

# Faglig Sluttrapport

## Verktøy for kartlegging av forhold i enheter for føring, håndtering og behandling av laks (sensorfisk)

FHF prosjekt nr. 901397 - Standardisert metodikk for kvalifisering av mekaniske avlusingsystemer (KVALISYS)

### Forfattere

Walter Caharija

Birger Venås, Eirik Svendsen, Merete Bjørgan Schrøder, Magnus O. Pedersen, Ole-Kristian Lie, Leif Magne Sunde, Maria N. Kristensen, Sveinung J. Ohrem



# Rapport

## Verktøy for kartlegging av forhold i enheter for føring, håndtering og behandling av laks (sensorfisk)

FHF prosjekt nr. 901397 - KVALISYS

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
OC2021 A-056	302002650	4	2021-06-14

**EMNEORD:**

Mekanisk avlusning  
Fiskevelferd  
Laks  
Objektivuttesting

**FORFATTERE**

Walter Caharija  
Birger Venås, Eirik Svendsen, Magnus O. Pedersen, Merete Bjørgan Schrøder, Maria N. Kristensen, Leif Magne Sunde, Sveinung J. Ohrem

**OPPDRAKSGIVER(E)**

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF)

**OPPDRAKSGIVERS REF.**

901397

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

22

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

**ISBN**

978-82-7174-417-5

**SAMMENDRAG**

Hovedmålet med dette prosjektet har vært å utvikle en standardisert metode og et instrument ("sensorfisk") som kan kvantifisere fysiske forhold i ulike typer enheter for føring, håndtering og behandling av fisk. Prosjektet har i den praktiske gjennomføringen tatt utgangspunkt i ulike systemer for avlusning, men metodikken kan benyttes for alle former for fiskeføring gjennom rørsystemer. I prosjektet er det utviklet andregenerasjons utstyr for å kartlegge trykk- og temperaturforhold, samt registrere støt gjennom rørsystemer/behandlingsenheter. Utstyret består av instrumenter pakket i en "sensorfisk" som samler inn data for trykk, temperatur og akselerasjon på ulike punkter i systemet/enheten som testes. Målingene har vist seg å være repeterbare. Som forventet viser målingene at alle avlusingsystemene skaper en viss grad av undertrykk for å få fisken gjennom behandlingsenhetene, og at systemene gir varierende grad av støt i gjennomføringen. Endringer i oppsettet av enhetene er målbare med sensorfisken og ved utvikling av nye enheter eller optimalisering av eksisterende systemer kan en ved bruk av sensorfisken identifisere endringer i trykk og støt på spesifikke steder i systemet uten bruk av levende fisk. Ved å benytte sensorfisken, kan en begrense antall fisk som benyttes både ved utvikling og optimalisering av utstyr, og det er raskt og forholdsvis enkelt å få testet mange gjennomkjøringer der parameterne til utstyret justeres. Prosjektet kan ikke si noe om at noen avlusningsenheter er mer skånsomme enn andre med tanke på fiskevelferd eller avlusningseffekt siden biologiaspekter som trengs for å etablere de nødvendige koblinger mellom sensorfiskmålingene og den biologiske responsen fra levende fisk ikke er undersøkt. Det finnes muligheter for å identifisere flere parametere i enheter for føring, håndtering og behandling av fisk, men dette vil kreve ytterligere utvikling av sensorpakken. Videre vil det også være interessant å koble registreringer gjort med sensorfisken mer direkte til velferdsmessige utfordringer som en observerer ved bruk av ulike enheter og systemer.

**UTARBEIDET AV**

Walter Caharija

**KONTROLLERT AV**

Merete Bjørgan Schrøder

**GODKJENT AV**

Hans V. Bjelland



# Historikk

14.06.2019: Første utkast

09.10.2019: Andre utkast

25.10.2019: Sluttversjon

14.06.2021: Sluttversjon med ISBN

## Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>5</b>
1.1	Faglig bakgrunn .....	5
1.2	Prosjektets omfang .....	6
1.3	Prosjektorganisering .....	6
<b>2</b>	<b>Problemstilling og formål</b> .....	<b>7</b>
2.1	Prosjektets effektmål .....	7
2.2	Prosjektets resultatmål .....	7
<b>3</b>	<b>Prosjektgjennomføring</b> .....	<b>7</b>
3.1	Metodeutvikling [DA1].....	8
3.1.1	Innpakning av sensorikk .....	8
3.1.2	Metoder for systemdokumentasjon og posisjonsbestemmelse .....	8
3.1.3	Metodikk og alternativer for belastningsmålinger .....	8
3.1.4	Realisering av sensorpakker .....	8
3.2	Datainnsamling og -behandling [DA2] .....	10
3.3	Dataanalyse og generelle anbefalinger for design av avlusingsystem [DA3].....	10
3.3.1	Dataanalyse og informasjonsfremstilling .....	10
3.3.2	Generelle anbefalinger for design av avlusingsystem .....	11
<b>4</b>	<b>Resultater og diskusjon</b> .....	<b>12</b>
4.1	Resultater fra Sensorfisk 1 og Sensorfisk 2 .....	12
4.1.1	Trykkhendelser .....	13
4.1.2	Støthendelser .....	15
4.1.3	Posisjon og hastighet .....	17
4.1.4	Temperatur .....	17
4.2	Resultater fra Sensorfisk 3 med pressfølsom overflate .....	18
<b>5</b>	<b>Generelle observasjoner</b> .....	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>Prosjektets betydning, hovedfunn og konklusjon</b> .....	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>Videreutvikling av sensorfiskkonseptet</b> .....	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>Leveranser</b> .....	<b>21</b>
<b>9</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>22</b>

## 1 Innledning

### 1.1 Faglig bakgrunn

Håndtering av fisk utgjør en velferdsrisiko, både ved flytting, sortering eller behandling mot f.eks. lakselus. Håndtering av fisk mot lakselus har i mange år vært en betydelig utfordring for oppdrett av laks i Norge, både når det gjelder økonomiske konsekvenser, biologi, fiskevelferd og næringens mulighet til å øke sitt produksjonsvolum. Mange tiltak, som produksjonsstyring, medikamentell eller mekanisk avlusing og biologisk avlusing (rensefisk) er iverksatt og en klarer, ved hjelp av disse virkemidlene, stort sett å holde nivået av lakselus under grensene satt av myndighetene.

Økt resistens mot avlusingssmedikamenter har de senere årene drevet fram en rekke nye avlusingsmetoder som krever at laksen må håndteres; eksempelvis ferskvannsbehandling, behandling med temperert vann og lusespylere. Håndtering av fisken er en betydelig risikofaktor fordi det ofte medfører redusert fiskevelferd og økt dødelighet. Å sikre skånsom håndtering av fisken er derfor av avgjørende betydning i den daglige driften, ved transport, ved behandling mot lus, eller ved for eksempel AGD.

Det er i anvendte produksjonssystemer umulig å drive lakseoppdrett uten å trenge og håndtere fisken. Ved sortering, transport, slakting og ved de fleste avlusinger må en i dag trenge og føre fisken i rør. Det finnes en rekke avlusingsmetoder og det henvises ofte til navnet på den respektive behandlingseenheten, for eksempel Thermolicer, Optilicer og Hydrolicer. Selve behandlingseenheten er imidlertid kun én av komponentene i en avluser, som i tillegg kan bestå av fiskepumpe, avsiler, fiskevender og forskjellige rørføringer. I tillegg kommer de systemene som ikke behandler fisken, men som overfører fisken til behandlingssystemer i brønnbåter eller lektene. Systemene er gjerne satt sammen på bakgrunn av oppdragsgivernes spesifikasjoner og det er per i dag ukjent hvilke deler av en avlusingplattform som påfører fisken størst belastning. Det er fra før kjent at håndtering og rørtransport, i kombinasjon med selve behandlingen, fører til redusert velferd og økt behandlingdødelighet (Bleie, 2014, Portz, 2006) ved at laksen utsettes for fysiske påkjenninger og mekanisk belastning som kan medføre økt stress og fysiske skader i form av blant annet skjelltap og åpne sår, noe den nyere tids brukserfaring med mekaniske avlusingssystemer indikerer. I tillegg til at systemene er satt sammen av mange komponenter, er en fortsatt i en utprøvningsfase for mange av systemene, og dette fører til at mange avlusingssystemer modifiseres kort tid etter at de har blitt tatt i bruk.

Redusert velferd og økt behandlingdødelighet etter mekanisk avlusing tyder på at det oppstår flere hendelser under pumping, rørtransport og behandling som, kombinert med trenging, skader og svekker fisken. Mattilsynet fikk i 2018 inn 1036 meldinger om velferdsmessige hendelser der hele 60% var knyttet til medikamentfri avlusing (Hjeltnes et al., 2018). Det rapporteres av fiskehelsepersonell at 36% "ofte" registrerer ytre skader av grad 2 og 3 (skala fra 1-3) etter medikamentfri avlusing, mens tilsvarende tall var 42% for "av og til". Skjelltap og hudblødninger er den vanligste skaden, men også finneskader, sår, gjelleblødninger, hodeskader og øyeskader registreres. Fiskehelsepersonell rapporterer at økt akutt dødelighet de første tre dager etter avlusing er et større problem enn økt forsinket dødelighet de første tre uker etter avlusing. Både skadene og dødeligheten som rapporteres fra felt viser at fisken utsettes for en stor belastning ved mekanisk avlusing.

Det er gjort flere studier på effekten av fiskens passering i rørsystemer og turbiner som tilhører vannkraftanlegg, og arbeidene peker på at slag fra turbinblader og effekter av bratte trykkgradienter som for eksempel turbulens og kavitasjon kan skade fisken (Pracheil et al., 2016, Brown et al., 2012, Ferguson et al., 2008, Richmond et al., 2014). En kan tolke disse studiene som en anbefaling om at fisken i minst mulig grad utsettes for støt, undertrykk og høy turbulens, og at gjennomgangsperioden er kortest mulig. Det er imidlertid ikke enkelt å måle undertrykk, støt og andre relevante hendelser gjennom rør og behandlingseenheter og det kan være vanskelig å identifisere hvor i systemene det oppstår flest hendelser. Et verktøy for dette har derfor vært etterspurt både av utstys- og lakseprodusenter og av myndighetene. Derfor er det fortsatt stort behov for mer kunnskap om effekten ny teknologi har på fisk (Føre et al., 2018), selv om en god del arbeid har blitt utført innen området, eksempelvis i prosjektene:

- Lukket ventemerde ved lakseslakterier (FHF-901162)

- Teknologi for nye datatyper og informasjon som beskriver situasjon og tilstand hos laksefisk i kommersielle merder (FHF-901184)
- Overpumping av makrell – effekt på fangstkvalitet. Sammendrag av resultater fra tokt gjennomført i 2012, 2013 og 2014 (Fiskeridirektoratet / SINTEF 6021689)
- Utvikling av beste praksis for pumping av pelagisk fisk (FHF-901257)
- Utredning av fiskevelferd ved bruk av HydroLicer (FHF-901329)
- Pumping av torsk og laks, faktorer som påvirker velferd og kvalitet (FHF-900304)

En utfordring med tidligere utført arbeid er at data er samlet inn med ulike metoder og utstyr, noe som gjør at data blir vanskelig å tolke og ikke kan sammenliknes. Det er ikke kjent at data har blitt samlet inn i ulike avlusingssystemer innenfor et systematisk, standardisert rammeverk med mål om å oppnå en dypere forståelse av fiskens "opplevelse" for et bedre fremtidig designgrunnlag.

Tidligere arbeid med sensorfiskløsninger har avdekket behov for forbedret databehandling (tilstandsestimering) for å sikre bedre nøyaktighet. Enkelte sensorløsninger leveres med innebygget tilstandsestimator (Yost, 2016), mens andre løsninger kun logger rådata (Biologging Solutions, 2016). Arbeidene har også avdekket behov for gode innpakninger som gjør det mulig å samle inn data i både helt og delvis vannfylte system.

Pacific Northwest Laboratory (Washington, USA) har utviklet en strengt tilpasset sensorfisk til bruk i Whoosh fisketransportsystem med mål om å kartlegge forholdene ved fiskens passering av turbiner eller andre hydrauliske strukturer i både USA og andre land (Deng et al., 2014).

Hensikten med KVALISYS-prosjektet har vært å etablere en metode som kan brukes til å utvikle eller modifisere systemer for føring, håndtering og behandling av fisk, slik at systemene blir mer skånsomme. Metoden innebærer ikke bruk av levende fisk i uttestingen, og er i så måte et verktøy som ivaretar 3R-målsetningen om "Replacement" (NC3RS, 2019). Innsamlingen av bevegelsesrelaterte data gjør det mulig å estimere posisjonen til sensorfisken gjennom rørsystemene i en begrenset tidsperiode. Når posisjonen er kjent, kan data som akselerasjon, hastighet, trykk og temperatur knyttes til estimert posisjon og de fysiske forhold i systemet kan adresseres gjennom å identifisere og analysere hendelser som for eksempel slag, undertrykk og vannhastighet. Dette utgjør en basis for å kvantifisere de fysiske forholdene i ulike systemer så representativt og objektivt som mulig, og på sikt forhåpentligvis bidra til at man kan si noe om hvordan et system for føring, håndtering og/eller behandling av fisk bør utformes på best mulig måte for å minimere belastning på fisken. Dette setter leverandører av utstyr til håndtering av fisk, og oppdretterne, i bedre stand til å imøtekomme myndighetenes krav til dokumentasjon av teknologi som anvendes i havbruk (Mattilsynet, 2014a, 2014b). Aktører som SalMar, Nordlaks, MOWI, Midt-Norsk Havbruk, Steinsvik og FSV m.fl. har alle vært involvert og i kontakt med SINTEF i prosjektperioden og ytret konkret interesse for en metodikk for å kvalifisere mekaniske avlusingssystemer.

## 1.2 Prosjektets omfang

Hovedmålet i KVALISYS-prosjektet har vært å utvikle en standardisert metode som kan kvantifisere fysiske forhold i ulike typer enheter for føring, håndtering og behandling av laks. Prosjektet har i den praktiske gjennomføringen tatt utgangspunkt i ulike systemer for avlusing. Arbeidet i KVALISYS har hatt følgende delmål:

- Løsning for innpakking av sensorikk i mekaniske avlusingssystemer.
- Sorterte datasett fra minst 5 ulike mekaniske avlusingssystemer.
- Generelle anbefalinger for design av fremtidige mekaniske avlusingssystemer.

## 1.3 Prosjektorganisering

Prosjektet ble ledet av seniorforsker Eirik Svendsen i SINTEF Ocean i Havbrukoperasjoner fra 1. august 2017 til 1. juli 2018, og deretter ble KVALISYS ledet av forsker Walter Caharija i SINTEF Ocean. Caharija ble involvert i KVALISYS fra begynnelsen av og hadde ved prosjektoppstarten allerede skaffet seg relevant erfaring med tidligere versjoner av SINTEF Oceans sensorfisker. Andre involverte har vært:

- Forsker Birger Venås: teknisk leder for prosjektet, ledet utviklingen av sensorfiskene.

- Ingeniør Magnus Oshaug Pedersen: hovedansvar for å bygge sensorfiskene og utvikle og vedlikeholde programvare. Deltatt på flere feltforsøk.
- Forsker Maria Nissrin Kristensen: hovedansvar for utforming og produktutvikling av sensorfiskenes innpakning og støpning.
- Seniorforsker Merete Bjørgan Schrøder: kvalitetssikring i henhold til SINTEF-gruppens kvalitetssikringssystem og støtte i prosjektledelsesprosessen.
- Trainee Siri Vassgård: deltatt på flere feltforsøk.

Flere SINTEF Ocean ansatte har støttet prosjektteamet gjennom utførelse av feltforsøk og/eller ved å dele erfaring fra tidligere aktiviteter og prosjekter i SINTEF. Dette inkluderer ingeniør Bjarne Kvæstad, og forskere Morten Steen Bondø, Torfinn Solvang og Ulf Gøran Erikson. Studenten Ole-Kristian Lie ved Institutt for teknisk kybernetikk, NTNU, ble involvert i prosjektet gjennom sommerjobb, masterprosjekt og masteroppgave. Han ble veiledet av førsteamanuensis Dr. Martin Føre.

Referansegruppen til prosjektet per i dag består av: Bjarne Johansen (Nordlaks), Henrik Trengereid (MOWI) og Inge Fossen (Stranda Prolog). Henrik Trengereid og Inge Fossen ble med i referansegruppen til KVALISYS siden 12. mars 2019, etter at tidligere medlem Stian Aspaas sluttet hos MOWI og tidligere medlem Merete Bjørgan Schrøder sluttet i NRS. Kontaktpersoner i FHF for KVALISYS prosjektet er Kjell Maroni, Sven Martin Jørgensen og Eirik Sigstadstø. SINTEF Ocean vil takke referansegruppen, FHF og industrideltakerne som har stilt sine system for mekanisk avlusing til disposisjon, for engasjert deltagelse i prosjektet.

## 2 Problemstilling og formål

### 2.1 Prosjektets effektmål

Industrideltakerne som har stilt sine system for mekanisk avlusing til disposisjon, har fått unik kunnskap om hvilke forhold fisken utsettes for gjennom deres systemer. Dette kunnskapsgrunnlaget vil bidra i arbeidet med dokumentasjon overfor myndigheter, og som basis for eventuelle modifikasjoner og videreutvikling. Kunnskapen kan også gi operatørene mulighet til å lære eget utstyr og kjenne og avdekke årsak/virkning sammenhenger, noe som allerede på kort sikt kan bidra til å redusere stress, skader og behandlingsdødelighet.

### 2.2 Prosjektets resultatmål

Analyse av datasettene som er samlet inn har resultert i generelle informasjon som kan anvendes i design av fremtidige system, noe som også vil være til nytte for havbruksnæringen forøvrig. Resultatene fra prosjektet vil også være viktige i arbeidet med å svare på Mattilsynets krav om dokumentasjon i forhold til bruk av metoder, utstyr, teknologi mv i akvakultur (Veileder om fiskevelferd ved bruk av metoder, utstyr, teknologi m.m. i akvakultur).

## 3 Prosjektgjennomføring

KVALISYS har utviklet utstyr og målemetodikk for innsamling av data relatert til fysiske forhold gjennom rørsystemer, pumpesystemer og avlusingsenheter. Dataene ble samlet inn, behandlet og prosessert for omsetting til informasjon som karakteriserer de nyeste versjonene av ulike systemer og enheter. Informasjonen analyseres med mål om å komme fram til generelle anbefalinger for design. Arbeidet pågikk i tre delaktiviteter (DA):

DA1: Metodeutvikling

DA2: Datainnsamling og -behandling

DA3: Dataanalyse og generelle anbefalinger for design av avlusingssystem



### 3.1 Metodeutvikling [DA1]

#### 3.1.1 Innpakning av sensorikk

Arbeidet bestod av en bakgrunnsundersøkelse og kartlegging av eksisterende teknologi. Flere løsninger ble vurdert, blant annet død fisk utstyrt med sensorikk og oppdriftsnøytrale sensorpakker. Oppdriftsnøytrale sensorpakker ble valgt siden de er pålitelige, rimelige og enkle å vedlikeholde. De gir og mulighet til å måle så likt som mulig hver gang, så man oppnår et objektivt og sammenlignbart grunnlag for alle typer rørsystemer og avlusingsenheter. De kan dessuten sendes med vannstrømmen gjennom helt eller delvis vannfylte rørsystem og kan støpes i mykt polyuretan. En workshop med relevante aktører fra både industri og myndigheter ble arrangert tidlig i februar 2018 der ideen om å bruke oppdriftsnøytrale sensorpakker ble støttet.

#### 3.1.2 Metoder for systemdokumentasjon og posisjonsbestemmelse

Seksjonering av anlegg i enklere enheter og posisjonsmåling er fundamentalt for å kvantifisere mekanisk last i hver eneste enhet og sammenligne forskjellige behandlingsmaskiner. GPS-basert oppmåling er ikke mulig i avlusingsystemer på grunn av vannfylte stålrør og stålkonstruksjoner. Seksjonering og posisjonsmåling gjøres i stedet ved å utstyre sensorfiskene med magnetometre og ved bruk av magnetbånd. Magnetbånd monteres rundt rørene på bestemte punkter og de sørger for at man får et utslag i magnetometermålingene når sensorfiskene går gjennom røret. Ved å sammenstille data fra magnetometeret med akselerasjons-, trykk-, og temperaturmålingene kan man identifisere målingene i forskjellige seksjoner av anlegget. Nye magnetbånd ble utviklet med hensyn til: fleksibilitet (forskjellig rørdiameter som krever at magnetene må flyttes langs båndet), kostnad og funksjonalitet (det skal være enkelt å montere og demontere et magnetbånd).

Fokus ble også satt på automatisk datahåndtering og analyse i etterkant av forsøk, slik at dokumentasjon kan genereres umiddelbart av objektive vurderingsalgoritmer og med minimalt bidrag fra operatøren.

#### 3.1.3 Metodikk og alternativer for belastningsmålinger

I workshopen som ble arrangert i februar 2018 var det overordnende målet å diskutere og definere hva sensorfiskene bør måle. Ideer og argumenter fra workshopen ble tatt videre og det ble bestemt at sensorfiskene skal måle akselerasjon, trykk og temperatur. Det ble også foreslått å forsøke å lage en sensorfisk med pressfølsom overflate for å måle påførte slag og press.

#### 3.1.4 Realisering av sensorpakker

Basert på de øvrige delaktivitetene har en i prosjektet utviklet tre forskjellige sensorfisker, to som logger bevegelsesrelaterte data (Sensorfisk 1 og Sensorfisk 2), og en som er utstyrt med en pressfølsom overflate (Sensorfisk 3). De to som logger bevegelsesrelaterte data har lik instrumentering, men forskjellig vekt og størrelse, en på 3 kg (Sensorfisk 1) og en på 6 kg (Sensorfisk 2). Dette er hensiktsmessig for å kunne måle forskjeller i påkjenning ved ulik størrelse og fordi enkelte systemer er dimensjonert for mindre, eller større fisk. Sensorfisk 3 har en vekt på 6 kg og er likt utformet som Sensorfisk 2. En oversikt over instrumenteringen til sensorfiskene er å finne i Tabell 1. En mer detaljert oppsummering av instrumenteringen til Sensorfisk 1 og Sensorfisk 2 er å finne i Tabell 2.

I Sensorfisk 3 er det støpt inn en matte med 160 sensorer (Kitronyx). Sensorene er basert på et piezoresistivt prinsipp. Det vil si at den elektriske motstanden endrer seg når den blir trykket sammen. Dette er labutstyr som blant annet brukes til å tilpasse joggesko basert på fotavtrykk, evaluere dreneringskapasitet på bildekk basert på dekkavtrykk o.l. Tanken bak konseptet er at avtrykket til et slag vil kunne si noe mer enn bare akselerasjonsdata (skarp kant, impeller blad eller identifisere andre potensielt skadelige punkter i en avlusingsenhet). Ettersom dette er labutstyr, er koblingene og sensorikken ikke tilpasset et tøft marint miljø. På tross av høy risiko, ble det likevel vurdert som veldig interessant å se om konseptet kunne brukes i en sensorfisk og om data fra denne kunne gi noe ekstra informasjon utover de andre to sensorfiskene med tanke på mekanisk belastning på fisk.



Tabell 1, sammenlikning av sensorfisker og deres instrumentering.

Sensorfisk nr.	Sensorfisk 1	Sensorfisk 2	Sensorfisk 3
Vekt [kg]	3	6	6
Instrumentering	Pixhawk mikrokontroller 3 inertial measurement units (IMUs), hver med: akse akselerometer 3 akse gyroskop 3 akse magnetometer Trykkmåler Temperaturmåler	Likt som Fisk1 bare med høyere vekt	Arduino mega mikrokontroller Kitronyx pressfølsom overflate med Snowboard 2 mikrokontroller Magnetometer shield RTC - real time clock shield

Tabell 2, detaljert oversikt over instrumenteringen til Fisk1 og Fisk2.

Instrumentering for Sensorfisk 1 og Sensorfisk 2	
<b>Mikrokontroller</b>	
Navn	Pixhawk 2.1
<b>IMU</b>	
Navn	Nine-Axis (Gyro + Accelerometer + Compass) MEMS Motion Tracking Device
Sensor	MPU9250
Antall IMU	3
Toleranse akselerometer	± 3% g
Toleranse gyroskop	± 3% °/s
<b>Kombinert trykk og temperatur sensor</b>	
Navn	Bar30 High-Resolution 300m Depth/Pressure Sensor
Sensor	MS5837
Nøyaktighet ved 25 °C, 0 - 6 bar	± 50 mbar
Oppløsning	± 0.20 mbar
<b>Temperatur sensor (fast response)</b>	
Navn	Celsius Fast-Response, ± 0.1 °C Temperature Sensor (I2C)
Sensor	TSYS01
Nøyaktighet ved -5 °C < T < 50 °C	± 0.1 °C
Oppløsning	± 0.01 °C
Logger innstillinger for Sensorfisk 1 og Sensorfisk 2	
Akselerometer	1000 Hz
Gyroskop	1000 Hz
Magnetometer	50 Hz
Kombinert trykk og temperatur	50 Hz
Temperatur (Fast-response)	20 Hz

## 3.2 Datainnsamling og -behandling [DA2]

Måling i felt startet i november 2018 og frem til juni 2019 ble det utført 11 forsøk på 10 enheter (termiske avlusere, våt spyling og tørr spyling). Det ble samlet 11 komplette datasett for 10 anlegg med Sensorfisk 1 og Sensorfisk 2. Sensorfisk 3 ble testet på tre forskjellige anlegg. For å maksimere erfaringene og kunnskapsbasen om avlusingsystemene, har det i løpet av prosjektet vist seg helt nødvendig å samle data fra flest mulig avlusingsenheter som benyttes kommersielt i havbruksnæringen. Derfor er feltarbeid blitt mye mer omfattende enn opprinnelig planlagt i prosjektet.

En generell utfordring ved feltarbeidet har vært at avlusingslektene og avlusingsbåter ofte har måttet ta oppgaver på kort varsel, på forskjellige steder i landet, noe som har gjort planleggingen utfordrende. God planlegging, konkret samarbeid og åpen dialog mellom forskere og mannskap som opererer avlusingsanleggene har vært fundamentalt for å utføre målingene på mest mulig repeterbar måte og for å skaffe data med høy kvalitet. Ved gjennomføring av feltarbeidet har det vært svært viktig å involvere mannskapet i datainnsamlingsprosessen tidlig, og utarbeide klare og gjennomførbare prosedyrer og retningslinjer. En datainnsamlingsprotokoll ble definert for å sørge for at målingene ble innsamlet på den mest objektive måten. Testprotokollen består av:

1. Forberedelser av operasjonen:
  - a. Segmentere anlegget i relevante deler
  - b. Identifisere hvilke avlusingslinjer som bør studeres (vi kan utstyre maks to til tre linjer samtidig)
  - c. Identifisere hvor magnetbånd skal plasseres
  - d. Lage testmatrise
2. Input fra operatører: opplysninger rundt anlegget, bilder, overordnet P&ID
3. Møte med mannskapet og fordeling av oppgaver
4. Montering av magnetbånd
5. Kjøre sensorfiskene gjennom anlegget flere ganger i henhold til testmatrisen
6. Nedrigging og avslutning
7. Output fra SINTEF Ocean: data, grafer, enkel rapportering

Datasettene fra alle målingene ble systematisert og sortert for effektivt videre arbeid og analyse gjennom programvare som for eksempel Matlab™, Python eller Microsoft Excel™. Datasettene ble gjort tilgjengelig for DA 3 (kapittel 3.3) for analyse og informasjonsfremstilling.

## 3.3 Dataanalyse og generelle anbefalinger for design av avlusingsystem [DA3]

### 3.3.1 Dataanalyse og informasjonsfremstilling

Innsamlet bevegelsesrelaterte data inneholder mye informasjon om forholdene i systemene som ble testet. Prosessering av denne informasjonen kan fortelle mye om hendelser som oppstår i systemene og gjør det mulig å detektere slike hendelser automatisk, som eksempelvis støt. Det er også mulig å estimere posisjonen til sensorfiskene gjennom avlusingsystemene og koble dette sammen med oppdagede hendelser. Med tanke på prosjektets mål og bakgrunn (kapittel 1.1), sensorpakkens funksjoner (kapittel 3.1.4) og input fra relevante industriaktører (kapittel 3.1.3), er de følgende hendelser kategorisert som både relevante og målbare:

1. **Undertrykk og trykkendringer langs avlusingssystemet** som kombinasjon av statisk og dynamisk vanntrykk (dvs. i rørsystemet, fiskepumpen og behandlingsenheten)  
Gjennom trykkmålinger langs avlusingsystemet er det mulig å:
  - Kvantifisere hvor mye undertrykk fisken utsettes for
  - Detektere høyt varierende trykk (høy frekvens) som kan tyde på turbulens i enkelte deler av systemet
  - Estimere gjennomgangstiden til fisken i avlusingsystemet. Ved å detektere atmosfærisk trykk ser en tydelig når sensorfiskene går inn og ut av behandlingsenheten

Trykk måles med trykkmåler MS5837 i Sensorfisk 1 og Sensorfisk 2 (Tabell 2), og med pressfølsom overflate i Sensorfisk 3 (Tabell 1).

2. **Støt som oppstår ved kontakt mellom sensorfisken og utstyret i avlusingsystemet** når den treffer for eks. kanter, rørvegg, pumpedeler, turbulens osv.

Når sensorfisken pumpes gjennom vannstrømmen kan det oppstå støt når den kommer i kontakt med komponenter og når den blir utsatt for turbulens i strømmen. Betydelige, øyeblikkelige endringer i hastigheten og orientering til sensorfisken kan tolkes som en indikasjon på støt som oppstår på grunn av fysisk kontakt mellom avluserenheten og sensorfisken eller turbulens. Støtet vil resultere i en øyeblikkelig endring i hastigheten og/eller i rotasjonshastigheten, f.eks. ved at retningen endres og/eller ved at hastigheten endres på kort tid. Man kan derfor lete etter støt ved å analysere rotasjonshastigheten og akselerometermålinger fra Sensorfisk 1 og Sensorfisk 2, og data registrert av den pressfølsomme overflaten fra Sensorfisk 3. Kraftige pulser i akselerometerdata og/eller gyroskopdata kan indikere støt.

Gjennom støtdeteksjon og støtintensitetsestimering langs avlusingsystemet er det mulig å:

- Identifisere om, og hvor, sensorfisken utsettes for slag fra kanter, rørvegger, pumpedeler og turbulens
- Kvantifisere intensiteten på slagene sensorfisken utsettes for

Akselerasjon og rotasjonsrate måles med IMU MPU9250 (Tabell 2), og lokalt trykk måles med den pressfølsomme overflaten i Sensorfisk 3 (Tabell 1).

3. **Hastigheten til sensorfisken i enkelte deler av avlusingsystemet**

I de fleste avlusingsystemer er vannhastigheten en viktig settparameter som justeres med pumpehastigheten. Den avgjør, sammen med trengingsprosessen:

- Jevn strøm av fisk gjennom anlegget under avlusing
- Oppholdstiden til fisken i avlusingsystemet

Hastigheten til sensorfisken kan estimeres ved å integrere akselerasjonsmålingene etter å ha kompensert for gravitasjonskrefter og filtrert støy, eller magnetbåndpassering når man kjenner avstandene mellom båndene. Akselerasjon måles med IMU MPU9250 i Sensorfisk 1 og Sensorfisk 2 (Tabell 2).

4. **Deteksjon av magnetbånd**

Deteksjon av magnetbånd er viktig for å forstå hvor i avlusingsystemet hendelsene 1-3 har funnet sted. Seksjonering og posisjonsmåling gjøres ved å utstyre sensorfiskene med magnetometre (IMU MPU9250, Tabell 2) og ved bruk av magnetbånd. Ved å sammenstille data fra magnetometeret med akselerasjons-, trykk-, og temperaturmålingene kan man identifisere målingene i forskjellige seksjoner av anlegget.

Med tanke på at oppståtte hendelser, og omfanget av dem, må visualiseres, er presentasjon av informasjon et viktig mål.

### 3.3.2 Generelle anbefalinger for design av avlusingsystem

Målet med denne delaktiviteten var å identifisere de delene av systemene der sensorfisken utsettes for de høyeste belastningene og identifisere eventuelle fellesnevner. Resultatene viser at trykkmålingene og støttallene er repeterbare og gir muligheter for å se trykk og identifisere støt på ulike punkter.

Basert på data og informasjon samlet inn fra sensorfisken er det ikke mulig å gi noen anbefalinger for design av avlusingsystemer så lenge man ikke har kartlagt tålegrenser for fisken (trykk og støt) og korrelert støtmålingene med hva levende fisk opplever gjennom rørsystemet. Med bakgrunn i målingene og hendelsene definert i 3.3.1 er det beskrevet noen generelle observasjoner med tanke på undertrykk, antall støt og oppholdstid i kapittel 5. Deltagende bedrifter i prosjektet har selv brukt resultater fra målinger med sensorfisk i forbedring av egne systemer.

## 4 Resultater og diskusjon

Kapitlet oppsummerer resultatene fra prosjektet for Sensorfisk 1 og Sensorfisk 2 (Tabell 2), og sensorfisken Sensorfisk 3 med pressfølsom overflate (Tabell 1). I den praktiske gjennomføringen ble det tatt utgangspunkt i ulike systemer for avlusing, men sensorfisken kan benyttes på alle former for fiskeføring gjennom rørsystemer.

### 4.1 Resultater fra Sensorfisk 1 og Sensorfisk 2

Resultatene som presenteres i dette kapitlet er basert på algoritmene utviklet for å detektere hendelser av interesse med Sensorfisk 1 og Sensorfisk 2:

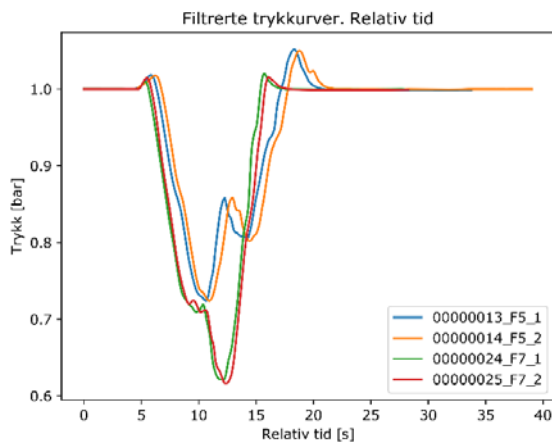
1. **Trykkhendelser**, hendelser som oppdages basert på trykk
2. **Støthendelser**, hendelser som oppdages basert på gyroskop og akselerometer-data

Blant resultatene har trykkmålingene og støttallene vist seg som mest repeterbare og gir muligheter til å se på trykkprofilen i systemet og identifisere støt på ulike punkter. Deteksjon av magnetbånd er viktig for å forstå hvor i avlusingssystemet hendelsene 1-2 har funnet sted. Ved å montere magnetbånd rundt rør og detektere utslagene i magnetometer-data, er det mulig å bestemme når sensorfisken passerer gitte punkter i håndteringssystemet.

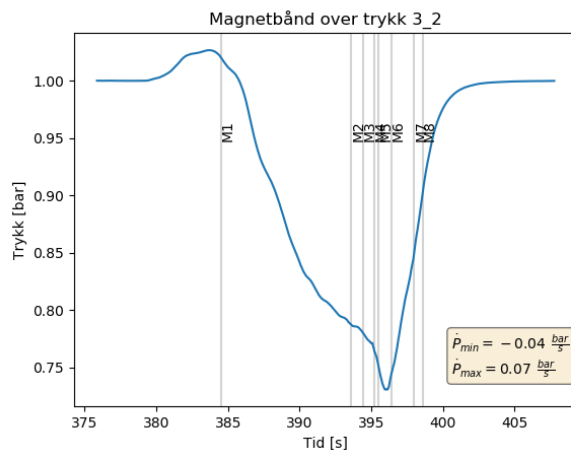
### 4.1.1 Trykkehendelser

Trykkprofilen i Figur 1 er en typisk profil fra et rørsystem med ejektorpumpe. Sensorfisken mates inn i sugeslangen og man kan se et lite overtrykk i det sensorfisken blir dykket ned i vannet ved hjelp av en håv. Sensorfisken utsettes for gradvis økende undertrykk (lavere enn atmosfærisk trykk) i det den suges opp av vannet og inn mot pumpeinnløpet. Undertrykket i systemet er i stor grad bestemt av sugehøyden til pumpa (pumpas elevasjon i forhold til vannspeilet i sjøen) hvor en 1 meter sugehøyde tilsvarer en trykkdirfferanse på ca. 0.1 bar. Trykktap i rørsystemet vil også bidra til en viss grad og vil øke med økende strømningshastighet. Overtrykk (høyere enn atmosfærisk trykk) vil igjen være avhengig av pumpehøyde på utløpet av pumpe.

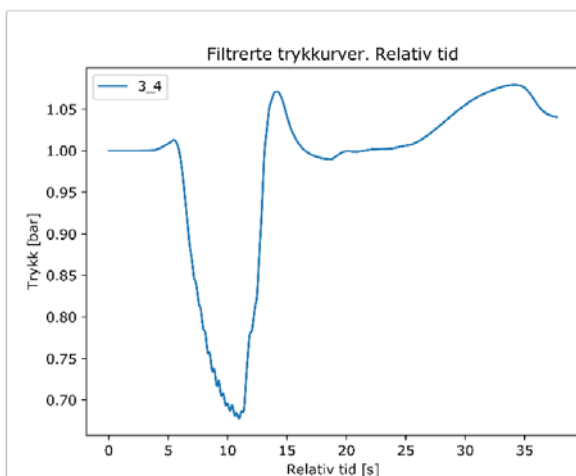
Ved å filtrere trykkmålingene får man en bedre oversikt over trykkprofilen i systemet (Figur 1 viser filtrerte data mens Figur 7 viser rådata). Dette gjør det enklere å sammenligne trykkprofilene ved forskjellige innstillinger. Figur 1 viser gjennomkjøring av sensorfisk i et avlusingsystem med to forskjellige linjer, med ulik pumpekonfigurasjon. Man kan tydelig se forskjellene i trykkprofilen ved de forskjellige konfigurasjonene. Man ser samtidig at repeterbarheten på målingene er god ved at gjennomkjøring med samme konfigurasjon gir sammenlignbare resultat.



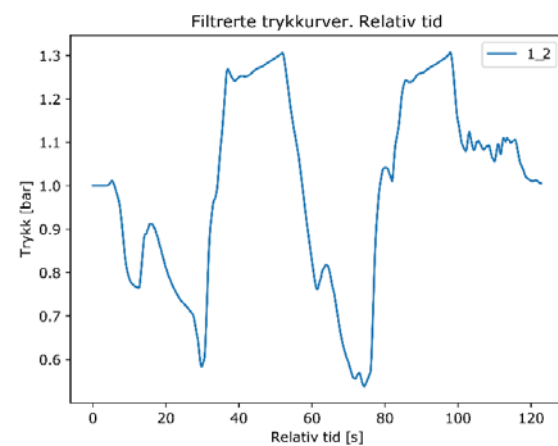
Figur 1, trykkprofiler fra forskjellige gjennomkjøringer av sensorfisk med ejektorpumpe



Figur 2, magnetbånddeteksjon over trykkprofil



Figur 3, filtrert trykkprofil for et avlusersystem med impellerpumpe



Figur 4, filtrert trykkprofil fra avlusersystem med vakuumpumpe.

Kurvene visst i Figur 1 viser to gjennomkjøringer i to forskjellige linjer: linjene har identisk utforming bortsett fra at den ene linjen (F5\_1 og F5\_2) har tre ejektorpumper, mens den andre linjen har (F7\_1 og F7\_2) to ejektorpumper. Kurvene kan ikke sammenlignes direkte da vannstrømmen har forskjellig hastighet i de to tilfellene, men figuren illustrerer muligheten man har til å manipulere trykkurve ved å fordele trykket over flere pumper eller plassering av pumper om trykkurven skulle ha noe å si for fiskevelferden.

Ved å legge magnetbånddeteksjonen over trykkprofilen (Figur 2), får man oversikt over hvor i systemet sensorfisken befinner seg ved de forskjellige trykknivåene, og hva slags trykk fisken opplever i de forskjellige delene av systemet. Dette kan være nyttig dersom man er spesielt interessert i å hente ut data fra et spesifikt område i systemet.

Det kan være av interesse å undersøke endringen i trykk over tid (tidsderiverte). Da trykkmålingene inneholder en del støy, kan det være vanskelig å hente ut den tidsderiverte direkte fra målingene. Ved å filtrere trykkmålingene kan man få tilgang til en støyreduert måling av den tidsderiverte. Man kan fra dette lese hvor i systemet trykkendringen er størst/minst (Figur 3 og Figur 4).

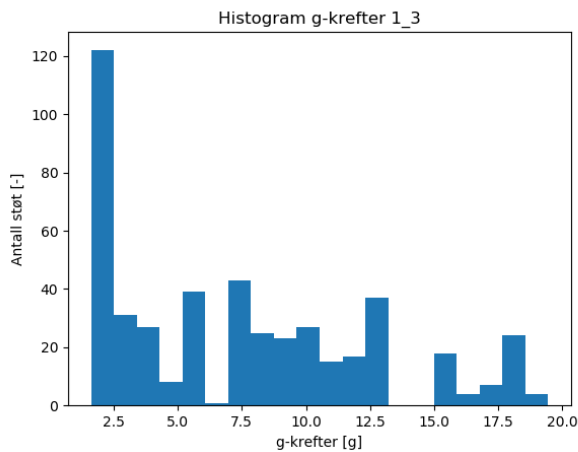
Det er i hovedsak 3 typer pumper som benyttes i avlusingsystemer i dag: ejektorpumper, impellerpumper og pumper med vakuumpumpe. Sammenligner man Figur 2, Figur 3 og Figur 4, som viser trykkprofiler til avlusingsystemer med forskjellige pumpetyper, ser man vesentlige forskjeller i trykkprofil, både når det gjelder minimum- og maksimumtrykk og graden av endring i trykket. Det er vanskelig å konkludere med effekter av forskjellige pumpetyper da det er flere parametere som påvirker trykkurven (elevasjon av rør og pumpe, antall pumper, strømningshastighet, rørdimensjon osv). Dersom det viser seg å være en sammenheng mellom trykkprofil og fiskevelferd, vil disse resultatene kunne gi en indikasjon på hvilket avlusingsystem som er best egnet med tanke på trykk.

Ved flere anledninger ble observert at sensorfisken gikk flere runder i impellerpumpen, eller ble liggende igjen i flere sykluser i vakuumpumpen. Om dette også skjer med levende fisk under en reell operasjon er ukjent. Denne problemsstillingen er ikke relevant for ejektorpumper fordi systemet baseres på gjennomstrømming. En utfordring ved bruk av sensorfisk i flere ejektorbaserte systemer, er at sensorfisken i noen tilfeller satte seg fast, spesielt når den ble ført baklengs inn i systemet. Ejektorpumpesystemer suger vann enten direkte fra sjøen (tilsetter vann) eller fra nedstrøms del av hovedlinja (internsirkulasjon). En sannsynlig årsak til at sensorfisken setter seg fast er at ved systemer med internsirkulasjon treffer bakkant av sensorfisken en kant i risten som dekker avsugget, stopper opp og suger seg fast. Det er ukjent om dette gjelder levende fisk, siden levende fisk har lavere friksjon enn sensorfisken og ingen butte kanter.

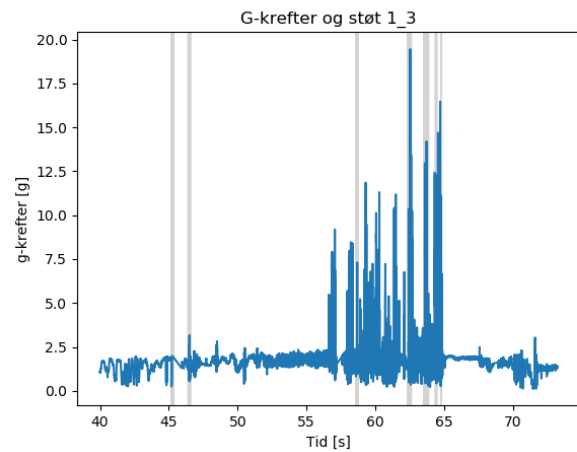


## 4.1.2 Støthendelser

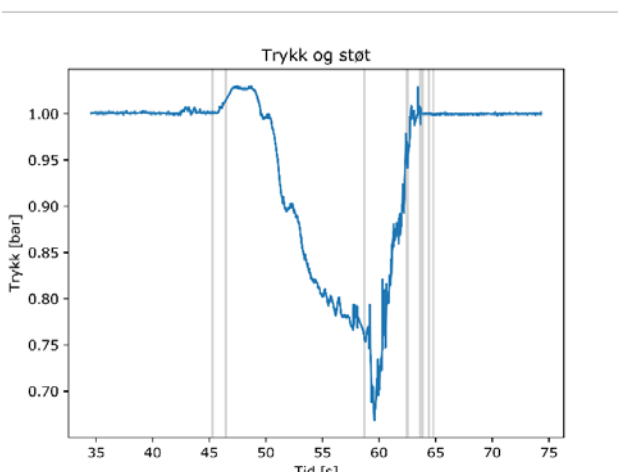
Figur 5 og Figur 6 viser registrerte g-krefter over tid hentet fra akselerometeret. Støtanalysene kan legges over akselerometerdata eller trykkprofilen slik at man kan se sammenhengen med mulige støt. De grå, vertikale linjene i Figur 6 og Figur 7 indikerer mulige støt. Figur 5 viser et histogram over registrerte antall støt av en viss kraft sensorfiskene har opplevd i løpet av en gjennomkjøring. Støt er her definert som alle hendelser der normen til akselerasjonsvektoren (x,y,z-retning) overstiger en viss terskelverdi. Akselerasjonsvektoren er ikke kompensert for gravitasjon, noe som innebærer en usikkerhet i dataene på  $\pm 1g$ . Det har liten verdi å se på absoluttverdiene (g-krefter) i akselerasjonsmålingene da dette er hva sensorfiskene (stiv struktur med fast overflate) registrerer og på ingen måte nødvendigvis viser det samme som levende fisk (fleksibel struktur med myk overflate og mulighet til å posisjonere seg i forhold til rørveggen) opplever. G-krefter, slik de måles i sensorfiskene, er i tillegg stort sett slag/støt på lokaliserte punkter i et veldig kort tidsrom, og ikke g-krefter påført over lengre tid slik de oppleveres i et jagerfly, for eksempel.



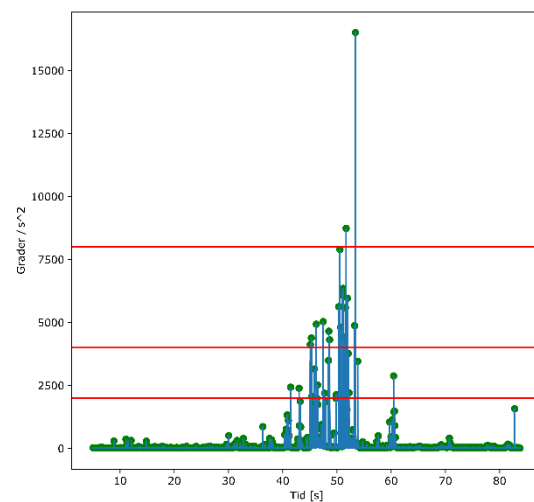
Figur 5, histogram med g-krefter og antall hendelser



Figur 6, opplevde g-krefter i sensorfisk. Grå, vertikale linjer markerer støt av en viss alvorlighetsgrad. Målinger hentet fra akselerometer



Figur 7, støt (grå vertikale linjer) plottet over en ufiltrert trykkprofil (rådata)



Figur 8, støtdeteksjon basert på målinger fra gyroskop. Røde horisontale linjer indikerer ulike alvorlighetsgrader av støt

Resultatene viser tydelig at "rene" rørstrekk gir få utslag (Se Figur 6 og Figur 7 og mellom 47 og 57 sekunder), og at det er rundt hovedutstyr som pumper, spylere, avsilere, røragreininger/kanter o.l. at støt registreres (Se Figur 6 og Figur 7 mellom 57 og 65 sekunder). Strømningshastighetene i systemene er relativt lave (i størrelsesorden 1.5-2.5 m/s) og akselerasjonsmålingene gir dermed lite utslag på grunn av sentripetalakselerasjon i bend. Det er ikke observert mye støt i bend, men dette var heller ikke forventet da sensorfisken er tilnærmet oppdriftsnøytral og sannsynligvis følger vannstrømmen så lenge den får flyte fritt.

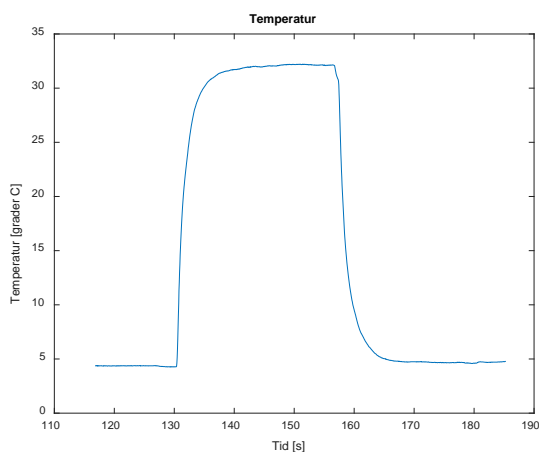
En kan også lete etter støt ved å analysere data fra gyroskopet i sensorfisken (Figur 8). Her detekteres mulige støt ved å se på endringen i rotasjonsakselerasjonen. De røde linjene i Figur 8 indikerer ulike tenkte alvorlighetsgrader av støt. Terskelverdien som er benyttet i figurene er fritt valgt for å illustrere metoden, men bør i videre arbeid linkes opp mot fiskevelferd ved å korrelere sensorfiskmålinger til hva levende fisk opplever, samt kartlegge hvilke tålegrenser fisken har med tanke på støt. Det er nødvendig å utforske dette videre dersom en skal etablere grenser med tanke på fiskevelferd.

### 4.1.3 Posisjon og hastighet

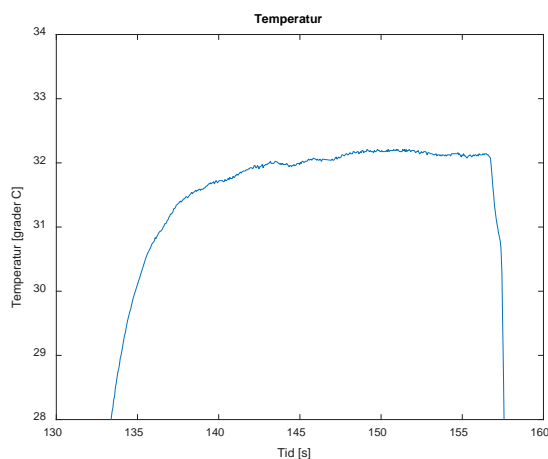
Sensorfiskkonseptet benytter magnetbånd for posisjonsmåling. Ved å måle avstand mellom båndene kan man regne ut snitthastighet mellom båndene basert på magnetometermålingene. Dette gir en robust, men lavopløselig metode for å estimere hastighet. Om fisken bremses opp (støt) mellom to magnetbånd, vil dette bare registreres som lavere snitthastighet i magnetbåndintervallet. En annen metode for å estimere hastighet og posisjon er å benytte akselerasjonsdata. Sensorfisken måler akselerasjon i alle plan, og ved å integrere lineær akselerasjon skal man i prinsippet kunne estimere både hastighet og posisjon til sensorfisken. Utfordring med akselerasjonsmålinger er at denne inneholder en gravitasjonskomponent (1 g), støy og måleusikkerhet. Det ble gjort flere forsøk på å korrigere målingene for gravitasjon og systematiske feil, men uten at dette ga bedre resultater enn magnetbåndmålinger. Hensikten for å estimere posisjon er å relatere hendelser til posisjon i systemet på en bedre måte enn dagens magnetbåndsbaserte metode. Dette er noe som bør vurderes i videre arbeid.

### 4.1.4 Temperatur

Sensorfisken har også mulighet for å måle temperatur. Figur 9 viser en temperaturprofil gjennom en termisk avluser. Ut ifra figuren kan man se at sjøtemperaturen under forsøket var ca. 5°C og behandlingstemperatur var ca. 32°C. Å måle temperaturgradienter kan være utfordrende da de fleste sensorer baserer seg på en viss termisk masse som må varmes opp før man får respons. Sensorfisken har benyttet en "fast-response" sensor fra Blue Robotics med en oppgitt responstid på 3 sek fra 25°C til 75°C. Som visst i , bruker sensoren noe tid til å oppnå stabil temperatur så eventuelle gradienter (temperaturvariasjoner i behandlingsvannet) vil sannsynligvis bli filtrert bort. Målingen gir uansett en god indikasjon på eksponeringstid i varmtvann og kan benyttes for å justere innstillinger for å tilpasse dette. Basert på Figur 10 kan man se at oppholdstiden i varmtvannet var ca. 25-30 sekunder for sensorfisken. For videreutvikling av sensorfisken bør man vurdere om en enda raskere sensor vil gi bedre data eller om dagens løsning er tilstrekkelig.



Figur 9, temperaturprofil i termisk avluser



Figur 10, utsnitt temperaturprofil i termisk avluser

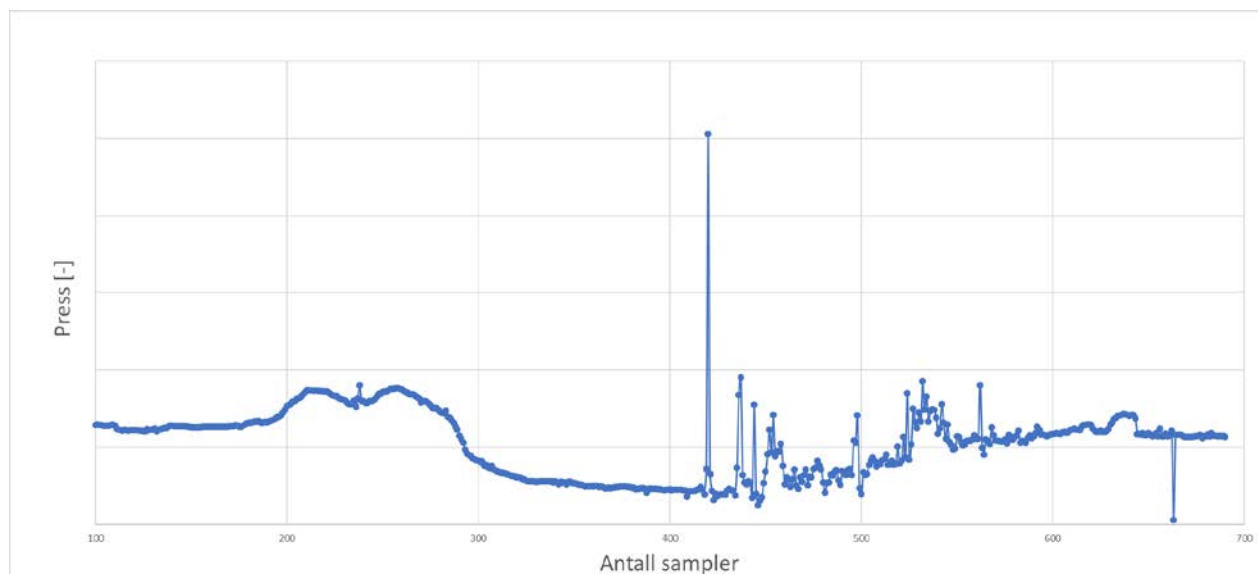
## 4.2 Resultater fra Sensorfisk 3 med pressfølsom overflate

Sensorfisk 3 med pressfølsom overflate ble testet i mekaniske avlusingsenheter ved to tilfeller før en svakhet ved koblingen mellom sensor og datainnsamlingsenhet brøt sammen. Den følsomme overflaten er innstøpt i fisken og ny, komplett fisk må støpes om man får feil på sensoren. Designutvikling er en iterativ prosess og krever ofte at det tas et steg tilbake for å justere og tilpasse utstyr.

Figur 11 viser et resultat fra en gjennomkjøring i et ejetorpumpesystem. Kurven viser akkumulert trykk (summen av respons fra alle 160 sensorer) som en tidsserie. En observasjon er at sensitiviteten til sensoren er tilstrekkelig høy til at vanntrykket gjennom avluseren kan leses av som den underliggende formen på kurven. Fra måling (sample) 400 og utover kan en se større variasjoner i press, noe som indikerer at sensorfiskene får flere slag. Dette stemmer bra med at det er i dette området pumper og spylere er montert. Flere av toppene vist i Figur 11 skyldes dårlig kontakt mellom enkeltsensorer og må derfor anses som støy. Basert på utfordringer nevnt nedenfor, ble det besluttet å ikke redesigne Sensorfisk 3 og heller fokusere på de to andre konvensjonelle sensorfiskene (Sensorfisk 1 og Sensorfisk 2).

Testene viser at konseptet med pressfølsom overflate i en sensorfisk kan fungere, men vil kreve et omfattende redesign. Det er flere utfordringer med utvikling av sensorfisk med pressfølsom overflate som bør tas i betraktning ved en eventuell videreutvikling:

- Når matten støpes inn i fisken vil den bli utsatt for press i varierende grad. Hver sensor bør nullpunktjusteres og den ulineære karakteristikken må kompenseres.
- Form på sensorfisk bør tilpasses slik at overflaten blir mer "tønneformet" og mer eksponert for slag/press. Det er også en utfordring at matten i liten grad kan tilpasses, noe som bør diskuteres nærmere med produsent av sensormatter for å se om utfordringen kan løses.
- Sensitivitet på sensor må tilpasses formålet. En må unngå at sensoren går i metning ved større slag, men sensoren må samtidig være fintfølende nok til å registrere mindre slag.
- Samplingsraten til fisken er ca. 10 Hz, noe som er lavt. Det bør vurderes om annen type mikrokontroller vil være mer hensiktsmessig.
- Det er ikke mulig å montere matten i front av fisken da matten er flat og tuppen av fisken er kuppelformet. Tuppen av fisken er mest eksponert for slag og det bør vurderes om det finnes alternativer til matten som kan monteres i front av fisken.



Figur 11, akkumulert press (sum av 160 sensorer) gjennom mekanisk avluser. Motstand (relativ verdi) målt på y-akse.

## 5 Generelle observasjoner

Med bakgrunn i målingene og hendelsene definert i kapittel 3.3.1 er det gjort noen observasjoner med tanke på undertrykk, antall støt og oppholdstid fordelt mellom delene et avlusingsystem består av:

- [1] For **trykk/vakuumpumper** ble det observert at sensorfiskene ved flere anledninger ble liggende igjen i pumpen og ble eksponert for flere sykluser med trykk/undertrykk. Det virker som om trykk/vakuumpumper gir størst trykkgradient (størst endring i trykk på kortest tid, på over 0,5 bar, Figur 4). Det ble oppdaget støt i sensorfiskedata som tyder på at sensorfiskene treffer klaffen ved inngang i tanken. Det er uklart om dette har betydning for levende fisk, siden levende fisk kan bøyes.
- [2] I anlegg utstyrt med **trykk/vakuumpumper** som består av **2 parallelle tanker**, ble det oppdaget trykktransienter (raske trykkendringer) og støt ved tankveksling. **Lange innløpsrør** forsterker effekten ved at det trengs flere tankvekslinger for å suge sensorfiskene i tanken. Det er uklart om dette har betydning for levende fisk.
- [3] For **impellerpumpe** ble det observert at sensorfiskene ble fanget i impelleren og den ble med på flere omdreininger, før den klarte seg ut. Det mistenkes at årsaken er forskjellig lengde mellom sensorfiskene og fiskestørrelse som systemet skal brukes med. I impellerpumpene ble det oppdaget høye g-krefter.
- [4] For **ejektorpumper** er det observert lokalt lavtrykk på innløpet til pumpe. I noen systemer, og i noen tilfeller, kom ikke sensorfiskene ut og de måtte spyles ut fra innløpet, både ved riktig innmating og bakfra innmating. Det mistenkes at ujevn suging skyldes for det på grunn av for stor løfthøyde for kun en pumpe (over 2 meter), og ujevn suging kan skape bobler og kavitasjon i strømmen. Et lignende system hadde to pumper installert, og sensorfiskene kom seg gjennom. Ved å bruke to pumpe-systemer kan den nødvendige lasten som kreves for å motvirke løfthøyden og sette i gang strømmen fordeles mellom de to pumpe-systemene (Figur 1). I noen systemer, og i noen tilfeller ble sensorfiskene fanget i turbulensen i flere sekunder før de kom ut. Det mistenkes at dette skjedde på grunn høy turbulens nær ejektoren skapt av ujevn suging forårsaket av alt for sterkt sug fra ei nabolinje som ikke var i drift.
- [5] Sensorfiskedata fra anleggene som er utstyrt med **avsiler** mellom pumpe-systemet og behandlingseenhetene (ikke-helt vannfylt anlegg) tyder på støt rett etter pumpen (høyest trykk), i **kassen ved avsiling** (vannfylt kasse). Dessuten ble det oppdaget at sensorfiskene ble i kassen i flere sekunder, før den kom seg ut til silen.
- [6] Det ble oppdaget hendelser som tyder på støt i **rørsystemer** (med rørdiameter på 350 mm) som inkluderer **tre-veis ventiler**. Det er uklart hvilken betydning dette har.
- [7] Magnetbånddeteksjonen viste seg å være sensitiv for støy og det opplevdes at områder uten magnetbånd, blant annet **fisketellere**, gav utslag på sensoren.

## 6 Prosjektets betydning, hovedfunn og konklusjon

SINTEF Ocean har fått tilbakemelding om at minst to deltakere har modifisert sine systemer etter at de har fått levert målinger gjort med sensorfiskene. Dette vil si at kunnskapen skapt av KVALISYS raskt ga operatørene mulighet til å modifisere systemene basert på objektive måledata, noe som allerede på kort sikt kan bidra til å forbedre fiskevelferden ved avlusning. Den siste utviklingen i KVALISYS inkluderer dataanalysealgoritmer for å detektere hendelser av interesse som f.eks. kraftige støt. Flere aktører i næringen har vist interesse for denne type parametere.

For å få et solid datasett er det utført 11 forsøk på 10 ulike avlusingsystemer (termiske avlusere, våt spyling og tørr spyling). Det ble samlet 11 komplette datasett for 10 anlegg med Sensorfisk 1 og Sensorfisk 2, mens Sensorfisk 3 ble testet på tre ulike anlegg. Nye måledata har gitt ny innsikt i de fysiske forholdene i mekaniske avlusingsenheter og mulighet for å studere årsak/virkning-sammenhenger på en helt ny måte. Ved

å justere på innstillinger eller fysisk modifisere systemet kan man ved å sammenligne måledata før og etter endring se hvilken effekt dette har (trykk, støt, hastighet, gjennomløpstid).

Faglige leveranser i KVALISYS er beskrevet i Tabell 3. Det er i tillegg gjennomført en del aktiviteter i tilknytning til prosjektet. Disse er beskrevet i Tabell 4. Funnene i prosjektet kan oppsummeres i de følgende punktene:

- [1] Sensorfisken er et instrument som kan kvantifisere fysiske forhold i ulike typer enheter for håndtering og behandling av fisk.
- [2] Trykkmålinger og akselerasjon (støt) samles inn når sensorfisken føres gjennom systemet med vannstrømmen og gir mulighet for å måle trykk og identifisere støt på ulike punkter i enheten. Trykkmålingene og støtmålingene fra sensorfisken er repeterbare.
- [3] Prosjektet har fokusert på ulike systemer for avlusing, men sensorfisken kan tilpasses målinger i alle former for rørtransport av levende fisk.

Prosjektet kan ikke si noe om at noen avlusningsenheter er mer skånsomme enn andre med tanke på fiskevelferd eller avlusingseffekt siden biologi aspekter som trengs for å etablere de nødvendige koblinger mellom sensorfisk målingene og den biologiske responsen fra laksen så langt ikke har blitt undersøkt. Resultater fra prosjektet vil forhåpentligvis på sikt bidra til å svare på Mattilsynets krav om dokumentasjon når det gjelder bruk av metoder, utstyr, teknologi etc. i akvakultur.

## 7 Videreutvikling av sensorfiskkonseptet

For å maksimere erfaringene og kunnskapsbasen om avlusingsystemene, har det i løpet av prosjektet vist seg helt nødvendig å samle data fra flest mulig avlusingsenheter som benyttes kommersielt i havbruksnæringen. Dette har resultert i at feltarbeidet har blitt mye mer omfattende enn opprinnelig planlagt i prosjektet, men det har til gjengjeld gitt oss mer data og mer erfaring med bruk av sensorfisken. Vi ser på feltarbeidet som verdifullt både for prosjektet og for den videre utviklingen av sensorfisken.

I dette prosjektet er det blitt utviklet et verktøy for å måle støt og trykkendringer gjennom et rørsystem eller en avlusningsenhet for laks. Målingene har vist seg gjennomførbare og repeterbare på forskjellige typer systemer for håndtering av fisk. Sensorfisken er et viktig bidrag i arbeidet med å sikre fiskens velferd i behandlings- og håndteringssystemer siden den gir informasjon om hvor i systemet trykk- og støtbelastningene er, og hvilken effekt modifisering av utstyret har. En naturlig videreføring av arbeidet vil være å forsøke å knytte måleresultatene til fiskens velferd før, under og etter avlusing i slike systemer.

Det finnes store muligheter for å identifisere flere egenskaper med håndteringssystemer for fisk ved bruk av for eksempel digital signalbehandling, systemidentifikasjon, matematisk modellering og maskinlæring. Utgangspunktet kan være posisjonsestimering med bruk av magnetbånd, og Kalman filtrering av akselerometerdata med fokus på jerk-modeller (modeller basert på akselerasjonsraten). Det sees også som svært aktuelt å utarbeide nye versjoner av sensorfisken, med for eksempel kamera eller pressfølsom overflate.



## 8 Leveranser

**Tabell 3, faglige leveranser i KVALISYS-prosjektet.**

Leveranse	Beskrivelse	Status	Kommentar
[L1]	To komplette sensorpakker klare til datainnsamling i felt	Oppfylt	3 sensorpakker utviklet innom KVALISYS
[L2]	Workshop om sensorpakker (februar 2018)	Oppfylt	
[L3]	10 komplette datasett per avlusingsystem prosjektet får tilgang til	Oppfylt	Prosjektet har fått tilgang til 10 forskjellige lektre/båt per 15.06.2019, det vil si 3 avlusingsprinsipper (termiske avlusere, våt spyling og tørr spyling)
[L4]	Prosjektrapport som beskriver program- og maskinvaren utviklet i prosjektet, samt datafangst, resultater fra dataanalysen og generelle anbefalinger for design av avlusingsystem	Oppfylt	
[L6]	Populærvitenskapelig artikkel i Norsk Fiskeoppdrett eller tilsvarende publiseringskanal med tittel "Standardisert metodikk for klarlegging av forholdene for laks i mekaniske avlusere"	Oppfylt	Norsk Fiskeoppdrett nr. 12, 2017 sider 38-41
[L7]	Vitenskapelig artikkel i Aquacultural Engineering eller tilsvarende fagfelleverdert journal	01.12.2019	
[L8]	Populærvitenskapelig artikkel med resultater fra prosjektet	01.12.2019	
[L9]	Presentasjon på konferansen EAS Aquaculture Europe 2017	Oppfylt	

**Tabell 4, tilleggsaktiviteter i KVALISYS-prosjektet.**

Leveranse	Beskrivelse	Status	Kommentar
[L10]	Birger Venås, "Her var det trangt – klaustrofobi for laks i not og rør ved trenging og pumping?", TEKMAR 2018, Foredrag	Oppfylt	
[L11]	Walter Caharija, "Hvordan å teste IMM ved bruk av sensorfisk", Lusekonferansen 2019, Foredrag	Oppfylt	
[L12]	Ole-Kristian Lie "Prosessering og presentasjon av sensorfisk-data" Masteroppgave i Industriell kybernetikk, Institutt for teknisk kybernetikk, NTNU, Juni 2019	Oppfylt	
[L13]	Statusmøte ved slutten av målekampanje med relevante industrielle partnere, referansegruppen og FHF	Oppfylt	Møtet ble arrangert for å få tilbakemelding fra referansegruppen og industrien underveis
[L14]	Walter Caharija, "Bruk av sensorfisk til validering av systemer for håndtering av fisk", Aquanor 2019, Kort foredrag på forskningstorget	Oppfylt	

## 9 Referanser

- Biologging solutions**, 2016, <http://www.biologging-solutions.com/en/>
- Bleie, H.**, Skrudland, A., 2014, Tap av Laksefisk i sjø, [http://www.mattilsynet.no/fisk\\_og\\_akvakultur/fiskevelferd/tap\\_av\\_laksefisk\\_i\\_sjo\\_rapport.15430/binary/Tap%20av%20laksefisk%20i%20sj%C3%B8%20rapport](http://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskevelferd/tap_av_laksefisk_i_sjo_rapport.15430/binary/Tap%20av%20laksefisk%20i%20sj%C3%B8%20rapport)
- 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., and 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.
- Deng, Z. D.**, Lu, J., Myjak, M. J., Martinez, J. J., Tian, C., Morris, S. J., Carlson, T. J., Zhou, D., Hou, H., 2014. Design and implementation of a new autonomous sensor fish to support advanced hydropower development. *Review of Scientific Instruments*, 85(11), 115001.
- Ferguson, J. W.**, Ploskey, G. R., Leonardsson, K., Zabel, R. W., Lundqvist, H., 2008. "Combining turbine blade-strike and life cycle models to assess mitigation strategies for fish passing dams". *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65, 1568-1585, <https://doi.org/10.1139/F08-078>
- Føre, M.**, Svendsen E., Alfredsen, J. A., Uglem, I., Bloecher, N., Sveier, H., Sunde, L. M., Frank, K., 2018. "Using acoustic telemetry to monitor the effects of crowding and delousing procedures on farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*)". *Aquaculture*, 495, 757-765, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.060>
- Hjeltnes B.**, Bang Jensen B., Bornø G., Haukaas A., Walde C. S. (Eds.) (2019). Fiskehelsesrapporten 2018, utgitt av Veterinærinstituttet.
- Mattilsynet**, 2014a, Krav til dokumentasjon av fiskevelferd ved utprøving av metoder og tekniske løsninger i akvakultur, [http://www.mattilsynet.no/fisk\\_og\\_akvakultur/fiskevelferd/krav\\_til\\_dokumentasjon\\_av\\_fiskevelferd\\_ved\\_utproving\\_av\\_metoder\\_og\\_tekniske\\_loesninger\\_i\\_akvakultur.813](http://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskevelferd/krav_til_dokumentasjon_av_fiskevelferd_ved_utproving_av_metoder_og_tekniske_loesninger_i_akvakultur.813)
- Mattilsynet**, 2014b, Nye driftsformer, metoder og teknologi i akvakultur skal dokumentere god fiskevelferd før det tas i bruk, [http://www.mattilsynet.no/fisk\\_og\\_akvakultur/fiskevelferd/nye\\_driftsformer\\_metoder\\_og\\_teknologi\\_i\\_akvakultur\\_skal\\_dokumentere\\_god\\_fiskevelferd\\_for\\_det\\_tas\\_i\\_bruk.12530](http://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskevelferd/nye_driftsformer_metoder_og_teknologi_i_akvakultur_skal_dokumentere_god_fiskevelferd_for_det_tas_i_bruk.12530)
- NC3RS**, 2019, National Centre for the Replacement Refinement & Reduction of Animals in Research. Available: <https://www.nc3rs.org.uk/the-3rs>
- Nilsen, A.**, Erikson, U., Aunsmo, A., Østvik, A., Heuch, P. A., 2010, Mekanisk fjerning av lakselus "FLS avlusersystem" – test av ejektorpumpe fra Flatsestund Engineering AS. Veterinærinstituttet rapport 11 2010.
- Portz, D. E.**, Woodley, C. M., & Cech Jr, J. J., 2006, Stress-associated impacts of short-term holding on fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 16(2), 125-170.
- Pracheil, B. M.**, DeRolph, C. R., Schramm, M. P., Bevelhimer M. S., 2016. A fish-eye view of riverine hydropower systems: the current understanding of the biological response to turbine passage. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 26(2), 153–167.
- 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, ISSN 0165-7836, <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.01.007>, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165783614000095>.
- Yost**, 2016, <https://yostlabs.com/>