



**FFI** Forsvarets  
forskningsinstitutt



**Veterinærinstituttet**  
Norwegian Veterinary Institute



**NTNU**



**FORSVARSBYGG**

22/00814

**FFI-RAPPORT**

# Risiko for skade på laksefisk i omkringliggende oppdrettsanlegg ved etablering av undervanns- skytefelt på Korsnes Fort

Petter Kvadsheim

André Adelsten Søvik

Eirik Rokke

Marianne Lanzky Kolstrup

Tonje Nesse Forland<sup>1</sup>

Geir Pedersen<sup>1</sup>

Endre Grimsbø<sup>2</sup>

Ole Bendik Dale<sup>3</sup>

Yanran Cao<sup>4</sup>

Anne Stene<sup>4</sup>

Morten Smedsrud<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Havforskningsinstituttet

<sup>2</sup> UiT Norges arktiske universitet

<sup>3</sup> Veterinærinstituttet

<sup>4</sup> NTNU

<sup>5</sup> Forsvarsbygg



# Risiko for skade på laksefisk i omkringliggende oppdrettsanlegg ved etablering av undervannsskytefelt på Korsnes Fort

Petter Kvadsheim  
André Adelsten Søvik  
Eirik Røkke  
Marianne Lanzky Kolstrup  
Tonje Nesse Forland<sup>1</sup>  
Geir Pedersen<sup>1</sup>  
Endre Grimsbø<sup>2</sup>  
Ole Bendik Dale<sup>3</sup>  
Yanran Cao<sup>4</sup>  
Anne Stene<sup>4</sup>  
Morten Smedsrud<sup>5</sup>

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

<sup>1</sup> Havforskningsinstituttet

<sup>2</sup> UiT Norges arktiske universitet

<sup>3</sup> Veterinærinstituttet

<sup>4</sup> NTNU

<sup>5</sup> Forsvarsbygg

25. mars 2022

---

---

**Emneord**

Atferd  
Detonasjon  
Fiskeoppdrett  
Miljøpåvirkning  
Sjokkbølger  
Lydforplantning

**FFI-rapport**

22/00814

**Prosjektnummer**

5650

**Elektronisk ISBN**

978-82-464-3401-8

**Engelsk tittel**

Risk of impact on nearby fish farms associated with establishment of underwater naval training area at Korsnes fortress

**Godkjenner**

Roald Otnes, *forskningsleder*  
Trygve Sparr, *forskningsdirektør*

*Dokumentet er elektronisk godkjent og har derfor ikke håndskreven signatur.*

**Opphavsrett**

© Forsvarets forskningsinstitutt (FFI), Havforskningsinstituttet, Norges arktiske universitet, Veterinærinstituttet, NTNU, Forsvarsbygg. Publikasjonen kan siteres fritt med kildehenvisning.

---

---

## Sammenheng

Forsvaret ønsker å etablere et permanent øvingsområde i Korsfjorden. Øvingsaktiviteten vil innebære detonasjoner av små øvingsladninger (0,1–2 kg TNT) flere ganger om dagen, inntil 70 ladninger i året. Det er 4 konsesjoner på lakseoppdrett som ligger 3,7–6,0 km fra øvingsfeltet. Risikoen for direkte skade på fisken er liten, men kraftige lydbølger fra detonasjoner kan utløse fluktreaksjoner som kan føre til indirekte effekter som klemskader, stress og redusert appetitt. Terskelen for når slike effekter oppstår, er usikre. Som et avbøtende tiltak har Forsvaret satt ut et boblegardin på tvers av bukten hvor detonasjonene skal gjennomføres. Hensikten med prosjektet var å undersøke den risikoreduserende effekten av et slikt boblegardin og samle inn data om fiskens reaksjon og helse når realistiske ladninger ble detonert i øvingsområdet.

25 skudd med økende ladning fra 0,1–2 kg ble avfyrt på Korsnes fort med og uten boblegardin over en periode på 5 dager i mars 2021. Fiskens atferd ble observert med ekkolodd og kamera i merdene før, under og etter skytingen. Støynivå ble målt på alle anlegg med hydrofoner. Fôrforbruk og dødelighet per merd ble målt av Lerøy Sjøtroll, som eier anleggene. Fisk ble tatt ut fra de nærmeste merdene umiddelbart før og etter eksponeringen for måling av kortisol i blod og faeces samt patologiske undersøkelser med fokus på barotraumer.

Bredbånds spisstrykk ble redusert med 12–20 dB (re 1 $\mu$ Pa) og lydeksponeringsnivå SEL med 5–12 dB (re 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>·s) når boblegardin ble brukt. Det var ingen forskjell på enkel og dobbel boblegardin. Kortvarige responser oppsto ved de høyeste lydnivåene (>163dB re 1 $\mu$ Pa spisstrykk i fiskens høreområdet 20–500 Hz, SEL >147 dB re 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>·s), men dette er atferdsresponser som også kan oppstå ved normal drift ved anleggene. Vi fant ingen endring i fôrforbruk og ingen økt dødelighet som kan tilskrives detonasjonene. Det ble funnet sirkulasjonsforstyrrelser og blødninger i fisken som ble tatt ut av merden umiddelbart etter siste skudd, men fôropptak og dødelighet i merden var normal. I samme fisken så vi samtidig forhøyede nivåer av stresshormonet kortisol i plasma, og kortisolmetabolitter i faeces, men nivåene er tilbake til normalen i fisken som ble prøvetatt 1 døgn senere. Lydnivåene denne fisken ble utsatt for, ligger langt under rapporterte terskler for skade i litteraturen (>230 dB spisstrykk). Slike skader kan oppstå som følge av prøvetakingen, men vi kan ikke helt utelukke subkliniske skader som bare avdekkes ved hjelp av obduksjon og histopatologi. Ut fra en samlet vurdering er konklusjonen at fisken ikke ble påført stress og skade på populasjonsnivå som endrer vekst, dødelighet og fiskehelse.

Ved øvingsaktivitet anbefaler vi at Forsvaret bruker boblegardin slik at spisstrykkverdiene på det nærmeste anlegget (Skorpo) holdes under 160 dB spisstrykk re 1 $\mu$ Pa i båndet 20–500Hz. I perioden august til november er propagasjonstapet 10–15 dB lavere enn i mars, og da bør øvingsaktiviteten begrenses til daglige enkeltskudd, eller ladninger på maks 100 gram. For anleggene som ligger lenger unna, vil nivåene ligge under de på Skorpo.

Omfanget av skade på vill fisk vil være svært begrenset. Niser er spesielt følsomme pattedyr, men både niser og sel burde være synlige på overflaten dersom de kommer innenfor skadesonen på 150 m. Dersom man bruker boblegardin er risiko for skade på vill fisk og pattedyr veldig liten.

---

---

## Summary

The Norwegian Armed Forces plan to establish a permanent exercise area in Korsfjorden. The planned activity implies detonations of small explosive charges (0.1–2 kg TNT) several times per day, up to 70 detonations per year. There are four salmon fish farms within 3.7–6 km from the exercise area. The risk of direct injury to the fish is small, but pressure waves from the detonations could trigger escape responses which could lead to indirect effects like shell loss, swim bladder compression, stress and loss of appetite. Thresholds for such responses are not well known. As a risk mitigation measure, a bubble curtain has been placed across the bay where the detonation will take place. The purpose of the project is to investigate the risk mitigation effect of the bubble curtain, and collect data on fish behavior and health during a realistic exercise program.

25 discharges with increasing charge size from 0.1–2 kg were detonated at Korsnes Fortress in March 2021, with and without bubble curtain over a period of 5 days. Fish behavior was observed with camera and echo sounders before, during and after the exposure. The sound levels were measured with hydrophones on all salmon farms. Food consumption and mortality rates per net were recorded by Lerøy Sjøtroll, the owner of the fish farms. Fish samples were taken from the closest nets before and after the detonations, for measurements of cortisol in blood and feces and for pathological examinations focused on barotrauma.

Broadband peak pressure was reduced by 12–20 dB (re 1  $\mu$ Pa) and SEL by 5–12 dB (re 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup>-s) when the bubble curtain was used. There was no difference between single and double curtain. Short behavioral responses occurred at the highest recorded peak pressure levels (>163dB re 1  $\mu$ Pa in the hearing band of the fish 20–500 Hz, SEL >147 dB re  $\mu$ Pa<sup>2</sup>-s), but similar responses could also occur during normal operation of the fish farm. We did not find any changes in food consumption or mortality rate during the exposure period. In the fish samples taken immediately after the final detonation, circulatory disruptions and hemorrhages which are consistent with barotrauma was observed, and in the same fish increased cortisol levels were found, but food consumption and mortality rates were normal. Cortisol levels were back to normal in the sample taken 24 hours later. This fish were exposed to pressure levels far from thresholds of injury reported in the literature (>230 dB peak pressure levels). Such injury can occur as sample artifacts, but we cannot fully rule out the possibility of subclinical injury that is only detectable through autopsy and histopathology. Nevertheless, our conclusion is that the fish were not exposed to stress or injury that affected growth, mortality and health at the population level.

We recommend that bubble curtain is used during exercises to keep the peak pressure levels at the closest fish farm below 160 dB re  $\mu$ Pa in the 20–500 Hz band. Between August and November the propagation loss is 10–15 dB lower than in March, and in this period exercise activity should be limited to only one shot per day, or 100 gram charges. For the other farms, the levels will be lower and less of a concern.

The risk to wild fish and marine mammals are very limited, and when the bubble curtain is used, neglectable

---

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>3</b>
<b>Summary</b>	<b>4</b>
<b>Forord</b>	<b>7</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>9</b>
1.1 Etablering av undervanns skytefelt på Kornes fort	9
1.2 Målsetninger med prosjektet	11
<b>2 Metode</b>	<b>12</b>
2.1 Eksperimentelt design	12
2.2 Boblegardin	14
2.3 Fiskeatferd - kameradata	15
2.4 Fiskeatferd – ekkolodd	17
2.5 Akustiske målinger	20
2.5.1 Korsneset	20
2.5.2 Skorpo	20
2.5.3 Flatøyflu	22
2.5.4 Kyrholmen	22
2.5.5 Buarøy (FFI)	22
2.6 Fôropptak og dødelighet	23
2.7 Patologiske undersøkelser	24
2.8 Stresshormon	24
2.8.1 Kortisolmålinger	25
2.9 Modellering av variasjon i transmisjonstap	25
2.10 Andre miljøeffekter	29
<b>3 Resultater</b>	<b>31</b>
3.1 Oversikt	31
3.2 Fiskeatferd - kameradata	31
3.3 Fiskeatferd – ekkolodd	33
3.3.1 Oppsummering	38
3.4 Akustiske målinger	38
3.4.1 Korsnes	39
3.4.2 Skorpo	45
3.4.3 Flatøyflu	54
3.4.4 Kyrholmen	54
3.4.5 Buarøy	55

---

3.5	Fôropptak	56
3.6	Dødelighet	60
3.7	Patologiske undersøkelser	62
3.7.1	Oppsummering av funn fra referansegruppen (22.03)	63
3.7.2	Oppsummering av funn fra den eksponerte gruppen (26.03)	64
3.8	Stresshormon	65
3.9	Modellering av variasjon i transmisjonstap	67
3.10	Andre miljøeffekter	70
<b>4</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>72</b>
4.1	Effekten av sprengingene på oppdrettslaks	72
4.2	Effekten av boblegardin	74
4.3	Konklusjon og anbefalinger	75
	<b>Referanser</b>	<b>77</b>
<b>A</b>	<b>Rapporter fra Veterinærinstituttet</b>	<b>80</b>

---

---

## Forord

Forsvarsbygg ønsker å avklare og fastsette rammevilkår for etablering og bruk av ny Korsnes skyte- og øvingsfelt i Bergen kommune. Etter avtale med kommunen utarbeides reguleringsplan med hjemmel i plan- og bygningsloven. Reguleringsplan vil sikre medvirkning og avklaring av interesser, og fastsetter arealplanmessige rammer for utbygging og drift. Konsekvensene som følge av Forsvarets virksomhet er vurdert i planen med grunnlag i utredninger for planrelevante temaer, herunder utredning av effekter av detonasjoner under vann på oppdrettsfisk i Korsfjorden.

Dette studiet er finansiert av Forsvarsbygg som et viktig innspill i denne prosessen.

Rena, 10. desember 2021

Are Vestli

senioringeniør Forsvarsbygg, arealplan



---

---

# 1 Innledning

Detonasjoner under vann brukes i både sivil og militær sammenheng. Forskjellen er ofte at når sivile aktører foretar sprenginger under vann så er det i forbindelse med anleggsvirksomhet til sjøs. Sprengladningen ligger da nedi havbunnen og er ment å skulle bryte denne i stykker (Skålsvik et al. 2019). Mye av energien i detonasjonen går da med til nettopp det. På den annen side er denne type aktivitet ofte forbundet med gjentatte sprenginger over tid. Når Forsvaret foretar detonasjoner under vann så er det enten i forbindelse med test av ammunisjon som skal virke under vann, trening av dykkere som skal lære å foreta kontrollerte detonasjoner under vann eller i forbindelse med demolering av krigsetterlatenskaper. I slike sammenhenger detoneres ladningen i vannmassen og dette skaper en kraftig trykkbølge som karakteriseres med en rask trykkøkning, eller sjokkpuls, til et nivå som langt overstiger det statiske trykket i vannet (Kjellsby 1993) og som kan skade marint liv (Kvadsheim et al. 2020). Høyerestående organismer med spesialiserte hørselsorgan og luftfylte strukturer som lunger og svømmeblærer er mer utsatte for barotraumer enn evertebrater (Kvadsheim et al. 2020). Trykkbølger fra detonasjoner kan også føre til fluktresponser som hos ville dyr sjelden gir noen vesentlige biologisk signifikante konsekvenser, men som hos oppdrettsfisk kan gi sekundære effekter som stress, redusert føropptak, klem og sårskader (Kvadsheim et al. 2020). I Sjøforsvarets reglement for eksplosivrydding under vann (Svendsen 2012) anbefales en minsteavstand til havbruksanlegg på 2nmi. Dette gjelder derimot bare ved enkeltdetonasjoner, for eksempel ifm, EOD oppdrag. Ved gjentatte sprenginger vil risiko for indirekte skade være mye større (Kjellsby 1993).

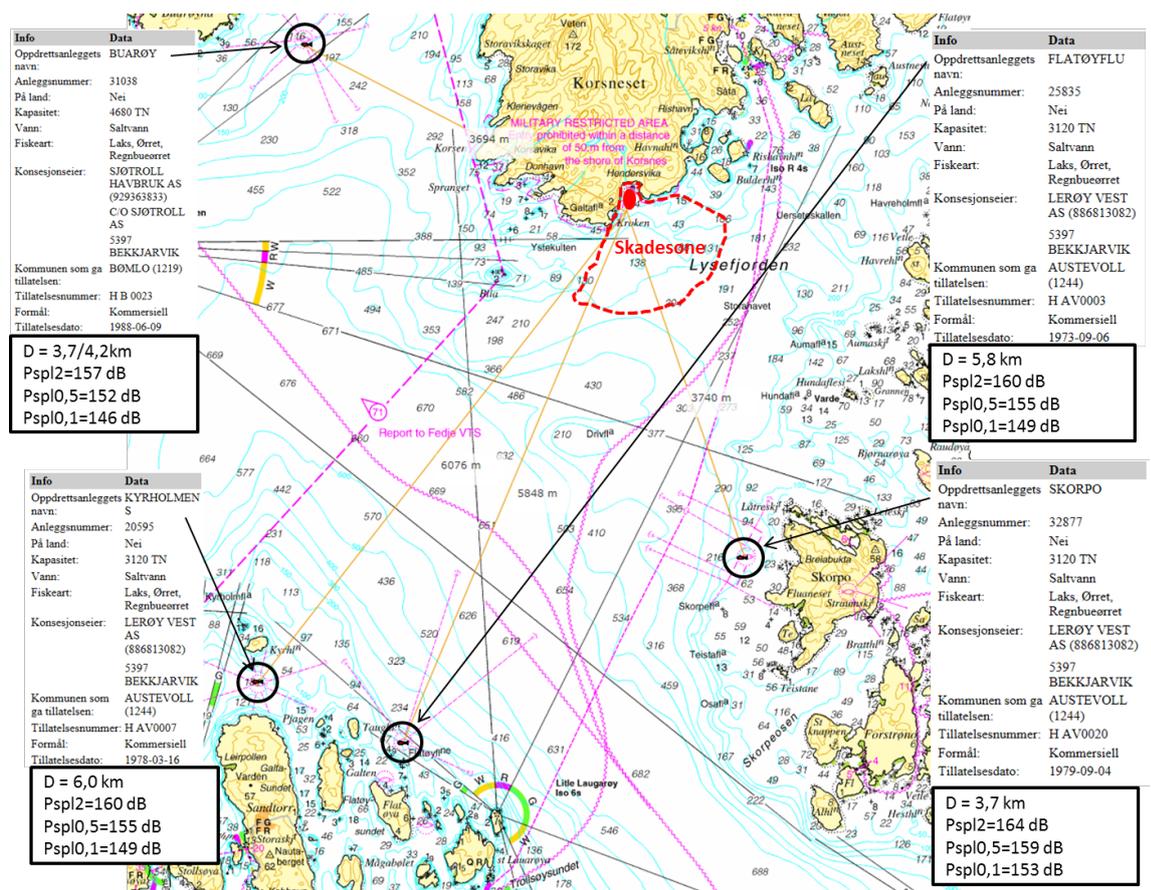
Kraftige trykkpulser generelt medfører krefter som kan påføre marint liv skade, ikke minst hørselsskade på marine pattedyr (Southall et al. 2019) og fisk (Popper et al. 2014). I en studie fra Nederland fant man at 88 demolerings-detonasjoner i løpet av ett år vil kunne skade mellom 1280-5450 niser (von Benda-Beckmann et al. 2015). Risiko for hørselsskade avhenger av både lydilden (kildnivå og frekvensinnhold) og art (Southall et al. 2019). For en bestemt lydkilde og art vil både det maksimale lydnivået dyret utsettes for og varigheten til hele lydeksposeringen (energi) være viktig (Southall et al. 2019). Det er liten risiko for at detonasjoner har noen effekt på bestander av vill fisk. Detonasjoner kan ha en negativ innvirkning på egg og tidlige stadier av larver, men det er liten risiko for populasjonseffekter (Faulkner et al. 2006, Govoni et al. 2008). Oppdrettsfisk kan skades av detonasjoner flere kilometer unna, men det er stor usikkerhet knyttet til skadetersklene (Gaspin 1975, Gaspin et al. 1976, Kjellsby & Kvalsvik 1997, Yelverton et al. 1975). Fisk uten svømmeblære har mindre risiko for skader, enn fisk med svømmeblære, og de med lukket svømmeblære har størst risiko for skader (Casper et al. 2016, Casper et al. 2017, Halvorsen et al. 2017).

## 1.1 Etablering av undervanns skytefelt på Kornes fort

Forsvaret ønsker å etablere et permanent øvingsområdet på Korsnes fort i Korsfjorden. Øvingsaktiviteten vil innebære detonasjoner av små øvingsladninger på 0.1-2 kg inntil 5 ganger daglig, men maksimalt 70 detonasjoner pr år. Det er fire konsesjoner på havbruk i området rundt det aktuelle øvingsfeltet, med et samlet konsesjonsvolum på 3000 tonn laks. Disse lokasjonene (Figur 1.1) er alle eid av Lerøy Sjøtroll AS og er i regelmessig bruk. Avstanden fra øvingsfeltet

til laksmerdene er 3.7-6.0 km. Forsvarsbygg har ansvar for å få etablert dette øvingsfeltet på vegne av Forsvaret og de ba i 2018 FFI foreta en innledende vurdering av risiko for negative effekter på havmiljø i området, med fokus på havbruksanleggene (Kvadsheim 2018). FFI brukte en semiempirisk modell etablert av Kjellsby & Kvalsvik (1997) til å beregne propagasjon av lydbølgen fra det angitte sprengningsfeltet og ut i Korsfjorden. Modellen tar hensyn til ladningens størrelse, sprengningsdyb og demping fra terrenget (skjerming fra holmer, skjær og grunt vann). Det er antatt at spisstryknivåer over 210 dB (re 1µPa) for fisk og 202 dB for sjøpattedyr øker faren for skade (Kvadsheim et al. 2017).

Indirekte skade som følge av stress og fluktnesponser er begrenset til fisk i oppdrettsanlegg. Terskel for slike responser hos laksefisk er usikre, men antas å være 155-160 dB spisstrykk (re 1 µPa) (Kjellsby og Kvalsvik 1997, Dalen et al. 2009). Det er også begrenset kunnskap om konsekvensene av slike responser i et oppdrettsanlegg, men gjentatte sprengninger ser ut til å øke omfanget av skaden betydelig (Kjellsby 1993). Basert på dette antok Kvadsheim (2018) at 155 dB spisstrykk (re 1µPa) regnes som et trygt eksponeringsnivå selv ved gjentatte detonasjoner, og at 160 dB spisstrykk er trygt ved enkelt detonasjoner.



Figur 1.1 Sprengningsfeltet i Hendersvika på Korsnes fort med risikosone for direkte skade på fisk og pattedyr ved detonasjon av 2 kg TNT er markert i rødt. De fire havbruksanleggene i området er markert med svart sirkel. For hvert av dem er avstand (D) i km, og forventet maksimalt spisstrykk ved detonasjon av 2 kg (PspL2), 0,5kg (PspL0,5) og 0,1kg (PspL0,1) TNT oppgitt i dB re 1 µPa.

---

---

Siden det her er snakk om opprettelse av et permanent skytefelt hvor gjentatte sprengninger vil forekomme, i et område med stor havbruksaktivitet, og det er stor usikkerhet knyttet til terskler for effekter og konsekvenser, ble det anbefalt en konservativ tolkning av resultatene av denne analysen (Kvadsheim 2018). Det er anlegget på Skorpo som er mest utsatt, selv om Buarøy ligger nærmere. For Skorpo vil de antatte trygge terskelverdiene overskrides selv ved ladninger på 0.5 kg. For de øvrige anleggene vil verdiene fortsatt være i grenseland, og det ble anbefalt at både spissstrykk og eventuelle reaksjoner i fiskemerdene burde valideres. Det ble også anbefalt å anlegge boblegardin på tvers av Hendersvika, slik at alle detonasjoner skjer på innsiden av boblegardinet. Forsvaret har tidligere brukt boblegardin på undervannskytefeltet på Brimse, nettopp for å beskytte et oppdrettsanlegg (Grimsbø og Kvadsheim 2018). Erfaringen fra Brimse tilsier at man kan dempe lydbølgen fra detonasjonen med 10-12 dB med boblegardin. Det vil innebære at normal bruk av skytefeltet med maksimalladning på 2kg burde være trygt dersom man bruker boblegardin. Det er derimot lite data på effekten av boblegardin ifm sprengninger og derfor må også dette valideres.

## **1.2 Målsetninger med prosjektet**

Målsetningen med prosjektet er å:

- Gjennomføre et sprengningsprogram med typiske sprengladninger som skal benyttet av Forsvaret i øvingsfeltet på Korsnes.
- Måle effekten av installert støyreducerende boblegardin på Korsnes.
- Måle støynivå nær sprengningsstedet og ved nærliggende oppdrettsmerder
- Samle inn data om fiskens reaksjon og helse under forsøket

---

---

## 2 Metode

### 2.1 Eksperimentelt design

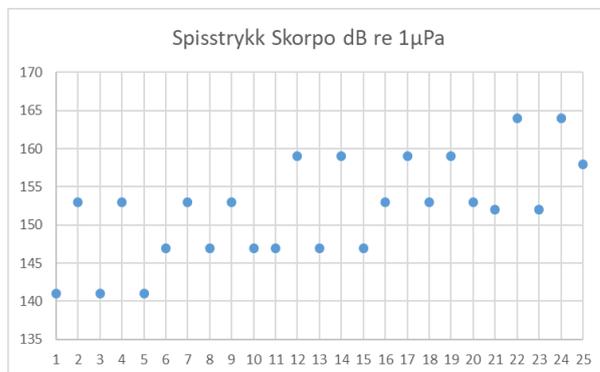
I forkant at eksperimentet ble det etablert et permanent boblegardin som stenger av bukta hvor øvingsfeltet ligger (kapittel. 2.2). I perioden 22.03 – 26.03. 2021 ble det gjennomført 5 sprengninger pr. dag. Sprengningsprogrammet ble gjennomført med ulike ladning og ulike konfigurasjoner av boblegardinanlegget, slik at man fikk en gradvis økende akustisk dose i oppdrettsanleggene (Figur 2.1). Før under og etter sprengningene ble fiskens atferd og helse overvåket.

Tabell 2.1 Gjennomført skuddprogram med 5 skudd pr dag med varierende ladning og boblegardinkonfigurasjon.

	Dato	Skudd nr.	Klokkeslett	Ladning	Boblegardinkonfigurasjon
<b>Måledag 1</b>	22.03	1	11:30	0,1 kg	Dobbel
		2	13:30	0,1 kg	Uten
		3	14:30	0,1 kg	Dobbel
		4	15:30	0,1 kg	Uten
		5	16:30	0,1 kg	Dobbel
<b>Måledag 2</b>	23.03	6	11:00	0,1 kg	Enkel
		7	12:00	0,1 kg	Uten
		8	13:00	0,1 kg	Enkel
		9	14:00	0,1 kg	Uten
		10	15:00	0,1 kg	Enkel
<b>Måledag 3</b>	24.03	11	10:30	0,5 kg	Dobbel
		12	12:30	0,5 kg	Uten
		13	13:30	0,5 kg	Dobbel
		14	14:30	0,5 kg	Uten
		15	15:30	0,5 kg	Dobbel
<b>Måledag 4</b>	25.03	16	11:00	0,5 kg	Enkel
		17	12:00	0,5 kg	Uten
		18	13:00	0,5 kg	Enkel
		19	14:00	0,5 kg	Uten
		20	15:00	0,5 kg	Enkel
<b>Måledag 5</b>	26.03	21	09:00	2 kg	Dobbel
		22	10:00	2 kg	Uten
		23	11:00	2 kg	Dobbel
		24	12:00	2 kg	Uten
		25	13:00	2 kg	Enkel

Eksperimentet ble gjennomført med tillatelse fra Mattilsynet (21/33244, Fots id 26791). Etter hvert skudd foretok fiskehelseansvarlig hos Lerøy Sjøtroll AS som eier anleggene (Kristin

Eikemo) og dyrevelferdsansvarlig for eksperimentet (Petter Kvadsheim) en vurdering av fiskens reaksjon og fiskehelse. Begge måtte godkjenne at skuddprogrammet skulle fortsette.



Figur 2.1 Gjennomført skudd-program, med 5 skudd pr dag i 5 dager med og uten enkel eller dobbel boblegardin og økende ladninger slik at mottatt nivå på Skorpo (nærmest) forventes å øke gradvis fra 140-165 dB re 1 µPa (spisstrykk).

Ved oppstart av eksperimentet hadde Lerøy Sjøtroll AS 4,55 mill atlantehavslaks (*Salmo salar*) fordelt på 30 merder på de fire anleggene i Korsfjorden, Buarøy, Skorpo Vest, Flatøyflu og Kyholmen (Tabell 2.3.) i en avstand på 3,7-6,0 km fra sprengingsfeltet på Korsnes. Lydnivåene ble målt på alle anleggene med hydrofoner. I tillegg hadde man en hydrofon plassert utenfor Korsneset ca 1000m fra detonasjonspunktet, men fortsatt utenfor boblegardinet. Fiskens atferd ble overvåket med kamera og ekkolodd i utvalgte merder på alle anleggene. Fiskens ble foret ad libitum, og fôropptak ble registrert som tilført for til hver merd.

Tabell 2.2 Oversikt over observasjoner og målinger før, under og etter undervannsprengninger i Korsfjorden. Det ble avfyrt 5 skudd pr dag i 5 dager med økende ladninger (Tabell 2.1, Figur 2.1). Lydnivå ble målt på 4 oppdrettsanlegg i området (Figur 1.1). Dødelighet og fôropptak ble registrert av Lerøy Sjøtroll en uke før, under og en uke etter sprengingene. Atferd og mottatt lydnivå ble observert med kamera, ekkolodd og hydrofoner i alle anlegg, før under og etter hvert skudd. Før første sprenging, etter skudd 10, etter siste sprenging (skudd 25) og 24 timer etter siste sprengning ble det tatt ut fisk (25stk) fra anlegget på Skorpo for undersøkelser av fiskehelse og eventuelle barotraumer (Veterinærinstituttet) og/eller målinger av kortisol i blod og kortisolmetabolitter i faeces (NTNU). Til sammen ble det tatt ut prøver fra 100 fisk.

Dag	FØR							UNDER							ETTER					Anlegg	
	man	tirs	ons	tors	fre	lør	søn	man	tirs	ons	tors	fre	lør	søn	man	tirs	ons	tors	fre		
Skudd								****	****	****	****	****									
Dødelighet																					Alle
Fôropptak																					Alle
Ekkolodd																					Alle
Kamera																					Alle
Kortisol								25	25				25	25							Skorpo
Patologi								25					25								Skorpo
Lydnivå																					Alle

Dødelighet i hver merd ble registrert ved at død fisk ble pumpet ut fra bunn av merden og registrert hver dag. 25 fisk ble tatt ut av merd nr. 6 på Skorpo før under og etter eksponeringen. Disse ble bedøvet og avlivet og gjennomgikk deretter patologiske undersøkelser. Nivåer av kortisol i plasma og faeces ble brukt som indikator på fysiologisk stress. Tabell 2.2

opsummerer hva som ble målt når. Detaljer rundt metodikken til hver enkel måleparameter er beskrevet i avsnittene 2.3-2.9.

Tabell 2.3 Oversikt over biomasse, antall fisk og gjennomsnittlig vekt på fisken i hver merd på anleggene Buarøy, Skorpo, Flatøyflu og Kyrholmen ved oppstart av eksperimentet 21.mars 2021.

Prosjekt Lokalitet	Biomasse i tonn UB	Antall fisk UB	Gjennomsnittlig vekt fisk i gram UB	Prosjekt Lokalitet	Biomasse i tonn UB	Antall fisk UB	Gjennomsnittlig vekt fisk i gram UB
<b>Buarøy</b>	<b>1 723</b>	<b>1 255 561</b>	<b>1 372</b>	<b>Skorpo Vest</b>	<b>497</b>	<b>1 017 983</b>	<b>488</b>
01	362	192 906	1 876	01	122	172 056	708
02	274	162 784	1 686	02	125	175 626	714
03	388	191 518	2 027	03	96	167 739	574
04	276	159 134	1 737	04	94	164 326	571
05	87	190 638	455	05	29	163 096	180
06	248	160 687	1 542	06	31	175 140	174
07	87	197 894	442	<b>Totalt</b>	<b>497</b>	<b>1 017 983</b>	<b>488</b>
<b>Totalt</b>	<b>1 723</b>	<b>1 255 561</b>	<b>1 372</b>				

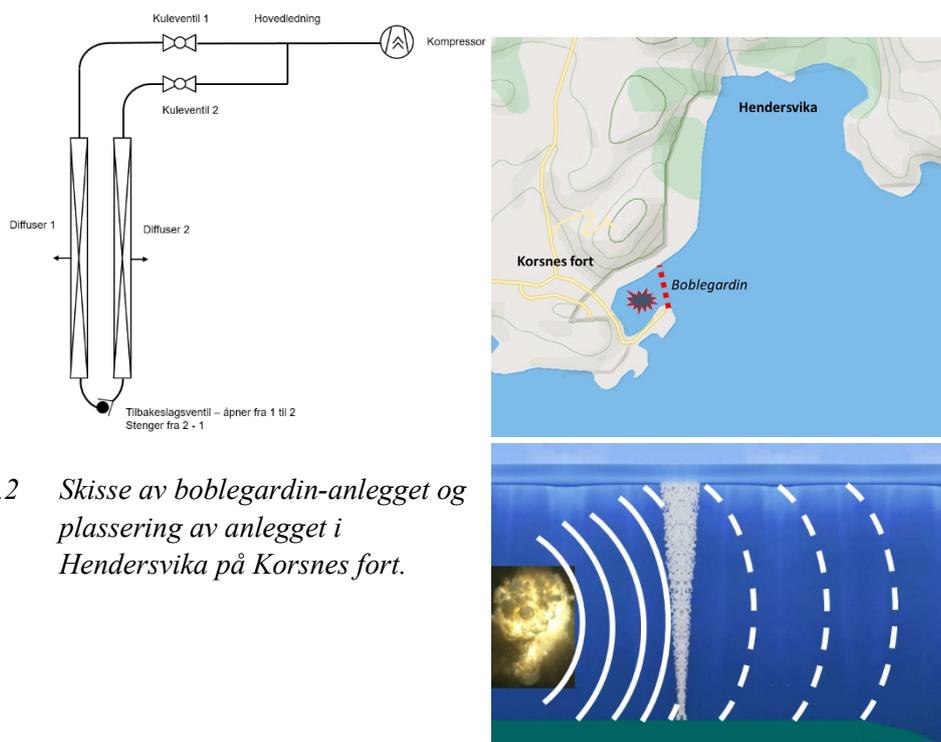
Prosjekt Lokalitet	Biomasse i tonn UB	Antall fisk UB	Gjennomsnittlig vekt fisk i gram UB	Prosjekt Lokalitet	Biomasse i tonn UB	Antall fisk UB	Gjennomsnittlig vekt fisk i gram UB
<b>Flatøyflu</b>	<b>1 848</b>	<b>1 292 207</b>	<b>1 430</b>	<b>Kyrholmen</b>	<b>835</b>	<b>983 031</b>	<b>849</b>
01	248	128 917	1 925	01	150	134 046	1 122
02	219	97 562	2 244	02	87	149 882	580
03	241	147 067	1 640	03	78	150 817	518
04	236	143 580	1 644	04	102	127 133	803
05	244	141 274	1 730	05	169	136 739	1 236
06	242	137 987	1 757	06	156	135 085	1 154
07	78	131 819	590	07	93	149 329	620
08	72	131 875	544	<b>Totalt</b>	<b>835</b>	<b>983 031</b>	<b>849</b>
09	194	100 410	1 930				
10	73	131 716	557				
<b>Totalt</b>	<b>1 848</b>	<b>1 292 207</b>	<b>1 430</b>				

Propagasjon av lydbølgen fra øvingsområdet til oppdrettsanleggene vil kunne variere med temperaturen og saltholdighet i sjøen, og det ble derfor også gjennomført en analyse av variasjoner i propagasjonstap gjennom året (kapittel 2.10).

Sprenginger i sjøen vil også kunne påvirke frittlevende fisk og pattedyr og det ble gjennomført en risikovurdering også for å vurdere effekter på disse (kapittel 2.11).

## 2.2 Boblegardin

Et boblegardin ble anlagt slik at det stenger av den delen av Hendersvika hvor øvingsfeltet ligger, med formål å dempe propagasjon av støy fra eksplosjoner i militært skyte/øvingsfelt ut i Korsfjorden. Boblegardinanlegget består av ledninger for framføring av luft fra kompressor til to diffusorer i sjø, med ventiler for styring av luftstrøm til en eller begge diffusorer (Figur 2.2). Dimensjonering er tilpasset antatt behov for støydemping.



Figur 2.2 Skisse av boblegardin-anlegget og plassering av anlegget i Hendersvika på Korsnes fort.

Luft føres fra en kompressor gjennom to ventiler til to diffusere som slipper ut luften som danner boblegardinene. Det er montert en tilbakeslagsventil som gjør at luften strømmer i en retning, fra diffusor 1 til diffusor 2. Ved å stenge og lukke ventil 2 vil man derfor kunne velge mellom luft i begge diffusorene (dobbel boblegardin) eller luft bare i diffusor 1 (enkel boblegardin).

Diffusorene består av PE-rør der det er boret inn 1 mm dysehull med ca. 167 mm mellomrom. Lengde på hver aktiv diffusorer er 90 m.

Anlegget er beregnet til å ha en luftmengde på 0,264 m<sup>3</sup>/min (normalvolum) pr. meter diffusor ved et trykk på 8 bar (ved kompressor), 23,7 m<sup>3</sup>/min pr. diffusor og 47,5 m<sup>3</sup>/min for hele anlegget.

Kompressoren ble kjørt med et trykk på 8 bar under forsøket.

Skudd nr. 1-15 settes av på 3 m dyp, 3 m fra kaikanten, ca 20 m fra boblegardin, skudd nr. 16-25 settes av på 5 m dyp, ca 3 m fra kaikant, ca 10 m fra boblegardin.

### 2.3 Fiskeatferd - kameradata

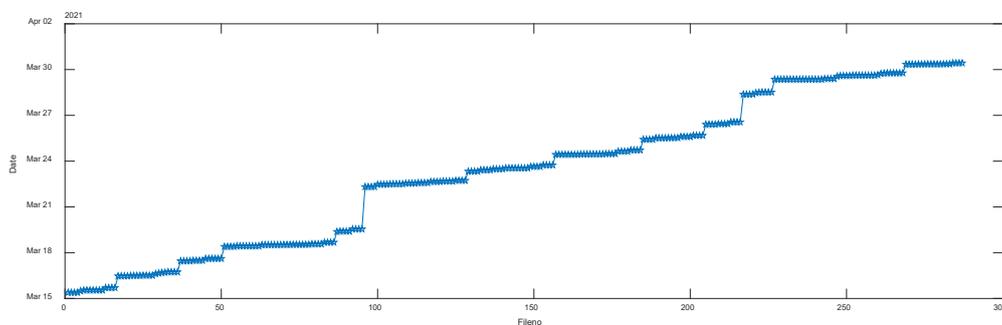
Alle fiskermerder i de 4 anleggene er utstyrt med styrbare kamera som brukes til å regulere førtilgangen til fisken. Kameraene ser bare et utsnitt av merden, men blir styrt slik at de ser mest mulig fisk. Videomateriale fra Skorpo ble lagret og tilgjengeliggjort av Lerøy. Filene kommer i mp4 format med tilhørende tekstfil som angir ramme-nummer og tid.

Tabell 2.4 Liste over filer (venstre) tilgjengeliggjort fra Lerøy og eksempel fra tekstfil (høyre).

Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-000.csv	1	Frame,Hours,Minuttes,Seconds,Milliseconds		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-000-00000.mp4	2	1,11,28,27,430		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-001.csv	3	2,11,28,27,442		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-001-00000.mp4	4	3,11,28,27,473		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-002.csv	5	4,11,28,27,512		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-002-00000.mp4	6	5,11,28,27,553		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-002-00001.mp4	7	6,11,28,27,592		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-002-00002.mp4	8	7,11,28,27,633		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-003.csv	9	8,11,28,27,673		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-003-00000.mp4	10	9,11,28,27,713		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-004.csv	11	10,11,28,27,752		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-004-00000.mp4	12	11,11,28,27,792		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-005.csv	13	12,11,28,27,832		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-005-00000.mp4	14	13,11,28,27,874		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-006.csv	15	14,11,28,27,914		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-006-00000.mp4	16	15,11,28,27,955		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-007.csv	17	16,11,28,27,992		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-007-00000.mp4	18	17,11,28,28,032		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-008.csv	19	18,11,28,28,073		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-008-00000.mp4	20	19,11,28,28,112		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-008-00001.mp4	21	20,11,28,28,152		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-009.csv	22	21,11,28,28,192		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-009-00000.mp4	23	22,11,28,28,232		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-010.csv	24	23,11,28,28,272		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-010-00000.mp4	25	24,11,28,28,312		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-011.csv	26	25,11,28,28,352		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-011-00000.mp4	27	26,11,28,28,392		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-012.csv	28	27,11,28,28,432		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-012-00000.mp4	29	28,11,28,28,472		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-000.csv	30	29,11,28,28,512		
Lerøy_Sjötroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-000-00000.mp4	31	30,11,28,28,552		

Informasjon om dato er ikke tilgjengelig i filnavn eller tekstfil. Dermed må dette ekstraheres fra metadata i mp4 fil og kombineres med filnavn og informasjon i tekstfil.

Alle filene ble lest ved hjelp av OpenCV-Python. Dato for hver fil ble bestemt fra metadata i mp4 filene, disse ble da sammenstilt med tekstdata. Skuddoversikten ble videre benyttet for å finne de riktige videofilene for hvert skudd.



Figur 2.3 Tilgjengelige filer som funksjon av dato.

Tabell 2.5 Ny metadatafil med informasjon om videofil (navn, dato, tilhørende tekstfil).

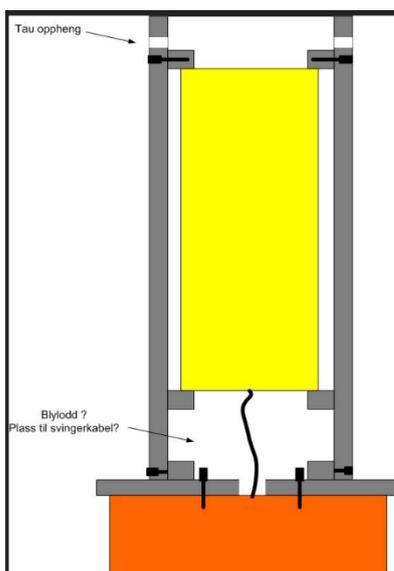
Fields	name	folder	date	bytes	isdir	datum	csv
1	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-000-00000.mp4'	E:\Video'	'16-mar-2021 11:56:17'	1.3250e+09	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-000.csv'
2	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-001-00000.mp4'	E:\Video'	'16-mar-2021 12:18:17'	773176248	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-001.csv'
3	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-002-00000.mp4'	E:\Video'	'16-mar-2021 14:48:42'	4.3178e+09	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-002.csv'
4	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-002-00001.mp4'	E:\Video'	'16-mar-2021 16:52:57'	4.3179e+09	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-002.csv'
5	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-002-00002.mp4'	E:\Video'	'16-mar-2021 17:39:25'	1.4157e+09	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-002.csv'
6	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-003-00000.mp4'	E:\Video'	'17-mar-2021 10:58:18'	1.6199e+09	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-003.csv'
7	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-004-00000.mp4'	E:\Video'	'17-mar-2021 11:42:40'	474011652	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-004.csv'
8	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-005-00000.mp4'	E:\Video'	'17-mar-2021 14:41:42'	21665266	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-005.csv'
9	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-006-00000.mp4'	E:\Video'	'17-mar-2021 14:42:09'	4584710	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-006.csv'
10	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-007-00000.mp4'	E:\Video'	'17-mar-2021 14:45:03'	15816211	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-007.csv'
11	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-008-00000.mp4'	E:\Video'	'28-mar-2021 11:24:21'	4.3179e+09	0	7.3824e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-008.csv'
12	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-008-00001.mp4'	E:\Video'	'28-mar-2021 12:21:38'	1.7536e+09	0	7.3824e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-008.csv'
13	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-009-00000.mp4'	E:\Video'	'29-mar-2021 08:31:54'	12327097	0	7.3824e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-009.csv'
14	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-010-00000.mp4'	E:\Video'	'29-mar-2021 08:32:16'	9241695	0	7.3824e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-010.csv'
15	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-011-00000.mp4'	E:\Video'	'29-mar-2021 08:34:44'	6094001	0	7.3824e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-011.csv'
16	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-012-00000.mp4'	E:\Video'	'29-mar-2021 14:51:11'	16632666	0	7.3824e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Base_-_PTZ_Cam4-012.csv'
17	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-000-00000.mp4'	E:\Video'	'16-mar-2021 11:56:11'	730782031	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-000.csv'
18	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-001-00000.mp4'	E:\Video'	'16-mar-2021 12:18:10'	528743960	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-001.csv'
19	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-002-00000.mp4'	E:\Video'	'16-mar-2021 15:44:06'	4.3178e+09	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-002.csv'
20	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-002-00001.mp4'	E:\Video'	'16-mar-2021 17:39:22'	3.0274e+09	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-002.csv'
21	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-003-00000.mp4'	E:\Video'	'17-mar-2021 10:58:23'	1.3828e+09	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-003.csv'
22	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-004-00000.mp4'	E:\Video'	'17-mar-2021 11:42:36'	404021786	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-004.csv'
23	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-005-00000.mp4'	E:\Video'	'17-mar-2021 14:45:03'	12274168	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-005.csv'
24	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-006-00000.mp4'	E:\Video'	'28-mar-2021 11:48:04'	4.3186e+09	0	7.3824e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-006.csv'
25	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-006-00001.mp4'	E:\Video'	'28-mar-2021 12:21:30'	808993670	0	7.3824e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-006.csv'
26	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-007-00000.mp4'	E:\Video'	'29-mar-2021 08:34:44'	3650747	0	7.3824e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-007.csv'
27	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-008-00000.mp4'	E:\Video'	'29-mar-2021 14:51:11'	12855668	0	7.3824e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_Cam2-008.csv'
28	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_DOWN_Cam3-000-00000.mp4'	E:\Video'	'16-mar-2021 11:56:20'	548616695	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_DOWN_Cam3-000.csv'
29	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_DOWN_Cam3-001-00000.mp4'	E:\Video'	'16-mar-2021 12:18:23'	399005866	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_DOWN_Cam3-001.csv'
30	'Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_DOWN_Cam3-002-00000.mp4'	E:\Video'	'16-mar-2021 16:38:53'	4.3188e+09	0	7.3823e+05	Lerøy_Sjotroll_-_Skorpo_Ring_1_-_PTZ_DOWN_Cam3-002.csv'

Videofilene ble i hovedsak brukt til å undersøke hva som skjer med fiskens atferd der hvor vi observerer atferdsendringer på ekkoloddene.

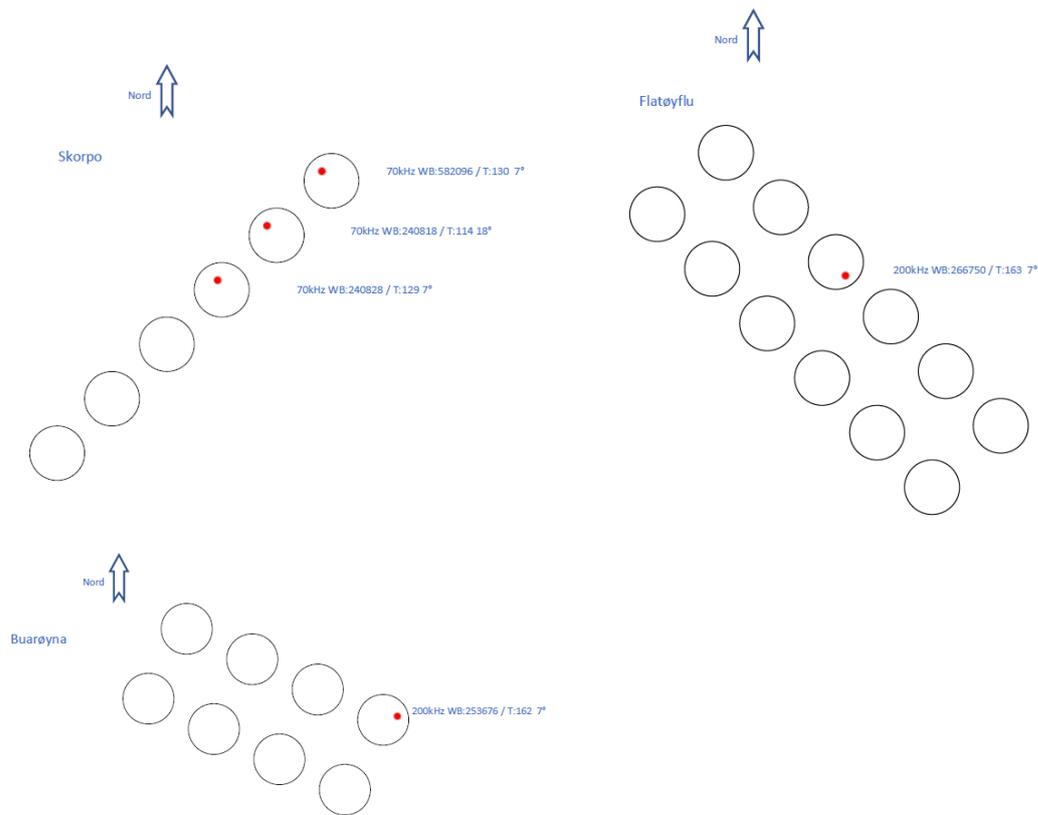
I tillegg ble skjermen som ble brukt til overvåking av fisken på Skorpo filmet 30s før – 30s etter hvert skudd. Denne skjermen viser merd nr. 3-6. Basert på det man observerte der ble det besluttet om man kunne gå videre i skuddprogrammet.

## 2.4 Fiskeatferd – ekkolodd

Fem ekkolodd ble fordelt på tre anlegg; Skorpo, Flatøyflu og Buarøy. Alle ekkoloddene er vertikalt orientert slike at de er posisjonert under vannoverflaten og peker ned mot fisk og havbunn.



Figur 2.4 Skisse av ekkoloddoppsett bestående av Kongsberg Simrad WBAT (gul) og ekkoloddsvinger (oransje).



Figur 2.5 Plassering av ekkolodd (rød prikk) i de ulike lokasjonene og merdene.

Ekkoloddene ble plassert i merdene, 10-15 m fra ringen. Oversikt over merdene og plassering er vist i Figur 2.6. Ekkoloddene var kalibrert ved bruk av standardmetodikk med kalibreringskuler. Ekkoloddene opererte på nær maks pulsrepetisjonsfrekvens.

Rådatafiler fra ekkoloddene er lagret på Havforskningsinstituttets servere ifølge normal praksis for lagring. Mappen med rådatafiler inneholder også kalibreringsverdier for hvert ekkolodd, disse formateres for bruk med datafilene i LSSS (Large Scale Survey System) slik at alle verdier er kalibrert.

Første steget innebar en visuell undersøkelse av ekkogrammene i full oppløsning rundt hvert skudd (+/-15 minutter).

Deretter ble de fulle datasettene griddet og eksportert til CSV format ved hjelp av en Python script som automatiserte prosesseringen og eksporten fra LSSS. Ekkoloddene i CSV filene er også glattet med et 8x8 medianfilter for å redusere variasjon fra ping til ping som følge av bla bevegelse av ekkoloddet (forårsaket av vind, bølger).

Det nye datasettet gjennomgikk en visuell undersøkelse, før beregninger av et standard sett parametere hvor vi fokuserer på et utvalg:

1. Tetthet / akustisk biomasse
2. Vertikal massesenter

Det er verdt å nevne at «akustisk biomasse» ikke er et direkte tall på faktisk biomasse. Biomasseestimering i merd med akustikk har også en rekke utfordringer, forårsaket blant annet de høye tetthetene av fisk. Tetthets og dybdeverdier integreres også før og etter ett skudd for å se etter eventuelle endringer over en lengre tidsperiode (15 min).

Tabell 2.6 Spesifikasjon av ekkolodd

	Merd	Frekvens	Svinger	Pulsvarighet	Effekt
Skorpo 240828	Merd 4	70 kHz	ES70-7CD	256 ms	200 W
Skorpo 240818	Merd 5	70 kHz	ES70-7CD	256 ms	200 W
Skorpo 582096	Merd 6	70 kHz	ES70-7CD	256 ms	200 W
Flatøyflu 266750	Merd 6*	200 kHz	ES200-7CD	256 ms	75 W
Buarøy 253676	Merd 8*	200 kHz	ES200-7CD	256 ms	75 W



Figur 2.6 Kjede for prosessering av ekkolodd data.

De nye parameterne utgjør et sett tidsserier som er beskrivende for fiskelaget i merdene. Endringer i disse parameterne ble klassifisert som hendelser. Eksempler på hendelser er rask økning eller reduksjon i tetthet eller lagdyp.

Tidspunkt for hendelsene ble deretter sammenlignet med tidspunkt for skudd. I tillegg trekker vi ut de samme tidsperiodene uken før detonasjon, og lagrer disse for å se om det er signifikant flere hendelser i forbindelse med detonasjonene enn i kontrollperioden.

I tillegg integreres tetthetsverdiene før og etter et skudd over en tidsperiode (15 min), for å se etter evt. endringer som ikke er direkte visuelt synlige.

Det ble ikke samlet inn systematisk informasjon om andre hendelser på merd, som potensielt kan forårsake en falsk positiv registrering (for eksempel foring, arbeidsbåt).

---

---

## 2.5 Akustiske målinger

Det ble gjort lydmålinger på fire oppdrettsanlegg ved avstander ca 3700 – 6700 m fra detonasjonsområdet, og i tillegg på en posisjon ved Korsneset på ca 1000 m avstand. På Skorpo som har kortest avstand til detonasjonsområdet ble det gjort målinger for alle detonasjoner. På Flatøyflu og Kyrholmen ble det gjort målinger bare de tre siste dagene på grunn av tekniske problemer. På Buarøy var det også problemer med hydrofonen som gjør at vi ser bort fra disse målingene. Posisjonen ved 1000 m avstand blir referert til som Korsneset, der ble alle detonasjoner målt med en hydrofon med høy samplefrekvens for å undersøke effekten av boblegardin med mindre påvirkning fra lydpropagasjon over lange avstander.

En eksplosjon lager typisk en veldig høy, men kortvarig lyd. En slik lydimpuls inneholder mange frekvenser. For å presentere lyden bruker har vi brukt to ulike størrelser.

- Absolutt spissstrykk som er et mål på den høyeste eller laveste verdien (verdien i toppen eller bunnen av lydimpulsen). Lydtrykk måles i Pascal, men det er vanlig å bruke desibel i form av dB re 1 uPa.
- Lydeksponeringsnivået (SEL, sound exposure level) som er et mål på energien i lyden. Vi har brukt SEL beregnet for en periode på både 1 sekund som er praktisk når en skal se på frekvensinnholdet til pulsen, og på 10 sekund for å være sikker på å få med hele signalet med gjenklang. SEL blir uttrykt som desibel re.1  $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$

Lyden blir presentert både som filtrert fra 10-500 Hz som representerer frekvensområdet som fisk hører, men også ufiltrert siden ufiltrert spissstrykk er mest relevant i forhold til skader. For ufiltrert lyd prøvde vi å få med så mye av lyden som hydrofonen var i stand til å registrere, men der måtte vi bruke et høypassfilter som fjerner lavfrekvent støy fra bølger på havet, eller fjerner det som er utenfor hydrofonen sitt følsomhets område. De ulike hydrofonene hadde forskjellig samplefrekvens, så den høyeste målbare frekvens var forskjellig mellom de ulike hydrofonene. (Høyeste målbare frekvens = samplefrekvens/2.)

### 2.5.1 Korsneset

På Korsneset var det ikke noe oppdrettsanlegg, men det var et ønske om å undersøke effekten av boblegardin målt ved en posisjon der det ikke var fysiske hindringer for lyden. Det ble valgt en hydrofon med høy samplefrekvens for å få med den spisse toppen av spissstrykket. En hydrofon av typen Ocean Sonics icListen HF model SC2-RTH-X2 med samplefrekvens 512 kHz ble plassert på 30m dyp inne i bukta der detonasjonene ble utført ved en avstand på omtrent 1000 m fra detonasjonene, men slik at boblegardinet fortsatt ligger mellom detonasjonen og målepunktet. Frekvenser under 10 Hz ble filtrert bort fordi bølgene i havet ble dominerende. Brukbar frekvensområde ble derfor 10 Hz til 256 kHz.

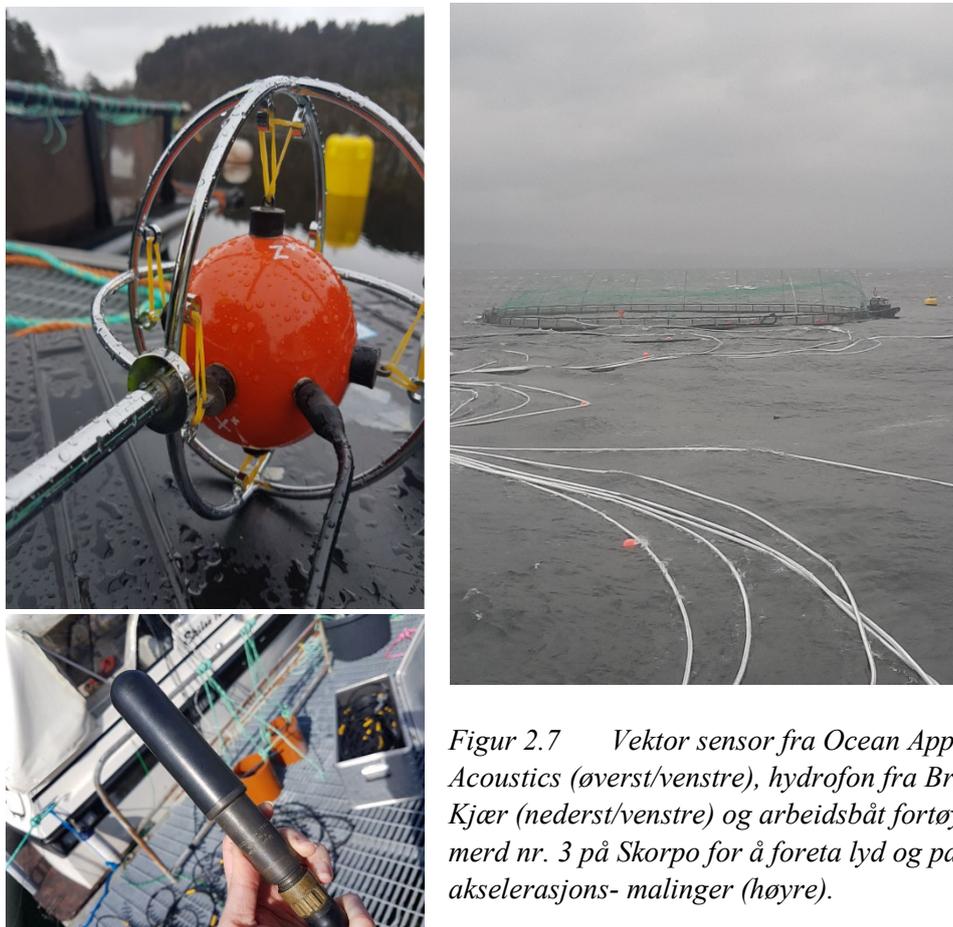
### 2.5.2 Skorpo

Oppdrettsanlegget Skorpo ligger ved en avstand på ca. 3700 m fra detonasjonsområdet. Målinger av lydtrykk ble gjort med 3 hydrofoner. I tillegg ble partikkelakselerasjonen målt med en vektorsensor.

---

---

To hydrofoner av modell B&K 8106 ble plassert på 10 og 30 m dyp hengende fra en båt (Figur 2.7). Disse ble kalibrert før og etter forsøket med B&K kalibrator av type 4229 med kopler WA-0658. Samplefrekvensen var 20 kHz. B&K 8106 målte frekvenser fra 20 Hz til 10 kHz siden det var et filter i forforsterkeren, en Brüel og Kjær Nexus conditioning Amlifier.



Figur 2.7 Vektor sensor fra Ocean Applied Acoustics (øverst/venstre), hydrofon fra Brüel og Kjær (nederst/venstre) og arbeidsbåt fortøyd ved merd nr. 3 på Skorpo for å foreta lyd og partikkel akselerasjons- malinge (høyre).

En vektorsensor av modell VHS-100 fra Ocean Applied Acoustics ble senket ned på 15m dyp. Denne har både hydrofon som måler lydtrykk og vektorsensor som måler partikkel-akselerasjonen i x, y og z retning. Denne ble kalibrert hos TNO i Nederland i 2020. Samplefrekvensen var 20 kHz, men denne var bare følsom for lyd mellom 20 Hz til 4 kHz.

B&K hydrofoner og vektorsensor var koblet med kabler til en loggeenhet (PXI fra National Instruments, NI PXIe-1092DC) som var om bord i båten målingene ble gjort fra. B&K hydrofoner og vektorsensor gjorde opptak av alle skudd alle dager, bortsett fra detonasjon nummer 11 da to av sensorene ble glemt på land under detonasjonen.

Første dagen ble detonasjon nummer 4 og 5 også målt på 18m dyp med en Sound Trap ST300HF fra Ocean Instruments med serienummer 5779 og samplefrekvens 576 kHz. Denne ble kalibrert fra fabrikk i august 2020.

---

### 2.5.3 Flatøyflu

Oppdrettsanlegget Flatøyflu ligger ca. 5800 m fra detonasjonsstedet. Etter planen skulle lydmålingene på Flatøyflu gjøres med en Naxys hydrofon. Denne virket ikke som den skulle. Det ble derfor ingen målinger de to første dagene. Fra dag nr. 3 og detonasjon nummer 11 ble lyden målt med en Sound Trap ST300HF hydrofon serienummer 5779 fra Ocean Instruments med samplefrekvens 576 kHz. Denne målte lyd fra 20 Hz til 288 kHz på 30m dyp. Den ble kalibrert fra fabrikk i august 2020.



Figur 2.8 Sound trap ST300HF

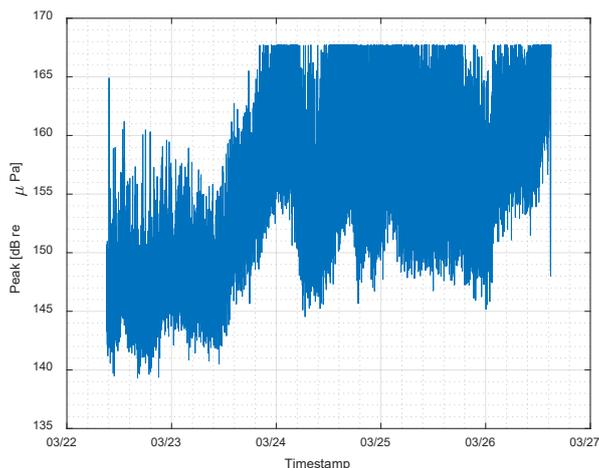
### 2.5.4 Kyrholmen

Oppdrettsanlegget Kyrholmen ligger ca. 6000 m fra detonasjonsstedet. En hydrofon av modell Naxys Ethernet Hydrophone 02345 med samplefrekvens 48 kHz ble brukt. Denne målte lyd i frekvensområdet fra 10 Hz til 24 kHz. På Kyrholmen var det også problemer med en Naxys hydrofon de første dagene. Første dag ble det ingen opptak. Dag nr. 2 ble det opptak av detonasjon nummer 7 og 8. De tre siste dagene er alle skudd dekket, bortsett fra skudd nr. 21. Naxys hydrofonene ble kalibrert med B&K kalibrator med en spesiallaget kopleter før og etter forsøket.

### 2.5.5 Buarøy

En akustisk logger fra Loggerhead instruments (<https://www.loggerhead.com/>) ble benyttet som mottaker på Buarøy. Den ble plassert på 20m dyp ved merden lengst øst på Buarøy. Sensoren logget med en frekvens på 16kHz. Det ble antatt en hydrofonsensitivitet på -164 dB basert på produsentens kalibreringskurver som ikke går lavere enn 1 kHz. Fra en tidligere kalibrering av recorderen ble det funnet at man må legge til 3.73 dB for å komme fra nivået i wav-filene til spenningsverdier på hydrofonene. Denne verdiene er det noe usikkerhet rundt siden den ikke er lik det oppgitte gainet til mottakeren. Med usikkerhet i både hydrofonsensitivitet og konvertering til volt, vil det være ganske stor usikkerhet (flere dB) for de absolutte nivåene man beregner.

For å se hvordan spissttrykket endret seg gjennom hele utsette ble det beregnet spissttrykk i segmenter på 10 sekunder gjennom hele datasettet. SEL er integrert i båndet 10-500Hz og over 10s intervaller, spissttrykket er maksttrykket i 10s intervaller. Resultatene fra dette er vist i figur 2.9 og man kan umiddelbart se at det er problemer med datasettet. Fra kvelden den 24. mars kan man se at mottakeren går i metning i mange av segmentene. Det vil derfor ikke være mulig å si noe om spissttrykket i disse periodene, og beregning av SEL vil heller ikke gi korrekte verdier. Videre analyser ble kun foretatt for skudd 1-10.



Figur 2.9 Hydrofondata fra Loggerheaden på Buarøy viser at sensoren går i metning. Dette skjer uavhengig av detonasjonene og skyldes enten en lokal støykilde nær hydrofonen eller egenstøy i sensoren.

## 2.6 Fôropptak og dødelighet

Prosjektet fikk tilgang til biologisk ukerapport fra Lerøy for de aktuelle lokalitetene (Microsoft Excel format). Disse rapportene er organisert per lokalitet og merd, og inneholder dato, antall fisk tapt (#), biomasse tapt (kg), andel fisk tapt (%) og forforbruk i perioden (kg).

Tabell 2.7 Utdrag av biologisk ukerapport for 22.02-25.04.

Generell informasjon		Totalt tapt		Andel tapt [%]	Fôring Fôrforbruk i periode [kg]	
Dato		Antall fisk	Biomasse [kg]			
Lokalitet: Buarøy		17 830		28 887	1.41	635 702.00
Enhet: 01		2 244		4 273	1.16	115 625.00
	22.02.2021	30		49	0.02	1 229.00
	23.02.2021	65		108	0.03	2 063.00
	24.02.2021	34		57	0.02	2 004.00
	25.02.2021	33		55	0.02	1 708.00
	26.02.2021	52		87	0.03	2 136.00
	27.02.2021	34		57	0.02	1 213.00
	28.02.2021	31		53	0.02	1 367.00
	01.03.2021	30		51	0.02	1 972.00
	02.03.2021	121		207	0.06	1 894.00
	03.03.2021	22		38	0.01	1 484.00
	04.03.2021	68		117	0.04	1 336.00
	05.03.2021	24		42	0.01	1 734.00
	06.03.2021	25		44	0.01	1 875.00
	07.03.2021	18		31	0.01	1 977.00
	08.03.2021	39		69	0.02	1 820.00
	09.03.2021	14		25	0.01	2 006.00
	10.03.2021	31		55	0.02	1 589.00
	11.03.2021	20		36	0.01	2 296.00
	12.03.2021	20		36	0.01	1 648.00
	13.03.2021	19		34	0.01	1 576.00
	14.03.2021	26		47	0.01	1 942.00
	15.03.2021	50		91	0.03	2 156.00
	16.03.2021	20		37	0.01	2 136.00
	17.03.2021	17		31	0.01	1 269.00
	18.03.2021	19		35	0.01	1 968.00
	19.03.2021	24		44	0.01	2 030.00
	20.03.2021	25		46	0.01	1 878.00
	21.03.2021	31		58	0.02	1 849.00
	22.03.2021	27		51	0.01	1 880.00
	23.03.2021	42		79	0.02	1 304.00
	24.03.2021	39		74	0.02	1 846.00
	25.03.2021	25		47	0.01	1 951.00
	26.03.2021	22		42	0.01	1 628.00

---

Den biologiske ukesrapporten ble importert i R og strukturert for visualisering og analyse. Data for dødelighet og forforbruk er visualisert for hvert anlegg og merd med TIMETK (<https://opensource.com/lib/timetk>) som også estimerer spredning og anomalier (verdier som skiller seg ut statistisk). Middelerdi, median og kvantiler ble estimert per uke per anlegg. Signifikans ble undersøkt ved en ikke-parametrisk test (parvis Wilcoxon signed-rank test). Denne metoden tester om verdier er trukket fra samme fordeling og benyttes for å sammenligne grupper av verdier. I tillegg viser vi råverdiene, de daglige observasjonene av dødelighet og forforbruk for å se etter endringer gjennom eksponeringsperioden og mot andre nærliggende uker. Vi fokuserer spesielt på Skorpo som ligger nærmest skuddposisjonen.

## 2.7 Patologiske undersøkelser

Det ble håva inn 25 fisk fra merd nr 6 på Skorpo kl 09:30 den 22.03.2021, altså før skudd 1. Dette er referansegruppen. Tilsvarende ble det tatt ut 25 fisk fra samme merd kl 14:00 etter skudd 25 den 26.03.2021. Dette er da den eksponerte gruppen. Fisken ble fraktet inn til land med båt levende i kar. Dette kan medføre stress, men i utgangspunktet ble det antatt at stresspåkjenningen ville være lik ved alle prøveuttakene. Det ble tilført friskt sjøvann til karene på kaia. Deretter ble fisken avliva med Benzoak (8 stk av gangen) og prøvetatt. På første prøveuttak var utvalget av fisk prega av innslag av tynne tapere med sår som sannsynligvis slet med osmoregulering. Det var følgelig varierende innslag av fôr i tarm hos disse fiskene. Vi forsøkte å unngå å ta prøver av de svakeste men for å oppnå et tilstrekkelig antall, ble noen fisk med skader med. Selve innfangingen og transporten av fisk tok ca 1 time. Selve prøveuttaket tok ca 2 timer.

Alle fiskene ble obdusert og full histopatologisk undersøkelse og dyrkning for sykdomsframkallende bakterier ble utført på 10 fisk fra hvert uttak.

Fiskene ble inspisert utvendig, gjellelokket klippet av, buken åpnet og venstre bukside fjernet. Gjeller, gjellelokk, pseudobrank, hjerne (på fisk det ble gjort utvidet prøveuttak av) og indre organer ble inspisert. Indre organer ble skjøvet ventralt for å avdekke svømmeblære og nyre. Det ble lagt et snitt i skjelettmuskulatur langs ryggraden. Detaljert prosedyre i vedlegg A og B

## 2.8 Stresshormon

Blod- og avføringsprøver ble tatt fra 25 fisk fra merd nr. 6 på Skorpo før eksponering (dag 0), etter skuddeksponering 10 (dag 2), etter skuddeksponering 25 (dag 5) og 24 timer etter skuddeksponering 25 (dag 6). Prøver fra fiskene ble samlet inn som beskrevet ovenfor i kap. 2.7. Blodprøver ble tatt fra kaudalvenen ved bruk av EDAT (etylendiamintetraeddiksyre) vacuainere (VACUETTE® TUBE, Greiner bio-one, Østerrike), sentrifugert i 10 minutter (2000 rpm). Deretter ble plasma pipettert ut og lagret ved -80°C inntil kortisolanalyse.

Avføringsprøver fra fisken ble tatt ved manuell stryking av buken og sikret slik at den ikke ble kontaminert av vann, slim og urin. Avføringsprøvene ble lagret ved -80 °C før analyse.

---

---

For hvert prøvetaknings-tidspunkt ble like volumer av plasma og like volum med avføring fra hver fisk slått sammen hver for seg og homogenisert. Homogenisert avføring ble fordelt på 10 prøver. Serum ble også sammenslått og fordelt på 10 prøver for videre analyse.

Plasmakortisol ble ekstrahert ved å følge instruksjoner til enzymimmunoassay (EIA)/enzymkoblet immunosorbentanalyse (ELISA) kit for kortisolanalyser (Neogen, Lexington, KY, USA), som tidligere beskrevet av Afonso et al. (2003). Plasma (100 µL) og dietyleter (1 ml) (Sigma, St. Louis, MO, USA) ble blandet i et glassrør i 30 sekunder. Deretter ble væskefasene separert. Den organiske øvre fase ble overført til et rent rør og løsningsmidlet ble fordampet i nitrogen. Resten ble oppløst i 100 µL fortynnet ekstraksjonsbuffer før plasmakortisol ble målt.

Fekale kortisolmetabolitter (FCM) ble ekstrahert ved bruk av metanol som tidligere beskrevet av Cao et al. (2017). Avføringsprøven (100 mg) ble godt blandet med 1 ml vandig metanol i 2 timer ved romtemperatur og deretter sentrifugert 3000 rpm i 10 minutter. Den ekstraherte flytende delen ble overført til et rent rør, og løsningsmidlet ble fordampet i nitrogen. Resten ble oppløst i 100 µL fortynnet ekstraksjonsbuffer (fra ELISA-kit).

### **2.8.1 Kortisolmålinger**

Ekstraherte plasma- og avføringsprøver ble analysert for kortisol. Kortisolnivåene ble bestemt i duplikater med et ELISA-kit som er tilpasset kortisolanalyser. Først ble prøvene fortynnet 5 ganger. Standardene som følger ELISA kittet ble serielt fortynnet i EIA bufferen (fra kittet). Først ble 50 µl fortynnete prøver, standardene, og blank prøver (kun EIA buffer) tilsatt i duplikater til brønner i analyseplaten, som ble dekket med anti-kortisol-antistoffer. Etterpå, ble 50 µl av kortisolenzym-konjugatet tilsatt hver av brønnene i platen og inkubert ved romtemperatur i en time. Etter inkubering ble platen vasket med vaskbuffer, 3 x 300 µl/brønn. Deretter ble 150 µl/brønn av substrat tilsatt og inkubert i 30 minutter ved romtemperatur. Til slutt ble 50 µl/brønn 1N saltsyre (HCl) tilsatt for å stoppe enzymreaksjonen.

Absorbansen ved 450 nm ble målt ved bruk av en Multiskan FC Microplate Photometer (Thermo Scientific). En standardkurve ble plottet ved hjelp av resultater fra analysene av kortisolstandardene, og kortisolkonsentrasjonene i alle prøvene ble estimert fra denne grafen, som beskrevet i kittets instruksjon.

## **2.9 Modellering av variasjon i transmisjonstap**

I forbindelse med eksperimentet ble det målt lydnivåer i merdene under detonasjoner av ladninger som tilsvarer de Forsvaret planlegger å bruke. Målingene ble foretatt i mars, men endringer i sjøtemperatur og saltholdighet gjennom året kan føre til at propagasjonstapet ikke er det samme året rundt. Derfor ble transmisjonstapet simulert langs to transekter fra Korsnes til fiskeoppdrettsanlegg ved Flatøyflu og Skorpo ved hjelp av RAM (Collins 1994). Dette er et numerisk verktøy for å løse paraboliske lignings approksimasjon av bølgeligningen. Simuleringene har antatt et kildedyp på 5 m og et mottakerdyp på 20 m. Transmisjonstap er beregnet for frekvensene 25, 50 og 100 Hz som er innenfor det hørbare frekvensområdet til

---

---

fisken. Miljømodellene inneholder avstandsavhengige lyd hastighetsprofiler som er antatt representative for hver måned fra januar til desember.

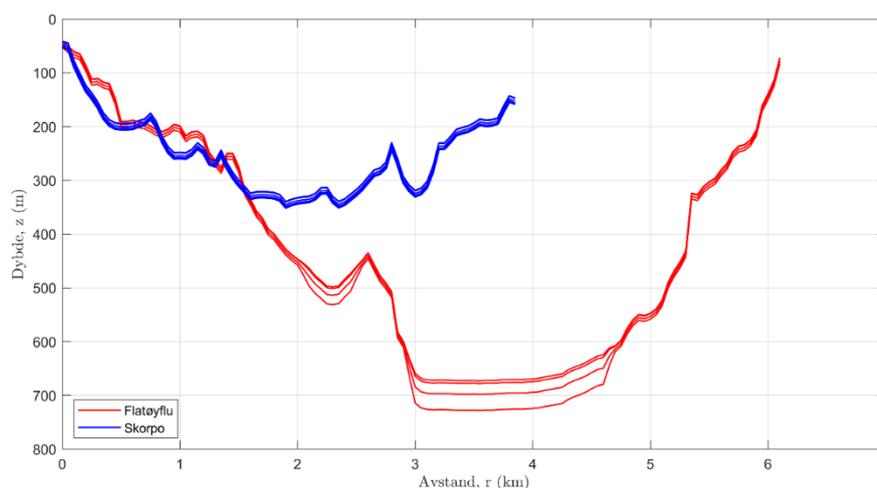
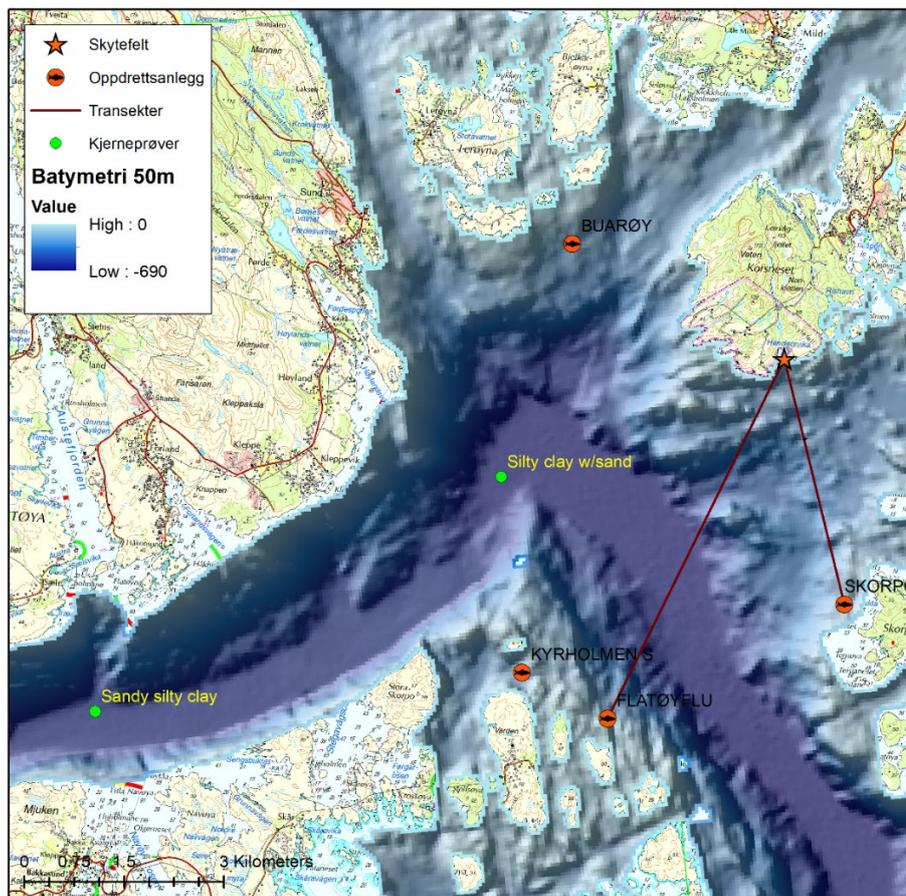
Avstandsavhengige lyd hastighetsprofiler er konstruert som input til modellen ved hjelp av invers avstandsvektning av temperatur- og salinitetsprofiler fra oseanografiske modeller av norskekysten levert av Metrologisk Institutt (MET). Profiler hentet fra den 15. hver måned er brukt som representative profiler for hver måned. Lyd hastighet beregnes fra temperatur, salinitet og dybde (Medwin 1975). I månedene mai til september dannes det et overflatesjikt med ferskvann som vil resultere i lavere transmisjonstap for kilde og mottaker plassert nær overflaten. Det må bemerkes at havmodellen har sine begrensninger innaskjærs da den ikke klarer å få med lokale variasjoner.

I tillegg til lyd hastighetsprofiler må modellen også ha input fra havbunnsmodeller og informasjon om lagdeling og egenskaper til sedimenter og berggrunn. Langs de to transektene fra skytefeltet til Skorpo og Flatøyflu ble to ugraderte dybdeprofiler laget ved å nedskalere batymetri med høy oppløsning til 50 m oppløsning. De to profilene er vist i Figur 2.10 og vil bli brukt til akustisk modellering langs transektene.

*Tabell 2.8 Tabell over mulig lagdeling og egenskaper til sedimenter og berggrunn i Korsfjorden. Tallene er basert på undersøkelser i Norskerenna (Eidem 2008, Eidem & Landmark 2013), kjerneprøver fra Korsfjorden (Eidem & Landmark 2008), og typiske verdier i litteraturen (f.eks. Ainslie 2010).*

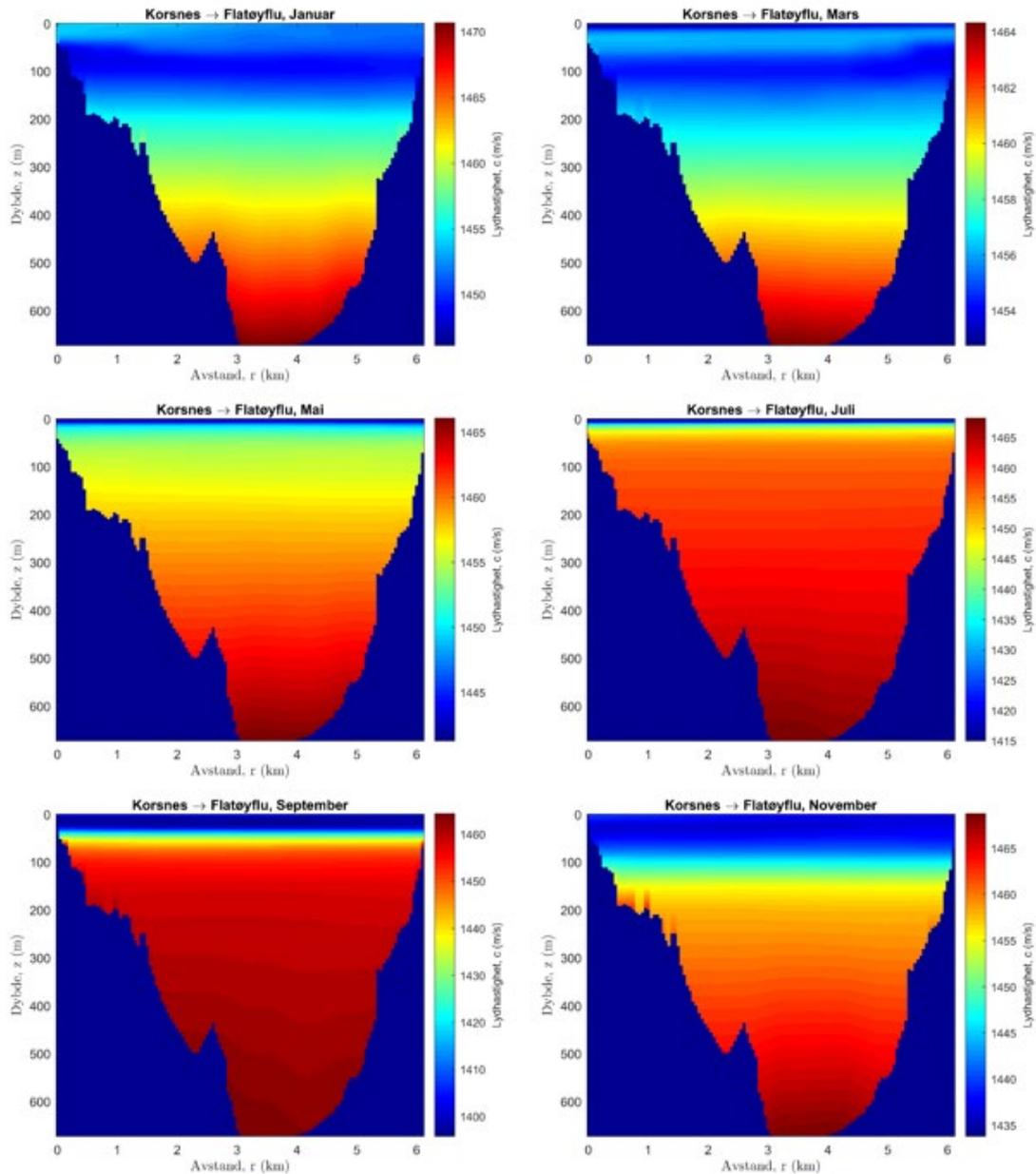
Sedimentlag	Tykkelse (m)	Lyd hastighet (km/s)	Tetthet (g/cm <sup>3</sup> )	Dempning (dB/λ)
Marin (holosen)	1-5	1.50	1.6	0.4
Glasiomarin	5-20	1.55	1.8	0.4
Morene	5-30	1.75	2.0	0.2
Basement (Prekambrisk)	Uendelig	5.40	2.6	0.1

Basert på undervannstopografien og på undersøkelser fra andre områder kan vi anta at bunnen i Korsfjorden er dekket av forskjellige lag med sedimenter. Under disse sedimentene er det prekambrisk berggrunn som stort sett er krystallinsk og har veldig høy lyd hastighet og tetthet (Eidem & Landmark 2013). De akustiske egenskapene til disse sedimentære lagene og berggrunnen er ganske godt kjent i Forsvarets øvingsfelt i Norskerenna utenfor Korsfjorden (Eidem 2008, Eidem & Landmark 2013). Utfordringen er at tykkelsen, variasjonen og egenskapene til de forskjellige sedimentlagene er nær ukjent inne i selve Korsfjorden. Et estimat av egenskaper og tykkelse til sedimenter i Korsfjorden er basert på to innsamlede kjerneprøver, på informasjon fra Forsvarets øvingsfelt og på typiske verdier i litteraturen.

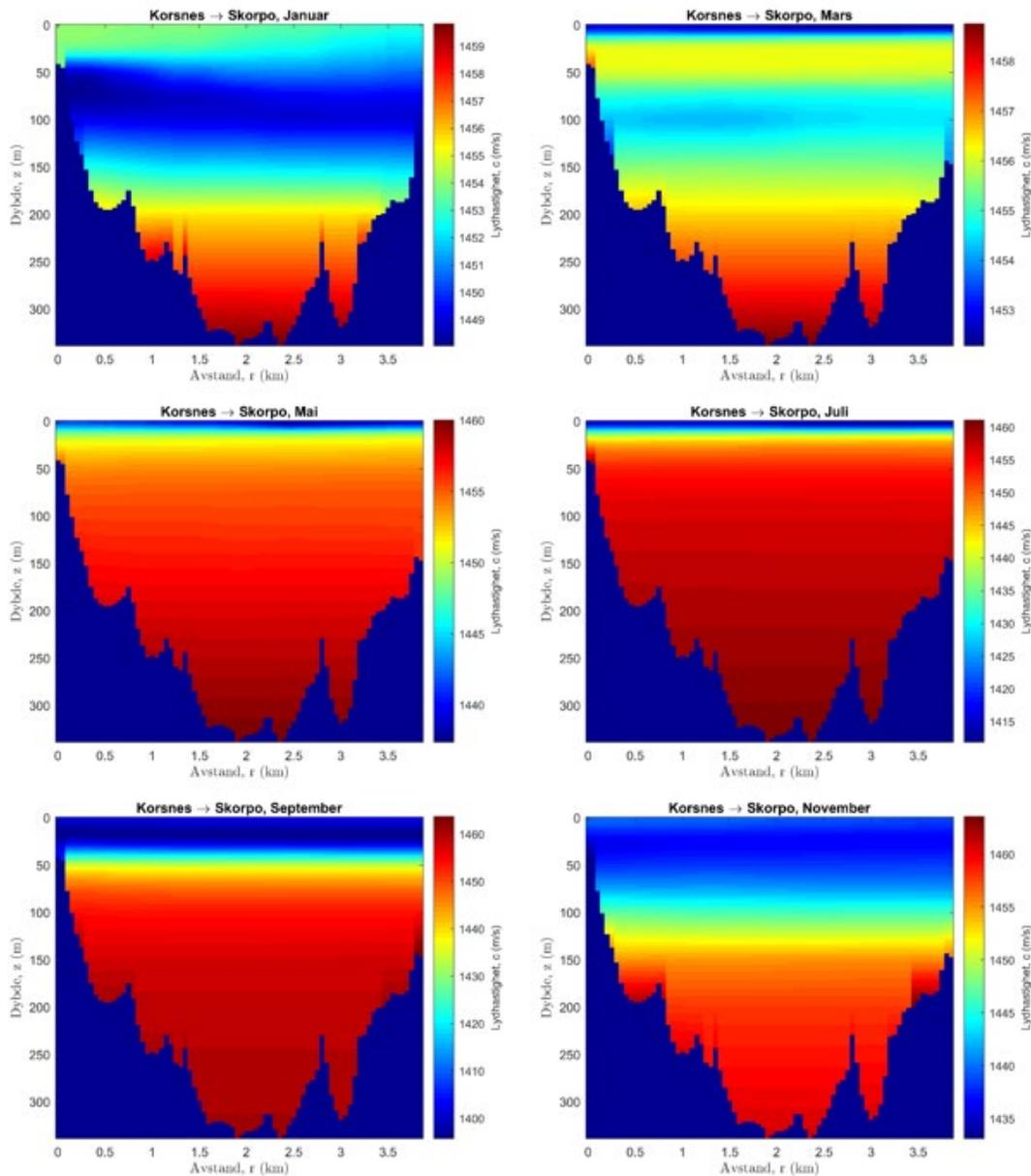


Figur 2.10 Øverst; batymetri med oppløsning på 50 m i Korsfjorden ved Korsnes fort. Oppdrettsanlegg og skytefelt er vist sammen med to transektter fra skytefeltet til oppdrettsanleggene ved Skorpo og Flatøyflu. Nederst; Dybdeprofiler langs transektene fra Korsnes til Flatøyflu (rød linje) og Skorpo (blå linje). Dybdeprofilene viser vanddyb og estimert dybde til sedimentlagene: marin (holocene), glasiomarin, morene og berggrunn.

Langs transektene er minste tykkelse på lagdelingene brukt i modelleringen av variasjoner i transmisjonstap, med unntak av i rennene (2-2.55 km og 2.9-4.7 km) fra Korsnes sprengfelt til Flatøyflu. I disse rennene er det brukt henholdsvis senterverdi av tykkelsesintervallet og maksimum antatt tykkelse for å etterligne mer naturlige profiler.



Figur 2.11 Avstandsavhengig lydastighetsprofil langs transektet Korsnes til Flatøyflu for hele året representert med en profil annenhver måned. I modellen brukes en profil for hver måned.



Figur 2.12 Avstandsavhengig lydshastighetsprofil langs transektet Korsnes til Skorpo for hele året representert med en profil annenhver måned. I modellen brukes en profil for hver måned.

## 2.10 Andre miljøeffekter

Dette studie fokuserer på mulige negative effekter av Forsvarets planlagte øvingsaktivitet på oppdrettsfisken i anleggene rundt Korsnes. Det er også gjort en vurdering av hvilke andre negative effekter på havmiljø forsvarets planlagte øvingsaktivitet kan ha. Dette er gjort ved å beregne utbredelsen av lydbølgen fra detonasjonene ut i Korsfjorden ved bruk av en semiempirisk modell etablert av Kjellsby & Kvalsvik (1997). I dette tilfelle er modellen

---

korrigert med de faktiske målingene fra Korsnes (1000m avstand) og Skorpo (3700m avstand), samt de målte effektene av boblegardinet. Ved hjelp av etablerte terskelverdier for skade på fisk og sjøpattedyr (Kvadsheim et al. 2020) kan en da beregne hvor stor skadesonen rundt øvingsområdet er. Deretter sammenstilles dette med informasjonen om utbredelse av fisk og pattedyr i området (Nordlund og Kvadsheim 2020).

---

---

## 3 Resultater

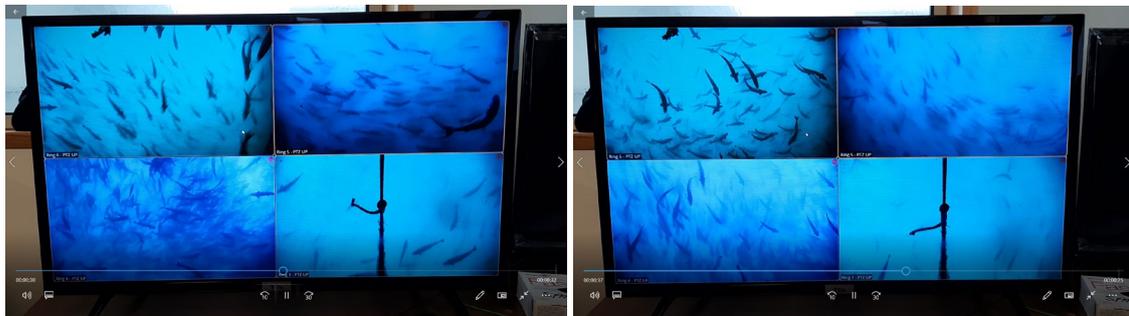
### 3.1 Oversikt

Samtlige 25 skudd ble avfyrt som planlagt og boblegardinet virket etter hensikten. Den løpende vurderingen av fiskens reaksjon og helse innebar ikke behov for å stanse eksperimentet. Innsamling av hydrofonddata, og ekkoloddata gikk stort sett som planlagt. Prøvetaking av til sammen 100 fisk ble foretatt av fiskehelsepersonell fra Lerøy. Kameradata, og data på fôrforbruk og dødelighet ble registrert av Lerøy og oversendt i etterkant.

### 3.2 Fiskeatferd - kameradata

Basert på egne videoopptak av merdene på Skorpo gjorde fiskehelseansvarlig hos Lerøy Sjøtroll og dyrevelferdsansvarlig for eksperimentet fortløpende vurdering av fiskens reaksjon. Tabell 3.1. oppsummerer deres beskrivelse av responsene. Overvåkingssystemet dekket 4 av 6 merder på Skorpo (Figur 3.1). Fiskehelseansvarlig hos Lerøy kunne også se tilsvarende overvåkingsbilde fra de andre 3 anleggene fra Lerøys foringsentral.

Det ble observert korte ubetydelige atferdsrespons på skudd 12, 13, 16, 22, 23 og 25, mens vi så tydelige reaksjoner på skudd 17, 19, 20 og 24. Ingen responser ble karakterisert som unormale, det vil si at atferden enten er normal eller at normal driftsaktivitet på anlegget kan utløse tilsvarende atferdsrespons. Det kan se ut som fisk som fores er mer responsiv, og den minste fisken (smolt i merd nr 5,6) er mer responsiv enn større fisk (postsmolt i merd 1-4).



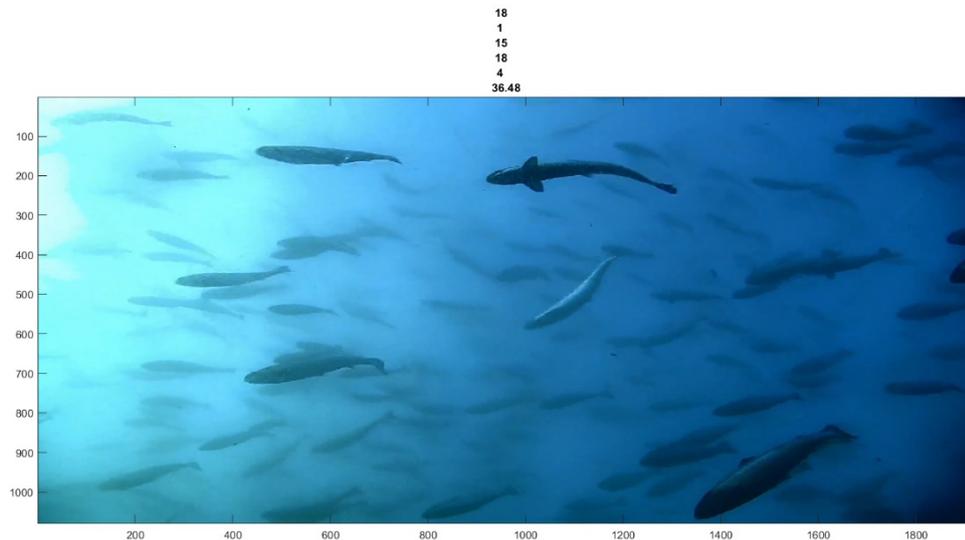
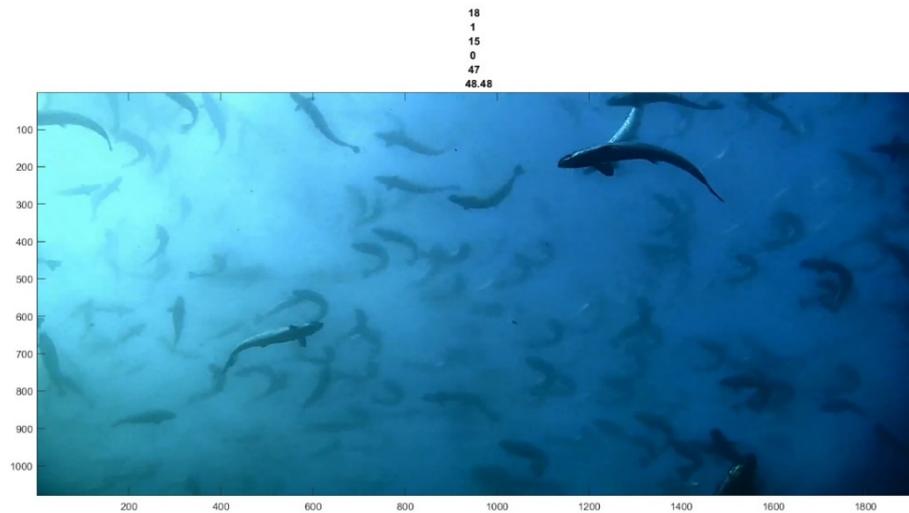
*Figur 3.1 Overvåkingsbilde fra merd nr 3,4,5 og 6 på Skorpo 26.03.2021 kl 11:59:50 rett før skudd 24 (til venstre) og kl 12:00:10 rett etter skuddet (til høyre). Videoen viser tydelig reaksjon hvor fisken stimet nedover i merdene, men bare i noen sekunder.*

Ved prosessering av videofilene som Lerøy tok opp på Skorpo viste det seg at kun 31% av filene er lesbare, og det er kun et fåtall av de lesbare filene som korresponderer til skudd. Filene ble forsøkt lest med en rekke verktøy (for eksempel VLC, Python, Matlab, Windows Media Player) uten hell. To av de lesbare filene er fra merd 4 under skudd 12 (0,5 kg uten boblegardin) og vises i figur 3.2. Fra videofilene ser man en liten adferdsrespons i form av tilsynelatende horisontal endring i svømmeretning.

Slike responser er sannsynligvis vanskelig å detektere med ekkolodd (horisontal endring i svømmeretning), da dette ikke påvirker målstyrken i like stor grad som dykkerrespons, og at tetthetene er for høye til å løse opp individuelle fisk i laget. Kunne man løst opp individuelle fisk kan disse målfølges.

Tabell 3.1 Kort oppsummering av de observasjoner som ble gjort fortløpende i skuddprogrammet av fiskehelseansvarlig hos Lerøy Sjøtroll og dyrevelferdsansvarlig for eksperimentet.

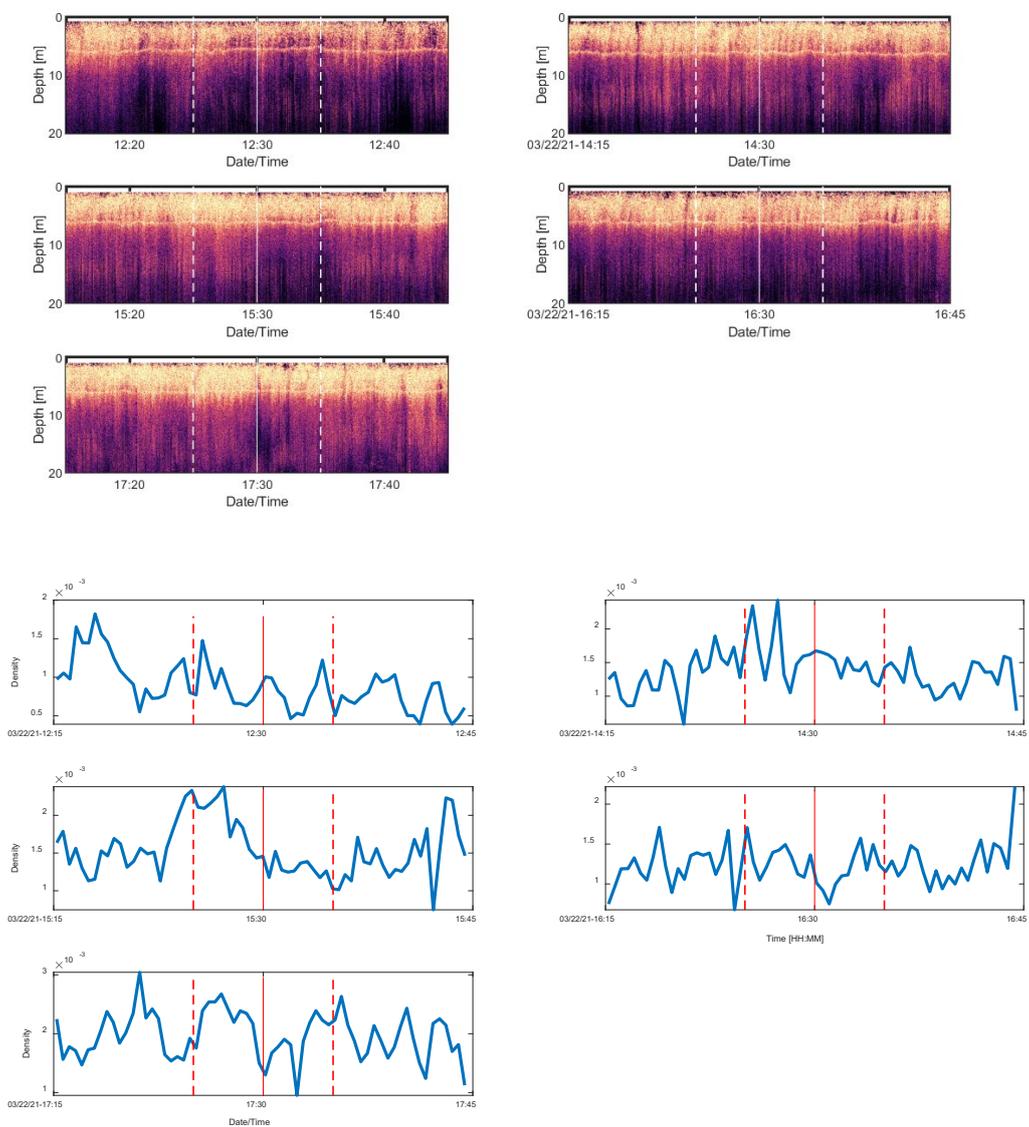
Dato	Tid	Skudd	Reaksjon
22.03.2021	11:30:00	1	Ingen reaksjon i merd 3,4,5,6 på Skorpo
22.03.2021	13:30:00	2	Litt økt aktivitet i merd 5 som vi tror skyldes at fisken begynte å få før rett før skuddet.
22.03.2021	14:30:00	3	Ingen reaksjon i merd 3,4,5,6 på Skorpo
22.03.2021	15:30:00	4	Muligens en liten reaksjon i merd 5 og 6. Litt økt svømmehastighet og stiming i flere retninger. Ingen vesentlig vertikalforflytning
22.03.2021	16:30:00	5	Ingen reaksjon
23.03.2021	11:00:00	6	ingen reaksjon
23.03.2021	12:00:00	7	ingen reaksjon
23.03.2021	13:00:00	8	ingen reaksjon, fisken i merd 6 står veldig stille, men i merd 5 er det stor aktivitet, ingen endrer atferd
23.03.2021	14:00:00	9	ingen reaksjon
23.03.2021	15:00:00	10	ingen reaksjon
24.03.2021	10:30:00	11	Ingen reaksjon
24.03.2021	12:30:00	12	Liten reaksjon i merd 4, ingen reaksjon i 3,5,6
24.03.2021	13:30:00	13	Liten reaksjon i merd 4 og 6. Fisken innstiller seg parallelt, øker svømmeintensitet og svømmer nedover i ca 10s. En tydelig reaksjon, men ingenting unormalt.
24.03.2021	14:30:00	14	ingen reaksjon
24.03.2021	15:30:00	15	ingen reaksjon
25.03.2021	11:00:00	16	Muligens en liten reaksjon med takt og retningsskift i merd 4 og 6. Varte bare noen sekund
25.03.2021	12:00:00	17	Tydelig reaksjon i merd 5 og 6 (den minste fisken), men ikke merd 3 og 4. Fisken innstiller seg parallelt og øker svømmeintensitet i ca 10s. En tydelig reaksjon, men ikke unormalt
25.03.2021	13:00:00	18	Ingen reaksjon
25.03.2021	14:00:00	19	En kort men tydelig respons i merd 4 og 5, sterke i merd 5. Fisken svømmer synkront nedover i noen sekunder.
25.03.2021	15:00:00	20	Tydelig reaksjon i merd 6, stuper synkront i 5 s. Ingen reaksjon i merd 3,4,5. Bare merd 6 fores
26.03.2021	09:00:00	21	Ingen reaksjon
26.03.2021	10:00:00	22	Liten reaksjon i merd 4 og 5 (som fores). Ikke i merd 3 og 6, fisken setter fart og stimer litt nedover i noen sekund. Ingenting problematisk, men en reaksjon
26.03.2021	11:00:00	23	Liten reaksjon i merd 4 (fores9, men den kommer ca 15s etter forventet skuddankomst. Piler litt nedover. Ingen reaksjon i de andre merdene.
26.03.2021	12:00:00	24	Tydelig reaksjon i merd 3,4,6 (som fores). Fisken stimer nedover i ca 10s. Foringsentralen på Austevoll rapporterer om reaksjon også på Flatøyflu. Ingen reaksjon i merd 5
26.03.2021	13:00:00	25	Veldig kort spredningsreaksjon i merd 4. Merd 4 har vært responsiv hele dagen. Ingen reaksjon i merd 3,5,6



Figur 3.2 Øvre bilde viser før og nedre bilde etter skudd 12. 24.03.2021 kl 12:30:00. Etter skuddet ser man at fiskestimen beveger seg mer synkront i en retning.

### 3.3 Fiskeatferd – ekkolodd

Alle ekkoloddene opererte som planlagt, og samlet data fra 15.03 til 27.03. Figur 3.3-3.6 viser eksempler på data og tidsserier fra Merd nr. 5 på Skorpo som har et stabilt lag nær overflaten på dagtid.



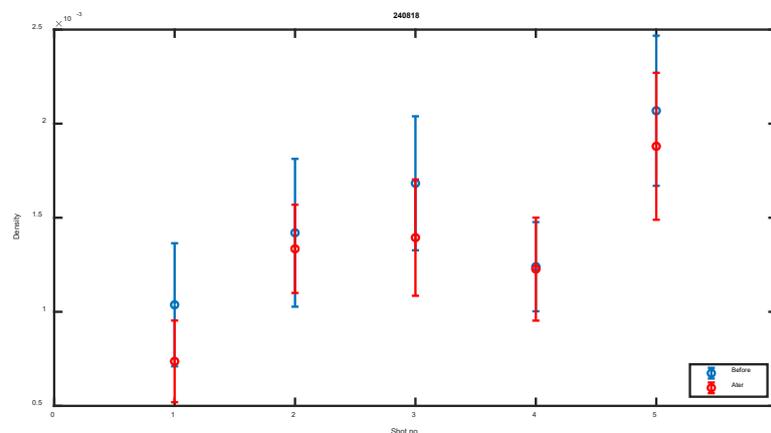
Figur 3.3

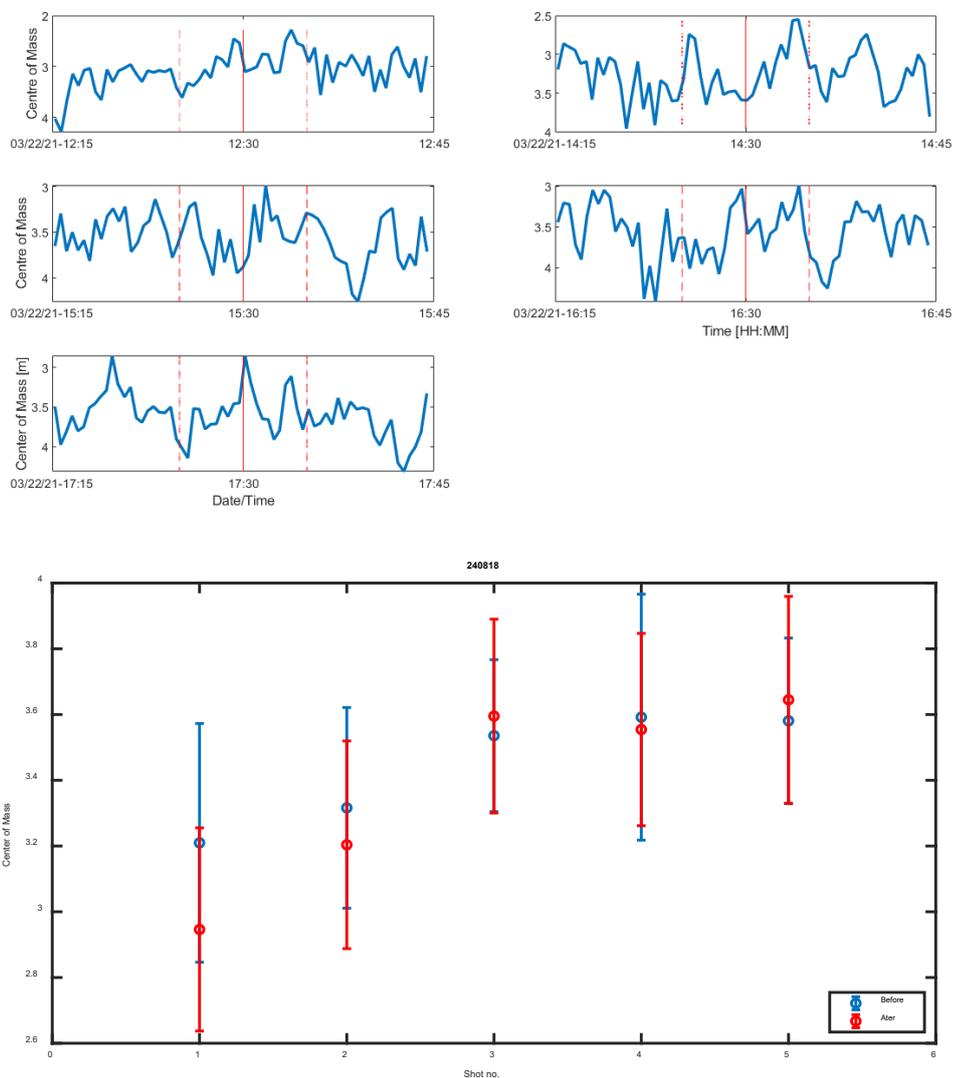
Skorpo, merd 5, skudd 1-5

Øverst: Ekkogram som viser lag av fisk (skuddtidspunkt vertikal hvit linje)

Midten: Tidsserier med akustisk tetthet gjennom forsøkene. Skudd-tidspunkt markert med rød linje.

Nederst: Gjennomsnittlig akustisk tetthet 15min før (blå) og 15 min etter (rød) hvert skudd.

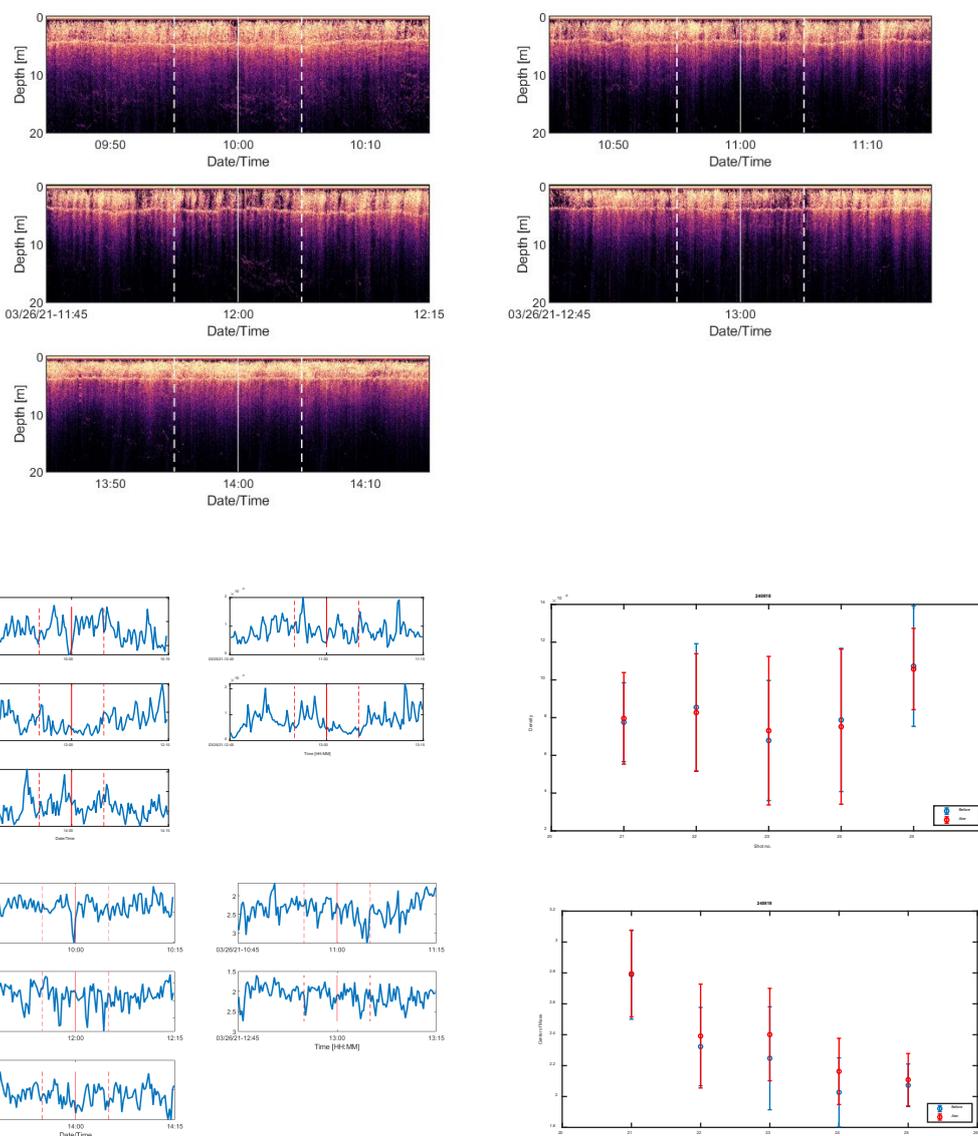




Figur 3.4 Skorpo, merd nr. 5, skudd 1-5. Øverst: Tidsserier med akustisk vertikalt massesenter gjennom forsøkene. Nederst: Gjennomsnittlig akustisk vertikalt massesenter 15min før (blå) og 15 min etter (rød) hvert skudd.

Vi tar her også med Skorpo Merd 5 og siste dag med skudd, hvor de største detonasjonene fant sted (Figur 3.5).

Generelt for alle datasettene er at fisken i merdene står høyere i vannsøylen om dagen enn natten gjennom forsøksperioden. Ekkoloddene registrerer generelt høye tettheter nær overflaten fra morgen til kveld, og lave tettheter i løpet av dagen. Buarøy er et unntak, der tettheten nær overflaten er tilnærmet lik dag og natt.



Figur 3.5 Skorpo, merd nr. 5. skudd 21-25.

Øverst: Ekkogram som viser lag av fisk (skuddtidspunkt vertikal hvit linje).

Midten: Tidsserier med akustisk tetthet gjennom forsøkene (venstre) og gjennomsnittlig akustisk tetthet 15min før (blå) og 15 min etter (rød) hvert skudd (høyre).

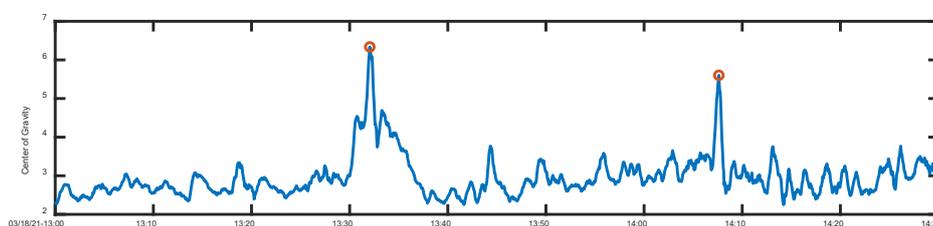
Nederst: Tidsserier med akustisk massesenter gjennom forsøkene (venstre) og gjennomsnittlig akustisk massesenter 15min før (blå) og 15 min etter (rød) hvert skudd (høyre).

Observert tetthet / akustisk biomasse varierer også mellom merder. I merd 4 på Skorpo observeres et kontinuerlig lag gjennom hele eksperimentperioden, det samme gjelder for Buarøy, mens i de andre observeres en mer variabel og klumpvis fordeling av fisk. Skorpo og Buarøy antas dermed å være de beste datasettene for observasjon av mulig reaksjon som følger

av detonasjoner. Da man alltid kan følge fiskelaget før, under og etter en detonasjon. Flatøyflu har en spesielt klumpvis fordeling nær overflaten og dermed ansett som lite egnet. Det kan være en rekke grunner for disse observasjonene, blant annet at fisken fordeler seg forskjellig i merdene på de ulike lokasjonene.

Ekstern påvirkning (for eksempel annen støy som fartøystøy), foring og andre aktiviteter på anlegget vil også bidra til atferdsendringer som observeres utenfor skuddperiodene.

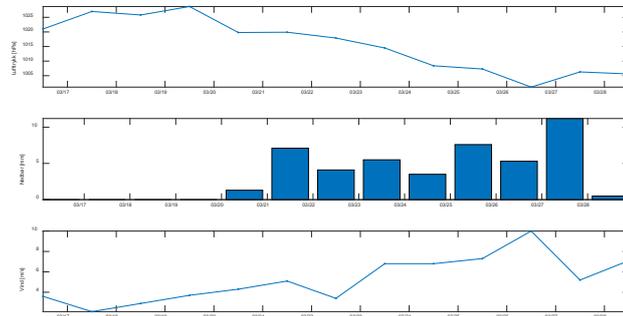
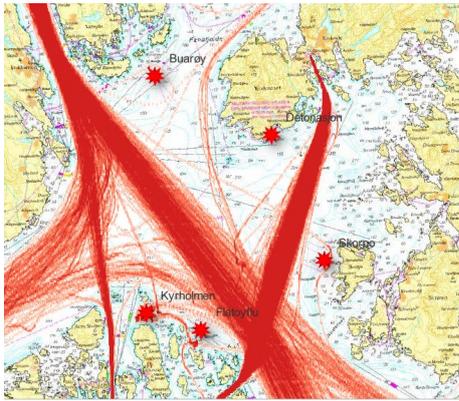
Det er en rekke eksterne faktorer (utenom detonasjonene) som kan påvirke fisken og dermed resultatene. Eksempler er foring og annen aktivitet på og rundt merden, påvirkning fra andre fartøy (Figur 3.7), og værforhold (Figur 3.8).



Figur 3.6 Eksempler på signifikante vertikale forflytninger som detekteres på ekkoloddet som endringer i massesenteret for fiskelaget. Vi kaller slike signifikante endringer for hendelser. Ofte er det usikkert hva som utløser den type reaksjon i fisken, men når det skjer utenom detonasjonene betraktes de som normale driftshendelser.

Tabell 3.2 Signifikante endringer i tetthet innenfor en 5 minutters periode rundt detonasjon («Skudd»), og samme tidsperiode uken før («Ref»).

Merid	Ref	Skudd
SKORPO\WBAT_240818	6*	10
SKORPO\WBAT_240828	13*	16
SKORPO\WBAT_582096	12*	14
BUAROY\WBAT_253676	19*	12
FLATOYFLU\WBAT_266750	6*	15
<b>*1-0.5 dag mindre med data</b>		



Figur 3.7 Posisjoner til detonasjonsområde og de aktuelle anleggene med AIS for de aktuelle ukene (venstre figur), og værforhold i ukene med ekkoloddmålinger fra den metrologiske målestasjonen på Flesland (høyre figur).

Værdata fra Flesland viser at referanseuken hadde bedre værforhold (mindre vind og bølger) enn detonasjonsuken. Dette vil påvirke fisk og observasjoner, samt støynivå, hvor mye avhenger også av lokasjonen.

### 3.3.1 Oppsummering

- Ekkoloddene på Skorpo og Buarøy registrere beste data for denne type analyser med tilnærmet kontinuerlig fiskelag.
- Tetthet før og etter skudd og i referanseuke viser ingen mønster som tilsier signifikant atferdsendring
- Det er ikke flere signifikante hendelser i forbindelse med skudd enn når det ikke er skudd.
- De kortvarige atferdsendringene som ble observert på kamera vil gi svært små og ikke signifikante utslag i ekkolodddataene. Endringer i svømmeretning og hastighet vil gi mindre utslag på ekkolodd enn en vertikal endring. Endring i horisontal svømmeretning/hastighet kan detekteres bedre hvis man kan oppløse laget i enkeltindivider, men tetthetene i eksperimentene er for høye til dette.

### 3.4 Akustiske målinger

En oversikt over alle detonasjoner og vellykkede målinger av lyd er vist i Tabell 3.3. Lydmålinger ved hver lokasjon blir presentert i form av spisstrykk og lydeksponeringsnivå, filtrert og ufiltrert. Grunnen til signalet filtreres i båndet 20-500 Hz er at dette er laksen høreområdet (Hawkins og Johnstone 1978). For å forenkle presenterer vi, for hver lokasjon, en tabell som viser de høyeste registrerte verdiene for hvert tilfelle av boblegardin og mengde eksplosiver. For Korsneset og Skorpo viser vi i tillegg figurer der alle lydmålinger er plottet inn, først i kronologisk rekkefølge, og deretter sortert på mengde eksplosiver.

Tabell 3.3 Oversikt over detonasjoner og målinger av lyd. Lydmålinger er markert med grønt.

Skudd nr	Lokal tid	Ladning kg TNT eq	Boblegardin	Kildedyp m	SKORPO_PXI	SKORPO_ST300HF	FLATØYFLU_ST300HF	KYRHOLMEN_Naxys	KORSNES_IcListen	BUARØY_Loggerhead
1	22.03.2021 11:30	0,1	dobbel	3						
2	22.03.2021 13:30	0,1	ingen	3						
3	22.03.2021 14:30	0,1	dobbel	3						
4	22.03.2021 15:30	0,1	ingen	3						
5	22.03.2021 16:30	0,1	dobbel	3						
6	23.03.2021 11:00	0,1	enkel	3						
7	23.02.2021 12:00	0,1	ingen	3						
8	23.03.2021 13:00	0,1	enkel	3						
9	23.02.2021 14:00	0,1	ingen	3						
10	23.03.2021 15:00	0,1	enkel	3						
11	24.03.2021 10:30	0,5	dobbel	3						
12	24.03.2021 12:30	0,5	ingen	3						
13	24.03.2021 13:30	0,5	dobbel	3						
14	24.03.2021 14:30	0,5	ingen	3						
15	24.03.2021 15:30	0,5	dobbel	3						
16	25.03.2021 11:00	0,5	enkel	5						
17	25.03.2021 12:00	0,5	ingen	5						
18	25.03.2021 13:00	0,5	enkel	5						
19	25.03.2021 14:00	0,5	ingen	5						
20	25.03.2021 15:00	0,5	enkel	5						
21	26.03.2021 09:00	2,0	dobbel	5						
22	26.03.2021 10:00	2,0	ingen	5						
23	26.03.2021 11:00	2,0	dobbel	5						
24	26.03.2021 12:00	2,0	ingen	5						
25	26.03.2021 13:00	2,0	enkel	5						

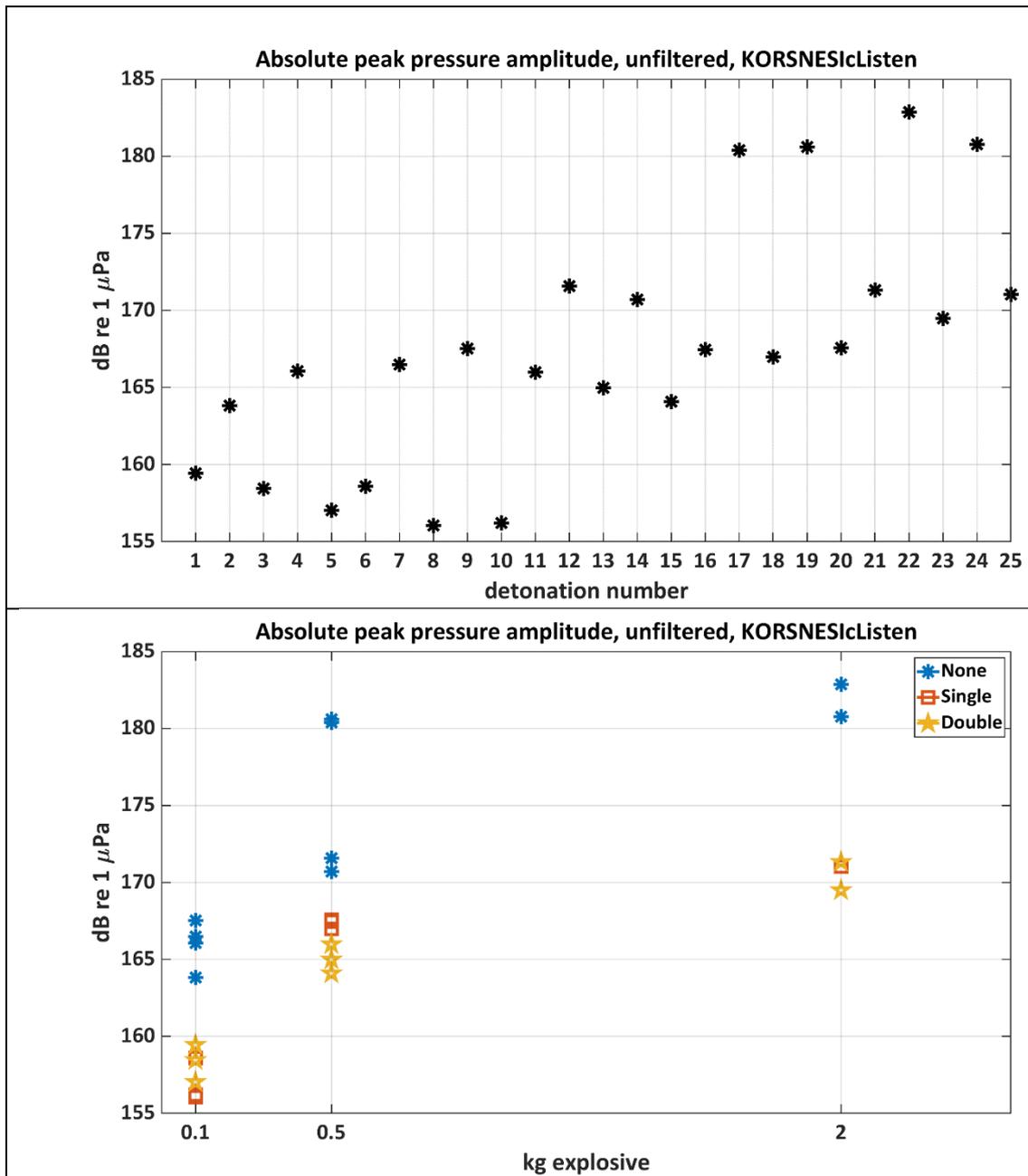
Etter detonasjon nr. 15 ble dypet og posisjonen til kilden endret for å hindre ventilasjon ved større ladninger. Detonasjons-stedet ble flyttet fra inne i bukta til helt på kanten av kaien. Dette skapte mindre skjerming av lyden. Dette påvirket lydnivået fra detonasjonene. For målingene der vi brukte 0.5 kg eksplosiver ble dobbel boblegardin testet med kilden på ett dyp, men enkel boblegardin ble testet med kilden på et annet dyp. En kan derfor ikke direkte sammenligne effekten av dobbel og enkel boblegardin for tilfellene med 0.5 kg sprengstoff.

### 3.4.1 Korsnes

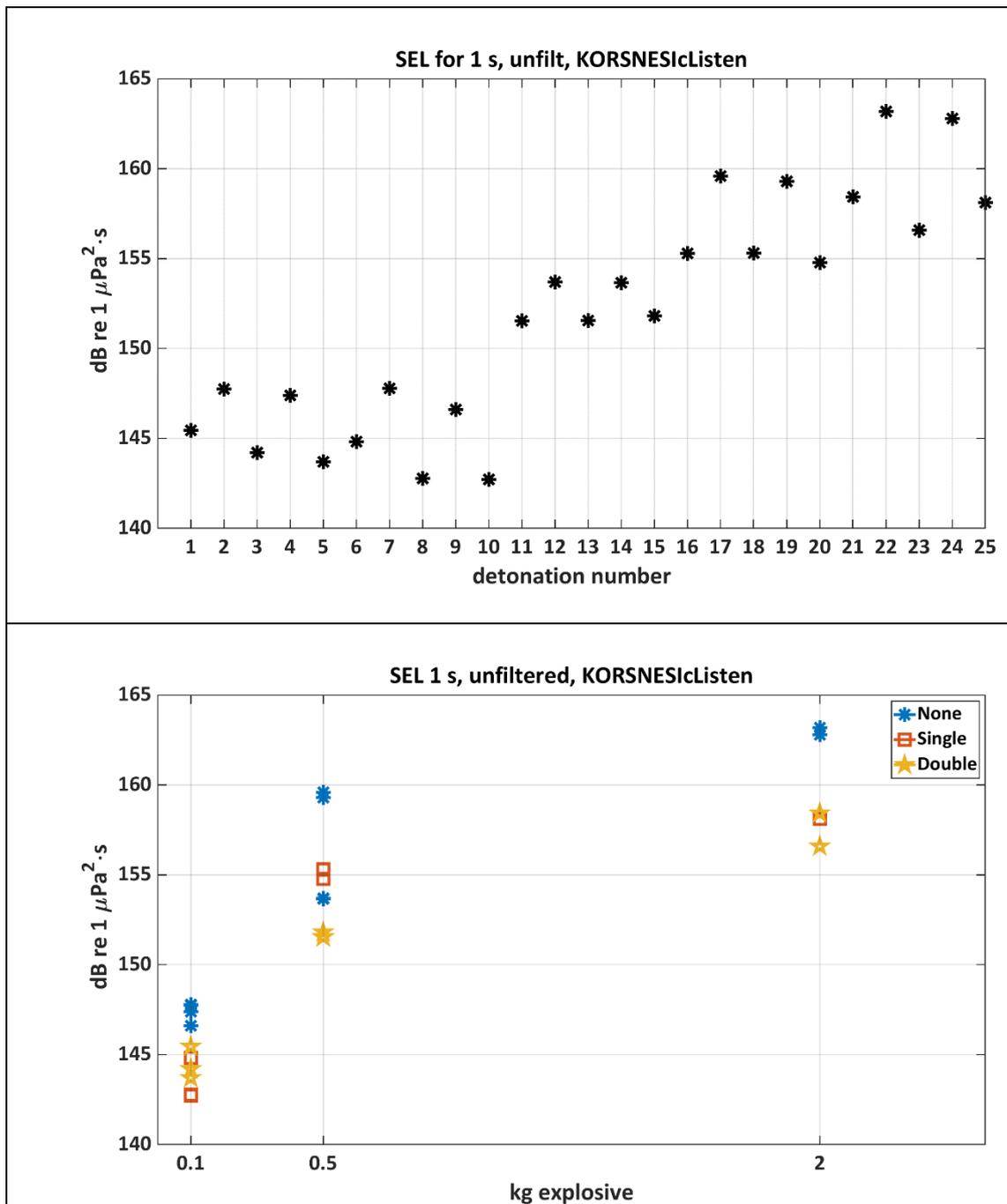
Tabell 3.4. viser resultat fra de høyeste registrerte lydmålingene for hver mengde eksplosiver og type boblegardin. Vi ser at bredbåndspisstrykk blir redusert med 8-9 dB for 0.1 kg eksplosiver, men for 2 kg dynamitt er reduksjonen på nesten 12 dB. Det er liten forskjell om det blir brukt enkel eller dobbel boblegardin.

Når en ser på lyd eksponeringsnivået, SEL, blir lyden redusert med ca 2-3 dB for 0.1 kg eksplosiver, og med ca 5 dB for 2 kg eksplosiver. Effekten er litt mindre (1-2 dB) når en ser på frekvensbåndet der fisken hører.

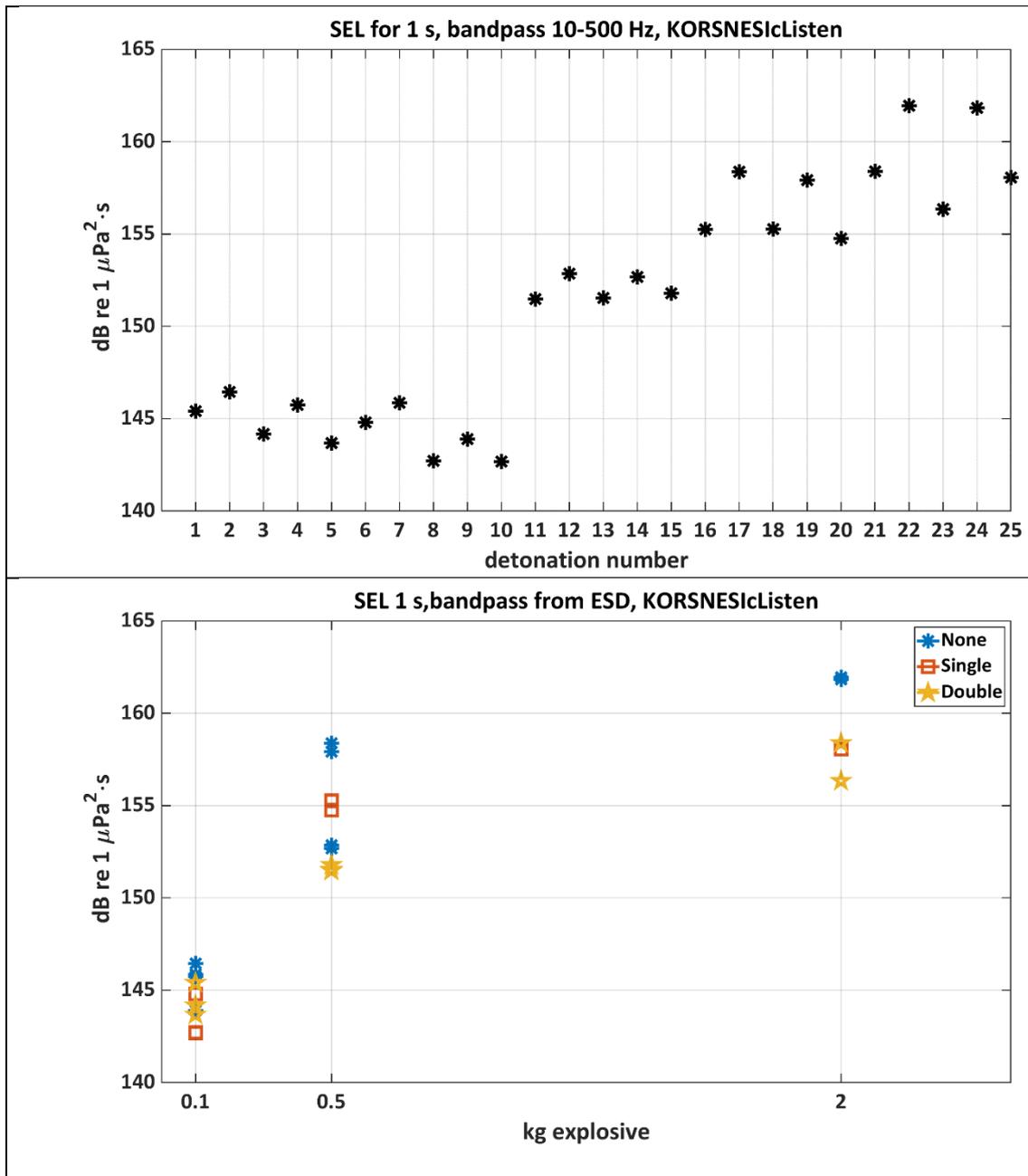
Figur 3.8-3.10 viser hvor stor variasjon det var mellom både de ulike og de helt like tilfellene av eksplosiver og boblegardinvariant. Det er ikke bare lydnivået, men hele fasongen på lydimpulsen som endrer seg med mengde eksplosiver, og med boblegardinvariant (Figur 3.11). Frekvensinnholdet i de målte impulsene ble undersøkt og sammenlignet med bakgrunnsstøyen. Det var overraskende mye lyd for svært høye frekvenser. Det er og tydelig at boblegardin demper de høyere frekvensene best, men reduserer lyden for lave frekvenser også.



Figur 3.8 Øverst: absolutt spisstrykk for alle detonasjoner. Nederst absolutt spisstrykk sortert på mengde eksplosiver for å se på effekten av boblegardin. Boblegardin reduserer lyden, men det er liten forskjell på dobbel og enkel boblegardin. For 0.5 kg endret man dyp og posisjon etter detonasjon nr. 15, mellom enkel og dobbel boblegardin, og det er derfor ikke direkte sammenlignbart.



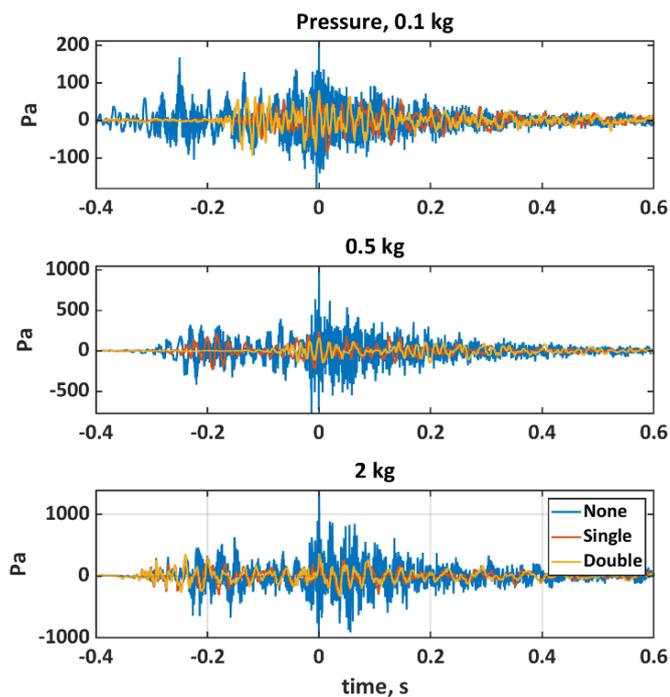
Figur 3.9 Lyd eksponeringsnivå (SEL) integrert over 1 sekund. Frekvenser under 10 Hz er fjernet. Her er det også liten forskjell på enkel og dobbel boblegardin. For 0.5 kg endret man dyp og posisjon etter detonasjon nr. 15, mellom enkel og dobbel boblegardin, og det er derfor ikke direkte sammenlignbart.



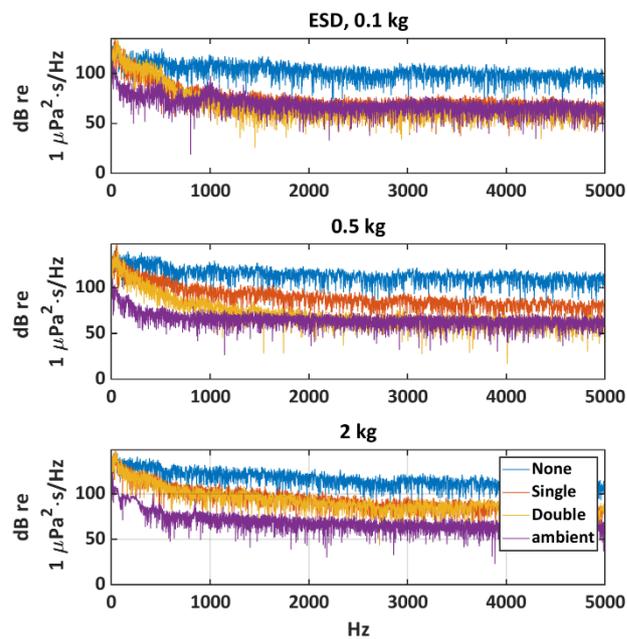
Figur 3.10 Lydeksponeringsnivå der frekvenser under 10 Hz og over 500 Hz er filtrert vekk. (Bandpass 10-500 Hz med tanke på fiskehørsel). Det er tydelig at for de laveste frekvensene, de fisk hører, så har boblegardin mindre effekt. Den fjerner mest av de høye frekvensene.

Tabell 3.4 Oppsummering av resultat av lydmålinger på Korsneset, ca 1000 m fra detonasjonene. Den høyeste målte lyd-verdien for hvert tilfelle av eksplosiver og boblegardintype er brukt i denne tabellen.

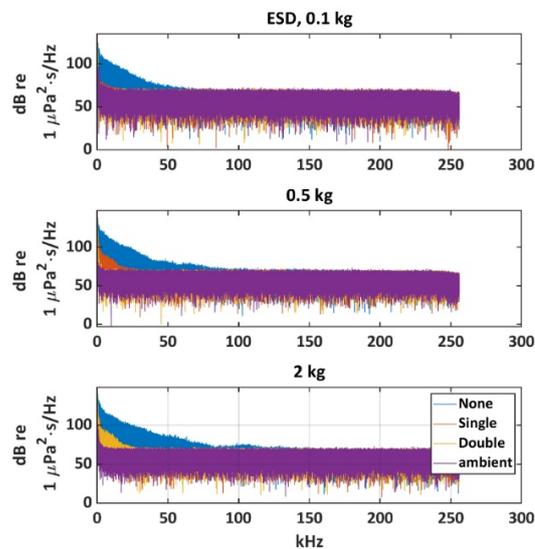
Ladning	Boblegardin	Spisstrykk (20 – 256 000 Hz) dB re 1 $\mu$ Pa	SEL 10 s (20- 256000 Hz) dB re 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> -s	SEL 1 s (20- 256000 Hz) dB re 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> -s	SEL 1 s bandpass (20 -500 Hz) dB re 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> -s
0.1	Uten	167.5	148.0	147.8	146.4
0.1	Enkel	158.6	145.1	144.8	144.8
0.1	Dobbel	159.4	149.1	145.5	145.4
0.5	Uten	180.6	159.7	159.6	158.4
0.5	Enkel	167.6	155.5	155.3	155.3
0.5	Dobbel	166.0	152.9	151.8	151.8
2	Uten	182.9	163.4	163.2	162.0
2	Enkel	171.0	158.3	158.1	158.1
2	Dobbel	171.3	158.6	158.4	158.4



Figur 3.11 Eksempel på lydmålinger for 0,1 kg (øverst), 0,5kg (midten) og 2kg (nederst) TNT ekvivalenter med og uten boblegardin (detonasjon nr 1, 6, 7, 15, 17, 20, 21, 22 og 25).



Figur 3.12 Frekvensspekter sammenlignet med bakgrunnsstøy for alle pulsene vist i Figur 3.11. Boblegardin ser ikke ut til å dempe lyden mye for de aller laveste frekvensene, men demper mye for høyere frekvenser. For 0.5 kg endret man dyp og posisjon etter detonasjon nr. 15, mellom enkel og dobbel boblegardin, og det er derfor ikke direkte sammenlignbart.



Figur 3.13 Figuren viser det samme som Figur 3.12, men har med hele frekvensbåndet for å se hvor lyden fra detonasjonen forsvinner i bakgrunnsstøyen. Det er overraskende hvor mye lyd som ble generert ved høye frekvenser. Det er mest lyd for de lave frekvensene, men lyden fra detonasjonen har energi høyere enn bakgrunnsstøy ved frekvenser over 50 kHz uten boblegardin.

### 3.4.2 Skorpo

Ved denne lokasjonen ble lydmålingene gjort med 3 hydrofoner, en innbygget i vektorsensoren ved 20m dyp (kap 3.4.2.1) og to B&K hydrofoner ved 10 og 30 m dyp. Forventet spisstrykk basert på modellert lydpropagasjon for 30 – 300 Hz (Kvadsheim et al. 2018), et frekvensbånd som dekker det primære høreområdet til laks (Hawkins og Johnstone 1978) kan sammenlignes med målt absolutt spisstrykk for 20 – 500 Hz (Tabell 3.5). For den laveste mengden eksplosiver ligger estimert verdi litt høyere enn de målte verdiene, men for den høyeste mengden eksplosiver ligger estimatet ca 5 dB lavere enn målt verdi.

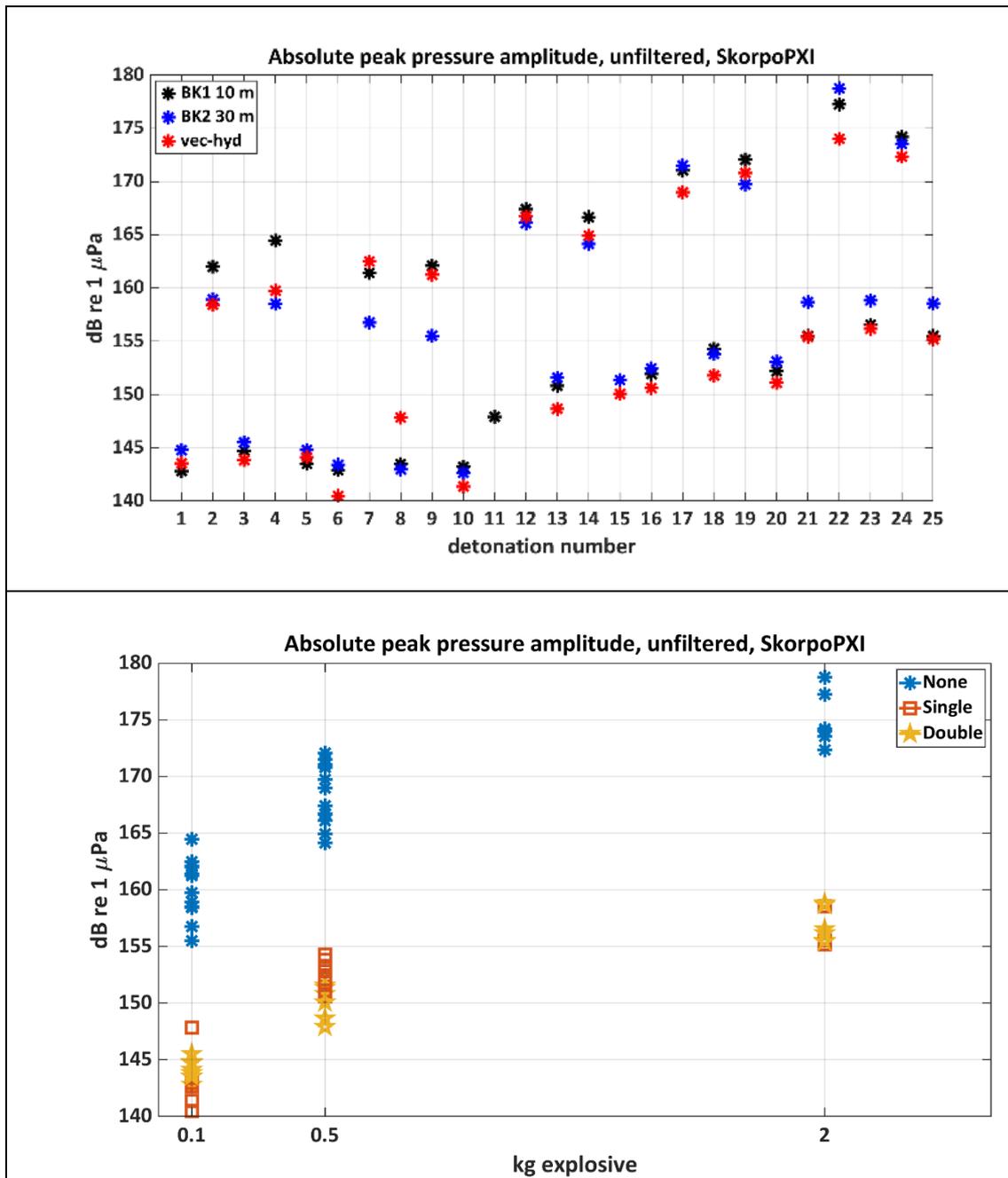
For 0.1 kg eksplosiver dempet boblegardinet ufiltrert spisstrykk med 7-9 dB, men dersom vi tar hensyn til frekvensbåndet hvor fisken hører var reduksjonen på 5-6 dB. For 2 kg eksplosiver var det en reduksjon i ufiltrert spisstrykk på ca 20 dB ved bruk av boblegardin, og for lyden fisken hører var reduksjonen på ca 11-12 dB, som også er en betydelig reduksjon.

Når en ser på lyd eksponeringsnivået, SEL, blir lyden redusert med ca 5-7 dB for 0.1 kg eksplosiver, og med ca 12 dB for 2 kg eksplosiver. Effekten er ca 4dB mindre når en ser på frekvensbåndet der fisken hører (20-500Hz).

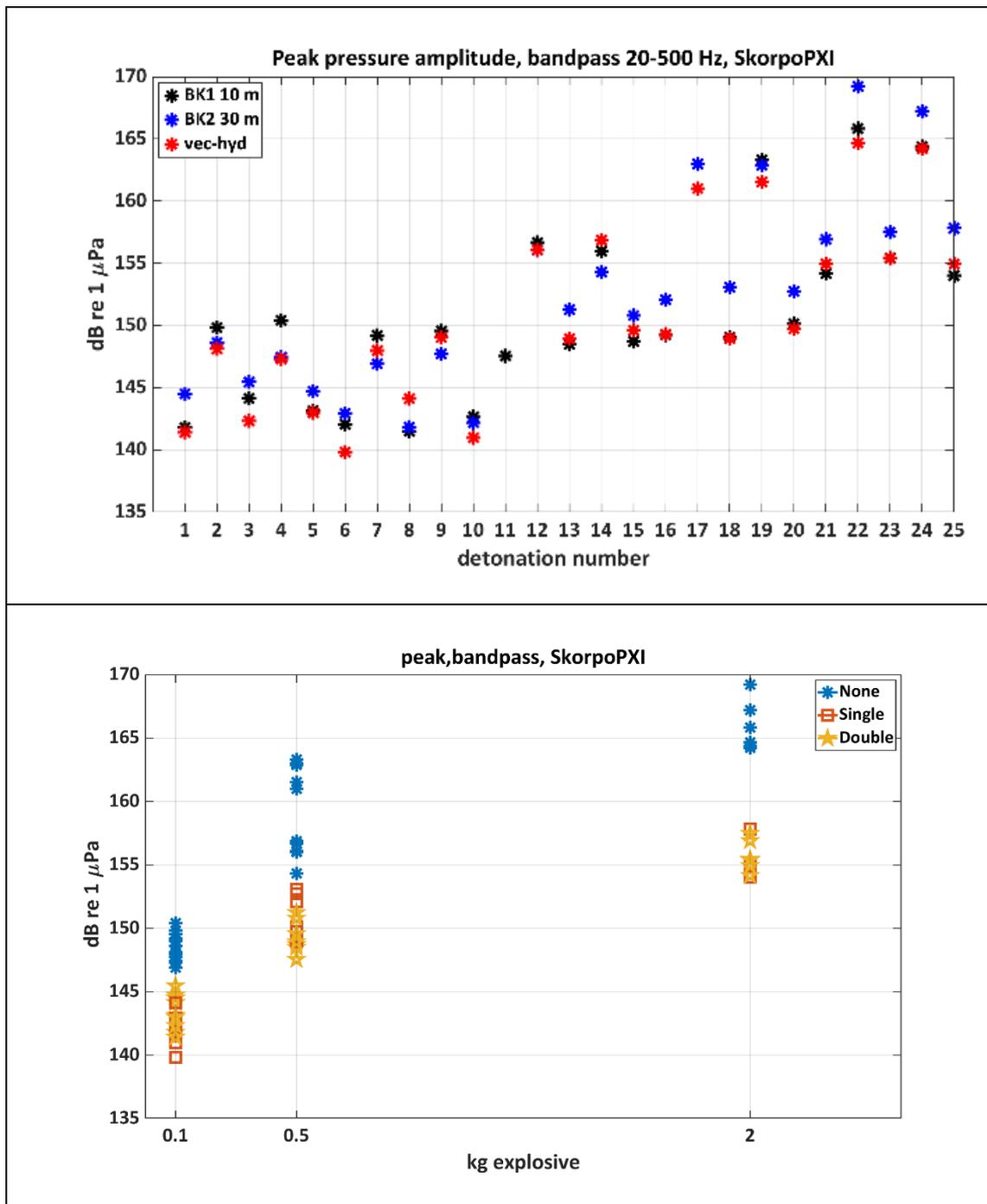
Tabell 3.5 *Maksimum verdi av lydmålinger fra de tre hydrofonene på Skorpo for ulike ladninger og boblegardinkonfigurasjoner. Ufiltrert og filtrert i fiskens høreområdet (20-500Hz) spisstrykk og SEL er vist. Beregnet forventet spisstrykk i båndet 30-300 Hz (Kvadsheim et al. 2018) kan sammenlignes med målt spisstrykk i båndet 20-500Hz.*

Ladning	Boblegardin	Spisstrykk(20 – 10000 Hz) dB re 1 µPa	Spisstrykk bandpass (20-500 Hz) dB re 1 µPa	SEL 10 s (20-10000 Hz) dB re 1 µPa <sup>2</sup> ·s	SEL 10 s bandpass (20 - 500 Hz) dB re 1 µPa <sup>2</sup> ·s	Beregnet spisstrykk (30-300 Hz) dB re 1 µPa
0.1	Uten	164.5	150.4	143.3	137.7	153
0.1	Enkel	147.8	144.1	138.7	135.1	
0.1	Dobbel	145.5	145.5	136.7	135.3	
0.5	uten	172.1	163.3	152.1	146.9	159
0.5	Enkel	154.3	153.1	140.2	139.7	
0.5	Dobbel	151.6	151.2	140.4	139.8	
2.0	Uten	178.8	169.2	156.5	152.0	164
2.0	Enkel	158.6	157.8	144.6	143.8	
2.0	dobbel	158.8	157.5	144.1	143.6	

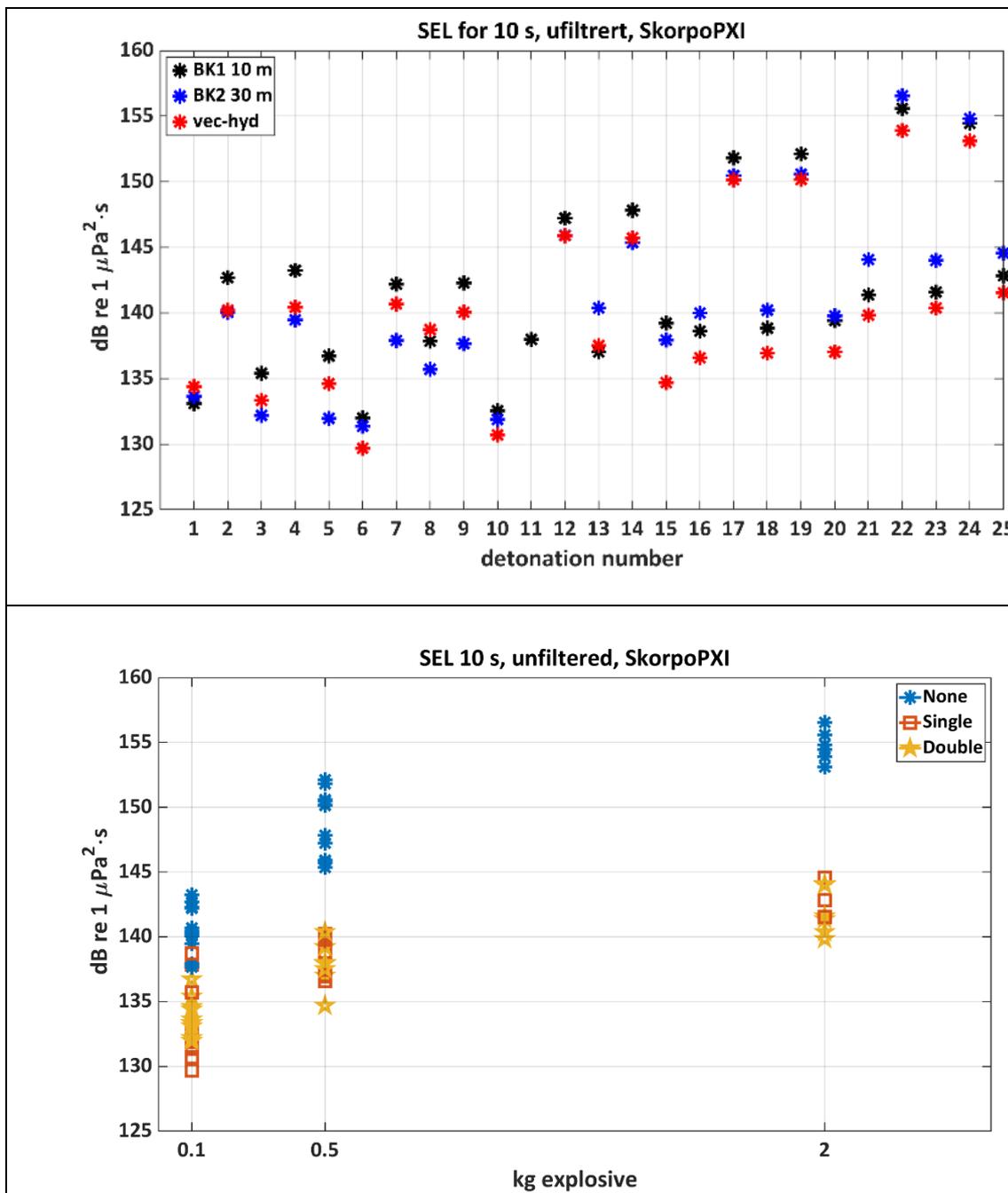
Figur 3.18 viser eksempler på målte lydpulser for de ulike kombinasjonene av ladning og boblegardin. Hvordan energien i pulsene er fordelt på frekvens er vist i Figur 3.19.



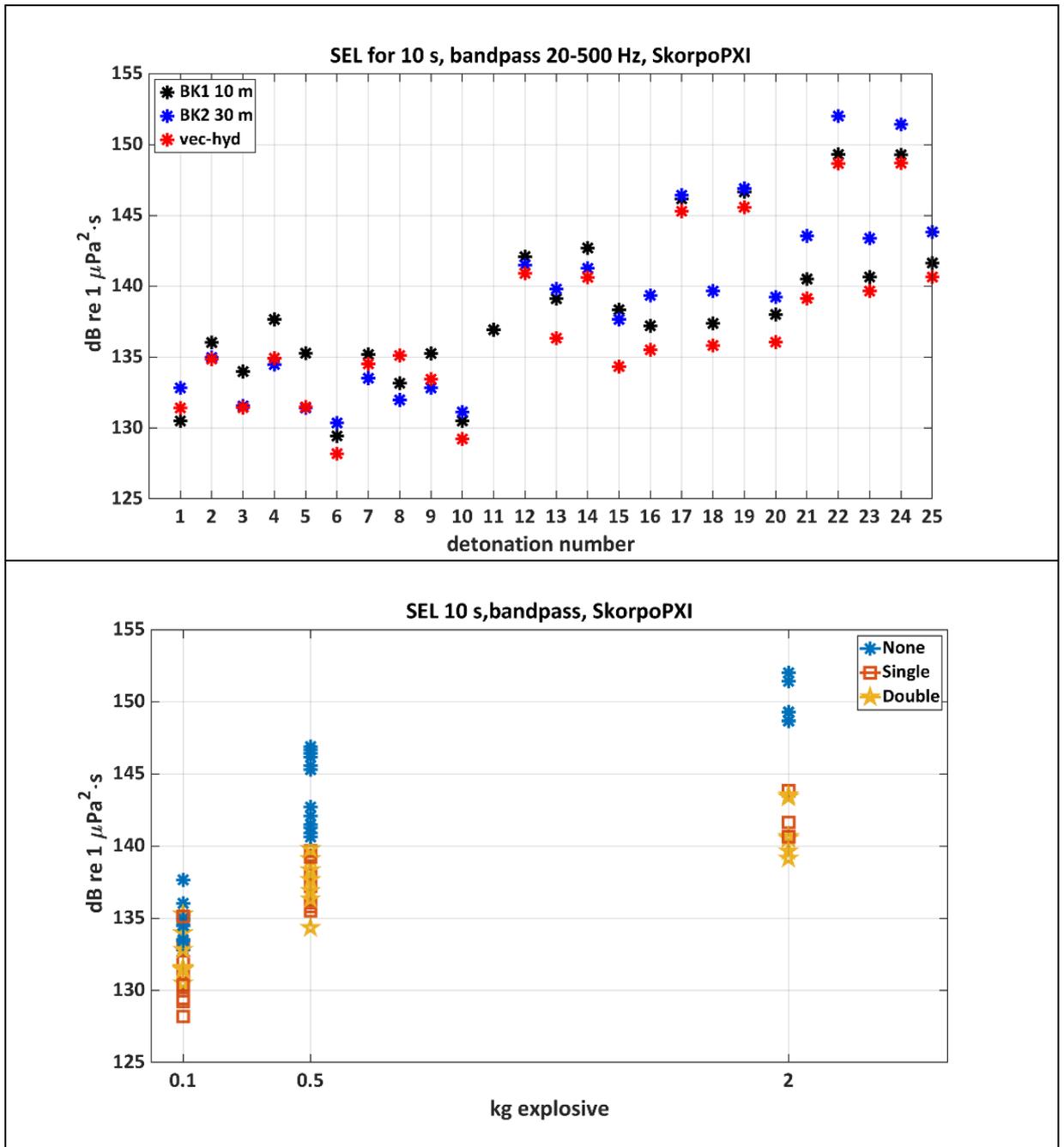
Figur 3.14 Øverste panel: Ufiltrert spisstrykk målt med 3 hydrofoner for hver detonasjon. Nederste panel viser de samme verdiene sortert på mengde eksplosiver og boblegardintype. Det er liten forskjell på enkel og dobbel boblegardin. Lyden blir redusert mest for den høyeste mengden eksplosiver.



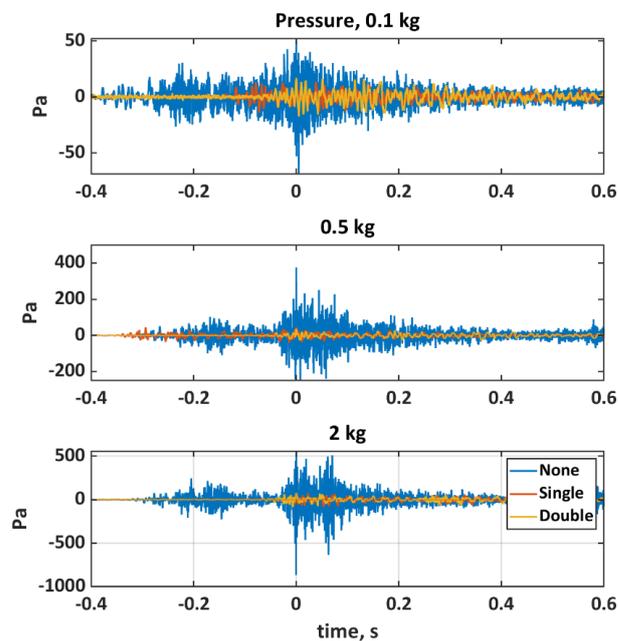
Figur 3.15 Øverste panel viser spisstrykk båndpassfiltrert fra 20-500 Hz. Dette er lyden fisken hører. Nederste panel viser de samme verdiene sortert på mengde eksplosiver og boblegardintype.



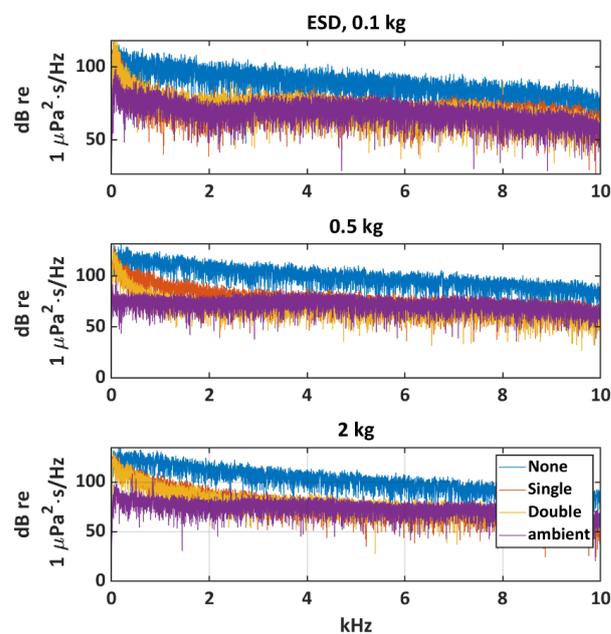
Figur 3.16 SEL integrert over 10 sekund unfiltrert. Boblegardin ser ut til å ha større effekt for større mengder eksplosiver.



Figur 3.17 Øverst: SEL for 10 sekund for bandpassfiltrert 20-500 Hz detonasjonssignal. Nederst: samme resultat sortert på boblegardinvariant. Ved detonasjon 11 lå BK2 og ved-hyd på land!



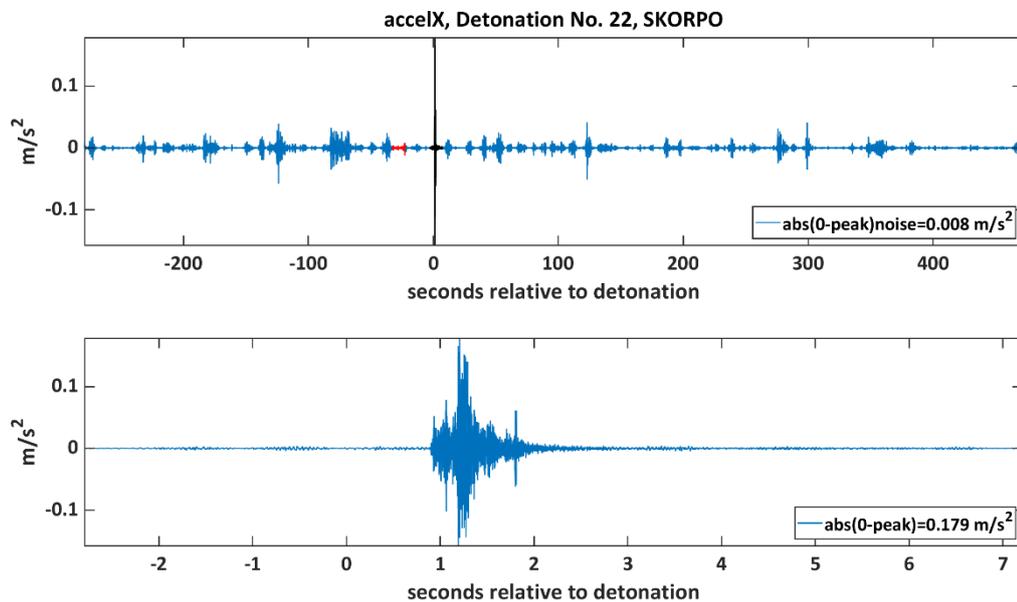
Figur 3.18 Målt lydtrykk på Skorpo med og uten boblegardin. Pulsformen endret seg med mengde eksplosiver, og for de ulike variantene av boblegardin. Figuren viser 1 sekund av pulsen. Boblegardin demper pulsen mye.



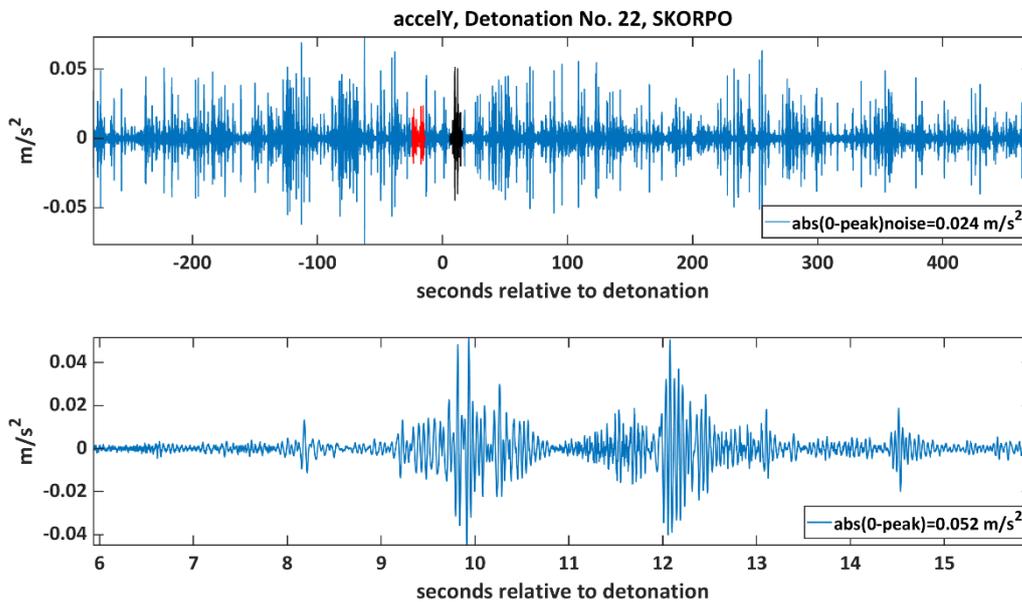
Figur 3.19 Lydmålinger fra Skorpo målt med B&K ved 30 m dyp. Frekvensspekteret til detonasjon nummer 1,6,7, 15, 17, 20, 21, 22 og 25. Her kan en se hvilke frekvenser lyden til detonasjonen inneholder, og hvordan de blir dempet av boblegardin. De aller laveste frekvensene blir ikke så godt dempet.

### 3.4.2.1 Partikkelakselerasjon

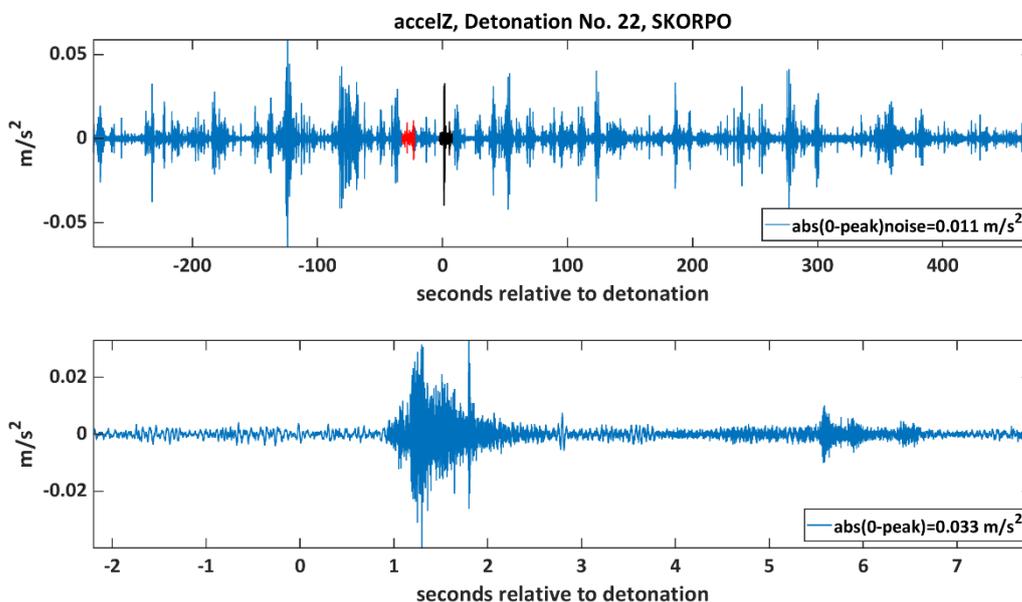
Fisk hører på en annen måte enn mennesker ved at hørselsorganet til fisken registrerer partikkelakselerasjonen som er en egenskap ved lyden (Popper & Hawkins 2019). Partikkelakselerasjonen er proporsjonal med den romlige gradienten til lydtrykket. Partikkelakselerasjonen har en retning som kan beskrives med x, y og z komponenter. Vi har målt de ulike retningskomponentene, men retningen på vektorsensoren er ukjent, så vi kan ikke si hvilken retning som peker hvor. Total akselerasjon er derfor mest relevant. Figur 3.20-3.22 som viser målinger for x, y og z komponentene er likevel tatt med for å vise hvor ulikt det kan se ut i ulike retninger. Vi ser at x-komponenten skiller seg ut med mye høyere verdier. For den totale akselerasjonen ( $\sqrt{x^2+y^2+z^2}$ ) ser vi også bare detonasjonen for 2 kg ladning når det ikke er brukt boblegardin (Figur 3.23).



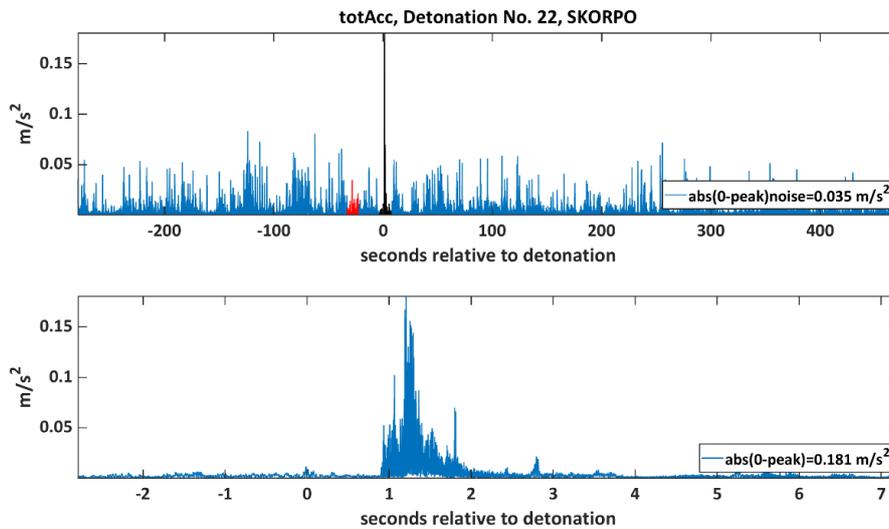
Figur 3.20 Målt partikkelakselerasjon for x-komponenten (ukjent retning) for 2 kg ladning uten boblegardin. Målingen er gjort på Skorpo. Her ser vi detonasjonen tydelig. Øverste panel viser 10 minutter med måling, der detonasjonen er merket med sort og bakgrunnsstøyen før detonasjonen er merket med rødt. Partikkelakselerasjonen til støyen var 0.008m/s mens partikkelakselerasjonen til signalet var over 20 ganger høyere (0.179 m/s).



Figur 3.21 Målt partikkelakselerasjon for y-komponenten (ukjent retning) for 2 kg ladning uten boblegardin. Målingen er gjort på Skorpo. Her forsvinner signalet i støyen.

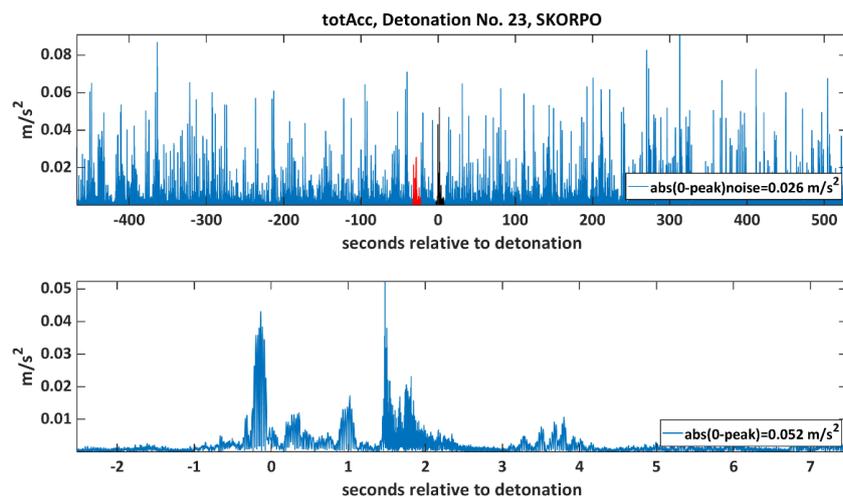


Figur 3.22 Målt partikkelakselerasjon for z-komponenten (ukjent retning) for 2 kg ladning uten boblegardin. Målingen er gjort på Skorpo. Også her forsvinner signalet i støyen.



Figur 3.23 Total akselerasjon ( $\sqrt{x^2+y^2+z^2}$ ) for 2kg ladning uten boblegardin basert på målinger på Skorpo. Øverste panel viser over 10 minutter med måling, der detonasjonen er merket med sort og bakgrunnsstøyen før detonasjonen er merket med rødt. Partikkelakselerasjonen til støyen var  $0.035\text{ m/s}$  (maks verdi) mens partikkelakselerasjonen til signalet (detonasjonen) var over 5 ganger høyere ( $0.181\text{ m/s}$ ).

Dersom vi sammenligner med målinger med dobbel boblegardin så kan vi fremdeles se et signal for x-komponenten, men y og z komponenten har ikke noe synlig signal fra detonasjonen. Ser vi på den totale akselerasjonen med dobbel boblegardin så forsvinner detonasjonen i bakgrunnsstøyen (Figur 3.24).



Figur 3.24 Total akselerasjon for 2kg ladning med dobbel boblegardin basert på målinger på Skorpo. Ved bruk av dobbel boblegardin forsvinner det totale bidraget fra detonasjonen i støyen, selv om den vertikale komponenten var synlig.

### 3.4.3 Flatøyflu

På oppdrettsanlegget Flatøyflu ble det gjort målinger av detonasjon nummer 11-25 (Tabell 3.6). De målte spisstrykkverdiene ligger ca. 4 dB over de forventede beregnede (Kvadsheim et al. 2018). Målinger av ufiltrert spisstrykk lå 22 dB lavere med boblegardin sammenlignet med uten. Målinger av SEL i fiskens høreområdet var 14dB lavere ved skudd med boblegardin enn uten. Flatøyflu ligger 6 km fra detonasjonspunktet så her kan propagasjonseffekter i større grad påvirke dette resultatet enn på Skorpo og Korsnes.

Tabell 3.6 Maksverdi av lydmålinger fra hydrofonen på Flatøyflu for ulike ladninger og boblegardinkonfigurasjoner. Ufiltrert og filtrert i fiskens høreområdet (20-500Hz) spisstrykk og SEL er vist. Det var problemer med å båndpassfiltrere signalene fra denne hydrofonen. Vi filtrerte SEL for 1 sekund ved å integrere fra 20 – 500 Hz i frekvensdomenet. Vi har dermed ikke filtrert spisstrykk til å sammenligne med det estimert forventet spisstrykket (Kvadsheim et al. 2018). På Skorpo var forskjellen mellom ufiltrert og filtrert spisstrykk ca 12dB, og bruker vi samme forhold ligger de beregnede verdiene ca 4 dB under de målte.

Ladning	Boblegardin	Spisstrykk(20 – 288000 Hz) dB re 1 µPa	SEL 10 s dB re 1 (20-288000 Hz) µPa <sup>2</sup> ·s	SEL 1 s dB re 1 (20-288000 Hz) µPa <sup>2</sup> ·s	SEL 1 s bandpass (20 -500 Hz) dB re 1 µPa <sup>2</sup> ·s	Beregnet spisstrykk (30-300 Hz) dB re 1 µPa
0.1	Uten					149
0.1	Enkel					
0.1	Dobbel					
0.5	uten	171.3	149.5	149.2	145.4	155
0.5	Enkel	150.1	137.2	132.3	130.8	
0.5	Dobbel	148.6	139.9	132.4	131.2	
2.0	Uten	175.6	153.9	153.6	150.6	160
2.0	Enkel	153.3	143.4	137.8	136.1	
2.0	Dobbel	153.8	142.4	138.6	137.0	

### 3.4.4 Kyrholmen

Avstand fra detonasjonene til Kyrholmen var 6 km. På Kyrholmen målte vi skudd 7 og 8, og 11-25 (unntatt 21). Vi har dermed minst en måling av alle ladningsstørrelser og boblegardinkonfigurasjoner bortsett fra 0.1 kg og dobbel boblegardin. Tabell 3.7 viser den høyeste målte verdi for alle tilfellene. Målt og båndpassfiltrert spisstrykk stemmer bra med beregnet estimert verdi (Kvadsheim et al. 2018) for 0.1 kg eksplosiver, men for 0.5 kg og 2 kg sprengstoff ligger målt verdi 8-9 dB over estimatet.

Målinger av ufiltrert spisstrykk lå 13-22 dB lavere med boblegardin sammenlignet med uten, avhengig av ladningen (0.1-2 kg). For SEL var tilsvarende effekt 9-18 dB avhenger av ladning. I fiskens høreområdet var effekten av boblegardinet 2-3 dB mindre. Kyrholmen ligger 6km fra

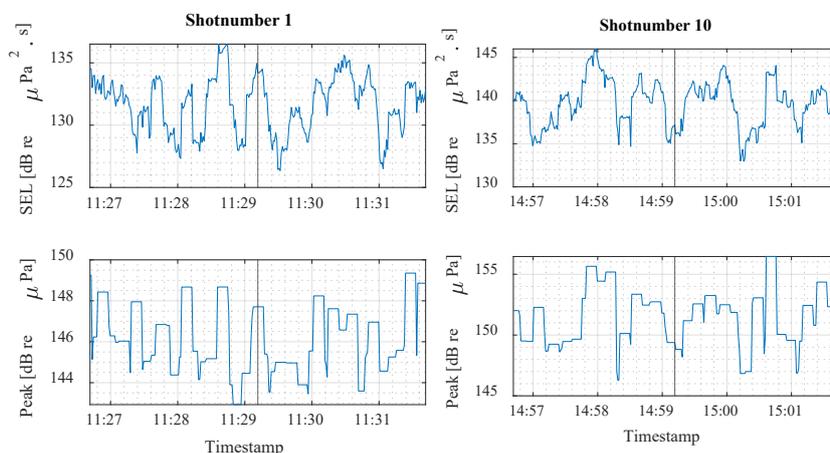
detonasjonspunktet så her kan propagasjonseffekter i større grad påvirke dette resultatet enn på Skorpo og Korsnes.

Tabell 3.7 Maksverdi av lydmålinger fra hydrofonen på Kyrholmen for ulike ladninger og boblegardinkonfigurasjoner. Ufiltrert og filtrert i fiskens høreområdet (20-500Hz) spisstrykk og SEL er vist. Beregnet forventet spisstrykk i båndet 30-300 Hz (Kvadsheim et al. 2018) kan sammenlignes med målt spisstrykk i båndet 20-500Hz.

Ladning	Boblegardin	Spisstrykk(20 – 24000 Hz) dB re 1 $\mu$ Pa	Absolutt spisstrykk bandpass (20-500 Hz) dB re 1 $\mu$ Pa	SEL 10 s dB (20-24000 Hz) re 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> ·s	SEL 10 s bandpass (20 -500 Hz) dB re 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> ·s	Beregnet spisstrykk (30-300 Hz) dB re 1 $\mu$ Pa
0.1	Uten	156.5	149.5	138.6	133.8	149
0.1	Enkel	143.8	138.5	129.6	127.6	
0.1	Dobbel					
0.5	uten	170.4	163.7	148.3	143.3	155
0.5	Enkel	150.9	144.6	134.8	129.1	
0.5	dobbel	150.3	145.4	140.3	131.9	
2.0	Uten	175.2	168.7	153.7	149.2	160
2.0	Enkel	155.5	151.2	136.9	135.0	
2.0	dobbel	153.1	151.1	135.8	134.2	

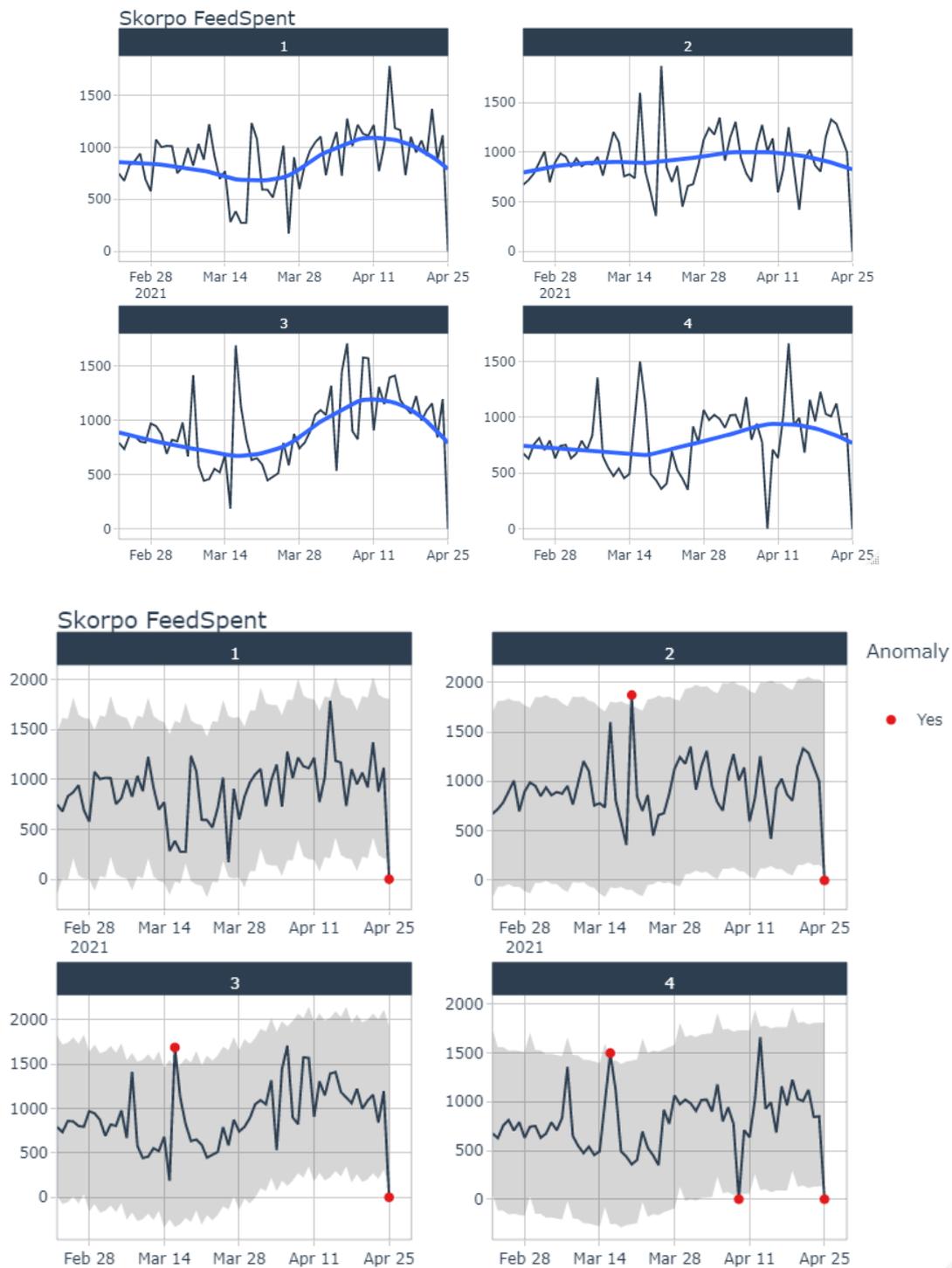
### 3.4.5 Buarøy

På grunn av problemene med at signalet går i metning er det kun fokusert på resultatene fram til forsøkene ble avsluttet dag 2 (skudd 1-10). Dette er litt uheldig siden størrelsen på sprengladningene økte de siste dagene og det er de største ladningene som vil være av mest interesse. Fra resultatene konkluderer vi med at skuddene dag 1 og 2 på 0,1 kg uavhengig av boblegardin, ikke gir spisstrykk eller SEL over støynivået disse dagene (ca. 140 dB SEL og 160 dB peak) (Figur 3.25). For resterende dager er støynivået så høyt at hydrofonen går i metning, som gjør at man ikke kan beregne korrekte signalnivåer. Bakgrunnsstøynivå på Buarøy er mye høyere enn på de andre anleggene. Dette skyldes mest sannsynlig at sensoren er plassert slik at noe har kommet bort i den og generert støy. Målingene fra Buarøy er derfor vanskelig å bruke.

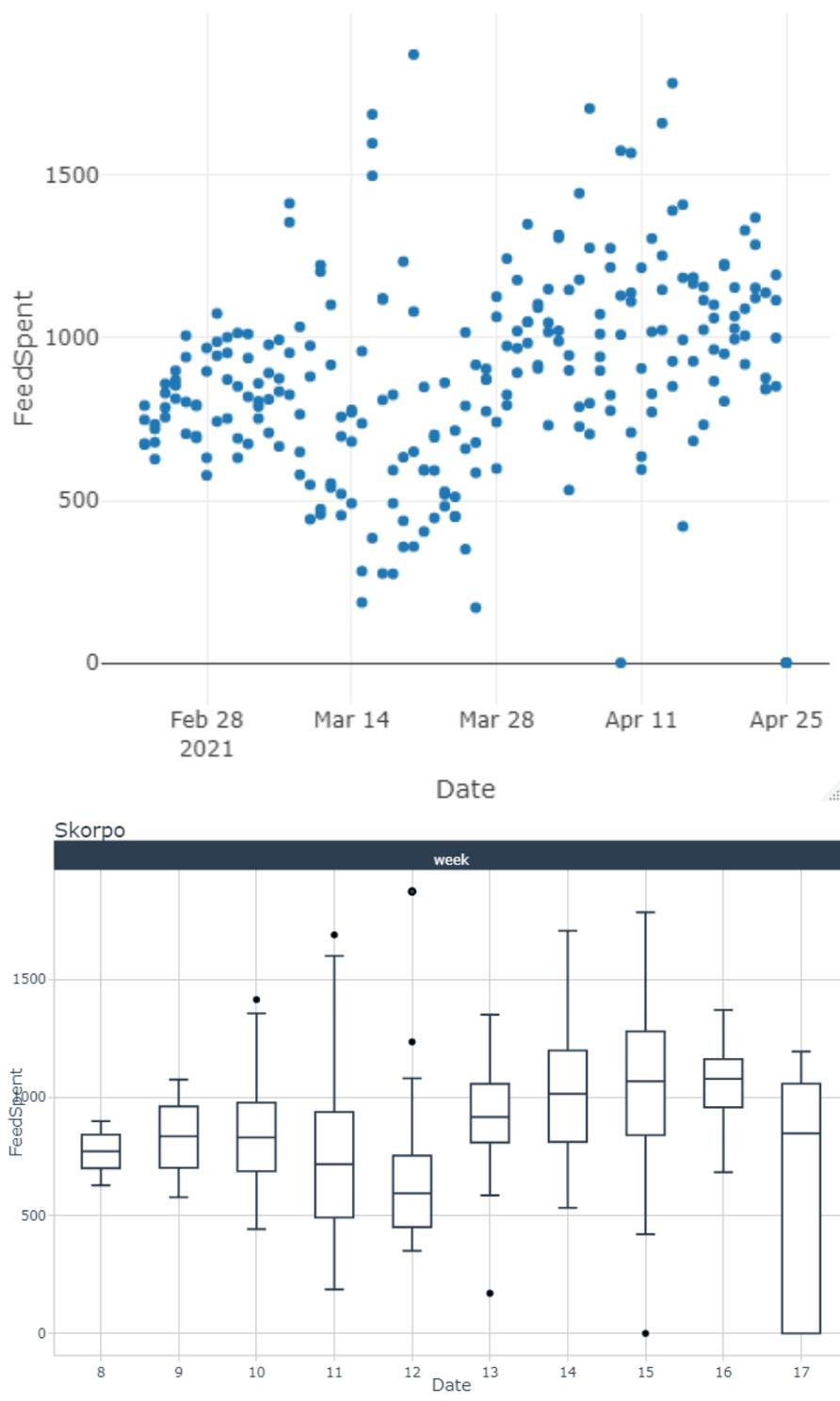


Figur 3.25 SEL (venstre) og spisstrykk (høyre) for skudd 1 og 10. Skuddtidspunkt markert med vertikal linke på tidsaksen. Figuren viser at på Buarøy ligger skuddene i bakgrunnsstøyen. SEL er integrert i båndet 10-500Hz og over 10s intervaller, spisstrykket er makstrykket i 10s intervaller.

### 3.5 Fôrøoptak



Figur 3.26 Fôrforbruk pr dag (kg) i merd 1-4 på Skorpo i perioden 22.02-25.04. Skuddperiode var 22.03-26.03. Øverst vises tidsserie med trendlinje (LOESS), nederst tidsserie med konfidensintervall for å identifisere anomalier (verdier som skiller seg ut statistisk). Forforbruket for Skorpo merd 5 og 6 vises separat i figur 3.11.



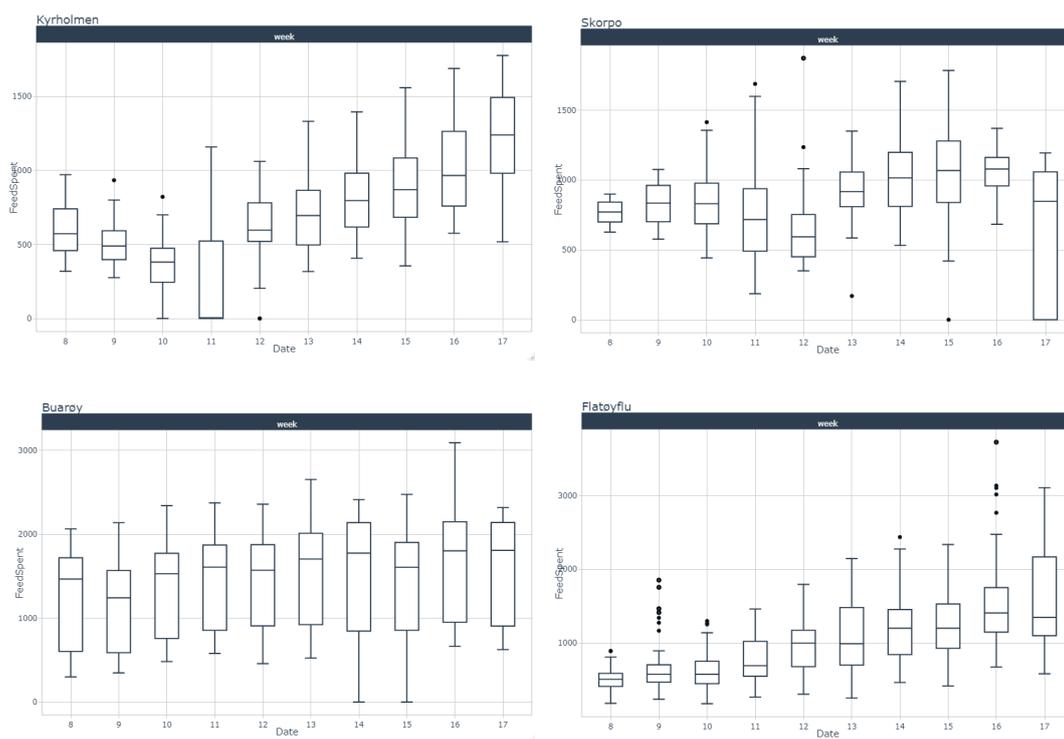
Figur 3.27 Fôrforbruk i merd nr. 1-4 på Skorpo i perioden 22.02-25.04. Øverst; sum av fôrforbruk per dag (skuddperiode var 22.03-26.03). Nederst; boksplot (median og kvartiler) med fôrbruk pr uke (skuddperioden var i uke 12).



Figur 3.28 Fôrforbruk i merd 5 og 6 på Skorpo. Disse to merdene inneholdt mindre fisk (smolt) enn i merd 1-4 (postsmolt) (Figur 3.9-3.10). Det ble også rapportert om sykdom og dårlig appetitt i disse merdene i perioden før skudduken (uke 12, 22.03-26.03).

I analysen av Skorpo-data ser vi at merd 5 og 6 skiller seg ut med unormalt lavt fôrøpptak og høy dødelighet før skuddeksperimentene. I disse merdene sto det smolt, mens i de andre merdene (1-4) på Skorpo sto det postsmolt. I følge Lerøy hadde de hatt problemer med sykdom, høy dødelighet og lav appetitt i merd nr. 5 og 6 i perioden før eksperimentet. Derfor ekskluderes disse fra videre analyse, men verdiene vises separat.

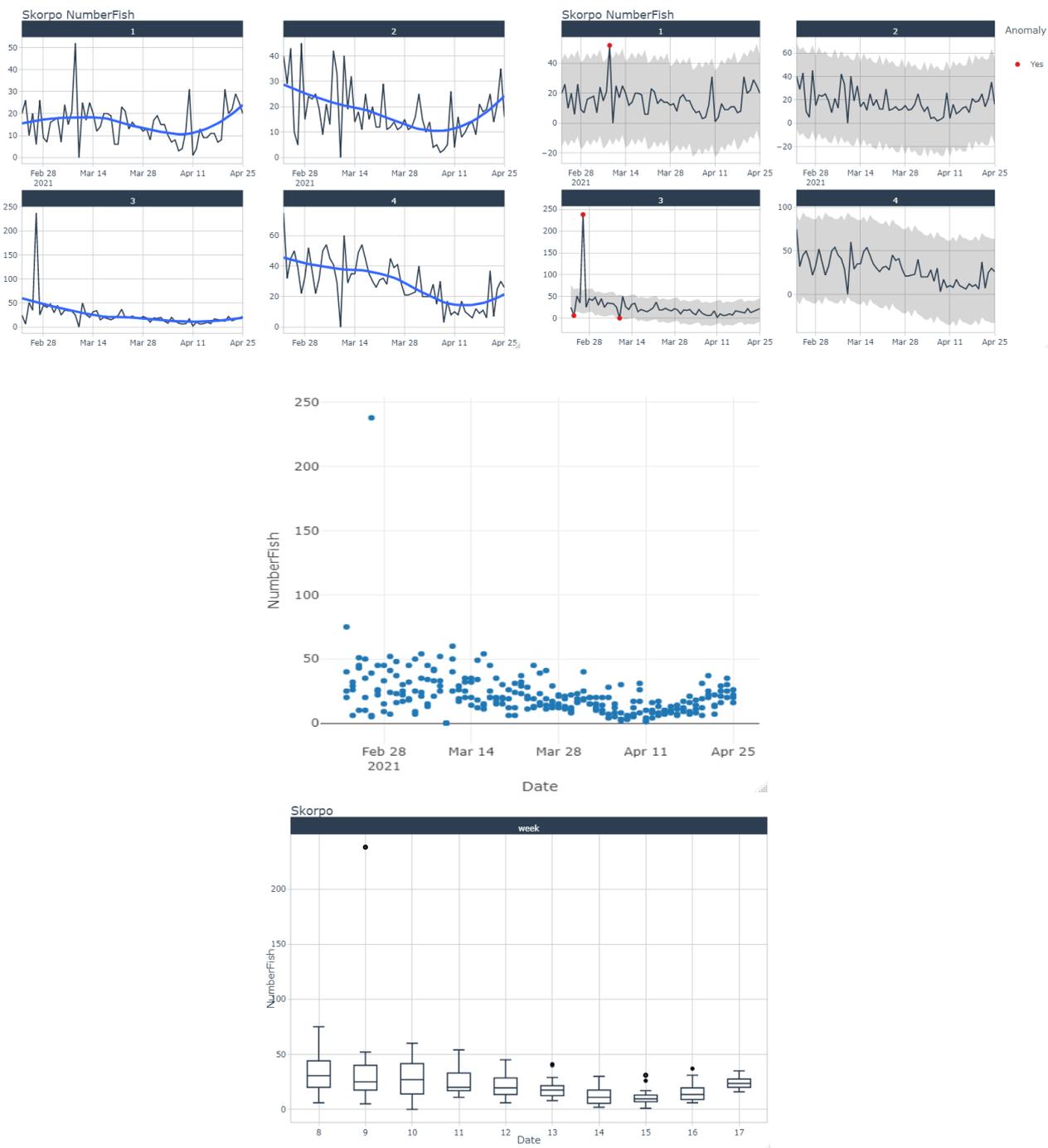
Fôrforbruk og dødelighet forventes å endre seg med tid ettersom fisken vokser eller helsetilstanden endres, dermed er statistisk testing av skudduke mot uker lenge før eller etter ikke så relevant. Dersom man sammenligner fôrforbruk i merd nr. 1-4 på Skorpo i uke 12 (skudduken) med forbruket uken før og etter finner vi statistisk signifikant forskjell mellom fôrforbruk i skudduken (uke 12) og uken etter (uke 13), men ikke med uken før (parvis Wilcoxon signed-rank test,  $p < 0.05$ ). Fôrforbruket synes å være på en nedadgående trend på Skorpo i perioden før eksponeringen med minimum under skudduken, ukene etter øker fôrforbruket igjen. Samme mønster ser vi på Kyrholmen (Figur 3.12). For alle anleggene ser vi som forventet en gradvis økning i fôrforbruk i ukene etter eksponeringen som følge av at fisken vokser.



Figur 3.29 Boksplot med fôrforbruk pr uke (kg) for alle merder på Kyrholmen, Skorpo, Buarøy og Flatøyflu. Skuddperioden var i uke 12.

I tidsserien finner vi altså ikke at fôrforbruk hverken i merd nr. 1-4 eller merd 5-6 på Skorpo avviker fra normalvariansen (Figur 3.26 og 3.28). Sammenligner vi skudduken med uken før, finner vi heller ingen nedgang, selv om det er en generell nedadgående trend på Skorpo i ukene før eksperimentet, som i ukene etter gradvis tar seg opp (Figur 3.27). I de øvrige anleggene ser vi heller ingen effekt av detonasjonene på fôrforbruk.

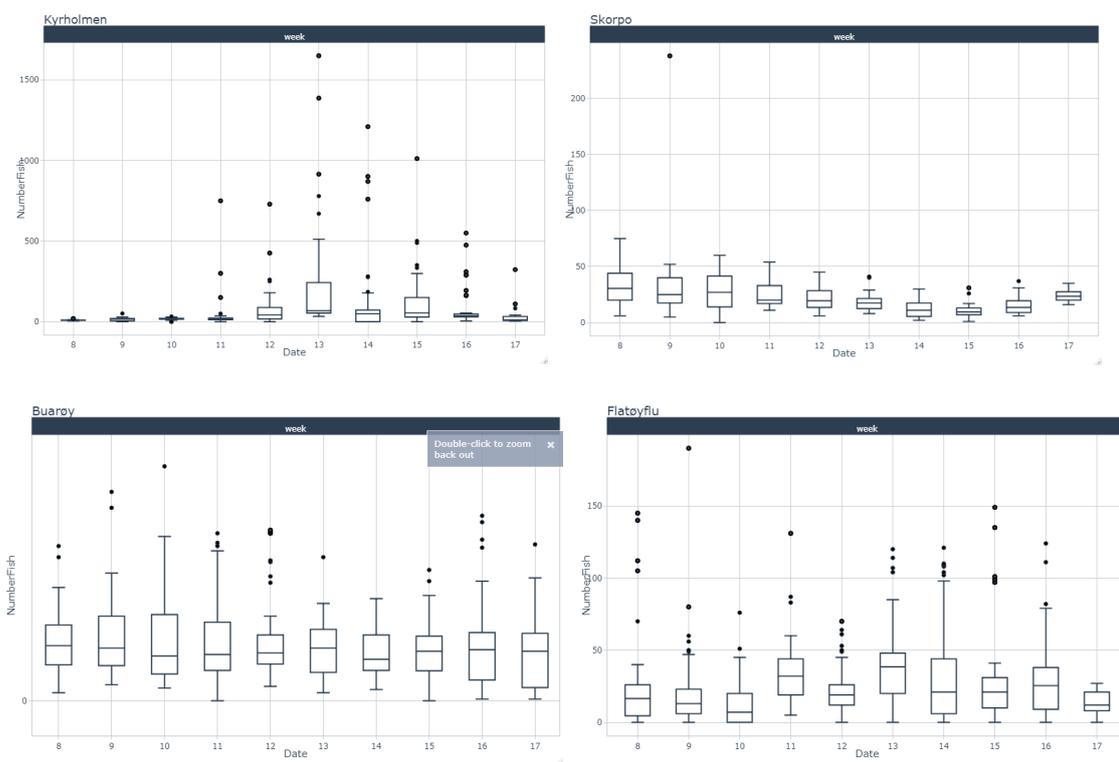
### 3.6 Dødelighet



Figur 3.30 Dødelighet i merd 1-4 på Skorpo. Øverst; dødelighet pr dag i perioden 22.02-25.04 (skuddperiode var 22.03-26.03). Tidsserie med trendlinje (LOESS) og tidsserie med konfidensintervall for å identifisere anomalier (verdier som skiller seg ut statistisk). I midten; dødelighet per dag (råverdier). Nederst; dødelighet pr uke for alle merder (1-4) samlet med boksplot (median og kvartiler) (skuddperioden var i uke 12).

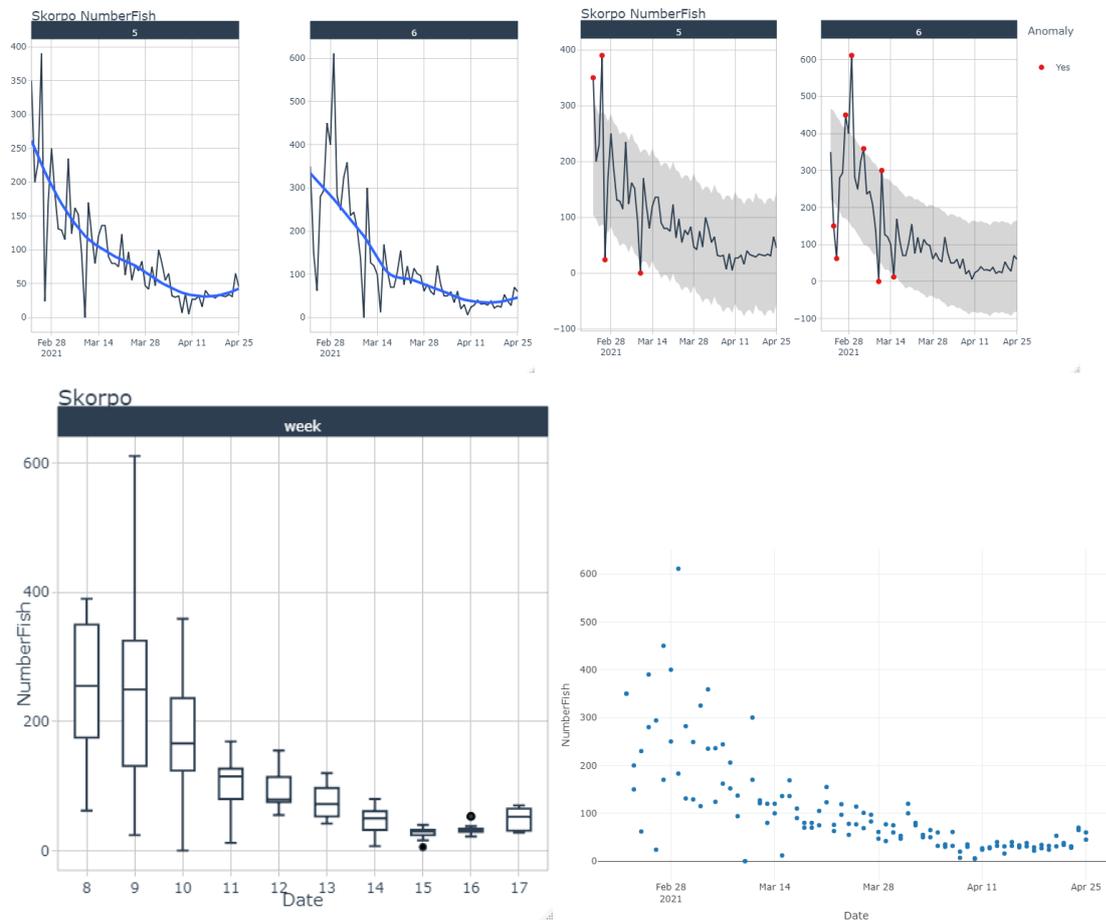
På samme måte som for fôrforbruk ser vi også på dødelighet at merd nr. 5-6 på Skorpo skiller seg ut med unormalt høy dødelighet før skuddeksperimentene. Derfor ekskluderes disse også her i de videre analysene, men verdiene vises separat.

Det er ikke statistisk signifikant forskjell i dødelighet på Skorpo (merd 1-4) mellom uke 12 (skudduken) og uken før og etter (parvis Wilcoxon signed-rank test,  $p < 0.05$ ). Dødeligheten er på en generell nedadgående trend frem til midten av April da det er tegn til stigende dødelighet. Ingen anomalier eller signifikant endring i dødelighet kan sees i eller i uken etter skudduken (Figur 3.30).



Figur 3.31 Boksplot med dødelighet pr uke for alle merder på Kyrhomen, Skorpo (merd 1-4), Buarøy og Flatøyflu. Skuddperioden var i uke 12. Dødeligheten for Skorpo merd 5 og 6 vises i Figur 3.15).

Dødeligheten er på en generell nedadgående trend eller stabil for de fleste anlegg, med unntak av Kyrholmen hvor dødeligheten stiger fra uke 11/12, grunnen til denne stigningen er uvisst men man ser samtidig en nedadgående trend i fôrforbruket opp fra uke 11. Dette peker i retning av redusert fiskehelse.



Figur 3.32 Dødelighet i merd 5 og 6 på Skorpo. Disse to merdene inneholdt mindre fisk (smolt) enn i merd nr. 1-4 (postsmolt), og det ble også rapportert om sykdom i perioden før skudduken (uke 12, 22.03-26.03). Dette forklarer den høye dødeligheten sammenlignet med de andre merdene.

Samlet sett ser vi ingen økt dødelighet som kan tilskrives detonasjonene i uke 12. På Skorpo som ligger nærmest ser vi ingen effekt, og da virker det usannsynlig at økningen i dødelighet på Kyrholmen skulle kunne tilskrives detonasjonene. Økningen starte også tilsynelatende allerede uken før.

### 3.7 Patologiske undersøkelser

25 fisk fra referanseuttaket rett før skudd 1 og 25 fisk fra den eksponerte gruppen tatt ut umiddelbart etter skudd 25 ble obdusert og full histopatologisk undersøkelse gjennomført. Dyrkning for sykdomsframkallende bakterier ble utført på 10 fisk fra hvert uttak. Negative funn er ikke kommentert. Patologirapportene er gjengitt i sin helhet i Appendix A, men kan være vanskelig å fortolke. I den anledning har vi utarbeidet en vurdering basert på vårt faglige skjønn (kap 3.7.1-3.7.2).

---

---

Tanken bak de to prøveuttakene var å få to sett med prøver fra fisk der eneste systematiske forskjellen ville være om de var utsatt for en sprengningsserie eller ikke. Imidlertid finner vi systematiske forskjeller på de to gruppene. Gjennomsnittsvekt i referansegruppe var 131 gram (SD 44.5), mens i eksponert gruppe var det 188 gram (SD 31,7). Fôr i mage-tarm tyder på appetitt og dermed at fisken er klinisk frisk. Fôr ble registrert i 12/25 fisk i referansegruppen, og 17/25 i eksponert gruppe. Det var sår sykdom på 12/25 fisk i referansegruppe, og på 1/25 i eksponert gruppe (underkjeveskader ikke regnet som sår sykdom, men som slitasjeskader).

Mulige barotraumer i sprengningseksponert gruppe besto i sirkulasjonsforstyrrelser i forbindelse med svømmeblære og lever, og ble funnet i eksponert gruppe på 10/25 fisk, mens det ble funnet sirkulasjonsforstyrrelser i forbindelse med svømmeblære på 2/25 fisk i referanse-gruppen. Blodfylt hjerte-forkammer, en stuvnings-tilstand, ble ikke observert i referansegruppen, men hos 16/25 fisk i eksponert gruppe. Forandringene er oppdaget vha obduksjon og histopatologi.

### 3.7.1 Oppsummering av funn fra referansegruppen (22.03)

Vurdert samlet er funnene innenfor det spekteret av sykdomsforandringer en kan forvente hos laks som har et utbrudd av sårskader i kommersielt oppdrett i sjø. Det ble ikke gjort histopatologiske funn som tyder på annen spesifikk sykdom. Hovedfunn var sår og hale-/finneråte. Det ble påvist hale-/finneråte hos ca. halvparten av fiskene (12 stk.). Halestrålen var til dels tapt og erstattet med et åpent sår hos 5 fisk. Det var sår på kjeve hos 7 fisk og sår i hud hos 4 fisk. I histologiske prøver fra hud og finne med lesjoner var det infiltrasjoner med betennesceller og funn av bakterier. Vanlig forekommende sår bakterier, *Tenacibaculum finnmarkense genomovar finnmarkense* og *Moritella viscosa*, ble påvist ved dyrkning fra sår. Sårene framsto delvis som skjellommebetennelse, dermatitt, i øvre del av dermis med granulaksjonsvev forenlig med overflatisk sår i kronisk stadium/av heling. Dypt sår med degenerasjoner i skjelettmuskulatur ble observert. Det var noe blodstuvning i hjerne og/eller øye hos 6 fisk og noe blødning/stuvning i tilknytning til svømmeblære hos 2 fisk. I hjerte var det blødninger i hjertemuskulatur hos en fisk og hos 3 fisk var det noe epikarditt. I gjeller ble det påvist sparsom lamellær hyperplasi og hypertrofi hos få fisk. Hos 3 fisk var det få gjelleepitelceller med fragmenterte cellekjerner.

Identifikasjon av bakterier er basert på morfologi, biofysiske egenskaper og massespektrometri (MALDI-TOF MS). *Tenacibaculum* sp. og *Moritella viscosa* er assosiert med sårutvikling hos fisk i sjø. Betydningen av funn av *Vibrio* (*Aliivibrio*) *logei* og *Vibrio* (*Aliivibrio*) *wodanis* er usikker. Disse bakteriene er utbredt i marint vannmiljø. Granulomatøs betennelse i buken, ofte i tilknytning til milt, med makroskopisk synlig melaninpigment og adheranser er et vanlig funn etter vaksinering. Sparsom lamellær hyperplasi og hypertrofi i gjeller er vanlig forekommende hos fisk i oppdrett. Celler med fragmenterte cellekjerner kan sees ved «poxvirus»-infeksjon. Det var noe autolyse, som gjorde den histopatologiske vurderingen usikker hos få fisk. Fra de 10 fiskene med utvidete undersøkelser ble det tatt ut avføringsprøver, nyre, hjerte og hjerne på RNALater og nyre og hjerte på virustransportmedium. Avføringsprøver og plasmaprøver er videresendt etter avtale til NTNU for kortisolanalyser.

Diagnoser:

- Påvist kjevesår med bakterieinfeksjon
- Påvist hudsår med bakterieinfeksjon

- 
- Påvist hale/finneråte med bakterieinfeksjon
  - Påvist *Moritella viscosa*
  - Påvist *Tenacibaculum* sp.
  - Påvist sparsom gjelleirritasjon (lamellær hyperplasi og hypertrofi)
  - Påvist noe sirkulasjonsforstyrrelse
  - Påvist bendelorm (trolig *Eubothrium* sp.)

Detaljert patologiske rapport i appendix A.

### 3.7.2 Oppsummering av funn fra den eksponerte gruppen (26.03)

Hovedfunn var blødninger i hud og øye og noe i indre organer, spesielt svømmeblære, samt stort, blodfylt forkammer i hjertet. Det ble påvist sårskade hos få individer. Det ble ellers ikke gjort histopatologiske funn forenlig med spesifikk sykdom. Det ble påvist blødninger i øyet hos til sammen 12 fisk, makroskopisk synlig hos 9 fisk og påvist hos ytterligere 3 fisk ved histopatologi. Det var blødninger i huden under buken og/eller ved finnebasis hos 11 fisk. Hjertets forkammer var til dels svært blodfylt hos 20 av de 25 fiskene. Det var tegn til blødning og/eller ruptur i lever hos 8 fisk. Utspilt svømmeblære, noen med blodfylte kar, ble funnet hos 12 fisk og hos en fisk var det enkelte større synlige blødninger i svømmeblæreveggen. Seks av 10 fisk hadde blødninger i svømmeblære ved histopatologi. Blodfylte kar i hjernen ble funnet hos 8 fisk. Hyperemisk gatt ble funnet hos 7 fisk.

Skjoldet lever er et ikke uvanlig funn hos død fisk. Peritonitt, hos noen fisk også granulomer i lever eller milt, makroskopisk synlige adheranser og svarte pigmentflekker, er forenlig med vaksineindusert betennelse. Gjelleepitelceller med fragmenterte cellekjerner kan sees ved «poxvirus»-infeksjon. Sparsom lamellær hyperplasi og hypertrofi i gjeller er vanlig hos fisk i oppdrett. Fra 10 fisk med utvidete undersøkelser ble det tatt ut avføringsprøver, nyre, hjerte og hjerne på RNALater og nyre og hjerte på virustransportmedium. Avføringsprøver og plasmaprøver er videresendt etter avtale til NTNU for kortisolanalyser.

Diagnoser:

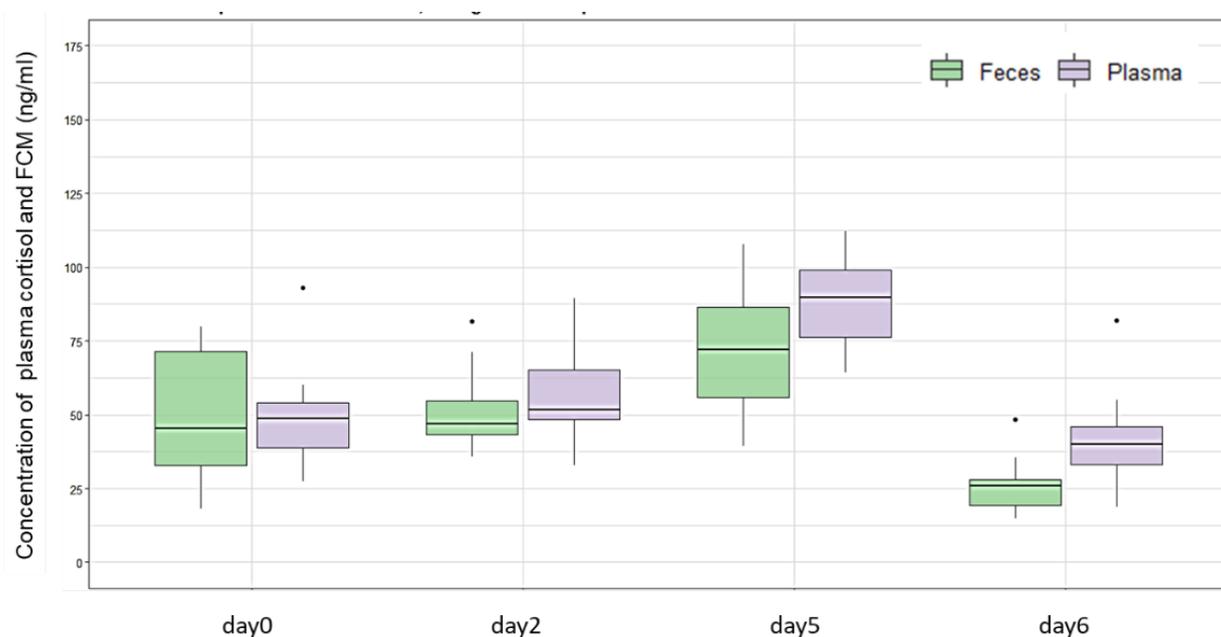
- Påvist blødning øye
- Påvist blødning hud og finnebasis
- **Påvist blødning svømmeblære**
- **Påvist blødning lever**
- **Påvist sirkulasjonsforstyrrelse**
- Påvist sparsom gjelleirritasjon (lamellær hyperplasi og hypertrofi)
- Påvist kronisk granulomatøs bukhinne-, lever- og miltbetennelse
- Påvist ingen eller svært sparsom uspesifikk bakterievekst (nyre)
- Påvist begynnende kjønnsmodning
- Påvist finneslitasje og sparsom sår dannelse

Funn som kan skyldes barotraumer fra detonasjonene basert på Sverdrup et al. 1994 er markert med fet skrift. Detaljert patologiske rapport i appendix A.

### 3.8 Stresshormon

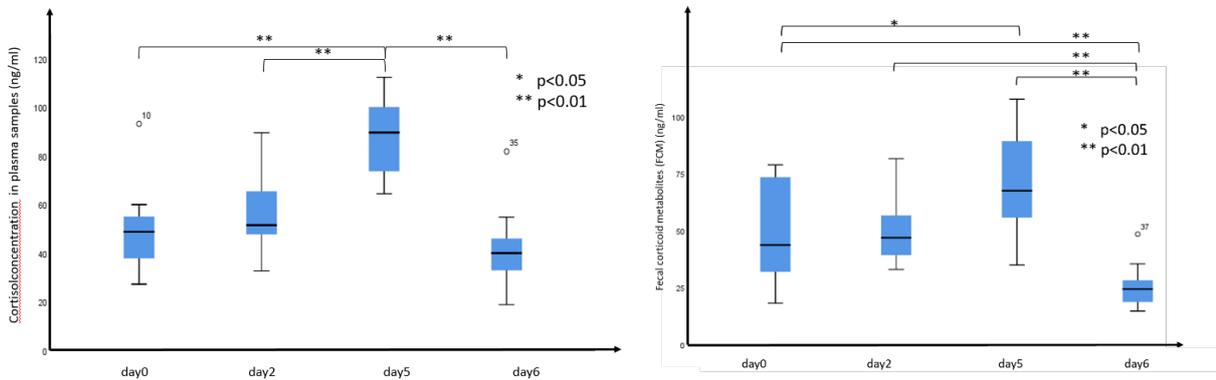
Den gjennomsnittlige konsentrasjonen av plasmakortisol på Dag0, Dag2 og Dag6 var henholdsvis på  $50 \pm 17,1$  ng / ml,  $57,0 \pm 15,8$  ng / ml og  $41,8 \pm 16,7$  ng / ml (Figur 3.33). På dag 5 ble plasma kortisolnivået forhøyet, til en gjennomsnittlig verdi  $89,0 \pm 14,6$  ng / ml som var betydelig høyere enn nivået i prøver på Dag0, Dag2 og Dag6 ( $P < 0,01$ ) (Figur 3.34). Ingen signifikant forskjell ble identifisert mellom de øvrige prøvene (Dag0, Dag2 og Dag6).

Konsentrasjonen av kortikale metabolitter i faeces (FCM) på Dag0 og Dag2 var på henholdsvis  $48,5 \pm 20,3$  ng / ml,  $50,6 \pm 14,5$  ng / ml (Figur 3.33). Forhøyet FCM ble observert på Dag5, med en gjennomsnittlig verdi på  $69,2 \pm 21,5$  ng/ml. Vi fant signifikant forskjell i FCM mellom Dag0 og Day5 ( $P < 0,05$ ) (Figur 3.34). På Dag6 hadde FCM nivået sunket og var enda lavere enn FCM på Dag0, Dag2 og Dag5 ( $P < 0,01$ ).

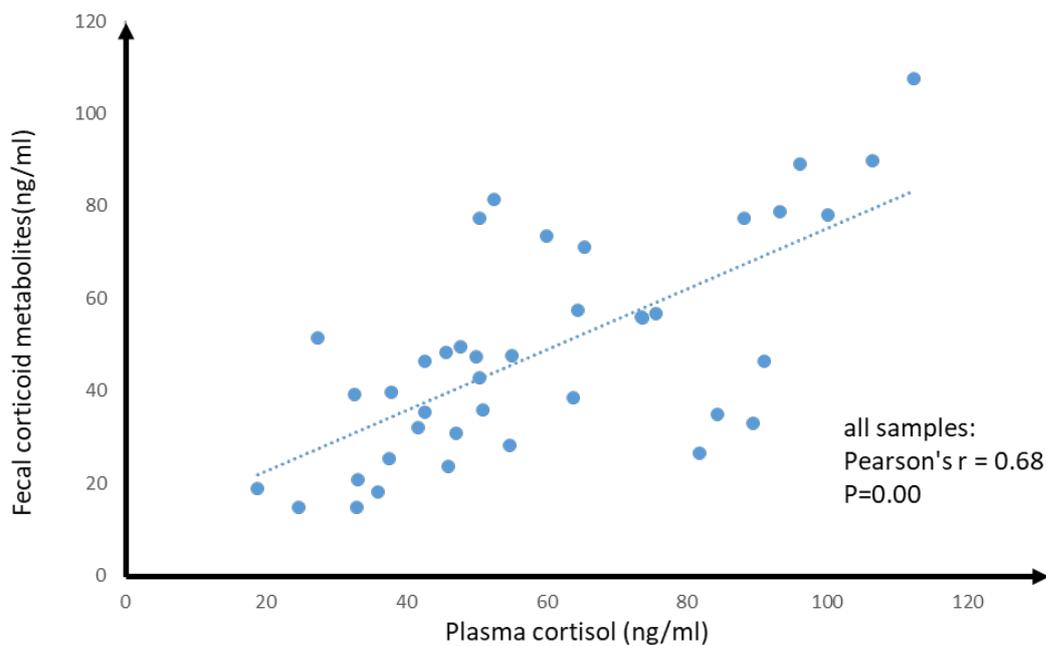


Figur 3.33 Gjennomsnittlig konsentrasjon av kortisol i plasma og kortisolmetabolitter i faeces.

Forholdet og forskjellen mellom kortisol i plasma og avføring ble undersøkt. Analysene viste at plasmakortisolnivået korrelerte godt med FCM-nivået (Figur 3.35) (Pearson's  $R = 0,68$ ,  $P = 0,00$ ). Plasma kortisolnivåene er generelt høyere enn nivået av fecale kortisolmetabolitter ( $P < 0,05$ ).



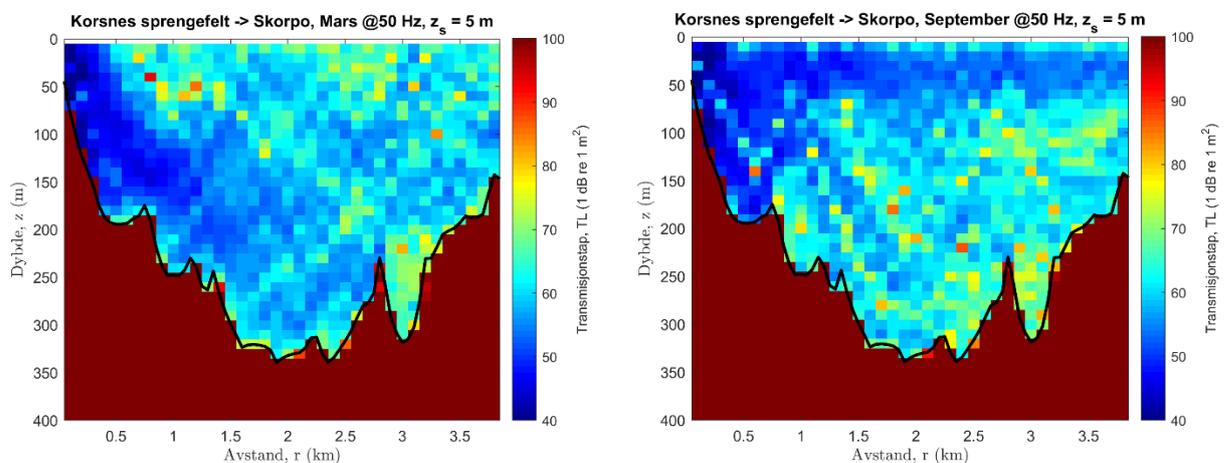
Figur 3.34 Sammenligning av gjennomsnittlig konsentrasjon av plasmakortisol (venstre) og fekale kortisolmetabolitter (høyre) mellom prøver Dag0 (før første skudd), Dag2 (etter skudd 10), Dag5 (etter siste skudd 25) og Dag6 (24 timer etter siste skudd).



Figur 3.35 Korrelasjon mellom konsentrasjonen av kortisol i plasma og fekale kortisolmetabolitter

### 3.9 Modellering av variasjon i transmisjonstap

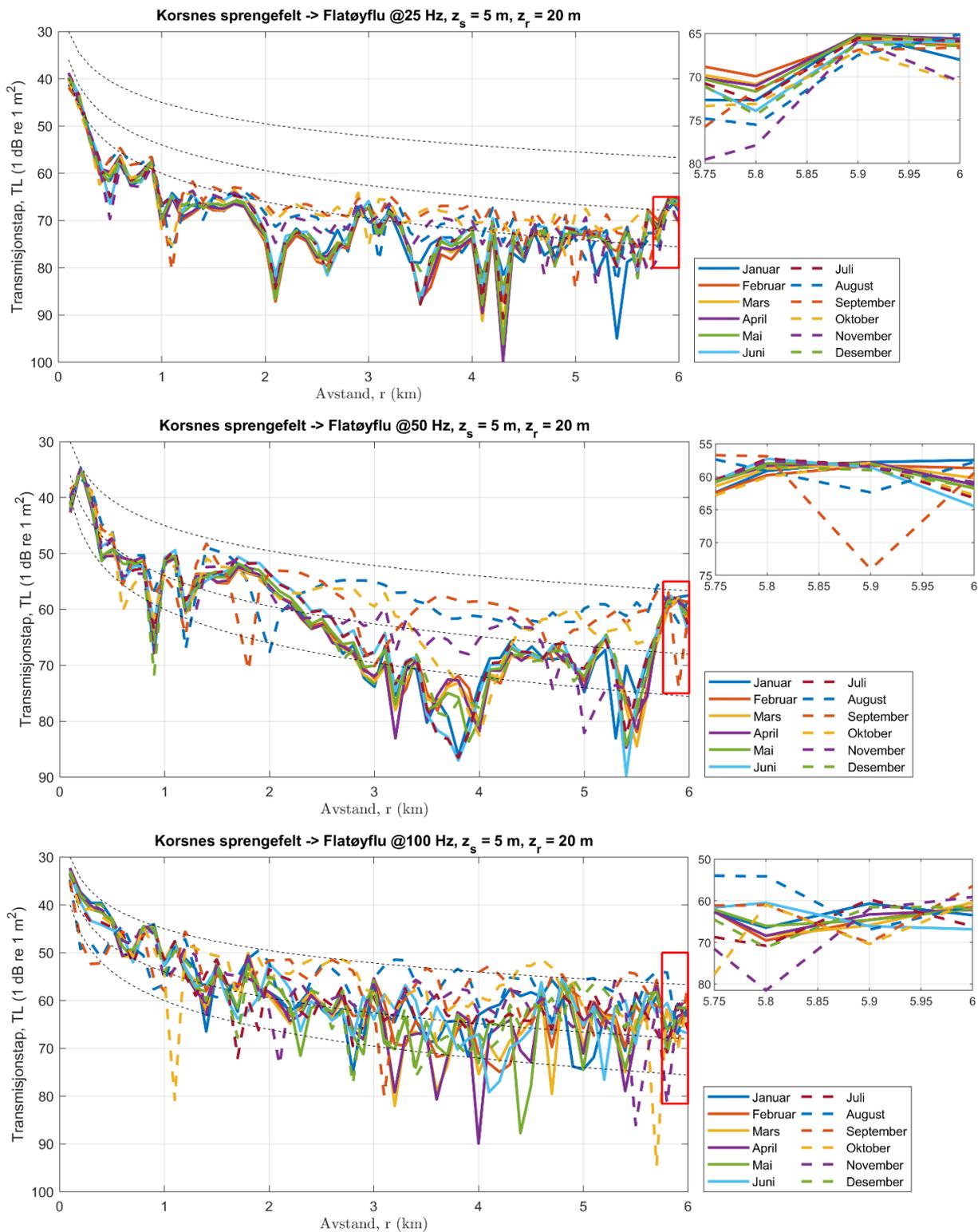
Resultatene fra transmisjonstapsmodelleringen langs transektet Korsnes-Flatøyflu viser en sesongvariasjon (min-max) i propagasjonstap på 6, 7 og 10 dB for henholdsvis frekvensene 25, 50 og 100 Hz, hvorav mars måned hvor vi har gjort målingene ligger omtrent midt i spekteret. Modellert transmisjonstap langs transektet Korsnes-Skorpo viser en sesongvariasjon på 13, 13, og 17 dB for henholdsvis frekvensene 25, 50 og 100 Hz, hvor mars har et av de høyeste tapene og august-september de laveste. De store variasjonene er relatert til propagasjon gjennom overflatesjiktet med ferskvann. Modellert transmisjonstap ved 50 Hz langs transektet Korsnes-Skorpo som funksjon av avstand og dybde vises i figur 3.36 for månedene mars (venstre) og september (høyre). Transmisjonstapet er beregnet med et kildedyp på 5 m.



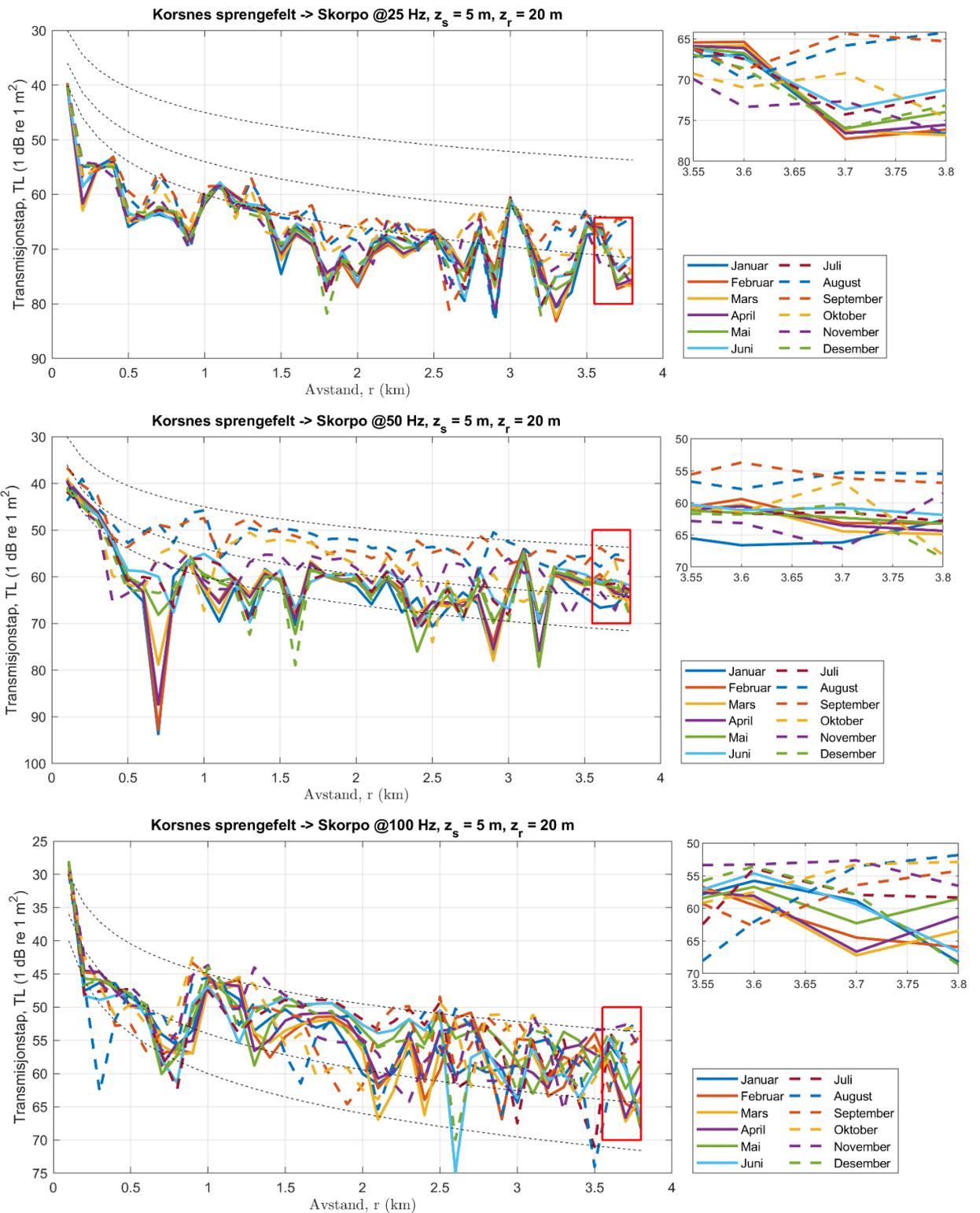
Figur 3.36 Transmisjonstap (dB re 1 m<sup>2</sup>) som funksjon av avstand (km) og dyp (m) langs transektet fra Korsnes til Skorpo ved 50 Hz for mars (venstre) og september (høyre). Det er brukt et kildedyp på 5 m.

Tilstedeværelsen av en overflatekanal resulterer i lavere transmisjonstap i størrelsesorden 10-15 dB for frekvenser under 100 Hz. Overflatekanalen vil ha tilstrekkelig tykkelse i månedene august til november til å propagere lavfrekvent akustisk energi. Overflatesjiktet er tilstede i store deler av året slik at hørfrekvent akustisk energi vil kunne propagere i lydkanalen, men det antas at bruk av boblegardin demper disse frekvensene tilstrekkelig slik at kun lavfrekvent akustisk energi vil være av interesse. Modellene viser at mest lavfrekvent akustisk energi vil propagere i perioden august til november.

Modellert transmisjonstap som funksjon av avstand (km) for frekvensene 25, 50 og 100 Hz for henholdsvis transektene Korsnes-Flatøyflu og Korsnes-Skorpo er vist i figurene 3.37 og 3.38. Transmisjonstapskurvene viser variasjon i tap over et helt år. Effekten av et overflatesjikt i vannmassene kan enklest observeres langs transektet Korsnes-Skorpo for månedene august-september ved 50 Hz, hvor transmisjonstapet er omtrent 6 dB lavere sammenlignet med andre måneder.



Figur 3.37 Transmisjonstap (dB re 1 m<sup>2</sup>) som funksjon av avstand (km) fra langs transektet fra Korsnes til Flatøyflu for frekvensene 25Hz (øverst), 50Hz (midten) og 100Hz (nederst). Stiplede linjer som representerer 15-, 17- og 20-log<sub>10</sub> (avstand) er plottet som referanse.



Figur 3.38 Transmisjonstap (dB re 1 m<sup>2</sup>) som funksjon av avstand (km) langs transektet fra Korsnes til Skorpo for frekvensene 25Hz (øverst), 50Hz (midten) og 100Hz (nederst). Stiplede linjer som representerer 15-, 17- og 20-log<sub>10</sub>(avstand) er plottet som referanse.

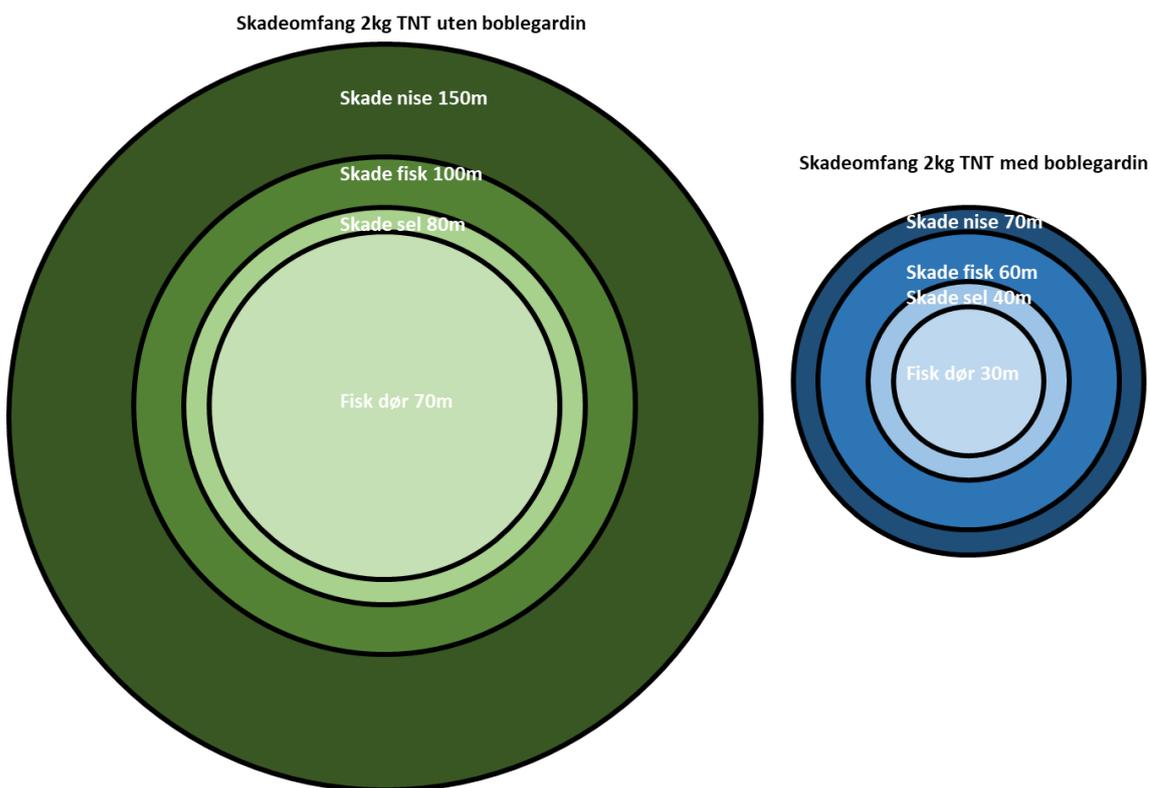
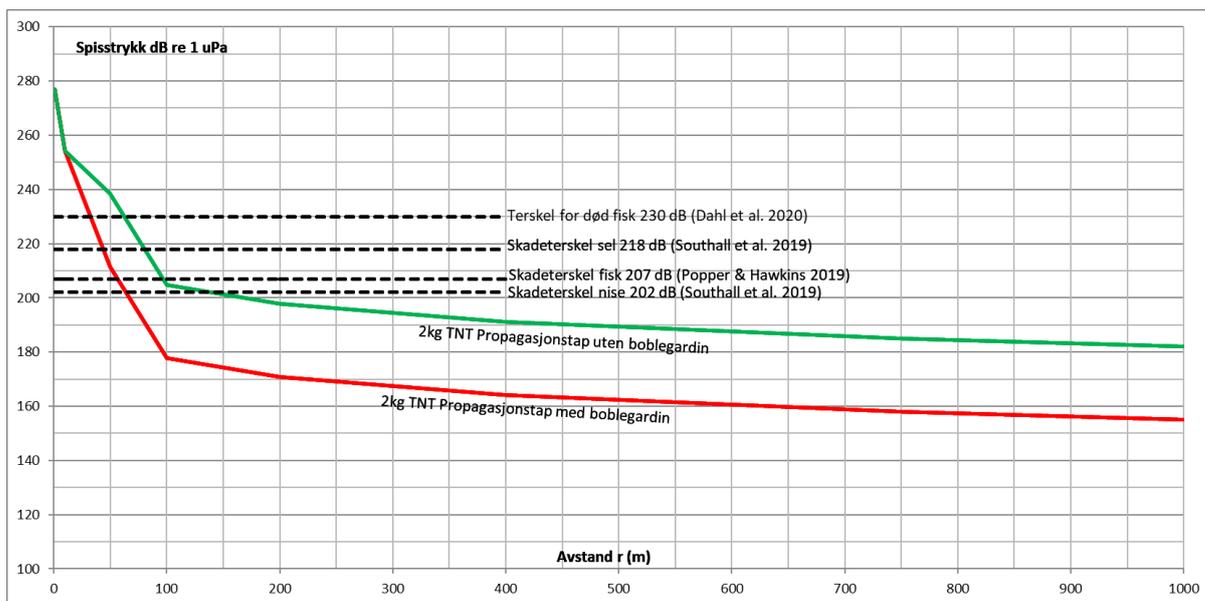
---

### 3.10 Andre miljøeffekter

For å begrense påvirkningen av militær aktivitet til sjøs har FFI utviklet verktøyet SONATE som Forsvaret bruker til planlegging av operasjoner (Nordlund & Kvadsheim 2020). Verktøyet inneholder informasjon om fiskeri og havbruksaktivitet fra Fiskeridirektoratet og utbredelse av fisk og pattedyr fra Havforskningsinstituttet. Oppslag i SONATE viser at det foregår liten kommersiell fiskeriaktivitet i området, selv om det de siste årene har vært noe brosmefiske lenger sør i Korsfjorden. Steinkobbe og nise opptrer regelmessig i området, men ikke i stort antall, gråsel opptrer sporadisk. Andre sjøpattedyr er sjeldne. De er selvsagt en del fisk i området; kysttorsk, sei, kveite, makrell, sild og brisling beiter i området. Korsfjorden er gyteområdet for kveite (des-mai) og kysttorsk (jan-mars), men ingen gyteområdet ligger i umiddelbar nærhet av øvingsområdet på Korsnes.

Forsvaret oppgir at forventet øvingsomfang er maks 5 detonasjoner pr dag og maks 70 i løpet av ett år. De fleste ladninger vil være 0.1-0.5 kg, men ladninger opp til 2 kg vil brukes. Slike detonasjoner vil kunne utløse kortvarige atferdsendringer på flere km avstand (ref resultatet fra laksestudiet), men omfanget av øvingsaktiviteten er ikke forventet å medføre risiko for at frittlevende fisk og pattedyr skal bli utilbørlig forstyrret på en måte som setter dem eller populasjonen i fare, med mindre de befinner seg nært detonasjonspunktet. Vi har brukt en propagasjonsmodell for å undersøke hvor stort faresonen rundt en detonasjon vil være. Modellen tar hensyn til ladningens størrelse, sprengingsdyp og dempning fra terrenget (skjerming fra holmer, skjær og grunt vann). Vi tar her utgangspunkt i at 2 kg TNT settes av dypere enn 2m dyp. Dersom detonasjonen skjer grunnere vil man få full ventilasjon av sjokkbølgen og boblepulsen dempes med ca 10 dB. Modellen er korrigert med målingene på Korsnes for å gi mest mulig riktig skjermingsdempning. Beregningene er gjort med og uten 12 dB dempning fra boblegardinet. Siden energi i hele båndet bidrar til skade på marine organismer er det ikke gjort noen båndbreddekorreksjon.

Direkte skade innebærer at fisk og pattedyr kan få permanente hørselskader, eller andre vevskader. Ved spisstrykknivåer over 207 dB (re 1 $\mu$ Pa) for fisk (Popper & Hawkins 2019), 218 dB for sel (Southall et al. 2019) og 202 dB for niser (Southall et al. 2019) øker risiko for skade. Dette innebærer en skadesone på ca 70-150m dersom man ikke bruker boblegardin, og denne reduseres til 30-70m dersom man bruker boblegardin (Figur 3.39). Omfanget av skade på fisk vil derfor være svært begrenset, og i praksis bare dekke området i Hendersvika. Frittlevende fisk og pattedyr vil ikke i omfattende grad bli gjenstand for gjentatte detonasjoner, fordi de forflytter seg. Niser er spesielt følsomme pattedyr, men både niser og sel burde være synlige på overflaten dersom de kommer innenfor skadesonen. Dersom man bruker boblegardin er risiko for skade på fisk og pattedyr veldig liten.



Figur 3.39 Øverst; spisstrykk som funksjon av avstand ut i Korsfjorden ved detonasjon av 2kg TNT med og uten boblegardin. Skadeterskler for fisk og pattedyr er markert. Nederst; størrelse på skadesoner rundt detonasjonsstedet for fisk og pattedyr, med og uten boblegardin.

---

## 4 Diskusjon

### 4.1 Effekten av sprengingene på oppdrettslaks

Vi har i analysen fokusert på fisken på Skorpo siden dette anlegget ligger nærmest øvingsområdet hvor detonasjonene ble foretatt. Gjennom skuddserien ble fisken på Skorpo eksponert for økende bredbånds (ufiltrert) spisstrykk fra 146 dB til 179 dB (re  $\mu\text{Pa}$ ). Det er frekvensområdet som fisken hører som bidrar til å skremme den, og dersom vi fokuserer bare på det (20-500Hz) ble fisken på Skorpo eksponert for spisstryknivåer fra 145-169 dB. De øvrige anleggene ligger lenger unna og ble eksponert for lavere lydnivåer. Ser vi alle anleggene under ett er spisstryknivåene 4-9 dB høyere enn forventet ut fra den risikovurderingen og simuleringene som ble gjort i forkant (Kvadsheim et al. 2018). Det er usikkert om det er spisstrykket eller den samlede energien i hele pulsen (SEL) som er den viktigste faktoren som fører til fluktnesponser. Vi eksponerte fisken på Skorpo for bredbånds (ufiltrerte) SEL nivåer på 137-157 dB (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ). Tar vi bare med energien som fisken hører ble den eksponert for SEL nivåer fra 135-152 dB.

Ekkolodd er det beste metoden for å studere atferd til fisk som står tett samlet slik de gjør i merd. Disse dataene viser ingen vesentlig endring i atferd som følge av detonasjonene, selv ved de høyeste lydnivåene, hverken på Skorpo eller noen av de andre anleggene. Det er normalt mye støy på et oppdrettsanlegg, som følge av båter som jobber tett innpå merdene, pumper og vinsjer osv. Fisken er vant med dette, og reagerer lite på det. Vi observerte ingen spredningsreaksjoner eller dykkresponser på ekkoloddene ifm detonasjonene som er mer omfattende enn det som oppstår regelmessig som følge av normal drift på anleggene. Vi har også brukt kamera i merdene, og disse opptakene viser at kortvarige responser kan oppstå på Skorpo ved de høyeste lydnivåene fra detonasjonene (fra skudd 17-19)  $>163\text{dB re } \mu\text{Pa}$  spisstrykk i fiskens høreområdet 20-500Hz. Dette tilsvarer SEL nivåer på  $>147\text{ dB re } \mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$  integrert over fiskens høreområdet. Disse kortvarige reaksjonene er ikke unormale, og noe som regelmessig kan oppstå som følge av normal aktivitet på anlegget. Fiskehelseansvarlig ved Lerøy under forsøkene var aldri bekymret for at det hun så utgjorde noen utilbørlig belastning for fisken. Dersom fisken hadde blitt stresset eller ukomfortabel etter detonasjonene vil dette fort gi seg utslag i redusert appetitt. Vi fant ingen endring i forbruk i perioden med detonasjoner hverken på Skorpo eller i noen av de andre anleggene. Samlet sett ser vi heller ingen økt dødelighet som kan tilskrives detonasjonene. På Skorpo ser vi ingen effekt, og da virker det usannsynlig at den observerte økningen i dødelighet på Kyrholmen skulle kunne tilskrives detonasjonene. Økningen startet også tilsynelatende allerede uken før sprengningsforsøkene.

Tidligere studier av fluktreaksjoner hos laks viser at disse kan oppstå dersom fisken eksponeres for spisstrykk i fiskens høreområdet over 155-160 dB (Kjellsby og Kvalsvik 1997, Dalen et al. 2009), og at risiko for sekundær skade som følge av fluktnesponser øker ved gjentatte sprenginger (Yelverton et al. 1975, Kjellsby 1993). I et eksperiment med luftkanonpulser, som har en pulsform som ligner på detonasjoner, ble fisken på Flatøyflu og Skorpo gjentatte ganger eksponert for spisstrykk på minst 150-155 dB, uten at dette ga noen form for negativ reaksjon i merdene (Sivle et al. 2017, Kvadsheim et al. 2018). Basert på dette har man tidligere antatt at 155 dB spisstrykk (re  $1\mu\text{Pa}$ ) regnes som et trygt eksponeringsnivå selv ved gjentatte

---

---

detonasjoner, og 160 dB spisstrykk er trygt ved enkeltdetonasjoner (Kvadsheim et al. 2018). I vårt eksperiment har vi foretatt gjentatte sprengninger med ladninger som tilsvarer det Forsvaret skal bruke under øvelser på Korsnes. Dette utsatte laksen på Skorpo for spisstrykk i fiskens høreområdet på 150-170 dB når vi ikke brukte boblegardin, men dette ble redusert til under 158 dB når boblegardin ble brukt. Dette medførte ingen vesentlig atferdsendring som økte risiko for sekundær skade som følge av klemskader. Basert på våre data kan man dermed øke terskelen for hva som er trygge eksponeringsnivåer for enkeltskudd til 170 dB spisstrykk i fiskens høreområdet (re  $1\mu\text{Pa}$ ) (152 dB SEL re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ). Det ble foretatt et begrenset antall eksponeringer ved de høyeste nivåene, men fisken ble utsatt for gjentatte nivåer over 160 dB spisstrykk de siste dagene (Figur 3.15), uten at dette førte til problematiske atferdsendringer. Det er dermed grunnlag for å endre terskelen for hva som er trygge nivåer ved gjentatte sprengninger til 160 dB spisstrykk i fiskens høreområdet (145 dB SEL re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ), men det må selvsagt vurderes hvor ofte og mange eksponeringer fisken utsettes for.

I fisken som ble tatt ut fra merden på Skorpo på dag 5, umiddelbart etter siste skudd, ble det funnet sirkulasjonsforstyrrelser og blødninger som er konsistent med barotraumer. I samme fisken ser vi samtidig forhøyede nivåer av stresshormonet kortisol i plasma, og kortisol-metabolitter i faeces. Nivåene av stresshormon er tilbake til normalen 1 døgn senere. Ut fra registreringer på populasjonsnivå av føropptak, dødelighet og adferd har ikke sprengningene påvirket helsen generelt i populasjonen. Vi kan derimot ikke helt utelukke at sprengningene har gitt endel subkliniske skader som bare avdekkes ved obduksjon og histopatologi. De to gruppene som gjennomgikk patologiske undersøkelser er ikke helt sammenlignbare. Begge gruppene ble utsatt for innfangning, sedering, transport og alt dette innebærer av belastninger. Disse prosedyrene har etter det vi får opplyst fra Lerøy blitt utført ganske likt for de to gruppene. Vi vet imidlertid ikke om fiskegrupper som er så forskjellige som her, responderer likt på samme belastning. Forskjellene i funn mellom gruppene kan derfor ha flere forklaringer enn selve sprengningsserien de ble utsatt for.

Selv om fisken ikke reagerer atferdsmessig på lyd som ligger utenfor høreområdet, kan slik lydenergi være med på å påføre den skade. Derfor bruker vi de ufiltrerte bredbåndsnivåene for å vurdere risiko for skade. I følge eldre studier av terskler for skade på fisk som utsettes for detonasjoner vil skade på fisk oppstå først når fisken er nærmere enn 200-400m fra detonasjoner av ladninger på 2 kg, avhengig av fiskens størrelse (Yelverton et al. 1975). Det finnes også nyere akustiske kriterier for når død eller dødelig skade kan oppstå hos fisk som eksponeres for impulsive lydimpulser. Disse kriteriene tilsier at det ikke oppstår skade før nivåene overstiger 207 dB spisstrykk (bredbånd) og 207 dB SEL (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ) (Popper & Hawkins 2019). I et studie på sardiner (*Sardinops sagax*) som kom ut etter etablering av disse kriteriene (Dahl et al. 2020) ble fisk eksponert for en trykkbølge fra detonasjon av 4.7 kg TNT ekvivalenter på avstander fra 20-250 m. I fisk som stod nærmere enn 200 m fant man tilfeller av svømmeblæruktur og blødninger i omkringliggende organer (svømmeblære, nyre, lever, milt). Dette inntreffer bare ved nivåer over 230 dB bredbånd spisstrykk (re  $1\mu\text{Pa}$ ) og SEL over 195 dB ( $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ) (Dahl et al. 2020). Laksen på Skorpo ble utsatt for trykkbølger fra detonasjon av bare 2.0 kg TNT ekvivalenter på 3700m avstand, og tilsvarende nivåer på 179 dB bredbånd spisstrykk (re  $1\mu\text{Pa}$ ) og SEL på 157 dB (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ). Sardin og laks er ulike arter, men begge er physostome med åpen svømmeblære, og kan antas å ha lignende toleranse for impulsiv lyd. De lydnivåene fisken på Skorpo ble eksponert for er veldig langt unna de tersklene for hvor man i lignende studier har

---

---

sett skade og død hos fisk (Yelverton et al 1975, Popper & Hawkins 2019, Dahl et al. 2020). Ut fra dette virker det ikke sannsynlig at de observerte skadene skyldes detonasjonene.

En alternativ forklaring er at de 25 fiskene som ble tatt ut for undersøkelser umiddelbart etter skudd 25, ble påført en eller annen belastning i forbindelse med at de ble håvet inn og transport til land i et kar for undersøkelser. Dersom fisken ikke ble tilført tilstrekkelig med oksygen vil dette kunne forklare både de patologiske sirkulasjonsforstyrrelsene og det forhøyede kortisolnivå i fisken. Sannsynligheten for at noe har skjedd i forbindelse med selve uttaket av fisken underbygges ved at kortisolnivået i både plasma og faeces var tilbake til normalen i fisken som ble prøvetatt ett døgn senere. Etter en slik stressbelastning som slike skader innebærer ville vi forventet å se et langvarig forhøyet kortisolnivå. Selv om nivået av kortisol i plasma kan falle raskt når stresset avtar, vil det uansett ta lengre tid før kortisolmetabolitter i faeces forsvinner. Dersom fisken i hele anlegget var påført slike skader ville man også forventet å se økt dødelighet, redusert appetitt og kraftigere atferdsendringer. Vi observerte ikke noe av dette, og må konkludere med at de skadene som ble avdekket i forbindelse med de patologiske undersøkelsen sannsynligvis ikke skyldes detonasjonene.

Et grunnleggende problem med å fastlegge trygge prosedyrer og grenseverdier for sprengning i nærheten av fiskeoppdrettsanlegg kan være at sårbarheten til oppdrettsfisken for trykkbølger vil variere med fiskens helsetilstand. Blant annet er problemer med hjerte- og gjellehelse hos oppdrettsfisk vanlig – men varierer over tid. Det er velkjent at vanlige håndteringsrutiner kan utløse stor dødelighet om fisken er i en sårbar fase, og en liknende variabel sårbarhet er mulig for kraftig lydpåvirkning.

## 4.2 Effekten av boblegardin

De beste målingene av hvilken dempning boblegardinet gir får vi fra de målingene som ble fortatt på Korsnes, ca 1000 m fra detonasjonen, og på Skorpo, ca 3700 m fra detonasjonen. Målingene lenger unna vil gi mer variasjon på grunn av varierende effekter på lydutbredelsen fra skudd til skudd. Det er også mest relevant å fokusere på de største ladningene fordi de trenger å dempes mest. For 2 kg ladning ble bredbånds spissttrykk redusert med 12-20 dB (re  $1\mu\text{Pa}$ ) og SEL med 5-12 dB (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ) når boblegardin ble brukt. Det var ingen forskjell på enkel og dobbel boblegardin. I forbindelse med fullskala sjokktest av et av Sjøforsvarets fartøyklasser brukte Forsvaret også boblegardin for å sperre av et trangt sund på Brimse, for å beskytte oppdrettsanlegget til Grieg Seafood på Rennaren ca 2 km unna. Også her så man at boblegardinet dempet spissttrykket fra detonasjonene med ca 12 dB re  $1\mu\text{Pa}$  (Grimsbø & Kvalsheim 2018). Fisken reagerte kraftig på nivåer på 182 dB re  $1\mu\text{Pa}$  spissttrykk uten boblegardin, men reagerte nesten ikke i det hele tatt når boblegardinet ble brukt og spissttrykket ble dempet til under 170 dB. I forbindelse med at Kystverket i 2019 utdypet innseilingen til Ålesund ved å sprengte vekk grunner brukte man også boblegardin for å dempe trykkbølgen. Her gav boblegardinen en støydempende effekt på ca 20 dB for frekvenser i området mellom 100 Hz og 3 kHz (Skålvik et al. 2019). Selve boblegardinets utforming og type sprengstoff varierte mellom disse studiene, men resultatene er likevel sammenlignbare. I et studie med svært nedskalerte ladninger og nedskalerte boblegardin i en tank fant Johannessen et al. (2017) at boblegardinet dempet trykkbølgen med 12-20 dB avhengig av mengden luft i vannsøylen. Dempningseffekten av boblegardin ser dermed ut til å være skalerbar.

---

---

Fisken hører bare i den nedre del av frekvensspekteret. Boblegardinet demper lyden i hele frekvensbåndet, men den demper de høyfrekvente lydkomponentene mer enn de lavfrekvente. Man kan dermed forvente at boblegardinen også demper stigetiden til pulsen, uten at vi har sett på det spesielt. Vi ser altså at dempningen fra boblegardinet i fiskens høreområdet (20-500 Hz) er mindre enn dempning over hele frekvensbåndet. Det er dempning i fiskens høreområdet som er mest relevant for å unngå fluktreaksjoner, men demping av den totale energien i hele båndet er relevant for å redusere risiko for skade. På Korsnes var forskjellen i demping av SEL i hele båndet sammenlignet med fiskens høreområdet 1-2 dB, men på Skorpo var den 4 dB. Forskjellen kan skyldes at Skorpo ligger mye lenger unna og mer av den høyfrekvente energien vil uansett bli absorbert i vannmassen.

Trykkforløpet fra en detonasjon begynner med selve sjokkpulsen og kavitasjonspulsen som innebærer en veldig rask trykkøkning etterfulgt av et like raskt trykkfall som følge av refleksjon av trykkbølgen fra overflaten (Kjellsby 1993). Deretter følger den såkalte boblepulsen som har lavere amplitude men varer lenger. Dempningen av både spissttrykk, lydeksponeeringsnivå (SEL) og eventuelt også stighetid bidrar til å redusere risiko for både skade på fisken og flyktreaksjoner. Boblepulsen kan dempes ytterligere med ca 10 dB dersom man detonerer 0.1 kg, 0.5 kg og 2 kg ladninger grunnere enn henholdsvis 0.5 m, 1 m og 2 m, noe som vil gi ventilasjon av boblepulsen mot overflaten (Kjellsby & Kvalsvik 1997).

### **4.3 Konklusjon og anbefalinger**

Vi har testet hvilken påvirkning et realistisk øvingsprogram på Korsnes fort med gjentatte sprengninger, inntil 5 per dag og 25 i løpet av en uke, med ladninger 0.1-2 kg, har på omkringliggende oppdrettsanlegg i Korsfjorden. Konklusjon er at fisken ikke ble påført stress og skade på populasjonsnivå som endrer vekst, dødelighet og fiskehelse.

Vi har også testet effekten av bruk av boblegardin for å dempe lydbølgen fra detonasjonene. Bredbånds spissttrykk ble redusert med 12-20 dB (re  $1\mu\text{Pa}$ ) og SEL med 5-12 dB (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ) når boblegardin ble brukt. Det var ingen forskjell på enkel og dobbel boblegardin.

Ved øvingsaktivitet anbefaler vi forsvaret å holde spissttrykkverdiene på Skorpo under 160 dB spissttrykk re  $\mu\text{Pa}$  i båndet 20-500Hz ved gjentatte skudd og maks 170 dB ved enkeltskudd. Det oppnår man ved bruk av boblegardin under øvingsaktivitet. I perioden august til november er propagasjonstapet 10-15 dB lavere enn i mars, og da bør øvingsaktiviteten begrenses til daglige enkeltskudd, eller ladninger på maks 100 gram. For anleggene som ligger lenger unna vil nivåene ligge under de på Skorpo.

Vi anbefaler at det etableres god dialog med Lerøy når øvingsområdet er på plass, slik at man fanger opp eventuelle hendelser og sammen kan få undersøkt årsakssammenhenger. Ved å konsultere fiskehelsetjenesten hos Lerøy om helsetilstanden i fiskepopulasjonen før sprengninger, og sikre prøver før og etter sprengning, vil en kunne forebygge skader og framskaffe bedre empiriske data over tid for å trygge prosedyrer for sprengning i nærheten av oppdrettsanlegg for fisk.

---

Omfanget av skade på vill fisk vil være svært begrenset. Niser er spesielt følsomme, men både niser og sel burde være synlige på overflaten dersom de kommer innenfor skadesonen. Dersom man bruker boblegardin er risiko for skade på fisk og pattedyr veldig liten.

---

---

## Referanser

- Ainslie MA (2010). Principles of Sonar Performance Modeling, Springer
- Afonso LOB, N Basu, K Nakano, RH Devlin and GK Iwama (2003). Sex-related differences in the organismal and cellular stress response in juvenile salmon exposed to treated bleached kraft mill effluent. *Fish Physiology and Biochemistry* 29(2): 173-179.
- vonBenda-Beckmann AM, G Aarts, HO Sertlek, K Lucke, WC Verboom, RA Kastelein, D Ketten, R van Bemmelen, F-PA Lam, RJ Kirkwood, MA Ainslie (2015). Assessing the Impact of Underwater Clearance of Unexploded Ordnance on Harbour Porpoises (*Phocoena phocoena*) in the Southern North Sea. *Aquatic Mammals*, 41, p.503-523.
- Cao Y, AK Tveten and A Stene (2017). Establishment of a non-invasive method for stress evaluation in farmed salmon based on direct fecal corticoid metabolites measurement. *Fish & Shellfish Immunology* 66: 317-324.
- Casper BM, Carlson TJ, Halvorsen MB & Popper AN (2016). Effects of impulsive pile-Driving exposure on fishes. *The Effects of Noise on Aquatic Life II*, pp. 125-132, Springer.
- Casper BM, Halvorsen MB, Carlson TJ & Popper AN (2017). Onset of barotrauma injuries related to number of pile driving strike exposures in hybrid striped bass. *The Journal of the Acoustical Society of America* 141(6), 4380-4387.
- Collins MD (1994). Generalization of the split-step Padé solution. *J. Acoust. Soc. Am.* 96, 382. <https://doi.org/10.1121/1.410488>
- Dahl PH, AK Jenkins, B Casper, SE Kotecki, V Bowman, C Boerger, DR Dall'Osto, MA Babina, AN Popper (2020). Physical effects of sound exposure from underwater explosions on Pacific sardines (*Sardinops sagax*). *J. Acoust. Soc. Am.* 147 (4), April 2020. <https://doi.org/10.1121/10.0001064>
- Dalen J, JM Hovem, HE Karlsen, PH Kvaldsheim, S Løkkeborg, R Mjelde, A Pedersen, A. & AB Skiftesvik (2009). Kunnskapsstatus og forskningsbehov med hensyn til skremmeeffekter og skadevirkninger av seismiske lydbølger på fisk og sjøpattedyr. *Rapport til Oljedirektoratet, Fiskeridirektoratet og Statens Forurensningstilsyn fra spesielt nedsatt forskergruppe*. Bergen, 19. desember 2008. 69 s.
- Eidem E (2008). Tolkning av sedimentprøver fra Forsvarets øvingsfelt i nordlige Nordsjøen innsamlet 2004 - 2008. *Forsvarets Forskningsinstitutt, FFI-rapport 2008/02041*.
- Eidem E & K Landmark (2008). Innsamling og beskrivelse av kjerneprøver og grabbprøver fra havbunnen i Forsvarets øvingsfelt i nordlige Nordsjøen 2004 - 2008. *Forsvarets Forskningsinstitutt, FFI-rapport 2008/02035*.

- 
- Eidem EJ & Landmark K (2013). Acoustic seabed classification using QTC IMPACT on single-beam echo sounder data from the Norwegian Channel, northern North Sea. *Continental shelf research* 68, 1-14.
- Faulkner SG, Tonn WM, Welz M, Schmitt DR (2006). Effects of Explosives on Incubating Lake Trout Eggs in the Canadian Arctic. *North American Journal of Fisheries Management*, 26:4, p.833-842.
- Gaspin JB (1975). Experimental investigation of effects of underwater explosions on swimbladder fish, I: 1973 Chesapeake bay tests. *Naval surface weapons center white oak laboratory silver spring, Maryland*, NSWC/WOL/TR 75-58.
- Gaspin JB, Wiley ML, Peters GB (1976). Experimental investigation of effects of underwater explosions on swimbladder fish, II: 1975 Chesapeake Bay tests. *Naval surface weapons center white oak laboratory silver spring, Maryland*, NSWC/WOL/TR 76-61
- Govoni JJ, West MA, Settle LR, Lynch RT, Greene MD (2008). Effects of Underwater Explosions on Larval Fish: Implications for a Coastal Engineering Project. *Journal of Coastal Research, Florida*, 24, 2B, p.228-233.
- Grimsbø, E & PH Kvadsheim (2018). Sprengningsarbeider i sjø -effekter på marint liv og mulige tiltak. *Fjellssprengningsteknikk 2018*.
- Halvorsen MB, Casper BM, Popper AN & Carlson TJ (2017). Comprehensive summary of the impulsive pile driving sound exposure study series. *The journal of the Acoustical Society of America* 141(5), 3922-3922.
- Hawkins AD & DF Johnstone (1978). The hearing of the Atlantic Salmon, *Salmo salar*. *J. Fish Biol.* 13, 655-673.
- Johannessen TC, A Johnsen, O Dullum, B Bjerketveit (2017). Trykkløsedemping ved sprengning under vann - småskalatester av boblegardin og luftfylte materialer. *Forsvarets forskningsinstitutt, FFI-rapport 17/16837*.
- Kjellsby, E. (1993). Akustisk eksponering av fisk ved undervannsprengninger. *Forsvarets forskningsinstitutt, FFI-rapport 93/2004*
- Kjellsby E, K Kvalsvik (1997). Begrensning av skade på marin fauna ved undervannsprengninger, *Forsvarets Forskningsinstitutt, FFI/rapport-97/04847*.
- Kvadsheim PH, Sivle LD, Hansen RR, Karlsen HE (2017). Effekter av menneskeskapt støy på Havmiljø - rapport til Miljødirektoratet om kunnskapsstatus. *Forsvarets forskningsinstitutt, FFI-rapport 2017/00075*. <http://www.ffi.no/no/Rapporter/17-00075.pdf>
- Kvadsheim PH (2018). Vurdering av miljørisiko ifm etablering av undervanns-skytefelt ved Korsnes fort. *Brev fra FFI til Forsvarsbygg 23.11.2018 FFI-18/02258-1* (unntatt offentlighet).

- 
- Kvadsheim PH, TN Forland, K de Jong, D Nyqvist, E Grimsbø, LD Sivle (2020). Effekter av støyforurensing på havmiljø - kunnskapsstatus og forvaltningsrådgiving. *Forsvarets forskningsinstitutt, FFI-rapport 2020/01015*. <http://www.ffi.no/no/Rapporter/20-01015.pdf>
- Medwin H (1975). Speed of sound in water: A simple equation for realistic parameters. *J. Acoust. Soc. Am.* 58, 1318. <https://doi.org/10.1121/1.380790>
- MET. u.d. ROMS Norkyst 800m.  
[https://thredds.met.no/thredds/catalog/sea/norkyst800mv0\\_24h/catalog.html](https://thredds.met.no/thredds/catalog/sea/norkyst800mv0_24h/catalog.html).
- Nordlund N & Kvadsheim PH (2020). SONATE 2020 – a decision aid tool to mitigate the impact of naval sonar operations on marine life. *Forsvarets forskningsinstitutt, FFI-rapport 20/03130*. <https://www.ffi.no/en/publications-archive/sonate-2020-a-decision-aid-tool-to-mitigate-the-impact-of-naval-sonar-operations-on-marine-life>
- Popper AN, AD Hawkins, RR Fay, DA Mann, S Bartol, TJ Carlson, S Coombs, WT Ellison, RL Gentry, MB Halvorsen, S Løkkeborg, PH Rogers, BBL Southall, DG Zeddies, WN Tavolga (2014). Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI. *ASA S3/SC1.4 TR-2014*. Springer and ASA Press 2014
- Popper A & AD Hawkins (2019). An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. *J. Fish Biol.* 94:692–713. DOI: 10.1111/jfb.13948
- Sivle LD, Forland TN, Hansen RR, Andersson M, Grimsbø E, Linne M, Karlsen HE (2017). Behavioural effects of seismic dose escalation exposure on captive macrel (*Scomber scombus*). *Rapport fra Havforskningsinstituttet* 34.2017.
- Skålvik TH, GN Christensen, M Aune, D Clorennec, P Billand, C Bois, T Folegot (2019). Støymålinger i Aspevågen - Måling av undervannsstøy og vurdering av boblegardin som avbøtende tiltak ved sprengning under vann i Aspevågen, Ålesund. *Akvaplan niva Rapport APN-61285*.
- Southall BL, Finneran JJ, Reichmuth C, Nachtigall PE, Ketten DR, Bowles AE, Ellison WT, Nowacek DP, Tyack PL (2019). Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals* 45(2), 125-232, DOI 10.1578/AM.45.2.2019.125
- Svendsen, P (2012). Reglement for eksplosivrydding under vann - Fastsettes til bruk i Sjøforsvaret. *KNM Tordenskjold 2012*.
- Yelverton JT, Richmond DR, Hicks W, Saunders K, Fletcher ER (1975). The relationship between fish size and their response to underwater blast. *Lovelace Foundation for Medical Education and Research, Albuquerque NM 87108, DNA 3677T*

# A Rapporter fra Veterinærinstituttet

 **Veterinærinstituttet**  
Norsk veterinærinstitutt

Postadresse: Pb. 1263 Sentrum, 5811 BERGEN  
Sentralbord: +47 91 85 88 66 E-post: post.vib@vetinst.no

Forsvarets forskningsinstitutt  
v/Petter Helgevd Kvadsheim  
Postboks 25  
2027 Kjeller

Deres ref.: Vår ref.: 2021-50-217/F162 Dato: 08.11.2021

**Prøvesvar til innsendelse mottatt 22.03.2021**

Uttaksdato: 22.03.2021  
Mottatt materiale: Fersk fisk og plasmaprøver, 25 stk., laks, vekt 82-230 g, merket 1-25, avlivet  
Lokalitet: 12108 Skorpo Iv, KVINNERAD kommune  
Eier: Sjøtroll Havbruk AS, SKIPAVIKA 54, 5397 BEKKJARVIK  
Hensikt: Oppdrag - sprengningsforsøk  
Merknad: Materiale består av:  
Vår referanse 2021-50-217/F162, (denne), 25 fisk og plasmaprøver, mottatt 22.03.2021.  
Vår referanse 2021-50-226/F171, 25 fisk og plasmaprøver, mottatt 26.03.2021.  
Vår referanse 2021-50-238/F183, 25 plasma- og fæcesprøver mottatt 26.03.2021, prøver tatt på anlegget 23.03.2021.  
Vår referanse 2021-50-239/F184, 25 plasma- og fæcesprøver mottatt 29.03.2021, prøver tatt på anlegget 27.03.2021.  
Hensikt: Oppdrag fra Forsvarets forskningsinstitutt v/Petter Helgevd Kvadsheim

Kommentar til prøveuttak: Utdrag fra e-post kommunikasjon: «Det ble kasta, håva og frakta inn levande fisk i kar til kaia med hurtigbåt. Då vart nok fisken stressa, men sannsynligvis var stresspåverninga lik ved alle prøveuttaka. Det vart tilført friskt sjøvann i kara på kaia. Deretter vart fisken avлива med Benzocak (8 stk av gangen) og prøvetatt. På første prøveuttak var utvalget av fisk prega av innslag av tynne tapere med sår som sannsynligvis sleit med osmoregulering. Det var følgelig varierende innslag av fôr i tarm hos desse fiskane. Det vart forsøkt umgått å prøveta desse, men for å oppnå antalet vart ein del med. Sjelve fanginga og transporten av fisk tok ca 1 time. Sjelve prøveuttaket tok ca 2 timer»

**Undersøkelse av 25 hele fisker**

Alle fiskene ble obduert og full histopatologisk undersøkelse og dyrkning for sykdomsframkallende bakterier ble utført på 10 fisk.

Diagnoser

- Påvist kjevesår med bakterieinfeksjon
- Påvist hudår med bakterieinfeksjon
- Påvist hale/finneråte med bakterieinfeksjon
- Påvist *Moritella viscosa*
- Påvist *Tenacibaculum* sp. mest lik *Tenacibaculum finnmarkense* genomvar *finnmarkense*
- Påvist sparsom gjelleirritasjon (lamellar hyperplasi og hypertrofi)
- Påvist noe sirkulasjonsforstyrrelse
- Påvist bendelorm (trolig *Eubothrium* sp.)

www.vetinst.no • Fakturaadresse Postboks 1509, 7435 Trondheim • Bank 7694 05 12030 • Organisasjonsnr. 970 955 623 MVA

 **Veterinærinstituttet**  
Norsk veterinærinstitutt

Postadresse: Pb. 1263 Sentrum, 5811 BERGEN  
Sentralbord: +47 91 85 88 66 E-post: post.vib@vetinst.no

Forsvarets forskningsinstitutt  
v/Petter Helgevd Kvadsheim  
Postboks 25  
2027 Kjeller

Deres ref.: Vår ref.: 2021-50-226/F171 Dato: 08.11.2021

**Prøvesvar til innsendelse mottatt 26.03.2021**

Uttaksdato: 26.03.2021  
Mottatt materiale: Fersk fisk og plasmaprøver, 25 stk., laks, vekt 112-250 g, merket 1-25  
Lokalitet: 12108 Skorpo Iv, KVINNERAD kommune  
Hensikt: Oppdrag - sprengningsforsøk  
Merknad: Materiale består av:  
Vår referanse 2021-50-217/F162, 25 fisk og plasmaprøver, mottatt 22.03.2021.  
Vår referanse 2021-50-226/F171 (denne), 25 fisk og plasmaprøver, mottatt 26.03.2021.  
Vår referanse 2021-50-238/F183, 25 plasma- og fæcesprøver mottatt 26.03.2021, prøver tatt på anlegget 23.03.2021.  
Vår referanse 2021-50-239/F184, 25 plasma- og fæcesprøver mottatt 29.03.2021, prøver tatt på anlegget 27.03.2021.  
Hensikt: Oppdrag fra Forsvarets forskningsinstitutt v/Petter Helgevd Kvadsheim

Kommentar til prøveuttak: Utdrag fra e-post kommunikasjon: «Det ble kasta, håva og frakta inn levande fisk i kar til kaia med hurtigbåt. Då vart nok fisken stressa, men sannsynligvis var stresspåverninga lik ved alle prøveuttaka. Det vart tilført friskt sjøvann i kara på kaia. Deretter vart fisken avлива med Benzocak (8 stk av gangen) og prøvetatt. På første prøveuttak var utvalget av fisk prega av innslag av tynne tapere med sår som sannsynligvis sleit med osmoregulering. Det var følgelig varierende innslag av fôr i tarm hos desse fiskane. Det vart forsøkt umgått å prøveta desse, men for å oppnå antalet vart ein del med. Sjelve fanginga og transporten av fisk tok ca 1 time. Sjelve prøveuttaket tok ca 2 timer»

**Undersøkelse av 25 hele fisker**

Alle fiskene ble obduert og full histopatologisk undersøkelse og dyrkning for sykdomsframkallende bakterier ble utført på 10 fisk.

Diagnoser

- Påvist blødning øye
- Påvist blødning hud og finnebasis
- Påvist blødning svømmeblære
- Påvist blødning lever
- Påvist sirkulasjonsforstyrrelse
- Påvist sparsom gjelleirritasjon (lamellar hyperplasi og hypertrofi)
- Påvist kronisk granulomatøs bukthinne-, lever- og milteinnetelse
- Påvist ingen eller svært sparsom uspesifikk bakterievekst (nyre)
- Påvist begynnende kjønnsmodning
- Påvist finnesittasje og sparsom sårdannelse

www.vetinst.no • Fakturaadresse Postboks 1509, 7435 Trondheim • Bank 7694 05 12030 • Organisasjonsnr. 970 955 623 MVA

Figur A.1 Rapport 2021-50-217/F162 (til venstre) er fra kontrollgruppen tatt ut fra merd 6 på Skorpo 22.03.2021 umiddelbart før detonasjonene begynte. Rapport 2021-50-226/F171 (til høyre) er fra den eksponerte gruppen tatt ut fra samme merd den 26.03.2021 umiddelbart etter siste skudd. Begge rapportene er gjengitt i sin helhet under.



Forsvarets forskningsinstitutt  
v/Petter Helgevold Kvadsheim  
Postboks 25  
2027 Kjeller

Deres ref.:

Vår ref.: 2021-50-217/F162

Dato: 08.11.2021

## Prøvesvar til innsendelse mottatt 22.03.2021

**Uttaksdato:** 22.03.2021

**Mottatt materiale:** Fersk fisk og plasmaprøver, 25 stk., laks, vekt 82-230 g, merket 1-25, avlivet

**Lokalitet:** 12108 Skorpo Nv, KVINNHERAD kommune

**Eier:** SJØTROLL HAVBRUK AS, SKIPAVIKA 54, 5397 BEKKJARVIK

**Hensikt:** Oppdrag - sprengningsforsøk

**Merknad:** Materiale består av:

Vår referanse 2021-50-217/F162 (denne), 25 fisk og plasmaprøver, mottatt 22.03.2021.

Vår referanse 2021-50-226/F171, 25 fisk og plasmaprøver, mottatt 26.03.2021.

Vår referanse 2021-50- 238/F183, 25 plasma- og fæcesprøver mottatt 26.03.2021, prøver tatt på anlegget 23.03.2021.

Vår referanse 2021-50- 239/F184, 25 plasma- og fæcesprøver mottatt 29.03.2021, prøver tatt på anlegget 27.03.2021.

**Hensikt:** Oppdrag fra Forsvarets forskningsinstitutt v/Petter Helgevold Kvadsheim

**Kommentar til prøveuttak:** Utdrag fra ep-post kommunikasjon: «Det ble kasta, håva og frakta inn levande fisk i kar til kaia med hurtigbåt. Då vart nok fisken stressa, men sannsynligvis var stresspåkjenninga lik ved alle prøveuttaka. Det vart tilført friskt sjøvotn i kara på kaia. Deretter vart fisken avliva med Benzoak (8 stk av gangen) og prøvetatt. På første prøveuttak var utvalget av fisk prega av innslag av tynne tapere med sår som sannsynligvis sleit med osmoregulering. Det var følgelig varierende innslag av fôr i tarm hos desse fiskane. Det vart forsøkt unngått å prøveta desse, men for å oppnå antalet vart ein del med. Sjølve fanginga og transporten av fisk tok ca 1 time. Sjølve prøveuttaket tok ca 2 timer»

---

### Undersøkelse av 25 hele fisker

Alle fiskene ble obdusert og full histopatologisk undersøkelse og dyrkning for sykdomsframkallende bakterier ble utført på 10 fisk.

### Diagnoser

Påvist kjevesår med bakterieinfeksjon

Påvist hudsår med bakterieinfeksjon

Påvist hale/finneråte med bakterieinfeksjon

Påvist *Moritella viscosa*

Påvist *Tenacibaculum* sp. mest lik *Tenacibaculum finnmarkense* genomovar *finnmarkense*

Påvist sparsom gjelleirritasjon (lamellær hyperplasi og hypertrofi)

Påvist noe sirkulasjonsforstyrrelse

Påvist bendelorm (trolig *Eubothrium* sp.)

*Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.*

## Oppsummering av funn

Vurdert samlet er funnene innenfor det spekteret av sykdomsforandringer en kan forvente hos laks som har et utbrudd av sårskader i kommersielt oppdrett i sjø. Det ble ikke gjort histopatologiske funn som tyder på annen spesifikk sykdom.

Hovedfunn var sår og hale-/finneråte. Det ble påvist hale-/finneråte hos ca. halvparten av fiskene (12 stk.). Halestrålen var til dels tapt og erstattet med et åpent sår hos 5 fisk. Det var sår på kjeve hos 7 fisk og sår i hud hos 4 fisk. I histologiske prøver fra hud og finne med lesjoner var det infiltrasjoner med betennesceller og funn av bakterier.

Vanlig forekommende sårbakterier, *Tenacibaculum finnmarkense* genomovar *finnmarkense* og *Moritella viscosa*, ble påvist ved dyrkning fra sår.

Sårene framsto delvis som skjellommebetennelse, dermatitt, i øvre del av dermis med granulasjonsvev forenlig med overflatisk sår i kronisk stadium/avheling. Dypt sår med degenerasjoner i skjelettmuskulatur ble observert.

Det var noe blodstuvning i hjerne og/eller øye hos 6 fisk og noe blødning/stuvning i tilknytning til svømmeblære hos 2 fisk. I hjerte var det blødninger i hjertemuskulatur hos en fisk og hos 3 fisk var det noe epikarditt. I gjeller ble det påvist sparsom lamellær hyperplasi og hypertrofi hos få fisk. Hos 3 fisk var det få gjelleepitelceller med fragmenterte cellekjerner.

## Kommentarer

Identifikasjon av bakterier er basert på morfologi, biofysiske egenskaper og massespektrometri (MALDI-TOF MS). *Tenacibaculum* sp. og *Moritella viscosa* er assosiert med sårutvikling hos fisk i sjø. Betydningen av funn av *Vibrio* (*Aliivibrio*) *logei* og *Vibrio* (*Aliivibrio*) *wodanis* er usikker. Disse bakteriene er utbredt i marint vannmiljø. Granulomatøs betennelse i buken, ofte i tilknytning til milt, med makroskopisk synlig melaninpigment og adheranser er et vanlig funn etter vaksinerings. Sparsom lamellær hyperplasi og hypertrofi i gjeller er vanlig forekommende hos fisk i oppdrett. Celler med fragmenterte cellekjerner kan sees ved «poxvirus»-infeksjon. Det var noe autolyse, som gjorde den histopatologiske vurderingen usikker hos få fisk.

Fra de 10 fiskene med utvidete undersøkelser ble det tatt ut avføringsprøver, nyre, hjerte og hjerne på RNALater og nyre og hjerte på virustransportmedium. Avføringsprøver og plasmaprøver er videresendt etter avtale til NTNU Ålesund, v/ Yanran Cao, NTNU sammen med prøver fra innsendelse 2021-50-226/F171, 2021-50-238/F183, 2021-50-239/F184. Prøver på RNALater og virustransportmedium er lagret ved Veterinærinstituttet.

*Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.*

## Analyseresultater

### Obduksjon/organundersøkelse (ME01\_001) (Veterinærinstituttet Bergen)

#### Undersøkt: Alt mottatt materiale

Fiskene ble inspisert utvendig, gjellelokket klippet av, buken åpnet og venstre bukside fjernet. Gjeller, gjellelokk, pseudobrank, hjerne (på fisk det ble gjort utvidet prøveuttak av) og indre organer ble inspisert. Indre organer ble skjøvet ventralt for å avdekke svømmeblære og nyre. Det ble lagt et snitt i skjelettmuskulatur langs ryggraden. Organer uten funn er ikke kommentert.

#### Resultat

Fisk	Vekt	Oppsummering av funn
1	190 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Mulig hvitt felt på gjeller på begge sider. <b>Indre:</b> Luftfylt svømmeblære. Melaninpigment og adheranser i buken. Fæces i tarm.
2	180 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Mulig hvite områder på gjeller innerst mot gjellebuen begge sider. <b>Indre:</b> Luftfylt svømmeblære. Melaninpigment og adheranser i buken. Fæces i tarm.
3	202 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Katarakt venstre øye. Røde, normale gjeller. En liten slimklatt nederst mot gjellebuen på venstre side. Høyre side u.a. <b>Indre:</b> Mulig blodutredelse i magesekk. Adheranser i buken. Melaninpigment flekkvis i bukhinnen. Fôr i magesekken. Fæces i tarm.
4	102 g	<b>Ytre:</b> Litt slank og litt skjelltap. Øvre halvpart av halefinnen er borte, haleråte. Røde, fine gjeller, mulig hvite områder innerst mot gjellebuen begge sider. <b>Indre:</b> Blodutredelse i lever. Sammenvoksninger i buk forenlig med vaksineskade. Pigmentfelter i bukveggen. Tydelige blodårer i buk.
5	100 g	<b>Ytre:</b> Litt slank og skjelltap. Litt delt halefinne. Mulig hvite områder innerst mot gjellebuene. <b>Indre:</b> Stor milt som var delt i to. Ikke fôr i magesekk. Fæces i tarm.
6	116 g	<b>Ytre:</b> Noe skjelltap. Splittet underkjeve høyre side. Sår på underkjeve på høyre side. Blødninger i huden under buken foran brystfinnene og foran bukfinnene. Venstre bukfinne blodig ytterst. <b>Indre:</b> Lever hadde noe løs konsistens og lyse felter i fremre og nedre (ventrale) kant. Nyre noe i oppløsning. Litt fuktig i hjertesekken og i buken. Skinnende, mørk (blodfylt) milt. Litt utspilt svømmeblære. Milde sammenvoksninger mellom organ og organ og bukhinne, melaninflekker i fettvev. Tom magesekk. Gult, fnokket og slimet innhold i tarm.
7	92 g	<b>Ytre:</b> Noe skjelltap. Litt flisete bukfinner. Halefinne skrått nedslitt, dorsalt slitt nesten inntil basis. Litt bleike gjeller. <b>Indre:</b> Fremre del av lever lys med svakt hyperemiske sjatteringer. Fastere konsistens på lever enn 6, men fortsatt noe løs. Litt utspilt svømmeblære. Melaninflekker i fettvev. Tom magesekk. Gult, fnokket innhold i tarm. Begynnende kjønnsmodning (rognsekker).
8	82 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Blødning i huden under buken foran bukfinner og blødning i feste for bukfinnene. Moderat flisete halefinne og blodig, flisete høyre brystfinne. Litt bleike gjeller. <b>Indre:</b> Lever var lys og hadde noe løs konsistens. Noe mørk milt. Litt utspilt svømmeblære. Melaninflekker i fettvev. Tom magesekk. Gul, slimete avføring, tom baktarm.

Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.

9	158 g	<b>Ytre:</b> Litt skjelltap. <b>Indre:</b> Gassfylt svømmeblære. Moderate adheranser og melaninflekker i fettvev. Noe slim i magesekk. Lysebrunt, slimet innhold i pylorus, noen pylorusblindtarmen velfylte og utspilte. Rikelig og mer normalt innhold i midt- og baktarm.
10	230 g	<b>Ytre:</b> Godt hold. Sparsomt Skjelltap. Sår på underkjeve. <b>Indre:</b> Skjoldet lever. Bakre del av svømmeblære gassfylt. Milde sammenvoksninger i bukhole, få melaninflekker. Fôr i magesekk. Mye normalt innhold i tarm.
11	150 g	<b>Ytre:</b> I godt hold. Noe skjelltap. Lite rundt sår ca. 0,5 cm, avdekket muskulatur. Mulig katarakt h.side. Finneråte brystfinne venstre side. Et lite svakt lysere felt v. side. <b>Indre:</b> Skjoldet lever. Svømmeblære fylt med luft. Pigment og sammenvoksninger i buk. Fôr i magesekk. Fæces i tarm.
12	110 g	<b>Ytre:</b> Noe skjelltap. <b>Indre:</b> Luftfylt svømmeblære, Adheranser i buk og melaninflekker. Tom mage, fæces i tarm, lite og gult.
13	146 g	<b>Ytre:</b> Lite sår på kjeven og Skjelltap. Litt bleik og skjoldet. Tom mage. Fæces i tarm, fylt tarm. Luftfylt svømmeblære. Sammenvoksninger i buk, pigment flekker.
14	116 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Sår på underkjeve. Tendens til mopsesnute. Flisete rygg- og halefinne. Slitte brystfinner. <b>Indre:</b> Luftfylt svømmeblære. Fæces i tarm.
15	212 g	<b>Ytre:</b> Godt hold. Skjelltap. Dypt, blodig, forholdsvis rundt sår dorsalt på halerota, ca. 0,5 cm i diameter. <b>Indre:</b> En del sammenvoksninger mellom organ og organ og bukhinne. Melaninflekker i fettvev og bukhinne. Blekgult, slimete, tynt, pastøst innhold i magesekk og pylorus. Velfylte, delvis utspilte blindsekker. Bakover inneholdt tarmen gult til gulbrunt, fnokkete og slimete faeces.
16	104 g	<b>Ytre:</b> Noe skjelltap. Sår på underkjeven. Under buken foran bukfinnene blødninger i huden og åpent, blodig, rundt sår (størrelse med en ti-øring). Noe flisete bryst- og bukfinner. Litt bleike gjeller. <b>Indre:</b> Lever hadde noe løs konsistens. Noe mørk milt. En del gass i svømmeblære. Moderate sammenvoksninger mellom organ og organ og bukhinne, melaninflekker i fettvev og bukhinne (få). Karinjisert fettvev over baktarm. Litt væske i magesekk. Gult, slimete innhold i pylorus og midttarm, bakre tarmavsnitt mer grålig innhold.
17	184 g	<b>Ytre:</b> Godt hold. Skjelltap. Lite sår på underkjeven. <b>Indre:</b> Luftfylt svømmeblære. Adheranser i buken, pigment i bukinnen.
18	88 g	<b>Ytre:</b> Litt bleike gjeller? <b>Indre:</b> Litt fuktig i hjertesekk. Milten litt mørk og stor. Litt tydelige samlerør i nyre. Litt gass i svømmeblære. Væske i magesekk. Gult fnokket innhold i tarm.
19	90 g	<b>Ytre:</b> Under middels hold. Noe skjelltap. Slitt og flisete halefinne. Litt bleike gjeller. <b>Indre:</b> Lever hadde noe løs konsistens, litt lys. Milt mørk og litt forstørret. Litt gass i svømmeblære. Moderate sammenvoksninger mellom organ og organ og bukhinne, melaninflekker i fettvev og bukhinne. Tom magesekk. Sparsomt gult, slimet innhold i tarm.
20	124 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Blødninger i huden under buken mellom bukfinner. Halefinne og bakerste del av halerot vekke, åpent sår. Litt bleike gjeller. Litt hyperemisk gatt. <b>Indre:</b> Fuktig i hjertesekk og bukhole. Litt morken lever. Milt mørk og litt forstørret. Moderate sammenvoksninger mellom organ og organ og bukhinne, melaninflekker i fettvev og bukhinne. Karinjisert fettvev over baktarm. Væske i magesekk. Overveiende gult slimete innhold i tarm. Begynnende kjønnsmodning (rognssekker).

Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.

21	118 g	<b>Ytre:</b> Middels hold. Skjelltap. Litt slitasje på underkjeve/munn. Litt slitte brystfinner, flisete og slitt ryggfinne. Haleråte <b>Indre:</b> Litt luft i svømmeblære. Pigment og adheranser i bukhinnen. Tom mage, veldig lite fæces, gult.
22	106 g	<b>Ytre:</b> Kjeveskade, flisete brystfinner, slitt ryggfinne, haleråte. <b>Indre:</b> Svømmeblæra litt fylt med luft. Pigment i bukkinne, adheranser og begynnende kjønnsmodning. Fôr i magesekken. Lite tarminnhold.
23	96 g	<b>Ytre:</b> Under middels hold. Skjelltap. Litt slitt kjeve. Haleråte, litt slitte brystfinner, flisete ryggfinne. <b>Indre:</b> Gassfylt svømmeblære. Karinjisert fettvev over baktarm. Moderate sammenvoksninger mellom organ og organ og bukkinne, melaninflekker i fettvev og bukkinne. Væske i magesekk. Gult, slimete tarminnhold.
24	98 g	<b>Ytre:</b> Middels hold. Skjelltap. Flisete ryggfinne. Uttalt haleråte med fullstendig tap av halestråle. Sår. <b>Indre:</b> Oppløst lever. Litt stor milt. Svømmeblære fylt med luft. Pigment i bukkinne, adheranser. Ikke fôr i magesekken.
25	86 g	<b>Ytre:</b> Middels hold. Skjelltap. Haleråte med nesten fullstendig tap av finnestråler, høyre brystfinne litt slitt. <b>Indre:</b> Litt gul lever, litt skjoldet, noe oppløst. Litt stor milt. Litt luft i svømmeblæra. Tom mage, ikke innhold i magesekk.

*Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.*

## Histopatologi (ME01\_002) (Veterinærinstituttet Bergen)

---

**Undersøkt:** Diverse organer fra fiskene 4, 6, 7, 8, 10, 11, 15, 17, 23 og 24.

Organer som er undersøkt: Gjelle, pseudobrank, øye, hjerne, hjerte, lever, pankreas, pylorusblindsekker, peritoneum, nyre, milt, svømmeblære, skjelettmuskulatur og hud.

Organer med vesentlige og sikre funn er omtalt, i tillegg er noen mulige forandringer nevnt med forbehold.

### Resultat

#### Fisk 4

**Gjelle:** Noe løsning av epitel, kloridcellehyperplasi

**Finne:** Mye betennescelleinfiltrasjoner i finne, oppfliset, noe korte bakterier

#### Fisk 6

**Gjelle:** Noe kloridcellehyperplasi

**Øye 1:** Fokal katarakt (nekrose av linse)

**Hjerte:** Moderat fokal epikarditt (hjertehinnebetennelse)

**Lever:** Partier i kanten og noe innover i parenkym med dilaterte blodfylte sinusoider

**Bukhinne/miltkapsel:** Forholdsvis uttalt peritonitt (typisk for vaksineindusert betennelse)

**Pylorusblindsekker:** Moderate funn forenlig med autolyse

**Pankreas (eksokrin):** Noe tap

**Hud:** Skjellommebetennelse, dermatitt, stort sett lokalisert til øvre del av dermis, granulasjonsvev, dvs. overflatisk sår i kronisk stadium/avheling

#### Fisk 7

**Gjelle:** Diffus løsning av epitel fra basalmembran («lifting») (sannsynligvis oppstått etter død), moderat slimcellehyperplasi, mild subepitelial leukocytinfiltrasjon

**Pseudobrank:** Noe blodstuvning

**Hjerne:** Mild blodstuvning

**Øye 1:** Noe blodstuvning i iris

**Bukhinne/miltkapsel:** Fokal miltkapselbetennelse (typisk for vaksineindusert betennelse)

**Pylorusblindsekker:** Moderate funn forenlig med autolyse

#### Fisk 8

**Gjelle:** Ligner fisk 7

**Hjerte:** Moderat fokal epikarditt

**Bukhinne/miltkapsel:** Fokal miltkapselbetennelse (typisk for vaksineindusert betennelse)

**Pylorusblindsekker:** Moderate funn forenlig med autolyse

#### Fisk 10

**Hjerne:** Mild blodstuvning

**Lever:** Diffus vakuolisering av hepatocytter. Noen parti med mildt dilaterte blodfylte sinusoider, noe i kanten

**Pylorusblindsekker:** Moderate funn forenlig med autolyse

#### Fisk 11

**Gjelle:** Noe løsning av epitel, kloridcellehyperplasi, noe hyperplasi langs lamellene, celler med fragmenterte cellekjerner

**Svømmeblære:** Blødning/stuvning i bindevevet rundt (submukosa)

**Bukhinne:** Uttalt granulomatøs peritonitt (vaksineskade)

**Skjelettmuskulatur og hud:** Blødninger, infiltrasjoner i hypodermis, rød skjelettmuskulatur og skjellommer.

**Hjerne:** Noe stuvning i små kar.

*Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.*

**Fisk 15****Gjelle:** Ligner 7**Pseudobrunk:** Ikke undersøkt**Hjerne:** Noe blodstuvning**Hjerte:** Moderat fokal epikarditt, få små blodansamlinger i overgang str. kompaktum og str. spongiosum**Lever:** Diffus vakuolisering av hepatocytter, sparsomt med mildt dilaterte blodfylte sinusoider**Svømmeblære:** En blødning i submukosa**Bukhinne/miltkapsel:** Fokal miltkapselbetennelse (typisk for vaksineindusert betennelse)**Nyre:** Ikke undersøkt**Pylorusblindsekker:** Forholdsvis uttalte funn forenlig med autolyse**Hud:** Nydannelse av epidermis, mononukleær celleinfiltrasjon og blødning. Påvist for deler av såret på og i dermis og for deler av såret på og i hvit muskulatur, dvs. dypt sår i avhelingsfase.**Fisk 17****Gjeller:** En del løse celler, celler med fragmenterte cellekjerner, hyperplasi, frie lameller**Bukhinne:** Granulomatøs peritonitt (vaksineskade)**Hjerne:** Noe stuvning i små kar.**Svømmeblære:** Blødning/stuvning i submukosa**Kjeve:** Sår, noe betennescelleinfiltrasjon**Fisk 23****Gjelle:** Noe autolyse, få celler med fragmenterte cellekjerner**Lever:** Noe stuvning**Tarm og bukhinne:** Autolyse, bendelorm i tarm, granulomatøs peritonitt (vaksineskade)**Hjerne:** Stuvning i små kar**Fisk 24****Tarm:** Autolyse**Skjelettmuskulatur og hud:** Lange, slanke trådlignende bakterier i sårkant i kompakt bindevev.

Betennescelleinfiltrasjoner i bindevev i underkjeve.

**Finne:** Svullent, noe utflytende epidermis, gjennomsett av lange sårbakterier.

*Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.*

## Bakterier og sopp - generell undersøkelse av prøver fra fisk og akvatiske dyr (ME02\_006) (Veterinærinstituttet Bergen)

**Undersøkt:** Det ble dyrket på blodagar, blodagar tilsatt 1,5 % salt og marineagar fra nyre og lesjoner i hud/finne fra fiskene 4, 6, 7, 8, 10, 11, 15, 17, 23 og 24.

### Resultat

Fisk	Nyre	Hud-/finnelesjoner
4	Svært sparsom, uspesifikk blandingsflora	Haleråte: Rikelig blandingsflora med <i>Tenacibaculum finnmarkense</i> genomovar <i>finnmarkense</i> og <i>Vibrio (Aliivibrio) logei</i>
6	Sparsom vekst av <i>Vibrio (Aliivibrio) logei</i>	Bukfinne: Rikelig blandingsflora med <i>Tenacibaculum finnmarkense</i> genomovar <i>finnmarkense</i> og <i>Moritella viscosa</i>
7	Ikke påvist vekst	Halefinne: Sparsom forekomst av <i>Tenacibaculum finnmarkense</i> genomovar <i>finnmarkense</i>
8	Ikke påvist vekst	Bukfinne: Rikelig, tilnærmet reinkultur av <i>Vibrio (Aliivibrio) wodanis</i>
10	Ikke påvist vekst	
11	Ikke påvist vekst	Sår: Sparsom forekomst av <i>Tenacibaculum finnmarkense</i> genomovar <i>finnmarkense</i>
15	Ikke påvist vekst	Sår: Sparsom forekomst av <i>Moritella viscosa</i>
17	Ikke påvist vekst	Sår: Rikelig forekomst av uspesifikk blandingsflora
23	Ikke påvist vekst	Kjeve: Rikelig forekomst av blandingsflora med <i>Tenacibaculum finnmarkense</i> genomovar <i>finnmarkense</i> Sår hale: Rikelig forekomst av blandingsflora med <i>Tenacibaculum finnmarkense</i> genomovar <i>finnmarkense</i> og <i>Vibrio (Aliivibrio) wodanis</i>
24	Ikke påvist vekst	Sår hale: Rikelig blandingsflora med <i>Tenacibaculum finnmarkense</i> genomovar <i>finnmarkense</i> og <i>Moritella viscosa</i>

Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.

## Bilder



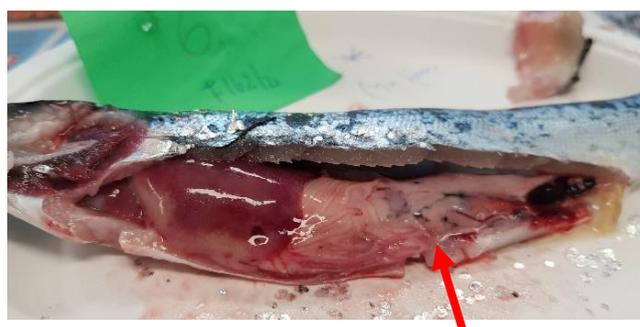
Figur 1: Sår i snute og hakeparti.



Figur 2: Sår i snute og hakeparti.



Figur 3: Haleråte med tap av halefinne og sår dannelse.



Figur 4: Melaninpigmentering i bukfett.

Hanne Katrine Nilsen  
veterinær/forsker  
e-post: hanne.nilsen@vetinst.no

Anne Berit Olsen  
veterinær/forsker

DETTE DOKUMENTET ER ELEKTRONISK GODKJENT

*Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.*



Forsvarets forskningsinstitutt  
v/Petter Helgevold Kvadsheim  
Postboks 25  
2027 Kjeller

Deres ref.:

Vår ref.: 2021-50-226/F171

Dato: 08.11.2021

## Prøvesvar til innsendelse mottatt 26.03.2021

**Uttaksdato:** 26.03.2021

**Mottatt materiale:** Fersk fisk og plasmaprøver, 25 stk., laks, vekt 112-250 g, merket 1-25

**Lokalitet:** 12108 Skorpo Nv, KVINNHERAD kommune

**Hensikt:** Oppdrag - sprengningsforsøk

**Merknad:** Materiale består av:

Vår referanse 2021-50-217/F162, 25 fisk og plasmaprøver, mottatt 22.03.2021.

Vår referanse 2021-50-226/F171 (denne), 25 fisk og plasmaprøver, mottatt 26.03.2021.

Vår referanse 2021-50-238/F183, 25 plasma- og fæcesprøver mottatt 26.03.2021, prøver tatt på anlegget 23.03.2021.

Vår referanse 2021-50-239/F184, 25 plasma- og fæcesprøver mottatt 29.03.2021, prøver tatt på anlegget 27.03.2021.

**Hensikt:** Oppdrag fra Forsvarets forskningsinstitutt v/Petter Helgevold Kvadsheim

**Kommentar til prøveuttak:** Utdrag frå ep-post kommunikasjon: «Det ble kasta, håva og frakta inn levande fisk i kar til kaia med hurtigbåt. Då vart nok fisken stressa, men sannsynligvis var stresspåkjenninga lik ved alle prøveuttaka. Det vart tilført friskt sjøvatn i kara på kaia. Deretter vart fisken avliva med Benzoak (8 stk av gangen) og prøvetatt. På første prøveuttak var utvalget av fisk prega av innslag av tynne tapere med sår som sannsynligvis sleit med osmoregulering. Det var følgelig varierende innslag av fôr i tarm hos desse fiskane. Det vart forsøkt unngått å prøveta desse, men for å oppnå antalet vart ein del med. Sjølve fanginga og transporten av fisk tok ca 1 time. Sjølve prøveuttaket tok ca 2 timer»

---

### Undersøkelse av 25 hele fisker

Alle fiskene ble obdusert og full histopatologisk undersøkelse og dyrkning for sykdomsframkallende bakterier ble utført på 10 fisk.

#### Diagnoser

Påvist blødning øye

Påvist blødning hud og finnebasis

Påvist blødning svømmeblære

Påvist blødning lever

Påvist sirkulasjonsforstyrrelse

Påvist sparsom gjelleirritasjon (lamellær hyperplasi og hypertrofi)

Påvist kronisk granulomatøs bukhinne-, lever- og miltbetennelse

Påvist ingen eller svært sparsom uspesifikk bakterievekst (nyre)

Påvist begynnende kjønnsmodning

Påvist finneslitasje og sparsom sår dannelse

*Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.*

## Oppsummering av funn

Hovedfunn var blødninger i hud og øye og noe i indre organer, spesielt svømmeblære, samt stort, blodfylt forkammer i hjertet. Det ble påvist sårskade hos få individer. Det ble ellers ikke gjort histopatologiske funn forenlig med spesifikk sykdom.

Det ble påvist blødninger i øyet hos til sammen 12 fisk, makroskopisk synlig hos 9 fisk og påvist hos ytterligere 3 fisk ved histopatologi. Det var blødninger i huden under buken og/eller ved finnebasis hos 11 fisk. Hjertets forkammer var til dels svært blodfylt hos 20 av de 25 fiskene. Det var tegn til blødning og/eller ruptur i lever hos 8 fisk. Utspilt svømmeblære, noen med blodfylte kar, ble funnet hos 12 fisk og hos en fisk var det enkelte større synlige blødninger i svømmeblæreveggen. Seks av 10 fisk hadde blødninger i svømmeblære ved histopatologi. Blodfylte kar i hjernen ble funnet hos 8 fisk. Hyperemisk gatt ble funnet hos 7 fisk.

## Kommentarer

Skjoldet lever er et ikke uvanlig funn hos død fisk. Peritonitt, hos noen fisk også granulomer i lever eller milt, makroskopisk synlige adheranser og svarte pigmentflekker, er forenlig med vaksineindusert betennelse. Gjelleepitelceller med fragmenterte cellekjerner kan sees ved «poxvirus»-infeksjon. Sparsom lamellær hyperplasi og hypertrofi i gjeller er vanlig hos fisk i oppdrett.

Fra 10 fisk med utvidete undersøkelser ble det tatt ut avføringsprøver, nyre, hjerte og hjerne på RNALater og nyre og hjerte på virustransportmedium.

Avføringsprøver og plasmaprøver er videresendt etter avtale til NTNU Ålesund, v/Yanran Cao, NTNU sammen med prøver fra innsendelsene 2021-50-217/F162, 2021-50-238/F183, 2021-50-239/F184. Prøver på RNALater og virustransportmedium er lagret ved Veterinærinstituttet.

*Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.*

## Analyseresultater

### Obduksjon/organundersøkelse (ME01\_001) (Veterinærinstituttet Bergen)

Fiskene ble inspisert utvendig, gjellelokket klippet av, buken åpnet og venstre bukside fjernet. Gjeller, gjellelokk, pseudobrank, hjerne (på fisk det ble gjort utvidet prøveuttak av) og indre organer ble inspisert. Indre organer ble skjøvet ventralt for å avdekke svømmeblære og nyre. Det ble lagt et snitt i skjelettmuskulatur langs ryggraden. Organer uten funn er ikke kommentert.

Fisk	Vekt	Oppsummering av funn
1	182 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Ytre deler av høyre bukfinne blodig. Noe blodig gattfinne (basis). Noe blodig gatt. Lite, svakt hyperemisk overflatisk sår på bakkropp høyre side. <b>Indre:</b> Blod i hjertesekk. Lever blodig under bakre, dorsale kant. Tre blodige «slintrer» på fettvev rundt bakre deler av tarmen. Utspilt svømmeblære, inneholder ikke væske. Blodfylte større kar på svømmeblæreveggen. Moderate sammenvoksninger mellom organ og mellom organ og bukvegg og melaninflekker i bukhinne og i fettvev. Noe fôr i magesekk og normalt innhold i tarm. Begynnende kjønnsmodning (rognsekker).
2	158 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Blødning i høyre øye, i nedre kant, i overgang mellom sclera og fettvev. Høyre bukfinne blodig. Mildt hyperemisk gatt. <b>Indre:</b> Hjerne virket svakt rosa. Hjertets forkammer var blodfylt. Litt lys og noe morken lever. Større blodig område i bakre kant av lever. Noe fylt galleblære. Utspilt svømmeblære, inneholder ikke væske. Blødning i svømmeblæreveggen. Svakt hyperemisk perivisceralt fettvev. Mild hyperemi i tarmvegg. Milde sammenvoksninger mellom organ og mellom organ og bukvegg og melaninflekker i bukhinne og i fettvev. En del fôr i mage og normalt innhold i tarm. Begynnende kjønnsmodning (rognsekker).
3	240 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Blodig under venstre gjellelokk. <b>Indre:</b> Hjerne virket svakt rosa. Skjoldete, noe morken lever. Svak hyperemi i perivisceralt fettvev. Utspilt svømmeblære, ikke væske. Ikke observert blødning i svømmeblæreveggen, men blodfylte kar. Moderate sammenvoksninger mellom organ og mellom organ og bukvegg og melaninflekker i bukhinne og i fettvev. Mye fôr i magesekken. Normalt innhold i tarm, enkelte pylorusblindtarmen godt fylt. Begynnende kjønnsmodning (rognsekker).
4	194 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Noen småblødninger i huden under buken. Splittet ryggfinne. Noe hyperemisk gatt. <b>Indre:</b> Langsgående blodige rifter i bakkant av lever. Lever noe blodig langs bakre kant. Svakt hyperemisk perivisceralt fettvev. Utspilt svømmeblære, ikke væske, blodfylte kar ventralt. Moderate sammenvoksninger mellom organ og mellom organ og bukvegg og melaninflekker i bukhinne og i fettvev. Tom magesekk. Tynt, væskefylt, grønlige innhold i midttarm, mer normalt innhold i bakre deler av tarmen.
5	202 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Liten lesjon (sår) på underkjeven. Få punktblødninger i huden under buken. Katarakt venstre øye. Sammenvekst og delt ryggfinne. Sammenvekste korte brystfinner, litt slitte. Blødninger i gjelle. <b>Indre:</b> Hjertets forkammer var blodfylt og forstørret. Skjoldet lever med ruptur. Litt fôr og litt slim i mage. Adheranser og melanin i buk. Begynnende kjønnsmodning.
6	186 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Lesjon på underkjeven. Katarakt v. øye. Sammenvekst og delt ryggfinne og halefinne. <b>Indre:</b> Hjertets forkammer var blodfylt. Skjoldet lever. «Boble» i svømmeblære. Hyperemisk hjerne. Adheranser og melaninflekker i buken.
7	112 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Punktblødninger i huden på buken. Flisete rygg- og halefinne. Brystfinne liten og sammenvekst.

Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.

		<b>Indre:</b> Hjertets forkammer var blodfylt og forstørret. Liten milt helt bak. Fæces i tarmen. Melaninflekker og adheranser i bukhinnen.
8	158 g	<b>Ytre:</b> Noe skjelltap. Bryst- og ryggfinne var sammenvokst, blødninger i gattfinne, flisete halefinne. <b>Indre:</b> Skjoldet lever og blødninger i peritoneum ved baktram. Luftfylt svømmeblære. Adheranser og melaninpigment i buk. Fôr i magesekk, fæces i baktarm. Begynnende kjønnsmodning.
9	186 g	<b>Ytre:</b> Blødninger i venstre øye, katarakt v. øye. Strekformete blødninger på begge brystfinner. <b>Indre:</b> Skjoldet lever, tegn til mulige blødninger i kanten. Sammenvoksinger, adheranser med melaninflekker i buken, blødninger i bukhinne og baktarm. Tom mage, fæces i tarmen.
10	158 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Erosjoner på underkjeven. V. øye: blødning og katarakt. H. øye: katarakt. Flisete ryggfinne. <b>Indre:</b> Mulig blødninger i lever og i fettvevet i buken. Luft i svømmeblære. Sammenvoksinger i buken, adheranser og pigment.
11	222 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Punktblødninger i huden under buken. Liten blødning i nedre kant av h. øye. Litt sentral katarakt. Slitt, kort ryggfinne, litt blødning i gattfinne, slitt halefinne <b>Indre:</b> Hyperemi i hjernen. Hjertets forkammer var blodfylt og forstørret. Litt langt hjerte, skarpt i kanten. Skjoldet lever. En stor dråpe væske i svømmeblære. Adheranser i buken og melanin. Fæces i tarm. Begynnende kjønnsmodning. Stikkskade etter blodprøvetaking.
12	178g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Korte, flisete rygg- og brystfinner. Flisete hale- og gattfinner. <b>Indre:</b> Hjertets forkammer var blodfylt og forstørret. Skjoldet lever. Enkelte blødninger i fettvevet. Adheranser, melaninflekker i buk, svullent gatt, blødninger i tilknytning til vaksineadheranser. Tom mage.
13	178 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Rød rundt kjeven. Flisete halefinne og flisete ryggfinne. Litt slimete gjeller. Blødning i gjeller. <b>Indre:</b> Hjertets forkammer var blodfylt og forstørret. Skjoldet lever med rift. En stor dråpe i svømmeblære. Adheranser og melaninflekker i buk. Begynnende kjønnsmodning.
14	180 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Erytem under haken. Blødning i nedre kant av venstre øye. Sammenvokst, kort ryggfinne. Flisete brystfinne, spesielt v.s. Fliset halefinne. <b>Indre:</b> Skjoldet lever. Litt blødning i fettvevet. Luftfylt svømmeblære. Ikke væske. Adheranser og melaninflekker i bukhalen. Fôr i magesekken. Fæces i tarmen.
15	194 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Blødning i nedre kant av høyre øye. Slitt halefinne. Blødninger i gattfinne. Svullent anus. <b>Indre:</b> Hjertets forkammer var blodfylt og forstørret. Skjoldet lever, ujevn blodfylde. Gass i svømmeblære. Adheranser, melaninflekker. Bare væske i magesekken. Begynnende kjønnsmodning.
16	170 g	<b>Ytre:</b> Under normalt hold. Skjelltap. Flisete ryggfinne. Blodig gattfinne. Blødninger i nedre kant av begge øyne i overgang til orbitalt fettvev. Blodig (hyperemisk) under høyre gjellelokk, litt blodig under venstre. Mildt svullent og hyperemisk gatt. <b>Indre:</b> Hjertets atrium var blodfylt. Rift i bakre, dorsale kant av lever. Litt utspilt svømmeblære, ikke væske og ikke påvist blødninger, men blodfylte kar i svømmeblæreveggen. Moderate sammenvoksninger mellom organ og mellom organ og bukvegg og melaninflekker i bukhinne og i fettvev. Litt fôr og litt væske i magesekken. Normalt tarminnhold. Noen pylorusblindtarmer godt fylte.
17	136 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Forkortet gjellelokk, begge sider. Forholdsvis lyse gjeller. Moderat blodig og svullent gatt. <b>Indre:</b> Hjertets forkammer var blodfylt. Ventrale kant av lever var blodig (hyperemisk). Noe mørk og svullen milt. Litt utspilt svømmeblære, ikke væske. Fokal større blødning på pylorusblindsekker/fettvev. Blodfylte kar i tarmveggen. Moderate sammenvoksninger mellom organ og mellom organ og

Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.

		bukvegg og melaninflekker i bukhinne og i fettvev. Noe fôr i magesekken. Gullig, fnokket til lysebrunt og pastøst innhold i mage og fremre del av tarmen, normalt bakover. Enkelte pylorusblindtarmar godt fylt.
18	206 g	<b>Ytre:</b> Godt hold. Skjelltap. Småblødninger i huden på buken foran bukfinner. Svullent, litt blodig gatt. Noe flisete halefinne. <b>Indre:</b> Mye blod i hjertets forkammer. Litt skjoldet lever. Litt mørk milt. Utspilt svømmeblære, ikke væske. Væske i magesekk. Gult, fnokket til brunt, slimet innhold i pylorus og midttarm. Velfylte pylorusblindsekker. Normal fæces i baktarm.
19	226 g	<b>Ytre:</b> Godt hold. Skjelltap. Sår på underkjeve. Småblødninger på buken foran bukfinner. Flisete gatt- og halefinne. Svullent, hyperemisk gatt. <b>Indre:</b> Hjertets atrium var blodfylt. Litt utspilt svømmeblære med fokalt tydelige blodkar i veggen. Sparsomme sammenvoksninger mellom organ og mellom organ og bukvegg og melaninflekker i bukhinne og fettvev. Fôr i magesekken. Godt fylte pylorusblindsekker, pastøst, slimet innhold i pylorus/midttarm. Litt normal avføring bakerst. Begynnende kjønnsmodning (rogksekker).
20	232 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Småblødninger mellom bryst- og bukfinne. Fliset, blodig gattfinne. Litt hyperemisk under gjellelokk. Gjeller som de andre. Svullent, hyperemisk gatt. <b>Indre:</b> Hjertets atrium noe blodfylt. Skjoldet lever, hyperemisk overside mot bakre kant. Adheranser, melaninflekker i fettvev, få på bukvegg. Tom magesekk. Innholdet i pylorus og midttarm var slimet og grønnbrunt, til dels med gule fnokker. Mer normal avføring i bakre tarmavsnitt.
21	188 g	<b>Ytre:</b> Svakt hyperemisk i huden på buken fra brystfinner til gatt. Hyperemisk gatt. <b>Indre:</b> Hjertets atrium var moderat blodfylt. Litt skjoldet lever. Noe utspilt svømmeblære. Moderate adheranser og melaninflekker i fettvev. Litt fôr i magesekk. Grønnbrunt, slimete innhold i tarm. Noen pylorusblindsekker velfylte.
22	250 g	<b>Ytre:</b> Enkelte småblødninger i huden under buken. Kort og flisete ryggfinne. <b>Indre:</b> Mildt hyperemisk hjerne. Hjertets forkammer var blodfylt. Skjoldet lever. Litt luftfylt svømmeblære. Liten væskedråpe i svømmeblære. Noe hyperemi i perivisceralt fettvev. Moderate sammenvoksinger mellom organ og mellom organ og bukvegg og melaninflekker i bukhinne og i fettvev. Tom magesekk. Normalt innhold i tarm. Begynnende kjønnsmodning.
23	200 g	<b>Ytre:</b> Uttalt skjelltap. Punktblødninger på buken bakover til gattfinne. Slitt halefinne, forkortet ryggfinne, blødninger i gattfinne. Punktblødninger i hud ventralt mellom gjellelokkene. <b>Indre:</b> Skjoldet lever, lang milt, gassfylt svømmeblære, adheranser og melaninflekker. Fæces i tarm.
24	170 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap. Blødning ventralt i begge øyne. Svullent, hyperemisk gatt. Småblødninger i huden bak gattfinne og bakre del av gattfinne. <b>Indre:</b> Mildt hyperemisk hjerne. Hjertets forkammer var moderat blodfylt. Noe skinnende, mørk milt. Stripeformet (ca. 1,5 cm) blødning i muskel. Utspilt svømmeblære, ikke væske. Moderate sammenvoksinger mellom organ og mellom organ og bukvegg. Bare sparsomt med melaninflekker i fettvev. Noe fôr i magesekken. Slimete, grønnlig innhold i pylorus og midttarm, gult, pastøst innhold i blindtarmar, mer normalt i bakre del av tarm.
25	200 g	<b>Ytre:</b> Skjelltap, punktblødninger i hud under buken. Liten blødning i venstre øye, tegn til blødning i høyre øye, ventralt. Forkortet ryggfinne, litt flisete hale- og brystfinne. Blødninger ved gattfinne. Utstående gatt. <b>Indre:</b> Hjertets forkammer var blodfylt og forstørret. Litt skjoldet lever. Adheranser og melanin i buk. Fôr i magesekken. Begynnende kjønnsmodning.

Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.

## Histopatologi (ME01\_002) (Veterinærinstituttet Bergen)

---

### Undersøkt

Diverse organer fra fiskene 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 17, 22 og 24, i tillegg ett organ fra hhv. 4, 16 og 17. Organer undersøkt: Gjelle, pseudobrank, øye, hjerne, hjerte, lever, pankreas, pylorusblindsekker, peritoneum, nyre, milt, svømmeblære, skjelettmuskulatur og hud. Organer med ingen eller bare sparsomme funn er ikke kommentert.

### Resultat

#### Fisk 1

**Pseudobrank:** Blodstuvning, sannsynlig blødning ved basis

**Øye 1 (v):** Mild blodstuvning i iris, blødning langs øyenerve, i overgang sclera/nerve, noe stuvning i blodkar i choroidea

**Øye 2:** Mild stuvning i iris, blødning langs øyenerve og perichoroidalt bak i øyet, noe stuvning i blodkar i choroidea

**Lever:** Stedvis multiple granulomer, delvis med sentral større vakuole, forenlig med vaksineindusert kronisk betennelse

**Svømmeblære:** Blødning i svømmeblæreveggen (submukosa)

**Bukhinne/miltkapsel:** Forholdsvis uttalt peritonitt (forenlig med vaksineindusert betennelse)

**Nyre:** Ikke undersøkt

**Milt:** Multiple granulomer, som lever

**Pylorusblindsekker:** Funn forenlig med autolyse

#### Fisk 2

**Gjelle:** Noe blodstuvning i kar i filamenter

**Pseudobrank:** Blodstuvning

**Hjerne:** Blodstuvning

**Øye 1:** Blødning perichoroidalt bak i øyet, stuvning i blodkar i choroidea

**Øye 2:** Erythrocytter (blødning) mellom kornea og iris, blødning perichoroidalt bak i øyet, stuvning i blodkar i choroidea

**Lever:** Parti med dilaterte, blodfylte sinusoider

**Svømmeblære:** Blødning i submukosa

**Bukhinne/miltkapsel:** Moderat betennelse i miltkapsel og i serosa langs svømmeblærevegg (forenlig med vaksineindusert betennelse)

**Milt:** Multiple granulomer

**Pylorusblindsekker:** Funn forenlig med autolyse

#### Fisk 3

**Gjelle:** Uttalt blodstuvning i kar i filamenter

**Pseudobrank:** Blodstuvning, blødning ved basis

**Hjerne:** Blodstuvning

**Øye 1:** Blodstuvning i iris og i større blodkar i hjørne iris/kornea, stuvning/blødning perichoroidalt bak i øyet, stuvning i blodkar i choroidea

**Øye 2:** Ligner øye 1

**Svømmeblære:** Blødning i submukosa

**Bukhinne/miltkapsel:** Forholdsvis uttalt peritonitt (forenlig med vaksineindusert betennelse)

**Pylorusblindsekker:** Funn forenlig med autolyse

#### Fisk 4

**Lever:** En blødning, noen felt med dilaterte, blodfylte sinusoider.

*Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.*

**Fisk 8**

**Gjelle:** Autolyse noe lifting, noe kloridcellehyperplasi

**Tarm og bukhinne:** Tarmmukosa noe preget av postmortelle forandringer, granulomatøs peritonitt i bukhinnen som omslutter bukorganene

**Svømmeblære:** Blodansamling i bindevev (submukosa)

**Mage:** Påvist gonader

**Fisk 9**

**Gjelle:** Lamellær hyperplasi

**Pseudobrank:** Blødninger basalt

**Hjerne:** Stuvning i små kar i hjernen

**Bukhinne:** Granulomatøs peritonitt i bukhinnen som omslutter bukorganene

**Nyre:** Noe stuvning i nyreinterstitiet

**Svømmeblære:** Blødninger i submukosa

**Mage:** Påvist gonader

**Fisk 10**

**Gjelle:** Noe kloridcellehyperplasi, påvist celler med fragmentert cellekjerne

**Øye og hjerne:** Stuvning i små kar i hjernen. Fokal blødning i øyevinkel i bakkant av cornea.

**Lever:** Noen områder med væske, oppløste celler/ vev med få blodceller.

**Bukhinne:** Noe granulomatøs peritonitt i bukhinnen som omslutter bukorganene

**Nyre og milt:** Noe eosinofilt (proteinholdig) materiale i tubulilumen. Blod i kanten av milten, vevet kan virke noe revet.

**Svømmeblære:** Blødninger i submukosa

**Kjeve:** Betennelsescelleinfiltrasjoner i underhud og bindevev

**Fisk 11**

**Gjelle:** Noe løsning av epitel, «lifting», løse celler, få lameller med blødning sentralt, runde små prikker /korn mellom kar og epitel.

**Hjerne:** Stuvning i små kar i hjernen

**Bukhinne:** Granulomatøs peritonitt i bukhinnen som omslutter bukorganene

**Nyre:** En del blod i interstitiet, stuvning en del blod i interstitiet

**Fisk 16**

**Øye 1:** Blodstuvning i iris, blødning i sclera, blodfylte kar i choroidea

**Fisk 17**

**Gjelle:** Noe blodstuvning i kar i filamenter

**Pseudobrank:** Blodstuvning

**Hjerne:** Blodstuvning

**Øye 1:** Blødning perichoroidalt bak i øyet

**Øye 2:** Uttalt blodstuvning i iris, noe stuvning i choroidea

**Lever:** Generell blodstuvning, stedvis i kanten: forholdsvis uttalt dilaterte, blodfylte sinusoider, blødning

**Svømmeblære:** Blødning i submukosa

**Bukhinne/miltkapsel:** Forholdsvis uttalt peritonitt (forenlig med vaksineindusert betennelse)

**Fettvev:** Blødning

**Fisk 20**

**Lever:** Stuvning og dilaterte blodfylte sinusoider, noe blødning, lokalisert til kanten

*Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.*

**Fisk 22**

**Gjelle:** Blodstuvning i gjellebue

**Pseudobrank:** Blodstuvning

**Hjerne:** Blodstuvning

**Øye 1:** Stuvning i choroidea

**Øye 2:** Uttalt blodstuvning i iris, stuvning i choroidea

**Hjerte:** Sparsom epikarditt, blødning i epikard omkring bulbus arteriosus (b.a.) og i overgangen mellom b.a. og hjertekammer

**Lever:** Generell blodstuvning, i kanten: dilaterte, blodfylte sinusoider

**Svømmeblære:** Blodstuvning (og mulig blødning) i submukosa

**Bukhinne/miltkapsel:** Forholdsvis uttalt peritonitt (forenlig med vaksineindusert betennelse)

**Milt:** Ikke undersøkt

**Pylorusblindsekker:** Funn forenlig med autolyse

**Pankreas (eksokrin):** Ingen spesifikke funn / noe blodstuvning i kar

**Fisk 24**

**Gjelle:** Noe blodstuvning i kar ved basis av noen filamenter

**Pseudobrank:** Mild blodstuvning

**Hjerne:** Blodstuvning

**Øye 1:** Uttalt stuvning i iris og erythrocytter mellom iris og kornea, stuvning og blødning perichoroidalt bak i øyet

**Øye 2:** Ligner øye 1

**Hjerte:** Moderat epikarditt

**Lever:** Noe blodstuvning

**Svømmeblære:** Ikke undersøkt

**Pylorusblindsekker:** Funn forenlig med autolyse

**Bakterier og sopp - generell undersøkelse av prøver fra fisk og akvatiske dyr (ME02\_006)  
(Veterinærinstituttet Bergen)**

---

**Undersøkt**

Det ble dyrket fra nyre hos fiskene 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 17, 22, 24 på blodagar tilsatt 1,5 % NaCl, marine- og blodagar.

**Resultat**

Det ble påvist svært sparsom uspesifikk blandingsflora fra prøve 9. Det var ellers ingen vekst på skålene.

*Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.*

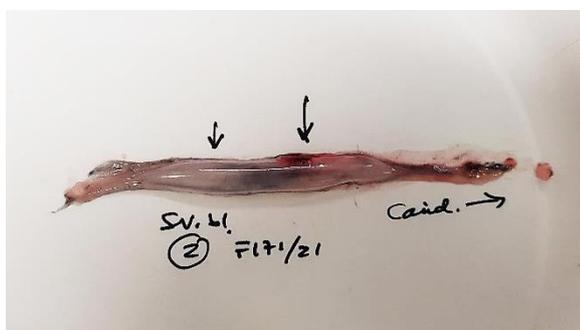
## Bilder



Figur 1: Blødning i nedre kant (i iris) av øyet.



Figur 2: Blodfylt forkammer i hjertet.



Figur 3: Blødning i svømmeblærevegg.



Figur 4: Blødninger i gjeller.

Hanne Katrine Nilsen  
veterinær/forsker  
e-post: hanne.nilsen@vetinst.no

Anne Berit Olsen  
veterinær/forsker

DETTE DOKUMENTET ER ELEKTRONISK GODKJENT

*Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning.*

## Om FFI

Forsvarets forskningsinstitutt ble etablert 11. april 1946. Instituttet er organisert som et forvaltningsorgan, med særskilte fullmakter underlagt Forsvarsdepartementet.

## FFIs formål

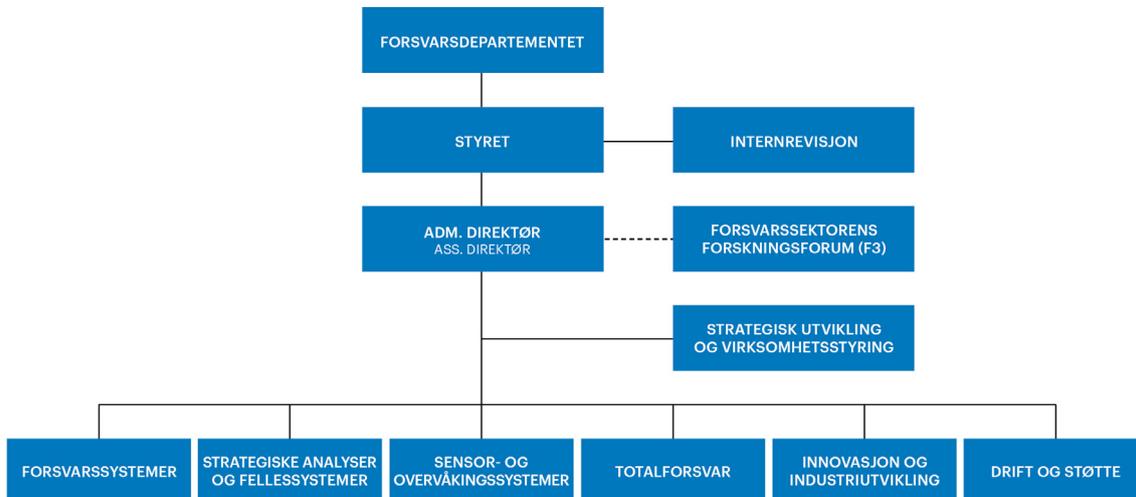
Forsvarets forskningsinstitutt er Forsvarets sentrale forskningsinstitusjon og har som formål å drive forskning og utvikling for Forsvarets behov. Videre er FFI rådgiver overfor Forsvarets strategiske ledelse. Spesielt skal instituttet følge opp trekk ved vitenskapelig og militærteknisk utvikling som kan påvirke forutsetningene for sikkerhetspolitikken eller forsvarsplanleggingen.

## FFIs visjon

FFI gjør kunnskap og ideer til et effektivt forsvar.

## FFIs verdier

Skapende, drivende, vidsynt og ansvarlig.



Forsvarets forskningsinstitutt  
Postboks 25  
2027 Kjeller

Besøksadresse:  
Instituttveien 20  
2007 Kjeller

Telefon: 63 80 70 00  
Telefaks: 63 80 71 15  
Epost: [post@ffi.no](mailto:post@ffi.no)

Norwegian Defence Research Establishment (FFI)  
P.O. Box 25  
NO-2027 Kjeller

Office address:  
Instituttveien 20  
N-2007 Kjeller

Telephone: +47 63 80 70 00  
Telefax: +47 63 80 71 15  
Email: [post@ffi.no](mailto:post@ffi.no)