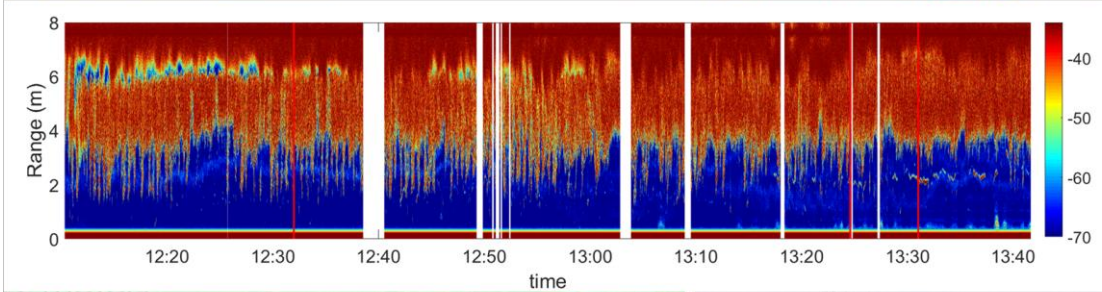




# Korleis reagerer makrell i merd på seismikkskyting med aukande lydnivå?



Presentert av: Tonje Nesse Forland



**FFI** Forsvarets  
forskningsinstitutt  
Norwegian Defence Research Establishment

UiO : University of Oslo



Finansiert av Statoil

# Deltakarar i prosjektet MackSeisII



Lise Doksæter Sivle (HI)  
Tonje Nesse Forland (HI)  
Endre Grimsbø (HI)  
Hans Erik Karlsen (UiO)  
Rune Roland Hansen (UiO)  
Petter Kvadsheim (FFI)  
Markus Linne (FOI)  
Mathias Anderson (FOI)



# Bakgrunn

- Fiske og petroleumsverksemd skjer ofte i dei same områda.
- Fiskarar har opplevd at bruk av luftkanon skremmer vekk fisken.
- Havforskningsinstituttet gir råd til oljedirektoratet om kor og kortid seismiske aktivitetar bør unngåast for å beskytte gyteområde.
- Fiskeridirektoratet gir råd til oljedirektoratet om korleis fiskeri skal beskyttast.
- Gode råd krev god kunnskap:
- Korleis reagerer fisk på støy frå seismikk?
- Kva for eigenskapar i lyden er det fisken reagerer på?



# Atlantisk makrell og lyd



- Makrellen er ein hurtigsymjande pelagisk fisk.
- Makrellen har ikkje symjebære og har difor begrensa hørsel. Høyrer partikkelakselerasjon, mindre følsom for lydtrykk.
- Hørsel i frekvensområdet 5-300 Hz som overlappar med seismiske signal.

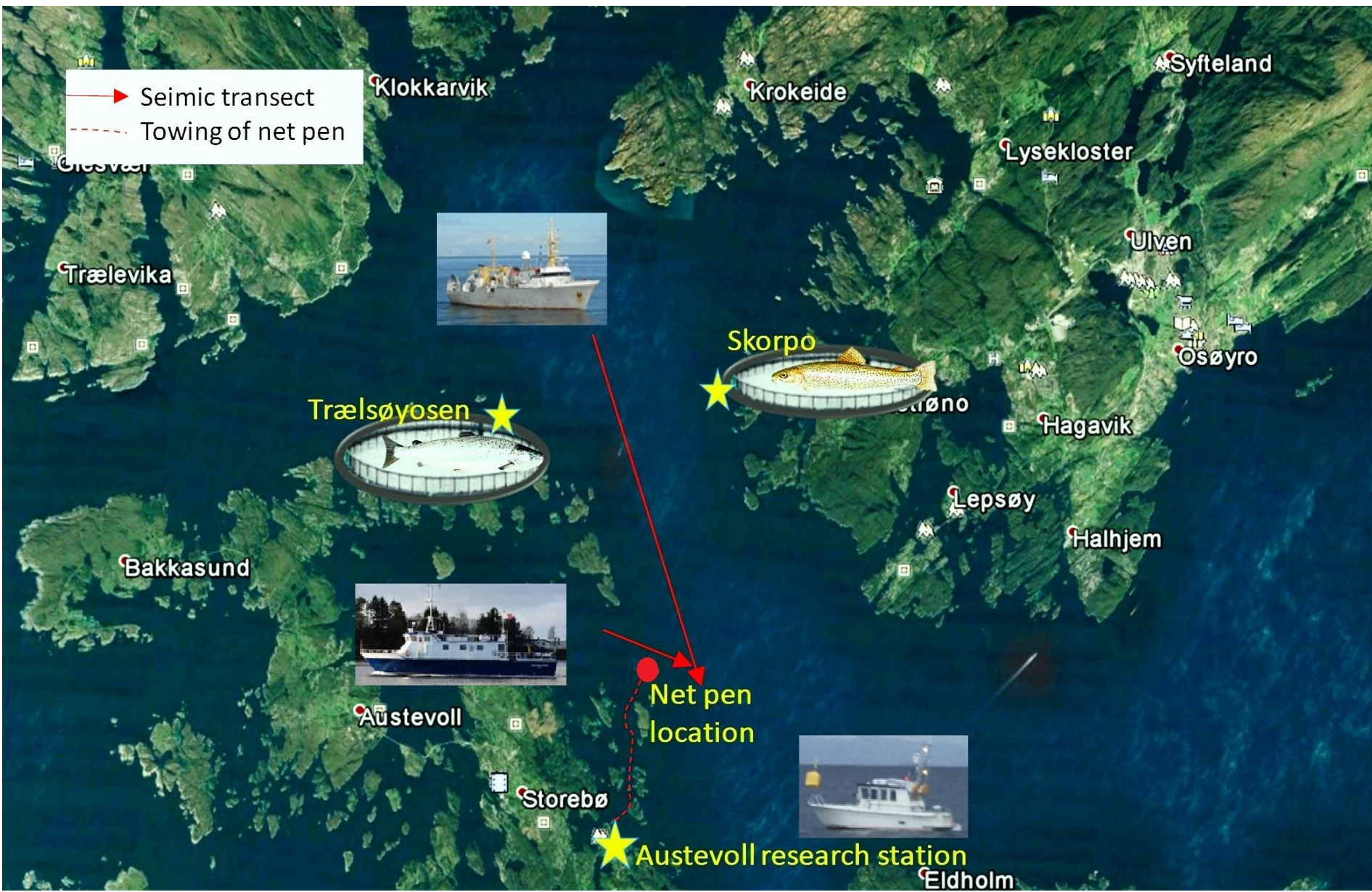
MackSeisI-prosjektet i 2015 viste at makrellen reagerte mykje kraftigare på eit 14 kHz-signal enn på ulike andre signal.



Signal	Sound exposure level (SEL) [dB(re 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> s)]	Max soundpressure (Pa)	Frequency (Hz)	Particle acceleration (ms <sup>-2</sup> )
14Hz	145	34	14	0,03
112Hz	145	34	112	0,007
Seismic close	144	118	50-200	0,004
Seismic far	144	59	50-200	0,002
Seismic far scaled up	151	122	50-200	0,004



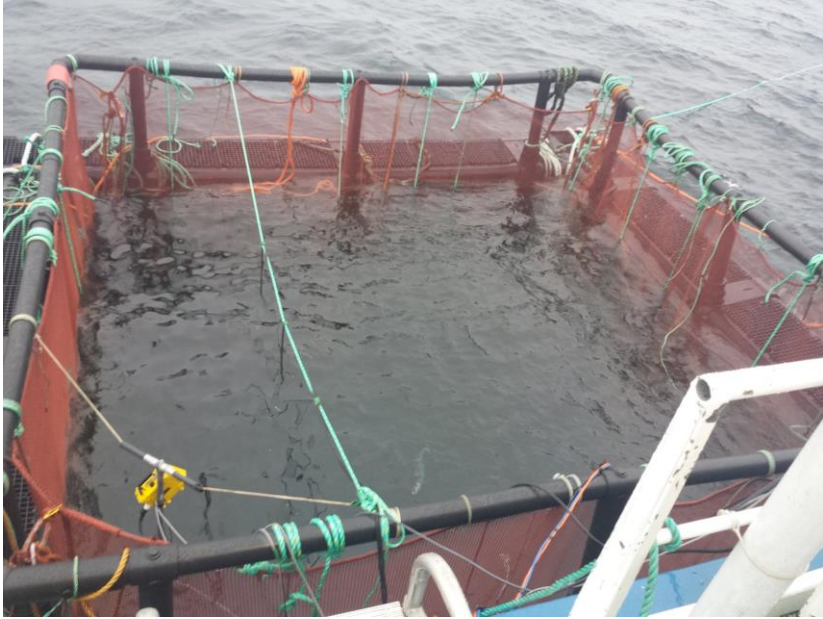
# MackSeisII: Forsøk på Austevoll i november 2016



- Makrell i merd midt i ein 100 m djup fjord.
- Ny fisk for kvar dag.
- “Seismisk fartøy” nærma seg merda frå 7 km eller 0.9 km avstand og passerte ved 300 m avstand.
- Ein enkelt 90 kubikktommer luftkanon
- Oppdrettsanlegg i området vart overvaka.



# Overvaking av fisk og lyd



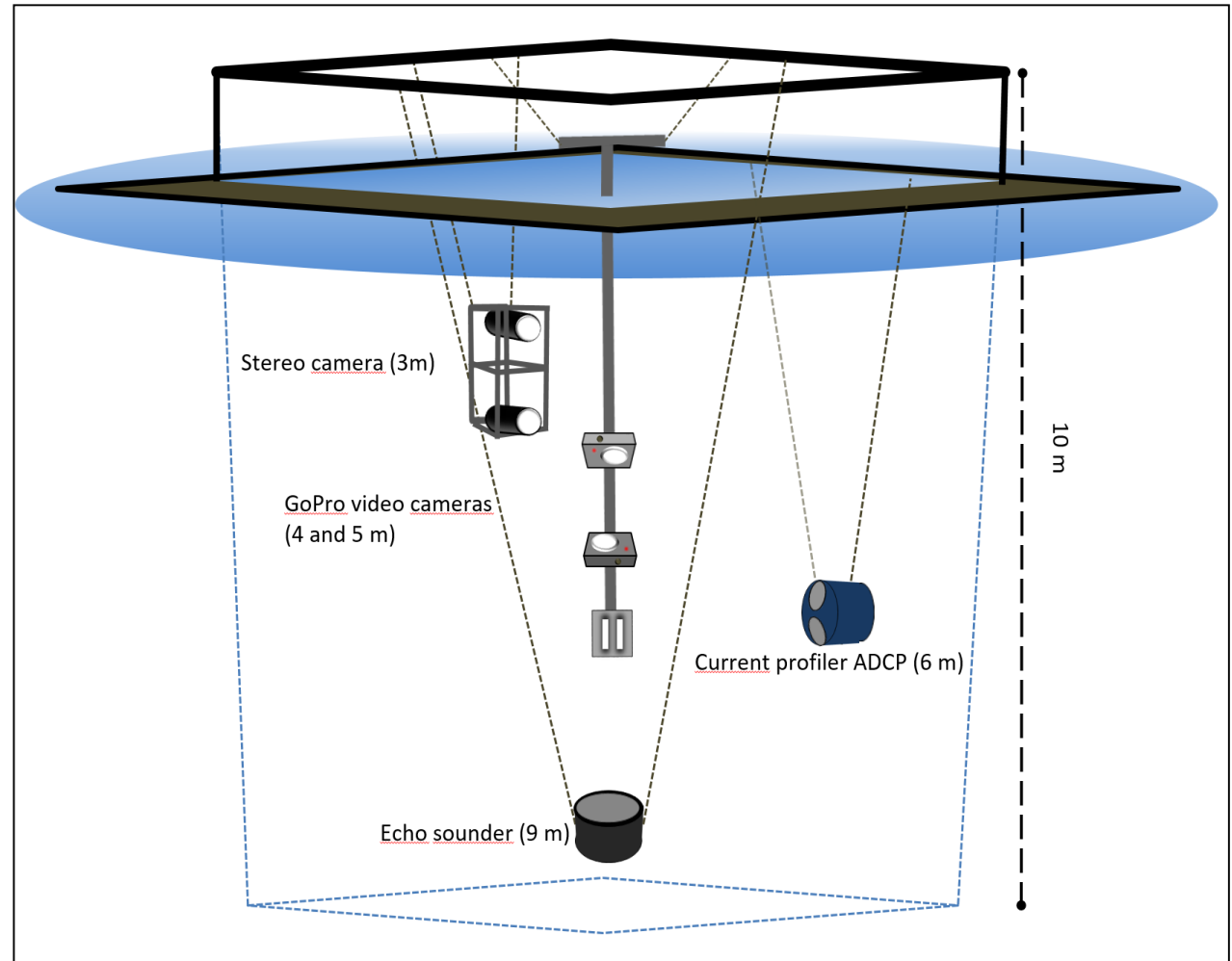
- Flytande merd (5x5x10 m<sup>3</sup>)
- 200 makrell
- Plassert i 100 m djup fjord.

## Overvaking av adferd:

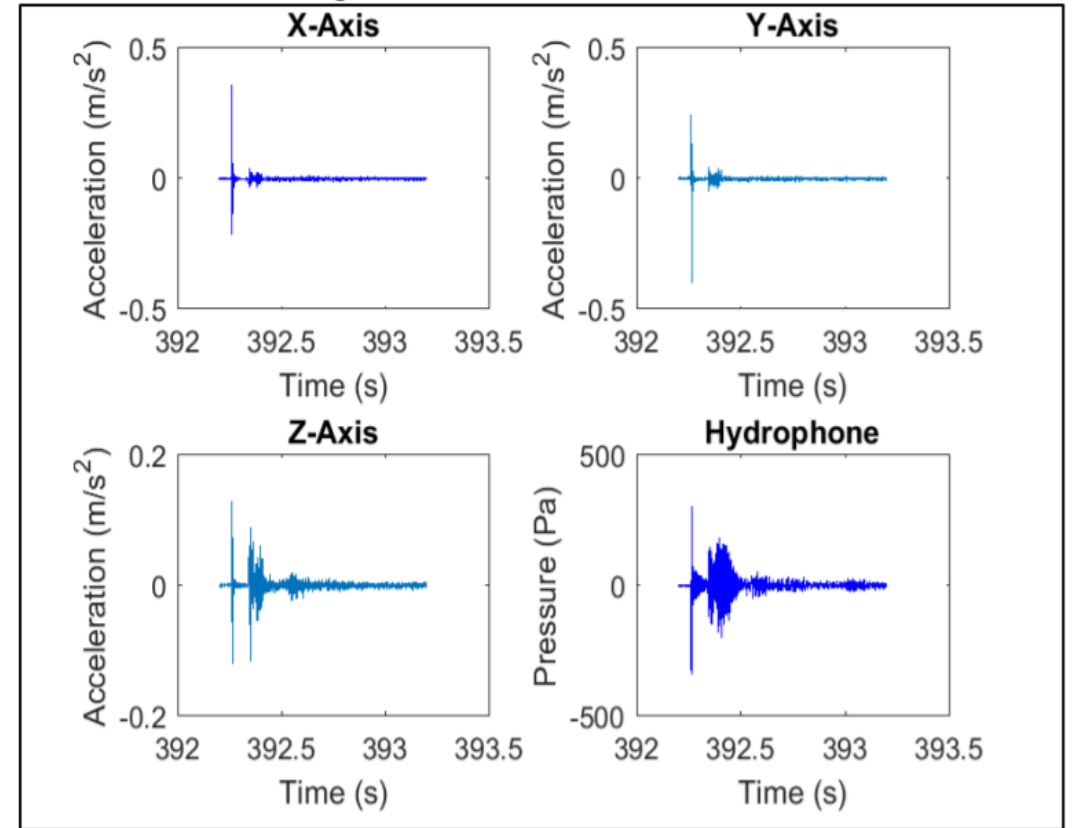
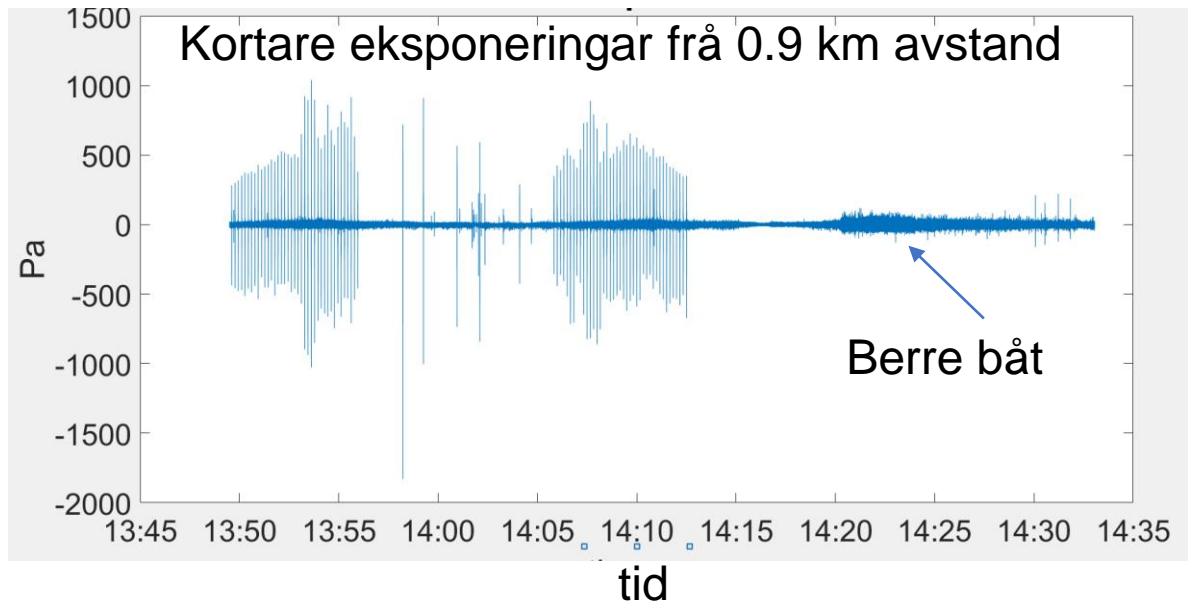
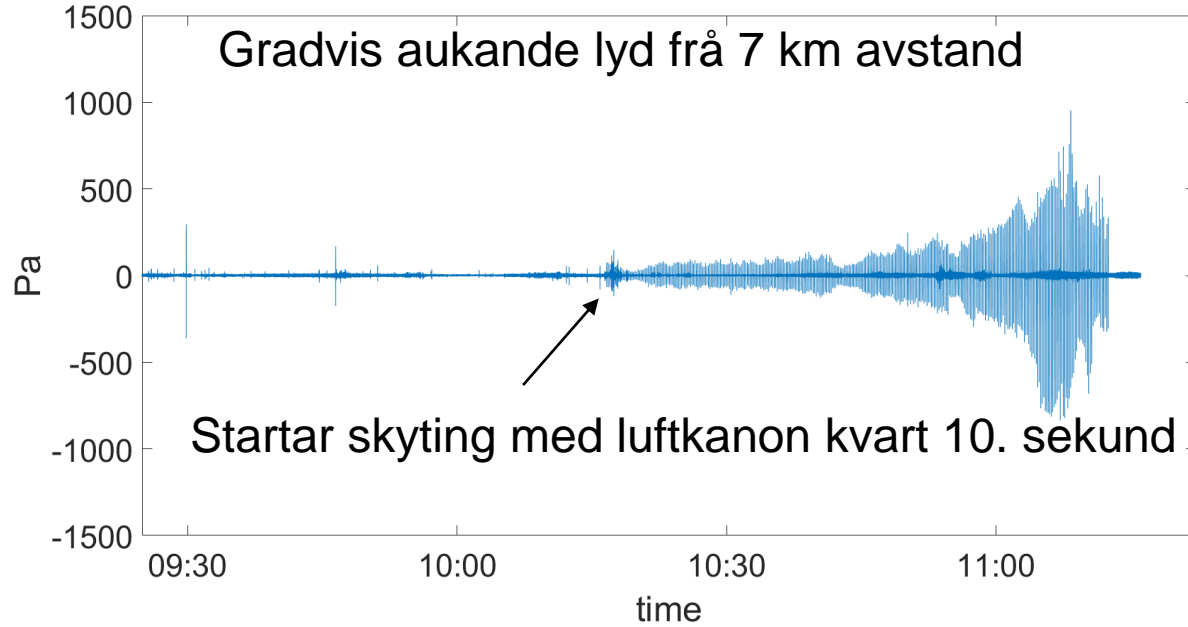
- GoPro kamera
- Stereo kamera
- Ekkolodd

## Overvaking av lyd:

- Hydrofonar; 2 inni og 1 utanfor merd
- Partikkelakselerometer utanfor merd.

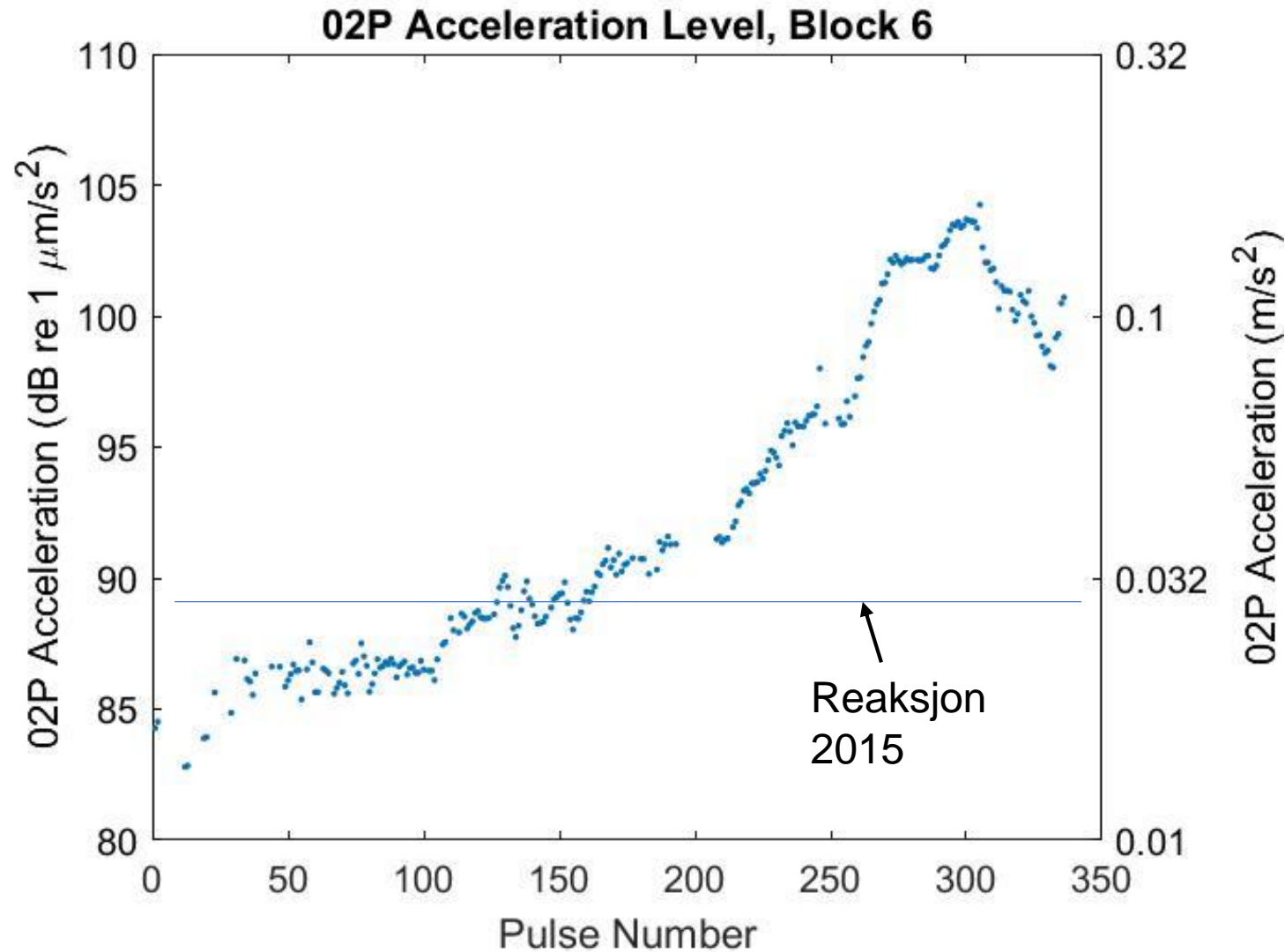


# Sound measurements



Eksempel på resultat frå partikkelakselerometer. Signal ved 300 m avstand, bandpass filtrert 5-400 Hz.

# Partikkelakselerasjon



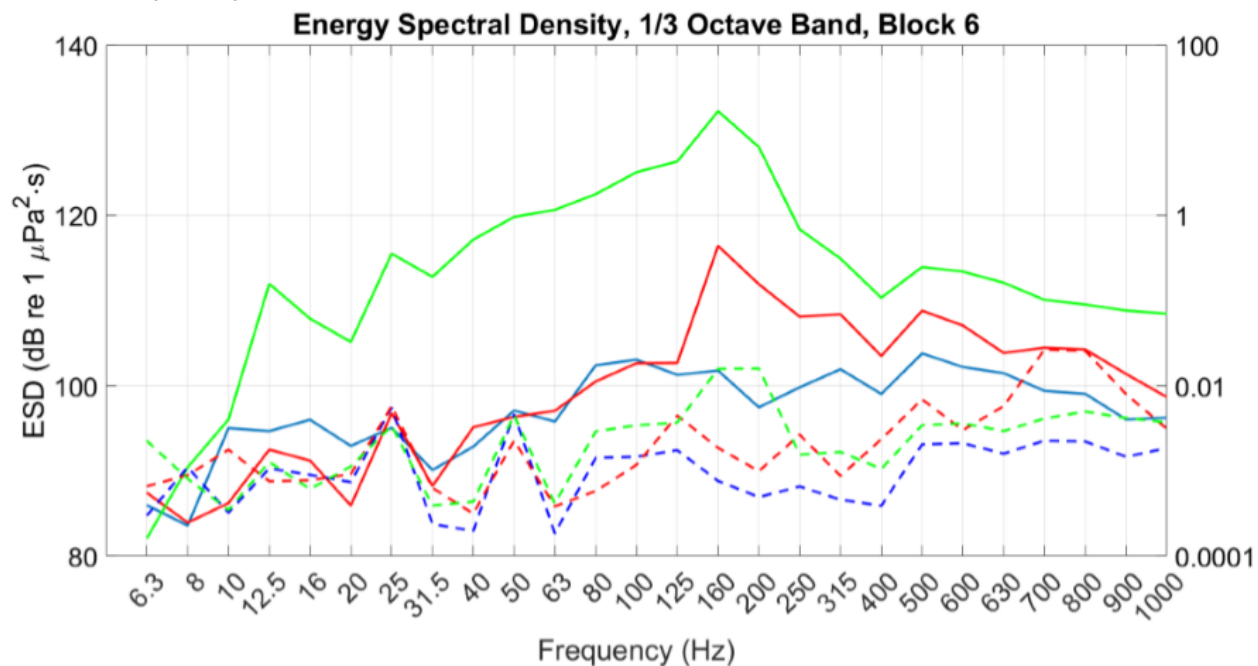
- Filter 5-400 Hz
- Her er resultanten av dei 3 retningane til partikkelakselerasjonen berekna.
- Partikkelakselerasjon: 0.02-0.15  $\text{m/s}^2$
- Signalet makrellen reagerte på i forsøket frå 2015 hadde partikkelakselerasjon på 0.03  $\text{m/s}^2$



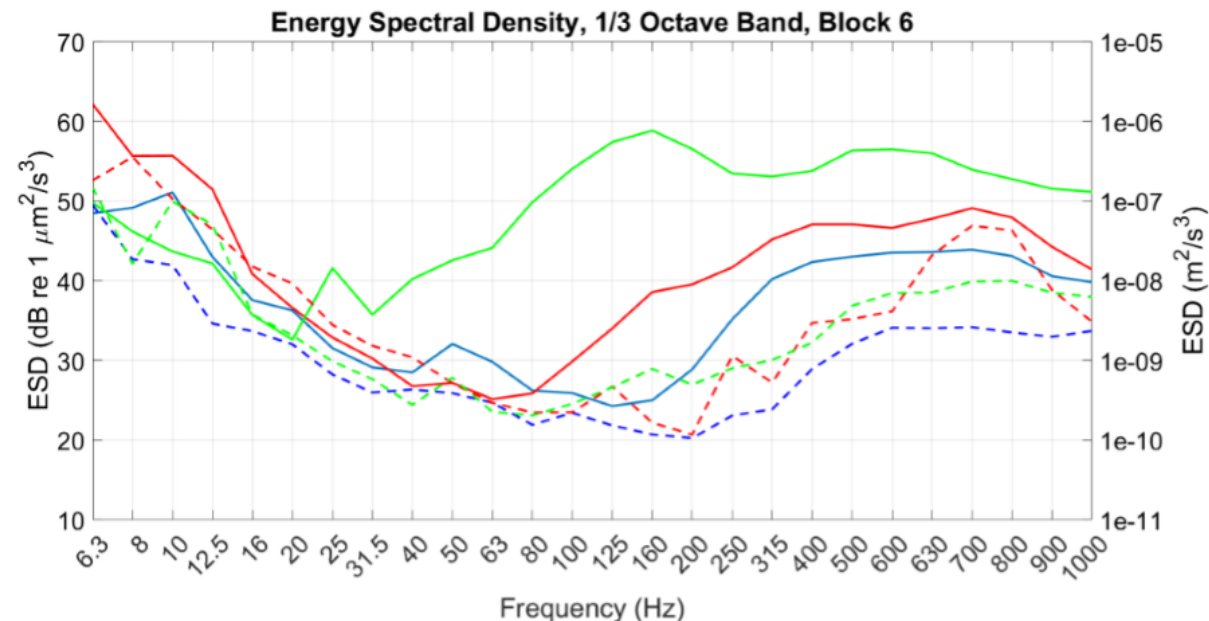
# Fordeling av energi i frekvensdomenet

ESD: energy spectral density  
(spektraltettleik av energi)

Lydtrykk:



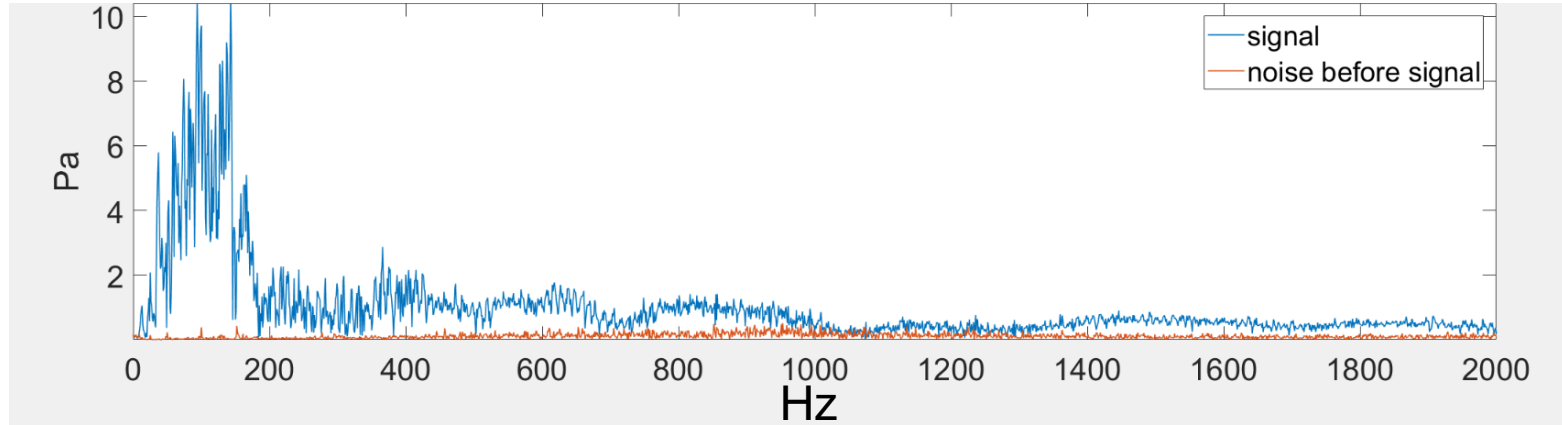
Partikkelakselerasjon:



- Puls, 7 km avstand
- Støy, 7 km avstand
- Puls, 3.5 km avstand
- Støy, 3.5 km avstand
- Puls, 0.3 km avstand
- Støy, 0.3 km avstand

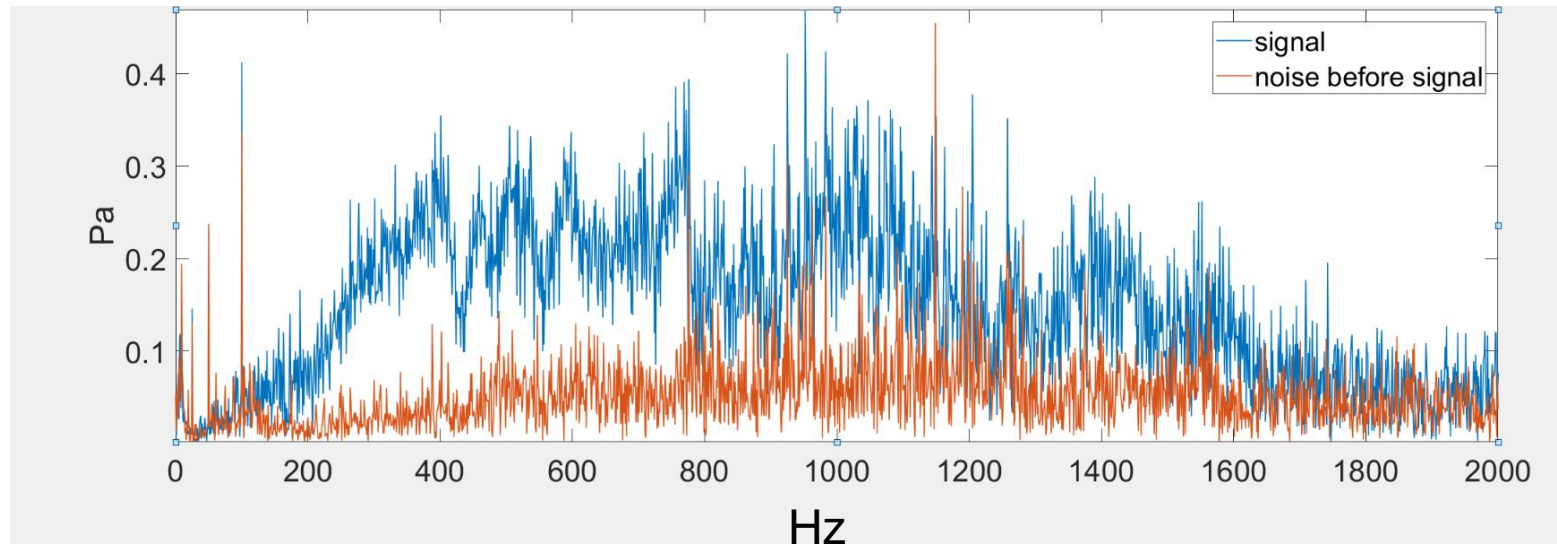
# Ufiltrert frekvensinnhald

300 m avstand



Ved korte avstandar er mesteparten av energien fordelt på dei lavaste frekvensane (innanfor frekvensområde for fiskehørsel)

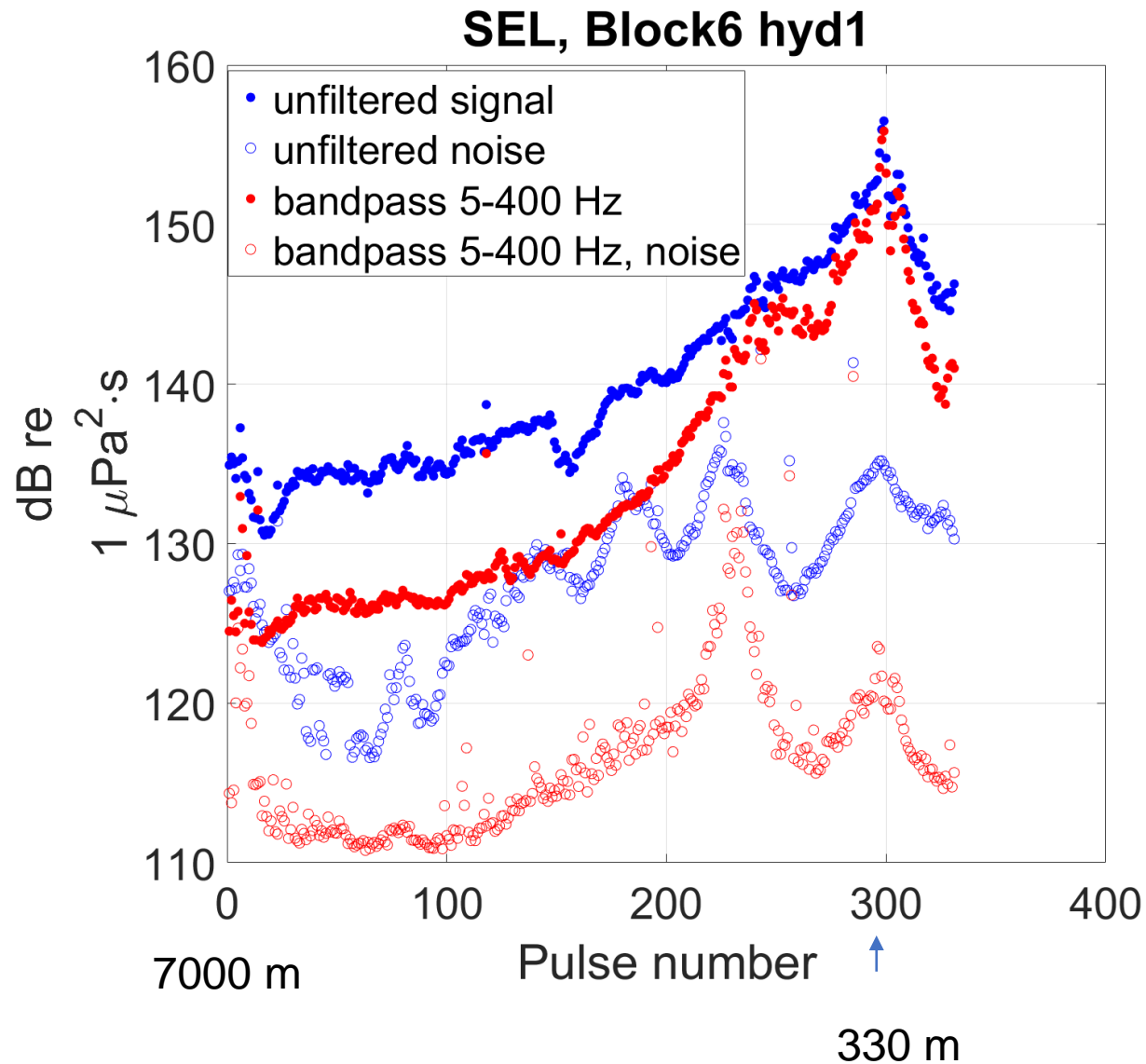
7000 m avstand



Lenger unna er energien meir jamnt fordelt over eit større frekvensspekter, der mykje av det er utanfor fiskehørsel området.



# Sound Exposure Level: mål på energi i kvar puls

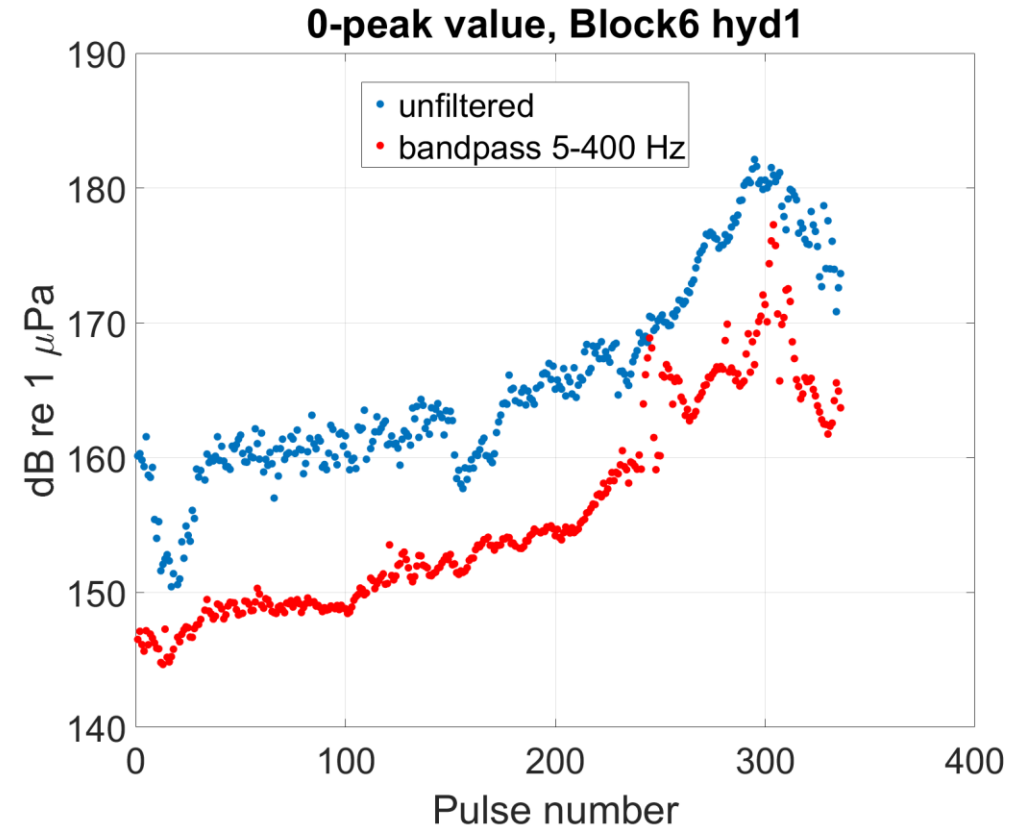
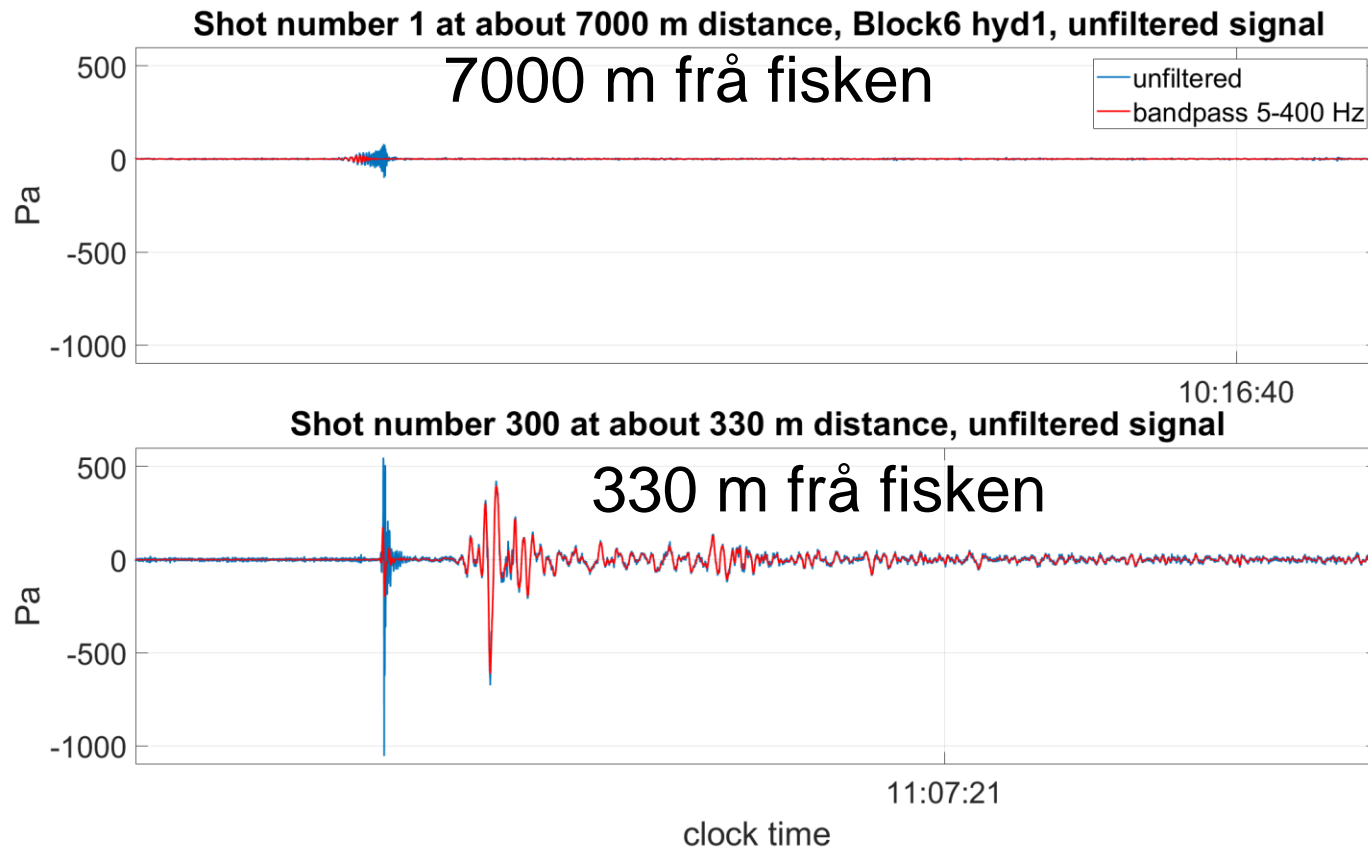


- Blå kurve viser kor mykje energi det er i signalet.
- Raud kurve gir ein peikepinne på kor mykje av energien Fisken kan detektere.





# Lydmålingar



Blå kurver viser rådata, ufiltrert signal.

Raude kurver viser kva vi antek at fisken høyrer (5-400 Hz)

Omtrent 350 skot, eit kvart 10. sekund  
Lydtrykksnivå: 146 to 171 dB re 1 $\mu$ Pa



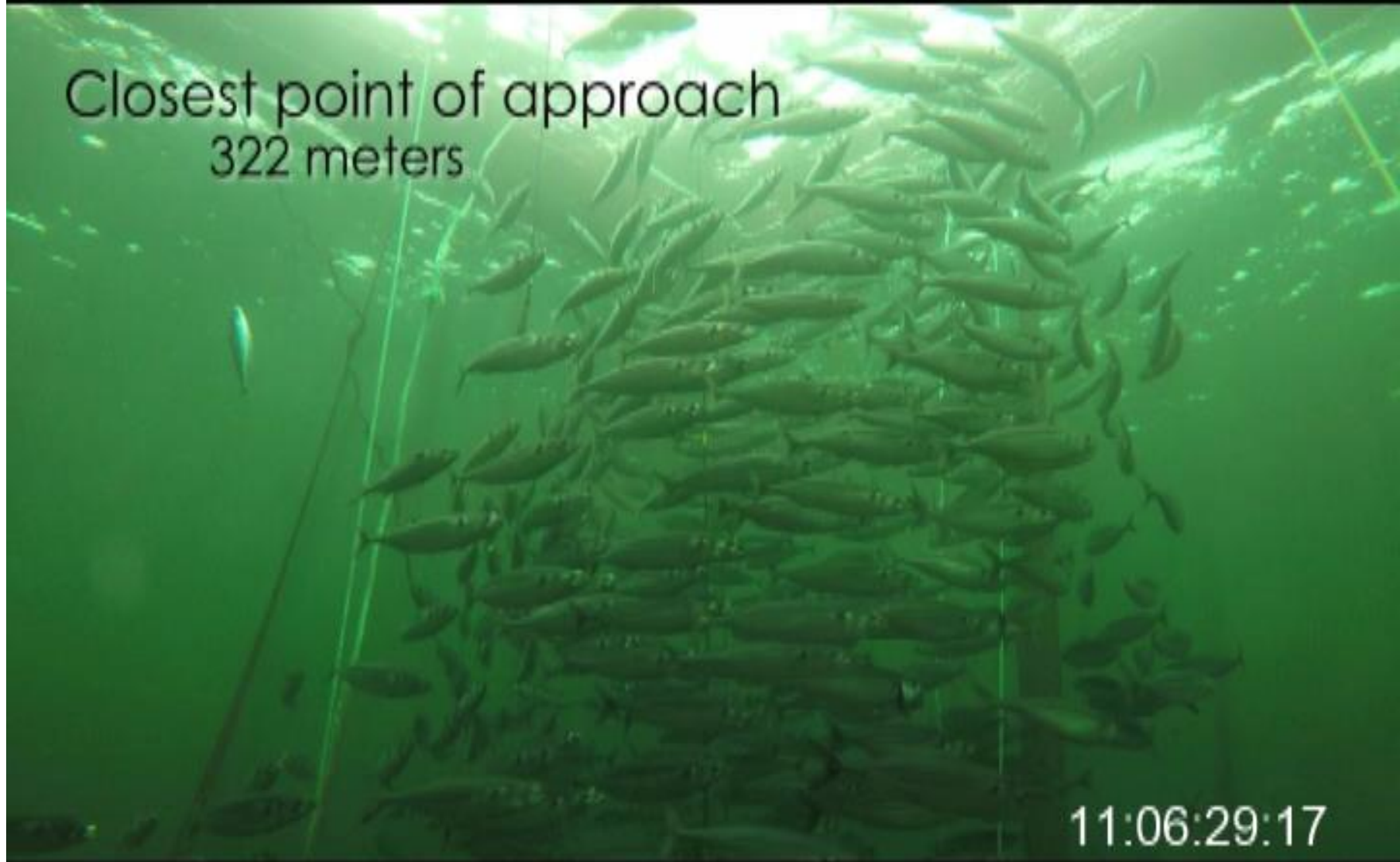
# Målinger av åtferd

- Video:
  - symjehastigheit
  - kategorisering av oppførsel: stimåtferd og tydelege endringar i hastigheit
- Ekkolodd: vertikalfordeling i vasskolonna



Eksempel på åtferd ved kortaste avstand mellom luftkanon og fisk.

Ingen tydelege reaksjonar er observert

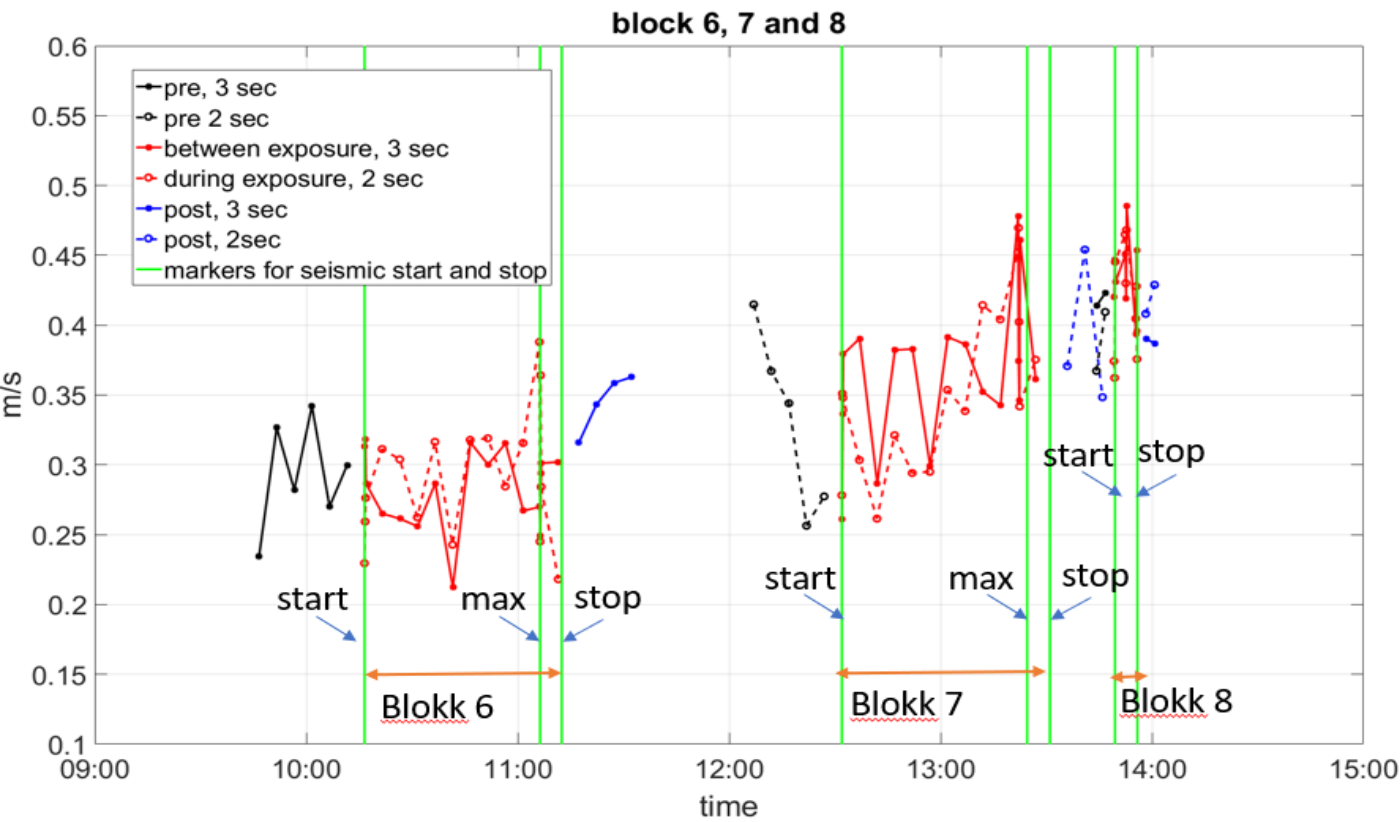




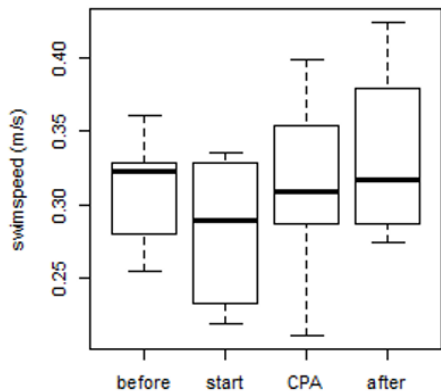


# 3 eksponeringar

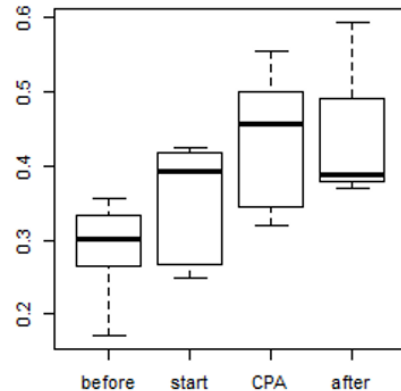
- Symjehastigheiten auka i løpet av seismikk-eksponeringa.
- Generell auke i symjehastighet i løpet av dagen?
- Vind/bølger auka i løpet av dagen.
- Symjehastigheiten ligg mellom 0.2-0.5 m/s.



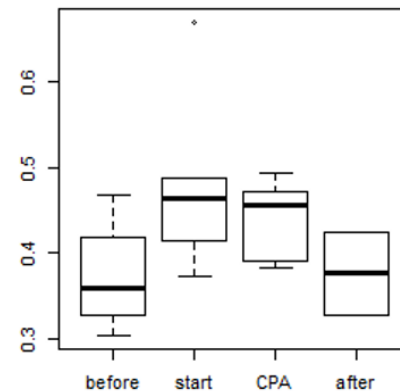
Block 6



Block 7



Block 8



Statistisk analyse viser signifikant auke for blokk 7 mellom "before" og "CPA", elles ingen signifikante endringar.

# Symjehastigheit

- MackSeisII: symjehastigheit mellom **0.2-0.5 m/s**.
  - Dette er i underkant og i nedre sjikt av vanleg symjehastigheit for makrell (Wardle & He, 1988).
- MackSeisI: då fisk reagerte på 14 Hz signal var hastigheiten opptil **2.3 m/s**.
  - Dette er over vanleg/føretrekt hastigheit

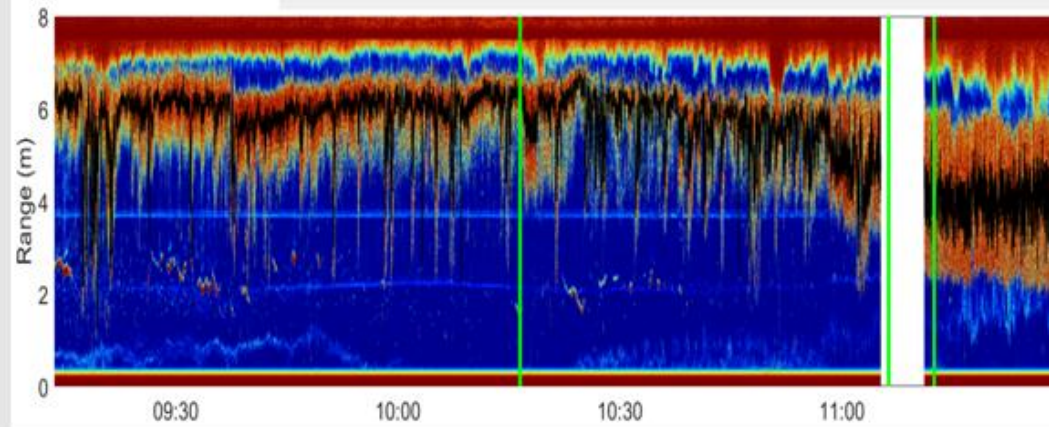
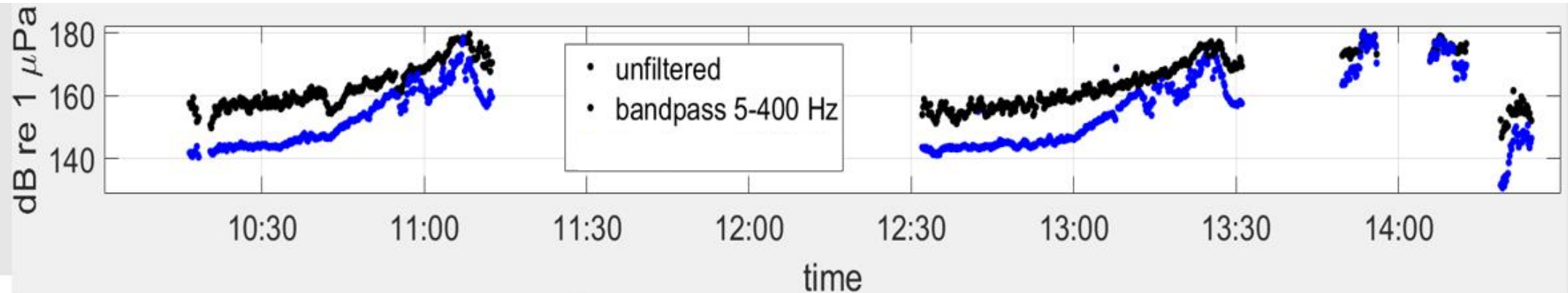
Tabell basert på Wardle & He 1988, kroppslengder/sekund berekna for 41.6 cm lang makrell.

Oppførsel	Symjehastigheit
Minimums hastigheit for å oppretthalde konstant djup	0.16 m/s
Vanleg/føretrekt hastigheit	0.37-1.45 m/s
“Burst hastigheit”, flukt-oppførsel	4-5.5 m/s

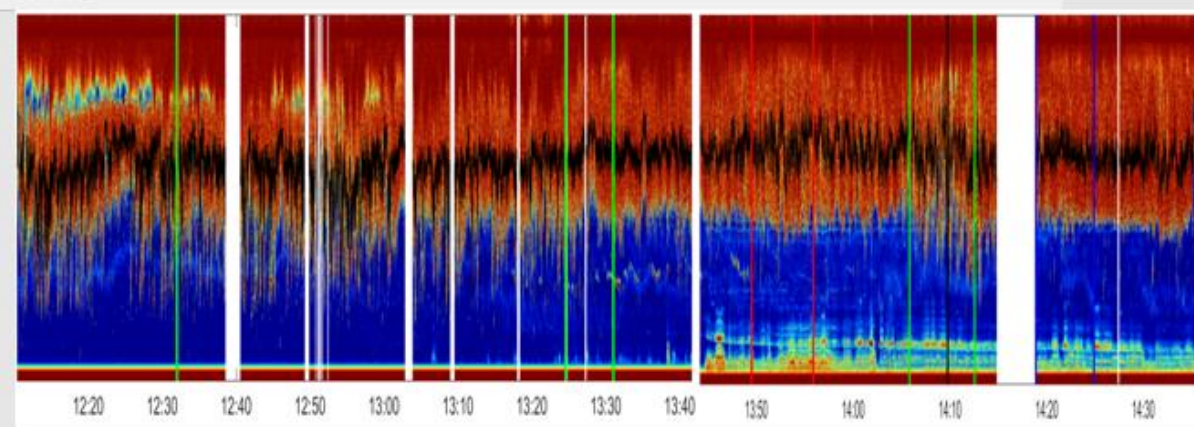




# Ekkolodd



← Blokk 6 →



← Blokk 7 →

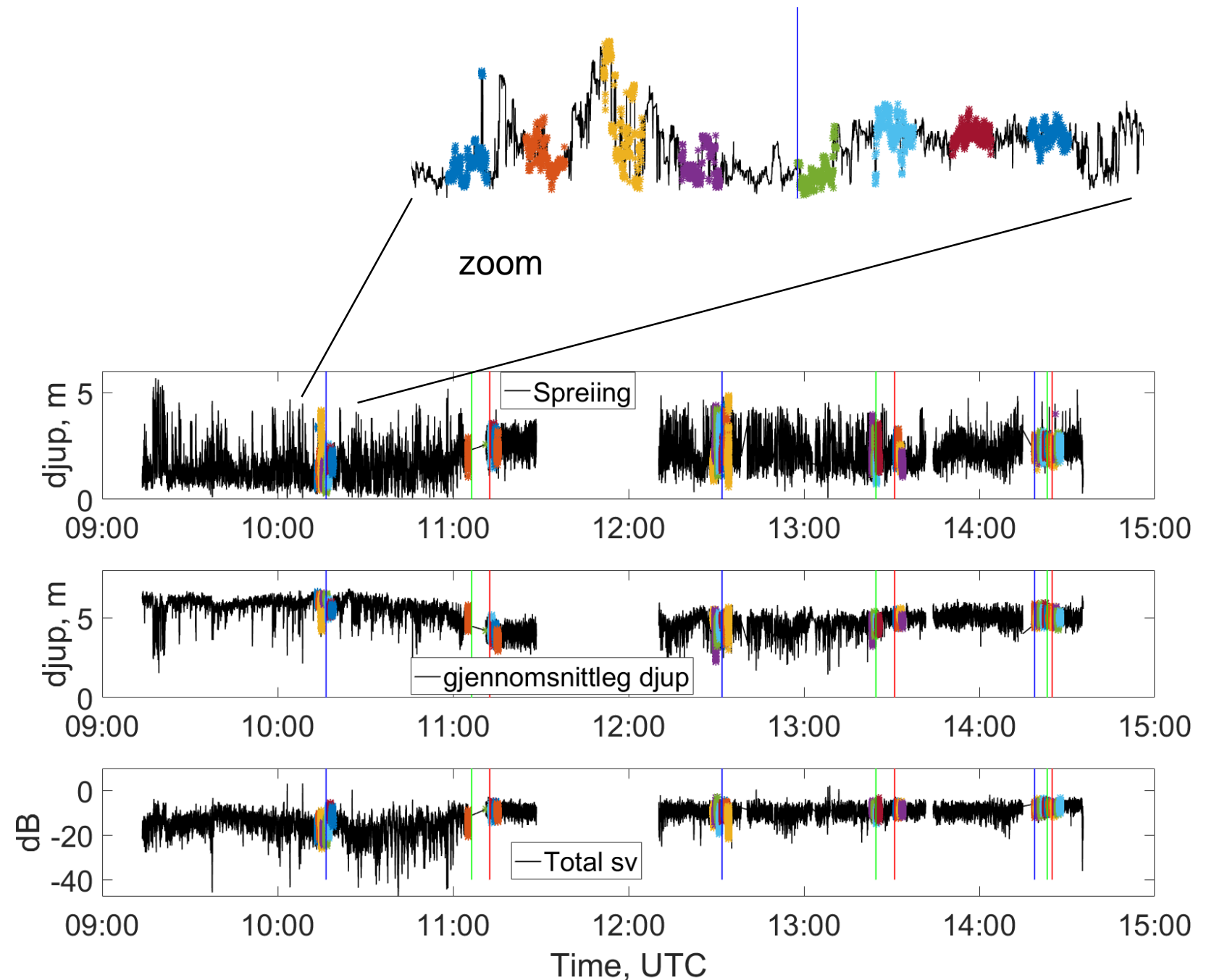
← Blokk 8 →



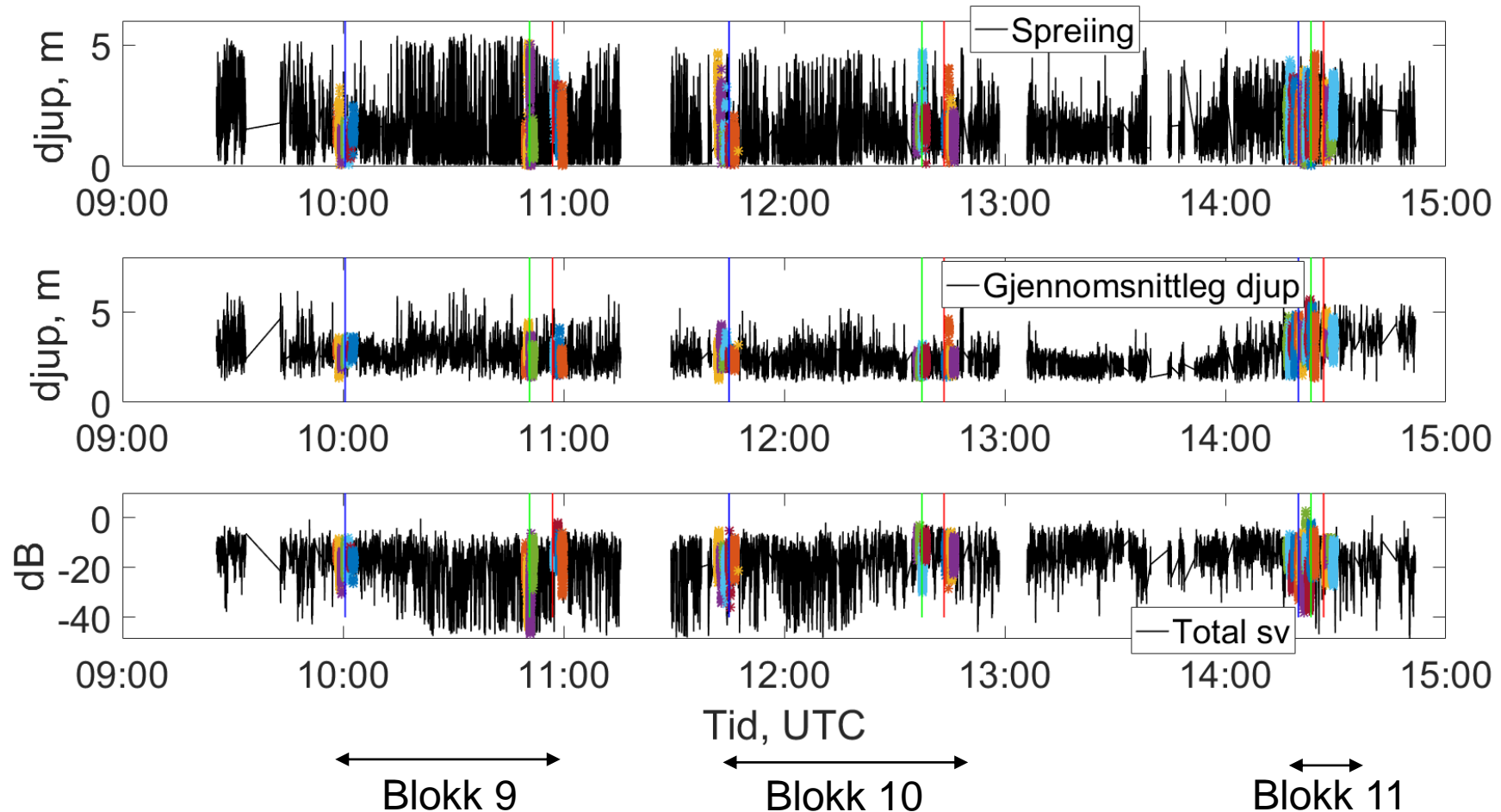
Endring i åtferd ved maksimum seismikk for blokk 6, men åtferd held seg ganske uendra etter det sjølv om det kjem fleire seismikk eksponeringar. Aukande vind og bølger kan sjåast på overflata (bekrefta av meteorolog)

# Statistikk

- Plukkar ut 5 tidsavhengige variablar frå ekkolodd-data
  - Total sv
  - Maks djup
  - Minimum djup
  - Gjennomsnittleg djup
  - Spreiing i djup (avstand maks-min)
- Undersøker 2.5 minutt lange sekvensar som igjen er delt inn i 20 sekund lange periodar.
- Para Wilcox test



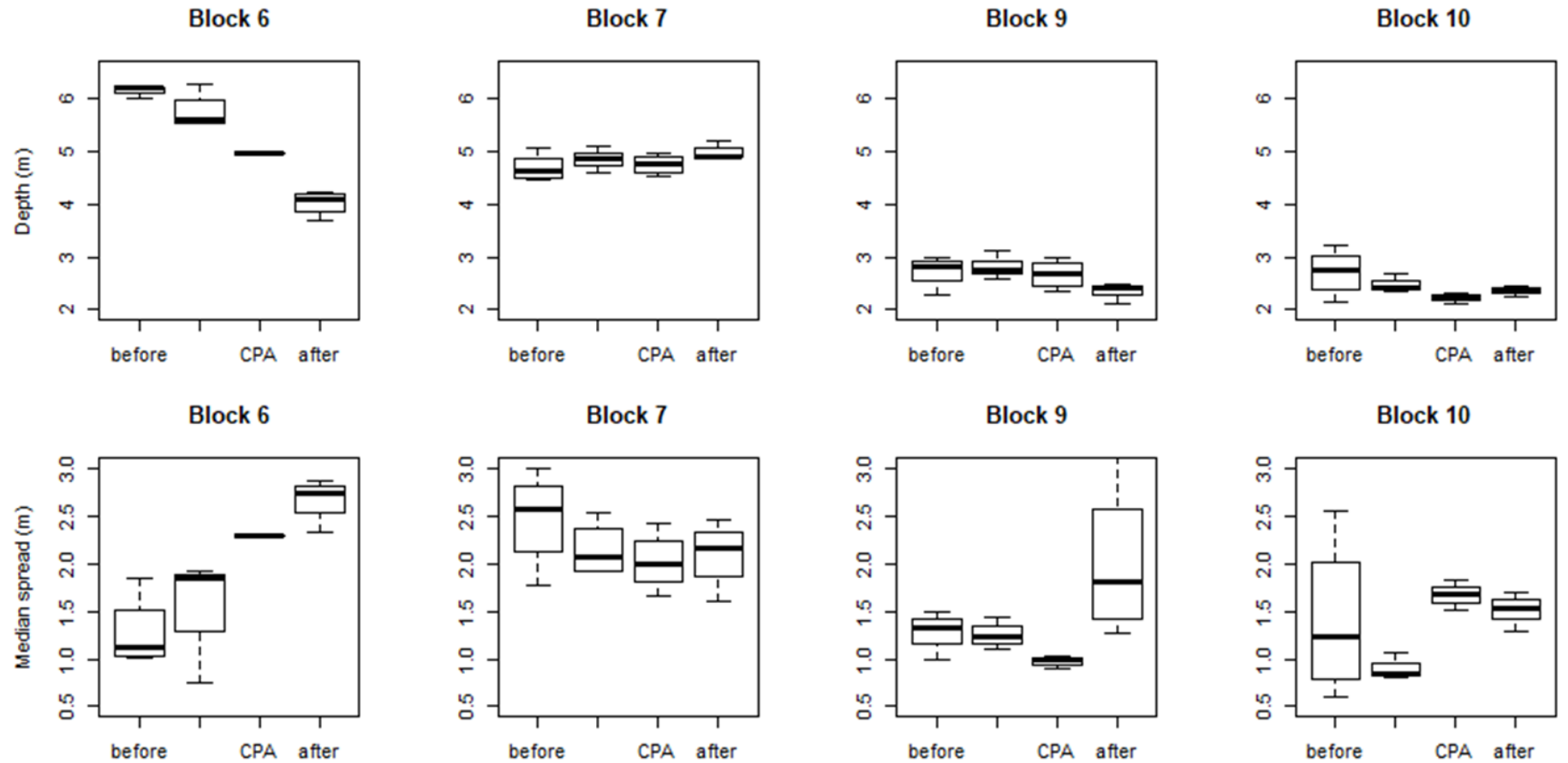
I blokk 9 og 10 som vart gjort på same måte dagen etter var det inga signifikant endring i vertikal åtferd ved korkje første eller andre seismikk-eksponering.





# Statistikk

Eksempel på resultat



Signifikant endring mellom “before” og “after” for blokk 6. Elles ingen signifikante endringar.



# Kategorisering av oppførsel

Kategorisering av oppførsel vart gjort av to ekspertar saman, basert på forhandsbestemte kriterium innanfor 3 kategoriar.

<b>Category A : Coordination of individuals within school</b>	<b>Score</b>	<b>Description</b>
	1	Low coordination, less than 50% of fish have same directionality
	2	Medium coordination, 50-90 % of fish have same directionality
	3	High coordination, more than 90% of fish have same directionality
<b>Category B : Swimming speed of school</b>	<b>Score</b>	<b>Description</b>
	1	Calm swimming
	2	Fast swimming
	3	Sprint
<b>Category C : Behavioural mode</b>	<b>Score</b>	<b>Description</b>
	1	Schooling/carousel; swimming around in circle
	2	Seaching: swimming around in pen, vertically or horizontally. If fish had not been restricted by pen walls, may have been avoidance.  Stationary schooling, the school of fish is relatively stable in the same position in the pen, swimming just to adjust for currents and to keep its position.
	3	



Tendens til litt meir koordinert symjing ved maksimum seismikk

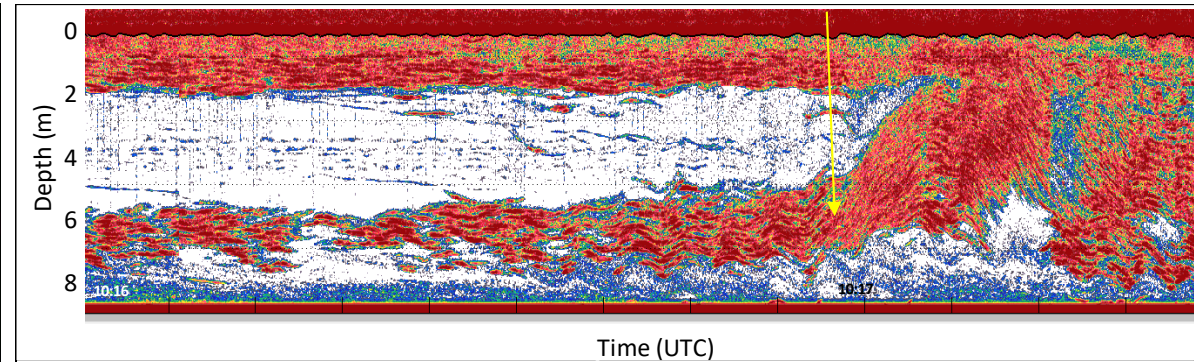


# Positiv kontroll

- Fisken reagerte ikkje mykje på seismikk støy med aukande lydnivå, men dei var i stand til å reagere.
- Ved fleire tilfelle observerte vi at fisken reagerte på bølger ved å symje raskt opp og ned i merden.
- Dette viser at fisken var i stand til å reagere og at måleinstrumenta våre var i stand til å detektere reaksjonen.

Response to wave motion  
During final sound pulses

10:56:47:03

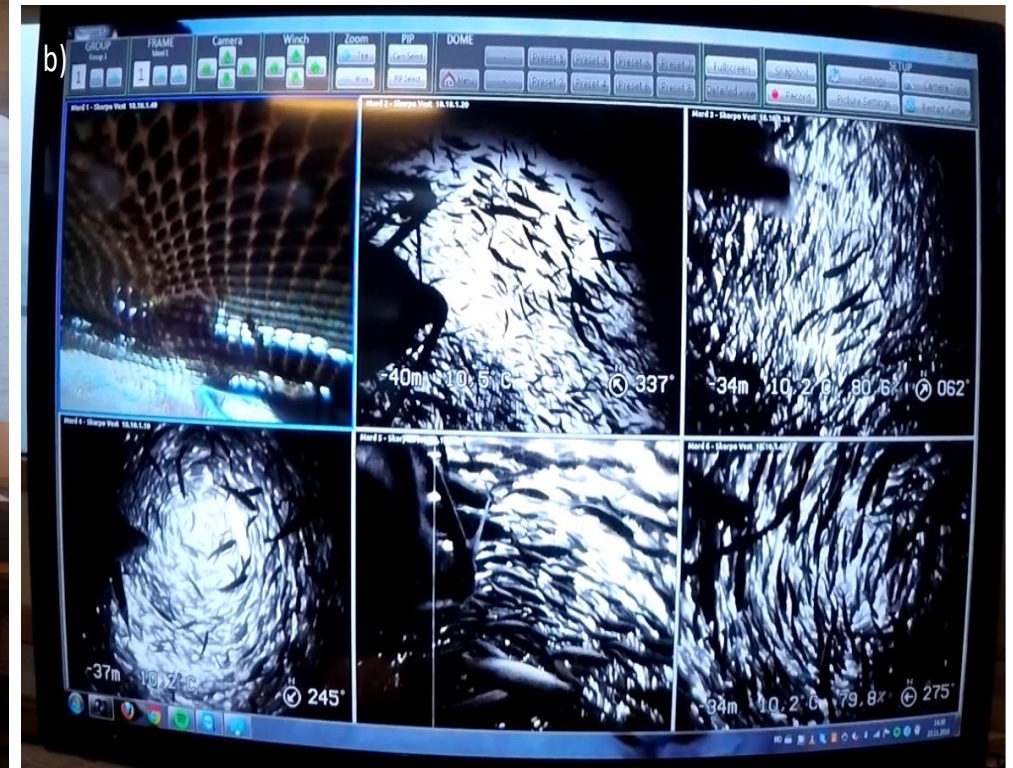


Ekkogram av ein slik reaksjon. Gul pil viser tid for observerte bølger.

Blokk 11: I tillegg hadde vi ei blokk der vi manøvrerte “seismikk fartøyet” så nær merden som mogleg og skaut frå ein avstand på 90 meter. Fisken reagerte på same måte som for store bølger, med rask symjing opp og ned.



# Observasjonar ved fiskeoppdrett



- Video-observasjonar frå 3 fiskeoppdrett med laks og regnbogeaur vart gjort av både ein forskar frå HI, og tilsette ved fiskeoppdretta.
- Næraste passering var 1 – 1.5 nautiske mil (~2000-3000 m).
- Ingen åtferdsendingar vart observert.





# Konklusjonar

- Ingen brå endringar i åtferd eller typiske panikkreaksjonar vart observert då makrellen blei utsett for seismiske signal frå 7000 m til 300 m avstand, og heller ikkje då avstanden var frå 900 til 300 meter. Dermed kunne vi ikkje finne nokon grenseverdi for lyd basert på unnviking.
- Energien i lyden var ulikt fordelt over frekvens ved ulike avstandar. Ved korte avstandar var det meir energi for lave frekvensar som makrell høyrer.
- Då makrellen vart eksponert for seismiske signal frå 90 m avstand reagerte han med å symje raskt opp og ned i merden. Dette er det næraste ein kjem ein vertikal respons i ein merd.
- Visuelle observasjonar av videoopptak viser ein tendens til meir koordinert symjemønster ved aukande lydnivå, med maksimal koordinasjon ved maksimalt lydnivå.
- Det kan verke som om brå og høge lydar er meir skremmande enn lydar som startar gradvis og aukar i styrke. Frekvensinnhaldet er truleg av betydning.
- Laks og regnbogeaure på oppdrettsanlegg viste inga endring i åtferd då seismikk-kjelda passerte omlag 1-1.5 nautiske mil unna.

