

2022:00208 - Åpen

Rapport

## **Bruk av lydbilde for velferdsovervåking ved operasjoner i et oppdrettsanlegg**

Fagrapport

### **Forfatter(e)**

Zsolt Volent (SINTEF), John Reidar Mathiassen (SINTEF), Kristbjörg Edda Jónsdóttir (SINTEF), Carolyn Rosten (NINA)



**SINTEF Ocean AS**

2022-02-25

# Rapport - OWITOOLS

Bruk av lydbilde for velferdsovervåking ved operasjoner i et oppdrettsanlegg

Fagrapport

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
2022:00208	302005011/FHF901594	1.0	2022-02-25

EMNEORD:	FORFATTER(E)
Hydrofoner, passiv akustikk, overvåking, fiskevelferd	Zsolt Volent (SINTEF), John Reidar Mathiassen (SINTEF), Kristbjörg Edda Jónsdóttir (SINTEF), Carolyn M. Rosten (NINA)

OPPDRAAGSGIVER(E)
FHF

OPPDRAAGSGIVERS REF.	ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
Kjell Maroni	16 + vedlegg

GRADERING	GRADERING DENNE SIDE	ISBN
Åpen	Åpen	978-82-14-07554-0

## SAMMENDRAG

Trenging og håndtering av fisk i et oppdrettsanlegg utgjør en velferdsrisiko (Svåsand m.fl., 2017). For å kunne evaluere velferdsrisikoen er det nødvendig med objektive evalueringsmetoder som også kan virke som operative og effektive verktøy under normal drift. Et mulig verktøy her er å lytte til fisken ved hjelp av hydrofoner.

For å dokumentere om lydbildet kan benyttes til å evaluere fiskens tilstand har man i OWITOOLS prosjektet i AP2 analysert lydbildet etter en trengoperasjoner i både småskala og full-skala forsøk.

Lydopptak ble gjennomført ved 3 lokaliteter under trengoperasjoner i ulik skala. Det første ble gjennomført på LetSea sitt anlegg på Dønna med trenging av 27 fisk. Det andre forsøket ble gjennomført på MOWI sitt slakteri Ulvan med trenging av små grupper på ca. 6000 fisk i deler av en slaktemerd. Det siste forsøket ble gjennomført på SINTEF ACE sin lokalitet på Rataren under en fullskala avlusningsoperasjon.

Fra forsøket på LetSea ble det oppdaget mulige svake lyder fra laksen i form av knitrelyder, disse lydene var tydelig kort tid etter avlusningen, men forsvant ca. 1 time og 34 minutter etter endt trenging. På Ulvan ble det observert en endring i spektrogrammet der lyden var kraftigst når flest laks var trengt sammen. Denne lyden ble svakere etter hvert fisken ble pumpet ut av trengevolument. I selve full-skala anlegget kom det fram en demping av lydnivået mellom 100-500 kHz når fisken ble flyttet over til den nye merden. Denne dempingen var også tydelig i kontrollmerden, men utartet seg noe annerledes. Videre arbeid med datasettet er nødvendig for å avklare hvorvidt denne forskjeller reflekterer endring i velferdstilstanden.



UTARBEIDET AV  
Zsolt Volent

KONTROLLERT AV  
Nina Blöcher

GODKJENT AV  
Merete Bjørgan Schrøder

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2022-02-23	Første versjon
1.1	2022-02-28	Kvalitetssikret
1.2	2022-03-02	Godkjent av Gruppeleder

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Introduksjon.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Prosjektgjennomføring .....</b>	<b>5</b>
2.1	Metode.....	5
2.2	Forsøk 1: LetSea .....	7
2.3	Forsøk 2: Ulvan.....	9
2.4	Forsøk 3: Rataren .....	10
<b>3</b>	<b>Resultater .....</b>	<b>11</b>
3.1	Forsøk 1: LetSea .....	11
3.2	Forsøk 2: Ulvan.....	13
3.3	Forsøk 3: Rataren .....	14
<b>4</b>	<b>Diskusjon .....</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Konklusjon videre arbeid .....</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>16</b>

## Sammendrag

Trenging og håndtering av fisk i oppdrettsanlegg utgjør en velferdsrisiko for fisken (Svåsand m. fl., 2017). For å kunne evaluere velferdsrisikoen er det nødvendig med objektive metoder som også kan virke som operative og effektive verktøy under normal drift. Et mulig verktøy her er å lytte til fisken ved hjelp av hydrofoner.

For å dokumentere om lydbildet kan benyttes til å evaluere fiskens tilstand har man i OWITOOLS prosjektet i AP2 analysert lydbildet både etter trengoperasjoner i både små-skala og full-skala forsøk.

Lydopptak ble gjennomført ved 3 lokaliteter under trengoperasjoner i ulik skala. Det første ble gjennomført på LetSea sitt anlegg på Dønna med trenging av 40 fisk. Det andre forsøket ble gjennomført på MOWI sitt slakteri Ulvan med trenging av små grupper på ca. 6000 fisk i deler av en slaktemerd. Det siste forsøket ble gjennomført på SINTEF ACE sin lokalitet på Rataren under en fullskala avlusningsoperasjon.

Fra forsøket på LetSea ble det oppdaget mulige svake lyder fra laksen i form av knitrelyder. Disse lydene var tydelige kort tid etter avlusningen, men forsvant ca. 1 time og 34 minutter etter endt trenging. På Ulvan ble det observert en endring i spektrogrammet der lyden var kraftigst når flest laks var trengt sammen. Denne lyden ble svakere etter hvert som fisken ble pumpet ut av trengevolument. I selve full-skala anlegget kom det fram en demping av lydnivået mellom 100-500 Hz når fisken ble flyttet over til den nye merden. Denne dempingen var også tydelig i kontrollmerden, men utartet seg noe annerledes. Videre arbeid med datasettet er nødvendig for å avklare hvorvidt denne forskjeller reflekterer endring i velferdstilstanden.

## 1 Introduksjon

OWITOOLS prosjektet er et samarbeid mellom SINTEF Ocean, Veterinærinstituttet (VI) og Norsk institutt for naturforskning (NINA) med mål om å utvikle teknologiske verktøy og validere biologisk betydning av tekniske målinger, for å sikre objektiv dokumentasjon av fiskevelferd ved håndteringsoperasjoner av laksefisk. Prosjektet er finansiert gjennom FHF (prosjektnummer: 901594) med oppstart 01.02.2020 og består av 4 arbeidspakker:

- AP1: Objektiv dokumentasjon av fiskevelferd ved bruk av verktøyet sensorfisk. Utføres av SINTEF Ocean, Veterinærinstituttet og NINA.
- AP2: Teknologiutvikling for visuell og akustisk sanntidsovervåkning av fiskevelferd. Utføres av NINA og SINTEF Ocean.
- AP3: Integrasjon av fysiske og biologiske data i modelleringsverktøy. Utføres av NINA og NTNU.
- AP4: Sammenstilling og kommunikasjon til sluttbrukere og administrasjon av prosjektet. Utføres av SINTEF Ocean med bidrag fra alle samarbeidspartnerne.

Dette dokumentet er delleveranse L2.1. i AP2, som har følgende leveransene:

- L2.1: Faglig rapport. Bruk av lydbilde for velferdsovervåkning ved operasjoner i et oppdrettsanlegg. (Denne rapporten)
- L2.2: Faglig rapport. Avklaringer om hastighet og visuelle parametere som velferdsindikatorer.
- L2.3: Populærvitenskapelig artikkel, for eksempel i Norsk Fiskeoppdrett. (Levert)
- L2.4: Manus til vitenskapelig publikasjon, for eksempel i Aquaculture.

Trenging og håndtering av fisk utgjør en velferdsrisiko, og denne type aktivitet har økt i de siste årene ettersom næringen har gått fra medikamentell til medikamentfrie avlusningsmetoder basert på termiske og mekaniske løsninger (Svåsand m.fl., 2017; Overton m.fl., 2018). Flere av disse metodene er tatt i bruk før effekt på fiskens velferd har blitt tilstrekkelig dokumentert. For å kunne dokumentere hvordan ulike avlusningsmetoder påvirker fiskens velferd er det nødvendig med objektive evalueringsmetoder som også kan virke 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 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 fôring (Rosten et al. 2022).

Trenging, pumping og selve avlusningsbehandlingen øker risikoen for skade på fisken og forårsaker stress (Svåsand m.fl. 2017). Dette er derfor operasjoner hvor det hadde vært ønskelig med overvåkning av velferdstilstanden til fisken, ved f.eks. bruk av lydbildet. Dessverre oppstår det mye støy rundt en avlusningsoperasjon, og det er derfor lite sannsynlig at man klarer å høre fisken under selve operasjonen. Det kan derimot være mulig å lytte til fiskens tilstand før og etter en avlusning og undersøke om lydbildet reflekterer endring i laksens tilstand. For å dokumentere om lydbildet kan benyttes til å evaluere fiskens tilstand, har AP2 i OWITOOLS prosjektet analysert lydbildet etter trengoperasjoner. For å undersøke hvorvidt det er mulig å høre om laksen er stresset etter en avlusning, har man gjennomført trengoperasjoner i småskala og i fullskala.

## 2 Prosjektgjennomføring

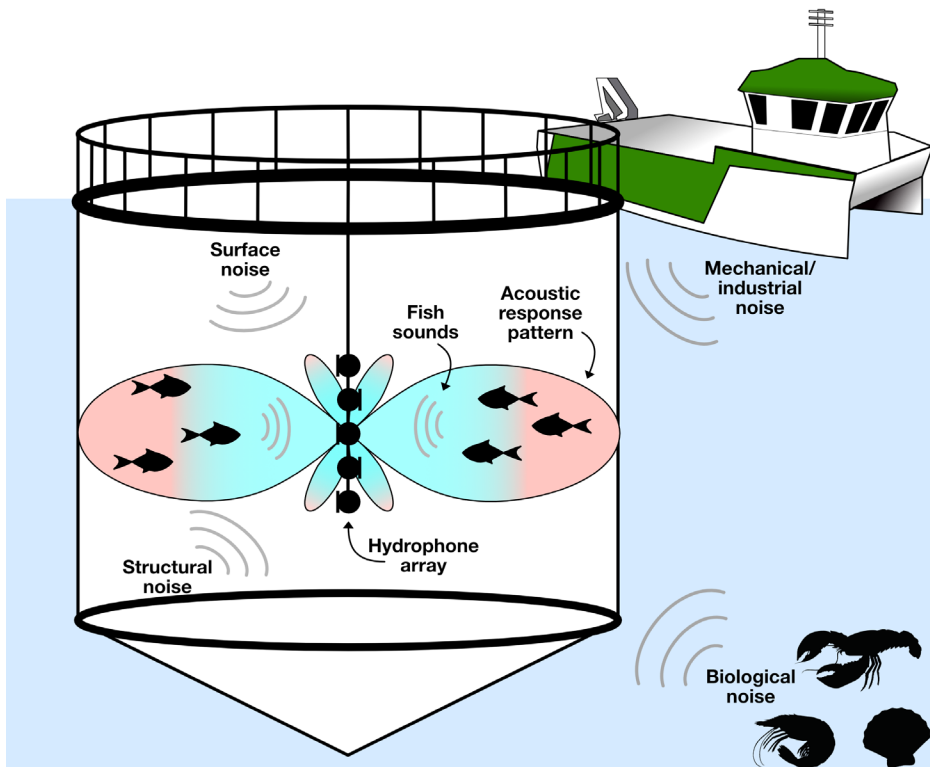
### 2.1 Metode

Det ble totalt gjennomført tre trengforsøk i prosjektet. Det første forsøket i sjø ble gjennomført 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. Her ble fisken trengt i små grupper, ca. 6000 til 10 000 fisk, før fisken ble pumpet ut 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.

Ocean Sonics icListen RB9-ETH hydrofoner ble benyttet for å ta opp lyd. For forsøkene på LetSea sitt anlegg på Dønna og på Mowi sitt slakteri på Ulvan, ble hydrofonene programmert til å ta opp lyd kontinuerlig med lagring av lydfilene hvert 10. minutt med en samplinghastigheten på  $32 \text{ kS s}^{-1}$ , som tilsvarer et frekvensområde fra 10Hz til 12,8 kHz. For full-skala forsøket på Rataren ble samplingsraten satt til  $16 \text{ kS s}^{-1}$ , som tilsvarer et frekvensområde fra 10 Hz til 6,4 kHz. Denne endringen ble gjort på grunn av varigheten til forsøkene. Samplingsraten bestemmer hvor lenge minnet holder i tid. Med en samplingsrate på  $32 \text{ kS s}^{-1}$  vil minnekapasiteten holde i 28 dager med kontinuerlig opptak, mens på  $16 \text{ kS s}^{-1}$  rekker minnet til 54 dager med kontinuerlig opptak.

Under metodeutviklingen ble det tatt høyde for at støy fra bølger, interaksjon mellom bølger/strømning og struktur, samt lyd av annen biologisk opprinnelse kunne være et problem, som illustrert i figur 1. Derfor ble det undersøkt om beamforming kunne være et alternativ, hvor man summerer lydsignalet fra flere synkroniserte hydrofoner i en hydrofon-konfigurasjon for å redusere støy. Jo flere hydrofoner i en konfigurasjon, jo mer vil støyen dempes. Avstanden mellom hydrofonene bestemmer hvilke frekvenser av støy som dempes, og hydrofonene ble derfor installert med 1 m avstand for å fungere best mulig i området 383-1530 Hz, hvor vi tidligere har observert endringer i lydbildet fra laks (Forskningsrådsprosjekt nr. 280512<sup>1</sup>). I vårt tilfelle ble det brukt 4 hydrofoner, noe som er relativt få hydrofoner.



**Figur 1. Illustrasjon av hvordan beam-forming kan brukes til å utelukke støy fra omgivelsen.**

For å teste beamforming ble det gjort et lydopptak med en hydrofonrigg som beskrevet i kapittel 2.3, med fire synkroniserte hydrofoner. Opptaket ble gjort på ACE på Korsneset, den 2. september 2020. Sammenligningen av beamforming "av" og "på", er vist i figur 2, hvor et eksempelopptak på 10 minutter er illustrert. Vi ser av figuren at det er noe støyreduksjon med beamformingen "på", i frekvensområdet cirka

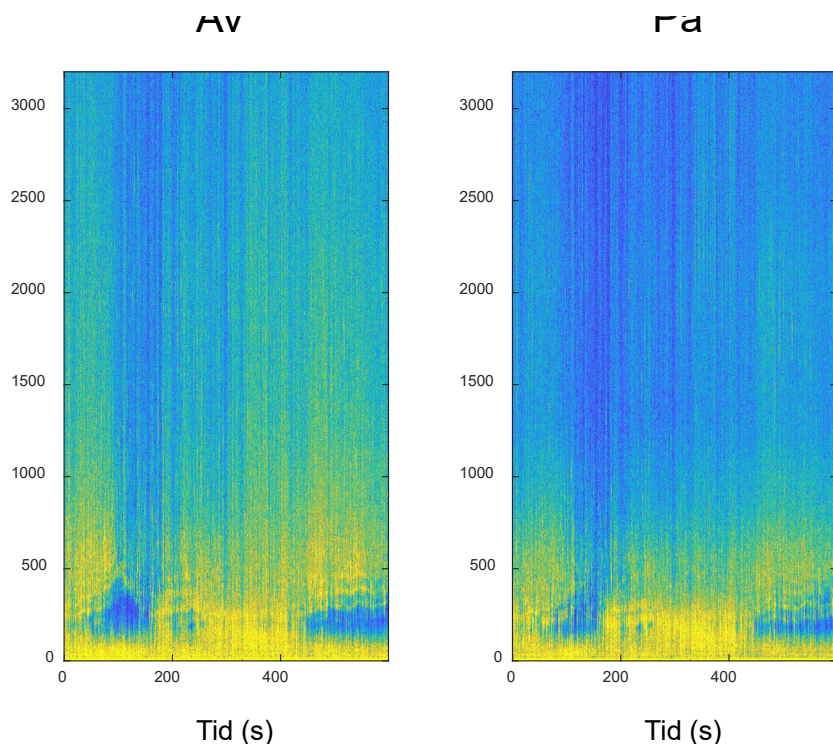
1

<https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/280512?Kilde=FORISS&distribution=Ar&chart=bar&calcType=funding&Sprak=no&sortBy=score&sortOrder=desc&resultCount=30&offset=0&Fritekst=soundwell>



400-1500 Hz, der hvor beamforming er aktiv, samt frekvenser over 1500 Hz, men frekvenser lavere enn ca. 400 Hz, så dempes ikke støyen.

Det er betydelig merarbeid å gjøre opptak og beamforming med fire synkronisert hydrofoner og det er heller ikke helt åpenbart om det er en fordel i hele frekvensområdet. Derfor ble det valgt å ikke bruke beamforming. Likevel skal det ikke utelukkes i fremtiden, at det kan være en fordel å undersøke beamforming nærmere.



**Figur 2: Eksempel på en sammenligning mellom en enkelt hydrofon på 6 m dyp (beamforming av), og sammenstilling av opptak fra 3, 4, 5, og 6 m (beamforming på).**

Siden det er mye enklere å ta opptak og bearbeide data fra en enkelt hydrofon, ble det besluttet å bare bruke en hydrofon i 6 m dyp på Rataren, uten beam-forming.

Likevel ble det i noen av forsøkene brukt flere hydrofoner for bedre å forstå lydens opprinnelse. For eksempel; dersom en lyd observeres i kun en hydrofon, så er det sannsynligvis et objekt som dunker borti hydrofonriggen, og vi kan se bort fra denne lyden. Dersom en lyd observeres i flere hydrofoner i en konfigurasjon, så er lyden interessant å studere nærmere. I forsøket på LetSea ble hydrofonene satt i en kvadratisk konfigurasjon med 1 m avstand mellom hydrofonene, mens på Ulvan ble hydrofonene satt i en rekke med 1 m avstand.

## 2.2 Forsøk 1: LetSea

Forsøket på LetSea sitt anlegg på Dønna (figur 3) ble gjennomført i samarbeid med "Salmon Insight" prosjektet (FHF 280864/E40) i perioden 03.10. – 02.11.2020. Hensikten med disse opptakene var å undersøke fiskens reaksjoner før og etter trenging i småskala. Lydbildet ble tatt opp fra en av seks forsøksmerder, merd 220. Fiskene var flyttet inn i forsøksmerdene den 3.10.2020, og fikk deretter to uker med restituering. Den 19.10.2020 ble fisken trengt. Trengingen var gjennomført stegvis med 50 minutter på lav intensitet, 50 minutter på mellom intensitet og 10 minutter høy intensitet. Deretter ble noten sluppet ned og fiskene fikk to uker med restituering frem til forsøket ble avsluttet den 2.11.2020.

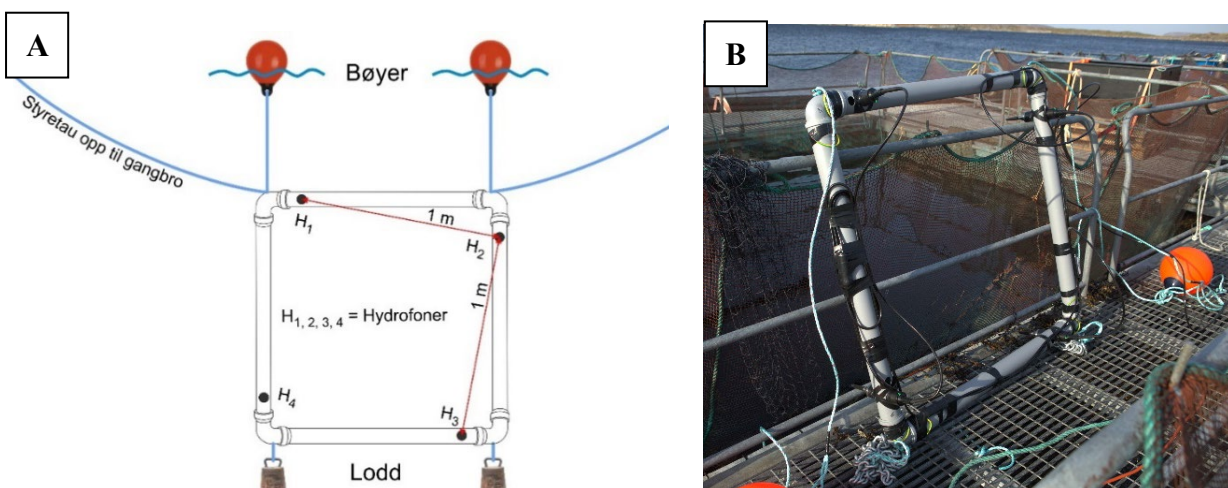




**Figur 3: LetSea lokaliteten på Dønna, 8820 Solfjellsjøen**

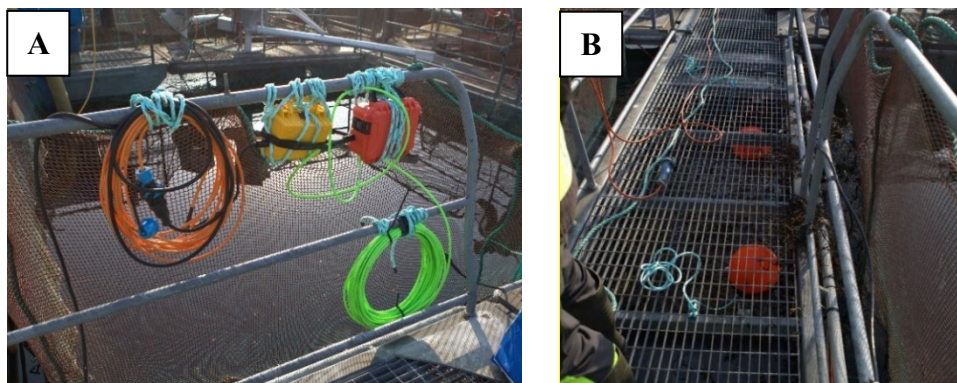
Merden var kvadratisk med sidevegger på 5 m \* 5 m og 4,3 m dype sidekanter og spissen med totaldyp på 8 m. Antall fisk i merden var 40 stk. med en gjennomsnittsvekt på 5640 g.

Hydrofonene ble montert i en kvadratisk beamforming konfigurasjon med en meters avstand til nærmeste hydrofon i kvadratet. Riggen ble forankret med 2 slakke styretau til hver side slik at riggen ikke skulle kunne vri seg. Konstruksjonen ble loddet ned av to 5 kg lodd, og holdt flytende med 2 blåser (figur 4, A). Riggen bestod av plast rør med hull til hydrofonene (figur 4, B).



**Figur 4: 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.**

Strømforsyning og synkroniseringsenheten ble festet til rekkestøtta (figur 4, A). Riggen ble plassert under gangbanen utenfor nota for at den ikke skulle være i veien under trengingsoperasjonen (figur 4, B).



Figur 5: A viser hvordan strømforsyningen (gul boks) og synkroniseringsenheten (oransje boks) ble montert, mens B viser plasseringen av riggen under gangbanen.

### 2.3 Forsøk 2: Ulvan

Forsøk på MOWI sitt slakterianlegg på Ulvan ble gjennomført den 16. april 2021 (figur 6). Hensikten med opptak fra et slakteri var å ta opp lyd fra en mellom skala trenging med et redusert omfang i forhold til fullskala. En fordel med denne tilnærmingen var at trengingen foregikk uten brønnbåt tilsted, slik at bakgrunnsstøyen ble minimal. Dette ga repetisjoner med opptak fra flere trenginger over kort tid.



Figur 6: Slaktermerden på MOWI Ulvan, Hitra. Merden var delt i to, med en «vente del» øverst på bildet og «pumpe del» nederst på bildet. Bildet viser den siste trengingen, der all resterende fisk hadde blitt samlet til pumping.

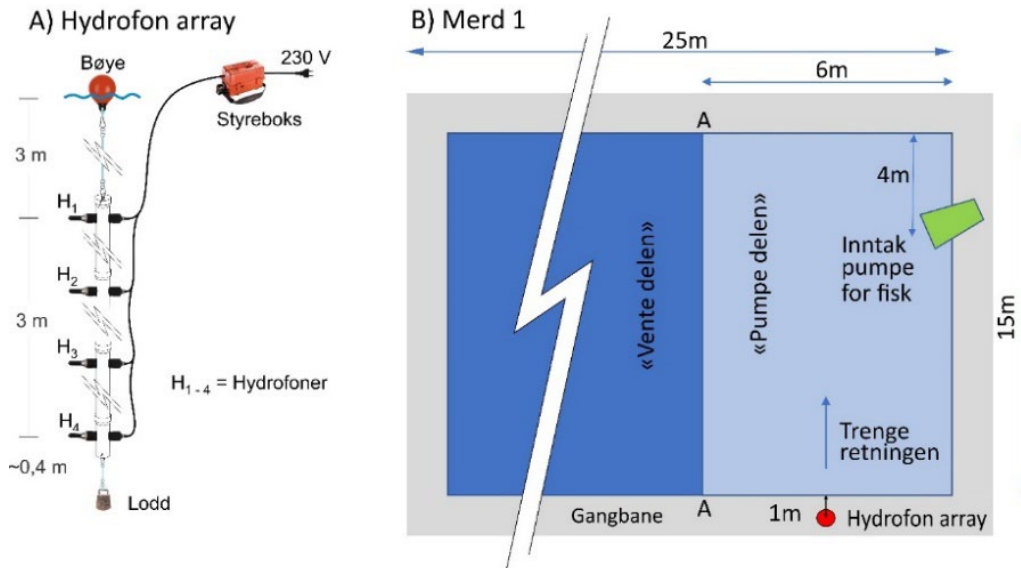
Merden var 25m lang og 15m bred med dybde på 10 m. Estimert total antall fisk var 58 351, med snittvekt 5,2 kg. Det tok 13 timer fra 02:35 UTC til 15:30 UTC for å tømme merden (tabell 1).

Tabell 1: Start og slutt tid og cirka antall fisk for hver trenging operasjon i slaktermerden på MOWI Ulvan den 16. april 2021

Tid start (UTC)	Tid slutt (UTC)	Antall fisk
02:35	03:45	6600
03:45	05:25	5900
05:25	07:20	8700
07:20	09:00	8100
09:00	11:00	9400
11:00	12:50	9500
12:50	15:30	10151

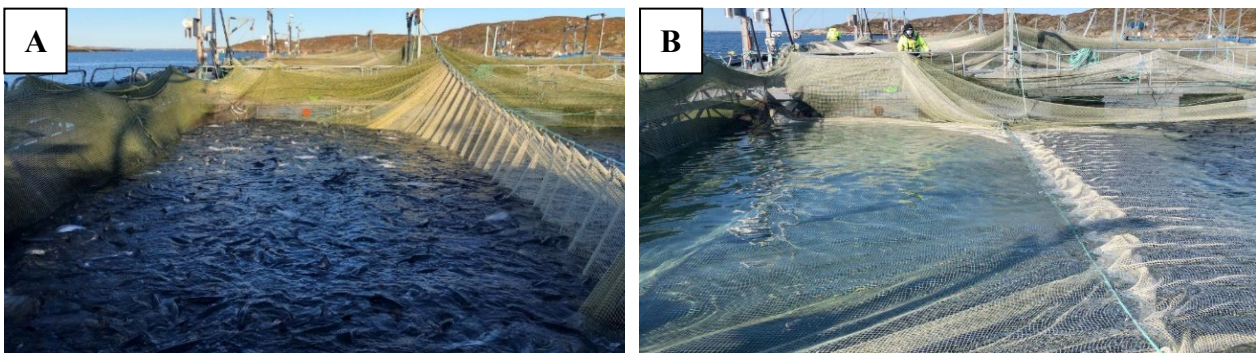


Hydrofonene var montert i en rigg konstruert av et plastrør med hull slik hydrofonene lå i horisontal stilling. Riggen ble forankret med 2 slakke styretau til hver side for at riggen ikke skulle kunne vri seg. Konstruksjonen ble loddet ned av 5 kg lodd og holdt flytende med en blåser (figur 7, A). Plassering i forhold til trengnevolum og uttak av fisken er vist i figur 7, B.



**Figur 7: Hydrofonrigg er vist i A og plassering av hydrofonriggen i merden er vist i B. Styreboksen vist i A består av strømforsyning og synkroniseringsenhet.**

Hydrofonriggen ble montert under gangbanen 1m fra slaktemerkanten. Under pumpeoperasjoner ble merden delt slik at noten ble løftet mellom punktene A-A med kulelenke (figur 7, B). Kulelenka lå ca. 6 m fra sidekanten der pumpen var plassert. Det var innenfor dette volumet at fisken ble trent. Varigheten for å tømme denne delen av merden var ca. en til to timer. Under denne perioden ble det gradvis færre fisk i trengnevolumet. Etter at volumet var tømt, ble noten sluppet ned mellom A-A, og ny fisk beveget seg inn i dette volumet. Denne operasjonen ble gjentatt 7 ganger under opptaksperioden av lyd. Trengnevolumet med posisjon av bøya er vist i figur 8.

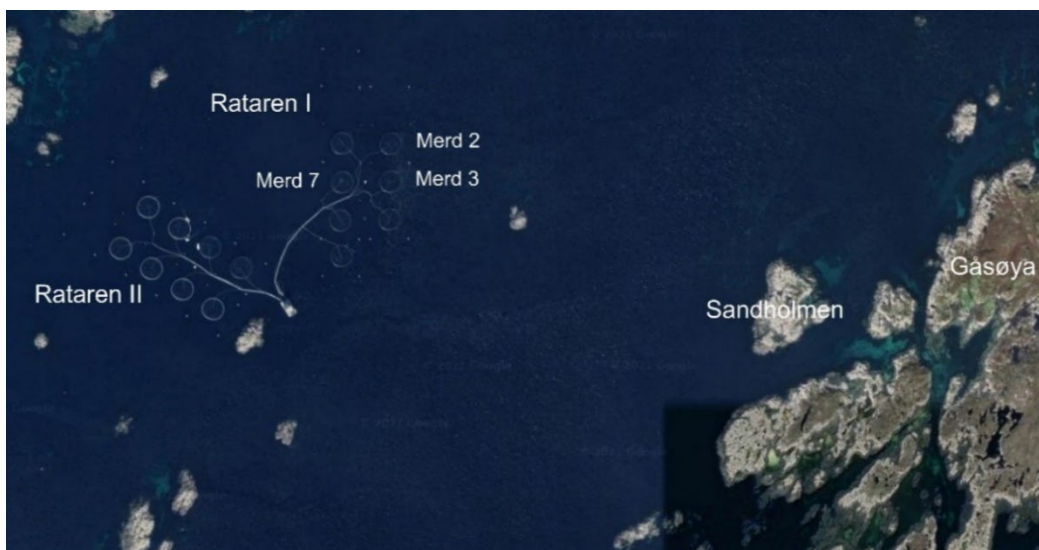


**Figur 8: Delen av slaktemerden som ble fylt opp og så pumpet tom. Den oransje blåsene hydrofon riggen henger i, vises bak noten i begge bildene. Figur A viser fullt trengnevolum, mens B viser trengnevolumet etter tømning.**

## 2.4 Forsøk 3: Rataren

Fullskalaforsøket ble gjennomført på Rataren i perioden 01.12.2021 – 06.01.2022 (figur 9) da hele anlegget skulle avluses ved månedsskiftet november-desember. En hydrofon ble satt ut i merd 3. Fisken fra merd 2 ble flyttet over til denne merden etter avlusing. Fisken ble flyttet i 2 omganger, første flytting av 346 564 kg fisk ble ferdig kl. 03:45 UTC, mens andre flytting av 265 205 kg fisk ble ferdig kl. 07:53 UTC. I tillegg til hydrofonen i merd 3, ble det satt ut en hydrofon i merd 7 som kontroll. Fisken i merd 7 ble

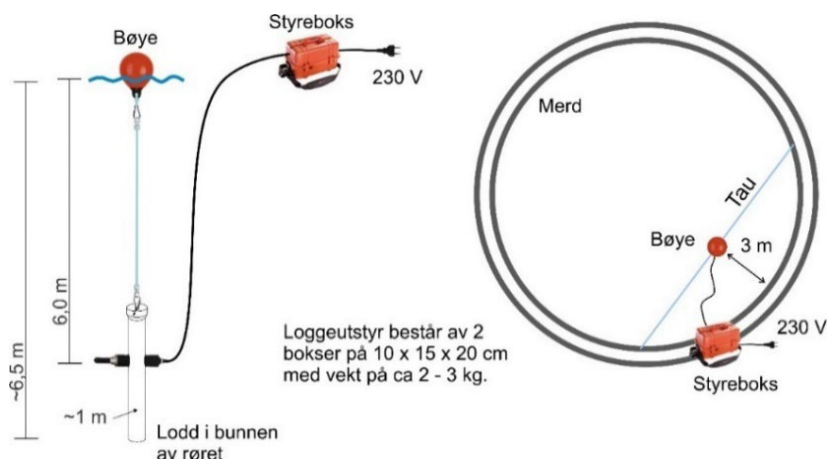
avlusset tre dager tidligere den 27.11.2022. Hensikten med kontrollmerden var å ha den som referanse for sammenligning av lydbildet observert i merd 3.



**Figur 9: Utsnitt fra "Google Maps" over SalMar/ACE lokalitet på Rataren.**

På Rataren ble det benyttet sylindriske merder med en omkrets på 157 m. Dybden på notveggen var 15 m, mens notspissen var på 32 m dyp. Skjørtet som ble benyttet var på 7 m dyp. Estimert fiskestørrelsen (1.1.2022) for merd 2 (flyttet til merd 3) var beregnet til ca. 172 500 fisk med snittvekt på ca. 3630 g og for merd 7 beregnet til ca. 177 600 fisk med snittvekt på ca. 3380 g.

Hydrofonene ble montert i rigger i begge merden som vist i figur 10. 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.



**Figur 10: Riggkonfigurasjonen i merd 3 og 7. Orienteringen av hydrofonene var mot Syd -Øst i 3, mens for merd 7 pekte den mot Syd-Vest. Styrerboksen består av strømforsyning og synkroniseringsenhet.**

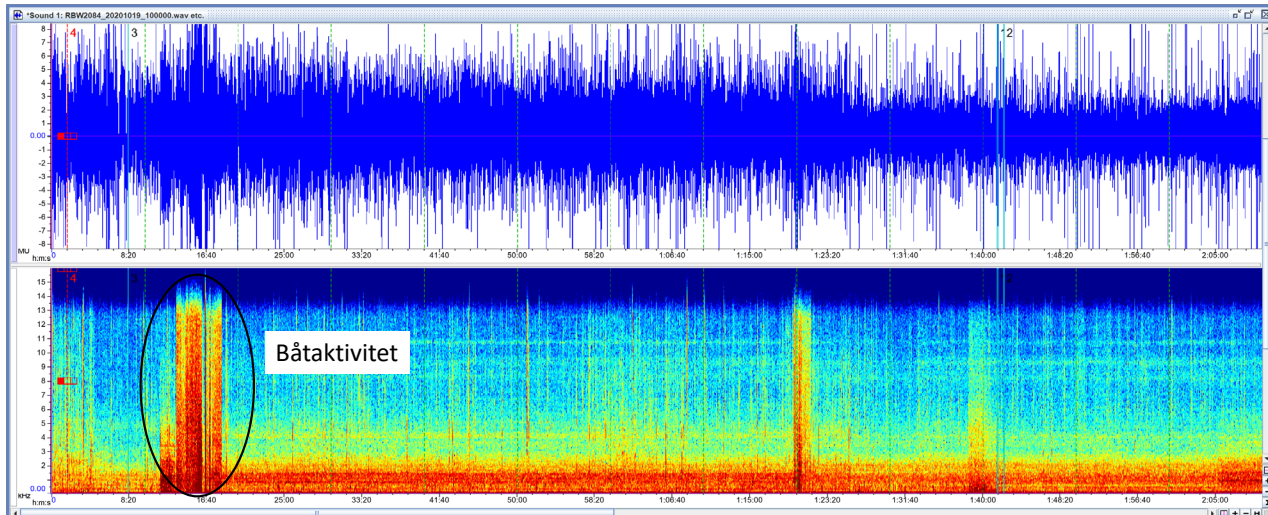
### 3 Resultater

#### 3.1 Forsøk 1: LetSea

Figur 11 viser lydbildet fra LetSea forsøket den 19.10.2021 kl. 10:00 – 12:00 UTC, altså rett etter trengoperasjon i merd 220. Nota ble sluppet ned kl. 10:03 UTC. Dataen vist i figurene under, er fra hydrofon RBW 2084 på 4 m dyp. De resterende tre hydrofonene viser samme observerte lydbilde og er ikke tatt med her.



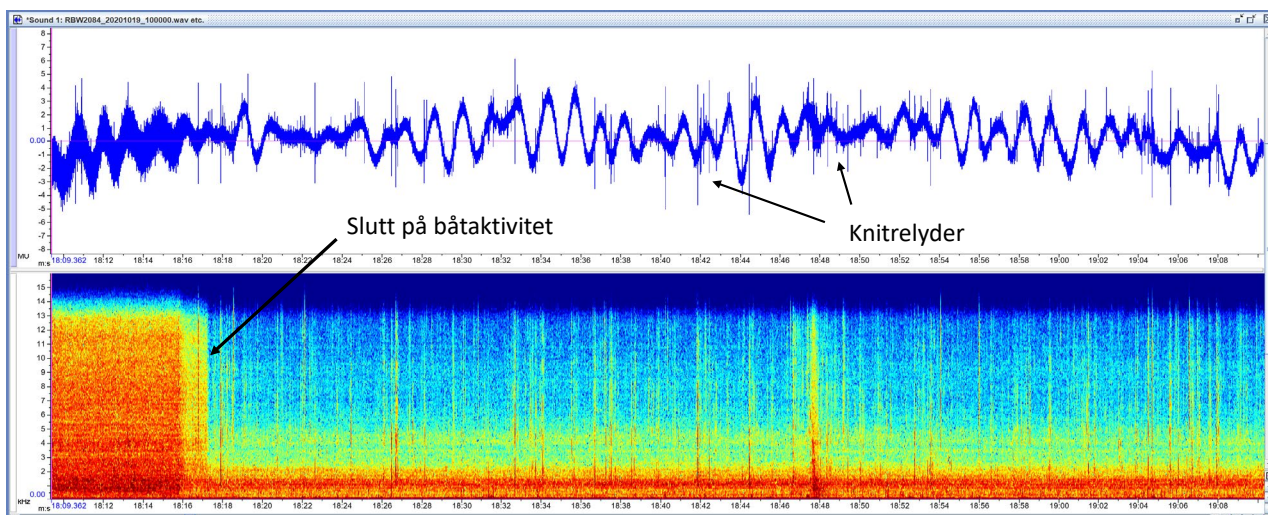
Lydfilene er forsterket 200 ganger for å fremheve mulige svake lyder fra laks. Signalplottet og spektrogrammet i figur 11 viser tydelig noen vertikale linjer. I en periode høres disse vertikale linjene ut som knitrelyder.



**Figur 11: Oversiktsillustrasjon av signalplott og spektrogram i en periode på to timer etter trengning.**

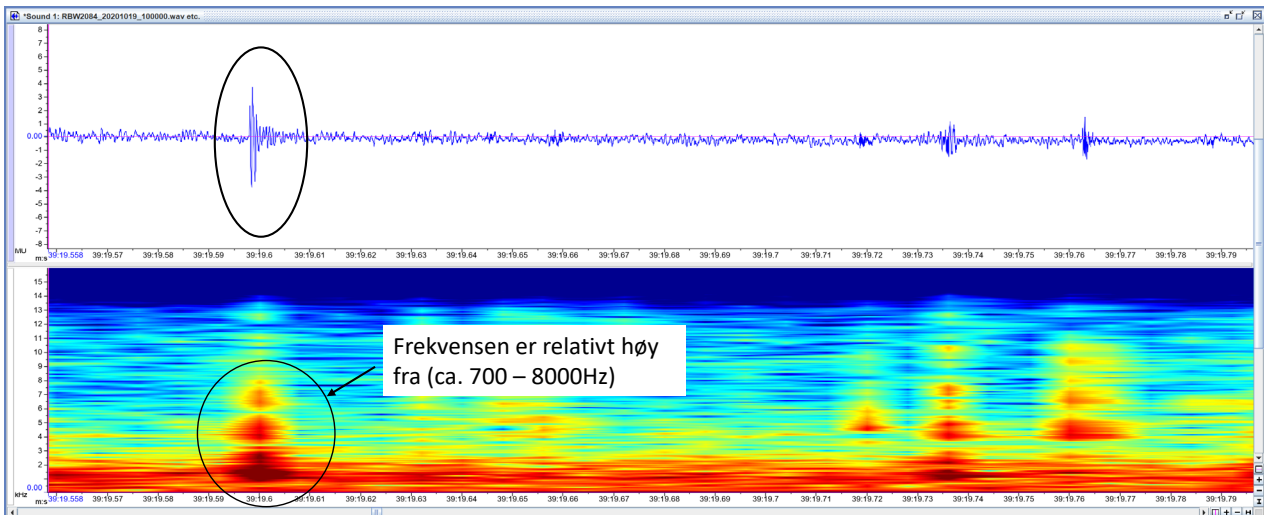
Det er mye bråk de første 18 minuttene av den viste opptaksperioden, fra båter og annen aktivitet. Etter at båtene forlot merden, dukker det opp knitrelyder, som varte til ca. 11:25 UTC. Disse knitrelydene antas å være produsert av laksen. Fra 11:25 UTC til 11:37 UTC avtok knitringen raskt. I resten av 2 timers perioden vist i figur 11, og i andre opptak utenom denne 2 timers perioden, er det lite med knitrelyder fra laksen. I perioder om natten er det så og si ingen knitrelyder.

Figur 12 viser et utsnitt av signalplott og spektrogrammet fra figur 11 i en kortere periode for å tydeligere vise hvordan knitrelydene ser ut på signalplottet.



**Figur 12: Utsnitt av en kortere periode etter at båten har forlatt merden.**

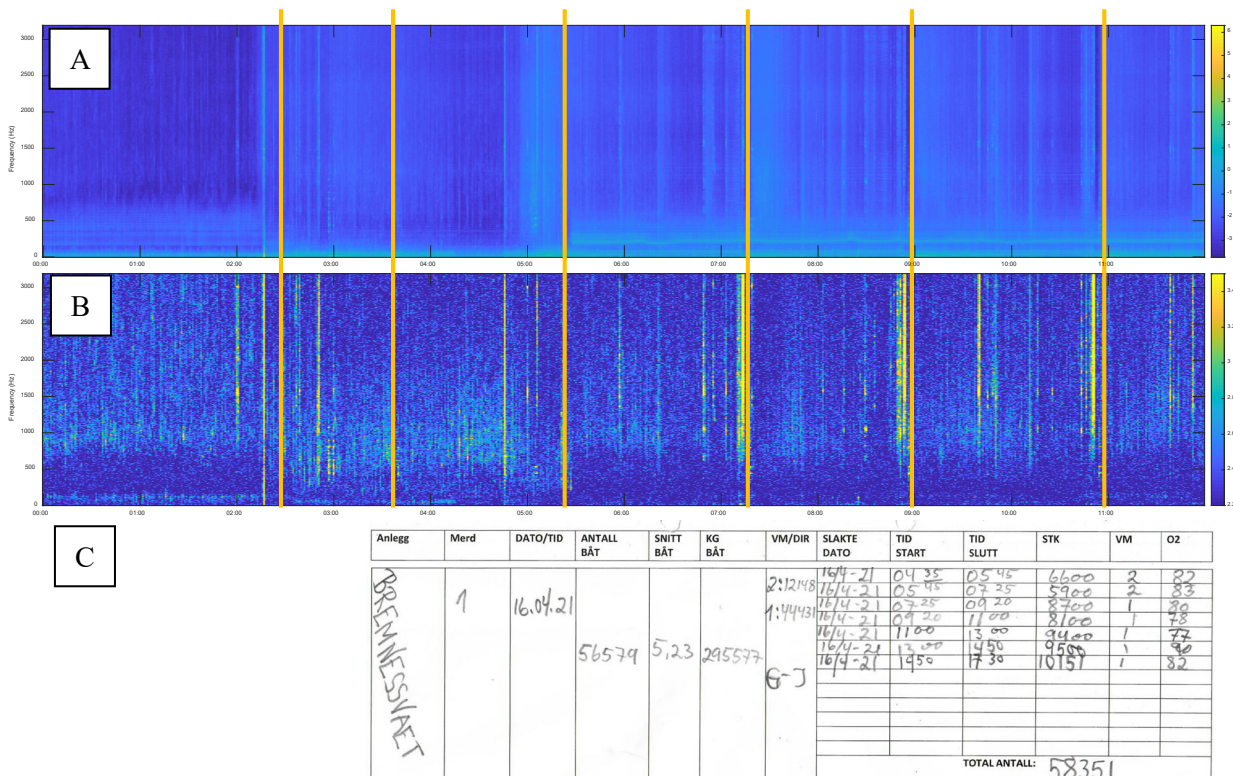
I figur 13 vises signalet og frekvensplottet for en knitrelyd.



Figur 13: Utsnitt som viser en typisk lakselyd.

### 3.2 Forsøk 2: Ulvan

Det ble gjennomført syv trengoperasjoner, der seks av trengningene ble tatt opp med hydrofoner. Siste trengoperasjon ble ikke med på opptakene, på grunn av at hydrofonen ble tatt opp før trengoperasjonen. Tidspunktene for start av trengoperasjonene er basert på manuelt loggførte tidspunkt (figur 14, C) og er indikert med vertikale linjer i spektrogrammet (figur 14, A) og det prosesserte spektrogrammet (signal – bakgrunnsstøy) (figur 14, B). Den første trengoperasjonen starter ved den første vertikale linjen. Før dette var det normal tetthet av fisk, og dette vises helt til venstre i figuren.



Figur 14: Spektrogram (A), prosessert spektrogram (B), og hendelseslogg (C) for trengningsoperasjonene. Vertikale linjer indikerer startpunkt for trengoperasjonen.

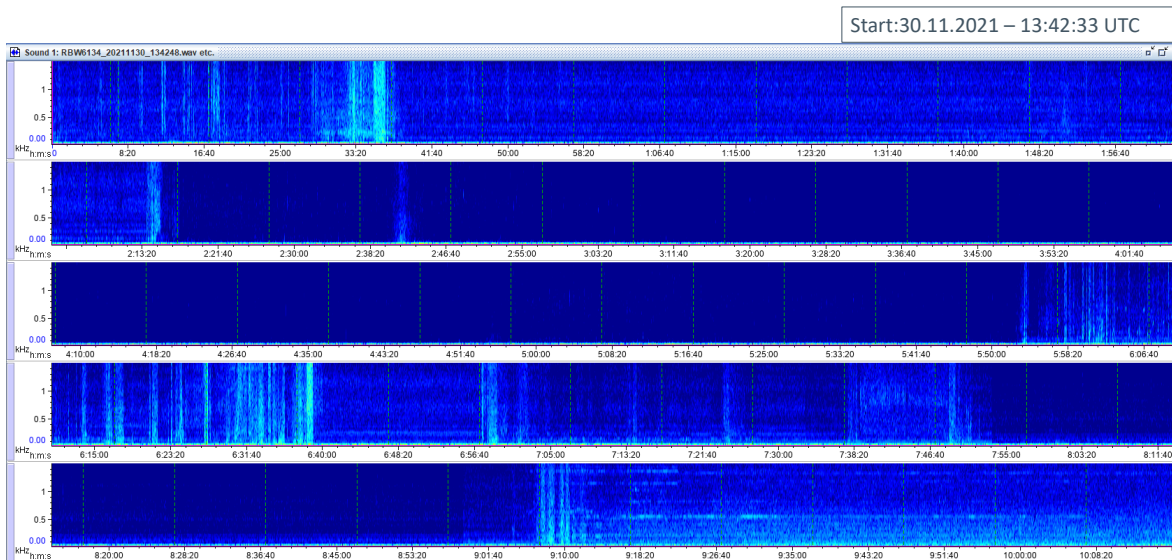
Vi ser at lydnivået før trengingen er lavere, enn under trengingen. Vi ser at lydnivået for de 3 siste trengoperasjonene jevnt over var minkende i området over 500 Hz fra starten til slutten av en trengoperasjon. Dette er synlig både i spektrogrammet og det prosesserte spektrogrammet. Trengningen



ble utført av flere skift med litt ulik praksis for hver operasjon samt at trengoperasjonen involverte maskinell trekking av tauet. På grunn av dette var det en del variasjon i støyen slik at resultatene ble utydelige. En del av denne støyet blir mindre dominerende i det prosesserte spektrogrammet.

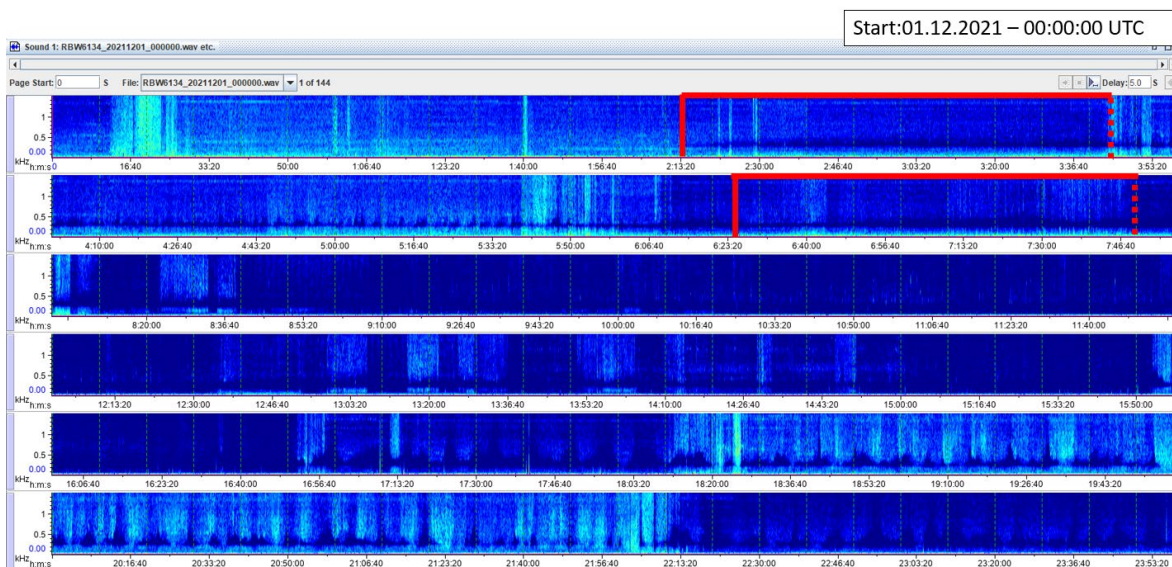
### 3.3 Forsøk 3: Rataren

Figur 15 viser spektrogrammet for lyden i merd 3. Opptaket er fra tom merd for å ha en referanse til sammenligning, dagen før fisk fra merd 2 ble flyttet til merd 3. Mørkeblått indikerer lavt lydnivå, og lyseblått indikerer høyt lydnivå. Variasjonene her er i hovedsak fra båter og avlusning av andre merder.



**Figur 15: Spektrogram for opptak i tom merd 3, dagen før avlusning. X-aksen viser tid fra starttidspunktet markert øverst i høyre hjørne. Legg merke til at tidspunktet er oppgitt i UTC.**

Figur 16 viser spektrogrammet for merd 3. Det er 4 timer per rad i figuren. Legg merke til første rad, 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 mørkeblåe båndet var samtidig med at den første fisken ble pumpet fra brønnbåten over i merden. Dette båndet er mørkeblått fordi lydnivået var lavt, og skyldes sannsynligvis at omgivelseslyden (støyen) dempes gjennom laksestimen.

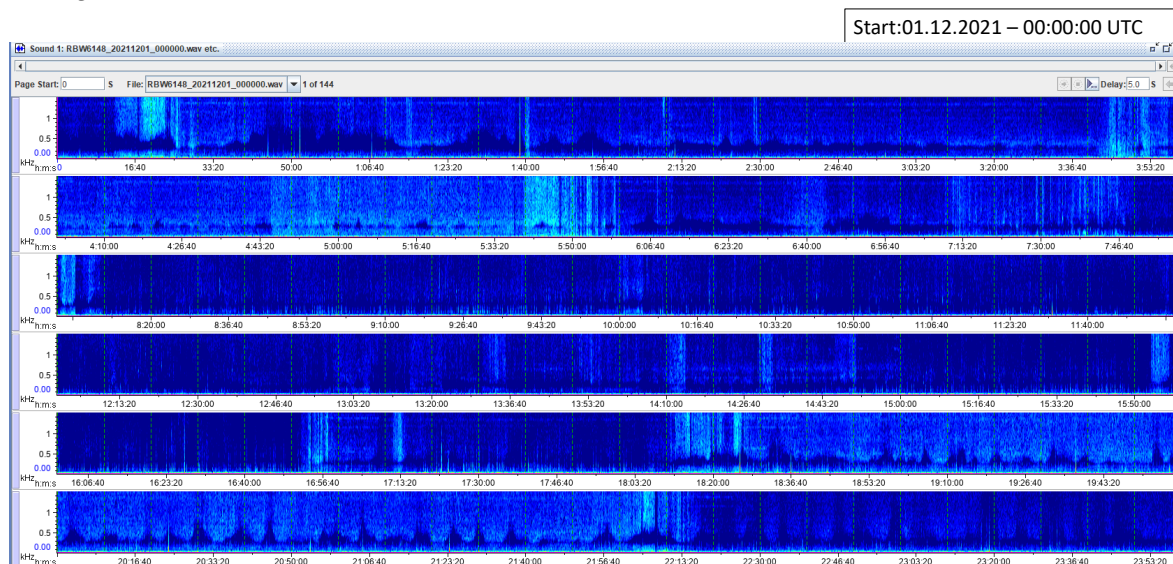


**Figur 16: Spektrogram for opptak i merd 3. Markert område i rødt viser perioden fiskene ble pumpet fra brønnbåten over i merd 3, etter avlusning av fisken i merd 2. Dette skjedde i to omgangen, stipla rød strek markerer slutten på hver av disse flytteperiodene.**



Legg merke til at båndet er ganske smalt på rad en og to. Etter den siste flytting av fisken fra merd 2 blir båndet bredere og varierer mer i bredde. Dette kan skyldes en tidsvarierende tetthet av fisk ulike steder i merden, og større spredning av fisken i merden. Støyet som viser seg på linje 5 og 6 fra ca 17:10 er mest sannsynlig støy fra avlusning av fisken merd 1 som ble flyttet over i merd 2.

Som nevnt tidligere ble det gjennomført lydopptak i merd 7 som en kontroll (figur 17). Det mørkeblå båndet mellom 100-500 Hz er til stede gjennom hele døgnet (01.12.2021) og har samme karakter som i merd 3 etter at alle fiskene var i merden.



**Figur 17: Spektrogram for kontrollopptak i merd 7.**

## 4 Diskusjon

### LetSea

Etter trenging og båttrafikk ble det observert knitrelyder. Støyen fra andre lydkilder var relativt høy under frekvenser på 1 kHz slik at delen av knitrelyden i dette frekvensområdet ble maskert. Knitrelydene avtok etter 1 time og 37 min fra starten av 2 timers perioden vist i figur 11 som er 1 t og 34 minutter etter at nota var sluppet ned. Det var svært få knitrelyder utenfor denne perioden. Det antas derfor at disse knitrelydene sannsynligvis indikerer en respons på trenging. Hvorvidt dette 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 andre forsøkene på grunn av at grunnstøyen overdøver knitrelyden.

### Ulván

Ved gjentatt trenging ble det observert en endring i spektrogrammet i området opptil 3 kHz. Lyden var kraftigst når laksen var trengt sammen og avtok etterhvert som laksen ble pumpet ut av trengvolumet. Antallet laks var mye mindre enn i en produksjonsmerd av normal størrelse, men likevel flere tusen individer. Utfordringen med dette datagrunnlaget var ulik praksis for hver trengoperasjon, pga. ulike skift, støy fra vinsjer og pumper.

### Rataren

Like etter avlusning av merd 2 og utslipp av fisken i merd 3 (figur 16), så var lydnivået mellom 100-500 Hz dempet av laksestimen. Denne dempningen kan observeres, som et smalt mørkeblått bånd, og finnes bare i fullskala merd hvor mange fisk svømmer tett nok til å dempe lyden. Deler av kontrollopptakene i merd 7 viser en tykkere og mer bølgende mørkeblått bånd. Dette indikerte at det var store variasjoner gjennom døgnet enten i svømmemønsteret og/eller et annet svømmedyp som endrer lydens dempning gjennom laksestimen. Dersom denne oppførselen reflekterer en endring i velferdstilstanden til laksen, vil lydnivået mellom 100-500 Hz kunne brukes for å måle denne endringen.

Lydopptakene er forholdsvis av nyere dato og det trengs mer tid for å analyseres dataene. En viktig del vil være å sammenligne lydbildet med hendelsesloggene fra oppdrettsanlegget, før man kan komme med en endelig konklusjon.

## 5 Konklusjon videre arbeid

Resultatene i denne rapporten gir et solid grunnlag for videre forskning og utvikling av passiv lytting som et verktøy for oppdrettsnæringen. I prosjektet har det blitt påvist at laksene påvirker lydbildet i merden på to forskjellige måter; ved å gi fra seg lyd og dempe omkringliggende støy i et gitt frekvens bånd mellom 100 – 500 Hz. Lydbildet endrer seg i takt med hendelser som muligens fremkaller en stress respons fra fiskene. Videre forskning kan legge til rette for utvikling av passiv lytting som en overvåkingsmetode 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.

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 håndtering og behandlinger. Konkrete eksempler av mulig bruk inkluderer optimalisering av håndteringsoperasjoner, vurdere fiskens responsen på håndtering og etter-effektens varighet, samt når fiskene er klare for føring etter en håndtering.

## 6 Referanser

Jónsdóttir, K. E., Mathiassen, J. R., Schellewald, C., Volent, Z., Rosten, C., Sunde, L. M. and Schröder, M. B., (2021), Akustiske og visuelle verktøy kan bidra til dokumentasjon av fiskevelferd ved håndteringsoperasjoner, Norsk Fiskeoppdrett, 8-2021.

Overton, K., Dempster, T., Oppedal, F., Kristiansen, T. S., Gismervik, K., & Stien, L. H. (2019). Salmon lice treatments and salmon mortality in Norwegian aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1398-1417.

Rosten, C., Mathiassen, J. R. and Volent, Z. (2022), Acoustic environment of aquaculture net-pens varies with feeding status of Atlantic salmon, *Aquaculture*, In press.

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