



FFI Forsvarets
forskningsinstitutt



Veterinærinstituttet
Norwegian Veterinary Institute



UiT Norges
arktiske universitet



FORSVARSBYGG

25/023

FFI-RAPPORT

Risiko for negative miljøeffekter og skade på oppdrettsfisk ved etablering av undervanns- skytefelt på Korsnes fort

– oppfølgingsstudie

Petter H Kvadsheim

Jon Kjøll

Roald Otnes

Ole Bendik Dale¹

Lisa Øvredal¹

Endre Grimsbø²

Morten Smedsrud³

¹ Veterinærinstituttet

² UiT Norges arktiske universitet

³ Forsvarsbygg

Risiko for negative miljøeffekter og skade på oppdrettsfisk ved etablering av undervanns- skytefelt på Korsnes fort – oppfølgingsstudie

Petter H Kvadsheim

Jon Kjøll

Roald Otnes

Ole Bendik Dale¹

Lisa Øvredal¹

Endre Grimsbø²

Morten Smedsrud³

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

¹ Veterinærinstituttet

² UiT Norges arktiske universitet

³ Forsvarsbygg

25.april 2025

Emneord

Atferd
Detonasjon
Fiskeoppdrett
Miljøpåvirkning
Sjokkbølger
Lydforplantning

FFI-rapport

25/023

Prosjektnummer

1690

Online ISSN

2704-2383

Engelsk tittel

Risk of environmental impact and impact on nearby fish farms associated with establishment of underwater naval training area at Korsnes fortress – follow up studies

Godkjennere

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

Dokumentet er elektronisk godkjent og har derfor ikke håndskreven signatur.

Opphavsrett

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

Sammendrag

Forsvaret ønsker å etablere et permanent øvingsområde i Korsfjorden. Øvingsaktiviteten vil innebære detonasjoner av små øvingsladninger (0,1–2,0 kg TNT) flere ganger om dagen. Det er 4 konsesjoner på fiskeoppdrett som ligger 3,7–6,0 km fra øvingsfeltet. I mars 2021 ble det gjennomført en studie for å undersøke fiskens reaksjon og helse når realistiske ladninger ble detonert i øvingsområdet. Studien konkluderte med at den planlagte øvingsaktiviteten ikke ville påføre fisken i oppdrettsmerdene stress og skade på populasjonsnivå som endrer vekst, dødelighet og fiskehelse. Det ble likevel gjort funn av sirkulasjonsforstyrrelser og blødninger i fisken som ble undersøkt etter eksponeringen. Siden eksponeringsnivåene var langt lavere enn rapporterte terskler for skade på fisk i litteraturen, ble disse funnene ikke forklart med barotraumer fra sprengingene. Målet med denne oppfølgingsstudien er å undersøke om patologiske funn i 2021 var reelle effekter av sprengingene i øvingsområdet. Vi ønsker også å validere modellberegningene fra 2021 som tilsier at lydtrykket fra sprenginger i øvingsområdet vil være 10–15 dB høyere på høsten sammenlignet med det som ble testet i mars 2021, og vurdere hvilke maksimale enkeltladninger som kan detoneres i øvingsområdet uten risiko for negative miljøeffekter eller effekter på nærliggende oppdrettsanlegg.

I november 2024 ble det gjennomført et eksperiment med fem detonasjoner av 2 kg TNT i øvingsområdet på Korsnes med 1 times intervall. Skorpo vest er det nærmeste oppdrettsanlegget, og de fem merdene inneholdt på eksponeringstidspunktet regnbueørret med en størrelse på 200–700 gram. Fiskens atferd ble observert med kamera i merdene og fôrforbruk og dødelighet per merd ble registrert daglig i uken før til uken etter eksponeringen. Fisk ble tatt ut fra den nærmeste merden i dagene før og etter eksponering for patologiske undersøkelser med vekt på barotraumer. Detonasjonene ble foretatt i samme posisjon og dyp som i 2021. Nivåene ble målt med hydrofoner på anlegget til maksimalt 177 dB re 1 μ Pa bredbånds spisstrykk (over 10 Hz) og 171 dB spisstrykk i fiskens høreområde (20–500 Hz). Bredbånds lydeksponeringsnivå (SEL) var 148–156 dB re 1 μ Pa²·s og 144–150 dB i fiskens høreområde. Nivåene i 2021 og 2024 er sammenlignbare.

Det ble ikke observert noen stressreaksjon eller vedvarende atferdsendringer hos fisken under eksponeringen til lydimpulsene fra detonasjonene i noen av merdene. Fôrforbruk og dødelighet endret seg ikke signifikant. De patologiske undersøkelsene viste ingen funn hverken i kontrollgruppene eller i eksponerte grupper, og funnene fra 2021 må anses som artefakter som sannsynligvis oppsto under prøvetakingen. Med bakgrunn i studien fra 2021 og denne oppfølgingsstudien anbefaler vi å holde spisstrykkverdiene på Skorpo under 170 dB (re 1 μ Pa) i båndet 10–500 Hz, og lydeksponeringsnivå i det samme båndet under 150 dB (re 1 μ Pa²·s). Dette innebærer at normal planlagt øvingsaktivitet på Korsnes kan gjennomføres, men vi anbefaler å bruke boblegardinet som sperrer av øvingsområdet og demper sjokkbølgen, spesielt på høsten (august–oktober) når propagasjonstapet kan være lavere på grunn av oseanografiske forhold. Enkeltladninger på inntil 200 kg kan detoneres i øvingsområdet uten vesentlige negative miljøeffekter, men dersom det er fisk i merdene i Korsfjorden, anbefaler vi å bruke boblegardin for å dempe sjokkbølgen.

Summary

The Norwegian Armed Forces plan to establish a permanent exercise area in Korsfjorden. The planned activity implies detonations of small explosive charges (0.1–2.0 kg TNT) several times per day. There are four salmon fish farms within 3.7–6.0 km from the exercise area.

In March 2021, a study was conducted to investigate the behavioural response and health of fish in the pens when realistic charges were detonated. The study concluded that the planned exercise activity would not lead to stress or injury that affects growth, mortality and health of the fish at the population level. However, circulatory disruptions and hemorrhages were observed after exposure to the detonations. Since the exposure levels were much lower than thresholds of injury reported in the literature, these findings were not explained by barotrauma from the detonations. The objectives of the current follow-up study are to investigate whether the pathological findings in 2021 were likely caused by the detonations in the exercise area. We also want to validate the propagation model from 2021, which implies that the pressure levels from the detonations will be 10–15 dB higher in the fall compared to the levels measured and tested in March 2021. Finally, we will assess the maximum single charge which can be detonated in the exercise area with acceptable risk to the environment and nearby fish farms.

In November 2024, an experiment with five detonations of 2 kg TNT with 1 hr interval in the Korsnes exercise area was conducted. Skorpo west is the closest fish farm, and the five pens contained rainbow trout between 200–700 grams. The behaviour of the fish was monitored by underwater camera, and food consumption and mortality were recorded daily from one week before to one week after the detonations. Fish samples were taken daily from the closest pen before and after the detonations, for pathological examinations focused on barotrauma. The detonations were done in the same position and depth as in the 2021 experiment. The maximum pressure levels were measured by hydrophones on the fish farm to 177 dB re 1 μ Pa broadband peak pressure (> 10 Hz) and 171 dB peak pressure in the hearing band of the fish (20–500 Hz). Broadband sound exposure levels (SEL) were 148–156 dB re 1 μ Pa²·s and 144–150 dB in the hearing band of the fish. The pressure levels in 2021 and 2024 are comparable.

No behavioural stress reaction was observed during exposure to the impulse sounds from the detonations in any of the fish pens. Food consumption and mortality did not change significantly. There were no pathological findings in neither the control groups nor the exposed groups. Thus, we consider the pathological findings from 2021 a sampling artefact. Based on the study from 2021 and this follow up study, we recommend keeping the peak pressure levels at Skorpo below 170 dB (re μ Pa) in the 20–500 Hz band. The sound exposure level in the same band should be kept below 150 dB (re 1 μ Pa²·s). This implies that normal planned exercise activity in the Korsnes training range can be conducted, but we recommend using the installed bubble curtain, particularly in the fall (August–October) when the propagation loss could be lower due to oceanographic conditions. Single charges up to 200 kg TNT can be detonated in the exercise area without significant impact on the marine environment, but if there are fish in the pens at Skorpo, we highly recommend using the bubble curtain to attenuate the pressure waves.

Innhold

Sammendrag	3
Summary	4
Forord	7
1 Innledning	9
1.1 Målsetning med oppfølgingsstudien	10
2 Metode	11
2.1 Eksperimentelt design	11
2.2 Fiskeatferd	13
2.3 Akustiske målinger	13
2.3.1 Måleoppsett FFI	14
2.3.2 Måleoppsett UiT	15
2.3.3 Kalibrator	15
2.4 Fôropptak og dødelighet	15
2.5 Patologiske undersøkelser	16
2.6 Lydhastighetsprofiler	17
2.7 Maksimal enkeltladning	17
3 Resultat	19
3.1 Oversikt	19
3.2 Fiskeatferd	19
3.3 Akustiske målinger	20
3.3.1 Akustiske data målt av FFI	22
3.3.2 Akustiske data målt av UiT	23
3.4 Fôropptak og dødelighet	24
3.5 Patologiske undersøkelser	26
3.6 Lydhastighetsprofiler	27
3.7 Maksimal enkeltladning	28
4 Diskusjon	31
4.1 Effekten av normal øvingsaktivitet på oppdrettsfisk	31
4.2 Maksimal enkeltladning	34
4.3 Konklusjon og anbefalinger	34

Referanser	36
Vedlegg	38
A Måleplan	38
B Oversikt patologiske undersøkelser	43

Forord

Forsvarsbygg ønsker å avklare og fastsette rammevilkår for etablering og bruk av nytt skyte- og øvingsfelt på Korsnes 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. Denne studien er finansiert av Forsvarsbygg som et viktig innspill i denne prosessen.

Rena, 10. mars 2025

Are Vestli

Senioringeniør Forsvarsbygg, arealplan

Takk til Lerøy sjøtroll AS for tilgang til merdene på Skorpo og for god støtte under planlegging og gjennomføring av eksperimentene. Takk til Sjøforsvaret for støtte med båttransport og eksplosiveksptise. Eksperimentet ble gjennomført med tillatelse fra Mattilsynet (23/78986). Prosjektet er finansiert av Forsvarsbygg.

Horten, 25. april 2025

Petter Kvadsheim

Sjefsforsker FFI, Sensor og Overvåkingssystemer

1 Innledning

Forsvaret ønsker å etablere et permanent øvingsområde på Korsnes fort i Korsfjorden. Øvingsaktiviteten vil innebære detonasjoner av små øvingsladninger på 0.1-2 kg TNT inntil 5 ganger daglig, men maksimalt 70 detonasjoner pr år. I tillegg er det ønskelig å kunne bruke øvingsområdet til å demolere krigsetterlatenskaper som eventuelt kan flyttes inn i øvingsområdet. Dette vil kunne innebære detonasjon av enkeltobjekter med vesentlig større ladning.

Det er fire konsesjoner på havbruk i området rundt det aktuelle øvingsfeltet, med et samlet konsesjonsvolum på 3000 tonn laks. Disse lokasjonene er alle eid av Lerøy Sjøtroll AS og er i regelmessig bruk. Avstanden fra øvingsfeltet til laksemerdene er 3.7-6.0 km, Skorpo vest ligger nærmest. Risikoen for direkte skade på fisken under planlagt øvingsaktivitet er liten, men kraftige lydpulser fra detonasjoner kan utløse fluktreaksjoner som kan føre til indirekte effekter som klemskader, stress og redusert appetitt (Kjellsby 1993, Kvadsheim et al. 2020).

Forsvarsbygg har ansvar for å få etablert dette øvingsfeltet på vegne av Forsvaret. Som et avbøtende tiltak har Forsvarsbygg satt ut et boblegardin på tvers av bukten hvor detonasjonene skal gjennomføres. Boblegardinet skal kunne brukes når man detonerer sprengladninger på Korsnes.

I mars 2021 ble det gjennomført en studie for 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 (Kvadsheim et al. 2022). Denne studien konkluderte med at fisken i omkringingende merder ikke ble påført stress og skade på populasjonsnivå som endrer vekst, dødelighet og fiskehelse (Kvadsheim et al. 2022). Kun moderate og kortvarige atferdsresponser oppsto ved de høyeste lydnivåene ($>163\text{ dB re } \mu\text{Pa}$ spisstrykk i fiskens høreområdet 20–500 Hz, $\text{SEL} >147\text{ dB re } \mu\text{Pa}^2\text{s}$). Det ble derimot gjort funn av sirkulasjonsforstyrrelser og blødninger i fisken som ble tatt ut av merden umiddelbart etter siste skudd, men føropptak og dødelighet i merden var normal. I samme fisken så man samtidig forhøyede nivåer av stresshormonet kortisol i plasma, og kortisolmetabolitter i faeces (Kvadsheim et al. 2022). Lydnivåene denne fisken ble utsatt for, ligger langt under rapporterte terskler for skade i litteraturen (Yelverton et al 1975, Popper & Hawkins 2019, Dahl et al. 2020). En alternativ forklaring er at de 25 fiskene som ble tatt ut for undersøkelser umiddelbart etter siste skudd, ble påført en belastning i forbindelse med at de ble håvet inn og transportert til land i et kar for undersøkelser. Grunnen til at fisken måtte transporteres og ikke kunne obduseres på anlegget umiddelbart etter uttak, var Covid-restriksjoner på Lerøys anlegg i 2021. Dersom fisken ikke ble tilført tilstrekkelig med oksygen under transporten 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 fra samme merden ett døgn senere (Kvadsheim et al. 2022). Dette indikerer at det bare var fisken som ble håvet ut umiddelbart etter eksponering som hadde vært utsatt for traumer og ikke hele populasjonen. Ut fra dette virker det ikke sannsynlig at de observerte skadene skyldes detonasjonene. Slike skader kan

oppstå som følge av prøvetakingen, men man kunne ikke helt utelukke subkliniske skader som følge av detonasjonene og som bare avdekkes ved hjelp av obduksjon og histopatologi.

I studien fra 2021 (Kvadsheim et al. 2022) fant man også at sesongmessige variasjoner i temperatur og saltholdighet nær overflaten i Korsfjorden ville føre til at dempningen av sjokkbølgene fra sprengingene på Korsnes kunne være 10-15dB lavere på høsten (august-oktober) enn den som ble målt på våren (mars) (Kvadsheim et al. 2022). Dette sammen med usikkerhet knyttet til mulige patologiske effekter medførte at man anbefalte restriksjoner på øvingsaktiviteten på høsten (Kvadsheim et al. 2022).

1.1 Målsetning med oppfølgingsstudien

For å belyse usikkerheter knyttet til funn av sirkulasjonsforstyrrelser og blødninger i Kvadsheim et al. (2022) ble det anbefalt å gjennomføre en oppfølgingsstudie. Oppfølgingsstudien har følgende målsetning:

Undersøke om patologiske funn i 2021 (Kvadsheim et al. 2022) er reelle effekter av sprengingene i øvingsområdet eller skyldes andre forhold som prøvetakingsartefakter.

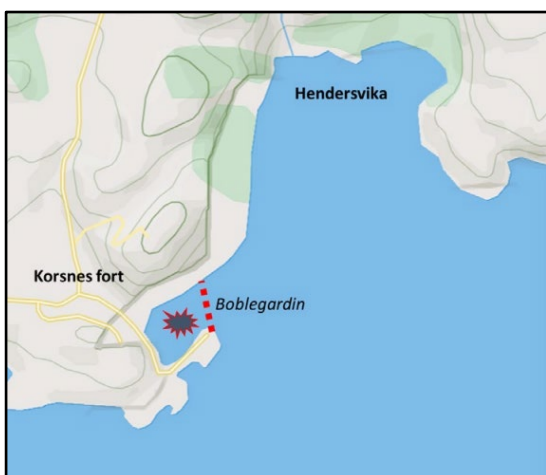
Validere modellberegningene fra Kvadsheim et al. (2022) som tilsier at lydtrykket fra sprenginger i øvingsområdet vil være 10-15dB høyere på Skorpo på høsten sammenlignet med det som ble målt i mars 2021.

Gjøre en vurdering av hvilke maksimale enkeltladninger som kan detoneres i øvingsområdet uten at man risikerer negative miljøeffekter eller effekter på nærliggende oppdrettsanlegg.

2 Metode

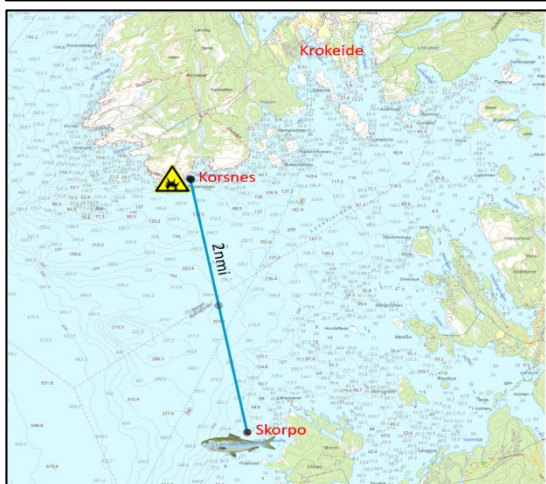
2.1 Eksperimentelt design

Det eksperimentelle designet gikk ut på å replikere eksperimentet fra 2021 (Kvadsheim et al. 2022), men fokuset denne gang var på det nærmeste anlegget (Skorpo vest), de høyeste nivåene (2 kg uten boblegardin) og mulige patologiske effekter på fisken.



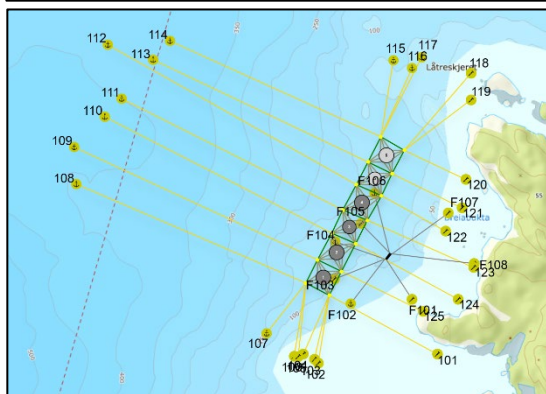
Figur 2.1

Øvingsområdet på Korsnes ligger lengst vest i Hendersvika på Korsnes i Korsfjorden og er militært område. Øvingsområdet ligger inne i en bukt og er godt skjermet mot Korsfjorden slik at sjokkbølger fra detonasjoner vil dempes i alle retninger. Selve øvingsområdet er avstengt av et permanent boblegardin som eventuelt kan slås på ved behov, selv om dette er forbundet med kostnader.



Figur 2.2

Avstanden fra sprengingspunktet på Korsnes til fiskeoppdrettsanlegget på Skorpo er 3,7 km (2 nmi).



Figur 2.3

Det er seks Ø=160m merder, 50m dype på Skorpo vest, fiskeprøver ble tatt ut fra merde V som ligger nærmest Korsnes (merde VI var tom). Hydrofonmålingene ble gjort fra foringsflåten 300m sør for merde V.

Eksperimentet var planlagt og skulle gjennomføres i september 2023, men måtte utsettes fordi fisken på Skorpo fikk en virusinfeksjon, noe som medførte unormalt høy dødelighet. Etter hvert ble anlegget også brakklagt og fisk ble først satt ut igjen fra begynnelsen av august 2024, med siste utsett i begynnelsen av oktober. Målingene ble gjennomført i uke 47 2024. Da hadde Lerøy Sjøtroll 880.000 regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss*) i de fem merdene på Skorpo. Fisken i merdene var da ca 700g i merde I og II, ca 350g i merde III og IV, og ca 220g i merde V. I 2021 var det laks i merdene på Skorpo og fisken var 100-250g (Kvadsheim et al. 2022). Vi fokuserte derfor prøveuttaket på merde V hvor fisken er av omtrent samme størrelse. En uke før oppstart ble det gjennomført et møte med Lerøy for å sjekke at fiskehelsituasjonen var god og stabil. Situasjonen i merde III-V var da god med lav dødelighet (<100 fisk/dag), i merde I og II var dødeligheten noe høyere.

Eksponeringseksperimentet ble gjennomført med 5 detonasjoner med 2kg TNT i samme posisjon som i 2021 på 5m dyp uten boblegardin kl 10:00, 11:30, 12:30, 13.30 og 14.30 (lokal tid) den 20.11.2024. Dette skulle da tilsvare de høyeste eksponeringsnivåene i 2021 (skudd 22 og 24 (Kvadsheim et al. 2022)).

I forkant av eksperimentet hadde Lerøy Sjøtroll godkjent måleplanen. Eksperimentet ble gjennomført med tillatelse fra Mattilsynet (23/78986). Fiskens atferd ble overvåket før, under og etter sprengingene. Etter hvert skudd foretok fiskehelseansvarlig hos Lerøy Sjøtroll og dyrevelferdsansvarlig for eksperimentet fra FFI en vurdering av fiskens reaksjon og fiskehelse. Begge måtte godkjenne at skuddprogrammet skulle fortsette. Eventuell panikkatferd som vil medføre risiko for indirekte skade var definert som endepunkt for forsøket. Dersom dette skulle inntreffe ville vi enten redusert ladningsstørrelsen eller stanset forsøket.

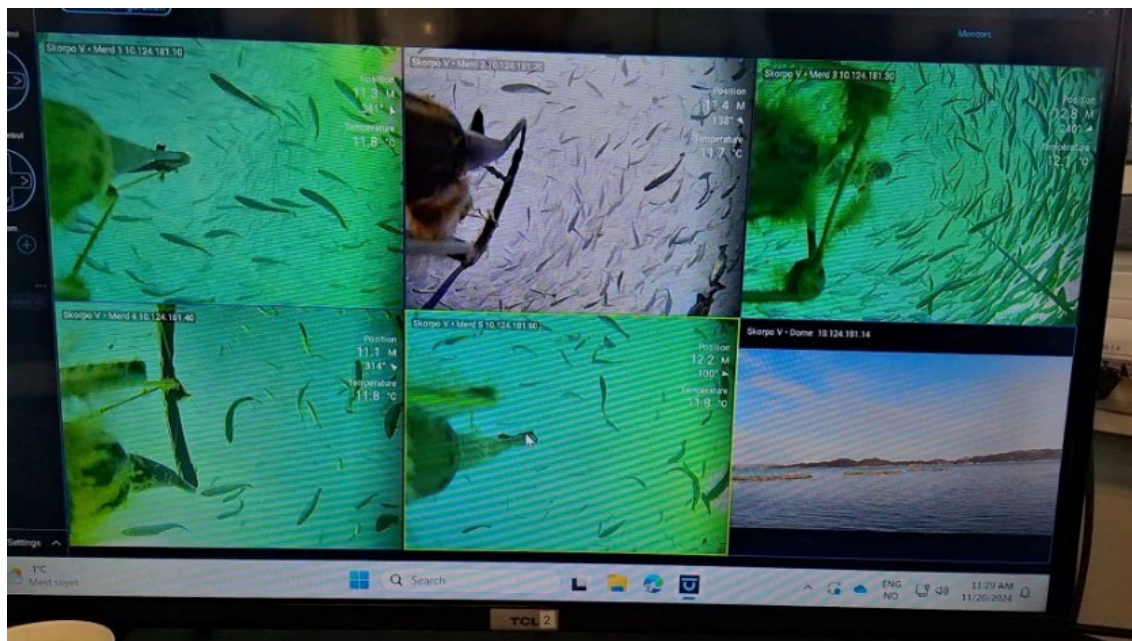
Tabell 2.1 Oversikt over observasjoner og målinger før, under og etter undervanns-sprengninger i Korsfjorden. Det ble avfyrt 5 skudd på samme dag (20.11.2024) på Korsnes. Dødelighet og føropptak i de 5 merdene på Skorpo ble målt daglig fra en uke før til en uke etter eksponeringen. På eksponeringsdagen ble lydnivå ved merdene samt atferdsreaksjoner hos fisken i merdene registrert ved hvert skudd. To dager før-, en dag før-, umiddelbart etter- og dagen etter eksponeringen ble det tatt ut 25 fisk for patologiske undersøkelser (til sammen 100 fisk). FB = Forsvarsbygg, LS = Lerøy Sjøtroll, VI = Veterinærinstituttet, UiT = Norges arktiske universitet.

Måling	FØR							UNDER (uke 47)							ETTER					Sted /Ansv
	man	tirs	ons	tors	fre	lør	søn	man	tirs	ons	tors	fre	lør	søn	man	tirs	ons	tors	fre	
1.Skudd																				Korsnes / FB
2.Dødelighet																				Skorpo / LS
3.Føropptak																				Skorpo / LS
4.Kamera																				Skorpo / FFI, LS
5.Hydrofon																				Skorpo / FFI, UiT
6.Patologi								25 fisk kontroll	25 fisk kontroll	25 fisk ekspon.	25 fisk ekspon.									Skorpo, Bergen / VI, LS

Ytterligere detaljer om gjennomføring av eksperimentet finnes i Måleplanen (vedlegg A).

2.2 Fiskeatferd

Alle fiskermerdene på Skorpo er utstyrt med styrbare kamera som brukes til å regulere førtilgangen til fisken (Figur 2.4).



Figur 2.4 Overvåkingssystemet med kamera i merdene på Skorpo dekket samtlige merder på Skorpo ved hvert skudd. Øverst fra venstre; merde I, II og III, nederst fra venstre; merde IV, V og et oversiktsbilde i luft. Bilde er tatt kl. 11:29 rett før skudd 2.

Kameraene står på 10-12m dyp og ser oppover. De ser altså bare et utsnitt av merden, men blir styrt slik at de ser mest mulig fisk. På en skjerm i kontrollrommet på foringsflåten kunne samtlige merder overvåkes samtidig. Opptak ble gjort 60s før – 60s etter hvert skudd. Atferdsreaksjoner ble beskrevet basert på disse opptakene.

2.3 Akustiske målinger

På eksponeringsdagen rigget FFI og Norges arktiske universitet (UiT) opp måleoppsett med hydrofon, forsterker og dataopptakingsutstyr på foringsflåten 300 meter sør for merde V. Arbeidet med å rigge dette ble startet den samme morgenen, og i begge måleoppsettene støtte vi innledningsvis på problemer med støy i opptakssignalene. Det ble gjort justeringer og korrigeringer på begge systemer mellom hvert skudd. I måleserien fra UiT ga skudd 2-5 gode nok data, og i måleserien til FFI ga skudd 4-5 gode data som kan brukes til analyse. Siden alle skuddene var med samme ladning i samme posisjon og dyp, burde nivåene være omtrent like. For hvert skudd med brukbare data er det beregnet spissstrykk (zero-peak) samt lydeksponeeringsnivå SEL, både i fullt bånd fra 10 Hz og oppover så langt sampleraten tillater og båndpassfiltrert i fiskens høreområde 20-500 Hz.

Etter at målingene var avsluttet, ble hydrofonene som hadde blitt brukt plassert i en kalibrator med kjent lydtryknivå, for å fjerne eventuelle usikkerheter rundt nivåer og forsterkning i målekjeden. Beregningsmetoden består i å sammenlikne mottatt signalnivå under skuddet med kalibreringsmålingen for samme hydrofon, hvis nødvendig kompensert for forskjell i innstilt forsterkerfølsomhet.

Det er viktig å kunne sammenligne eksponeringsnivåene i vårt eksperiment med eksponeringsnivåene fra studien i 2021 (Kvadsheim et al. 2022). Målingene ble derfor gjennomført og analysert så likt som mulig, men med følgende modifikasjon:

I 2021 ble hydrofonene hengt fra merde III på 10 og 30m dyp (Kvadsheim et al. 2022). I vårt eksperiment ble hydrofonene hengt under føringsflåten som ligger ca 100m lenger unna Korsnes, og hydrofonene ble plassert på 15-20m dyp. FFIs hydrofoner hang fra den nordlige hjørne av flåten, mens UiTs hydrofoner hang langs vestre langside på flåten ca 15m lenger sør. I 2021 fant man ingen systematisk forskjell på de målte lydnivåene ved ulike dyp (Kvadsheim et al. 2022). Forskjellen i avstand mellom merde III (2021) og føringsflåten (2024) utgjør en teoretisk forskjell på 0,2dB.

Ved beregning av SEL-verdier har vi benyttet en integrasjonstid på 10 sekunder på data fra FFIs hydrofoner, likt som i 2021, men kortere integrasjonstid (3s) for UiTs hydrofon for å begrense innvirkningen av intermittent støy på målingene. I 2021 var forskjellen på 10s integrasjonstid og 1s integrasjonstid 0,2dB (Kvadsheim et al. 2022).

Under målingene på Skorpo i 2021 var samplerraten på hydrofonene 20kHz (Kvadsheim et al. 2022), mens vi her har brukt høyere samplerate (kap 2.3.1 og 2.3.2). Etter målingene av lydimpulsene fra detonasjonene ble alle hydrofoner kalibrert på samme måte som i 2021 (Kvadsheim et al. 2022) (kap 2.3.3).

2.3.1 Måleoppsett FFI

To hydrofoner fra Bruel & Kjaer av type BK8104 ble plassert på henholdsvis 18 og 15 m dyp, og koplet med kabel til en Bruel & Kjaer NEXUS kondisjoneringsforsterker. Forsterkeren var satt til å operere som ladningsforsterker, som betyr at kabellengden ikke skal ha betydning. Ladningsfølsomheten var satt til å være 0,376 pC/Pa, basert på kalibrering av hydrofon med serienummer 2486661 i 2023. Forsterkeren var også satt til å høypassfiltrere inngangene ved 10 Hz.

Tabell 2.2 Parametre for FFIs hydrofonmåleoppsett. FFIs ene hydrofon ble kalibrert med to ulike forsterkerinnstillinger.

BK8104 hydrophones			BK NEXUS conditioning amplifier (4 channel unit)					Olympus LS12
	deployment	cable				Output sensitivity (uV/Pa)		
serial no	depth[m]	length[m]	channel	HPF [Hz]	Input	Shot 4	Shot 5	CAL
2486661	18	110	1	10	charge	31,6	31,6	31,6 og 1000
2111502	15	30	2	10	charge	3160		1000

Signalene ut fra forsterkeren ble koplet til en Olympus LS12 håndholdt dataopptaker, som lagret dataene til wav-filer med en samplerate på 96 kHz. Denne var justert til «input level 13», som er målt til å tilsi at fullt amplitudeutslag på opptaks-signalet tilsvarer 1 V RMS på inngangen.

Måleoppsettet for FFIs hydrofoner, og innstillingene under de skuddene hvor det ble samlet brukbare akustiske data, er vist i Tabell 2.2.

2.3.2 Måleoppsett UiT

En hydrofon fra Reson av type TC4040 ble plassert på 19 m dyp, og koplet med 30 m kabel til en RESON forsterker. Denne forsterkeren var også satt til å operere som ladningsforsterker, med en «load» på $-3,3\text{ nF}$ og $1\text{ G}\Omega$. For å unngå klipping av signalet begynte man med 20dB forsterkning ved skudd 2, men økte til 26dB ved skudd 3 og 32 dB i skudd 4 og 5.

Signalet ut fra forsterkeren ble koplet inn på en DataQ analog-til-digital-konverter (ADC), som lagret dataene med en samplerate på 44,94382 kHz på et proprietært binærformat med header (wdq-filer). Disse filene kunne leses inn i Matlab med en fritt tilgjengelig kode som heter nReadDataQ (Tobias 2025). ADCen hadde noe ulik bit-dybde i de ulike skuddene, for eksempel i skudd 4 fordeles signalet over 10V mens i skudd 5 blir den fordelt over 5V. Dette er kompensert for i lagring til filformatet.

Dette måleoppsettet hadde ingen høypassfiltrering før datainnsamling. For å være mer sammenliknbare med FFIs målinger ble dataene før videre prosessering høypassfiltrert i Matlab med et 4.ordens Butterworth-filter med knekkfrekvens 10 Hz.

2.3.3 Kalibrator

Etter siste skudd ble de tre hydrofonene plassert en og en i en «pistonphone» kalibrator fra Brüel & Kjær av type 4228, som UiT hadde brakt. Denne var mekanisk tilpasset begge hydrofontypene som ble brukt.

Kalibratoren består av et kammer hvor et stempel lager en tone på 251,2 Hz, med et nominelt nivå på 162 dB re $1\text{ }\mu\text{Pa RMS}$, $\pm 0.2\text{ dB}$. Man skal imidlertid også kompensere for lufttrykk, som ble målt til 995,8 mbar. Dette gir en kompensasjon på $-0,15\text{ dB}$, slik at kalibreringsnivået er 161,85 dB re $1\text{ }\mu\text{Pa RMS}$, $\pm 0.2\text{ dB}$.

2.4 Fôropptak og dødelighet

Fisken ble foret *ad libitum* og fôropptak ble registrert som tilført fôr til hver merd hver dag. Dødelighet måles ved at død fisk håves ut fra overflaten eller pumpes ut fra bunn av merdene hver dag.

Lerøy oversendte biologisk ukerapport for de 5 merdene på Skorpo for perioden en uke før til en uke etter eksponeringsdagen (Tabell 2.3). Fra disse rapportene tas det ut data for tilført fôr per

merd pr dag, samt antall døde fisk per merd pr dag. Daglig dødelighet og forbruk i uken før eksponeringen sammenlignes med uka etter, ved en paret t-test.

Tabell 2.3 Biologisk ukesrapport for Skorpo vest, merde 5 for perioden 13.11.2024-01.12.2024.

		Føring		Dødelighet								Beholdning										
		Appetitt [%]	i pr Førmengde [g]	Daglig føroptak	Antall døde	i per	Dødeprosent	Sir	Dødeprosent	Va	Dødeprosent	Ta	Dødeprosent	Me	Dødeprosent	Ba	Utgående	Antall	Utgående	Snittv	Lukket med biom	
Enhet: 05	Fiskegruppenavn: EID - 005	261,60	25 896 000	2,92	182	0,09	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	169 971	350,60					
		261,60	25 896 000	2,92	182	0,09	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	169 971	350,60				
	13.11.2024	389,14	1 499 371	4,12	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 203	217,80				
	14.11.2024	458,95	1 837 170	4,85	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 197	227,80				
	15.11.2024	260,15	1 089 154	2,77	13	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 184	233,70				
	16.11.2024	344,58	1 480 041	3,66	22	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 162	241,70				
	17.11.2024	339,54	1 508 469	3,61	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 160	250,00				
	18.11.2024	368,24	1 691 475	3,91	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 131	259,20				
	19.11.2024	325,36	1 549 335	3,46	9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 097	267,60				
	20.11.2024	268,54	1 320 133	2,86	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 097	274,80				
	21.11.2024	263,63	1 330 793	2,81	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 097	282,00				
	22.11.2024	372,43	1 929 561	3,95	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 097	292,50				
	23.11.2024	389,81	2 094 800	4,13	28	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 069	303,90				
	24.11.2024	329,41	1 838 946	3,50	11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 058	313,90				
	25.11.2024	193,20	1 114 028	2,07	9	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 049	320,00				
	26.11.2024	412,06	2 421 724	4,36	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 048	333,20				
	27.11.2024	29,91	183 000	0,32	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 041	334,20				
	28.11.2024	134,10	823 000	1,44	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 036	338,70				
	29.11.2024	80,71	502 000	0,87	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 025	341,40				
	30.11.2024	154,09	966 000	1,65	13	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 012	346,70				
01.12.2024	112,64	717 000	1,21	41	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	169 971	350,60					

2.5 Patologiske undersøkelser

Fiskens atferd ble observert med undervannskamera før prøveuttak. Personell fra lokaliteten



håvet fisken ut av merden ved hjelp av kastenot og håv. Det ble håvet inn 25 fisk fra merd V på Skorpo to dager før eksponering (18.11.2024), dagen før eksponering (19.11.2024) umiddelbart etter siste skudd på eksponeringsdagen (20.11.2024) og dagen etter eksponeringen (21.11.2024).

Figur 2.5 Personell fra Veterinærinstituttet gjør patologiske undersøkelser av fisken fra merde V på Skorpo før og etter eksponering til lydpulser fra detonasjoner på Korsnes.

Vi forsøkte i størst mulig grad å gjennomføre et randomisert uttak, selv om dette er vanskelig fordi bare en liten del av populasjonen er tilgjengelig i overflaten. Det er altså to kontrollgrupper og to eksponerte grupper i datasettet, med 25 fisk i hver gruppe, til sammen 100 fisk.

Fisken ble fraktet fra merden inn til foringsflåten i kar og avlivet med overdose Benzoak. Halvparten av fisken ble først håvet ut og transportert direkte til flåten, hvor obduksjon og prøvetaking ble gjennomført umiddelbart av personell fra Veterinærinstituttet. Fisken forble i

bedøvelsesvannet frem til obduksjonen fant sted. Det gikk omtrent 15 minutter fra avliving til obduksjon av den første fisken. Den resterende halvparten av fisken ble deretter håvet ut og fraktet inn for obduksjon og prøvetaking. Fisken ble avlivet og håndtert i to omganger for å minimere tiden den lå i bedøvelsesvannet før prøvetaking.

Makroskopiske undersøkelser og histopatologisk prøvetaking ble gjort på stedet av personell fra Veterinærinstituttet (Figur 2.5). Fiskene ble inspisert utvendig, gjellelokket klippet av, buken åpnet og venstre bukside fjernet. Gjeller, gjellelokk, pseudobrank, hjerne 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.

Det ble tatt prøver til videre histopatologisk undersøkelse. Fra hver fisk ble det formalinfiksert vevsprøver fra følgende 8 vev: gjelle, hjerte, lever, milt, nyre, pylorus-region, hud/muskel (sidelinje-området) da det er rutine ved sykdomsdiagnostikk ved Veterinærinstituttet. I tillegg tas prøver av synlige forandringer i andre organer/vev ved behov. Fra de formalinfikserte vevene ble det laget histologiske vevssnitt som ble farget med hematoxylin-eosin (standard-farging mht. morfologi). Alle snitt ble skannet og undersøkt digitalt mht patologi.

2.6 Lydhastighetsprofiler

Lydhastighetsprofiler (temperatur, saltholdighet og trykk) ble målt i 2 posisjoner langs lydbanen mellom Skorpo og Korsnes, 1/3 og 2/3 av avstanden umiddelbart etter siste skudd den 20.11.2024 ved bruk av en SAIV SD204 CTD-probe. Målinger ble gjort fra overflaten til 250m dyp. Lydhastighetsprofilene sammenlignes med tilsvarende profiler målt i 2021 for å belyse eventuelle forskjeller i propagasjonstap.

2.7 Maksimal enkeltladning

Ved å sammenligne lydnivåene ved ulike avstander fra detonasjonen med kjente terskler for skade og skremmeeffekter kan vi definere effektsoner. Slike effektsoner sammenstilles med informasjon om marin fauna, havbruk og fiskeri i området for å undersøke hvilken maksimal enkeltladning det er trygt å detonere på Korsnes. Til forskjell fra vurderingen av hvordan normal øvingsaktivitet med gjentatte detonasjoner av små ladninger vil kunne påvirke fisk i omkringliggende oppdrettsanlegg, forutsetter analysen av maksimal enkeltladning at det bare detoneres en enkel ladning og at dette bare skjer unntaksvis (maks en gang per år). Ladninger på inntil 200kg TNT er vurdert i analysen.

Vi har brukt en semiempirisk modell etablert av Kjellsby & Kvalsvik (1997) til å beregne propagasjon av sjokkbølger fra det angitte sprengingsfeltet og ut i Korsfjorden. Modellen tar hensyn til ladningens størrelse, sprengingsdyp og dempning fra terrenget (skjerming fra holmer, skjær og grunt vann). I forbindelse med målekampanjen i 2021 (Kvadsheim et al. 2022) ble skjermingsdempningen fra Korsnes til Skorpo sammenlignet med propagasjon i fritt felt mål til 17dB. I tillegg kan man legge inn dempning fra bruk av boblegardinet som er etablert i området,

noe som vil gi ytterligere 20dB dempning av spissttrykket fra en detonasjon (Kvadsheim et al. 2022).

Vi har hentet informasjon om oppdrettsanlegg og fiskeområder i området fra Kystinfo (2024). Naturbase (2024) er brukt for å innhente informasjon om marine verneområder i nærheten av øvingsområdet, samt hekkeområder for sjøfugl og tilstedeværelse av arter av nasjonal forvaltningsmessig interesse. For å begrense påvirkningen av militær aktivitet til sjøs har FFI utviklet verktøyet SONATE som Forsvaret bruker til planlegging av operasjoner (Nordlund & Kvadsheim 2021). Verktøyet inneholder informasjon om fiskeri og havbruksaktivitet fra Fiskeridirektoratet og utbredelse av fisk og pattedyr fra Havforskningsinstituttet. Vi har brukt denne informasjonen fra SONATE i våre analyser.

Dersom marin fauna (fisk, pattedyr og sjøfugl) oppholder seg tilstrekkelig nære detonasjonene vil de kunne skades, på lenger avstand vil de også kunne bli skremt (Kvadsheim et al. 2020). Slike skremmeeffekter innebærer at de kan søke bort fra området eller ned på dypere vann (fisk). Varigheten av responsen er normalt avhengig av varigheten til selve støyhendelsen. Detonasjoner er korte støyhendelser som genererer bredbåndsimpulser (Kvadsheim et al. 2022). Skremmeterskelen varierer mellom ulike arter, men varigheten til atferdsendringen forventes å være kortvarig og ha liten biologisk relevans (Kvadsheim et al. 2020). Unntaket er for fisk i oppdrettsanlegg, hvor skremmeeffekter kan medføre indirekte skade (Kvadsheim et al. 2022). Vi har brukt en generell skremmeterskel for marin fauna på 180 dB bredbånd spissttrykk (Kvadsheim et al. 2020). Denne terskelen støttes også av data fra dette studiet. Detonasjoner kan også føre til direkte skade på marin fauna. Dette innebærer at fisk, fugl og pattedyr kan få permanente hørselskader andre vevskader eller dø. Ved spissttryknivåer over 207 dB (re 1µPa) 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.

3 Resultat

3.1 Oversikt

Det eksperimentelle programmet ble gjennomført som planlagt. Den løpende vurderingen av fiskens reaksjon og helse innebar ikke behov for å stanse eksperimentet. Innsamling av hydrofonddata og kameradata gikk stort sett som planlagt. Prøvetaking av til sammen 100 fisk ble foretatt av fiskehelsepersonell fra Lerøy i dagene før, på eksperimentdagen og dagen etter. Data på fôrforbruk og dødelighet ble registrert av Lerøy og oversendt i etterkant.



Figur 3.1 Utsikt fra fôrflåten mot merde IV, V og XI på Skorpo vest retning Korsnes. Været i Korsfjorden var strålende fint på eksperimentdagen 20.11.2024 med «sea state» 0-1, sol og omtrent vindstille. Temperaturen i merdene var 9°C ved 3m dyp, og 12°C ved 15m. (foto; Petter Kvadsheim, FFI)

3.2 Fiskeatferd

Basert på videoopptak av merdene på Skorpo gjorde fiskehelseansvarlig hos Lerøy Sjøtroll og dyrevelferdsansvarlig for eksperimentet ved FFI fortløpende vurdering av fiskens reaksjon.

Det ble ikke observert vesentlige atferdsreaksjoner i forbindelse med detonasjonene i noen av merdene på Skorpo (Tabell 3.1). I forbindelse med skudd 5 ble det observert en kortvarig periode med økt stiming og svømmeintensitet i to av merdene. Ingen responser ble karakterisert som unormale, det vil si at atferden enten er normal eller at normal driftsaktivitet på anlegget kan utløse tilsvarende atferdsresponser.

Tabell 3.1 Tidslinjen og observasjoner som ble gjort under skuddprogrammet.

Dato	Tid	Hendelse	Kommentar
20.11.2024	08:50	Ankomst	Forskningsteamet ankommer Skorpo
20.11.2024	10:00:00	SKUDD 1	2kg TNT på 5m dyp uten boblegardin. Ingen reaksjon i merd 1,2,3,4,5 på Skorpo, går videre i programmet
20.11.2024	11:30:00	SKUDD 2	2kg TNT på 5m dyp uten boblegardin. Ingen reaksjon i merd 1,2,3,4,5 på Skorpo, går videre i programmet, noe forsinket pga problemer med hydrofonene
20.11.2024	12:30:00	SKUDD 3	2kg TNT på 5m dyp uten boblegardin. Ingen reaksjon i merd 1,2,3,4,5 på Skorpo, går videre i programmet.
20.11.2024	13:30:00	SKUDD 4	2kg TNT på 5m dyp uten boblegardin. Ingen reaksjon i merd 1,2,3,4,5 på Skorpo, går videre i programmet.
20.11.2024	14:30:00	SKUDD 5	2kg TNT på 5m dyp uten boblegardin. Ingen reaksjon i merd 1,2 og 4. I merd 3 og 5 oppstår en kort reaksjon med varighet på 10s med høyere svømmehastighet og tettere stiming.
20.11.2024	14:45	Uttak av fisk	Speeder legger til ved merd 5 og begynner å håve fisk til patologiske undersøkelser
20.11.2024	15:05	Uttak av fisk	Uttak av fisk ferdig
20.11.2024	15:15	Patologi	Patologiske undersøkelser starter
20.11.2024	15:30	CTD	CTD tas i to posisjoner lang propagasjonsbanen mellom Korsnes og Skorpo
20.11.2024	16:30	Patologi	Makroskopiske undersøkelser fullført, vevsprøver tatt ut til histopatologi.
20.11.2024	17:00	Avgang	Forskningsteamet forlater Skorpo

3.3 Akustiske målinger

Analysen av mottatte signalnivåer tar utgangspunkt i kalibreringsmålingene etter skudd 5, for å unngå usikkerhet rundt nivåer og forsterkning i målekjeden. For FFIs hydrofoner er det imidlertid verifisert at beregninger med utgangspunkt i nominelle verdier gir riktig nivå for kalibreringssignalet. Dette styrker troverdigheten til å ta utgangspunkt i kalibreringsmålingen i beregningene. Resultatet fra hydrofonmålingen er oppsummert i Tabell 3.2.

I målingene fra UiT er det en del intermittent støy (Figur 3.4). Dataene fra UiTs opptaksutstyr er lagret i fire parallelle kanaler i fila. Det er ikke klart hva som skiller kanalene. Dataene gir tilnærmet samme nivå (innenfor 0,01 dB i SEL 20-500 Hz) uansett hvilken kanal man bruker, men forholdet mellom signalet og den intermittente støyen er størst i første kanal, og derfor er denne brukt i analysen.

For hvert skudd med brukbare data er det beregnet spissstrykk samt SEL, både i fullt bånd fra 10 Hz og oppover og båndpassfiltrert 20-500 Hz (4. ordens Butterworth båndpassfilter i Matlab). Det ble benyttet en midlingstid på 10 sekunder for FFIs hydrofoner, men kun 3 s for UiTs hydrofon for å begrense innvirkningen av intermittent støy på målingen (Figur 3.4). For FFIs data er det verifisert at å redusere midlingstiden fra 10 til 3 sekunder gir en reduksjon på kun 0,1 dB i SEL 20-500 Hz, og 0,3 dB i SEL 10-48000 Hz. For UiTs data ville å øke midlingstiden fra 3 til 10 sekunder gi en økning på 0,2 dB i SEL 20-500 Hz, og opptil 2,2 dB i SEL 10-22472 Hz (den bredbandede intermittente støyen gir større effekt når målebåndbredden er større).

Tabell 3.2 Resultater fra hydrofonmålingene på Skorpo. Skudd 1 inneholdt for mye støy og derfor brukes bare målingene for skudd 2-5 som ga gode data. Målinger ble gjort med hydrofoner fra både FFI (skudd 4-5) og UiT (skudd 2-5). Nivåene er oppgitt både som ufiltrerte verdier i hele båndet >10 kHz og filtrerte verdier i fiskens høreområdet 20-500Hz. Vi har beregnet både spisstrykk og SEL i begge bånd. Integrasjonstiden for SEL var 10s for FFIs data, men måtte reduseres til 3s for UiTs data pga. intermittent støy.

Skudd #	Målt av	Dyp (m)	10-48.000 (FFI) 10-22.472 Hz (UiT)		20-500 Hz	
			Spisstrykk dB re 1µPa	SEL dB re 1µPa²·s	Spisstrykk dB re 1µPa	SEL dB re 1µPa²·s
1	Ingen data					
2	UiT	19	163,4	148,2	159,3	144,4
3	UiT	19	163,1	148,7	157,4	145,0
4	FFI	18	175,2	155,6	168,8	149,3
4	FFI	15	166,2	150,0	161,9	146,8
4	UiT	19	165,4	148,9	158,7	145,2
5	FFI	18	176,6	156,4	170,9	150,0
5	UiT	19	162,6	148,3	158,4	145,2

Tabell 3.2 angir de målte akustiske nivåene, i form av peak-verdi og sound exposure level (SEL), for skuddene med gode data, høypassfiltrert ved 10 Hz (med frekvensinnhold opp til halve sampleringen) og båndpassfiltrert 20-500 Hz. Det er en del variasjon mellom målingene. Det observeres større variasjoner i peak lydtrykk enn i SEL. Dette er forventet, da peakverdi er en instantan måling uten noe midling som blir veldig følsom for flere måletekniske og fysiske effekter, for eksempel faseforskjell mellom ulike men nærliggende propagasjonsbaner. De mest sammenlignbare verdiene er filtrert SEL i båndet 20-500 Hz, fordi de er midlet over tid og i et begrenset bånd, noe som gjør verdiene mindre påvirket av variasjoner i støy og samplering mellom hydrofonene.

Tabell 3.3 Sammenligning av verdiene målt på Skorpo i mars 2021 (Kvadsheim et al. 2022*) og våre verdier målt i november 2024. I begge studiene ble nivåene målt med flere hydrofonsystemer med noe ulik samplering og dyp. Skuddbetingelsene (detonasjonsposisjon og dyp (5m), ladning (2kg TNT) og uten boblegardin) var lik.

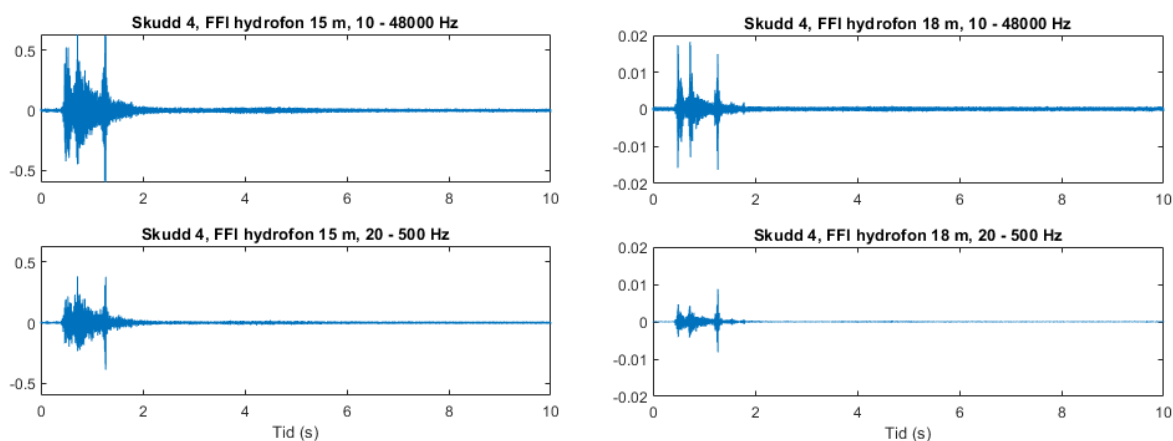
2kg TNT uten boblegardin	Dyp (m)	> 10 Hz		20-500 Hz	
		Spisstrykk dB re 1µPa	SEL dB re 1µPa ² ·s	Spisstrykk dB re 1µPa	SEL dB re 1µPa ² ·s
Mars 2021*	10-30	172-179	152-157	164-169	148-152
Nov 2024	15-19	163-177	148-156	157-171	144-150

Vi ser at de båndpassfiltrerte SEL-nivåene for samme hydrofon er konsistente ($\pm 0,5$ dB) mellom skuddene, men varierer mellom hydrofonene (± 3 dB) (Tabell 3.2). Vi har konfidens i *in situ* kalibreringen etter siste skudd for alle de brukte hydrofonene/måleoppsettene. Denne observasjonen illustrerer derfor sannsynligvis naturlige variasjoner i mottatt lydtrykk på ulike posisjoner og dyp rundt anlegget på Skorpo. De akustiske målingene fra studien i 2021 (Kvadsheim et al. 2022) varierte også en god del mellom ulike posisjoner, dyp og fra skudd til skudd. Generelt er det likevel mer variasjon i dataene fra våre målinger fra 2024 enn det er i målingene fra 2021 (Tabell 3.3). Nivåene målt av oss i november 2024 er likevel sammenlignbare med nivåene målt på Skorpo under skudd 22 og 24 (2 kg TNT uten boblegardin) i mars 2021 (Kvadsheim et al. 2022). Dette gjelder både spisstrykk og SEL verdier, både ufiltrerte og filtrerte verdier (Tabell 3.3). Differansen mellom de høyeste målte verdiene i 2021 og 2024 er bare 1-2 dB (Tabell 3.3).

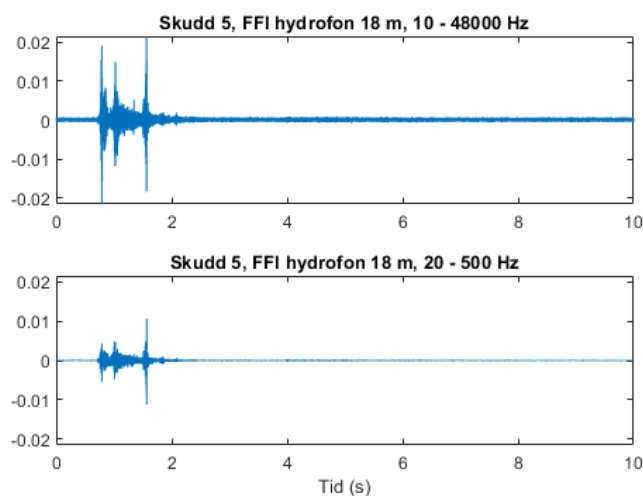
I de etterfølgende underavsnittene presenterer vi de akustiske signalene i noe mer detalj:

3.3.1 Akustiske data målt av FFI

Figur 3.2 og Figur 3.3 viser tidsserie av akustiske data tatt opp på FFIs to hydrofoner under skudd 4 og 5. Vi ser at signalet ankommer via tre hovedpropagasjonsveier, hvor den tredje er sterkest etter 20-500 Hz båndpassfiltrering. Vi ser også at å bruke en såpass lang midlingstid som 10 s uten 20-500 Hz båndpassfiltrering vil være uheldig, da vi i plottene for 10-48000 Hz tydelig ser bakgrunnstøyen selv med lineær y-akse. Dette er likevel gjort på denne måten for at dataene skal være sammenlignbare med dataene fra 2021 (Kvadsheim et al. 2022).



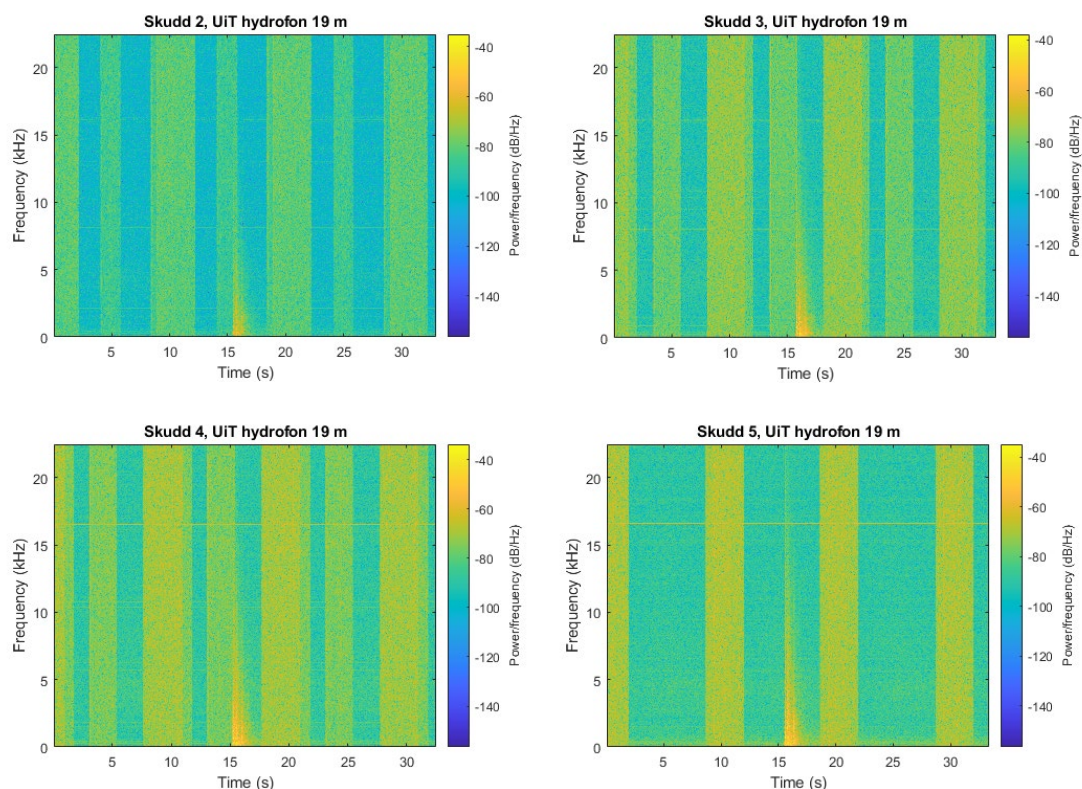
Figur 3.2 Tidsserier av akustiske data målt med FFIs to hydrofoner på 15m (venstre panel) og 18m (høyre panel) dyp under skudd 4. Tidsserien viser både ufiltrert signal 10-48000Hz (øverst) og båndpassfiltrert signal 20-500Hz (nederst). Y-aksen viser amplitude ut av AD-konverter (de to målekanalene hadde ulik innstilt følsomhet). X-aksen viser de 10 sekundene SEL ble midlet over.



Figur 3.3
Tidsserie av akustiske data målt med FFIs hydrofon på 18m dyp under skudd 5. Tidsserien viser både ufiltrert signal 10-48000Hz (øverst) og båndpassfiltrert signal 20-500 Hz (nederst). Y-aksen viser amplitude ut av AD-konverter. X-aksen viser de 10 sekundene SEL ble midlet over.

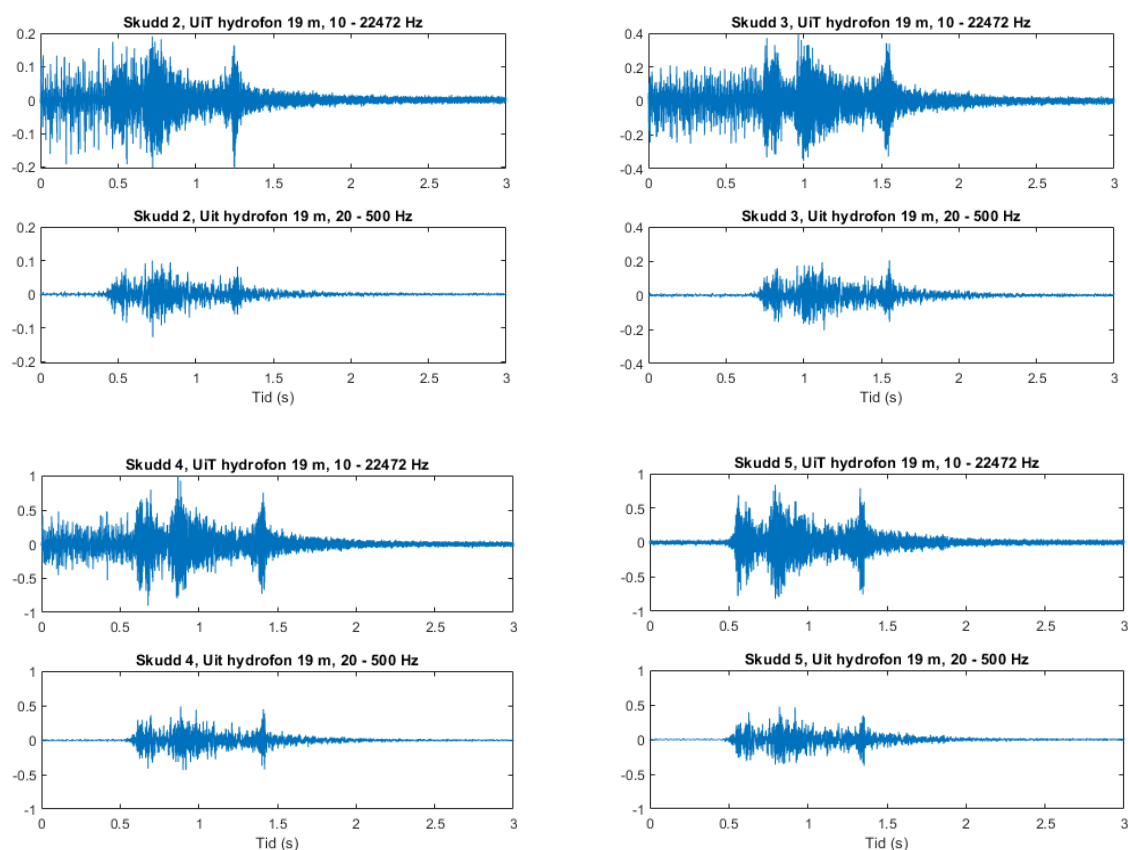
3.3.2 Akustiske data målt av UiT

De akustiske dataene målt av UiT hadde intermittent bredbåndet bakgrunnsstøy av ukjent årsak (antakelig støy fra pellets som blåses gjennom føringsslangene). Figur 3.4 viser hvordan dette påvirket målingene. Skudd 5 kom mellom to støyhendelser. Skudd 2-4 overlapper delvis med en støyhendelse. Effekten av støyen ble her minimalisert ved å velge et 3 s midlingsvindu som startet like før skuddets ankomst og sluttet før neste støyhendelse.



Figur 3.4 Spektrogrammer av akustiske data målt av UiT under skudd 2-5, hvor vi tydelig ser intermittent bakgrunnsstøy. dB-skalaen er ikke kalibrert til fysiske enheter.

Figur 3.5 viser tidsserie av akustiske data tatt opp med UiTs hydrofon under skudd 4 og 5. Også her ser vi tre hovedpropagasjonsveier, men i motsetning til for FFIs hydrofoner er ikke den tredje markant sterkest. Vi ser også i begynnelsen av tidsserieutsnittet for skudd 4 hvor markant den intermittente bredbåndsstøyen er, spesielt uten 20-500 Hz båndpassfilter.



Figur 3.5 Tidsserier av akustiske data målt med UiTs hydrofon under skudd 2-5. Tidsserien viser både ufiltrert signal 10-22472Hz og båndpassfiltrert signal 20-500Hz for hvert skudd. Y-aksen viser amplitude ut av AD-konverter. X-aksen viser de 3 sekundene SEL ble midlet over.

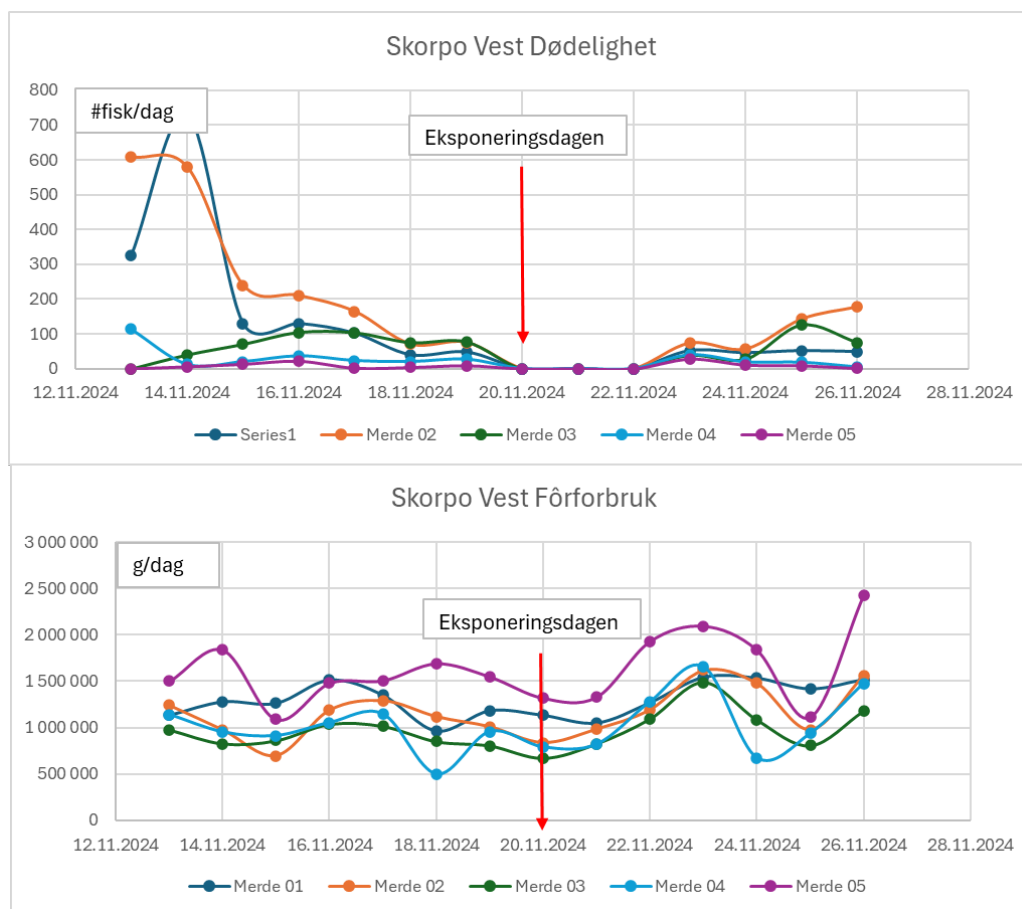
3.4 Fôropptak og dødelighet

Fôropptak og dødelighet i de fem merdene på Skorpo uken før eksponering ble sammenlignet med uken etter eksponering (Figur 3.6). I merde 1 og 2 hadde det vært noe forhøyet dødelighet uken før, men dette hadde normalisert seg da eksponeringen startet. I de øvrige merdene var dødeligheten lav og normal. I uken etter eksponering var dødeligheten lav og normal i samtlige merder. Fôropptaket var stabilt gjennom hele perioden.

Det er en liten tendens til at fôropptaket gikk opp og dødeligheten ned i uken etter eksponering sammenlignet med uken før, men ingen statistisk signifikant forskjell ble funnet (Tabell 3.4).

Tabell 3.4 Gjennomsnittlig fôrforbruk (gram/dag) og gjennomsnittlig dødelighet (fisk/dag) i de fem merdene på Skorpo i uken FØR eksponeringen og uken ETTER. Endringsretning og p-verdi (paret t-test) fra statistisk sammenligning (FØR-ETTER) er også angitt. Signifikansnivå er $p < 0,05$.

Merde nr	FØRFORBRUK Gj.snitt			DØDELIGHET GJ.SNITT		
	FØR	ETTER	Endring/p	FØR	ETTER	Endring/p
I	1 230 450	1 338 896	↑ 0,25	134	52	↓ 0,11
II	1 056 218	1 201 401	↑ 0,28	205	126	↓ 0,09
III	905 299	989 431	↑ 0,30	75	60	↓ 0,15
IV	922 786	1 035 811	↑ 0,44	28	16	↓ 0,16
V	1 505 799	1 663 368	↑ 0,43	7	7	○ 0,76



Figur 3.6 Daglig dødelighet (antall fisk per merd) (øverst) og forforbruk (g per merd) (nederst) i perioden 13.11.2024 til 26.11.2024. Eksponeringsdagen 20.11.24 er markert.

3.5 Patologiske undersøkelser

I forkant av hvert uttak viste fisken normal stimatferd i merden, det ble ikke observert «svimere» eller død fisk, hverken før eller etter detonasjonene. Det var en vid variasjon i lengde / vekt på samplede fisk, med kondisjonsfaktor som varierte fra 0,64 til 2,01. Imidlertid lå k-faktor i snitt fra 1,08 til 1,23 som er normalt (Noble et al. 2020). Gruppene vurderes derfor som uten vesentlige skjevheter mht. k-faktor.

Tabell 3.5 Oversikt over obduserte fisk med klinisk observasjon før uttak, antall obduserte og kondisjonsfaktor (k) for de fire uttakene. Dag 1 er prøver fra 2 dager før sprenging, dag 2 er prøver fra dagen før sprenging, dag 3 er prøver tatt umiddelbart etter sprenging og dag 4 er prøver tatt dagen etter sprenging.

Dag	Ant obduserte fisk	k-faktor snitt	Klinisk observasjon
1	25	1,23	Normal stimatferd, ingen døde/svimere
2	25	1,08	Normal stimatferd, ingen døde/svimere
3	25	1,19	Normal stimatferd, ingen døde/svimere
4	25	1,18	Normal stimatferd, ingen døde/svimere
Summert	100	1,17	Normal stimatferd, ingen døde/svimere

Etter avliving ved bedøvelse ble fisken obdusert etter vanlig prosedyre og samme prosedyre som i 2021 (Kvadsheim et al. 2022). Fokuset var på sirkulasjonsforstyrrelser som kunne indikere sprengningsskader (vedlegg B). Av ytre forandringer hadde i alt 12 fisk blødninger i bukfinne, kun en av disse (nr. 13 prøvetatt dag 3) var samlet etter sprengning, og den hadde ikke synlige blødninger i indre organer ved obduksjonen. Ved obduksjon ble det funnet indre blødninger på 3 fisk, alle samlet før sprengning (vedlegg B), og det var ikke unormale kliniske funn.

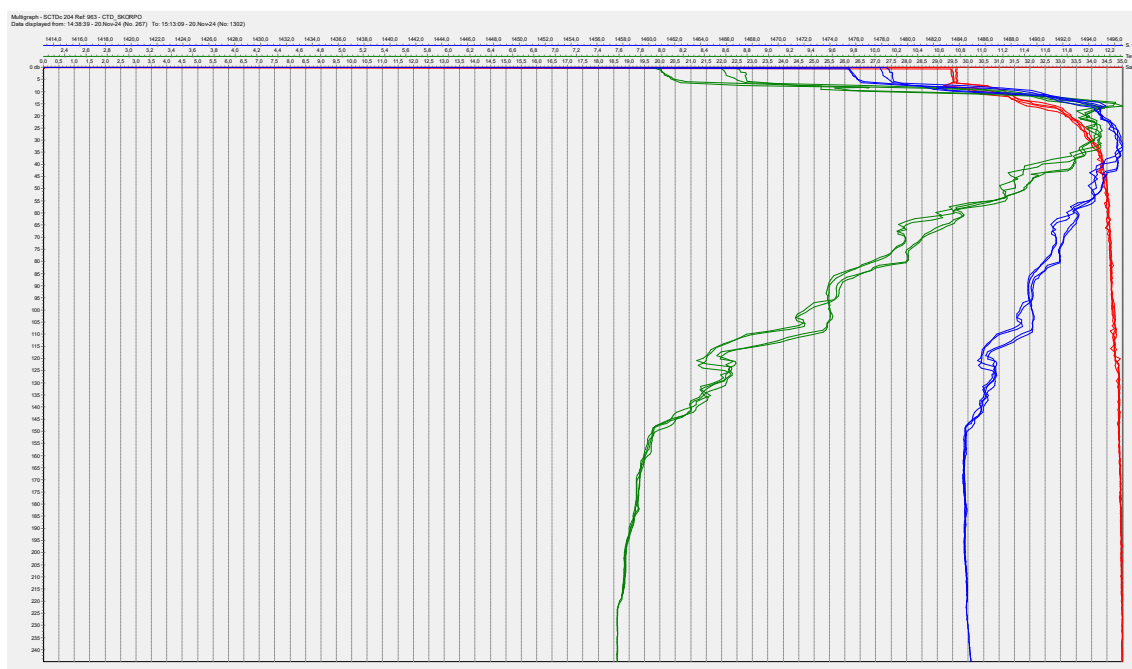
På fisk nr. 13 prøvetatt dag 3 med sirkulasjonsforstyrrelse kun i bukfinner viste histopatologi tegn på akutt blodstuvning kun i milt. Denne type sirkulasjonsforstyrrelse er ikke uvanlig å finne på fisk avlivet med bedøvingsmidler og det var liknende funn på milt fra endel fisk prøvetatt både før og etter detonasjonene.

De øvrige histopatologiske funn var i all hovedsak innenfor det en regner som vanlige funn på oppdrettet laksefisk, funn som reflekterer oppdrettsforholdene. Vaksineskader i forbindelse med bukhole-organer var hyppigste funn og det reflekterer nok at dette var forholdsvis ny-utsatt fisk injisert med vaksine i buk for ikke så lenge siden. Vaksinens adjuvans irriterer og gir granulomatøs betennelse på bukhinne og overflate av indre organer. Videre var det ofte små hyperplastiske endringer (f.eks «clubbing» av lameller) på gjeller, en vanlig forandring på oppdrettsfisk og settes i sammenheng med noe vevs-irritasjon i tette oppdrettspopulasjoner (jamfør finneslitasje på oppdrettsfisk vs. villfisk). Det var fire fisk med sparsom-moderate gjelleforandringer utover dette (se vedlegg B). Det eneste spesifikke sykdomsfunn var et tilfelle av sparsom amøbe-gjellesykdom (AGD) med en sterk betennelsescellerespons, noe som er uvanlig å finne på regnbueørret, men er vanligere på laks.

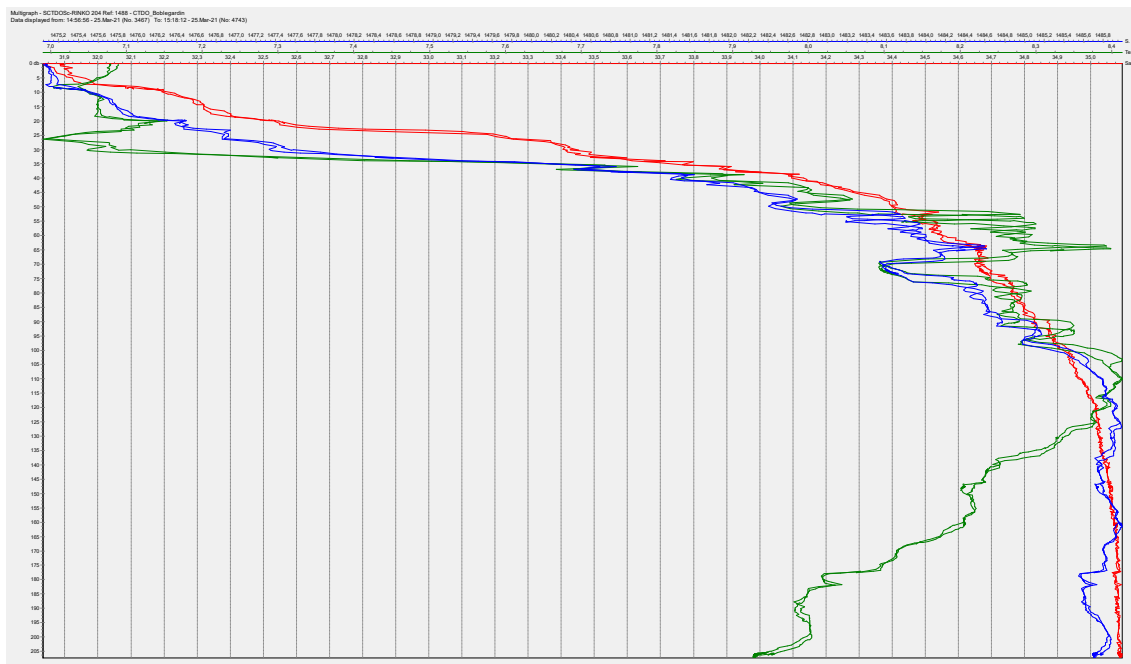
Det ble altså ikke funnet forandringer ved klinisk observasjon, obduksjon eller histopatologi som indikerer skader på de undersøkte fiskene som følge av detonasjonene i observasjonsperioden.

3.6 Lydhastighetsprofiler

Våre målte lydhastighetsprofiler fra mars 2021 og november 2024 (Figur 3.7 og 3.8) viser tilstedeværelse av en overflatekanel nær overflaten. Denne dannes av et sjikt kaldt ferskvann på overflaten. Lydkanalens utstrekning er derimot ikke vesentlig forskjellig mellom målingen i mars 2021 og målingen i november 2024. Siden lydkilden (øvingsladningen) også ligger i overflaten (5m) forventer vi derfor ingen vesentlige forskjeller i nivåene fisken ble eksponert for i de to forsøkene i mars 2021 og november 2024. Dette bekreftes også av lydmålingene som ble gjort (Tabell 3.3).

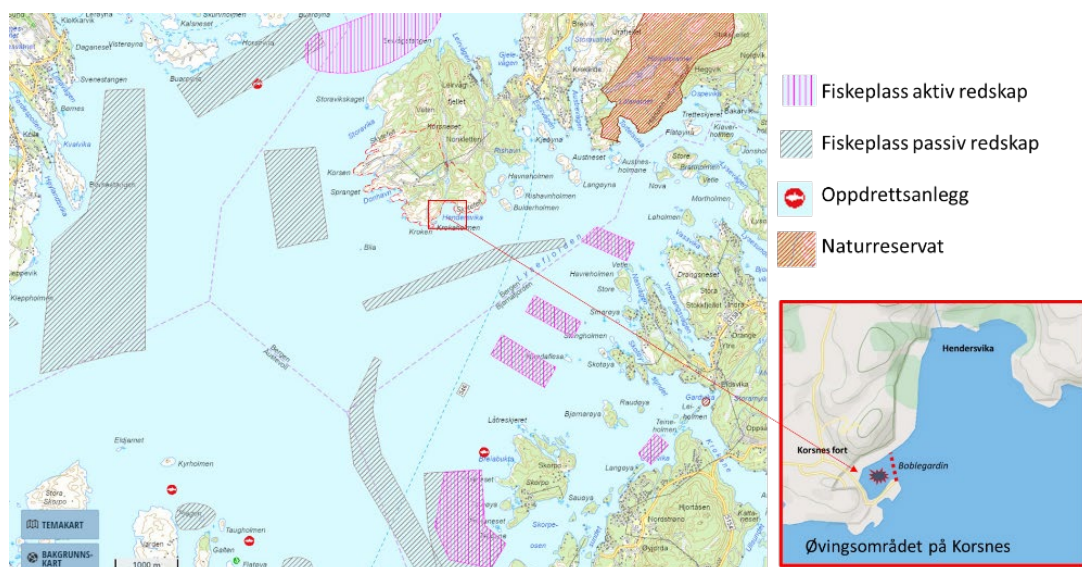


Figur 3.7 Saltholdighet (røde kurver), temperatur (grønne kurver) og lydhastighet (blå kurver) ved ulike dyp målt i 2 posisjoner langs propagasjonsbanen mellom Skorpo og Korsnes fra 0-250m dyp. Målingen er gjort 20.11.2024 kl. 15:38. Aksen for lydhastighet går fra 1414 til 1496 m/s, dybdeaksen (Y-aksen) går fra 0 til 250 m.



Figur 3.8 Saltholdighet (røde kurver), temperatur (grønne kurver) og lydshastighet (blå kurver) ved ulike dyp målt langs propagasjonsbanen mellom Skorpo og Korsnes fra 0-200m. Målingen er gjort 25.03.2021 kl. 15:55. Aksen for lydshastighet går fra 1475 til 1486 m/s, dybdeaksen (Y-aksen) går fra 0 til 205 m.

3.7 Maksimal enkeltladning



Figur 3.9 Øvingsområdet på Korsnes. Fiskeoppdrettsanlegg, fiskeplasser og naturreservat er avmerket. Kilde Kystinfo og Naturbase.

Informasjon hentet fra Kystinfo (2024) viser at det er 4 store oppdrettsanlegg i områder rundt øvingsområdet (Figur 3.9). Alle eies av Lerøy Sjøtroll (Skorpo vest, Buarøy, Kyrholmen og Flatøyflu). Det er også registrert fiskeområder for både passive og aktive redskaper i området. Oppslag i SONATE (Nordlund & Kvadsheim 2021) 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 gyteområde for kveite fra desember til mai og kysttorsk fra januar til mars, men ingen gyteområde ligger i umiddelbar nærhet av øvingsområdet på Korsnes. Oppslag i Naturbase (2024) viser at det ikke er noen marine verneområder i nærheten av øvingsområdet. Det er hekkeområder for sjøfugl i området, og flere arter av nasjonal forvaltningsmessig interesse (storskarv, tjeld, makrellterne, svartand og ærfugl) er observert i området.

Tabell 3.6 Skadesoner og skremmesoner hvor marin fauna (fisk, sjøfugl, sjøpattedyr) kan påføres direkte skade som følge av detonasjoner og kan skremmes. Vi har brukt modellen til Kjellsby & Kvalsvik (1997) med et målt skjermingstap på 17dB i området (Kvadsheim et al. 2022). Det er antatt en konservativ skadeterskel på 202 dB bredbåndet spissstrykk re 1µPa (Southall et al. 2019) og en skremmeterskel på 180 dB bredbåndet spissstrykk (Kvadsheim et al. 2020). Skade- og skremmesonen er beregnet for ulike ladningsstørrelser inntil 200kg TNT med og uten bruk av boblegardin som vil gi 20 dB ekstra dempning (Kvadsheim et al. 2022).

Ladning TNT (kg)	Skadesone uten boblegardin (m)	Skadesone med boblegardin (m)	Skremmesone uten boblegardin (m)	Skremmesone med boblegardin (m)
0,1	100	<100 ¹	1000	130
0,5	200	<100 ¹	2000	250
2,0	350	<100 ¹	3500	450
10	700	<100 ¹	>6000 ²	800
25	1000	140	>6000 ²	1300
50	1400	180	>6000 ²	1800
100	1800	250	>6000 ²	2500
200	2500	300	>6000 ²	3000

¹Skadesonen er begrenset til området innenfor boblegardinet. ²Skremmesonen er begrenset av fjordbassengets størrelse.

Dersom vi antar en konservativ skadeterskel for marin fauna på 202 dB bredbåndet spissstrykk (re 1µPa) (Southall et al. 2019) vil skadeomfanget selv ved detonasjon av de største ladningene være svært begrenset (Tabell 3.6). Boblegardin reduserer risiko for skade betydelig, men så lenge det er snakk om enkeltetonasjoner er risiko akseptabel også uten boblegardin. For fugl og sjøpattedyr som oppholder seg på overflaten vil risiko for skade kunne reduseres ved at man visuelt overvåker skadesonen og unngår å detonere så lenge dyr oppholder seg der. Skorpo vest, som er det nærmeste oppdrettsanlegget i Korsfjorden, ligger 3.7 km fra detonasjonsområdet på Korsnes. Anleggene i Korsfjorden ligger dermed utenfor den direkte skadesonen ved

detonasjoner av relevante ladninger på Korsnes (Tabell 3.6). Man må derimot også ta hensyn til risiko for indirekte skade på oppdrettsfisk som følge av skremmeeffekter (se under).

Dersom vi antar en skremmeterskel på 180 dB bredbåndet spissstrykk (re 1 μ Pa) (Kvadsheim et al. 2020), som altså tilsvarer det maksimale nivå man eksponerte fisken på Skorpo for både i denne studien og i Kvadsheim et al. (2022) uten at man fikk noen vesentlig reaksjon, vil små øvingsladninger på inntil 2 kg gi skremmeeffekter hos fisk og sjøpattedyr på 3.5 km avstand (Tabell 3.6). Dersom man bruker boblegardin gir dette 20 dB ekstra demping og skremmeeffekter vil begrenses til ca. 450 m (Tabell 3.5). Ved detonasjon av større ladninger vil skremmeeffekter kunne oppstå på mange km avstand, men så lenge det da kun er snakk om enkeltdetonasjoner med kort varighet er det ikke forventet at dette vil gi noen biologisk relevant effekt på fisk og pattedyr, og dermed forventes heller ikke noen effekt på fiskeriene. Bruk av boblegardin vil redusere omfanget av skremmeeffekter betydelig (Tabell 3.5) og bør vurderes i hvert fall om det skal settes av flere ladninger. Dersom det ikke er fisk i de nærmeste oppdrettsanleggene i Korsfjorden vil skremmeeffekter ikke gi vesentlige negative effekter på marin fauna, selv ved detonasjon av 200 kg TNT. Dersom det er fisk i anleggene kan det oppstå indirekte skade som følge av skremmeeffekter fordi oppdrettsfisk er mer sårbar enn vill fisk (Kvadsheim et al. 2020). Ved detonasjon av ladninger over 2 kg bør det brukes boblegardin for å unngå skremmeeffekter som kan føre til indirekte skade, stress eller redusert vekst på fisken i anleggene. Siden propagasjonstapet om høsten kan være vesentlig (10-15 dB) lavere enn vi har målt (Kvadsheim et al. 2022) bør man ved detonasjon av ladninger over 500 gram bruke boblegardin for å unngå skremmeeffekter på denne tiden av året (Figur 4.1). Detonasjon av de minste øvingsladningene på 100 gram er trygt selv uten boblegardin, også om høsten. Ved detonasjon av ladninger over 50 kg bør fisken i anlegget på Skorpo overvåkes, selv ved bruk av boblegardin. Slike store ladninger (>50kg) bør også settes av på så grunt vann at man får full ventilasjon mot overflaten (5 m eller grunnere), noe som demper den propagerende sjokkbølgen ytterligere (Kjellsby & Kvalsvik 1997). I tillegg bør man sikre at avstanden fra boblegardinen til ladningen er >10 m slik at den initielle boblen som dannes ved detonasjonen ikke slår gjennom boblegardinet (Kjellsby & Kvalsvik 1997).

4 Diskusjon

4.1 Effekten av normal øvingsaktivitet på oppdrettsfisk

Denne studien er i utgangspunktet en replikasjon av studien fra 2021 (Kvadsheim et al. 2022). I 2021 økte man ladningen og dermed eksponeringsnivå gradvis og hensikten med oppfølgingsstudien var å gjenta de høyeste nivåene man brukte i 2021 for å undersøke om patologiske funn i 2021 er reelle effekter av sprengingene i øvingsområdet eller skyldes andre forhold som prøvetakingsartefakter (Kvadsheim et al. 2022). I denne studien brukte vi maksimal ladning under normal øvingsaktivitet (2kg TNT) og det ble ikke brukt boblegardin. Fisken ble utsatt for samme lydnivå 5 ganger i løpet av en dag. Denne eksponeringen representerer den høyeste belastningen normal øvingsaktivitet på Korsnes vil kunne gi. Hydrofonmålingene bekrefter at de maksimale nivåene fisken ble eksponert for i 2021 var sammenlignbare med nivåene vi eksponerte fisken for i denne studien, men vi brukte altså 5 skudd med samme høye nivå, mens man i 2021 bare eksponerte fisken for 2 skudd med det høyeste nivået.

Det ble i denne studien ikke observert noen stressreaksjon eller vedvarende atferdsendringer hos fisken under eksponeringen til lydimpulsene fra detonasjonene i noen av merdene på Skorpo. Fôrforbruk og dødelighet endret seg ikke signifikant. Det ble ikke funnet forandringer ved klinisk observasjon, obduksjon eller histopatologi som indikerer skader på de undersøkte fiskene som følge av detonasjonene i observasjonsperioden. De patologiske funnene fra 2021 må dermed anses som artefakter som sannsynligvis oppsto under prøvetakingen, for eksempel ved at fisken ikke ble tilstrekkelig oksygenert under transport (Kvadsheim et al. 2022). Denne konklusjonen forsterkes av at 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). Sannsynligheten for at noe har skjedd i forbindelse med det ene uttaket av fisk i 2021 underbygges også ved at kortisolnivået i både plasma og faeces var tilbake til normalen i fisken som ble prøvetatt ett døgn senere (Kvadsheim et al. 2022). 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. Ikke noe av dette ble observert i studien fra 2021 (Kvadsheim et al. 2022). Observasjonene fra denne studien hvor det ikke ble påvist noen patologiske skader på fisken som følge av detonasjonene ved sammenlignbare belastninger innebærer at vi må konkludere med at de skadene som ble avdekket i forbindelse med de patologiske undersøkelsene i 2021 ikke skyldes detonasjonene.

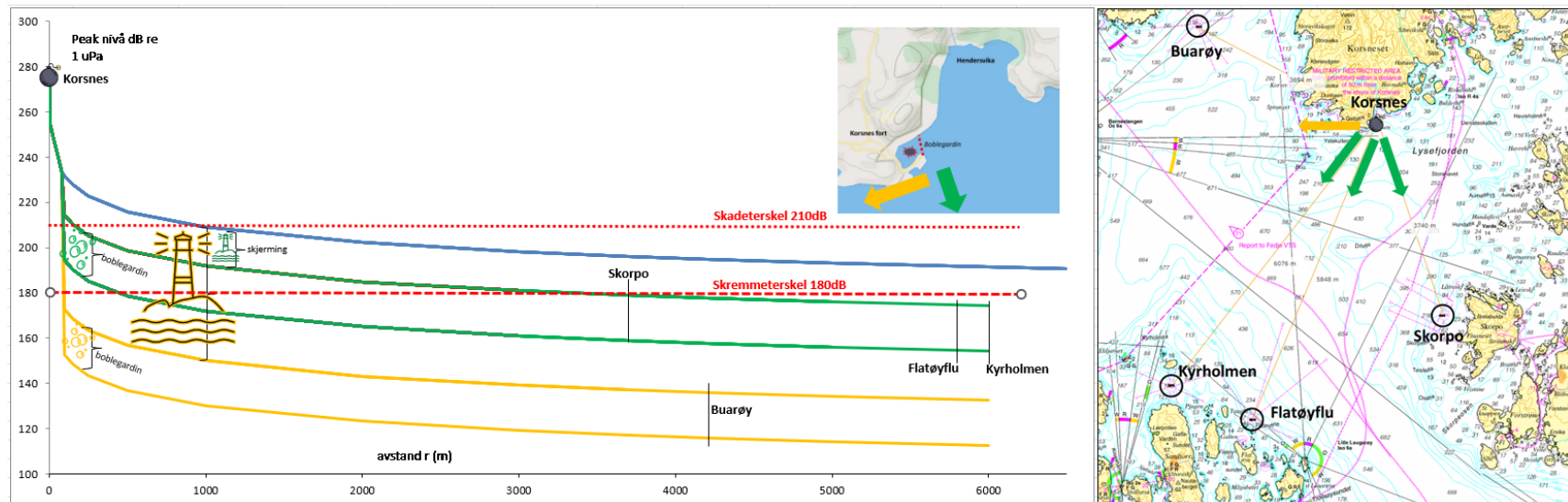
Normal øvingsaktivitet på Korsnes, med detonasjon av inntil 2kg TNT inntil 5 ganger daglig, ser ikke ut til å gi negative effekter på fisken i merdene i Korsfjorden. Samlet sett innebærer denne studien og studien fra 2021 (Kvadsheim et al. 2022) at vi ikke ser tegn til skade (patologiske effekter), unormale atferdsendringer, endringer i dødelighet eller fôrforbruk hos hverken laks eller ørret i merdene på Skorpo vest som ligger nærmest øvingsområdet på

Korsnes. Det er dermed heller ikke forventet noen effekt på de øvrige anleggene som ligger lenger fra øvingsområdet.

Hensikten med denne studien var også å validere modellberegningene fra Kvadsheim et al. (2022) som tilsier at lydtrykket fra sprenginger i øvingsområdet vil være 10-15 dB høyere på Skorpo på høsten (august-oktober) sammenlignet med det som ble målt i mars 2021. En slik validering burde basere seg på sammenligning av lydtrykksmålinger gjennomført i august-oktober med målingene som ble gjennomført i mars (Kvadsheim et al. 2022). Planen var å gjennomføre eksperimentet i denne studien i september 2023, men da var det sykdom i merdene på Skorpo. Senere ble anlegget brakklagt og først i september 2024 ble det satt ut ny fisk. Vi fikk dermed ikke gjennomført studien innenfor det foretrukne tidsvinduet august-oktober og en fullverdig modellvalidering er derfor ikke mulig.

Basert på modelleringen av variasjoner i propagasjonstap gjennom året mellom Korsnes og Skorpo kunne man forventet at propagasjonstapet ville være ca 5 dB lavere i november sammenlignet med mars (Kvadsheim et al. 2022). Denne modellen brukte lydshastighets-profiler hentet fra oseanografiske modeller av norskekysten levert av Meteorologisk Institutt. Disse viser forventet tilstedeværelse av en overflatekanal både i mars og i november, men i november var lydkanalen vesentlig bredere (Figur 2.11 i Kvadsheim et al. 2022) slik at lavfrekvent lydenergi kan propagere med mindre demping mellom lydkilde og mottaker nær overflaten. Våre målte lydshastighetsprofiler fra mars 2021 og november 2024 (Figur 3.7 og 3.8) viser derimot at lydkanalens utstrekning ikke er vesentlig forskjellig mellom målingen i mars 2021 og målingen i november 2024. Siden lydkilden (øvingsladningen) også ligger i overflaten (5 m) ville vi derfor ikke forvente vesentlige forskjeller i nivåene fisken ble eksponert for i de to forsøkene i mars 2021 og november 2024. Dette bekreftes også av lydmålingene som ble gjort (Tabell 3.3). Selv om modellen i Kvadsheim et al. (2022) ikke ga nøyaktig estimat av forventet propagasjonstap mellom mars og november, vil oseanografiske forhold kunne variere fra år til år. I utforming av instruks for bruk av øvingsområdet må man fortsatt ta utgangspunkt i at propagasjonstapet mellom Korsnes og oppdrettsanleggene i Korsfjorden på høsten (august-november) vil kunne være vesentlig lavere enn andre tider på året.

Med bakgrunn i studien fra 2021 og denne oppfølgingsstudien anbefaler vi å holde bredbåndet spisstrykk under 180 dB (re1 μ Pa) i merdene på Skorpo ved gjentatte skudd samme dag. Spisstrykket i fiskens høreområde (10-500 Hz) bør ligge under 170 dB (re1 μ Pa), lydeksponeringsnivå (SEL) i samme bånd bør holdes under 150 dB (re 1 μ Pa²·s). Dette innebærer at normal øvingsaktivitet kan gjennomføres, men ved ladninger over 500 gram anbefales det å bruke boblegardinet som sperrer av øvingsområdet, og demper sjokkbølgen, spesielt på høsten (august-november) når propagasjonstapet kan være lavere på grunn av oseanografiske forhold (Figur 4.1). Detonasjon av de minste øvingsladningene på 100 gram er trygt selv uten boblegardin, også om høsten.



Figur 4.1 Bredbåndet spisstrykk som funksjon av avstand ved detonasjon av 2 kg TNT i øvingsområdet på Korsnes. Propagasjon av sjokkbølgen fra Øvingsområdet ut i fjorden dempes av land, men i ulik grad i ulike retninger. Det er her antatt 17 dB dempning sørover basert på in situ målinger (Kvadsheim et al. 2022 og denne studien) og 59 dB dempning vestover basert på Kjellsby & Kvalsvik (1997). Boblegardinet som sperrer av området gir ytterligere 20 dB dempning (Kvadsheim et al. 2022). Blå kurve viser teoretisk forløp i fritt felt uten dempning basert på Kjellsby & Kvalsvik (1997). Grønne kurver viser forløp i sørlig og østlig retning og oransje kurver viser forløp i vestlig og nordlig retning, med og uten bruk av boblegardin. Posisjonen til de fire oppdrettsanleggene (Buarøy, Kyrholmen, Flatøyflu og Skorpo) er indikert langs relevant propagasjonsbane. Antatt skadeterskel for smolt på 210 dB (rød linje) basert på Dalen et al. 2009, og skremmerskel på 180 dB (stiplet rød linje) basert på Kvadsheim et al. 2022 og denne studien, er også vist. Figuren viser at ved normal øvingsaktivitet på Korsnes, med detonasjoner av inntil 2 kg TNT, vil det ikke være noe risiko for direkte skade på fisken i noen av anleggene. Risiko for skremmeeffekter som vil kunne gi indirekte skade er også liten, men siden propagasjonstapet kan være 10-15 dB lavere i august-oktober (Kvadsheim et al. 2022) anbefales det å bruke boblegardin i denne perioden. Detonasjon av de minste ladningene på 100 gram vil gi 14 dB lavere spisstrykk (Kvadsheim et al. 2022) og det er derfor ikke nødvendig med boblegardin, heller ikke på høsten.

4.2 Maksimal enkeltladning

Forsvaret har uttrykt ønske om å bruke øvingsområdet på Korsnes til å demolere krigsetterlatenskaper som eventuelt kan flyttes inn i øvingsområdet. Forsvaret har en rammetillatelse fra Miljødirektoratet for å kunne gjennomføre denne type operasjoner, og denne tillatelsen setter en del krav til hva slags vurderinger som skal gjøres i forkant. Øvingsområdet ligger gunstig til fordi det er godt skjermet mot fjorden, og man kan også bruke boblegardin for å dempe sjokkbølgen ytterligere dersom det er behov for det (Figur 4.1). Øvingsområdet på Korsnes vil dermed oppfylle mange av de kravene som settes til slike demoleringsoperasjoner.

Vi har gjort en vurdering av hvilken maksimal enkeltladning man kan demolere i øvingsområdet uten at det gir vesentlige miljøeffekter eller effekter på omkringliggende oppdrettsanlegg. Det er tatt hensyn til både mulige skadeeffekter og skremmeeffekter på både vill marin fauna og oppdrettsfisk. Ved bruk av konservative terskler for både skade og skremmeeffekter viser våre beregninger at maksimale enkeltladninger på inntil 200 kg kan detoneres i øvingsområdet, uten vesentlige negative miljøeffekter, men dersom det er fisk i merdene i Korsfjorden anbefales det å bruke boblegardin for å dempe sjokkbølgen.

Usikkerheten i slike beregninger er først og fremst den terskelen man bruker for ulike effekter (skade og skremmeeffekter). I denne studien har man valgt å bruke generiske terskler for skade på fisk og pattedyr, men man bruker da konservative terskler som tar hensyn til de mest sårbare artene (niser, Southall et al. 2019). I realiteten vil effektsonene for de fleste arter av fisk og pattedyr være mindre. Siden enkeltdetonasjoner er svært kortvarige støyhendelser forventes de ikke å gi biologiske relevante skremmeeffekter på frittlevende marin fauna. Oppdrettsfisk som blir skremt vil derimot kunne påføres indirekte skade, og derfor har man brukt de tersklene for skremmeeffekter på oppdrettsfisk som er etablert i denne studien og i studien fra 2021 (Kvadsheim et al. 2022).

Det er selvsagt også usikkerhet knyttet til hvordan sjokkbølgene fra detonasjonene på Korsnes forplanter seg ut i Korsfjorden. Usikkerheten her er derimot liten fordi man bruker empiriske verdier for dempningsstap som er målt *in situ*. Tilsvarende har vi også brukt empiriske dempningsfaktorer for boblegardinet målt *in situ* (Kvadsheim et al. 2022).

4.3 Konklusjon og anbefalinger

Ut fra det samlede datasettet i denne studien og Kvadsheim et al. 2021 gir vi følgende anbefalinger for bruk av øvingsområdet på Korsnes:

- Vi anbefaler å holde spisstrykkverdiene på Skorpo under 170 dB (re1μPa) i fiskens høreområde 10-500 Hz (180dB bredbåndet spisstrykk) ved gjentatte skudd samme dag, lydeksponeringsnivå i samme bånd bør holdes under 150dB (re 1μPa2·s).

-
-
- Normal øvingsaktivitet med inntil 5 detonasjoner pr dag med ladninger på inntil 2 kg forventes ikke å påvirke fisken i omkringliggende oppdrettsanlegg. Det anbefales likevel at man bruker boblegardin som sperrer av øvingsområdet, og demper sjokkbølgen, spesielt på høsten (august-november) når propagasjonstapet kan være lavere på grunn av oseanografiske forhold. Detonasjon av de minste øvingsladningene på 100 gram kan gjennomføres uten boblegardin, også om høsten.
 - Enkeltladninger på inntil 200 kg kan detoneres i øvingsområdet, uten vesentlige negative miljøeffekter. Risiko for skade på fugl og sjøpattedyr som oppholder seg på overflaten vil kunne reduseres ved at man visuelt overvåker skadesonen (Tabell 3.6) og unngår å detonere så lenge dyr oppholder seg der. Dersom det er fisk i merdene i Korsfjorden anbefales det å bruke boblegardin for å dempe sjokkbølgen ved detonasjon av ladninger på over 500 gram. Ved detonasjon av ladninger over 50 kg bør fisken i anlegget på Skorpo overvåkes, selv ved bruk av boblegardin. Slike store ladninger (>50kg) bør også settes av på så grunt vann at man får full ventilasjon mot overflaten (5 meter eller grunnere), noe som demper den propagerende sjokkbølgen ytterligere. I tillegg bør man sikre at avstanden fra boblegardinen til ladningen er over 10 meter slik at den initielle boblen som dannes ved detonasjonen ikke slår gjennom boblegardinet.

Referanser

- 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 Kvadsheim, 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.
- Kjellsby E (1993). *Akustisk eksponering av fisk ved undervannssprengninger*. (FFI rapport 93/2004) Kjeller: Forsvarets forskningsinstitutt,
[https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/Akustisk eksponering av fisk ved undervannssprengninger](https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/Akustisk%20eksponering%20av%20fisk%20ved%20undervannssprengninger)
- Kjellsby E & K Kvalsvik (1997). *Begrensning av skade på marin fauna ved undervannssprengninger*. (FFI rapport 97/04847) Kjeller: Forsvarets Forskningsinstitutt,
[https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/Begrensning av skade på marin fauna ved undervannssprengninger](https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/Begrensning%20av%20skade%20p%C3%A5%20marin%20fauna%20ved%20undervannssprengninger)
- Kvadsheim PH, Forland TN, de Jong K, Nyqvist D, Grimsbø E, Sivle LD (2020). *Effekter av støyforurensning på havmiljø - kunnskapsstatus og forvaltningsrådgiving*. (FFI rapport 2020/01015) Kjeller: Forsvarets forskningsinstitutt,
[https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/effekter av støyforurensning på havmiljø - kunnskapsstatus og forvaltningsrådgiving](https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/effekter%20av%20st%C3%B8yforurensning%20p%C3%A5%20havmilj%C3%B8%20-%20kunnskapsstatus%20og%20forvaltningsr%C3%A5dgiving)
- Kvadsheim PH, AA Søvik, E Rokke, ML Kolstrup, TN Forland, G Pedersen, E Grimsbø, OB Dale, Y Cao, A Stene, M Smedsrud (2022). *Risiko for skade på laksefisk i omkringliggende oppdrettsanlegg ved etablering av undervanns- skytefelt på Korsnes Fort*. (FFI rapport 22/00814) Kjeller: Forsvarets forskningsinstitutt,
[https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/risiko for skade på laksefisk i omkringliggende oppdrettsanlegg ved etablering av undervanns- skytefelt på Korsnes Fort](https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/risiko%20for%20skade%20p%C3%A5%20laksefisk%20i%20omkringliggende%20oppdrettsanlegg%20ved%20etablering%20av%20undervanns-%20skyttefelt%20p%C3%A5%20Korsnes%20Fort)
- Kystinfo (2024) Kystverket <https://kart.kystverket.no/>
- Naturbase (2024) Miljødirektoratet <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/naturbase/>

-
-
- Noble C, Gismervik K, Iversen MH, Kolarevic J, Nilsson J, Stien LH & Turnbull JF (red.) (2020). Velferdsindikatorer for regnbueørret i oppdrett: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd 309 pp. ISBN 978-82-8296-638-2. <https://nofima.no/wp-content/uploads/2020/05/Velferdsindikatorer-for-regnbueørret-i-oppdrett-Noble-mfl.-2020.pdf>
- Nordlund N & PH Kvadsheim (2021) *SONATE 2020 – a decision aid tool to mitigate the impact of naval sonar operations on marine life*. (FFI rapport 20/03130) Kjeller: Forsvarets forskningsinstitutt, [https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/SONATE 2020 – a decision aid tool to mitigate the impact of naval sonar operations on marine life](https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/SONATE%2020%20%E2%80%93%20a%20decision%20aid%20tool%20to%20mitigate%20the%20impact%20of%20naval%20sonar%20operations%20on%20marine%20life)
- Popper A & AD Hawkins (2019). An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. *J. Fish Biol.* 94:692–713. [https://onlinelibrary.wiley.com/DOI: 10.1111/jfb.13948](https://onlinelibrary.wiley.com/DOI:10.1111/jfb.13948)
- 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 Journal* 45(2), 125-232, [DOI 10.1578/AM.45.2.2019.125](https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125).
- Tobias (2025). [GitHub - tmosr/nReadDataq: Matlab function to import dataq files without directx](https://github.com/tmosr/nReadDataq). <https://github.com/tmosr/nReadDataq>
- 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*

Vedlegg

A Måleplan



FFI Forsvarets
forskningsinstitutt



Veterinærinstituttet
Norwegian Veterinary Institute



FORSVARSBYGG



Oppfølgingsstudie av effekter av Forsvarets øvingsaktivitet på oppdrettslaks i Korsfjorden

Oppdatert 12.11.2024

Målsetning:

For å lukke usikkerheter knyttet til prøvetakning relatert til funn av sirkulasjonsforstyrrelser og blødninger anbefales gjennomføringen av et oppfølgingsstudie. Oppfølgingsstudiet har følgende målsetning:

1. Undersøke om patologiske funn i 2021 (Kvadsheim et al. 2022) skyldes en prøvetakingsartefakt eller er reelle effekter av sprengingene i øvingsområdet.
2. Validere modellberegningene som tilsier at lydtrykket fra sprenginger i øvingsområdet vil være 10-15dB høyere på Skorpo i september sammenlignet med det som ble målt i mars 2021.
3. Gjøre en vurdering av hvilke maksimale enkeltladning som kan detoneres i øvingsområdet uten at man risikerer negative effekter på nærliggende oppdrettsanlegg.

Måleplan:

For å adressere målsetning 1 må man gjenta de sprengingene som ga maksimale lydtrykk under eksperimentene i 2021 og ta ut fisk for patologiske undersøkelser før og etter eksponeringen.

Lerøy startet utsett av ørret i merdene på Skorpo i begynnelsen av august, med siste utsett i begynnelsen av oktober. Fisken i merdene er nå (1 uke før) fra ca 200g i merde 5, ca 350g i merde 3 og 4 til ca 750g i merde 1 og 2. I 2021 var fisken 100-250g da vi gjennomførte eksperimentet (Kvadsheim et al. 2021) og vi fokuserer derfor prøveuttaket på merde 5 hvor fiske er omtrent samme størrelse. Merde 5 ligger også nærmest Korsnes. Målingene er

planlagt til uke 47, men dette er avhengig av en god og stabil fiskehelsesituasjon i merdene. En uke før eksperimentet var situasjonen i merde 5 god med lav dødelighet (10-20 fisk/dag). I merde 1 og 2 var dødeligheten noe høyere.

Måleprogram ifm oppfølgingsstudiet i Korsfjorden

Måling	FØR							UNDER (uke 47)					ETTER							Sted /Ansv
	man	tirs	ons	tors	fre	lør	søn	man	tirs	ons	tors	fre	lør	søn	man	tirs	ons	tors	fre	
1.Skudd										*****										Korsnes / FB
2.Dødelighet																				Skorpo / LS
3.Fôropptak																				Skorpo / LS
4.Kamera																				Skorpo / FFI, LS
5.Hydrofon																				Skorpo / FFI
6.Patologi								25 fisk kontroll	25 fisk kontroll	25 fisk ekspon.	25 fisk ekspon.									Skorpo, Bergen / VI, LS

FB = Forsvarsbygg, LS = Lerøy Sjøtroll, VI = Veterinærinstituttet, UiT = Universitetet i Tromsø

1. 5 skudd å 2kg TNT uten boblegardin på 5m dyp med 1 times mellomrom i samme skuddposisjon som i 2021. Ansvarlig FB/Forsvaret
2. Data for daglig dødelighet i merdene på Skorpo registrert 1 uke før – 1 uke etter skudd. Ansvarlig er LS
3. Data for daglig fôrforbruk i merdene på Skorpo registrert 1 uke før – 1 uke etter skudd. Ansvarlig er LS
4. Kameradata fra merdene på Skorpo 1min før – 1 min etter hvert skudd. Ansvarlig FFI sammen med LS.
5. Kalibrerte hydrofonmålinger av hvert skudd (1 min før – 1 min etter) foretatt på 20m dyp fra merdekanten på Skorpo. Lydhastighetsprofiler i tre posisjoner mellom Skorpo og Korsnes. Ansvarlig er FFI
6. 25 fisk håves fra merd 5 på Skorpo (randomisert uttak) to dager før-, dagen før-, etter siste skudd på skuddagen og dagen etter-. Fisken avlives med overdose Benzoak. Makrospiske undersøkelser gjøres på stedet (Skorpo) av personell fra VI i samarbeid med fiskehelsepersonell fra LS. Prøver til videre histopatologisk undersøkelse tas med til VI i Bergen som gjør full patologisk undersøkelse med samme protokoll som i 2021. Ansvarlig for prøvetaking er LS i samarbeid med VI og ansvarlig for patologisk undersøkelse er VI.

Tidsskjema for eksperimentuken

- **Mandag 18.nov – 10:00** Uttak av 25 fisk fra merde 5 for feltpatologisk undersøkelse (VI og LS). LS paxer personell fra VI til Skorpo. Oppmøte ved Ved Samba Marin AS kl 0900 (Røtingavegen 1, Lepsøy).

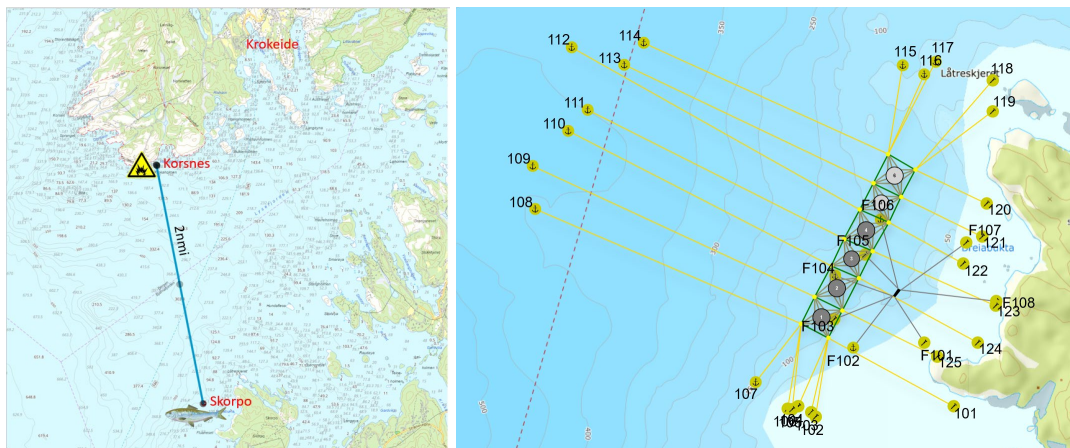
-
- **Tirsdag 19.nov – 10:00** Uttak av 25 fisk fra merde 5 for feltpatologisk undersøkelse (VI og LS). LS paxer personell fra VI til Skorpo. Oppmøte ved Ved Samba Marin AS kl 0900 (Røtingavegen 1, Lepsøy).
 - **Onsdag 20.nov – 08:00** Forsvaret står for Båtransport fra Krokeide (Korsnesvegen) til Skorpo (FB 1 pax, FFI 2 pax, VI 2 pax, UiT 1 pax).
 - 09:00 Ankomst Skorpo, forbered hydrofonmålinger
 - 10:00 Skudd 1 – 2kg TNT 5m dyp uten boblegardin (Forsvaret)
 - 11:00 Skudd 2 - 2kg TNT 5m dyp uten boblegardin (Forsvaret)
 - 12:00 Skudd 3 - 2kg TNT 5m dyp uten boblegardin (Forsvaret)
 - 13:00 Skudd 4 - 2kg TNT 5m dyp uten boblegardin (Forsvaret)
 - 14:00 Skudd 5 - 2kg TNT 5m dyp uten boblegardin (Forsvaret)
 - 14:30 LS paxer personell fra VI til Skorpo (oppmøte ved Samba Marin AS på Lepsøy)
 - 15:00 Uttak av 25 fisk fra merde 5 for feltpatologisk undersøkelse (VI og LS)
 - 16:00 Båtransport fra Skorpo-Krokeide (4 pax fra FB, FFI, UiT). CTD i 3 posisjoner mellom Skorpo og Korsnes.
 - VI personell befordres av Lerøy når de er ferdige med prøvetakingen.
 - **Torsdag 21.nov – 10:00** Uttak av 25 fisk fra merde 5 for feltpatologisk undersøkelse (VI og LS). LS paxer personell fra VI til Skorpo. Oppmøte ved Ved Samba Marin AS kl 0900 (Røtingavegen 1, Lepsøy).

Hydrofonmålinger og lydhastighetsprofiler:

Ut fra målingene i 2021 forventet man et maks spisstrykk på 200dB (re 1μPa) på Skorpo når man detonerer 2kg TNT uten boblegardin. Det er da tatt hensyn til at propagasjonstapet på høsten er forventet å være lavere enn på våren. Nivåene ble målt på 10 og 30m dyp og viste stort sett samme nivå, kanskje litt høyere på 10m.

Hydrofonmålinger gjøres i år med Bruel & Kjaer 8104 hydrofoner koblet til en Nexus forsterker. Signalet tas inn på en laptop med eksternt lydkort. Målingene foretas på 5 og 10m dyp fra foringsfåten (290m sør-øst for merde 5). Samplefrekvensen settes til 20 kHz, forsterkningen på hydrofonene settes slik at signalet ikke klippes ved 200dB. Opptak gjøres 1min før til 1min etter hvert skudd.

Lydhastighetsprofiler måles i tre posisjoner mellom Skorpo og Korsnes til 200m med en Saiv CTD.



Dyrevelferd:

Mattilsynet har godkjent måleplan for dyreforsøket og gitt tillatelse til å gjennomføre forsøket (23/78986). Fiskens atferd overvåkes før under og etter sprengingene. Etter hvert skudd foretar fiskehelseansvarlig hos Lerøy Sjøtroll og dyrevelferdsansvarlig for eksperimentet fra FFI en vurdering av fiskens reaksjon og fiskehelse. Begge må godkjenne at skuddprogrammet skal fortsette. Forutsetninger for gjennomføring av måleprogrammet er:

- Lerøy må godkjenne måleplanen i forkant
- Det må være frisk fisk i anlegget på Skorpo
- Ut fra fiskens reaksjon vurderer fiskehelseansvarlig hos Lerøy og dyrevelferdsansvarlig for eksperimentet fra FFI etter hvert skudd at det er dyrevelferdsmessig ansvarlig å fortsette måleprogrammet. Det er en fordel om fiskehelseansvarlig for Skorpo kan være tilstede på Skorpo eksponeringsdagen (20.nov).
- Panikkatferd som vil medføre risiko for indirekte skade er humant endepunkt. Dersom dette inntreffer vil man enten redusere ladningsstørrelse eller stanse forsøket.

Involvert personell

Petter Kvadsheim	FFI	Prosjektansvarlig, tillatelseshaver, fiskehelseansvarlig, feltdeltaker
Jon Kjøll	FFI	Ansvarlig for hydrofonmålinger, feltdeltaker
Endre Grimsbø	UiT	POC UiT. Feltdeltaker
Morten Smedsrud	FB	POC mot Forsvaret, prosjekteier. Feltdeltaker
Ole-Bendik Dale	VI	POC VI, ansvarlig for patologiske undersøkelser
Lisa Øvredal	VI	1-2 Ingeniører fra VI, feltdeltakere
Hildebjørg Åsvang	LS	POC LS, Produksjonssjef Lerøy Sjøtroll.
Øyvind Gjøvåg	LS	Driftsleder Skorpo
Magnus Lian	LS	Fiskehelsesjef
Caroline da Silva Nylund	LS	Fiskehelseansvarlig Skorpo, feltdeltaker
Hannah Storum	LS	Teamansvarlig Skorpo, feltdeltaker

Referanser

Kvadsheim PH, AA Søvik, E Rokke, ML Kolstrup, TN Forland, G Pedersen, E Grimsbø, OB Dale, Y Cao, A Stene, M Smedsrud (2022). Risiko for skade på laksefisk i omkringliggende oppdrettsanlegg ved etablering av undervannsskytefelt på Korsnes Fort. [FFI rapport 22/00814](#)

B Oversikt patologiske undersøkelser

Tabell B.1 Oversikt funn klinikk, obduksjon og histopatologi

				Ytre	Indre				Obduksjon - funn	Histopatologi funn
				Blødninger	Sirk. forstyrrelser	Blødninger	Ruptur svømmeblære	Ruptur forkammer hjerte		
Dag nr	Fisk	Vekt	Lengde							
1	1	270	28,0						spilt halerinne + brystfime	Bukhule: vaksineskader. Muskel: få deg hvite fibre
1	2	250	28,5	bukfime					spilt halerinne	Gjelle: sp clubbing dominert av silmceller. Bukhule: vaksineskader.
1	3	360	29,0	bukfime						
1	4	410	30,0							Gjelle: sp clubbing
1	5	320	28,0	bukfime					spilt halerinne	Hud/Muskel: preparat mangler
1	6	300	29,5						spilt halerinne	Gjelle: enkelte små synechier. Hjerte: fokal celleinfiltrasjon endotel
1	7	260	28,0							Gjelle: enkelte små synechier,liten blodning Malpighiske epitel
1	8	280	28,0						spilt halerinne, noen bleke part gjeller	Gjelle: betennelse filament ifbm små lamellblodninger
1	9	360	31,0						lite sår v/bukfime, katarakt, spilt halerinne	Gjelle: sp clubbing dominert av silmceller. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader
1	10	260	28,0							
1	11	100	25,0						spilt ryggfime, katarakt	Gjelle: sv sp epithelhyperplasi. Milt: akutt stuvning (agonal)
1	12	230	27,0						spilt halerinne	Gjelle: sv sp epithelhyperplasi. Milt: akutt stuvning (agonal)
1	13	200	26,0							
1	14	120	25,0						katarakt	Gjelle: enkelte telangiektasier. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader.
1	15	260	26,0							Gjelle: sp clubbing
1	16	360	29,0						katarakt	Gjelle: få filament-deformiteter
1	17	320	28,0							Gjelle: sp multifokal subepitelial lamell-betennelse
1	18	330	30,0						katarakt, spilt halerinne	Gjelle: sp clubbing. Lever: en fokal celleinfiltrasjon
1	19	350	30,0	bukfime					spilt halerinne	Gjelle: få filament-deformiteter. Lever: fokal celleinfiltrasjon (cuffing)
1	20	260	29,0						katarakt	
1	21	340	29,5	bukfime						
1	22	310	29,5						slitt ryggfime	Gjelle: clubbing med små lamellblodninger. Lever: fokal celleinfiltrasjon (cuffing)
1	23	325	30,0	bukfime						Gjelle: sp generell stuvning
1	24	310	29,0							Gjelle: enkelte små synechier.Bukhule: vaksineskader.
1	25	300	29,0	bukfime					spilt ryggfime, blodig væske i svømmeblære	Gjelle: sp clubbing dominert av silmceller. Bukhule: vaksineskader. Svømmeblære: noe blod i lumen, biarevegg u anm
2	1	290	29,0							Gjelle: sp clubbing. Bukhule: vaksineskader.
2	2	300	28,5						spilt halerinne	Gjelle: endel synechier - små segmentale sammenvoksninger. Bukhule: vaksineskader.
2	3	290	27,0							Bukhule: vaksineskader.
2	4	280	28,0						spilt halerinne og ryggfime	Gjelle: sp clubbing. Bukhule: vaksineskader.
2	5	270	27,0							Bukhule: vaksineskader.
2	6	290	28,0	bukfime						Gjelle: fokal, mod epitel/silmcellehyperplasi. Muskel: få hvite deg muskelfibre.
2	7	450	32,0	bukfime		Svømmeblære			katarakt, slitt ryggfime, blodig væske i svømmeblære	Gjelle: Enkelte filament-deformiteter og litt epithelhyperplasi. Milt ikke med i snitt
2	8	270	26,0							Gjelle: få filament-deformiteter, segmental epithelhyperplasi m/mulig amøbe. Bukhule: vaksineskader. Hud/muskel ikke med.
2	9	130	22,0							Gjelle: få små synechier. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader.
2	10	110	24,0			Pylorus			Katarakt	Gjelle: få små synechier. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader.
2	11	90	23,0							Gjelle: Clubbing, synchie med MRC-hyperplasi. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader, økt ant MMF (NML)
2	12	80	21,0						slitt ryggfime	Gjelle: få små synechier. Milt: sp akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader.
2	13	310	30,0							Gjelle: Clubbing, en liten synchie med kloridelle-hyperplasi
2	14	120	23,0							Gjelle: sp clubbing. Bukhule: vaksineskader. Muskel: vakuolisering i rød muskel.
2	15	240	27,5	bukfime					Katarakt	Gjelle: sp clubbing. Lever mangler.
2	16	60	20,0							Gjelle: mod fokal epithelhyperplasi - sp bet/nekrose. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader, økt ant MMF (NML)
2	17	350	30,0							Gjelle: sv sp fokal epithelhyperplasi. Bukhule: vaksineskader.
2	18	100	23,0							Gjelle: sp clubbing. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader.
2	19	300	29,5						Katarakt	Gjelle: sp clubbing med silmceller, en karskade. Muskel: sp ant nek/deg hvite fibre
2	20	110	24,0						spilt halerinne	Gjelle: sv fokal epithelhyperplasi med sv sp betennelse. Bukhule: vaksineskader. Muskel: vakuolisering i rød muskel.
2	21	330	31,0	bukfime						
2	22	100	22,0			Pylorus				Gjelle: sv sp AGD med betennelseceller. Bukhule: vaksineskader. Nyre-milt-lever: økt ant MMF
2	23	80	22,0							Gjelle: sp clubbing. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader.
2	24	70	21,0							Gjelle: utt stuvning filamenter, synechier m/subep-bet. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader, økt ant MMF (NML)
2	25	60	20,0							Gjelle: En segmental sammenvoksning/betennelse med hemosiderin. Bukhule: vaksineskader. Nyre-milt-lever: økt ant MMF
3	1	250	28,0							Gjelle: sp clubbing dominert av silmceller.
3	2	280	29,0						spilt ryggfime	Gjelle: sp clubbing. Hjerte, nyre, milt prep mangler.
3	3	350	30,0							Gjelle: sp clubbing dominert av silmceller. Bukhule: vaksineskader.
3	4	280	28,5						spilt ryggfime, halefime, brystfime	Gjelle: sp clubbing dominert av silmceller. Bukhule: vaksineskader.
3	5	350	29,0							Gjelle: sp clubbing. Bukhule: vaksineskader.
3	6	370	31,0						spilt ryggfime	Gjelle: sp clubbing dominert av silmceller.
3	7	360	31,0							Gjelle: to filament utt bet/sirk-forst, nabofilamenter utt telangiektasi, øvrige gjelle (mesteparten) u anm
3	8	340	30,5							Gjelle: sp clubbing. Bukhule: vaksineskader.
3	9	370	31,0							Gjelle: sp clubbing. Milt: akutt stuvning (agonal). Lever: en fokal celleinfiltrasjon - granulom-lignende. Bukhule: vaksineskader.
3	10	430	31,0							Gjelle: sp clubbing. Milt: akutt stuvning (agonal).
3	11	490	29,0							Gjelle: mangler
3	12	290	29,0						slitt halerinne, katarakt	Gjelle: sp clubbing dominert av silmceller. Bukhule: vaksineskader.
3	13	330	31,0	bukfime						Gjelle: sp clubbing. Milt: akutt stuvning (agonal).
3	14	280	28,0							Gjelle: sp clubbing. Bukhule: vaksineskader.
3	15	450	33,0							Gjelle: clubbing med små lamellblodninger. Milt: akutt stuvning, artefakt-rift milt
3	16	300	28,5							Gjelle: mod utbredt sp clubbing
3	17	360	31,0						spilt halerinne	Gjelle: sp clubbing
3	18	270	28,0						spilt halerinne	Gjelle: mod utbredt sp clubbing. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader.
3	19	120	24,0						spilt ryggfime og halefime	Gjelle: mod utbredt epithelhyperplasi. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader. Nyre prep mangler.
3	20	140	25,0							Gjelle: mod utbredt sp clubbing. Milt: akutt stuvning (agonal).
3	21	110	23,0							Gjelle: mod utbredt epithelhyperplasi. Milt: akutt stuvning (agonal). Lever: vaksinedråpe med cuffing som likner celler i nr 9
3	22	120	23,0							Gjelle: sp clubbing. Milt og nyre: økt ant MMF
3	23	130	23,0						katarakt	Gjelle: mod utbredt epithelhyperplasi. Milt: akutt stuvning (agonal). Lever: sp stuvning
3	24	140	24,0							Gjelle: mod utbredt epithelhyperplasi. Milt, nyre og lever: økt ant MMF
3	25	130	23,5							Gjelle: enkelte lamell synechier distale del av flere filamenter. Milt og nyre: økt ant MMF, stuvning milt.
4	1	340	29,0							Gjelle: sp clubbing. Bukhule: vaksineskader.
4	2	290	27,0						spilt halerinne	Gjelle: sp clubbing. Bukhule: vaksineskader. Milt: sp stuvning.
4	3	300	28,0							Bukhule: vaksineskader.
4	4	290	29,0						spilt halerinne	Gjelle: sp clubbing. Bukhule: vaksineskader. Muskel: mod deg av hvite fibre
4	5	340	29,0							Gjelle: få små synechier. Nyre/lever: sp fokalt prolif/infilt av hematol/lymf-poietisk vev. Milt: stuvning. Bukhule: vaksineskader
4	6	130	23,0							Bukhule: vaksineskader og et bendelormledd.
4	7	120	22,0						spilt ryggfime	Gjelle: enkelte små synechier. Milt: akutt stuvning (agonal).
4	8	350	25,0							Milt: akutt stuvning (agonal).
4	9	120	24,0							Gjelle: få segm sammenvoksninger, enkelte små synechier. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader.
4	10	110	21,0							Milt, nyre og lever: økt ant MMF
4	11	115	21,0							Milt, nyre og lever: økt ant MMF
4	12	120	24,0							Gjelle: et filament med betennelse og enkelte små synechier. Milt, nyre og lever: økt ant MMF. Bukhule: vaksineskader.
4	13	110	22,0						slitt ryggfime, spilt halerinne	Gjelle: sp subepitelial lamellbetennelse og enkelte små synechier.
4	14	140	24,0							Gjelle: et filament infiltrasjon neutrofile, ellers noe epithelhyperplasi. Hjerte, lever, nyre, milt, pylorus snitt mangler
4	15	130	23,5							Gjelle: et filament med vaksinedråpe og granulomatøs betennelse, ellers noe epithelhyperplasi. Milt, nyre og lever: økt ant MMF.
4	16	120	21,0							Milt, nyre og lever: økt ant MMF.
4	17	130	22,0							Gjelle: sp clubbing. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader.
4	18	140	22,5						katarakt	Gjelle: sp clubbing og telangiektasier. Bukhule: vaksineskader.
4	19	130	21,0							Gjelle: sp clubbing. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader.
4	20	120	22,0							Gjelle: sp-mod epithelhyperplasi. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader.
4	21	130	21,5							Gjelle: enkelte små synechier.
4	22	120	22,5						katarakt	Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader.
4	23	110	21,0							Gjelle: enkelte små synechier. Milt: akutt stuvning (agonal).
4	24	130	22,0						spilt halerinne	Gjelle: sp clubbing. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader.
4	25	140	23,0							Gjelle: sp clubbing, noen deforme filamenter. Milt: akutt stuvning (agonal). Bukhule: vaksineskader.

Om FFI

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

FFIs formål

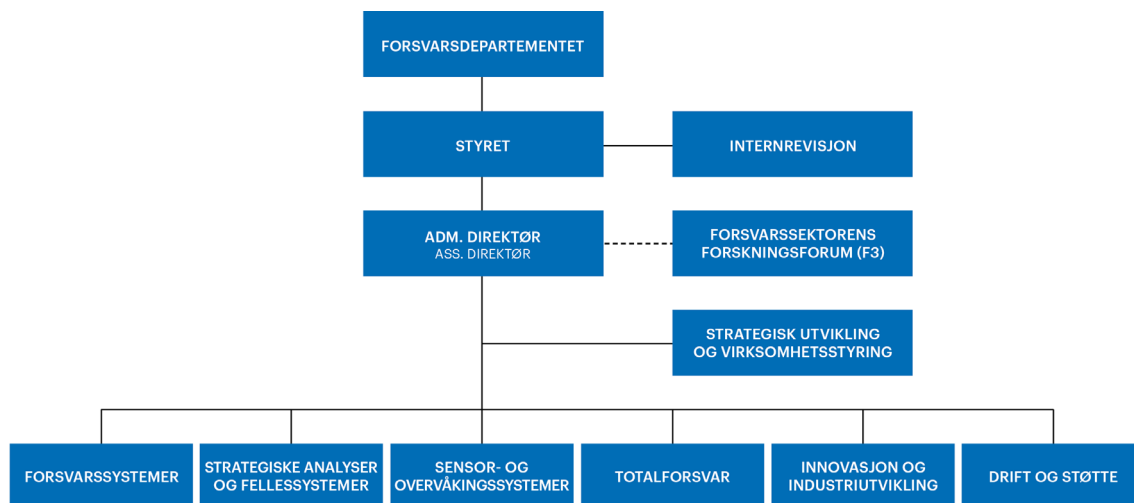
Forsvarets forskningsinstitutt er Forsvarets sentrale forskningsinstitusjon og har som formål å drive forskning og utvikling for Forsvarets behov. Videre er FFI rådgiver overfor Forsvarets strategiske ledelse. Spesielt skal instituttet følge opp trekk ved vitenskapelig og militærteknisk utvikling som 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 (FFI)
Postboks 25
2027 Kjeller

Besøksadresse:
Kjeller: Instituttveien 20, Kjeller
Horten: Nedre vei 16, Karljohansvern, Horten

Telefon: 91 50 30 03
E-post: post@ffi.no
ffi.no

Norwegian Defence Research Establishment (FFI)
PO box 25
NO-2027 Kjeller
NORWAY

Visitor address:
Kjeller: Instituttveien 20, Kjeller
Horten: Nedre vei 16, Karljohansvern, Horten

Telephone: +47 91 50 30 03
E-mail: post@ffi.no
ffi.no/en