonen til et objekt som er synlig i begge kameraene. Ved å gjennomføre denne trianguleringen med fiskens øye som objekt, kunne man bestemme fiskens svømmebaner i 3D. Datasyn og maskinlæring ble brukt for å detektere munnåpningsfrekvensen, både automatisk og halvautomatisk fra undervannsvideoopptakene. En mer detaljert beskrivelse finnes i SINTEF rapport 2022:00469 (Schellewald et al., 2022).

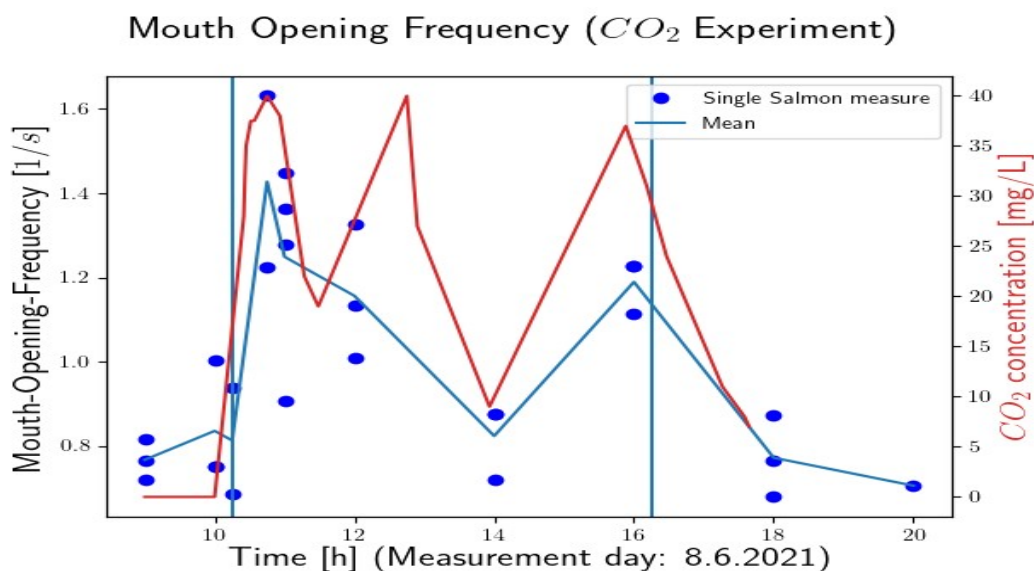
6.1.1 Detaljert oversikt over oppnådde resultater

Munnåpningsfrekvens: Ved å analysere munnåpningsfrekvensen til laksen når den var utsatt for forhøyede CO₂ verdier og sammenligne med normal munnåpningsfrekvens, ble det vist at økt munnåpningsfrekvens korrelerte med økte CO₂ målingene. Dette er en indikasjon på at munnåpningsfrekvensen kan tjene som et velferdsrelatert atferdsmål eller indikator. Et bilde som illustrerer målingen av munnbevegelser, er vist i Figur 27. For munnåpningsfrekvensen beregnet vi en positiv korrelasjon mellom målt CO₂ konsentrasjon og munnåpningsfrekvensen. Det betyr at en økt CO₂ konsentrasjon fører til økt munnåpningsfrekvens.



Figur 27: Figuren viser stereokamera (til venstre) og kabinettet (til høyre) med kontrollenhet, som brukes for observasjon av laksen i en av tankene ved Ims forskningsstasjon.

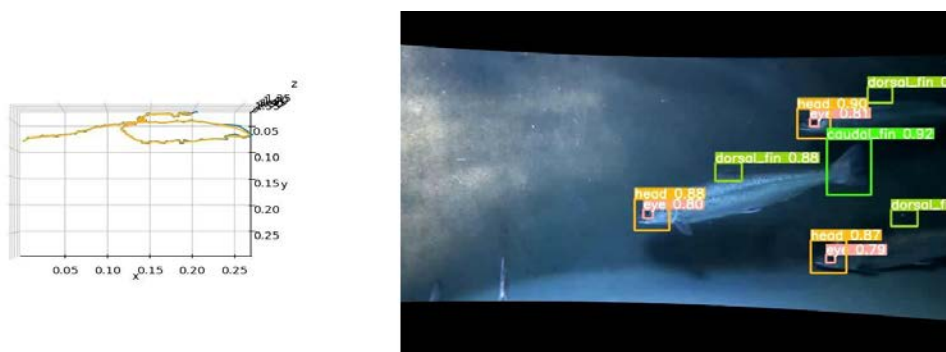
Sammenhengen mellom CO₂ konsentrasjonen og munnåpninger per sekund er godt synlig i Figur 28.



Figur 28: En høy korrelasjon mellom CO₂ konsentrasjonen og munnåpningsfrekvensen er vist i figuren (korrelasjonskoeffisient R = 0,93). Den røde kurven representerer CO₂-målingene, og den blå kurven er de målte gjennomsnittlige munnåpningsfrekvensene.

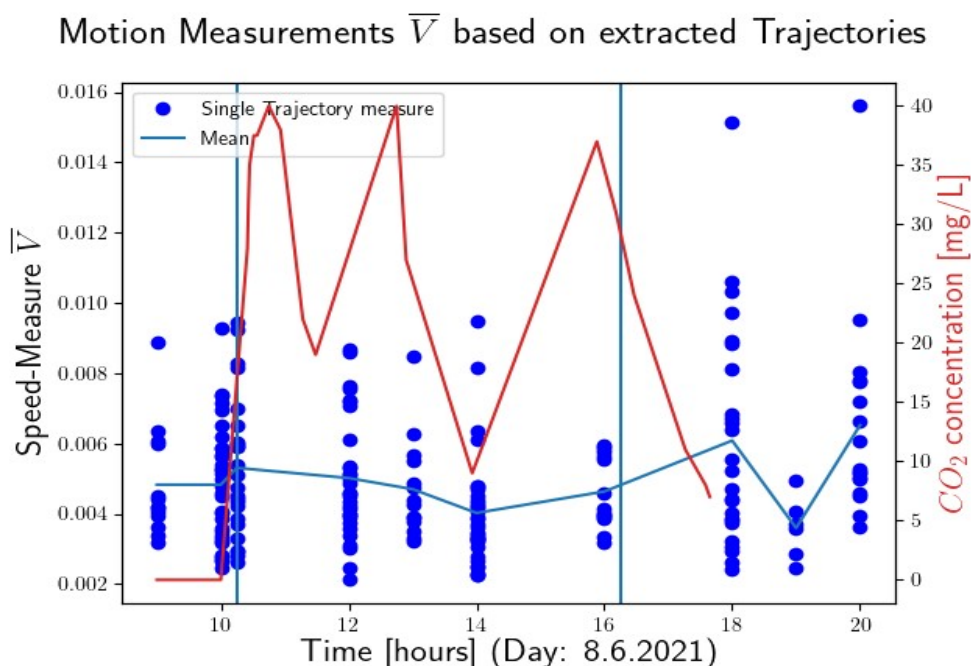
Bevegelsesmåling: Selve målingene ble gjennomført ved å detektere 3D-posisjonen til fiskens øye og deretter dens bevegelse. For å undersøke om fiskens bevegelsesmønster ble påvirket av stress, ble denne analysen gjort samtidig som CO₂ stressekspérimentet i SOUNDWELL (NFR 280512³) ble gjennomført, og resultatene sammenlignet med kontrollmålinger. Resultatene viste ingen signifikant sammenheng mellom de enkelte hastighetsmålingene og CO₂ konsentrasjonen. Det er mulig at den automatiserte baneekstraksjonen basert på å følge de godt detekterbare øynene kan ha filtrert ut relevante bevegelsesmønstre. For eksempel fordi fisken endrer orientering i forhold til kameraet og at den automatiske sporingen av øyet ikke blir vellykket. Det samme kan hende i enkelte tilfeller når fisken

plutselig akselererer, og sporingsalgoritmen ikke klarer å følge øyet. En ekstrahert 3D-bevegelsesbane fra et stereooptak er illustrert i Figur 29.



Figur 29: Eksempel på en 3D-bevegelsesbane hentet fra et stereovideooptak.

De ekstraherte hastighetsmålingene (blå kurve) sammen med CO₂ målingene (rød kurve) er vist i Figur 30. Det viser at ingen klar korrelasjon er til stede.



Figur 30: De målte bevegelsesmønstrene viser usikre resultater. Det er ingen klar sammenheng mellom hastighetsmålingen og CO₂ konsentrasjonen. Beregningene av Pearson-korrelasjonskoeffisient er på $r = -0,2$.

6.1.2 Vurdering av funnene

Basert på resultatene er munnåpningsfrekvensen en god indikator for respiratorisk stress induisert av økt CO₂ nivå i vannet. Vi postulerer at det også kan tjene som indikator for andre stresshendelser, som kan påvirke velferden til laks, ettersom munnåpning er en generell stress-sensitiv adferd. Det er imidlertid flere andre faktorer som har innvirkning på munnåpningsfrekvensen, og som må undersøkes og kartlegges i fremtiden. Disse inkluderer spesielt vanntemperatur og oksygenkonsentrasjon. Velferdstolkninger basert på munnåpningsfrekvensen må sees i forhold til disse variablene.

De gjennomførte forsøkene viste også at gjenstandsdeteksjon kombinert med stereosyn kan benyttes for å beregne fiskens svømmebaner i 3D. Med en forbedret algoritme vil det kunne være mulig i fremtiden å bestemme fiskens bevegelsesmønstre, inkluderer plutselige retningsendringer. Et teknisk viktig aspekt er å forbedre nøyaktigheten til de beregnede banene. For å redusere observert støy og forbedre nøyaktigheten, vil det være nødvendig med bilderegistreringsmetoder på en sub-pikselnøyaktighet.

Oppsummert: Forsøket med CO₂ som stressor, viste at munnåpningsfrekvensen varierer direkte med endringer i CO₂ konsentrasjonen i vannet. Det ble derimot ikke oppnådd noen avgjørende resultater for analysen av laksens bevegelser. En årsak kan være at laksen ikke reagerer på endringer i CO₂ konsentrasjonen med en endring i hastighet. Andre tekniske årsaker som kan forårsake større unøyaktighet i den automatiserte deteksjon er sporadiske dårlige lysforhold, begrenset synsområde i tanken og dårlig sikt under CO₂ injeksjon.

6.1.3 Vurdering/drøfting av mulighetene for videre bruk av resultater fra prosjektet

Å ekstrahere 3D-bevegelsesbanen til laks ved bruk av stereokamera muliggjør å studere laksens adferd på et mer detaljert og individuelt nivå. Innsamlet data med stereokamera kan også benyttes til å analysere fiskens vekst og mulige endringer i melaninflekkmønsteret. Vi tror også at munnåpningsfrekvensen vil bli et standardmål innenfor daglig observasjon av fisken i kommersielle oppdrettsanlegg som kan bidra til tidlig deteksjon av velferdsavvik og andre miljøendringer. Det neste steget er testing i merd, muligens med et stressor der vi med vilje provoserer endring i svømmeadferd.

6.2 Utvikling av teknologi for overvåkning av lydbilde i laksemerder

Trenging og håndtering av fisk utgjør en velferdsrisiko, men det har vært en økning av slike aktiviteter de siste årene ettersom næringen har gått fra medikamentell til medikamentfrie avlusningsmetoder basert på termiske og mekaniske løsninger (Overton et al., 2018; Svåsand et al., 2017). For å kunne dokumentere hvordan ulike avlusningsmetoder påvirker fiskens velferd er det nødvendig med objektive evalueringmetoder, som også kan fungere som operative og effektive verktøy under normal drift.

Et mulig verktøy kan være å lytte til fisken med hjelp av hydrofoner. Lydopptak er en ikke (Volent et al., 2022) invasiv overvåkningsmetode som kan brukes til å overvåke populasjonen i merdene. Lydbildet i et kar eller merd endres, når fisken blir stresset (Jónsdóttir et al., 2021), og lydbildet endrer seg under og etter føring (Rosten et al., 2022; Volent et al., 2022). For å dokumentere om lydbildet kan benyttes til å evaluere fiskens tilstand, har lydbildet etter trengoperasjoner blitt analysert i AP2, SINTEF rapport 2022:00208.

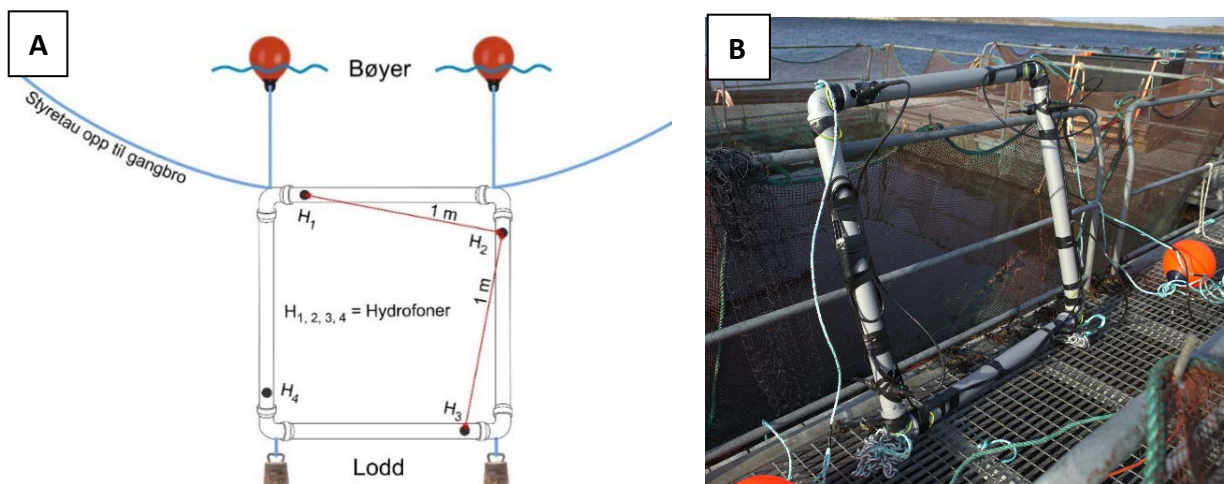
6.2.1 Detaljert oversikt over oppnådde resultater

Det ble totalt gjennomført tre trengforsøk i prosjektet. Det første forsøket i sjø ble gjennomført i perioden 03.10 - 02.11.2020, ved LetSea sitt anlegg på Dønna, 8820 Solfjellsjøen, som er et forskningsanlegg med små merder. Total mengde fisk var 40 stykker i forsøksmerden. Neste forsøk ble gjennomført i et slakteri på Mowi anlegget på Ulvan, Hitra, den 16.04.2021. Her ble fisken trent i små grupper, ca. 6000 til 10 000 fisk, før fisken ble pumpet ut av merden og inn til slakteriet. Total mengde fisk var ca. 58 000. Det siste forsøket ble gjennomført på SINTEF ACE/SalMar sitt anlegg på Rataren med ca. 170 000 fisk i perioden 29.11.2021 - 06.01.2022. Ocean Sonics icListen RB9-ETH hydrofoner ble benyttet for å ta opp lyd på alle lokalitetene.

LetSea

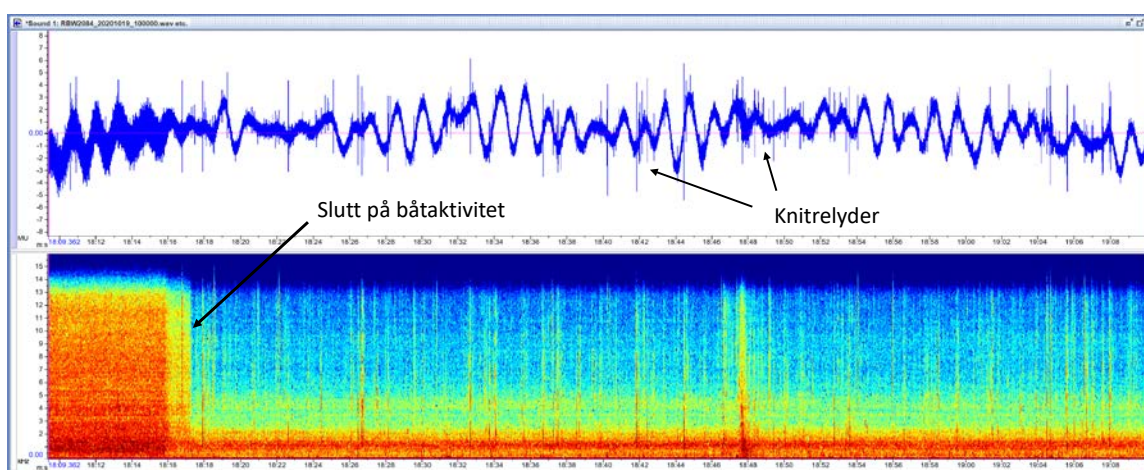
Merden på LetSea var kvadratisk med sidevegger på 5 m * 5 m med 4,3 m dype sidekanter og en spiss med totaldyp på 8 m. Antall fisk i merden var 40 stk. med en gjennomsnittsvekt på 5640 g.

Hydrofonene ble montert i en kvadratisk beamforming konfigurasjon med en meters avstand til nærmeste hydrofon i kvadratet. Riggeren ble forankret med 2 slakke styretau til hver side av riggeren slik at den ikke skulle kunne vri seg. Konstruksjonen ble loddet ned av to 5 kg lodd, og holdt flytende med 2 blåser (Figur 31, A). Riggeren bestod av plast rør med hull til hydrofonene (Figur 31, B).



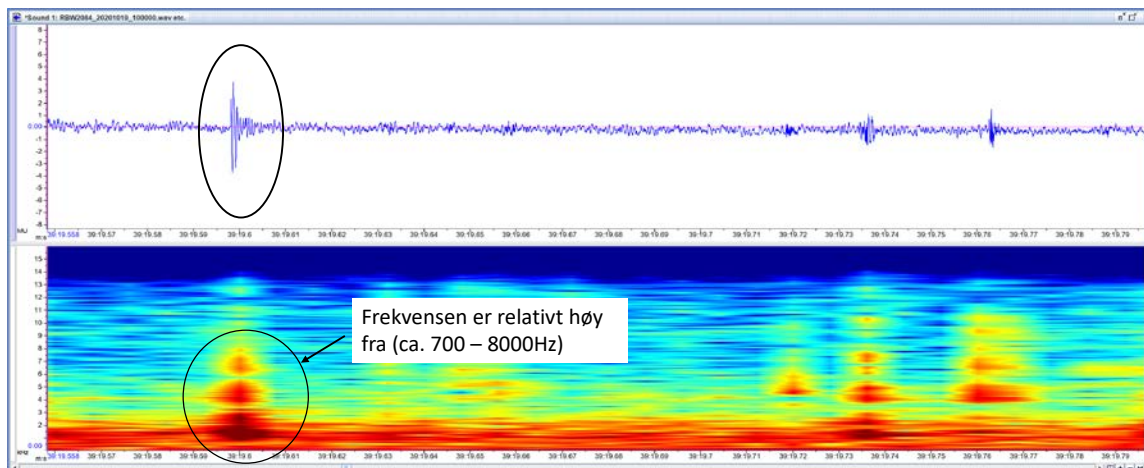
Figur 31: A viser forankring og konfigurasjon av hydrofonene i en kvadratisk beamforming konfigurasjon med 1 m avstand til nærmeste hydrofon. B viser plastrørene konfigurert i et kvadrat med de monterte hydrofonene.

Figur 32 viser et eksempel på et lydbilde etter en trengoperasjon. Lydbildet er fra trengningsforsøket den 19.10.2021 fra merd nummer 220. Utsnittet i figuren er for en 2 timers periode med start kl. 10:00 UTC. Nota ble sluppet ned kl. 10:03 UTC. Dataen vist i figurene er fra hydrofonen på 4 m dyp. Lydfilene er forsterket 200 ganger for å fremheve mulige svake lyder fra laks.



Figur 32: Utsnitt av en kortere periode på 1 minutt. X-aksen viser minutter og sekunder etter kl. 10:00 UTC, med start 10:18:09 og slutt 10:19:10. Øverste figur viser lydbølgen i enhet MegaUnit (MU) som relaterer til trykk, mens den nedre figuren viser spektrogrammet for frekvensområdet 0-15 kHz. Rødt farge indikerer sterke relativ lydintensitet og mørkeblått viser svak lyd. Det sterke lydsignalet i begynnelsen var støy fra nærliggende båt.

Det var mye bråk den første delen av den viste opptaksperioden, fra båter og annen aktivitet. Etter at båtene forlot merden kl. 10:18 UTC, dukker det opp knitrelyder, vist som vertikale linjer i signalplottet, som varte til ca. 11:25 UTC. Disse knitrelydene antas å være produsert av laksen. Fra 11:25 UTC til 11:37 UTC avtok knitringen etter hvert. I resten av måleperioden er det lite med knitrelyder. I perioder om natten er det så og si ingen knitrelyder. I Figur 33 vises signalet og frekvensplottet for en knitrelyd.



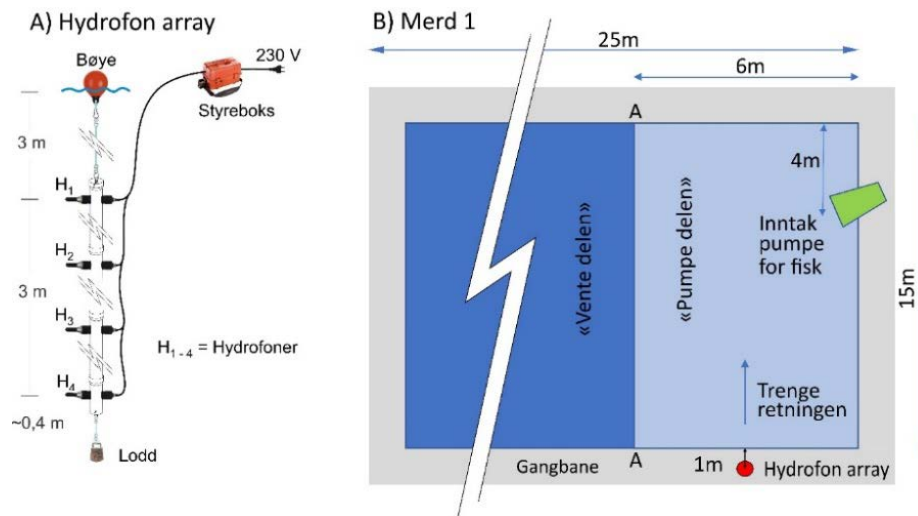
Figur 33: Utsnitt som viser en typisk lakselyd. Varigheten av knitrelydene er på ca. 0,01 sekund. X-aksen viser en kort periode på litt over 200 ms.

Hvorvidt disse knitrelydene er en universell stressrespons, er uklart. For å avklare dette må fremtidig forskning sette søkelys på gjentatte forsøk med flere stressorer og minimalt med omkringliggende støy. Denne knitrelyden er ikke observert i de to andre forsøkene. Dette kan enten skyldes at det ikke var slike lyder til stedet, eller at grunnstøyen overdøvdde knitrelyden.

Tilsvarende knitrelyder er påvist i SOUNDWELL2 prosjektet (NFR 280512).

Ulvan

Hydrofonene var montert i en rigg konstruert av et plastrør med hull slik hydrofonene lå i horisontal stilling. Riggeren ble forankret under gangbanen med 2 slakke styretau til hver side for at riggen ikke skulle kunne vri seg. Konstruksjonen ble loddet ned av 5 kg lodd og holdt flytende med en blåse (Figur 34, A). Plassering i forhold til trengevolument og uttak av fisken er vist i figur 34, B.



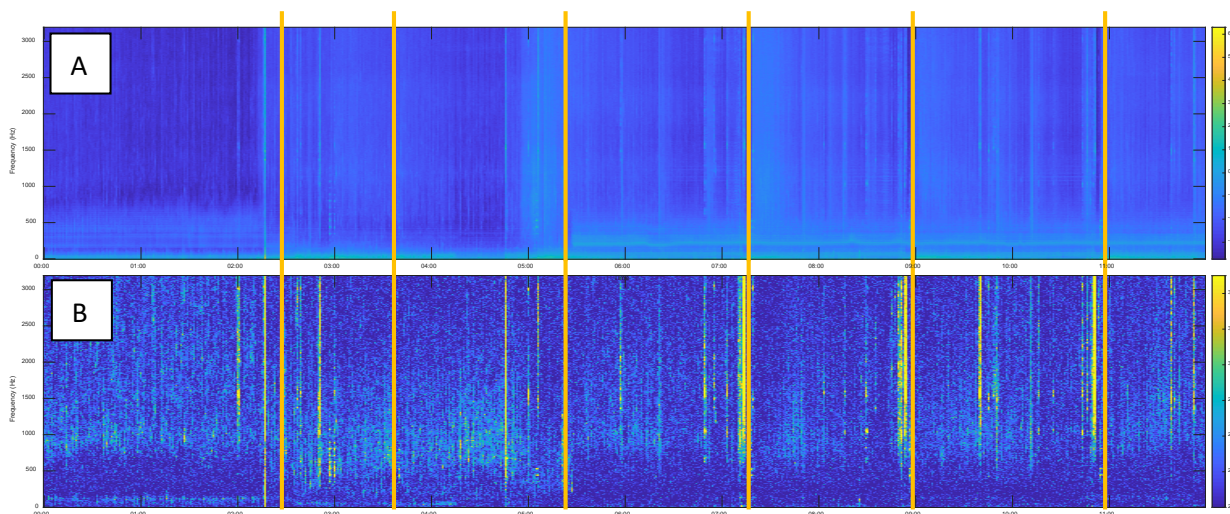
Figur 34: Hydrofonrigg er vist i A og plassering av hydrofonriggen i merden er vist i B. Styreboksen vist i A består av strømforsyning og synkroniseringsenhet.

Trengevolumet med posisjon av bøya er vist i figur 35.



Figur 35: Delen av slaktermerden som ble fylt opp og så pumpet tom. Den oransje blåsen hydrofonriggen henger i, vises bak noten i begge bildene (se pilene). Figur A viser fullt trengevolum, mens B viser trengevolumet etter tømning.

Det ble gjennomført flere trengeoperasjoner, der seks av trengeingene ble tatt opp med hydrofoner. Tidspunktene for start av trengeoperasjonene er indikert med vertikale linjer i spektrogrammet (Figur 36, A) og det prosesserte spektrogrammet (signal – bakgrunnsstøy) (Figur 36, B). Den første trengeoperasjonen starter ved den første vertikale linjen. Før den første trengeoperasjonen var det normal tetthet med fisk.

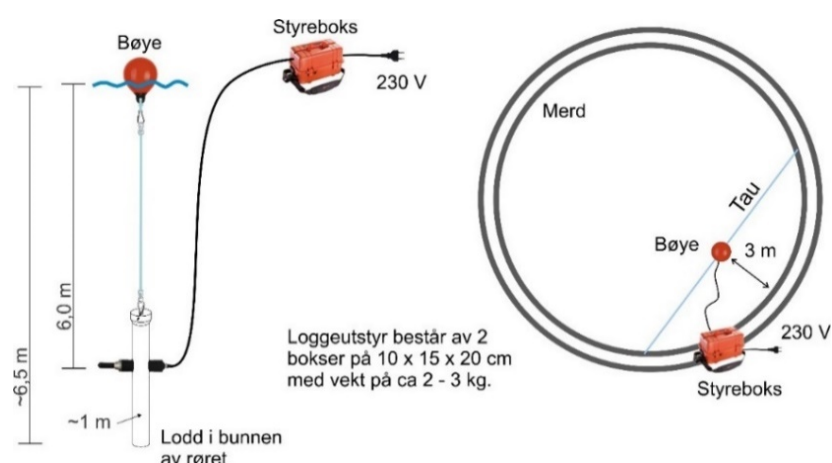


Figur 36: Spektrogram for trengningsoperasjonene vises i A og prosessert spektrogram i B. Vertikale oransje linjer indikerer startpunkt for trengeoperasjonen.

Før trengeoperasjonen ser man at lydnivået er lavere enn under trengingen. Vi ser at lydnivået for de 3 siste trengeoperasjonene jevnt over var minkende i området over 500 Hz fra starten til slutten av en trengeoperasjon, som sannsynligvis skyldes færre og færre fisk i trengenvolumet etter hvert som laksen ble pumpet ut. Trengingen ble utført av flere skift med litt ulik praksis for hver operasjon. På grunn av dette var det en del variasjon i støyen slik at resultatene ble utydelige. En del av denne støyen blir mindre dominerende i det prosesserte spektrogrammet.

Rataren

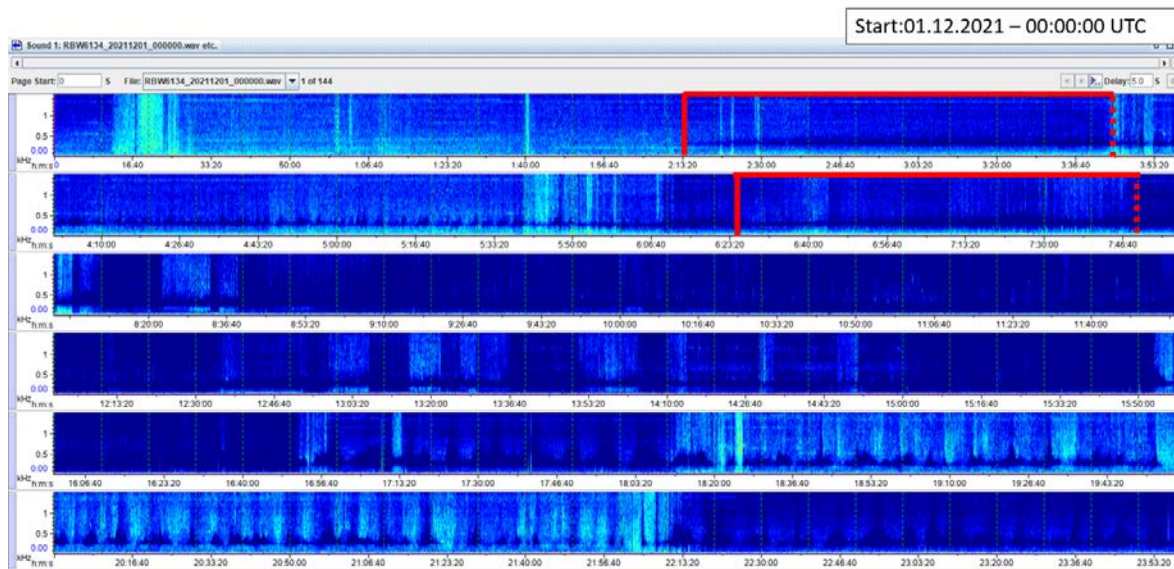
Hydrofonene ble montert i rigger i merd 3 og merd 7 på Rataren som vist i Figur 37. Hydrofonene pekte inn i merdvolumet og med orienteringen imot Syd-Øst i merd 3 og Syd-Vest i merd 7. Orienteringen ble valgt for å unngå at man lyttet på fisken i nabomerden. Merd 7 ble brukt som kontrollmerd i forsøkene. Mer informasjon om dette forsøket står beskrevet hovedrapporten til AP2 (Volent et al., 2022), (SINTEF rapport nummer 2022:00208).



Figur 37: Riggkonfigurasjonen i merd 3 og 7. Orienteringen av hydrofonene var mot Syd-Øst i 3, mens for merd 7 pekte den mot Syd-Vest. Styreboksen består av strømforsyning og synkroniseringsenhet.

Fullskala avlusingen ble gjennomført på Rataren. Avlusingen skjedde med brønnbåt. Figur 38 viser spektrogrammet for merd 3 der den avlusede fisken ble flyttet til, og merd 7 som hadde blitt avluset 3 dager tidligere. Det er 4 timer per rad i figuren. Legg merke til første rad i merd 3, og lydnivået mellom 100-500

Hz. Etter cirka 2 timer og 15 minutter dukker det opp et mørkeblått bånd, som fortsetter ut dagen. Starten av det mørkeblå båndet var samtidig med at den første fisken ble pumpet fra brønnbåten over i merd 3. Mørkeblått indikerer lavt lydnivået, og skyldes sannsynligvis at omgivelseslyden (støyen) ble dempet gjennom laksestimen.



Figur 38: Spektrogram for 24 timer opptak i merd 3 (øverst) og merd 7 (nederst). Markert område i rødt viser perioden fiskene ble pumpet fra brønnbåten over i merd 3, etter avlusing av fisken i merd 2. Dette skjedde i to omgangen, stipla rød strek markerer slutten på hver av disse flytteperiodene.

Legg merke til at båndet er ganske smalt på rad en og to for merd 3, og blir etter hvert bredere og bredere i radene under. Det samme båndet kan sees i merd 7, også med variasjon i bredde gjennom døgnet. Det tynne båndet i merd 3 kan skyldes at det i starten var få fisk og etter hvert full merd. Mens variasjoner i høyden på det blå båndet over tid i begge merdene kan skyldes ulik tetthet av fisk ulike steder i merden, samt større spredning av fisken i dypet. Støyet som viser seg på linje 5 og 6 fra ca. 17:10 er ikke avklart, men sannsynligvis støy fra avlusing i en annen merd i nærheten.

6.2.2 Vurdering av funnene

Resultatene i denne rapporten gir et grunnlag for videre forskning og utvikling av passiv lytting som et verktøy for oppdrettsnæringen. I prosjektet har det blitt påvist at laksene sannsynligvis påvirker lydbildet i merden på to forskjellige måter; ved å gi fra seg lyd, og dempe omkringliggende støy i et gitt frekvensbånd mellom 100 – 500 Hz. Videre forskning kan legge til rette for utvikling av passiv lytting som en overvåkningsmetode slik at den kan bli anvendbart i daglig drift og ved operasjoner i oppdrettsanlegg. Eksempler på nødvendige forsknings- og utviklingsområder inkludere; å kartlegge akustisk responsene ved forskjellige hendelser i merden, identifiserer spekteret av lydene som lages av laks, utvikle følsommere analyse metoder for å ekstrahere mer informasjon fra lydbildet av en merd, og dokumentere hvordan lyd produseres.

6.2.3 Vurdering/drøfting av mulighetene for videre bruk av resultater fra prosjektet

Etter videreutvikling, kan passiv lytting bidra som et verktøy med komplementær informasjon som ikke er tilgjengelig fra eksisterende overvåkningsløsninger per i dag. Passiv lytting kan gi kontinuerlig informasjon i sanntid, og fungerer også om natten og ved dårlig sikt. Dette gir mulighet for bedre overvåking både under daglig drift, men også før, under og etter håndteringer og behandlinger. Konkrete eksempler av mulig bruk inkluderer optimalisering av håndteringsoperasjoner, vurdere fiskens respons på håndteringer og ettereffektens varighet, samt når fiskene er klare for føring etter en håndtering.

7 AP 3 Integrasjon av fysiske og biologiske data i modelleringsverktøy

Et av målene i OWITOOLS har vært å koble de fysiske målingene en kan samle fra avlusningsystemer med sensorfisker og andre virkemidler med fiskens faktiske biologiske tilstand. AP1 har fokusert på å frembringe ny kunnskap om denne koblingen gjennom målrettede forsøk med både sensorfisk, død og levende fisk, noe som gir et kunnskapsgrunnlag for å utlede slike sammenhenger. For at en skal kunne operasjonalisere denne kunnskapen for fremtidig bruk til å eksempelvis forutse den biologiske konsekvensen av en planlagt avlusning er det imidlertid også behov for nye verktøy som integrerer sanntidsmålinger fra systemet med kunnskap om hvordan de kan påvirke fisken og dens tilstand. Virksomheten i «AP 3: Integrasjon av fysiske og biologiske data i modelleringsverktøy» har utforsket to forskjellige retninger for å realisere en slik kobling mellom biologiske data og fysiske data målt av sensorfisker fra AP 1. Den første av disse har basert seg på å integrere måldata i matematiske verktøy bestående av matematiske modeller og optimeringsalgoritmer, og dermed øke totalforståelsen av data målt med sensorfisk og deres betydning for fisken. Den andre retningen gikk mot å frembringe metodikk for trådløs sporing og dataauthenting fra sensorfisker når den sendes gjennom avlusningsenheter, noe som vil gi bedre muligheter til å spore data samlet av sensorfisker i sanntid underveis i operasjoner.

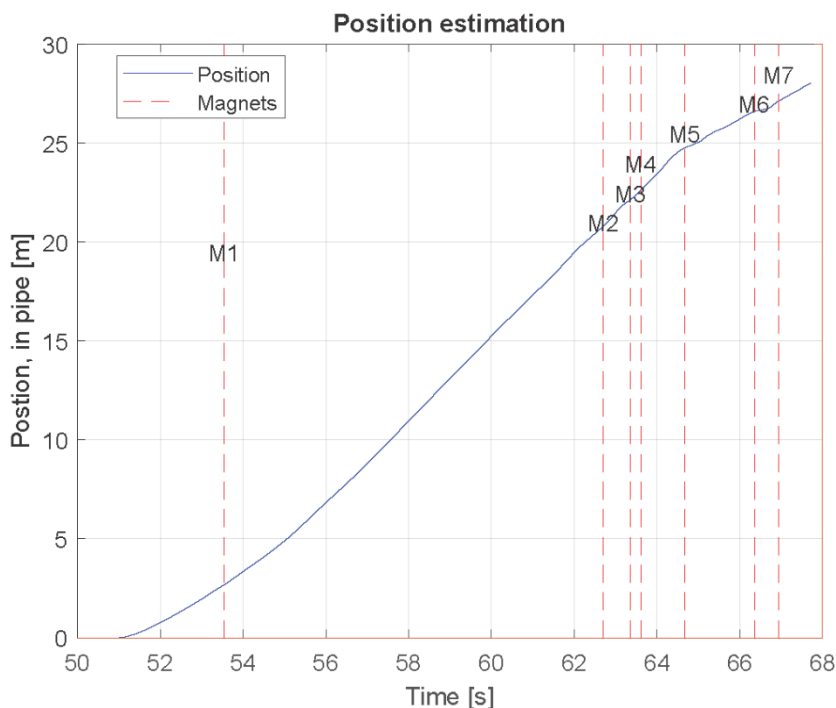
7.1 Dataintegrasjon, modellering og optimering

7.1.1 Detaljert oversikt over oppnådde resultater

Utgangspunktet for planleggingen av denne aktiviteten var at en først ønsket å finne metoder for å bedre posisjonere sensorfisker når den sendes gjennom et system. Dette ville forbedre evnen til å koble markante hendelser/trender i datasettet (f.eks. brå trykkfall, harde støt) med konkrete posisjoner og hastigheter i rørledningen. Videre skulle disse data kobles sammen med kunnskap om den biologiske konsekvensen av slike hendelser slik at en kunne estimere hvordan slike hendelser kan påvirke fisken, både som isolerte hendelser og i sum gjennom en hel gjennomkjøring. Slike betraktninger kan være med på å identifisere potensielle utfordrende deler av et avlusningssystem, noe som kan benyttes til å identifisere eventuelle tiltak som kan føre til mer skånsom fiskebehandling, eksempelvis redesign av deler av systemet eller endre operasjonsrutiner. Planen var at en først skulle sammenstille data fra OWITOOLS AP1 med data fra KVALISYS-prosjektet som omfattet sensorfiskedata fra flere forskjellige avlusningssystemer, slik at en fikk en solid base med sensorfiskedata en kunne basere arbeidet på. Dette datasettet skulle så integreres i en posisjons- og hastighetsestimator basert på matematisk modellering og optimering for å koble hendelser mot posisjon og hastighet. Disse data skulle så kobles med kunnskap og data fra forsøkene med fisk i AP 1 i OWITOOLS for dermed å kunne si mer om hvilke biologiske konsekvenser (f.eks. fysiske skader på fisk) en kan forvente basert på data fra sensorfisk. Selv om prosjektet av ressursmessige og praktiske årsaker ikke kom helt i mål med å få skapt en full simuleringsmodell av en sensorfisk i et avlusningssystem implementert som stand-alone-programvare, ble arbeidet rundt å utvikle en estimator for posisjonering av sensorfiskedata i stor grad fullført

Estimatoren ble utviklet ved å kombinere en forenklet kinematisk modell av en sensorfisk som sendes gjennom et rør med de mest relevante målingene i systemet, som var akselerasjon og trykk målt av sensorfisker. Estimatoren ble videre justert opp mot faktiske posisjonsreferanser fra magnetbånd plassert på strategiske steder langs røret, noe som forbedret estimatet. Det første steget i posisjonsestimeringen var å estimere den bevegelsesbaserte akselerasjonen sensorfisker utsettes for (dvs. den delen av akselerasjonen som kan kobles mot dens bevegelse gjennom røret). Selv om det kan virke logisk at en kan utlede hastighet og posisjon fra sensorfisker ved å direkte integrere akselerometermålingene fra denne, skal en være klar over at det er mange forskjellige faktorer som påvirker akselerasjonsmålingene utover sensorfiskens bevegelse og en viss grad av prosessering av rådata er nødvendig. Dette estimatet ble videre integrert for å finne hastighet og posisjon. For økt presisjon ble også disse estimatene kjørt gjennom en

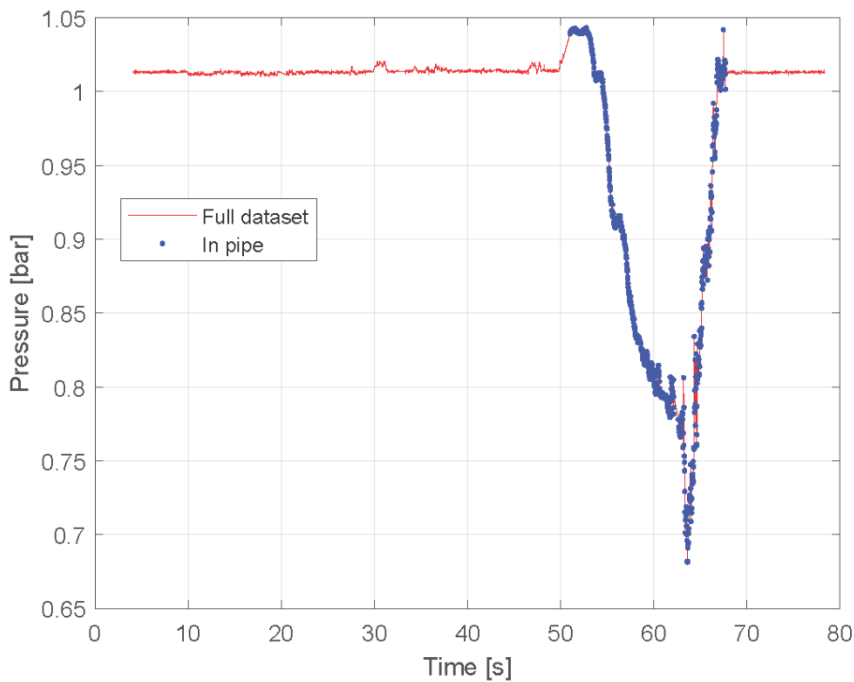
optimeringsalgoritme som gjennom å optimalisere modellens output mot faktisk rørlengde bidro til å redusere usikkerheten i posisjons- og hastighetsestimatene. Figur 39 viser et eksempel på posisjon som funksjon av tid estimert med estimeringsmetoden utviklet i AP3.



Figur 39: Posisjon gjennom røret (vertikal akse) som funksjon av tid (horisontal akse) for en sensorfiskkjøring. Data er her basert på estimeringsmetoden. M1-M7 markerer magnetbåndposisjon.

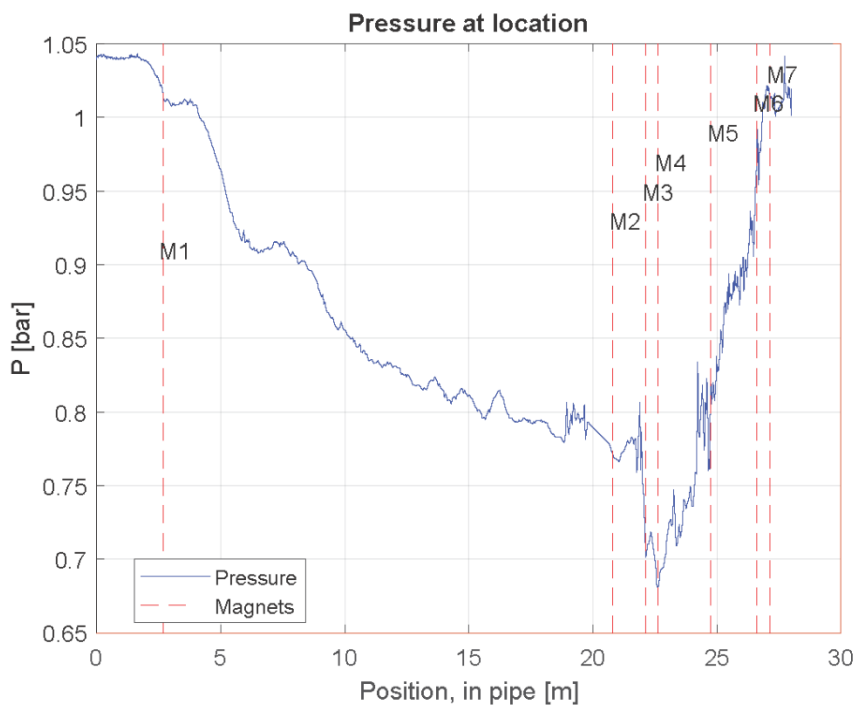
7.1.2 Vurdering av funnene

Metoden viste seg å fungere til å posisjonere hendelser som støt og brå trykkfall i et vannfylt rør med relativt rett strekk, og muliggjorde dermed sporingen av hendelser tilbake til systemets egenskaper og design slik som planlagt. Optimaliseringsmetoden viste seg i stand til å oppnå ca. 1 m nøyaktighet på posisjon noe som er tilstrekkelig for mange formål. For å eksemplifisere hvordan dette fungerer kan en i Figur 40 se rådata på trykk samlet inn med en sensorfisk.



Figur 40: Trykkmålingsserie fra sensorfisker som funksjon av tid. De blå punktene markerer målinger gjort etter at fisken ble plassert i rørsystemet

Selv om denne dataserien forteller en del om hvordan trykket endrer seg når sensorfisker sendes gjennom et system, er det ikke nødvendigvis enkelt å relatere dette til konkrete deler av rørledningen. Dersom en imidlertid kombinerer slike data med posisjoneringsdata basert på samme data, kan en oppnå en beskrivelse av koblingen mellom posisjon i røret og data fra sensorfisk (Figur 41).



Figur 41: Trykkmålinger koblet mot posisjon i rørledningen

En oppnår høyere nøyaktighet dersom en segmenterer røret ved hjelp av magnetbånd med kjente posisjoner, og dermed kan optimalisere og estimere posisjon mellom kjente posisjoner som er nærmere hverandre fremfor å forsøke optimalisering basert på hele rørlengden.

7.1.3 Vurdering/drøfting av mulighetene for videre anvendelse av resultater fra prosjektet (implementering)

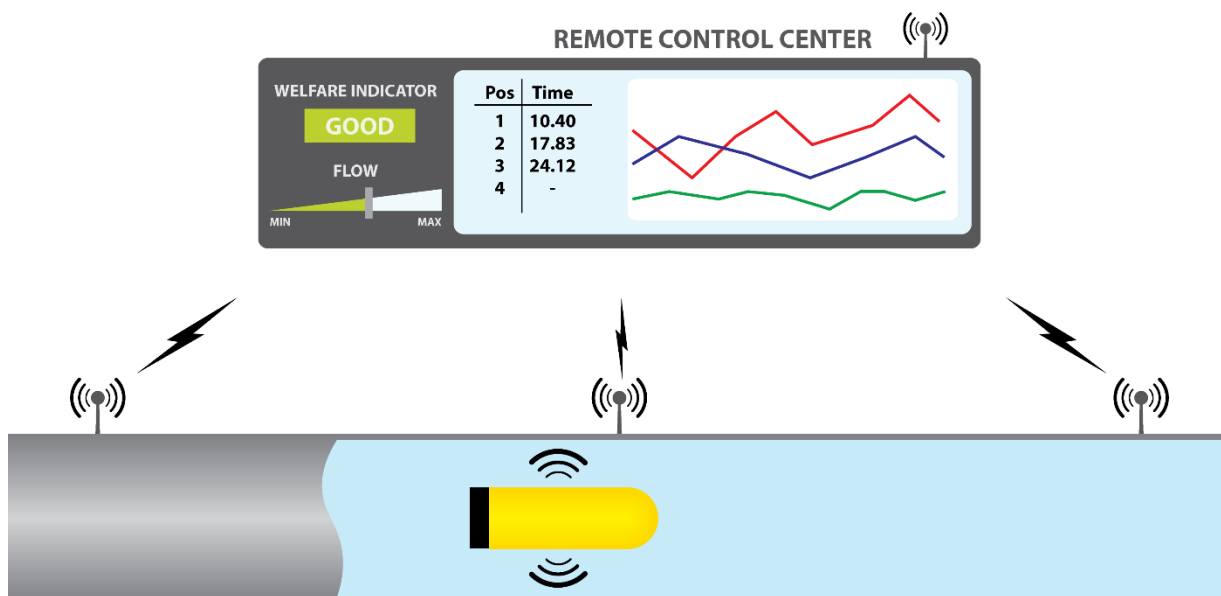
Posisjonsestimering i røret er en nyttig egenskap for å bedre koble hendelser opp mot spesifikke designtrekk ved et gitt rørsystem, og resultatene vil derfor kunne bygges videre på etter prosjektet. En mer presis angivelse av hvor i rørledningen forskjellige hendelser finner sted gjør sensorfisken til et verktøy en i større grad kan bruke til å studere designforskjeller og hvordan disse påvirker fisken. Dette vil bidra til å gjøre sensorfisken til et verktøy som i større grad kan gi konkrete innspill på hvordan design og praksis kan forbedres for å oppnå bedre fiskevelferd i avlusingsoperasjoner.

Dette potensialet kunne også være enda større dersom en også lykkes med å integrere relasjonene mellom trykk/støtvariasjoner og biologisk respons som har vært fokus i AP1. En annen fremtidig utvidelse som kan vurderes er å legge opp til at estimatoren kan lese inn detaljerte CAD-modeller av rørsystem for å dermed kunne gi en mer nøyaktig angivelse av posisjonen i systemet. Det har også vært vurdert å bruke Computational Fluid Dynamics (CFD)- simuleringer for å få et mer nøyaktig mål på de hydrodynamiske effektene sensorfisken utsettes for, men dette har blitt vurdert som litt for krevende ettersom en da er enda mer avhengig av veldig nøyaktige data på både rørstruktur og innstillinger.

7.2 Trådløs metode for posisjonering og overføring av data fra sensorfisken

7.2.1 Detaljert oversikt over oppnådde resultater

Planen med denne aktiviteten var å realisere trådløs overføring av data fra sensorfisk til datamaskin slik at operatøren kunne få direkte tilgang til data, som indikert i Figur 42.

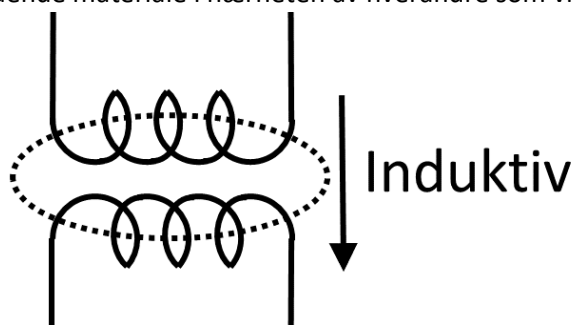


Figur 42: Konseptskisse for bruk av trådløs datainnhenting fra sensorfisken.

Hovedutfordringen med dette ligger i at det ikke finnes noen åpenbare kommersielle løsninger for dette formålet. De fleste etablerte metoder for trådløs overføring er basert på radiosignaler, noe som fungerer godt i luft. I et avlusningssystem vil imidlertid både vannet i røret og rørveggen i seg selv (som ofte består

av ledende metaller) effektivt sett dempe radiosignalene, noe som reduserer potensialet for overføring av data, både kapasitetsmessig og med tanke på rekkevidde. Dette er også en generell utfordring med å bruke radiosignaler under vann, spesielt når en jobber med saltvann. I rene undervannssituasjoner bruker man derfor ofte akustiske løsninger, dvs. lydbølger framfor radiobølger som informasjonsbærere, til trådløs kommunikasjon. I motsetning til radio transporteres lydbølger mer effektiv under vann enn i luft, og de lider heller ikke av utfordringer relatert til ledningsevne. Selv om det finnes etablerte protokoller for undervannskommunikasjon som er designet for å bruke disse egenskapene til å realisere robust og trygg informasjonsoverføring, lider disse ofte av at de har en betydelig lavere båndbredde enn det en kan oppnå med radio. I tillegg må en ved akustisk kommunikasjon sørge for at en akustisk mottakerenhet er plassert i samme system som senderen, noe som i dette tilfelle vil si samme system som sensorfisken, noe som ikke nødvendigvis er trivielt i et avlusningssystem. Siden disse observasjonene indikerte at etablerte løsninger for trådløs kommunikasjon trolig ikke er godt egnet til formålet, ble det bestemt at en heller skulle søke å utvikle en ny løsning basert for å kommunisere med sensorfisken mens den er i drift. For å sikre at løsningen skulle ha et innovasjonspotensial, ble det bestemt at den skulle baseres på etablerte prinsipper som med stor sannsynlighet kan brukes til å etablere en kommunikasjonskanal, samt at det skulle kunne konstrueres ved hjelp av komponenter som verken er for kostbare eller store til å integreres med sensorfisken.

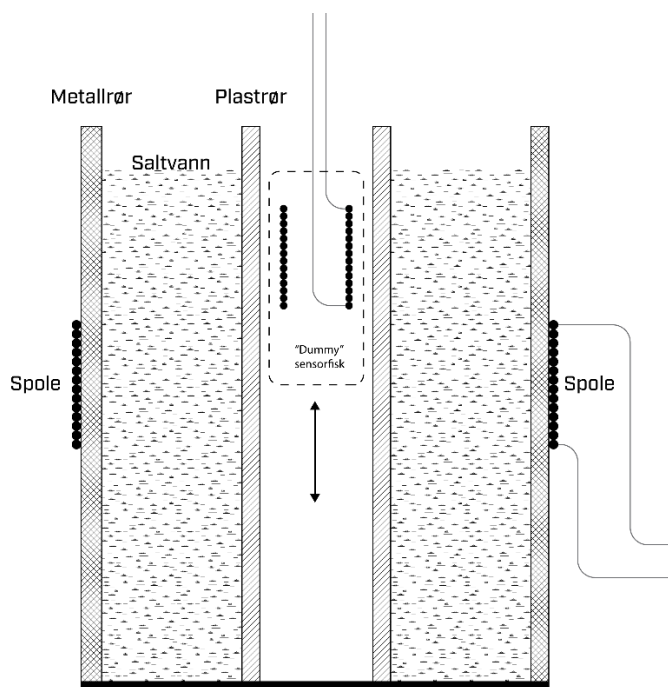
Det første steget i dette arbeidet var å vurdere forskjellige løsninger som kunne ligge til grunn for en slik kommunikasjonsmetode. Etter å ha vurdert forskjellige løsninger falt til slutt valget på bruk av induktiv kobling, altså via magnetiske felter. Dette prinsippet går kort fortalt ut på at en plasserer to coiler/spoler med ledende materiale i nærheten av hverandre som vist i Figur 43.



Figur 43: Illustrasjon av induktiv kobling

Dersom en sender en strøm gjennom en av disse spolene, vil denne sette opp et magnetfelt som igjen vil indusere en strøm i den andre spolen. Dette gir en trådløs kobling mellom disse som er kjernen i prinsippet bak induktiv kobling. Selv om dette prinsippet kanskje er vel så godt kjent fra bruk på komfyrer og som kilde til støy på elektroniske systemer, er det også et velkjent prinsipp og anvendt som en standardmetode for nærfeltskommunikasjon. Denne løsningen har også åpenbare synergieffekter med den allerede etablerte magnetbåndmetoden for posisjonering av sensorfisken i røret. Implementasjonen på en faktisk sensorfisk vil derfor begrense seg til å lage større spoler med større potensial for å overføre mer komplekse signaler, samt å implementere metodikk for å sette opp fluktuerende signaler i denne som koder digital informasjon. Videre vil et slikt konsept også kreve tilsvarende økt størrelse på vindingene plassert på utsiden av røret.

Det ble laget en prototype på dette konseptet – kalt IoT for fiskehåndtering som ble testet på lab i proof-of-concept-forsøk (Figur 44).

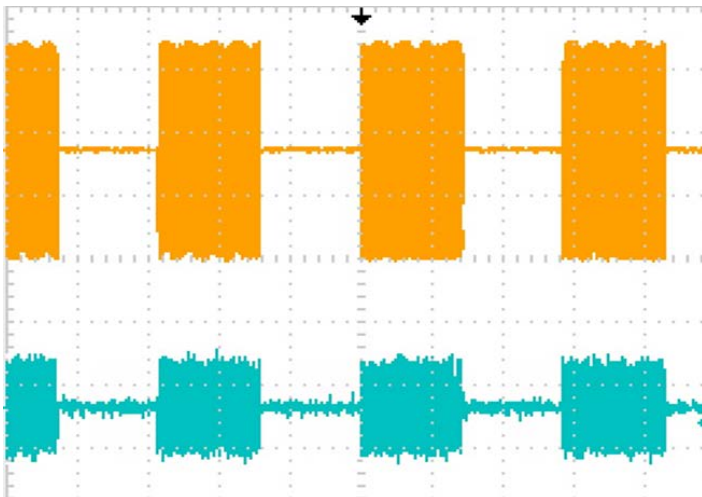


Figur 44: Prototyp på IoT for fiskehåndtering. En ser her spolen som er surret rundt utsiden av røret, samt ledninger som går inn i det indre røret til «dummy»-sensorfisk. Til høyre en skjematisk fremstilling av konseptet.

Prototypen ble realisert som et rørsegment med riktig dimensjon som ble fylt med sjøvann, og som hadde en indre ramme som hadde samme diameter som en sensorfisk. I forsøkene ble en «dummy»-sensorfisk med spole plassert i denne rammen for å gi en helt sentrert posisjon, og røret for øvrig fylt opp med saltvann. Tanken var da at en skulle kunne overføre signaler via induksjon fra spolen i sensorfisk til spolen på utsiden av røret.

7.2.2 Vurdering av funnene

Proof-of-concept-forsøkene ble regnet som vellykket ettersom en klarte å opprette en trådløs kobling mellom spolene på sensorfisk og spolen rundt røret, noe som viste at prinsippet kunne brukes til å overføre signaler (Figur 45).



Figur 45: Eksempel på trådløs signaloverføring. Oransje viser signalet som er sendt i spolen inni røret, dvs "dummy sensorfisk", og blå-grønn viser signalet som leses av kveilen på utsiden, målt med oscilloskop.

En klarte ut fra dette oppsettet å oppnå en overføringshastighet i størrelsesorden kilobit per sekund, noe som f.eks. er betydelig høyere enn det en kunne oppnå med akustiske løsninger. Teorien rundt dette overføringsprinsippet tilsier imidlertid at betydelig høyere båndbredder kan være oppnåelig dersom oppsett og protokoll blir optimalisert for formålet. Videre ble løsningen realisert ved hjelp av ganske enkle og lett tilgjengelige komponenter.

7.2.3 Vurdering/drøfting av mulighetene for videre anvendelse av resultater fra prosjektet (implementering)

Resultatene fra forsøkene indikerer at en videreutvikling og industrialisering av en løsning for IoT i fiskehåndtering er innenfor rekkevidde metodisk, praktisk og økonomisk i fremtidige sensorfiskversjoner. Kommersialiseringen av et slikt konsept vil imidlertid ha komparativt lang tidshorison ettersom det er en del elementer ved en slik løsning som må utvikles/videreutvikles for at en skal få et system som er i stand til å overføre og presentere data fra sensorfisken i sanntid i felt. I tillegg til å implementere en prototypeløsning i en faktisk sensorfisk, vil en også måtte utvikle metoder for å hente ut og presentere signalene på utsiden av røret. I dagens versjon av systemet gjøres dette med oscilloskop og postprosessering, noe som vil være upraktisk for bruk i felt. En bedre løsning ville vært om en utviklet en standalone mottakerenhet som kan hente ut signalene og omforme disse til digitale verdier som så kan sendes til en PC for presentasjon og videre analyser. En annen åpenbar anvendelse vil kunne være å erstatte dagens magnetbåndmetode som er utsatt for elektromagnetisk støy med bånd med unik ID som kan leses av sensorfisken på vei gjennom systemet og dermed gjøre det enklere å automatisere postprosessering av data i ettertid.

Dersom en har både en sensorfisk tilpasset IoT for fiskehåndtering og en mottakerenhet klare, vil et naturlig neste steg være å kjøre systematiske tester av dette systemet både på enkeltmodulnivå (f.eks. sjekke at data blir lest av riktig, at digitale verdier mottatt av PC svarer til måledata) og systemnivå. Dette vil være med på å sikre at systemet skal fungere som ønsket i en virkelig situasjon i felt. Selv om en kan gjøre flere slike tester under kontrollerte forhold i lab, vil det være mest formålstjenlig å gjennomføre den endelige testen av systemet i fullskala i en såkalt Site Acceptance Test (SAT) der utstyret blir utsatt for de omgivelser og forstyrrelser en normalt vil finne i industrielle anvendelser.

8 AP4: Oversikt over teknologiske verktøy for måling av operative velferdsindikatorer

Teknologimarkedet i havbruksnæringen er stort, fragmentert og lite oversiktlig. Det er mange teknologier og metoder for måling av operative velferdsindikatorer som er i bruk i forskjellige deler av næringen i dag, og flere er under utvikling.

Målsetningen med denne delen av prosjektet har vært å lage en oversikt over eksisterende og nyutviklede metoder og teknologier for måling av operative velferdsindikatorer. Utgangspunktet for arbeidet er operative velferdsindikatorer (OVI) som er definert for matfiskproduksjon i fiskevelferdsboka (Noble et al., 2018). Der listes det opp en rekke OVler som er i bruk, og som kan være i bruk, i matfiskproduksjon.

Målet med oversikten var å koble teknologier opp mot de definerte OVlene.

I starten av arbeidet ble det vektlagt at teknologiene skulle være objektivt dokumentert. Det viste seg raskt at validering/verifisering ved bruk av tredjepart ikke er utbredt i næringen. Det foreligger svært lite offentlig tilgjengelig dokumentasjon for de aller fleste teknologiene.

På grunn av dette ble målsetningen endret til å liste opp velferdsindikatorer og teknologier som tilsynelatende kan svare på problemstillingen ved den enkelte OVlen.

De forskjellige OVlene ble sortert i 4 kategorier:

- Etablert teknologi
- Teknologi under utvikling
- Fremtidig teknologi
- Ikke aktuelt for oversikten

Oversikten er begrenset til OVler som er relevante ved håndteringsoperasjoner av laks i konvensjonelle merder i sjø. Oversikten var ferdig utarbeidet 16. februar 2022, og inkluderer derfor ikke teknologier eller metoder som er utviklet etter den datoen.

Etablert teknologi:

Etablert teknologi er teknologi som allerede er utbredt i havbruksnæringen, har vist seg pålitelig i bruk og som det er allment anerkjent at teknologiene kan stoles på.

Det er spesielt for miljøbaserte OVler at det finnes teknologi som har blitt definert som etablert. Eksempler er temperaturmålere, strøm og bølgesensorer, oksygensensorer.

Dette er viktige miljøparametere som direkte påvirker fisken, og som vil påvirke velferden til laksen.

Teknologi under utvikling:

Kategorien teknologi under utvikling er brukt på teknologi som har kommet relativt langt i utviklingsløpet, og som i enkelte tilfeller er i bruk i daglig drift ved enkelte lokaliteter, men som av forskjellige grunner ikke er etablert i daglig drift i havbruksnæringen. Det kan være på grunn av regulatoriske utfordringer, manglende modenhet eller manglende resultat som gjør at teknologiene plasseres i denne kategorien.

Et eksempel på dette er automatiske lusetellere. Tellerne er i daglig bruk ved flere lokaliteter, på dispensasjon fra mattilsynet. Manglende offentlig dokumentasjon på effekten av lusetellerne, og regulatoriske utfordringer/begrensninger ved bruken gjør at automatiske lusetellere plasseres i denne kategorien.

Det er her viktig å påpeke at dette ikke betyr at teknologien ikke fungerer, det betyr bare at det ikke er tilgjengelig offentlig dokumentasjon som er verifisert av tredjepart.

Fremtidig teknologi:

I denne kategorien plasseres OVler der det ikke finnes teknologi som er kommersielt tilgjengelig, og i enkelte tilfeller eksisterer det ikke teknologier i det hele tatt. Dette er høythengende frukter som over tid og med FoU-innsats vil kunne bidra til bedre kontroll på velferd i oppdrettsnæringen.

Et eksempel på dette er kortisolmålinger i vann/feces. Det er for prosjektgruppa ikke kjent at det jobbes med utvikling av sensorer som kan måle dette direkte i vann, samtidig er det uttalt fra fiskehelsepersonell og veterinærer at dette kan bli en viktig og interessant OVI som kan brukes til tidligvarsling av hendelser og for måling av stressnivået i populasjonen eller på individnivå.

Ikke aktuelt for oversikten

Det er flere OVler med tilhørende teknologi som har blitt kategorisert som "Ikke aktuelt for oversikten".

Det er ikke en felles grunn for kategorisering i denne kategorien, men det er basert på en vurdering av den enkelte OVIs relevans for matfisk i sjøfasen i håndteringsoperasjoner. Eksempelvis faller OVler som primært er relevante for settefiskfasen utenfor denne problemstillingen

Arbeidspakke 4 omfatter sluttrapportering, administrasjon og publisering av resultatene i prosjektet.

Leveranse L4.7: Oversikt over eksisterende og utviklede metoder for måling av operative velferdsindikatorer inngår i arbeidspakke 4.

Rapporten "Teknologier for måling av operative velferdsindikatorer" ligger tilgjengelig på prosjektsidene til FHF.

Oversikten var ferdig utarbeidet 16. februar 2022, og inkluderer derfor ikke teknologier eller metoder som er utviklet etter den datoen.

Tabell 6: Etablerte teknologier

| OVI | Beskrivelse | Teknologier |
|--------------------|---|--|
| Temperatur | <p>I havbruksnæringen finnes det i dag et mangfold av temperatursensorer. Det brukes i mange sammenhenger frittstående, svært nøyaktige sensorer, i tillegg er temperatursensorer ofte integrert som en ekstrasensor i andre installasjoner som f.eks. kamera i merd.</p> <p>Temperatur er en viktig parameter i forkant av håndteringsoperasjoner. Sjø- og lufttemperatur har påvirkning på hvilke behandlings og håndteringsmetoder som bør velges.</p> | <p>Frittstående temperatursensorer, flere måleprinsipp.</p> <p>Temperatursensorer integrert i andre sensorer og system</p> |
| Salinitet | <p>Salinitet er en viktig velferdsparameter og gir viktig informasjon om vannkvaliteten ved en lokasjon. I fjorder og i nærheten av elver er salinitet en viktigere parameter enn ved mer eksponert oppdrett.</p> <p>Salinitet påvirker fiskens velferd pga osmosereguleringen i laksen.</p> <p>I lukkede behandlingenheter, og spesielt ved ferskvannsbehandling, er det viktig å ha tilstrekkelig kontroll over saliniteten i vannet.</p> | Konduktivitet |
| Vannstrømhastighet | <p>Spesielt viktig for liten fisk.</p> <p>Flere teknologier eksisterer og anvendes i dag.</p> | <p>Doppler current sensors (DPS)</p> <p>Acoustic Doppler Current profilers (ADCP)</p> |
| Oksygen | <p>Oksygenloggere i og utenfor merd gir verdifull informasjon om miljøet til laksen.</p> <p>Oksygenmetning i vannet er avhengig av temperatur, trykk, salinitet og pH.</p> <p>Ved håndteringsoperasjoner stresses fisken, respirasjonen øker og oksygennivået i vannet synker. Det er derfor viktig å ha kontroll på oksygenmetningen i vannet og trengenota.</p> | <p>Optisk</p> <p>Elektrokjemisk</p> |
| CO ₂ | <p>Høye verdier kan føre til akutt giftighet. CO₂ i vann avledes i dag fra pH-målinger.</p> <p>Det eksisterer sensorer for måling, spesielt egnet for ferskvann.</p> <p>Som for de andre kjemiske miljøparameterne påvirker denne variabelen andre variabler.</p> | Optisk |
| pH og alkalinitet | <p>Alkalinitet, også kalt bufferevne, påvirker vannets evne til å motsette seg endring i pH. Høy alkalinitet betyr at pH-nivået påvirkes mindre av en tilføring av ioner, enn ved lavere alkalinitet. pH og alkalinitet i vannbehandling henger derfor tett sammen.</p> | <p>Elektrokjemisk</p> <p>ISFET</p> |

Tabell 7: Teknologi under utvikling

| OVI | Beskrivelse | Teknologier |
|------------------|--|--|
| Sjølus | <p>Telling av lakselus er regulert Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg.</p> <p>Dagen forskrift krever manuell telling av 10-20 fisk, avhengig av årstid, hver uke i alle merder ved anlegget. Snittverdien av antall voksen hunn lus, bevegelig og fastsittende stadier rapporteres.</p> <p>Det finnes mange aktører på markedet som har utviklet kamerasystemer med tilhørende maskinsyn og maskinlæring som kan gjennomføre lusetelling automatisk. Flere av systemene er i dag i bruk på anlegg etter dispensasjon fra Mattilsynet.</p> <p>Fordeler med automatisk lusetelling er at det kan telles lus på et betydelig større antall fisk, og på den måten kan det gi et mer riktig bilde av lusenivået i merden. En annen viktig fordel er at automatisk lusetelling foregår i merden uten uttak av fisk. Dette reduserer håndtering, stress og skader på fisken.</p> <p>Telling av lakselus er viktig i forbindelse med operasjoner, spesielt siden avlusning er en av de hyppigste og største håndteringsoperasjonene som forekommer i dagens oppdrett. Lusetelling er i seg selv en håndteringsoperasjon. Det er ikke ønskelig å avluse fisk som ikke har behov for det, da dette innebærer unødvendig håndtering av fisken som fører til redusert velferd. Samtidig er det viktig å avluse når lusenivåene er over lovlig verdier, fordi høye lusenivå fører til redusert velferd.</p> <p>Under en trenging- og avlusningsoperasjon er det viktig å verifisere at avlusningen faktisk har hatt ønskelig effekt. Dette gjøres i dag ved at man gjennomfører lusetelling på noen fisker etter avlusningsoperasjonen. Automatisk lusetelling kan også føre til positive ringvirkninger ved at det samles inn store datasett som kan analyseres i ettertid, og lusetellingen er etterprøvbare. Disse store datasettene kan over tid potensielt føre til økt kunnskap om ytelsen til forskjellige avlusningsmetoder og fartøy.</p> | <p>Kamera + maskinsyn</p> <p>Felles for de nye automatiske lusetellerne er at de benytter stereokamera, maskinsyn og kunstig intelligens.</p> <p>Stereokamera muliggjør evaluering av avstanden mellom fisken og lusetelleren, størrelse og posisjon på lus.</p> |
| Dødelighet srate | <p>Dødelighetsrate fremkommer av daglige dødfisktellinger.</p> <p>Sett i sammenheng med operasjoner ved anlegget kan dette gi informasjon til beste praksis i fremtiden. Utover selve dødelighetsraten er dødsårsak, og raten til forskjellige dødsårsaker relevant å sammenligne. Det eksisterer kamerasystem for automatisk dødfisktelling og kategorisering. Informasjon om dødelighetsrate og årsak i etterkant av håndteringsoperasjoner er viktig informasjon for tilpasning og forbedring av fremtidige operasjoner. Systemer er utviklet for dødfiskevaluering og telling under operasjoner.</p> | <p>Kamera + maskinsyn</p> <p>Automatisk fisketeller</p> |
| Vekst | <p>Estimeres i dag basert på fôrdata og måling på et utvalg av fisk.</p> <p>Det finnes nye teknologier på, og på vei til, markedet som benytter kamerateknologi i kombinasjon med maskinlæring til å estimere vekst for både enkeltfisk og på gruppenivå.</p> <p>Flere av systemene tar sikte på individgjenkjenning ved bruk av prikkmønster, og lagring av individdata. Slik teknologi kan gi merverdi til oppdretter.</p> <p>Det eksisterer flere biomassesystemer, blant annet VAKI-rammen, som måler størrelsen på fisk som svømmer gjennom systemet. Dette systemet er i dag i bruk</p> | <p>Kamera + maskinsyn</p> <p>Biomassesystemer</p> <p>Ekkolodd</p> |

| | | |
|--------------------|--|--|
| | <p>Ekkolodd med høy oppløsning og oppdateringsfrekvens har potensiale til å kunne identifisere og spore en enkeltfisk. Forskning og utvikling på sammenheng mellom størrelse på svømmeblære og vekst kan bygge et kunnskapsgrunnlag som gir mulighet til å estimere størrelsen på enkeltfisk. Gastriske sensorer / avanserte tags, kan opereres inn i et representativt utvalg av fiskene. Slike sensorer kan bygges med akselerometer, hjertefrekvens og oksygenmetning osv.</p> | |
| Avmagret fisk | <p>Avmagret fisk tas ut i overflaten som svimere. Det er liten til ingen kontroll på grad av avmagring i merdvolumet, bortsett fra det som manuelt observeres med kamera og i orkastnot. Kamerateknologi som måler vekt vil også kunne identifisere avmagret fisk. For å minimere belastningen på individene er det viktig å identifisere og ta ut avmagret fisk og svimere før håndteringsoperasjoner.</p> | Kamera + maskinsyn Biomassesystemer |
| Kondisjonsfaktor | <p>Kondisjonsfaktor blir i dag beregnet basert på manuelle vekt og lengdemålinger. De forskjellige biomassesystemene som er under utvikling vil også gi informasjon om kondisjonsfaktor. Kamerateknologi som er i stand til nøyaktig måling av lengde og vekt vil også gi kondisjonsfaktor. Kondisjonsfaktor er i seg selv en spennende OVI som over tid gir informasjon om hvordan fiskens utvikling er.</p> | Kamera + maskinsyn Biomassesystemer |
| Grad av avmagring | <p>System som er i stand til å måle kondisjonsfaktor vil også gi grad av avmagring.</p> | Kamera + maskinsyn Biomassesystemer |
| Produksjonstetthet | <p>Produksjonstetthet estimeres til enhver tid ved det enkelte anlegg. Produksjonstetthet kan avledes ved telling og veiing av et representativt utvalg av populasjonen sammen med utsatt antall i merd og dødfisktall. Snittvekt, antall og merdvolum gir en teoretisk produksjonstetthet, og samsvarer med lovgivningen på feltet. Utover dette virker det ikke som at produksjonstetthet inngår i røktig og produksjonsplanlegging i stor grad. Ved håndteringsoperasjoner samles fisk i mindre volum, med svært høy tetthet. Dersom fisken trenges for hard vil dette kunne ha negative konsekvenser på fisken. Fiskens oppførsel under trengoperasjoner vil påvirkes av mange faktorer, og det er ikke sannsynlig at produksjonstettheten er uniform under operasjonen. Ekkoloddteknologi, tilpasset situasjonen, kan med fordel anvendes i slike sammenhenger for å ha nærmere kontroll på tettheten under selve operasjonen.. Kamera og overvåking med ROV, samt anvendelse av maskinsyn kan også være et supplement i slike situasjoner.</p> | Ekkolodd Kamera + AI ROV |
| Appetitt | <p>Appetitt er en svært viktig operativ velferdsindikator som påvirkes av mange faktorer. I daglig drift er appetitten viktig å estimere, spesielt med tanke på utføring og tilvekst. Appetitt kan også brukes som en indikator på tilstanden til fisken, ved sykdomsutbrudd, algeoppblomstring og andre hendelser kan appetitten påvirkes. Det finnes kamerateknologi og softwareleverandører som utvikler system for automatisk deteksjon av appetitt, fôrspill og fôrdistribusjon. Slike</p> | Kamera + maskinsyn Ekkolodd, pellet-deteksjon |

system vil trolig kunne gi ny og viktig informasjon med høyere oppløsning enn dagens metoder.

Det er også ekkoloddleverandører på markedet som jobber med utvikling av pellet-deteksjon som kan bidra til bedre appetitt-overvåking og fôringskontroll.

Under selve håndteringsoperasjonen er ikke appetitt en egnet velferdsindikator, da fisken ikke føres, men det er likevel en viktig operativ velferdsindikator frem mot håndtering.

Det er vanlig praksis at fisk sultes før en håndteringsoperasjon som avlusning. Appetitt frem mot sulting bør undersøkes og avvik fra normal appetitt og atferd bør utforskes før sulting og håndteringsoperasjonen startes.

Tabell 8: Fremtidig teknologi - atferd

| OVI | Hva behøves | Potensiell teknologi 1 |
|---------------------|--|--|
| Unormal atferd | For at atferd skal bli en velferdsindikator som kan brukes operativt må det tydelig defineres hva som er normal og avvikende atferd. Det er forskjell på fiskegrupper, og lokaliteter, og det legges i dag ned en innsats på identifikasjon av konkrete, kvantifiserbare parametere som kan måles | Kamera + maskinsyn Ekkoloddteknologi |
| Aggresjon | Inngår i atferd. | Kamera + Ai Inngår i atferd. |
| Overflate aktivitet | Allerede kamerasystem på flere merder og lokaliteter. Forsknings og utviklingsinnsats bør rettes mot utarbeidelse av programvare som kan tolke overflateatferden sett i sammenheng med annen produksjonsdata. Under trenging brukes Fishwell hos de fleste aktører. Dette innebærer visuell inspeksjon av fiskehelsepersonell/veterinær eller likende. System for kontinuerlig monitorering og evaluering bør vektlegges. | Overflatekamera og programvare |
| Gjellelokk rate | Gjellelokkrate gir en indikator på laksens respirasjon, atferd og stressnivå. Gjellelokkraten påvirkes også av vannkvaliteten. Under operasjoner kan systemer som fanger opp gjellelokkraten brukes til å identifisere avvikende rate sammenlignet med kjente normalverdier (grunnlaget må dannes). Avvik fra normal gjellelokkrate kan blant annet bli en indikator på økt stress eller lavt oksygeninnvå. | Kamera ved trenging og i behandlingsenhet, |

Tabell 9: Fremtidig teknologi - ytre morfologi

| OVI | Hva behøves | Hva behøves |
|--------------------------|---|----------------------------|
| Ryggraddeformitet | Alle typer eksterne skader og misdannelser kan potensielt fanges opp av avanserte kamerasystem. | Kamerasystem med maskinsyn |
| Finneskade og status | Det er flere aktører på markedet som jobber med utvikling av maskinlæringsalgoritmer som, i kombinasjon med avanserte kamera, kan kunne identifisere, kvantifisere og kategorisere sår, misdannelser og skader på fisk. | Velferdsscoringsenhet |
| Skjelltap og hudtilstand | Disse teknologiene er satt i fremtidig teknologi fordi det er, etter forfatterens oppfatning, ingen som pr nå har utviklet system som er i bruk, og som er validert. | |
| Snute- og kjeveskade | System som kan kvantifisere eksterne skader og misdannelser kan og bør inngå både som fast installasjon i merder og daglig drift, samt før, under og etter håndteringsoperasjoner for kvantifisering av belastningen og skadene påført av håndteringen. | |
| Øyblødninger og -status | En utfordring med kamerabaserte system er riktig plassering i merd for å få et representativt utvalg av populasjonen. Dette er dog også et problem med dagen manuelle metode. | |
| Gjellelokkskader | | |
| Håndteringsskader | | |
| Hudforandringer (farge) | | |

Tabell 10: Fremtidig teknologi

| OVI | Hva behøves | Potensiell teknologi 1 |
|-----------------------|--|---|
| Skjell og blod i vann | Ved håndteringsoperasjoner utsettes laksen for store påkjenninger som kan føre til risstap og sår. Oppsamling og evaluering av skjell og blod i vann kan bli en mer brukt velferdindikator, dersom et system og en metode utvikles for dette. Sensorer for identifisering av dette både i kar og i åpent vann vil være interessant. Et system som kan brukes i forbindelse med trengoperasjoner kan ha potensiale til å være med i informasjonsflyten i Trenging 4.0 (autonom trenging). | Hemoglobinsensor og filtrering av skjell |
| Minkende ekko | Det har blitt gjort forskning på fyllingsgraden til svømmeblæren til laksen. Avtakende ekko, dvs mindre luft i svømmeblæren, kan brukes som en velferdsindikator. Kunnskap om ekko over tid, og betydningen av endinger i ekko må utarbeides | Ekkolodd |
| Kortisol | Kortisol et stresshormon som i dag analyseres på lab. Det er stor interesse og behov for sensorer som kan anvendes til måling av kortisol i vann eller feces. En kortisolsensor vil være aktuelt både i trengvolumet og i brønnbåt, dersom det utvikles. | Behov for utvikling av teknologi for sanntidsmåling av kortisol |

Tabell 11: Ikke aktuelt for oversikten

| OVI | Ikke aktuell fordi |
|------------------------------------|---|
| Amoniakk* | Ikke aktuelt ved håndteringsoperasjoner Eksempel på OVI som kan være aktuelt ved ferskvannsbehandling i brønnbåt |
| Totalt ammonium nitrogen* | Ikke aktuelt ved håndteringsoperasjoner |
| Nitritt og nitrat* | Ikke aktuelt ved håndteringsoperasjoner |
| Turbiditet* | Ikke aktuelt ved håndteringsoperasjoner. Kan være aktuelt ved lokalitetsundersøkelser, notvask og ved algeoppblomstring. Finnes sensorer for måling |
| Belysning | Ikke aktuelt ved håndteringsoperasjoner |
| Totalt suspendert tørrstoff(LABVI) | LABVI |
| Tungmetaller (LABVI) | LABVI |
| Sykdom/Helse (LABVI) | Ikke aktuelt ved håndteringsoperasjoner (er relevant før oppstart av operasjoner) |
| Bulk oksygenopptak* | Ikke aktuelt ved håndteringsoperasjoner. |
| Slakt (EEG, ECG)(LABVI) | Slakt – ikke aktuelt ved håndteringsoperasjoner |
| Øyerulling (VOR) | Ikke aktuelt ved håndteringsoperasjoner, indikasjon på bedøvet/død laks |
| Blekhet av gjeller og status | Velferdsscoreing "Innvendig" |
| Hepo-somatisk indeks | Obduksjon |
| Kardisomatisk indeks | Obduksjon |
| Grad av kjønnsmodning | Obduksjon (gonader) LABVI – hormon |
| Smoltifiseringsstatus | Ikke aktuelt for håndteringsoperasjoner Ikke aktuelt i sjøfasen |
| Fôr i tarm | Obduksjon |
| Indre organer | LABVI |
| Vaksinerelatert patologi | LABVI |
| Kortisol (LABVI) | Kortisol er i dag en LABVI og plasseres i denne kategorien. Det er stor interesse og behov for kortisolmålinger som en stressindikator, derfor er kortisol også plassert i kategorien "fremtidig teknologi" |
| Ionesammensetning (LABVI) | |
| Blod – Laktat og glukose | LABVI - Eksisterer humane sensorer OVI |
| Blod – pH | |
| Muskel pH | LABVI |
| Muskel laktat | LABVI |
| Muskel glukose | LABVI |
| Rigor mortis (tid og varighet) | LABVI |
| Mikro morfologi (LABVI) | LABVI |
| Kardiovaskulære responser (LABVI) | LABVI |
| NKA1a og NK1b (LABVI) | LABVI |
| Magnesium og natrium (LABVI) | LABVI |
| Klorid (LABVI) | LABVI |



| | |
|--------------------|-------|
| Osolalitet (LABVI) | LABVI |
| Hematokrit (LABVI) | LABVI |

9 Hovedfunn

9.1 AP1

- En frittflytende sensorpakke kan være en god metode for å avdekke områder med mekanisk belastning og dermed et viktig verktøy for kartlegging og videreutvikling av håndteringssystemer.
- Rørsystemkomponenter som bend, ventiler, splittere gir alle en mekanisk belastning på levende fisk som sendes gjennom rørsystem. Ved utvikling av nye systemer bør man fokusere på å redusere antallet slike komponenter for å oppnå et mest mulig skånsomt system. Resultatene viser også at belastningen øker med økende strømningshastighet.
- Fiskens reaksjon på hurtige undertrykksendringer ble undersøkt nærmere, og blant annet endringer i adferd, oppdrift og luftslipp ble registrert. Obduksjon viste ingen tydelige makroskopiske tegn til skade på svømmeblæren til laksen som følge av trykkforsøkene. Resultatene er relevante for å forstå mekanismene i forhold til velferd under rørtransport og pumping av fisk.
- Støtforsøk i lab bidro til å belyse både tekniske og fiskevelferdsmessige aspekter med sensorfiskens målinger. Resultatene viste få signifikante forskjeller i skade og velferdsskår mellom gruppene. I gruppen som mottok høy grad av støt døde 2 av 21 fisk. Det var ikke dødelighet i de gruppene som mottok lavere grad av støt eller i kontrollgruppene. Effekten av dyp sedering under forsøkene er uklar og gjør det vanskelig å konkludere hva laksen tåler av støt mot hode.
- Det er utfordrende å knytte måledata fra sensorfisken til posisjon i rørsystemet med tilstrekkelig oppløsning ($< \sim 0.5$ meter). Teoretisk optimal konfigurasjon av magnetbåndløsningen ga forbedrede resultater, men er ikke en tilstrekkelig robust løsning. Resultater fra AP3 er lovende mtp alternativ trådløs kommunikasjonsteknologi som vil kunne gi hvert bånd en unik ID.

9.2 AP2

3D-video:

- Måling av munnåpningsfrekvensen kan direkte korreleres mot CO₂ nivået i en tank.
- Det er ingen klar sammenheng mellom hastighetsmålingene med 3D-video og CO₂-konsentrasjonen.
- Det er mulig å ekstrahere en 3D-bevegelsesbane fra et 3D-videoopptak.

Passivt lydopptak:

- Vi har vist at laks gir fra seg en knitrellyd.
- Denne lyden er dominerende etter en trengeoperasjon og varer i ca. 1 ½ time.
- Om natten, når det er mørkt, er det så å si ingen knitrellyd.
- I fullskala merder er det ikke mulig å høre denne knitrellyden, siden bakgrunnstøyen er, relativ sett, mye høyere enn knitrellyden.

9.3 AP3

- Det har blitt utviklet en modell for posisjonsestimering av sensorfisk i rør.
- Utviklet ny metode for trådløs kommunikasjon med sensorfisk. Dette gir mulighet til å utvikle posisjoneringsbånd med unik ID samt overføre data fra sensorfisk i sanntid gjennom væskefylte rør.

9.4 AP4

- Lav grad av tredjepartsdokumentasjon foreligger
- Moden teknologi på miljøparametere, og delvis for populasjonsovervåkning
- Lite/ingen teknologi for måling av individets velferd ved håndteringsoperasjoner

9.5 Generelt

- Flere av resultatene er ikke presentert i sin helhet i denne rapporten da det planlegges vitenskapelige publikasjoner.

10 Referanser

- Brown, R.S., Carlson, T.J., Gingerich, A.J., Stephenson, J.R., Pflugrath, B.D., Welch, A.E., Langeslay, M.J., Ahmann, M.L., Johnson, R.L., Skalski, J.R., Seaburg, A.G., Townsend, R.L., 2012. Quantifying Mortal Injury of Juvenile Chinook Salmon Exposed to Simulated Hydro-Turbine Passage. *Transactions of the American Fisheries Society* 141, 147–157. <https://doi.org/10.1080/00028487.2011.650274>
- Caharija, W., Venås, B., Svendsen, E., Pedersen, M.O., Schrøder, M.B., Kristensen, M.N., Sunde, L.M., Ohrem, S.J., 2021. Verktøy for kartlegging av forhold i enheter for føring, håndtering og behandling av laks (sensorfisk) (FHF No. 901397).
- Espmark, Å., Humborstad, O.-B., Midling, K.Ø., 2012. Pumping av torsk og laks: Faktorer som påvirker velferd og kvalitet [WWW Document]. URL <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/900304/> (accessed 6.16.22).
- Gismervik, K., Gåsnes, S.K., Gu, J., Stien, L.H., Madaro, A., Nilsson, J., 2019. Thermal injuries in Atlantic salmon in a pilot laboratory trial. *Veterinary and Animal Science* 8, 100081. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2019.100081>
- Gismervik, K., Nilsen, A., Nielsen, K.V., Mejdell, C.M., 2017. Fiskehelse rapporten 2016. Veterinærinstituttet, pp. 21–33.
- Jónsdóttir, K.E., Mathiassen, J.R., Schellewald, C., Volent, Z., Rosten, C., Sunde, L.M., Schrøder, M.B., 2021. Akustiske og visuelle verktøy kan bidra til dokumentasjon av fiskevelferd ved håndteringsoperasjoner. *Norsk Fiskeoppdrett* 8–2021.
- Marjoux, D., Baumgartner, D., Deck, C., Willinger, R., 2008. Head injury prediction capability of the HIC, HIP, SIMon and ULP criteria. *Accident Analysis & Prevention* 40, 1135–1148. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.12.006>
- Martinsen, H.R., Nicolausson, S., Rondestvedt, T.J., Aasvestad, J., 2020. Utvikling av brukergrensesnitt og brukerfunksjoner for Sensorfisk.
- Nilsson, J., Moltumyr, L., Madaro, A., Kristiansen, T.S., Gåsnes, S.K., Mejdell, C.M., Gismervik, K., Stien, L.H., 2019. Sudden exposure to warm water causes instant behavioural responses indicative of nociception or pain in Atlantic salmon. *Veterinary and Animal Science* 8. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2019.100076>
- Noble, C., Nilsson, J., Stien, L.H., Iversen, M.H., Kolarevic, J., Gismervik, K., 2018. Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd. 312 pp., 3rd ed.
- Overton, K., Dempster, T., Oppedal, F., Kristiansen, T.S., Gismervik, K., Stien, L.H., 2018. Salmon lice treatments and salmon mortality in Norwegian aquaculture: a review. 1-20. <https://doi.org/10.1111/raq.12299>
- Richmond, M.C., Serkowski, J.A., Ebner, L.L., Sick, M., Brown, R.S., Carlson, T.J., 2014. Quantifying barotrauma risk to juvenile fish during hydro-turbine passage. *Fisheries Research* 154, 152–164. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.01.007>
- Rosten, C., Mathiassen, J.R., Volent, Z., 2022. Acoustic environment of aquaculture net-pens varies with feeding status of Atlantic salmon.
- Roth, B., Slinde, E., Arildsen, J., 2006. Pre or post mortem muscle activity in Atlantic salmon (*Salmo salar*). The effect on rigor mortis and the physical properties of flesh. *Aquaculture* 257, 504–510. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.10.021>
- Schellewald, C., Jahren, J.H., Anthonen Nygård, T., Jónsdóttir, K.E., Rosten, C., 2022. Exploring Mouth Opening Frequency and speed as welfare indicators for Atlantic Salmon. (SINTEF rapport No. 2022:00469).
- Schoettger, R.A., Julin, A.M., 1967. Efficacy of MS-222 as an anesthetic on four salmonids (Report No. 13), Investigations in Fish Control.



Sommerset, I., Walde, C.S., Bang Jensen, B., Wiik-Nielsen, J., Bornø, G., Oliveira, V., Haukaas, A., Brun, E., 2022. Fiskehelse rapporten 2021 (2a/2022), Veterinærinstituttets rapportserie. Veterinærinstituttet.

Steinke, D., 2020. Assessing fish welfare using the finite element method. Specialization Project - NTNU.

Svåsand, T., Grefsrud, E.S., Karlsen, Ø., Kvamme, B.O., Glover, K., Husa, V., Kristiansen, T.S. (red.), 2017. Risikoreport norsk fiskeoppdrett 2017. Fisken og havet særnr. 2-2017.

Volent, Z., Mathiassen, J.R., Jónsdóttir, K.E., Rosten, C., 2022. Bruk av lydbilde for velferdsovervåking ved operasjoner i et oppdrettsanlegg (SINTEF rapport No. 2022:00208).

11 Leveranser fra OWITOOLS-prosjektet

Populærvitenskapelige artikler:

Veien til tingenes internett (IoT) (2020). Walter Caharija, Espen Eilertsen, Birger Venås, Eirik Svendsen, Merete Bjørgan Schrøder, Waleed Azam, Leif Magne Sunde. Norsk fiskeoppdrett 12, 30-33.

Hva skal man måle, og hva betyr det for fisken? (2021). Birger Venås, Siri Gåsnes, Kristine Gismervik, Merete Bjørgan Schrøder. Norsk fiskeoppdrett 6/7, 26-28.

Akustiske og visuelle verktøy kan bidra til dokumentasjon av fiskevelferd ved håndteringsoperasjoner (2021). Kristbjörg Edda Jónsdóttir, John Reidar Mathiassen, Christian Schellewald, Zsolt Volent, Carolyn Rosten, Leif Magne Sunde, Merete Bjørgan Schrøder. Norsk fiskeoppdrett 8, 42-44.

Vitenskapelige publikasjoner:

Welfare indicators in salmon exposed to pressure changes. Jan Henrik Jahren, Kristine Gismervik, Christian Schellewald, Birger Venås – In prep

Welfare indicators in salmon exposed to impact. Kristine Gismervik, Siri Kristine Gåsnes, Birger Venås, Merete Bjørgan Schrøder. – In prep

Novel method of analyzing impact during delousing operations. Birger Venås, Nina Bloecher, Carolyn Rosten, Martin Føre, Kristine Gismervik, Merete Bjørgan Schrøder – In prep,

Motion trajectory estimation of salmon using stereo vision. Trym Anthonsen Nygård, Jan Henrik Jahren, Christian Schellewald, Annette Stahl. In prep.

Quantification of mechanical loads in systems for transport, handling and treatment of farmed salmon. Walter Caharija, Birger Venås, Eirik Svendsen, Merete B. Schrøder, Magnus O. Pedersen, Ole-Kristian Lie, Maria N. Kristensen, Sveinung J. Ohrem, Leif M. Sunde. In prep

Presentasjoner:

OWITOOLS ble presentert på eget webinar 16. februar 2022. Presentasjonene ligger her:

<https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901594/>

