SLUTTRAPPORT FOR PROSJEKT: "KARTLEGGING OG TESTING AV METODER FOR Å REDUSERE INTERAKSJONER MELLOM FISKERI OG HVAL"

FHF 901681

RAPPORT FRA HAVFORSKNINGEN NR. 2024-10

Tittel (norsk og engelsk):

Sluttrapport for prosjekt: "Kartlegging og testing av metoder for å redusere interaksjoner mellom fiskeri og hval"

Final report: "Mitigation of unwanted whale interactions with the herring purse seine fishery"

Undertittel (norsk og engelsk):

FHF 901681

Rapportserie:	År - Nr.:	Dato:
Rapport fra havforskningen	2024-10	03.04.2024

ISSN:1893-4536

Forfatter(e):

Maria Tenningen, Lise Doksæter Sivle, Martin Biuw (HI) og Audun Rikardsen (UiT)

Forskningsgruppeleder(e): Svein Løkkeborg (Fangst)
Godkjent av: Forskningsdirektør(er): Geir Huse Programleder(e): Jan Atle Knutsen

Distribusjon:

Åpen

Prosjektnr:

15590-04

Oppdragsgiver(e):

Fiskeri og Havbruksnæringens Forskningsfinansiering

Oppdragsgivers referanse:

901681

Program:

Kystøkosystemer

Forskningsgruppe(r):

Fangst
Sjøpattedyr
Økosystemakustikk

Antall sider:

29

Samarbeid med

University of St Andrews

UiT Norges arktiske universitet

Sammendrag (norsk):

Spekkhoggere og knølhval i norske farvann følger den pelagiske fiskeflåten og beiter på fisken som blir samlet sammen av nøtene. Disse interaksjonene har ved flere anledninger ført til skade eller død av hval, og fangsttap og ødelagte redskap for fiskerne. Målsetningen i dette prosjektet var å kartlegge og teste utstyr og metoder som kan bidra til å redusere uønskede interaksjoner mellom spekkhoggere og knølhval og sildefiskeri langs og utenfor kysten av Norge. Basert på resultat fra litteraturstudien valgte vi å utvikle så kalte «Acoustic Startle Response» (ASR) skremmepulser tilpasset knølhval og spekkhoggere. Target-Specific Acoustic Startle Teknologien (TAST) som vi har brukt er utviklet ved Sea Mammal Research Unit (SMRU, University of St Andrews) i samarbeid med GenusWave Ltd. ASR er en skremsel-reaksjon som utløses gjennom en autonom refleks i hjernestammen. Metoden har tidligere vist lovende resultater også ved gjentatt eksponering mot sel og tannhval. Tilnærmingen bruker lavere og kortere støydoser enn de konvensjonelle akustiske alarmene og kan tilpasses til ulike arter. Vi har hatt fokus på at metodene som blir brukt ikke skal være skadelig for hørselen til hvalen, eller ha så sterk effekt at hvalen blir skremt bort fra viktige beiteområder. Vi har gjennomført kontrollerte forsøk der hval merket med dataloggere ble utsatt for ASR lydsignaler og hvalens reaksjoner til ulike lydsignaler ble målt. Dette var for å identifisere de mest effektive lydsignalene. Effekten av de utvalgte ASR lydsignalene ble også undersøkt under kommersielt sildefiske.

Resultatene for spekkhoggere er svært lovende. Under kommersielt fiske ble antall observasjoner av spekkhoggere i overflaten redusert med 85% under eksponering for lyd. Lydsignaleffekten var signifikant sterkere på 0 - 50 m avstand sammenlignet med 50 - 100 m avstand. Omtrent 50% av hvalen returnerte innen 5 minutter etter lydavspilling. Dette tyder på at spekkhoggerne ikke tar skade eller blir skremt bort fra området. Foreløpige resultat fra de kontrollerte forsøkene viser at spekkhoggerne øker svømmeaktiviteten under lydavspilling. Knølhvalen, som er mer sensitiv i lavere frekvensområder enn spekkhoggere, reagerte ikke like sterkt på lydsignalene. Det er behov for videre arbeid for å utvikle lydsignaler som effektivt holder knølhvalen unna fiskebåtene.

Dette prosjektet blir videreført i FHF prosjekt 901926. Målet i det nye prosjektet er å videreutvikle lydsignaler som også er effektive på knølhval, sikre at signalene ikke påvirker sildeatferden samt se på tilvenning og praktisk implementering i fiskeri.

Sammendrag (engelsk):

Whales in Norwegian waters feed on the large pelagic fish stocks. They have learnt to follow the fishing boats and feed on fish that are aggregated by the purse seines. When interacting with fishing boats, whales may get caught or entangled in the net. This may lead to whales being injured or die and the fishers may lose their catch and get their fishing gears damaged. The aim of this project was to develop acoustic deterrent devices that reduce unwanted interactions between whales and fishing boats. The focus was on killer and humpback whale interactions with the purse seine fleet targeting Norwegian Spring Spawning herring off the Norwegian coast and in the fjords. Based on the literature study in WP1 we decided to develop signals that trigger an acoustic startle response (ASR), a rapid muscular response triggered by sudden sound. The Target-Specific Acoustic Startle Technology (TAST) that we used is developed by the Sea Mammal Research Unit (SMRU, University of St Andrews) in cooperation with GenusWave Ltd. This method uses lower sound levels and shorter sound pulses compared to traditional acoustic deterrent devices. We conducted controlled exposures of ARS signals on whales tagged with dataloggers to identify effective signals as well as exposures on whales around fishing boats during active purse seining.

The results suggest that TAST may be effective in reducing unwanted killer whale interactions with the fishery, Overall, the expected number of surfacings of killer whales was reduced by 85% during exposure to TAST, with no evidence of habituation. Additionally, the effect of TAST appears to attenuate quickly over distance with a strong recovery (return of whales) during the post-exposure observation phase, which is positive for preventing harm due to long-term habitat avoidance. Also, the controlled experiments on tagged killer whales indicate increased swimming activity during exposure. The effect of TAST was less clear in terms of humpback whales. Compared to many other whale species humpback whales are known to react less to disturbing sounds and is thereby a challenging species to develop efficient acoustic deterrent systems for. Work remains to identify and test effective signals on humpback whales and before the methods can be implemented in fisheries. The work carried out in this project is continued in the FHF project 901926.

Innhold

1 Innledning 5

1.1 Faglig bakgrunn 5

1.2 Prosjektorganisering 6

2 Problemstilling og formål 7

2.1 Effektmål 7

2.2 Resultatmål 7

3 Prosjektgjennomføring 8

3.1 AP1. Sammenstilling av tilgjengelig kunnskap om hval- og selskremmere og deres effekt på hval og sel 8

3.2 AP2. Teste adferdsrespons hos knølhval og spekkhoggere etter eksponering mot utvalgt teknologi 8

3.3 AP3. Teste utvalgt teknologi under notfiske etter sild i områder med knølhval og spekkhoggere 10

4 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon 13

4.1 AP1. Sammenstilling av tilgjengelig kunnskap om hval- og selskremmere og deres effekt på hval og sel 13

4.2 AP2. Teste adferdsrespons hos knølhval og spekkhoggere etter eksponering mot utvalgt teknologi 13

4.3 AP3. Teste utvalgt teknologi under notfiske etter sild i områder med knølhval og spekkhoggere 14

4.4 Diskusjon og konklusjon 17

5 Hovedfunn 18

6 Leveranser og formidling 19

7 Takk 20

8 Referanser 21

Appendix 1: Killer and Humpback whale movement in response to sound exposures 23

1 - Innledning

1.1 - Faglig bakgrunn

De pelagiske artene sild, makrell, kolmule og lodde støtter store verdifulle fiskerier. I Norge ble det i 2023 fanget 1,26 millioner tonn pelagisk fisk til en verdi av 10,8 milliarder kr (Fiskeridirektoratet). Disse artene er også hoveddietten til mange hvalarter i norske farvann som spekkhoggere (Orcinus orca) og knølhavl (Megapthera novaengliae) (Skern-Mauritzen et al., 2022). Det er estimert 10 000 knølhval og 15 000 spekkhoggere i nordøst Atlanteren (Leonard and Øien, 2019) som spiser store mengder pelagisk fisk hvert år og konkurrerer dermed om fisken med fiskeriene (Skern-Mauritzen et al., 2022).

Siden 2012/13 sesongen har store mengder norsk vårgytende sild overvintret i kystnære farvann i Troms, og til dels inne i trange fjorder (Salthaug and Stenevik, 2020). I denne perioden har det vært hyppige interaksjoner mellom ringnot og knølhval og spekkhoggere som følger silda inn i fjordene for å beite på denne (Mul et al., 2020; Vogel et al., 2021; Dietz et al. 2020). Dette har allerede ved flere anledninger ført til at hvaler skades eller dør, og tapt fangst og skade på redskap for fiskerne. Det er estimert at 18 storhval fanges årlig i norske notfiskerier (Bjørge et al., 2023). Forskning viser at spekkhoggere også har søkt til snurpenotbåter under fisket på sildas gyteplasser utenfor Helgeland og på Møre (Mul et al., 2020; Vogel et al., 2021; Dietz et al. 2020). Problemet er ikke enestående for notfisket etter sild, men også kjent blant annet fra notfiske etter lodde i Barentshavet og etter makrell i Norskehavet, samt blåkveitefiske hvor spermhval spiser fisk fra line og garn under haling. Også akvakulturnæringen erfarer problemer med sjøpattedyr i nærheten av oppdrettsanlegg. Skade på slike anlegg kan medføre betydelige økonomiske tap i form av rømt eller stresset fisk.

For å hindre uheldige interaksjoner mellom fiskeri og hval er det blitt utviklet flere typer akustiske alarmer. Alarmene skal skremme individer bort fra fiskeredskapene ved å sende ut lyd med frekvens og lydstyrke som er avskrekkende for de aktuelle artene. Akustikse alarmer med høy frekvens som er blitt utviklet for små ekkolokaliserende tannhval (som niser, delfiner og nebbhval) har vist gode resultater med reduserte bifangster (f.eks. Kraus et al ., 1997; Barlow & Cameron, 2006; Caretta et al ., 2008; Mangel et al ., 2013). Kunnskapen om hørselen til større hvalarter, som spekkhogger og knølhval, er mer begrenset. Det har tidligere vært gjort noen forsøk med akustiske alarmer mot knølhval (Thompson et al ., 1986; Todd et al ., 1992; Lien et al ., 2002) og spekkhoggere (Tixier et al ., 2015), men med varierende resultat. Sammenliknet med mange andre hvalarter er knølhval regnet blant artene som reagerer minst på lydforstyrrelser (Sivle et al. 2016; Dunlop et al. 2016; 2018). Det er derfor ekstra utfordrende å finne akustisk alarmer for denne arten.

Hval bruker lyd til kommunikasjon og i mange tilfeller til å finne mat. Det er viktig at lydsignalene som blir brukt i de akustiske alarmene ikke skader hørselen til hvalen, eller har så sterk effekt at den blir ekskludert fra sine naturlige områder eller forstyrrer (maskerer) hvalens egne lyder som blir brukt til kommunikasjon (Götz and Janik, 2013). Den langsiktige virkningen er også ofte begrenset, og tilvenning til lyden kan være et betydelig problem spesielt om motivasjonen for å spise er sterk (Götz and Janik, 2010).

En nyere metode bygger på å utsette dyrene for lyd som utløser en såkalt ‘acoustic startle response’ (ASR), en skremsel-reaksjon som utløses gjennom en autonom refleks i hjernestammen (Götz and Janik, 2011). Denne metoden har vist lovende resultater også ved gjentatt eksponering mot sel (Yeomans et al. 2002) og tannhvaler (Götz et al., 2020). Denne tilnærmingen bruker lavere og kortere støydoser enn de konvensjonelle akustiske alarmene og de kan bedre tilpasses de enkelte artene ved å velge spesifikke frekvensbånd (Götz and Janik, 2015). I dette prosjektet valgte vi å utvikle ASR skremmepulser tilpasset knølhval og spekkhoggere, og teste disse i kontrollerte forsøk og under kommersielt fiske etter norsk vårgytende sild i Kvænangen.

1.2 - Prosjektorganisering

Prosjektet har vært organisert under Havforskningsinstituttets forsknings- og rådgivningsprogram «Kystøkosystemer», med forskningssjef Jan Atle Knutsen som programleder og Petter Baardsen som prosjektøkonom (Tabell 1). Arne Bjørge var prosjektleder i 2021 – 2022 og Maria Tenningen i 2022 - 2024. Det samarbeidende miljøet omfattet UiT – Norges Arktiske Universitet (Tromsø), Havforskningsinstituttets avdelinger for Sjøpattedyr, Fangst og Økosystemakustikk og University of St Andrews, UK. Vi har også samarbeidet med GenusWave Ltd som produserer akustiske alarmer basert på «Targeted Acoustic Startle Technology» (TAST). En PhD-kandidat (Emma Vogel, UiT) har vært tilknyttet prosjektet og en masterstudent (Elida Langstein, UiT) har skrevet oppgave basert på prosjektet. Referansegruppen har vært invitert til tre møter under prosjektet og vi har delvis samarbeidet med FHF prosjektet «Bifangst av sjøfugl i kystnært notfiske» (FHF 901751). Prosjektet var delt i tre arbeidspakker (AP): i) sammenstilling og vurdering av tilgjengelig kunnskap, ii) detaljert testing av utstyr og metoder, og iii) testing og tilpasning i aktivt fiske.

Tabell 1. Prosjektgruppe.

Navn	**Institutt**	**Rolle**
Arne Bjørge	Havforskningsinstituttet	Prosjektleder og leder for WP1
Maria Tenningen	Havforskningsinstituttet	Prosjektleder og leder for WP3
Martin Biuw	Havforskningsinstituttet	Leder for WP2
Deanna Leonard	Havforskningsinstituttet	Prosjektdeltaker
Lise Doksæter Sivle	Havforskningsinstituttet	Leder for WP1
Jostein Saltskår	Havforskningsinstituttet	Prosjektdeltaker
Martin Kristiansen	Havforskningsinstituttet	Prosjektdeltaker
Audun Rikardsen	UiT Norges Arktiske Universitet	Leder for WP2
Emma Vogel	UiT Norges Arktiske Universitet	PhD student
Vincent Janik	University of St Andrews, UK	Leder for WP1
Thomas Götz	University of St Andrews, UK	Prosjektdeltaker
Elida Langstein	UiT Norges Arktiske Universitet	MSc student
Olav Dale	Dales Rederi AS	Referansegruppe
Ole Svein Einebærholm	Vestbris Fiskeriselskap AS	Referansegruppe
Ronny Larsen	Frøybas AS	Referansegruppe
Geir Magne Madsen	Fiskebas AS	Referansegruppe
Daniel Stenevik	Steinevik AS	Referansegruppe
Rita Maråk Naustvik	FHF	FHF-ansvarlig

2 - Problemstilling og formål

2.1 - Effektmål

Det langsiktige målet med prosjektet er å bidra til at uheldige interaksjoner mellom hval og fiskeri blir redusert. Hvert år meldes det om flere hendelser der hval blir fanget i fiskeredskap. Dette kan føre til at hvalen blir skadet eller dør samt ekstra arbeid og kostander i forbindelse med tapt fangst og skader på redskapet. Effektive løsninger for å holde hval unna fiskebåter kan dermed medføre store besparelser i forhold til redusert fangsttap og skade på redskap. Det vil også bedre omdømmet til fisket. Effektive alarmer utviklet for fiske med snurpenot kan også tenkes ha nytteverdi for andre fiskerier og oppdrettsnæringen. Prosjektet er blitt gjennomført i nært samarbeid med Genuswave AS som er industrileverandør av akustiske alarmer basert på TAST-metodikken. Resultatene har blitt kommunisert gjennom media til fiskerinæringen samt gjennom jevnlige møter med referansegruppen. På lengre sikt og gjennom videreføring av prosjektet forventer vi at de anbefalte metodene kan utvikles til praktisk utstyr som tas i bruk.

2.2 - Resultatmål

Hovedmålsetningen i prosjektet var å kartlegge og teste utstyr og metoder som kan bidra til å redusere interaksjoner mellom fiskeri og hval, særlig relatert til spekkhogger og knølhval interaksjoner med sildefisket langs og utenfor kysten av Norge. Teknologi som er blitt brukt i prosjektet skal ha et lydnivå som er tilstrekkelig til å holde hvalene unna nota, men ikke så kraftig at det skader hvalens hørsel, eller permanent skremmer hvalen vekk fra viktige beiteområder.

Prosjektet har hatt følgende delmål:

- Sammenstille tilgjengelig nasjonal og internasjonal kunnskap om akustiske alarmer og metoder for å holde hval og sel borte fra fiskeriredskaper og oppdrettsannlegg (AP1)
- Utarbeide tilrådning om anskaffelse av eksisterende alarmer for testing av effekt på knølhval og spekkhoggere under kontrollerte betingelser og aktivt ringnotfiske etter sild (AP1)
- Teste ut effekten av utvalgte akustiske alarmer og metoder på individuelle knølhval og spekkhoggere under mest mulig kontrollerte betingelser, det vil si uten hvalsafariaktiviteter eller aktivt fiske. (AP2)
- Teste effekten av utvalgte akustiske alarmer under aktivt ringnotfiske etter sild (AP3)
- Utarbeide råd om praktisk og effektiv bruk av akustiske alarmer i kommersielt fiske (overført til videreføring av prosjektet)

3 - Prosjektgjennomføring

3.1 - AP1. Sammenstilling av tilgjengelig kunnskap om hval- og selskremmere og deres effekt på hval og sel

Arbeidspakkeledere: Arne Bjørge (HI) og Lise Sivle (HI).

Det er utviklet en rekke metoder for å holde sjøpattedyr unna fiskeredskap, oppdrettsanlegg og fiskeførende vassdrag (se beskrivelser i «Bakgrunn»). I denne arbeidspakken har vi gjennom litteraturgjennomgang funnet frem til hvilken type(r) akustisk alarm som ville være mest hensiktsmessig å teste i dette prosjektet. Det var satt som en forutsetning at lyden har frekvensområder som ikke er sjenerende for mennesker eller skadelig for de fiskeartene som det fiskes etter eller hvalen. Vi har brukt tilgjengelig vitenskapelig litteratur og kontaktet fagmiljøet for å sammenstille kunnskap om hvordan de tilgjengelige teknologiene har fungert mot det artene som er aktuelle i Norge.

Resultatet fra arbeidspakken ble publisert i en rapport i 2021 (Bjørge og Sivle, 2021). Basert på denne kunnskapsinnhentingen og etter samråd med Referansegruppen ble det besluttet å gå videre med teknologi utviklet på University of St. Andrews, og teste «Acosutic Startle Response» (ASR) metode i AP 2 og 3.

3.2 - AP2. Teste adferdsrespons hos knølhval og spekkhoggere etter eksponering mot utvalgt teknologi

Arbeidspakkeledere: Audun Rikardsen (UiT) og Marin Biuw (HI).

For å kunne evaluere effektiviteten av utvalgte akustiske alarmer er det nødvendig å teste disse opp mot enkeltindivider under kontrollerte forhold. I denne arbeidspakken merket vi 27 knølhval og 2 spekkhoggere med så kalt «Customised Animal Tagging System» (CATS, www.cats.is) (Figur 1 og 2). Merkene er utstyrt med hydrofoner (som fanger opp lyden av alarmene), video (filmer hva hvalen gjør), GPS (gir presis posisjon i overflaten), samt ulike sensorer som måler dykk, akselerasjon, vinkel og kompasskurs. Merkeforsøkene ble gjennomført i Kvænangen i november/desember 2021 og 2022. Hvalen som var merket ble fulgt med båt og observert. Når atferden til hvalen var rolig og normal, ble den utsatt for lydeksponering med Target-Specific Acoustic Startle Technology (TAST) som er basert på ASR metoden. Hver hval ble eksponert 2 - 5 ganger med minst 15 minutters mellomrom.

Dataene blir analysert for å undersøke reaksjonene til knølhval og spekkhoggere som bli utsatt for lydeksponering med TAST. Effekten blir målt i hvordan hvalene reagerer i forhold til akselerasjon, horisontal forflytning og den vertikale dykkresponsen før, under og etter eksponering. Merkene samler inn store mengder data med høy tidsoppløsning. Dette gjør det mulig å gjennomføre detaljerte analyser av hvalens bevegelser og atferd når den blir eksponert for lydsignalene, men dataene krever kompliserte og tidkrevende analyser. Preliminære resultat blir presentert i denne rapporten, men fullstendige resultat vil bli presentert i FHF prosjekt 901926, som er en videreføring av dette prosjektet. Dette arbeidet er viktig for å identifisere de mest effektive kombinasjonene og typene av lydsignaler samt undersøke om effekten er tilstrekkelig til å forvente effekt under aktivt fiske.

Figur 1. Merking av knølhval. (Foto: HI/UIT)

Figur 2. Knølhval med merke festet i ryggen. (Foto: HI/UIT)

3.3 - AP3. Teste utvalgt teknologi under notfiske etter sild i områder med knølhval og spekkhoggere

Arbeidspakkeledere: Maria Tenningen (HI) og Vincent Janik (University of St Andrews)

Effekten av ARS metoden som ble valgt ut basert på litteraturstudien i AP1 og kontrollerte feltforsøk i AP2 ble testet ut i aktivt fiske. Feltforsøk ble gjennomført i vintersesongene 2021/-22 og 2022/-23 i forbindelse med notfiske etter norsk vårgytende sild i Kvænangen (Figur 3).

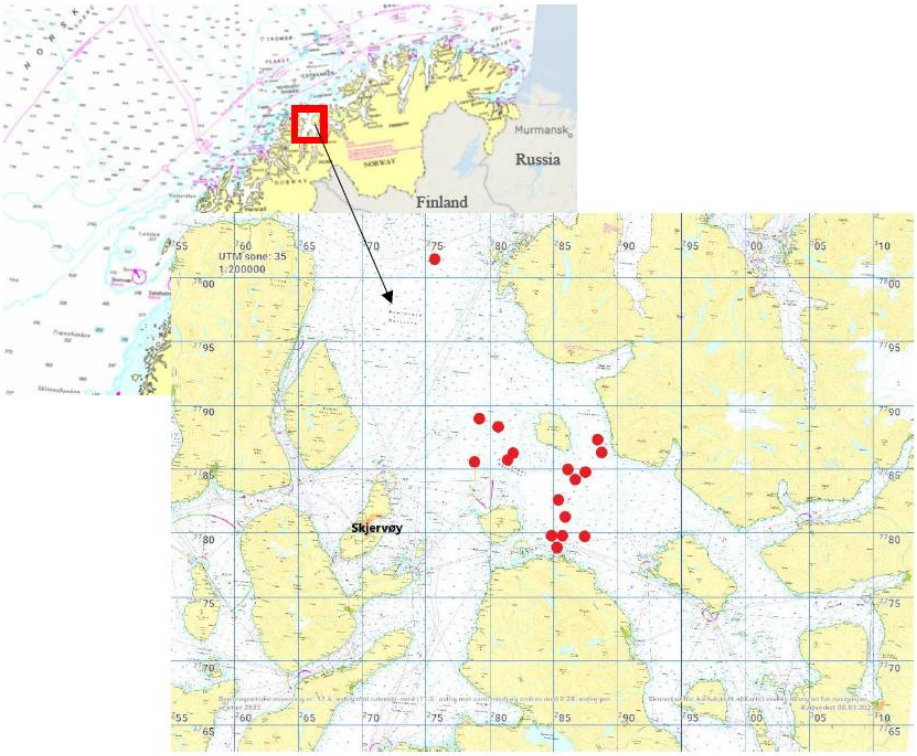
Forsøkene ble hovedsakelig gjennomført fra en liten båt (Arronet 30) som var plassert på 30-60 meters avstand og i 90 graders vinkel i forhold til fiskebåtens baug (Figur 4 og Figur 5). Visuelle observasjoner av hvalens reaksjon til lydsignalene ble registrert i 18 eksponeringsforsøk (Figur 3). Reaksjonene ble målt gjennom å telle antall hvalblåst i perioder før, under og etter lydeksponering. Hvert forsøk varte i 15 minutter med 5 minutters perioder før, under og etter lydeksponering. Førsøkene ble gjennomført i siste delen av fangstprosessen når fisken ble pumpet om bord og dekkslysene på fiskebåten var på. Dette var for å ha nok lys til å kunne observere hvalen i vinternatten. Lydkilden ble senket ned til ca. 20 m dyp.

I januar 2023 ble det i tillegg gjennomført forsøk om bord på MS Vestbris for å teste systemet om bord på en fiskebåt. Samme metode ble brukt som i avspillingene fra liten båt, men lengden på eksponerings- og kontrollperiodene ble økt fra 5 til 10 min. I tillegg ble lydeksponering gjentatt (med 10 minutters kontrollperioder mellom eksponeringer) så mange ganger som mulig frem til båten var ferdig med å pumpe fangsten ombord eller så lenge det var hval i området. Det ble gjennomført to vellykkede forsøk (fangst) med henholdsvis 2 og 3 lydavspillinger i hver forsøk.

Lydkilden (TAST – Targeted Acoustic Startle Technology) som ble brukt i begge forsøkene var utviklet av GenusWave LTD (https://genuswave.com/). Systemet bestod av en lydenhet (“pod”), som inneholdt lydfilene og en forsterker, koblet til en undervannshøytaler av typen Lubell 9161T (https ://www.lubell.com/LL964.html) og et batteri som fungerte som strømforsyning (Figur 6).

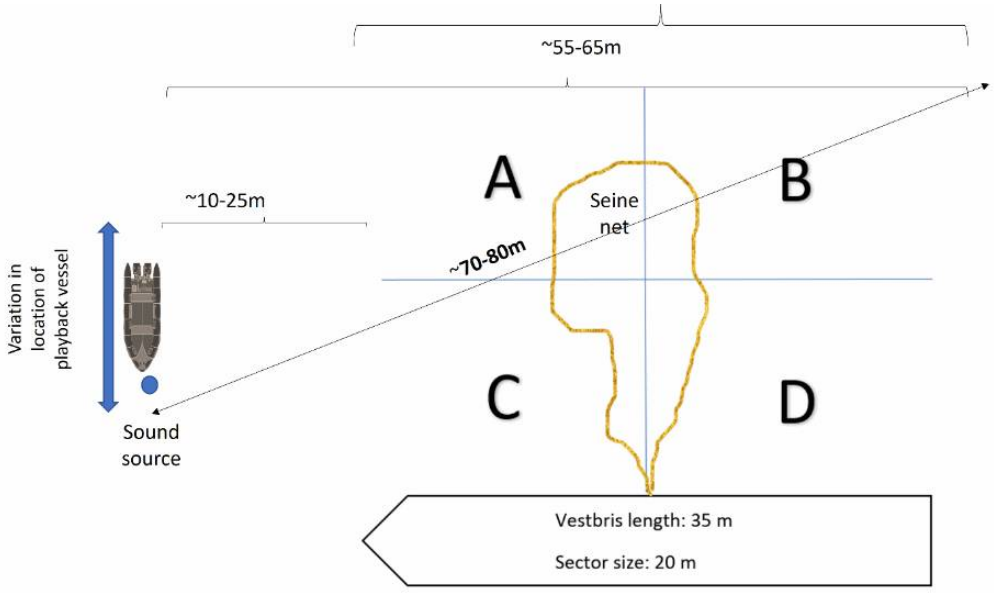
Lyden som ble testet baserer seg på beste tilgjengelige kunnskap om hørselen til spekkhogger og knølhval. Lydsignalene var 200 ms lange, hadde kort stigetid (<5ms) og varierende frekvenser som ble spilt av i tilfeldig og varierende rekkefølge. Signalene ble sendt ut i tre forskjellige sekvensområder:

1. Smalbånd Lav-frekvens (LF): sentrert rundt 1kHz og med en styrke på 180 dB re 1 µPa
2. Smalbånd Høy-frekvens (HF): ~5 til 20 kHz og med en styrke på 183-184 dB re 1 µPa
3. Bredbånd (BB): ~0.7 til 20 kHz med en topp på 10.5 kHz og styrke på 183-184 dB re 1 µPa

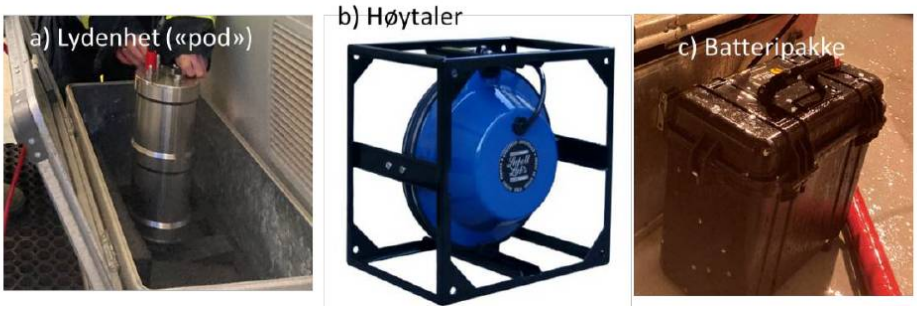


Figur 3. Kvænangen med posisjoner der forsøkene ble gjennomført (røde sirkler). (Figur fra Langstein 2023)

Figur 4. Båten som ble brukt i lydeksponeringsforsøk. På bilde blir avspilleren senket ned fra baugen. (Foto: Audun Rikardsen)



Figur 5. Forsøksoppsett. Lydeksponering samt registrering av hvalblåst var fra en liten båt plasser ved siden av fiskebåten i 90 graders vinkel fra fiskebåten baug. Området der registreringene ble gjort var delt inn i 4 soner (A. B, C og D). (Figur fra Langstein, 2023)



Figur 6. Lydenhet (a), undervannshøytaler (b) og batteri (c) som ble brukt i eksponeringsforsøket. (Figur fra Tenningen et al., 2023)

4 - Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

4.1 - AP1. Sammenstilling av tilgjengelig kunnskap om hval- og selskremmere og deres effekt på hval og sel

Hovedresultatet fra AP1 er beskrevet i en rapport (Bjørge og Sivle, 2021) der tilgjengelig teknologi samt erfaringer fra uttesting er kartlagt og beskrevet. Rapporten konkluderer med følgende:

Det er ulike teknologier tilgjengelig for å holde sjøpattedyr unna et område hvor de kan gjøre skade, eller de selv kan skades. De aller fleste er basert på lydsignaler. Akustiske alarmer (pingere) med høy frekvens har vist seg svært effektive for å holde små, ekkolokaliserende tannhval, hovedsakelig nise, unna fiskegarn. Det er også prøvd ut pingere på line for å holde spermhval unna, men med noe varierende resultat. Disse er imidlertid for høyfrekvente til å være effektive for målartene i dette prosjektet; spekkhogger og særlig knølhval. Lavfrekvente pingere har vist seg å gi unnvikelsesreaksjon hos beitende knølhval, men ikke tydelige reaksjoner for knølhval på vandring. Eksperimenter under aktivt ringnotfiske ga mer uklare resultater. Dette tyder på at hvalens aktivitet (eks beiting eller vandring) vil ha innvirkning på reaksjon, samt at lydens sammensetning og frekvensinnhold i forhold til målartens hørsel, kanskje heller enn lydstyrke, er avgjørende for om lyden vil være avskrekkende nok til å holde hvalen borte, og om hvorvidt effekten vil vedvare ved gjentatt eksponering.

Av de tilgjengelige teknologiene som er vurdert her ble det anbefalt å gå videre med teknologien utviklet ved Sea Mammal Research Unit (SMRU, University of St Andrews) i sambarbeid med selskapet GenusWave Ltd. Teknologien er fleksibel og lydsignalene kan tilpasses den antatte hørselen til ulike arter. Tidligere feltforsøk har gitt overbevisende resultater på sel og nise og virkningsmekanismen er veldokumentert (Götz et al., 2020). Den autonome refleksen av en plutselig lyd med riktig frekvens synes ikke å lede til tilvenning over tid (Götz & Janic, 2016), noe som er ønskelig for å bruke dette utstyret over lengre tid i samme område. Rapporten sier videre at feltforsøk helst bør gå over flere sesonger slik at en kan identifisere de mest effektive frekvensområdene under kontrollerte betingelser før en prøver ut disse frekvensene under aktivt ringnotfiske.

4.2 - AP2. Teste adferdsrespons hos knølhval og spekkhoggere etter eksponering mot utvalgt teknologi

Foreløpige analyser av de kontrollerte forsøkene med dataloggere er presentert i Appendix 1. Disse viser indikasjoner på at spesielt spekkhoggere responderer på noen av de signalene som ble testet. Selv om knølhval også responderte på noen av signalene, var denne responsen betydelig svakere og mindre konsistent.

Foreløpige analyser av en spekkhogger og tre knølhval viser at nærmere 60% av lydeksponeringene førte til kortvarig økning i svømmeaktivitet. Spekkhoggeren viste økt svømmeaktivitet i 4 av 5 lydeksponeringer, mens reaksjonene til knølhvalen var mer varierende. Forskjellen mellom spekkhogger og knølhval kan skyldes forskjeller i artenes hørsel og atferd eller i styrken på de mottatte lydsignalene. Styrken kan ha vært for svak for å utløse en tydelig respons hos knølhval. Dette er i samsvar med tidligere forsøk på denne arten, og skyldes delvis at kunnskapen om hørselen til bardehvaler er betydelig mer begrenset enn tilsvarende kunnskap om tannhvaler. Før det er mulig å trekke sikre konklusjoner er det behov for en mer helhetlig analyse av alle de 29 individene som var merket. Analyser av GPS data vil vise om eksponering til lydsignalene fører til at hvalen svømmer fortere og/eller i motsatt retning fra lydkilden. Dette arbeidet vil kreve avanserte modelleringer og analyser siden dataene er svært høyoppløselige (400 målinger/sek) og omfattende (tilsvarende totalt over en uke med sammenhengende data). Det var ikke mulig å få gjennomført slike analyser innenfor prosjektets rammer. Likevel har de foreløpige analysene, samt visuelle observasjoner under aktivt fiske (AP3) ledet til

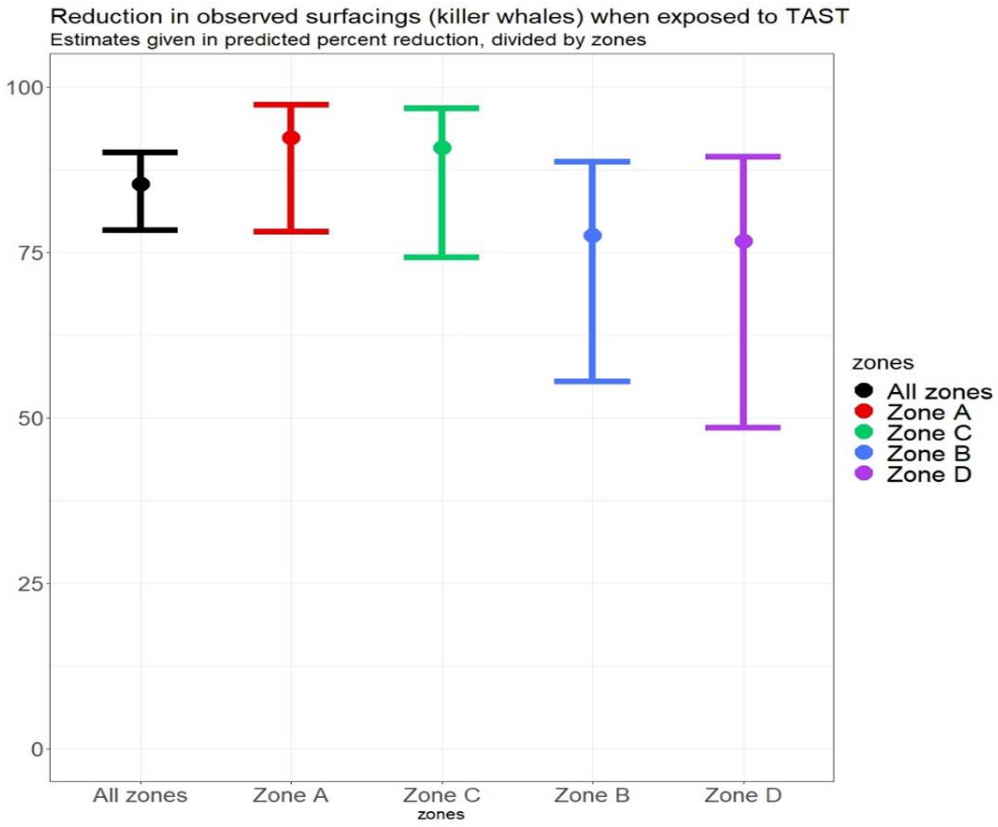
videreutvikling av lydsignalene. Dette vil bli et av hovedfokusene i videreføringsprosjektet (FHF-prosjekt 901926).

4.3 - AP3. Teste utvalgt teknologi under notfiske etter sild i områder med knølhval og spekkhoggere

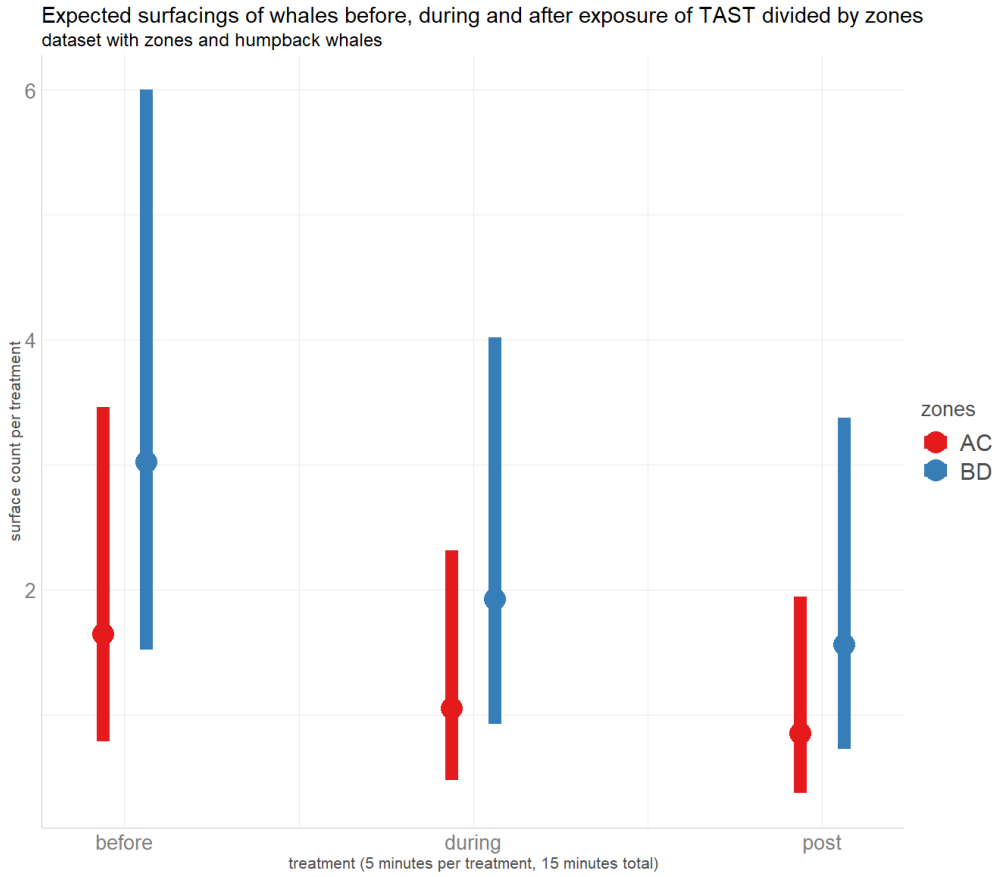
Resultatene fra denne arbeidspakken er publisert i masteroppgaven til Elida Langstein (Langstein, 2023) og toktrapport fra Vestbris (Tenningen et al., 2023). Avspilling av lyd fra en liten båt som nærmet seg aktive fiskefartøy var en velegnet metode der en kunne bevege seg mellom aktive fiskerioperasjoner, samarbeide med fiskere og gjennomføre tilstrekkelig antall forsøk for statistisk analyse. Forsøkene om bord på Vestbris ga lengre eksponeringstid og flere repetisjoner under samme notkast i tillegg til erfaring med å bruke systemet fra fiskebåt. På grunn av få dager om bord ble det kun samlet inn data fra to kast med fangst. Totalt i de 18 forsøkene fra liten båt ble det gjort 970 observasjoner av spekkhoggere og 141 observasjoner av knølhval. I de to forsøkene om bord på Vestbris ble det gjort 157 registreringer av knølhval og 10 av spekkhoggere.

Resultatene viser at effekten av TAST-systemet på spekkhoggere er svært lovende. Antall observasjoner av spekkhoggere i overflaten ble redusert med 85% under avspilling av lydsignalene sammenlignet med før avspilling (Figur 7). Effekten var signifikant høyere på 0 - 50 m avstand fra båten sammenlignet med 50 - 100 m. Innen 5 minutter etter lydavspilling, steg antall observasjoner raskt til omtrent 50% av antall observasjoner før eksponering. Dette tyder på at spekkhoggerne ikke tar skade av lydsignalene eller blir skremt bort fra området. Det gjenstår å undersøke om effekten er konsistent nok til å holde hvalen unna nota også i en tidligere fase av fangsten (utsetting og snurping av not) og sikre at hvalen ikke venner seg til lydsignalene. Det gjenstår også å undersøke om plassering av høyttaler og om flere avspillere har en påvirkning på effekten.

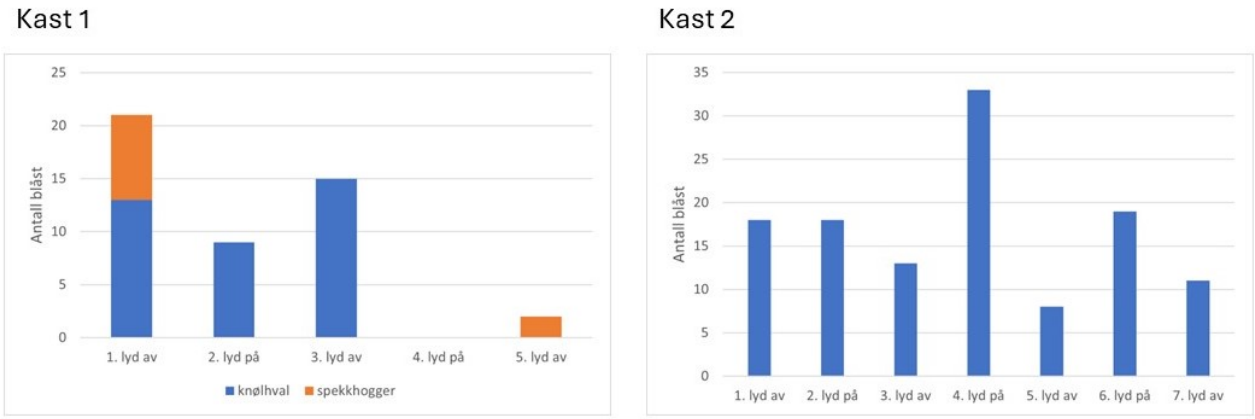
Knølhvalen, som er mer sensitiv i lavere frekvensområde enn spekkhoggere, reagerte ikke like sterkt på lydsignalene. Det var antydning til noe mindre antall knølhval under eksponeringsperioden sammenlignet med perioden før avspilling (Figur 8), spesielt når spekkhoggere også var til stede. I forsøket om bord på Vestbris, der det kun var knølhval til stede, hadde lydsignalene ingen effekt (Figur 9). Det kan tyde på at knølhvalen følger etter spekkhoggerne, men ikke reagerer direkte på lyden. Det er ikke helt uforventet, ettersom systemet som ble brukt i forsøkene ikke var optimal for de lavfrekvente signalenene. Det gjenstår derfor arbeid med å utvikle og teste lydsignaler som er effektive også på knølhval.



Figur 7. Forventet reduksjon i spekkhoggerblåst (%) i de ulike observasjonssonene under lydeksponering sammenlignet med før eksponering basert på Generalised Linear Mixed Model (GLMM). Sone A og C er de to sonene nærmest høytaleren (0-50m), mens sone B og D ligger på lengre avstand (50-100m). Sirklene er forventede verdier og søylene 95% konfidensintervaller (Figur fra Langstein, 2023).



Figur 8. Forventet antall knølhvalblåst basert på GLMM-model før under og etter lydeksponering i sone AC (røde søyler, nærmest båten) og BD (blå søyler, lengst unna båten). Sirklene er forventede verdier og søylene 95% konfidens intervaller. (Figur fra Langstein, 2023)



Figur 9. Antall hvalblåst registrert med og uten lydeksponering i to kast om bord på Vestbris. Blå søylene er knølhval og oransje er spekkhoggere. (Figur fra Tenningen et al., 2023)

4.4 - Diskusjon og konklusjon

I dette prosjektet har vi utviklet ASR-skremmepulser og testet dem på knølhval og spekkhoggere i kontrollerte forsøk og under kommersielt notfiske etter sild. Lydsystemet viser lovende resultater med tanke på å holde spekkhoggerne unna fiskebåtene. For knølhvalen viser foreløpige resultater en reaksjon til enkelte lydsignaler, noe man ikke har klart å vise tidligere, men det gjenstår arbeid med å identifisere lyder som effektivt holder knølhvalen unna fiskebåter.

Når det gjelder spekkhoggere er det behov for langvarige og mer omfattende forsøk for å utelukke tilvenning til lykilden. Det er også behov for å sikre at lydsignalene ikke påvirker atferden til silden på en måte som fører til reduserte fangster. Etter disse undersøkelsene kan man gå videre med å undersøke hvordan systemet best kan implementeres på fiskebåter. TAST har blitt effektivt implementert for å holde sel unna fiskeoppdrett i Skottland og gitt lovende resultater (Götz and Janik, 2015). Imidlertid vil implementeringen av systemet på et fiskefartøy kreve en annen tilnærming fordi det må dekke et større område. Systemet må også være selvforsynt når det gjelder strømforsyning, og for å bli brukt av fiskere må det være effektivt, robust og lett å ta i bruk med minimal innvirkning på fiskerioperasjoner. Blant annet er det sannsynlig at systemet må kunne brukes i den fasen da nota settes ut, enten ved at det plasseres på en bøye i tilknytting til nota, eller at det er fastmontert på skroget slik at det ikke skades når båten er i bevegelse. GenusWave har utviklet et taubart system, som har gjennomgått preliminære tester. En modifisert versjon av dette kan være en mulig vei videre, men mest effektivt vil trolig være et fast skrogmontert system.

Knølhval reagerte ikke like godt på lydsignalene som spekkhoggere. Man vet mindre om hørselen til knølhval og det er vist at den generelt sett reagerer mindre på lydsignaler sammenlignet med mange andre hvalarter. Videre arbeid med knølhval innebærer først ferdigstilling av analysene av data fra dataloggerne som undersøker den finskala og umiddelbare reaksjonen på TAST-systemet (AP2). Med hjelp av resultatene vil man kunne identifisere lydsignaler som gir en sterkere og mer konsistent respons hos knølhval. Deretter kan man modifisere TAST-systemet og teste dette på knølhval under kommersielt fiske på samme måte som man har gjort med spekkhoggere i AP3.

Dette prosjektet blir videreført gjennom FHF prosjekt 901926. I videreføringen av prosjektet skal man ta tak i det gjenstående arbeidet beskrevet over, med hensikt å videreutvikle og teste lydsignaler på begge hvalartene, men med spesielt fokus på knølhval. I tillegg vil det utarbeides et forslag til design av et system i samarbeid med GenusWave og i konsultasjon med fiskere for å oppnå best mulig resultat og praktisk implementering. TAST-systemets design vil også ta hensyn til resultat fra undersøkelser av størrelsen på området som krever avskrekking og effektområdet for knølhvaler og spekkhoggere. Noen alternativer vi vil vurdere inkluderer skrogmontering, fritt flytende bøyer, bøyer festet til nettet eller eventuelt et taubart system..

5 - Hovedfunn

- Litteraturstudien konkluderer med at teknologi basert på «Acoustic Startle Response» (ASR) er den anbefalte metoden for å utvikle alarmer som kan holde større hval som spekkhoggere og knølhval unna fiskeredskapover over lengre tidsperioder og uten tilvenning. Teknologien er fleksibel og lydsignalene kan tilpasses ulike arter. Den synes ikke å gi tilvenning og skal ikke være skadelig for hvalen.
- Kontrollerte forsøk viser at spekkhoggere, og til en viss grad knølhval øker svømmeaktivitet under avspilling av ASR-signaler med TAST-systemet (Target-Specific Acoustic Startle Technology).
- Feltforsøk under kommersielt fiske viser en reduksjon i registrering av spekkhogger på 85% innenfor området eksponert for TAST-signalene.

6 - Leveranser og formidling

Dato (måned og år)	Type	Tittel	Forfattere
12. 2021	Rapport	Eksisterende teknologi for å holde hval og sel borte fra fiskeredskap og oppdrettsanlegg og sammenfatning av erfaringer i Norge og internasjonalt.	Arne Bjørge og Lise Doksæter Sivle
07.2022	Kronikk	Enkelte hvaler ser ut til å «spesialisere seg» på å beite rundt fiskebåter. https://www.fiskeribladet.no/debatt/enkelte-hvaler-ser-ut-til-a-spesialisere-seg-pa-a-beite-rundt-fiskebater/2-1-1252475	Arne Bjørge
06.2023	Kronikk	Ubehagelig lyd kan holde spekkhoggerne og knølhval unna fiskenota. https://www.hi.no/hi/nyheter/2023/juni/ubehagelig-lyd-kan-holde-spekkhoggerne-og-knolhval-unna-fiskenota	Stine Hommedal
06.2023	Nyhetssak UiT	https://uit.no/nyheter/artikkel?p_document_id=813936	Ellen Kathrine Bludd (UiT) og Stine Hommedal (HI)
06.2023	Nyhetssak Fiskeribladet *	https://www.fiskeribladet.no/fiskeri/hi-ubehagelig-lyd-kan-holde-spekkhoggere-og-knolhval-unna-fiskenota/2-1-1461633	Robert Nedrejord (Fiskeribladet)
09.2021	Nyhetssak NRK *	https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/lydsignaler-skal-skremme-hval-vekk-fra-fiskebatene-1.15667664	Knut Anders Finnset og Sofie Dege Dimmen (NRK)
06.2023	Nyhetssak Forsknin.no *	https://www.forskning.no/dyreverden-hav-og-fiske-havforskningsinstituttet/spekkhoggeren-vil-spise-av-fangsten-til-fiskebaten-na-har-forskerne-funnet-en-metode-som-kan-skremme-hvalene-bort/2207313	Stine Hommedal (HI)
	Masteroppgave	Assessing the deterrence effect of target-specific acoustic startle technology on killer whales and humpback whales during interactions with Norwegian purse seine herring fishery.	Elida Langstein (UiT)
	Toktrapport	Utvikling of testing av metoder for å redusere uheldige interaksjoner mellom hval / Sjøfugl og notfiskeri. Tokt med MS «Vestbris» 6-10. Januar 2023 i Kvænangen fjord. (Toktrapport Nr. 12.2023).	Tenningen, M., Doksæter Sivle, L., Saltskår, J. og Hannaas, S.
08.2021	Møtereferat	FHF-prosjekt 901681 - Kartlegging og testing av metoder for å redusere interaksjoner mellom fiskeri og hval. Oppstartsmøte.	Referent: Arne Bjørge
03.2023	Møtereferat	Referansegruppemøte for FHF prosjket «Kartlegging og testing av metoder for å redusere interaksjoner mellom fiskeri og hval» (901681).	Referent: Maria Tenningen
09.2022	Møtereferat	Felles møte for FHF hval-fiskeri interaksjoner og fugl bifangst prosjektene.	Referent: Maria Tenningen og Signe Christensen-Dalgaard
02.2024	Online workshop	The targeted acoustic startle technology (TAST): a sustainable approach to managing human-wildlife (marine mammal) conflict. Sceintific Committee of the IWC. Interactions between killer whales and vessels: management recommendations" 7.2.2024.	Thomas Goetz

7 - Takk

Prosjektet var finansiert av FHF og med tilleggsmidler fra UiT og HI. Vi vil gjerne takke kaptein og mannskap på MS Vestbris for godt samarbeid. Vi ønsker også å takke Olav Dale for gode innspill og diskusjoner. Vi takker også for godt samarbeid med GenusWave Ltd.

8 - Referanser

Barlow, J., & Cameron, G.A. (2003). Field experiments show that acoustic pingers reduce marine mammal bycatch in the field. Marine Mammal Science, 19(2), 265–283. https://doi.org/10.1111/j.1748- 7692.2003.tb01108.x

Bjørge, A., Moan, A., Ryeng, K.A., Wiig, J.R., 2023. Low anthropogenic mortality of humpback (Megaptera novaeangliae) and killer (Orcinus orca) whales in Norwegian purse seine fisheries despite frequent entrapments. Marine Mammal Science 39, 481–491. https://doi.org/10.1111/mms.12985

Carretta, J.V., Barlow, J., & Enriquez, L. (2008). Acoustic pingers eliminate beaked whale bycatch in a gill net fishery. Marine Mammal Science, 24(4), 956–961. https://doi.org/10.1111/j.1748- 7692.2008.00218.x

Dietz, A., Rikardsen, A.H., Biuw, M., Kleivane, L., Lehmkuhl Noera, C., Staldera, D., van Beesta, F.M., Rigéta, F.F., Sonnea, C., Hanseng, M., Strager, H. Olsen, M.T. (2020). Movements and diurnal activity of North Atlantic killer whales (Orcinus orca) along the Norwegian coast.

Dunlop, R.A., Noad, M.J., Cato, D.H., Kniest, E., Miller, P.J.O., Smith, J.N., & Stokes, M.D. (2013). Multivariate analysis of behavioural response experiments in humpback whales (Megaptera novaeangliae). Journal of Experimental Biology, 216(5), 759–770. https://doi.org/10.1242/jeb.071498

Götz, T., Janik, V.M., 2015. Target-specific acoustic predator deterrence in the marine environment. Animal Conservation 18, 102–111. https://doi.org/10.1111/acv.12141

Götz, T., Janik, V.M., 2013. Acoustic deterrent devices to prevent pinniped depredation: efficiency, conservation concerns and possible solutions. Marine Ecology Progress Series 492, 285–302. https://doi.org/10.3354/meps10482

Götz, T., Janik, V.M., 2011. Repeated elicitation of the acoustic startle reflex leads to sensitisation in subsequent avoidance behaviour and induces fear conditioning. BMC Neuroscience 12, 30. https://doi.org/10.1186/1471-2202-12-30

Götz, T., Janik, V.M., 2010. Aversiveness of sounds in phocid seals: psycho-physiological factors, learning processes and motivation. Journal of Experimental Biology 213, 1536–1548. https://doi.org/10.1242/jeb.035535

Götz, T., Pacini, A.F., Nachtigall, P.E., Janik, V.M., 2020. The startle reflex in echolocating odontocetes: basic physiology and practical implications. Journal of Experimental Biology 223, jeb208470. https://doi.org/10.1242/jeb.208470

Kraus, S. D., Read, A. J., Solow, A., Baldwin, K., Spradlin, T., Anderson E., & Williamson J. (1997). Acoustic alarms reduce porpoise mortality. Nature, 388, 525

Langstein, E. 2023. Assessing the deterrence effect of target-specific acoustic startle technology on killer whales and humpback whales during interactions with Norwegian purse seine herring fishery. Master thesis, 2023-05-15. Universitetet i Tromsø. https://hdl.handle.net/10037/29479

Leonard, D., Øien, N., 2019. Estimated Abundances of Cetacean Species in the Northeast Atlantic from Norwegian Shipboard Surveys Conducted in 2014–2018. NAMMCO Scientific Publications 11. https://doi.org/10.7557/3.4694

Lien, J., Barney, W., Todd, S., Seton, R., & Guzzwell, J. (1992). Effects of Adding Sounds to Cod Traps on the Probability of Collisions by Humpback Whales. In J. A. Thomas, R. A. Kastelien & A. Y. Supin (Eds.), Marine Mammal Sensory Systems (pp. 701-708), New York: Plenum Press. ISBN 978-1-4613- 6505-

Mangel, J. C., Alfaro-Shigueto, J., Witt, M. J., Hodgson, D. J., & Godley, B. J. (2013). Using pingers to reduce bycatch of small cetaceans in Peru's small-scale driftnet fishery. Oryx, 47(4), 595–606. https://doi.org/10.1017/S0030605312000658

Mul, E., Blanchet, M.-A., McClintock, B.T., Grecian, W.J., Biuw, M., Rikardsen, A., 2020. Killer whales are attracted to herring fishing vessels. Marine Ecology Progress Series 652, 1–13. https://doi.org/10.3354/meps13481

Salthaug, A., Stenevik, E.K., 2020. Kommer silda inn i fjordene i Nord-Norge i vinter? [WWW Document]. Havforskningsinstituttet. URL https://www.hi.no/hi/nyheter/2020/november/kommer-silda-inn-i-fjordene-i-nord-norge-i-vinter (accessed 8.9.23).

Skern-Mauritzen, M., Lindstrøm, U., Biuw, M., Elvarsson, B., Gunnlaugsson, T., Haug, T., Kovacs, K.M., Lydersen, C.,

McBride, M.M., Mikkelsen, B., Øien, N., Víkingsson, G., 2022. Marine mammal consumption and fisheries removals in the Nordic and Barents Seas. ICES Journal of Marine Science 79, 1583–1603. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsac096

Tixier, P., Vacquie Garcia, J., Gasco, N., Duhamel, G., Guinet, C., 2015. Mitigating killer whale depredation on demersal longline fisheries by changing fishing practices. ICES Journal of Marine Science 72, 1610–1620. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu137

Tenningen, M., Sivle. L., Saltskår, J. and Hannaas, S., 2023. Utvikling og testing av metoder for å redusere uheldige interaksjoner mellom hval / sjøfugl og notfiskeri. Toktrapport. https://www.hi.no/en/hi/nettrapporter/toktrapport-2023-12

Todd, S., Lien, J., & Verhulst, A. (1992). Orientation of humpback whales (Megaptera novaeangliae) and minke whales (Balaenoptera acutorostrata) to acoustic alarm devices designed to reduce entrapments in fishing gear. In J. A. Thomas, R. A. Kastelien & A. Y.

Vogel, E.F., Biuw, M., Blanchet, M.-A., Jonsen, I.D., Mul, E., Johnsen, E., Hjøllo, S.S., Olsen, M.T., Dietz, R., Rikardsen, A., 2021. Killer whale movements on the Norwegian shelf are associated with herring density. Marine Ecology Progress Series 665, 217–231. https://doi.org/10.3354/meps13685

Tixier, P., Vacquie Garcia, J., Gasco, N., Duhamel, G., Guinet, C., 2015. Mitigating killer whale depredation on demersal longline fisheries by changing fishing practices. ICES Journal of Marine Science 72, 1610–1620. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu137

Yeomans, J.S., Li, L., Scott, B.W., Frankland, P.W., 2002. Tactile, acoustic and vestibular systems sum to elicit the startle reflex. Neuroscience & Biobehavioral Reviews 26, 1–11. https://doi.org/10.1016/S0149-7634(01)00057-4

Appendix 1: Killer and Humpback whale movement in response to sound exposures

Emma F. Vogel, Charlie R. Hargrave and Vincent Janik

The aim of this analysis was to explore the behavioural effect the exposure to sets of Target-Specific Acoustic Startle Technology (TAST) stimuli (five to six 200ms startle sounds played over the period of one minute) had on humpback whales and killer whales in Skjervøy, northern Norway in November and December 2021 and 2022. To do this, Customised Animal Tagging System (CATS) biologging tags were deployed on humpback whales and killer whales (29 total; 27 humpbacks, 2 killer whales). These tags collect high-resolution (sub-second) tri-axial acceleration, gyroscope and magnetometer data, depth measurements, as well as GPS location. The CATS tags also have an onboard hydrophone and 4k cameras. The high-temporal resolution allows for detailed analysis of whale movements and behaviours in relation to sound exposures.

We explored the following movement parameters derived from the variables listed above:

1. **Jerk**: Jerk is the differential of acceleration (m/s^3) and is a method for highlighting sudden increases in acceleration. Jerk can be calculated from the tri-axial accelerometer data.
2. **Overall Dynamic Body Acceleration (oDBA)**: oDBA can be used to quantify the overall dynamic movement of an animal. It is calculated by integrating the absolute values of the three-dimensional acceleration data over a specific time period. oDBA provides insights into the overall energy expenditure or activity level of the animal, as higher values typically indicate more vigorous movement or activity. Consecutive changes in oDBA were also examined to investigate any sudden increases or decreases in movement**.**
3. **Vectorial Dynamic Body Acceleration (veDBA):** VeDBA can also be used to quantify the overall dynamic movement of an animal, taking into account the directionality of movement. Unlike oDBA, which considers the scalar sum of acceleration in three dimensions, veDBA calculates the magnitude of the three-dimensional acceleration vector. This can provide a more comprehensive measure of an animal's overall movement intensity, incorporating both the speed and direction of movement.
4. **Depth and change in depth:** The CATS tags use pressure to calculate depth, where depth changes are reflective of animal diving and surfacing behaviours.
5. **Dominant stroke frequency**: Dominant stroke frequency or *fluking rate* is the peak frequency in the sum of the acceleration power spectra (Hz). It can be calculated from the triaxial accelerometer data. This can be used to give an idea of the normal swimming rate and can detect increased swimming efforts.

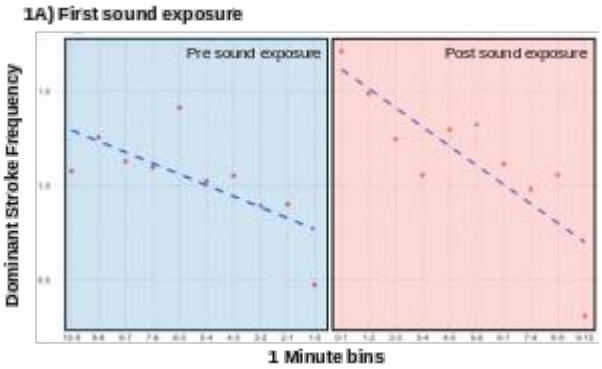
Preliminary analysis of these five parameters for five individuals showed that **dominant stroke frequency** highlighted post-sound exposure behavioural changes most clearly. This was determined from visual assessment of the movement data, though more comprehensive statistical analysis is being conducted. Preliminary analysis of the dominant stroke frequency or the *fluking rate* is discussed below.

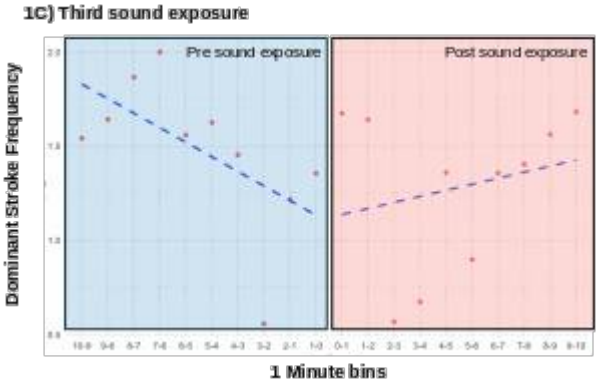
Killer Whale 281122

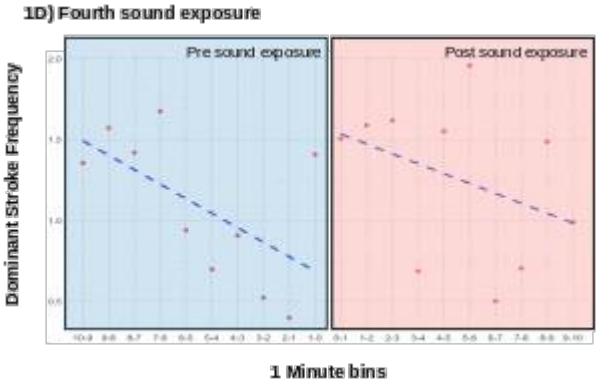
This individual was played five sets of sound exposures. Each exposure set was at least 15 minutes apart. Figure 1A shows the fluking rate pre- and post- the first sound exposure set. In the ten minutes prior to the first sound exposure, we observed a reduction in fluke rate suggesting reducing speed or effort. Immediately following the first sound exposure (RL (received sound pressure level): 160.3dB re 1µPa rms) there was a >1 Hz increase in fluking rate, followed by a gradual decrease for the next ten minutes.

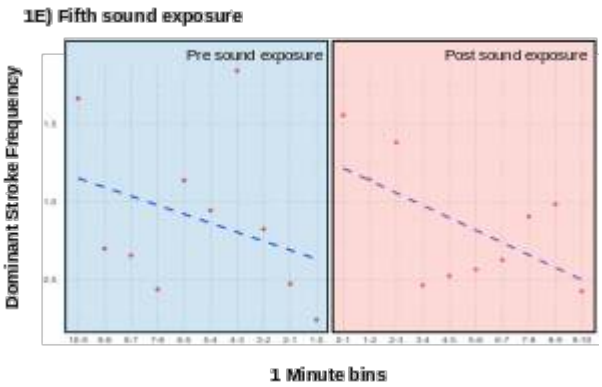
A similar pattern was seen in the second, fourth and fifth sound exposures (Figures 1B, D and E) (RL: 160.3, 159.2 and 160dB re 1µPa rms respectively), in which fluking rate increased after exposure. The response

following to the third exposure is harder to explain with a weaker response (Figure 1C) but could be related to the lower received level of the exposure (159.1dB re 1µPa rms).





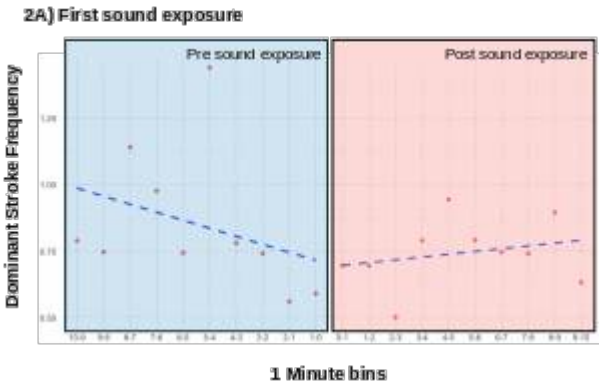


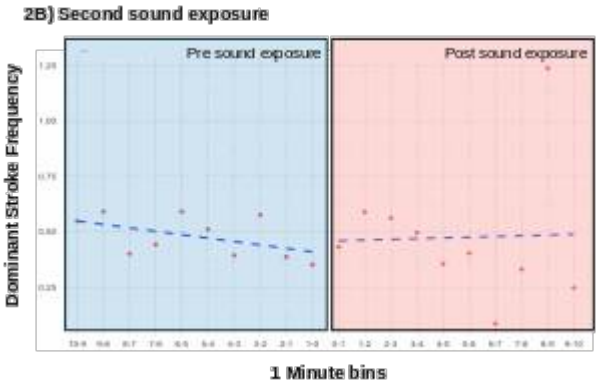


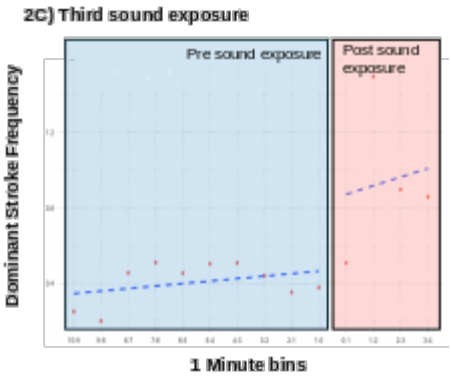
Humpback Whale 211122

This individual was played three sets of sound exposures. Exposure sets were at least 15 minutes apart from each other. However, the CATS tag fell off ~5 min post-exposure, so Figure 2C reflects the shorter time series post-exposure.

Figure 2A shows the fluking rate pre- and post- the first sound exposure set. In the ten minutes prior to the first sound exposure, we observed a reduction in fluke rate suggesting a decrease in speed or effort. Immediately following the first sound exposure (RL 159.5dB re 1µPa rms), there was no significant increase in fluking rate. We would expect a less noticeable behavioural response because humpback whales are a larger, slower species, although this response could also be due to the comparatively low received level. Similarly, Figure 2B shows no significant response to the higher received level of 171.8dB re 1µPa rms. Only the third sound exposure induced an increase in fluking rate with a received level of 170.6dB re 1µPa rms (Figure 2C).





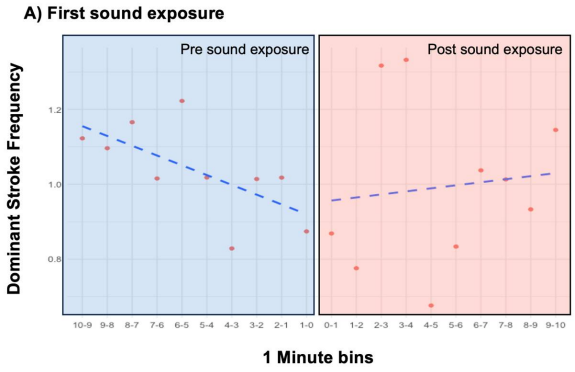


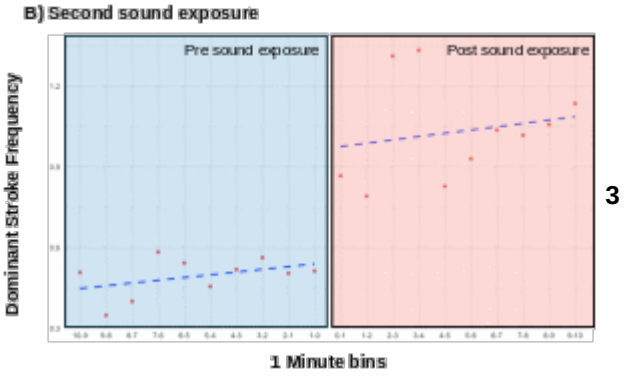
Humpback Whale 021222

This individual was played two sets of stimuli. Exposure sets were at least 15 minutes apart from each other. Figure 3A shows a reduction in fluking rate pre- the first sound exposure (173.6dB re 1µPa rms),

indicating a decrease in speed or effort. Despite higher fluking rates in the 2-4 minutes post-exposure, we observe a weak overall increase in stroke frequency in this animal (Figure 3A). Following the second sound exposure to this animal, we observe a consistently higher fluking rate when compared to the pre-exposure fluking rate (Figure 3B).

3





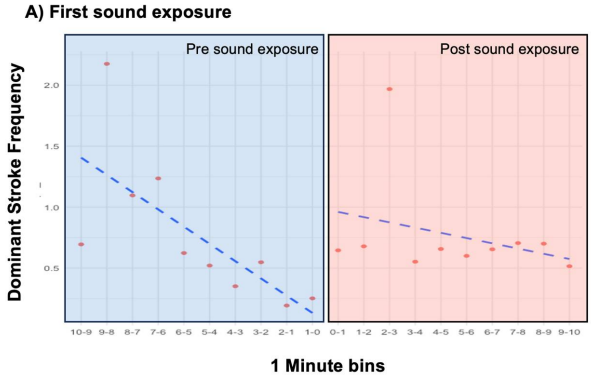
3

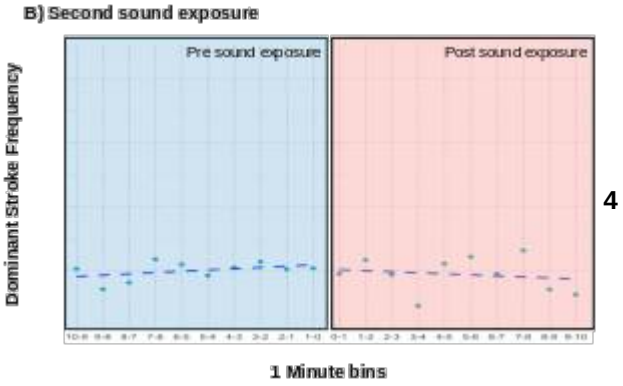
Humpback Whale 011222-2

This individual was played two sets of sound exposures. Exposure sets were at least 15 minutes apart from each other. In the ten minutes prior to the first sound exposure, we observed a reduction in fluke rate suggesting reducing speed or effort. Immediately following the first sound exposure (RL 176dB re 1µPa rms), there was an increase in fluking rate with a high fluking rate of 2 Hz at 2-3 minutes post-exposure (Figure 4A). Fluking rate then stabilised for the next seven minutes.

Figure 4B shows a minimal response to the second sound exposure, presumably due to the lower received level (164.6dB re 1µPa rms).

4





4

In summary, we note that nearly 60% of sound exposures resulted in short-lived increases in fluking rates for both killer and humpback whales. For the one killer whale, four out of five sound exposures elicited increased fluke rates, while for humpback whales we observed no consistent pattern in fluking rate. This could be due to species differences in hearing and behavioural responses, or the received levels of the sound stimuli. Multivariate analysis is required of fluking rates of all 29 whale individuals to consider the different sound stimuli and received levels. Further GPS spatial analysis of distance travelled and directionality in conjunction with the observed fluking rates will help to determine if fluking rate is representative of individuals travelling faster and/or further away from the sound stimuli than in the absence of sound exposure.

Acoustic and Spatial Analyses

Further to the fine-scale movement data collected above, audio and GPS data were simultaneously recorded. From the audio we were able to determine the received levels of 587 stimuli recorded by tags from 71 exposures. Pulses were first filtered using a 4-pole Butterworth bandpass filter at 300-20000Hz to remove as much ambient noise as possible. The rms (root mean square) of each pulse was then measured over a 90% energy window, as were peak frequency, signal to noise ratio (SNR), and bandwidth measurements at 3, 5, 10 and 20dB from the peak of each signal. The received levels ranged from 128.1 to 176dB re 1µPa rms, with a mean of 143.7dB re 1µPa rms (SD ± 8.7). 24 of the 587 pulses exceeded a received level of 160dB re 1µPa rms. We played different pulses varying in frequency structure, registering peak frequencies of between 375 and 13312Hz (mean: 4151Hz, SD ± 3915). We will investigate the effects of stimulus structure on the startle and movement behaviours of the whales in the coming months.

GPS tracks generated using the points collected by the CATS tags during surfacing behaviours were then used to generate tracks and analyse broad-scale movement patterns preceding and following exposures. An example is included below:

Humpback Whale 021222

This individual was played a single set of sounds. The first pulse of this set was measured at 173.6dB re 1µPa rms, with a peak frequency of 4687.5Hz. During the 10 minutes prior to the first stimulus, the whale travelled in a largely linear fashion (Figure 5) at an average speed of 1.7ms $^{-1}$ and travelling a total of 1022m. In the period following the first exposure, the whale's speed increased, travelling at an average of 2.7ms $^{-1}$ and over a total distance of 1608m. The whale turned more frequently post-stimulus, taking a more convoluted path than previously. This may be due to the individual pulses within a set of exposures each eliciting a change in direction and renewed response, or it may have been caused by other factors such as the whale beginning to forage. However, the overall speed of the whale demonstrates a marked increase, throughout the whole observation period, suggesting a lasting effect of exposures.

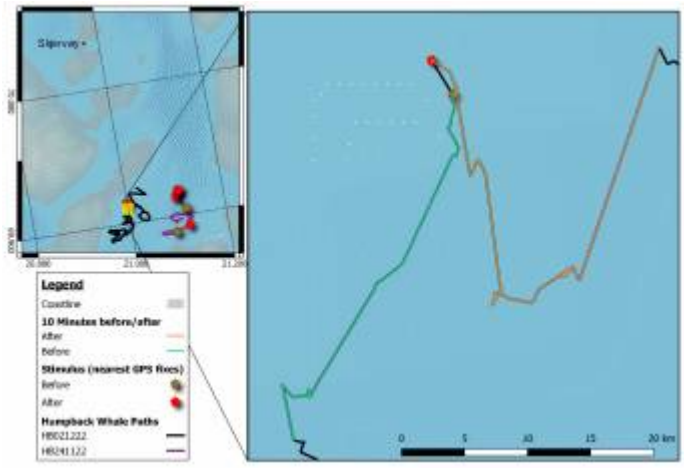


Figure 5 – The GPS track of Humpback Whale 021222. The first sound exposure (173.6dB re 1µPa) occurs between the times marked by two star ( ) symbols, with the green line representing the 10 minutes prior to exposure, and the orange track representing the 10 minutes post stimulus track.

This spatial analysis is ongoing and once complete will be combined with the fine-scale movement analysis to construct a complete picture of the whales' responses to the TAST stimuli and conduct statistical analyses to determine their effectiveness in eliciting a startle or movement-based response. Further to this, classification analysis of the acoustic data is required to categorise stimulus types and determine those most effective, allowing for the optimisation of the TAST stimulus for use on humpback whales.

12

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes
5817 Bergen
Tlf: 55 23 85 00
E-post: post@hi.no
www.hi.no