

Eksperimentaalne uuring müra mõjust pelaagilistele kaladele Eesti rannikumeres



1632

TARTU ÜLIKOOL

Eesti mereinstituut



1632

TARTU ÜLIKOOL

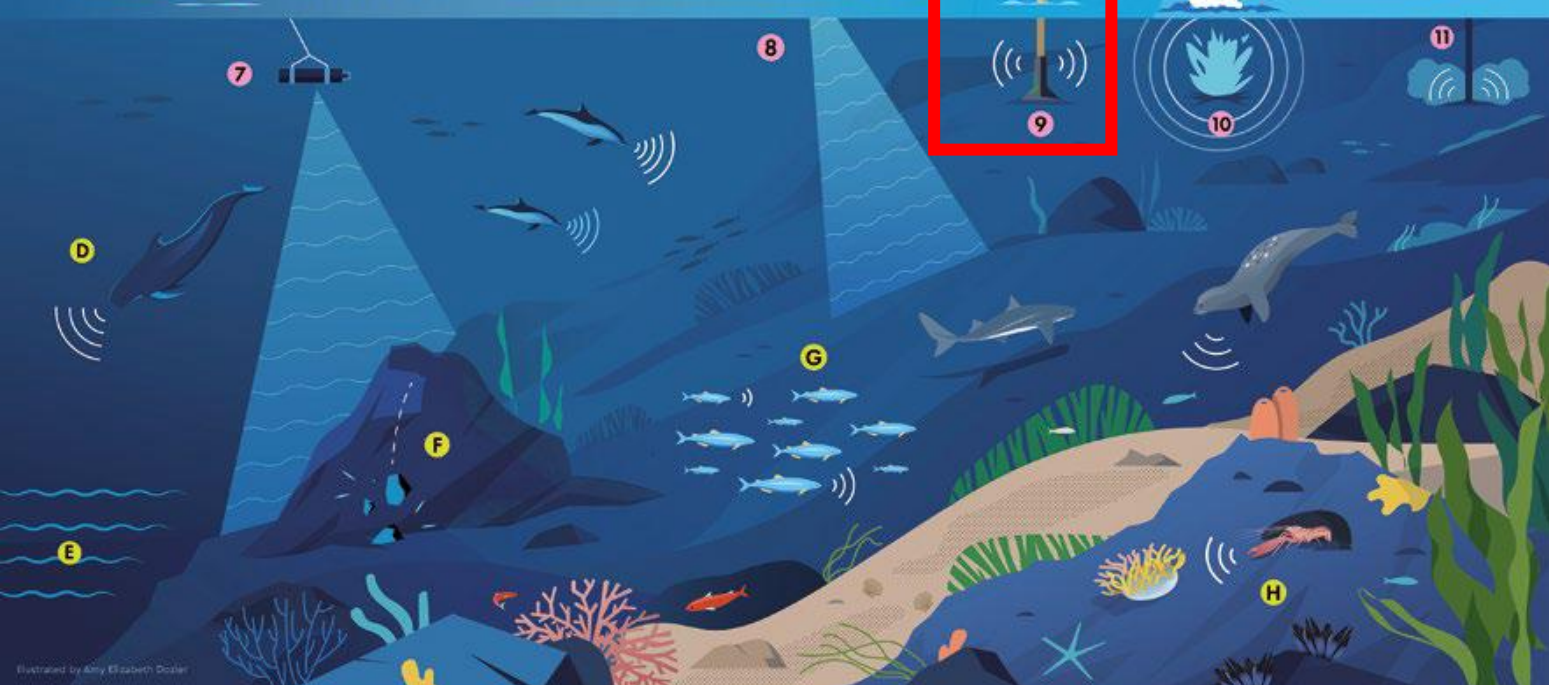
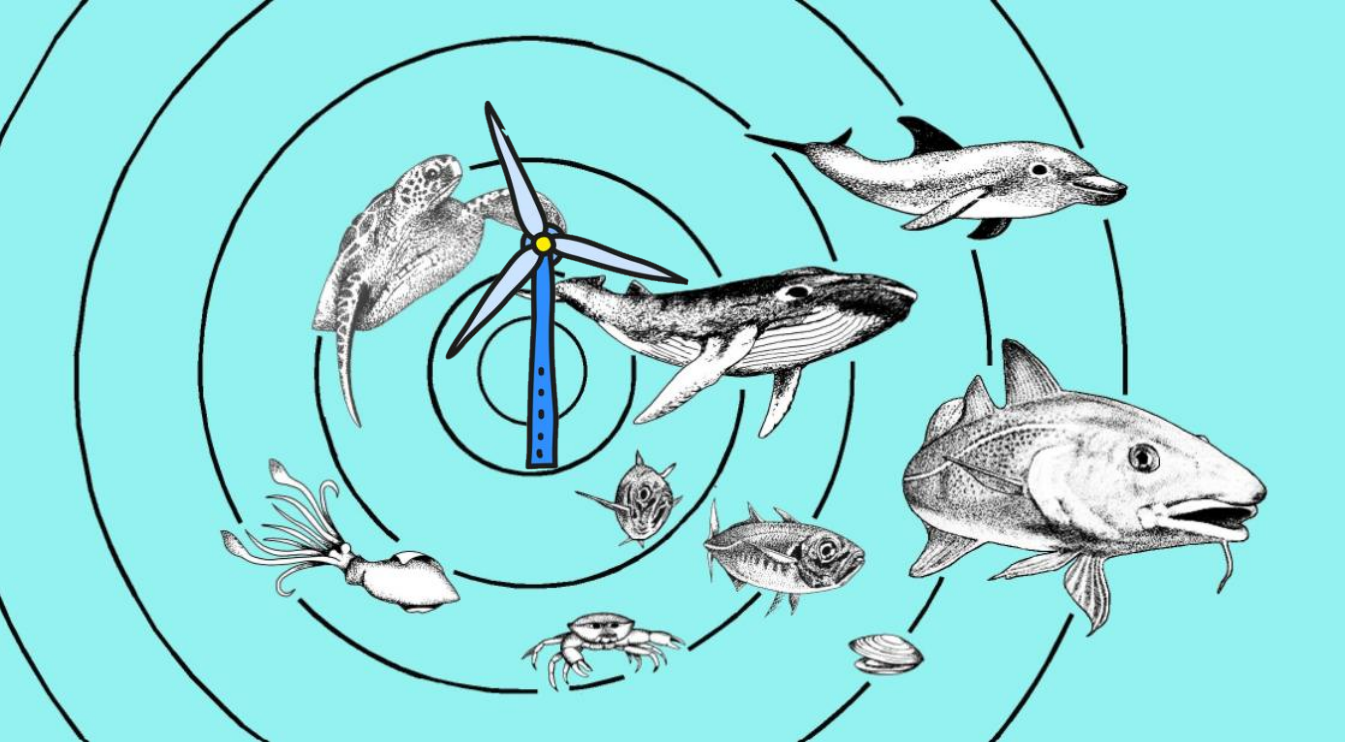
keemia instituut

**TAL
TECH**

Mehis Rohtla, Aleksander Klauson, Elor Sepp, Roland Svirgsden, Mirko Mustonen, Kirke Paris, Rait Kanarbik, Ants Kaasik jt.

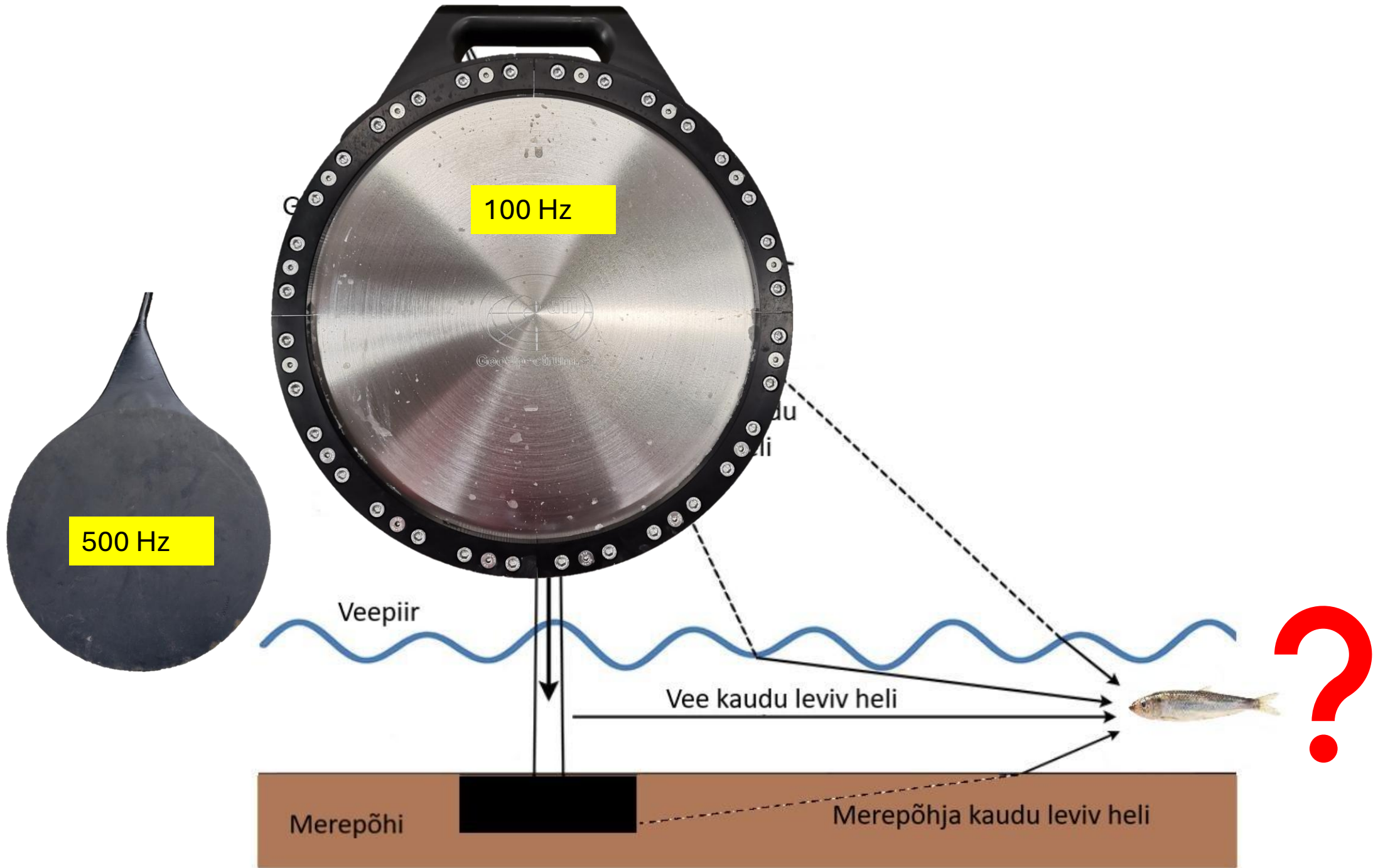
Taust ja sissejuhatus

- Taust: Eesti merealadele planeeritakse mitmeid avamere tuuleparke



Taust ja sissejuhatus

- Taust: Eesti merealadele planeeritakse mitmeid avamere tuuleparke
- Uuringu eesmärk: selgitada välja kas ja kuidas võiks avamere tuulikute töömüra jäljendav müra mõjutada räime käitumist



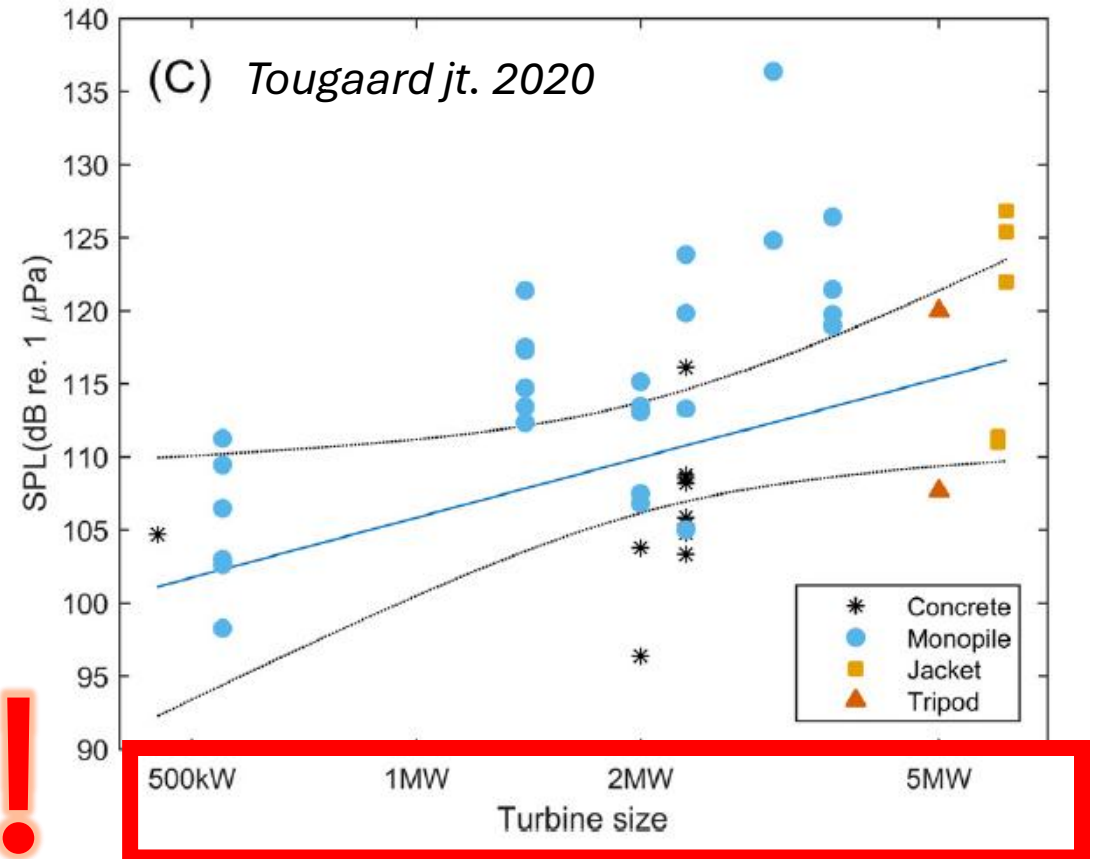
Taust ja sissejuhatus

- Taust: Eesti merealadele planeeritakse mitmeid avamere tuuleparke
- Uuringu eesmärk: selgitada välja kas ja kuidas võiks avamere tuulikute töömüra jälgendav müra mõjutada räime käitumist
- Rahastaja: Keskkonnaministeerium/Regionaal- ja Põllumajandusministeerium
- Koostööpartnerid: TTÜ akustikud, TÜ keemikud
- Periood: 01.03.2022-31.12.2025

Mis on teada avamere tuulikute veealusest mürast?

- Kitsaribaline madalsageduslik heli
- Dominantsed sagedused ja helirõhud teada

Teadaolev sagedusspekter 14-400 Hz
(domineeriva sageduse järgi)



Aga meie ju tahame teada millist müra tuleviku 15-20 MW tuulikud teevad...

V236-15.0 MW™



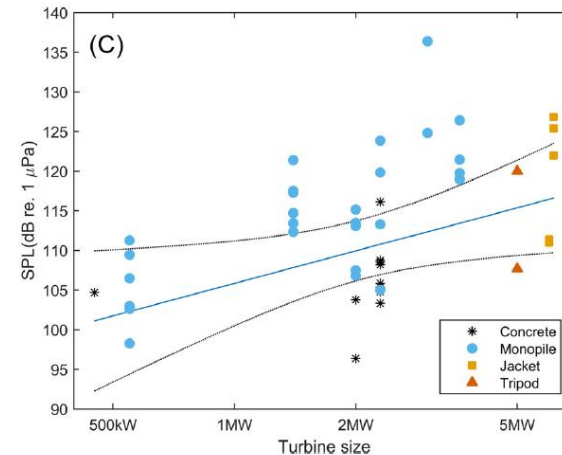
Aga meie ju tahame teada millist müra tuleviku 15-20 MW tuulikud teevad...

- Sagedus – tõenäoliselt domineerivad jätkuvalt madalamad sagedused (st < 500 Hz)
- Helirõhk - empiirika



Wind. It means the world to us.™

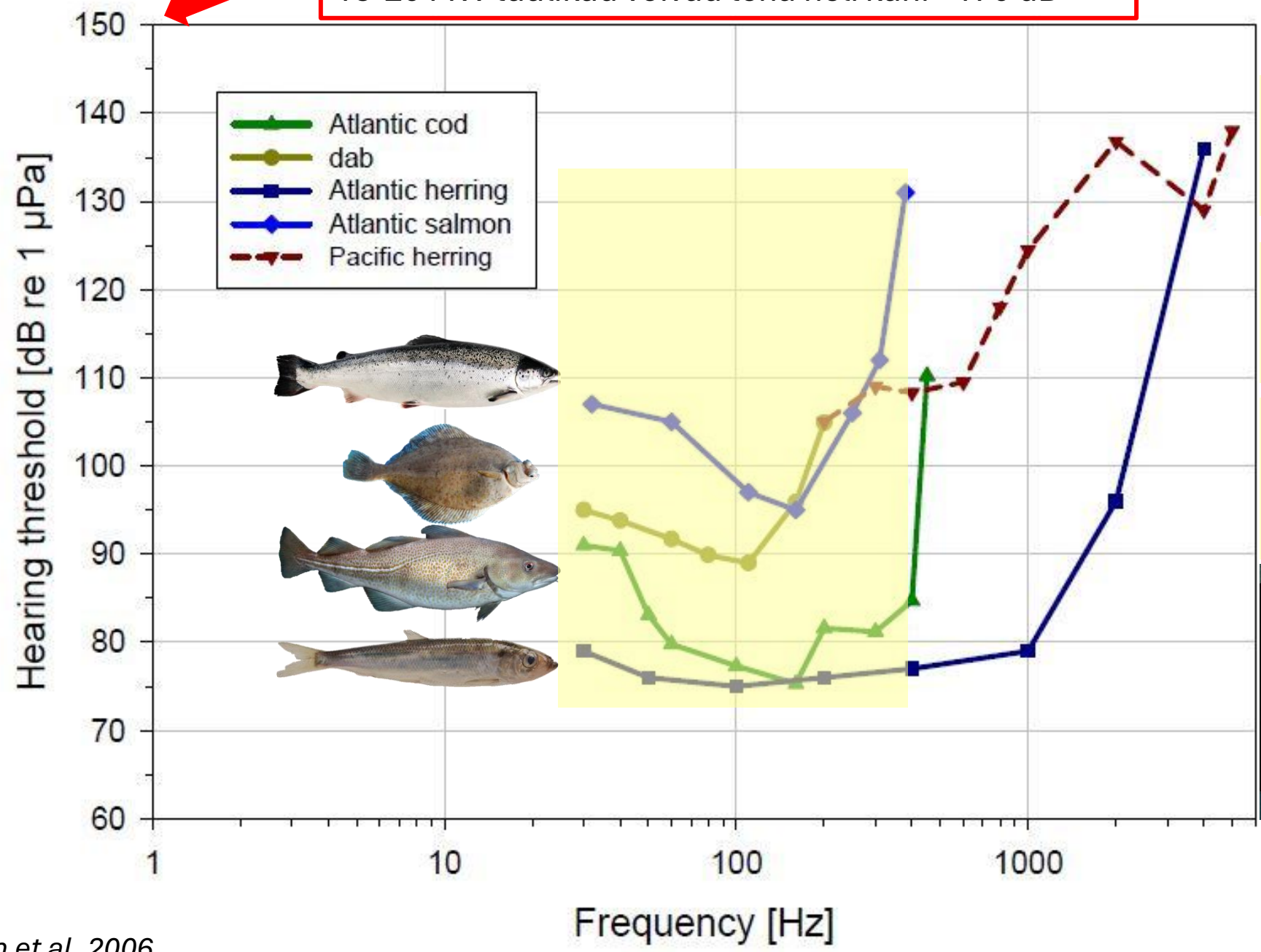
Vestas



$$L_{eq} = C + \alpha \log_{10} \left(\frac{\text{distance}}{100 \text{ m}} \right) + \beta \log_{10} \left(\frac{\text{wind speed}}{10 \text{ m/s}} \right) + \gamma \log_{10} \left(\frac{\text{turbine size}}{1 \text{ MW}} \right).$$

Tougaard jt. 2020

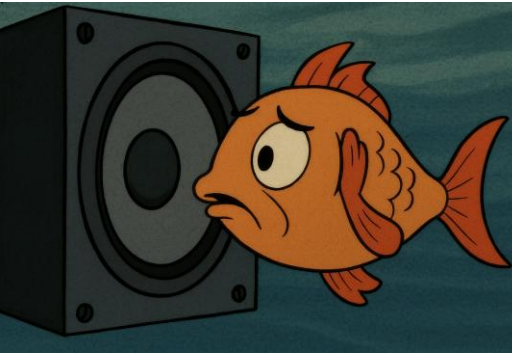
15-20 MW tuulikud võivad teha heli kuni ~170 dB



Kuulmislävid tuulikute töösagedustel (14-400 Hz)

Aga kas kuulmine tähendab ka mõju?

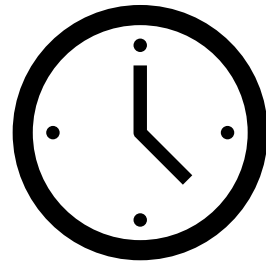
Üldjuhul mitte. Aga tugevama müraga (x dB) võib see mõju tekkida.



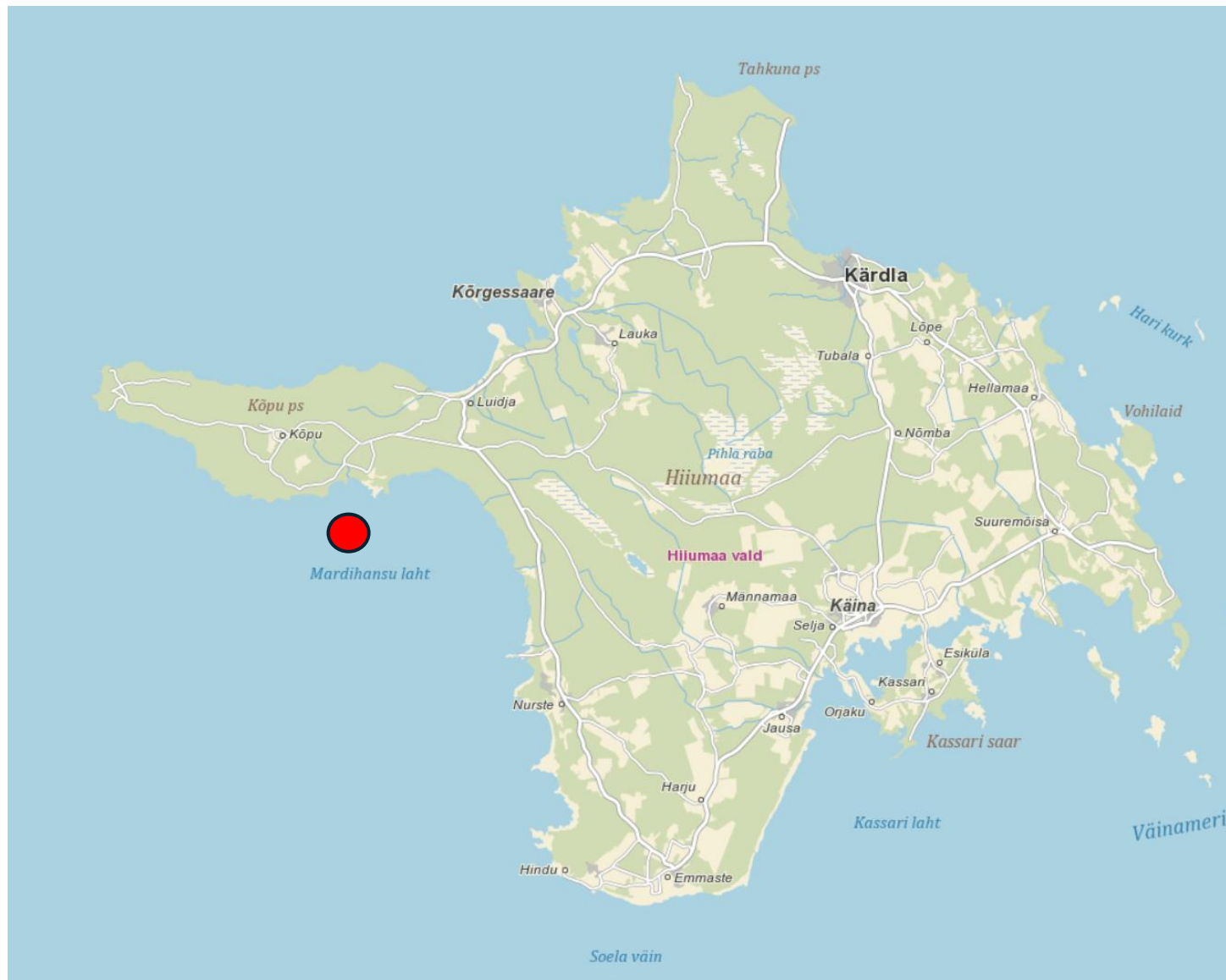
Kas „x dB“ räime puhul esineb ja mis see on?

Läbiviidud katsed

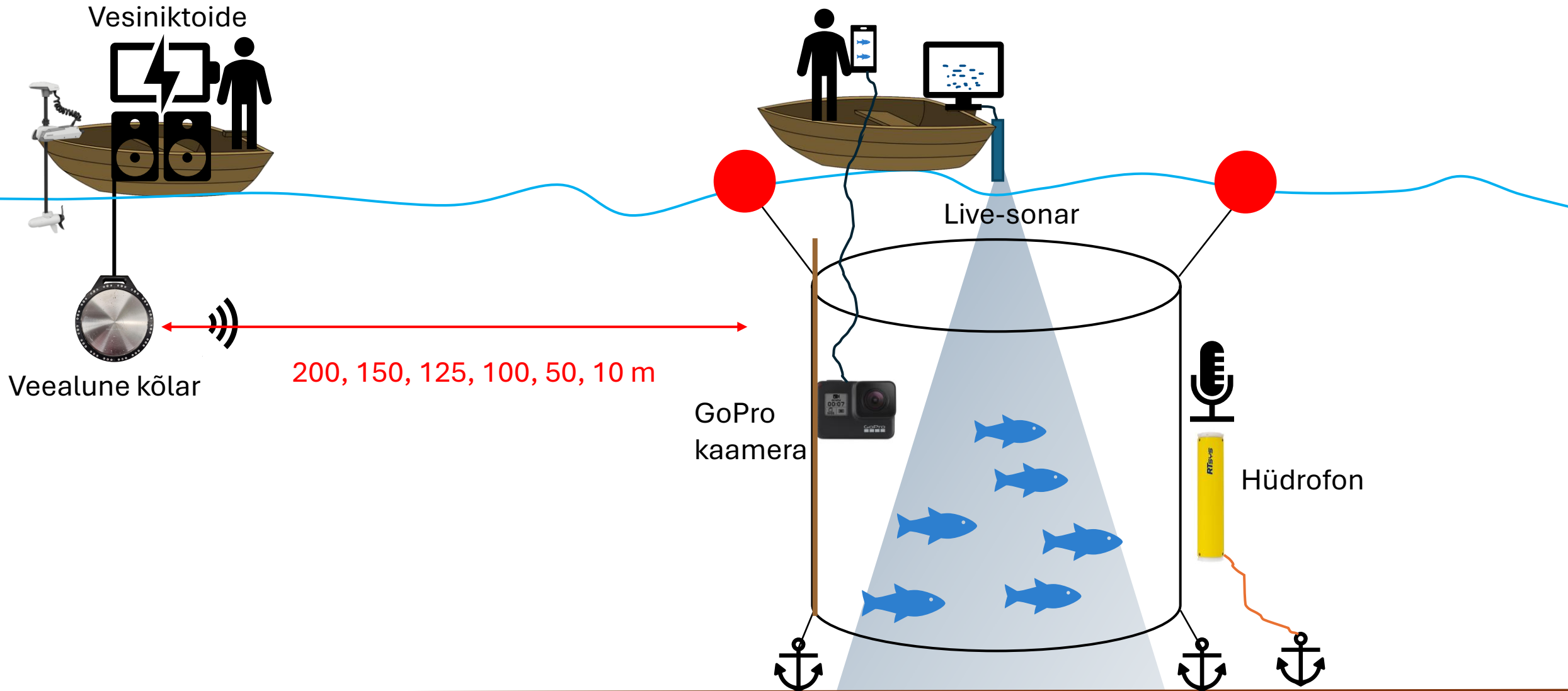
1. Kuderände katse (mõju rändekäitumisele, kevad)
2. Kudeala katse (mõju kudemiskäitumisele, kevad)
3. Toitumisala katse (mõju toitumiskäitumisele, suvi-sügis)
4. Sumbakatse (helidele reageerimine sumbas -> lävend, kevad)



Sumbakatse



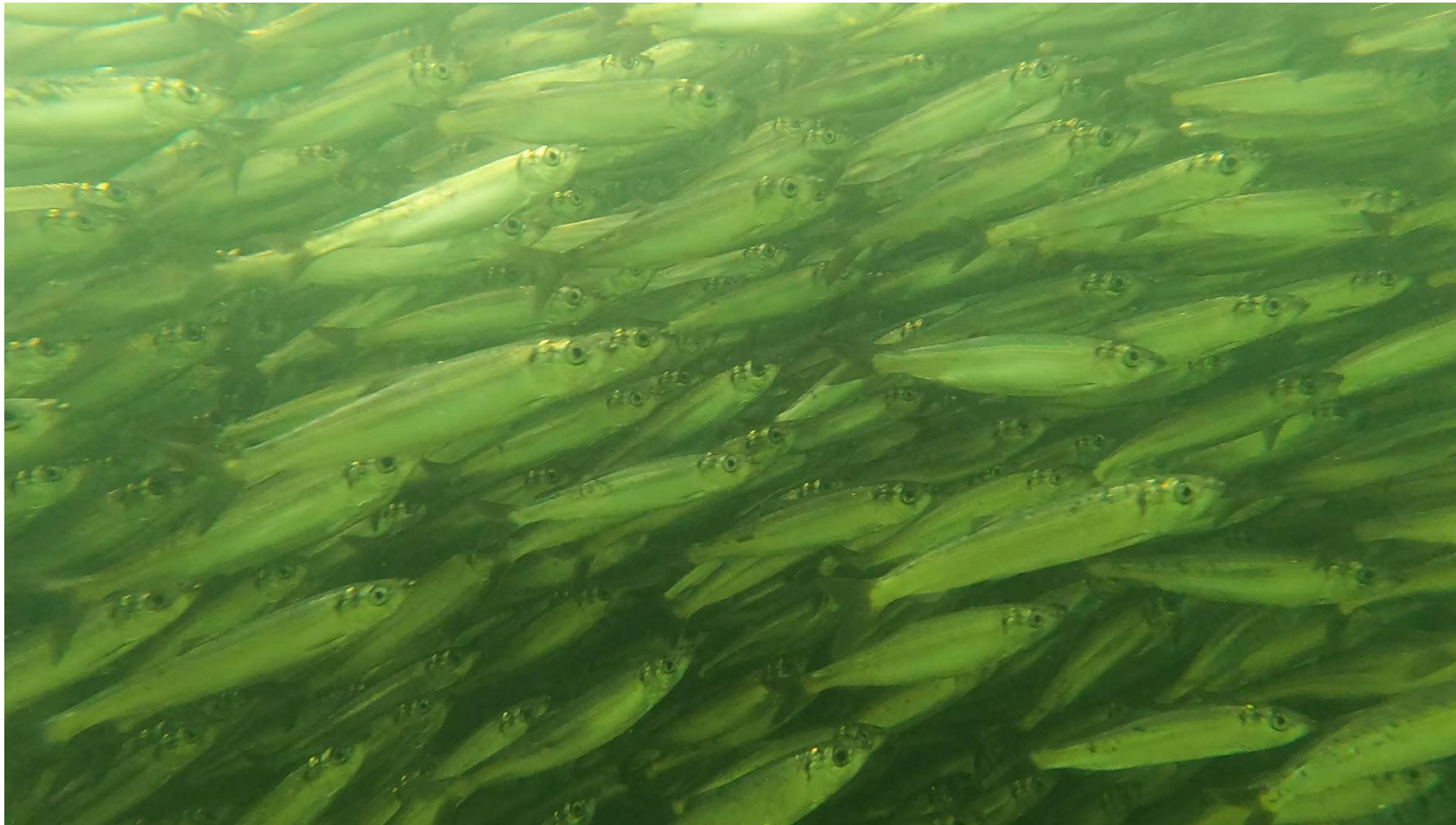
Sumbakatse







Sumbakatse tulemused – 12 m müraallikast = 130 dB



Sumbakatse tulemused

Tabel 33. 13.05.25 toimunud sumbakatse tulemused. Allikatase sagedusspektris 100 Hz oli erinevate katsekorduste ajal 165 dB re 1 μ Pa.

| Kaugus mürallikast (m) | Helirõhk (dB) | Katsekorduste arv | Mõju räume käitumisele |
|------------------------|---------------|-------------------|-----------------------------------|
| 203 | 116-121 | 4 | 4 mõju ei esinenud |
| 153 | 115-119 | 4 | 2 mõju esines, 2 mõju ei esinenud |
| 128 | 117-124 | 4 | 2 mõju esines, 2 mõju ei esinenud |
| 101 | 126-128 | 4 | 3 mõju esines, 1 mõju ei esinenud |
| 52 | 134-136 | 4 | 4 mõju esines |
| 12 | 137-147 | 4 | 4 mõju esines |

Sumbakatse tulemused

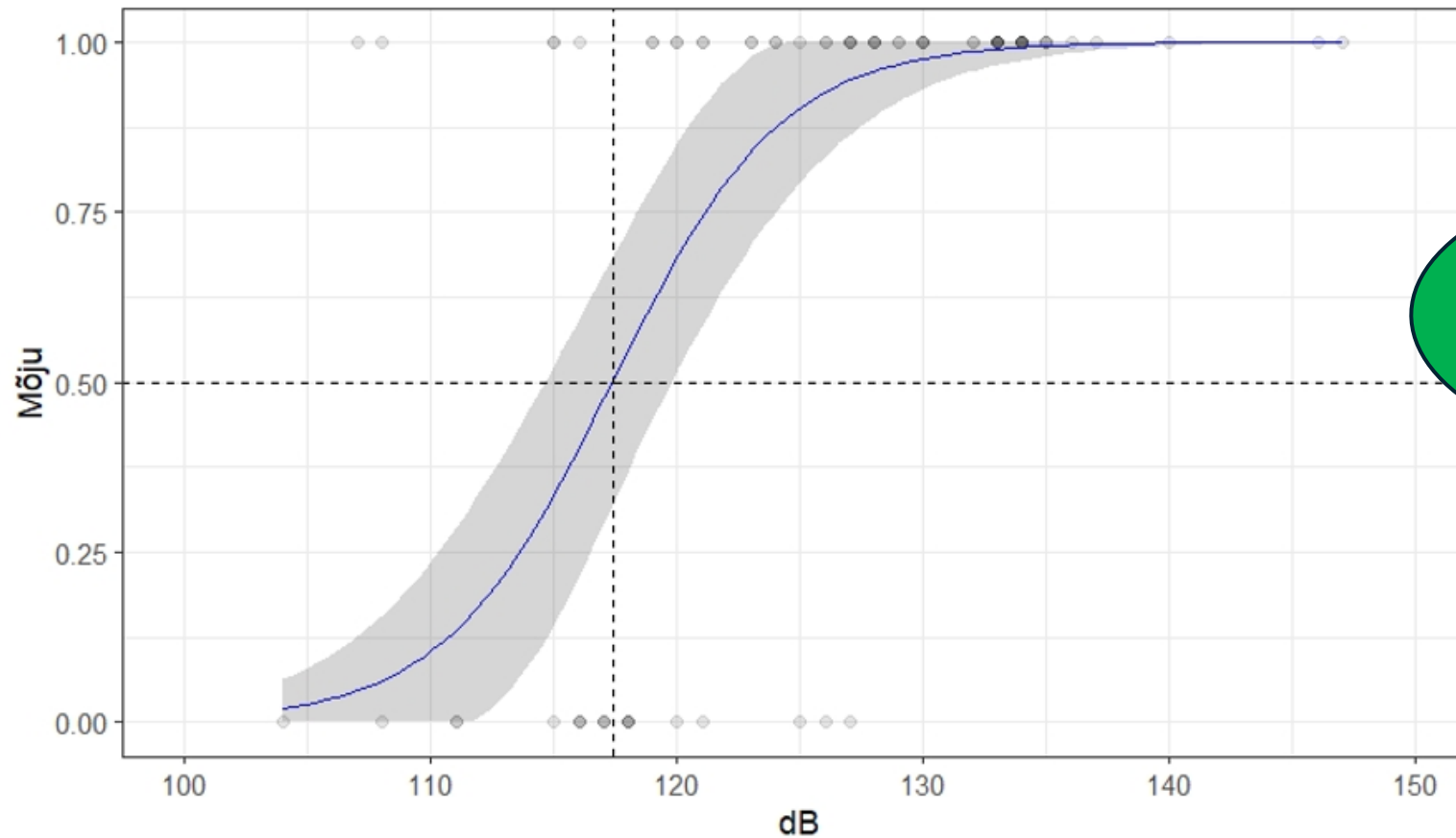
Tabel 35. Binomiaaljaotusega üldistatud lineaarse mudeli tulemused, mis näitavad analüüsi kaasatud sõltumatute muutujate mõju räume käitumisele sumbakatsetes 2025. aastal. Statistiliselt oluliseks seoseks loeti $P < 0.05$.

| | Estimate | SE | z-value | <i>P</i> |
|-------------|----------|------|---------|----------|
| dB | 0.29 | 0.07 | 3.94 | <0.0001 |
| temperatuur | 0.47 | 0.18 | 2.52 | 0.01 |

Sumbakatse tulemused

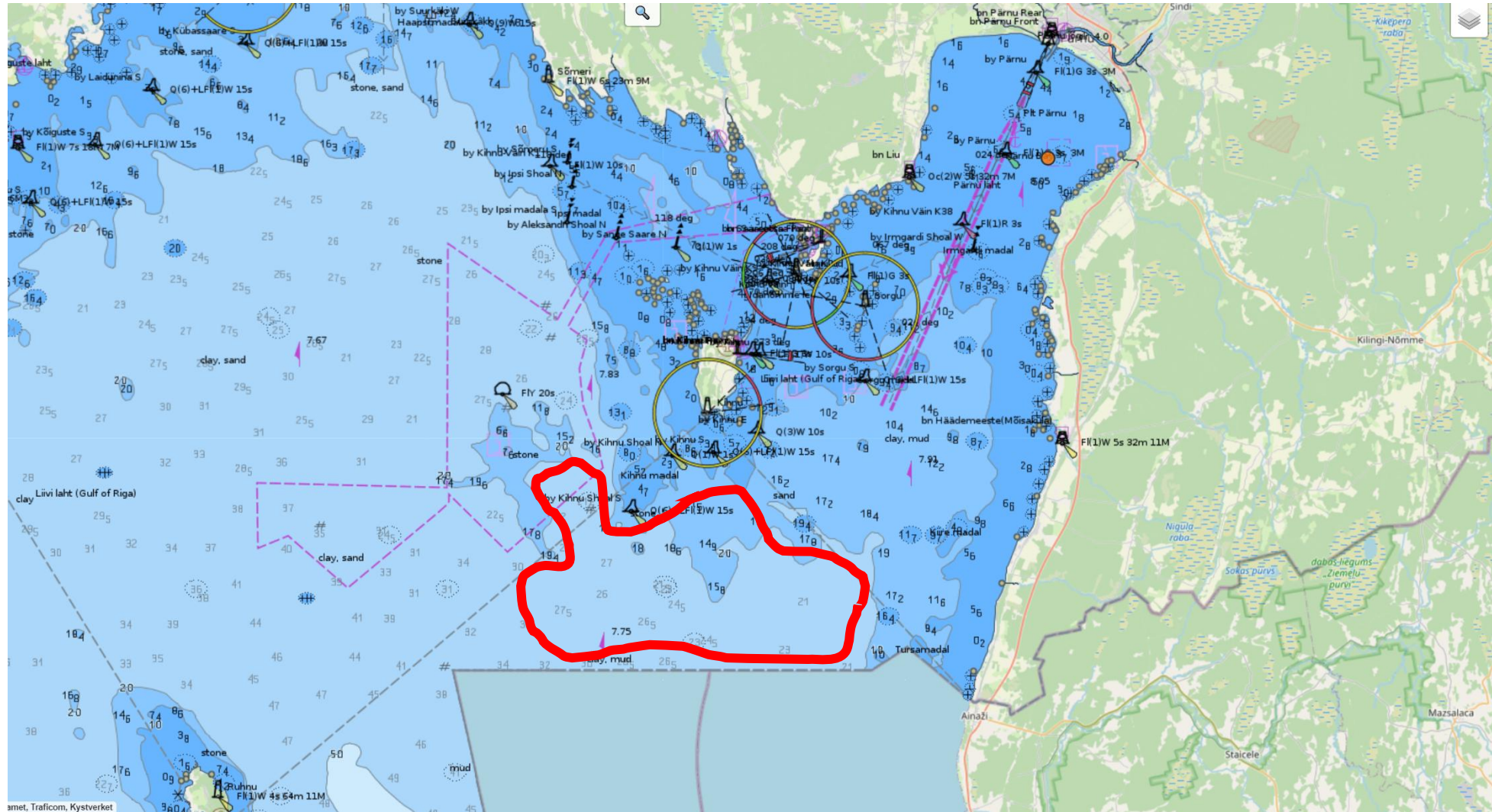
Atlandi heeringa
reageerimistase
laborikatses 122
dB @ 79 Hz (Blaxter
& Hoss 1981)

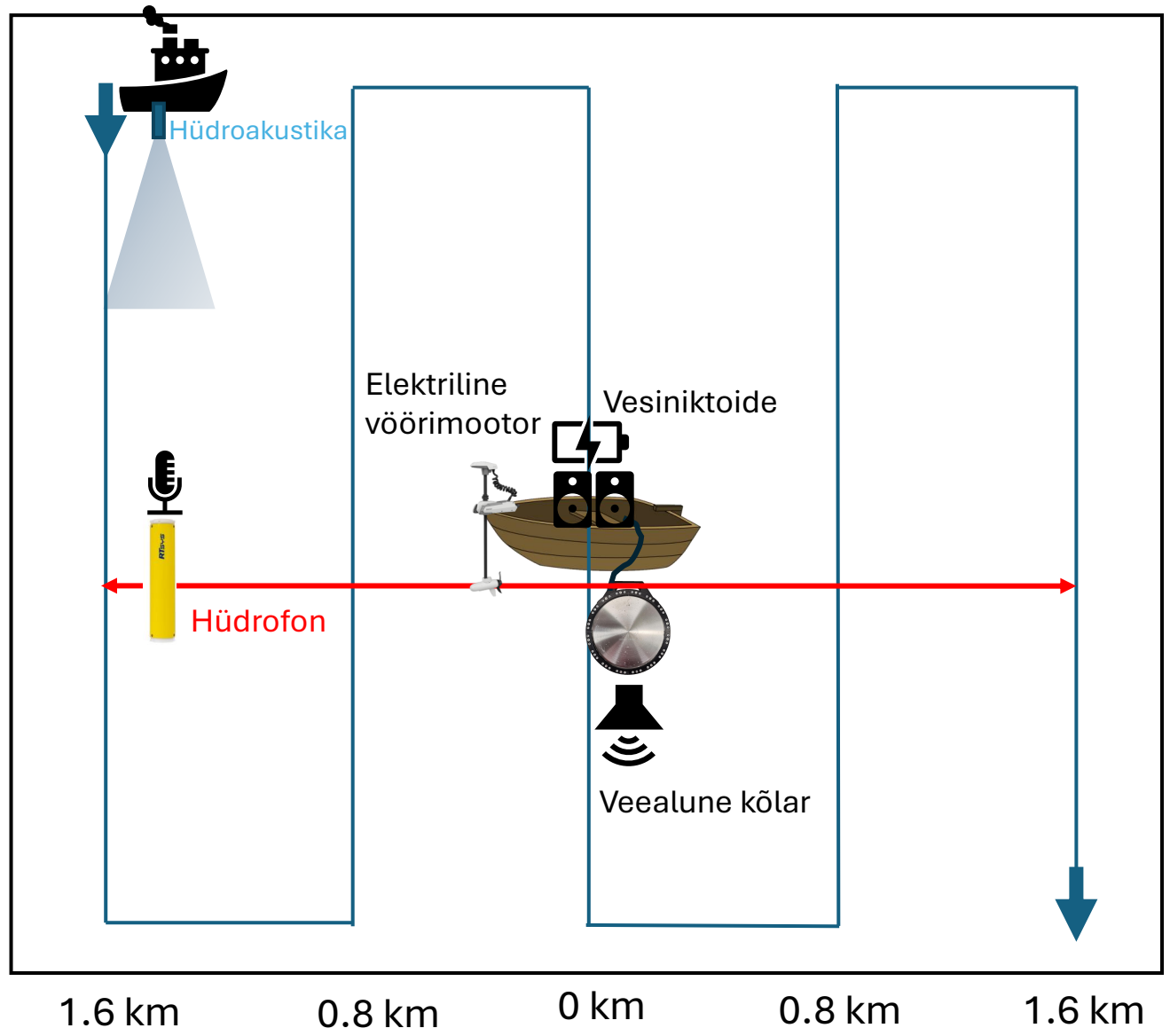
Idaheeringa
reageerimistase
sumbakatses 123
dB @ ? Hz (van der
Knaap 2022)

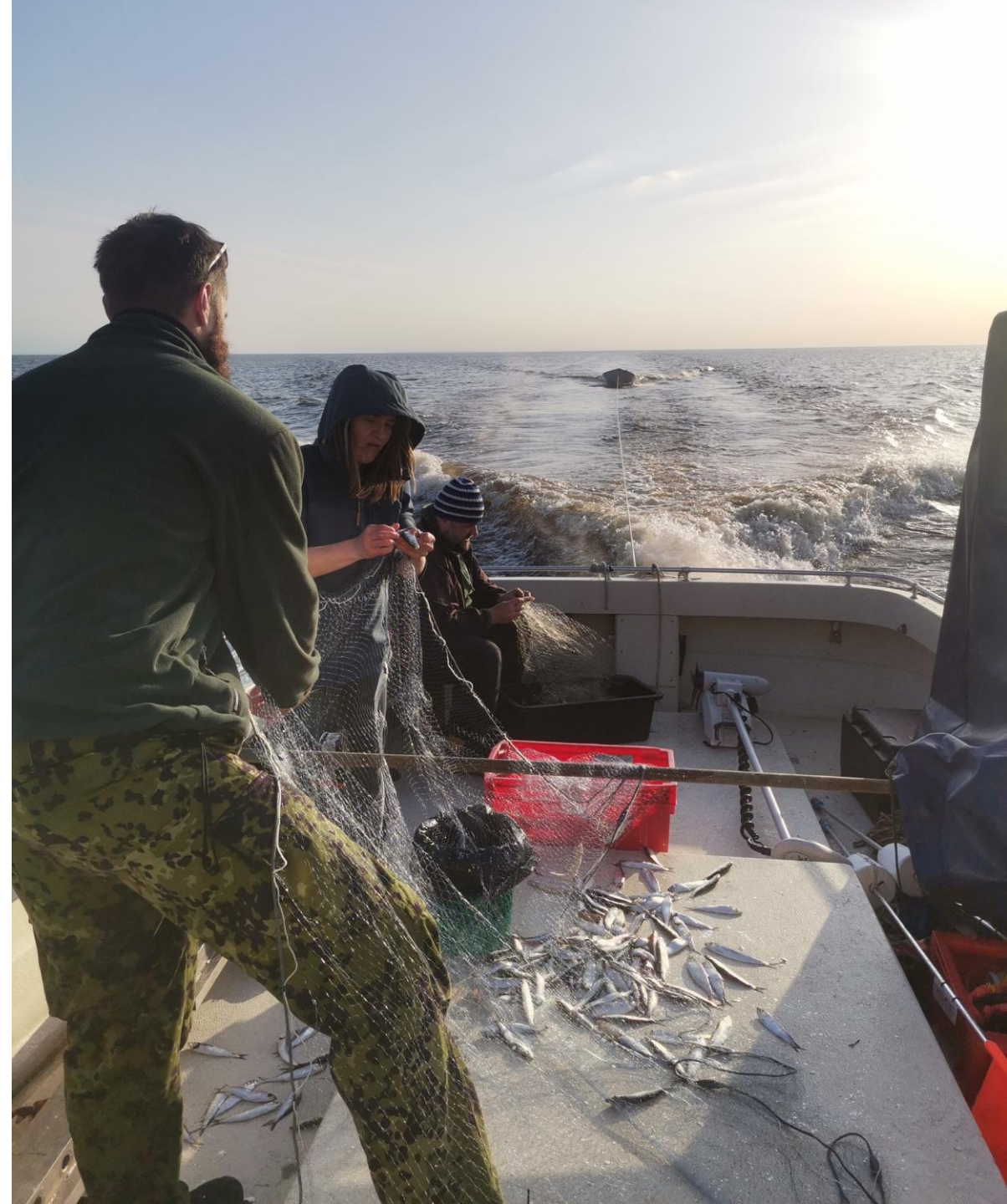


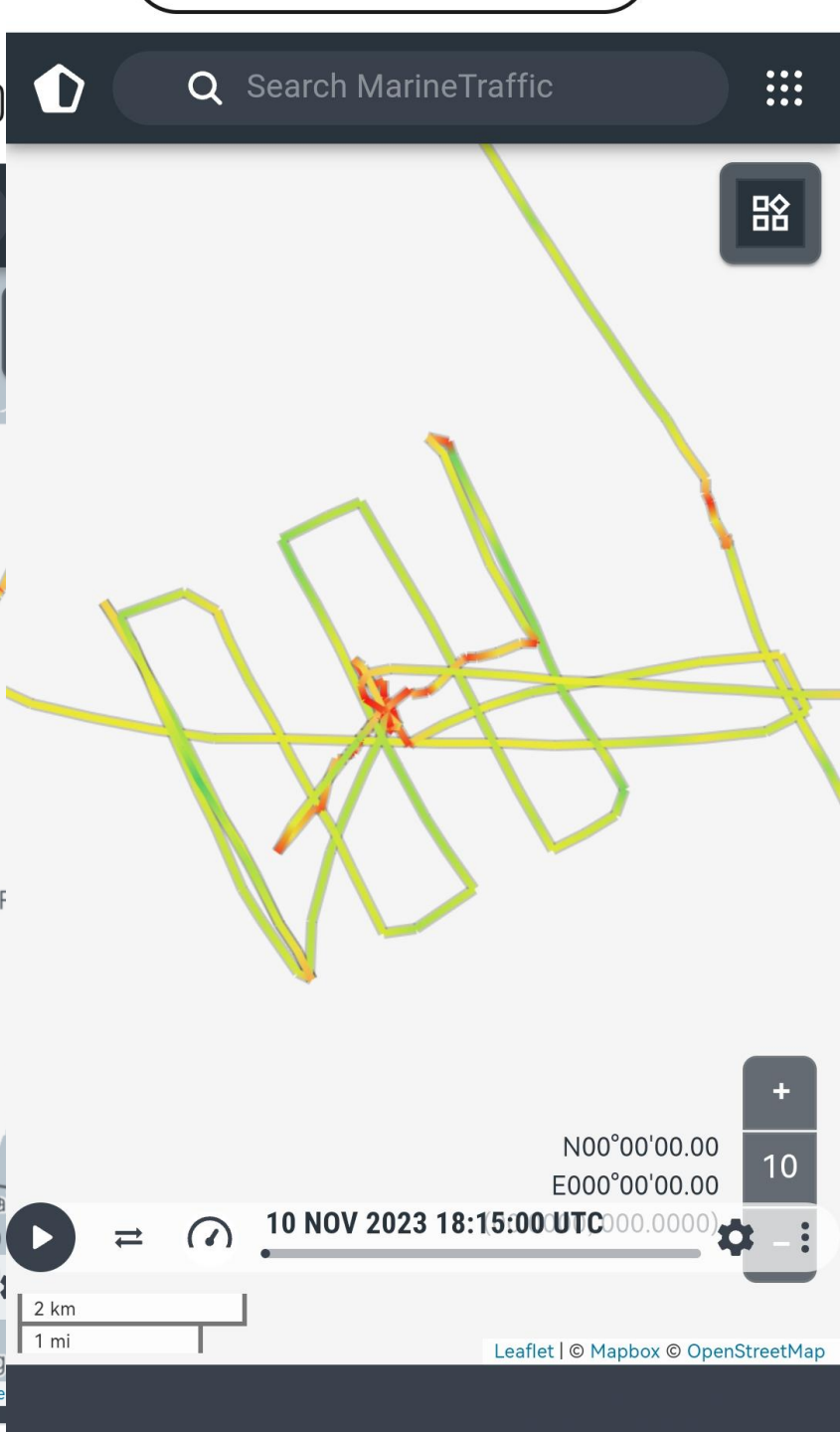
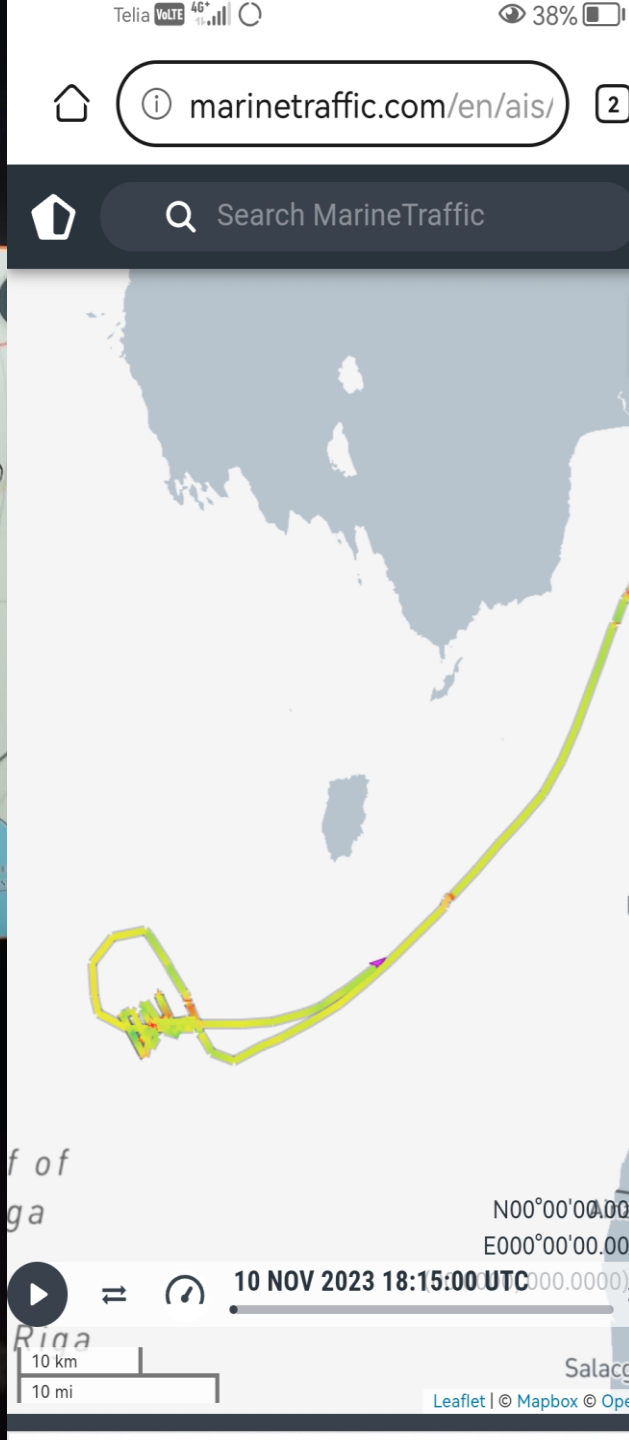
Räime
reageerimistase
118 dB @ 100 Hz

Kuderände ja toitumisala katse





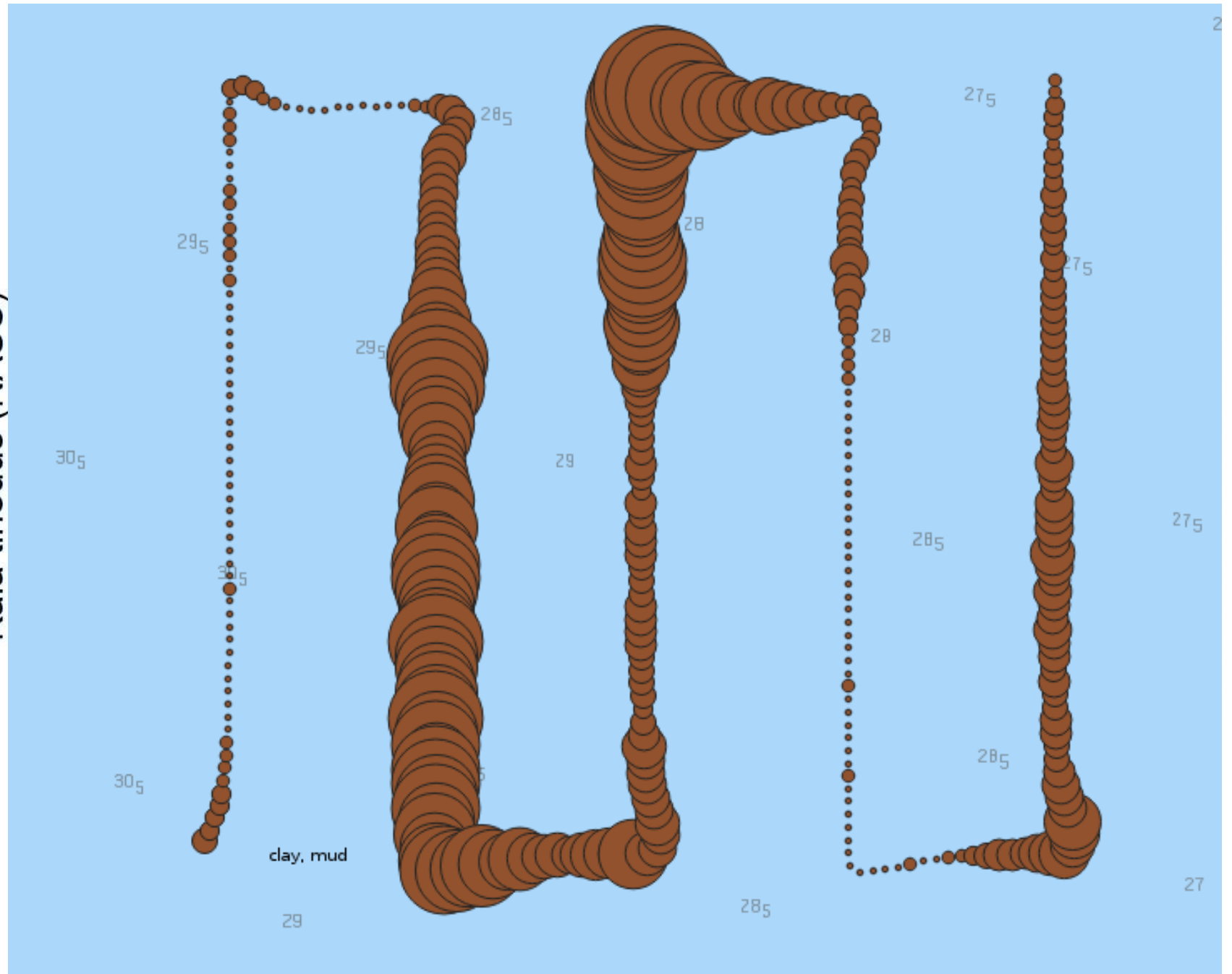


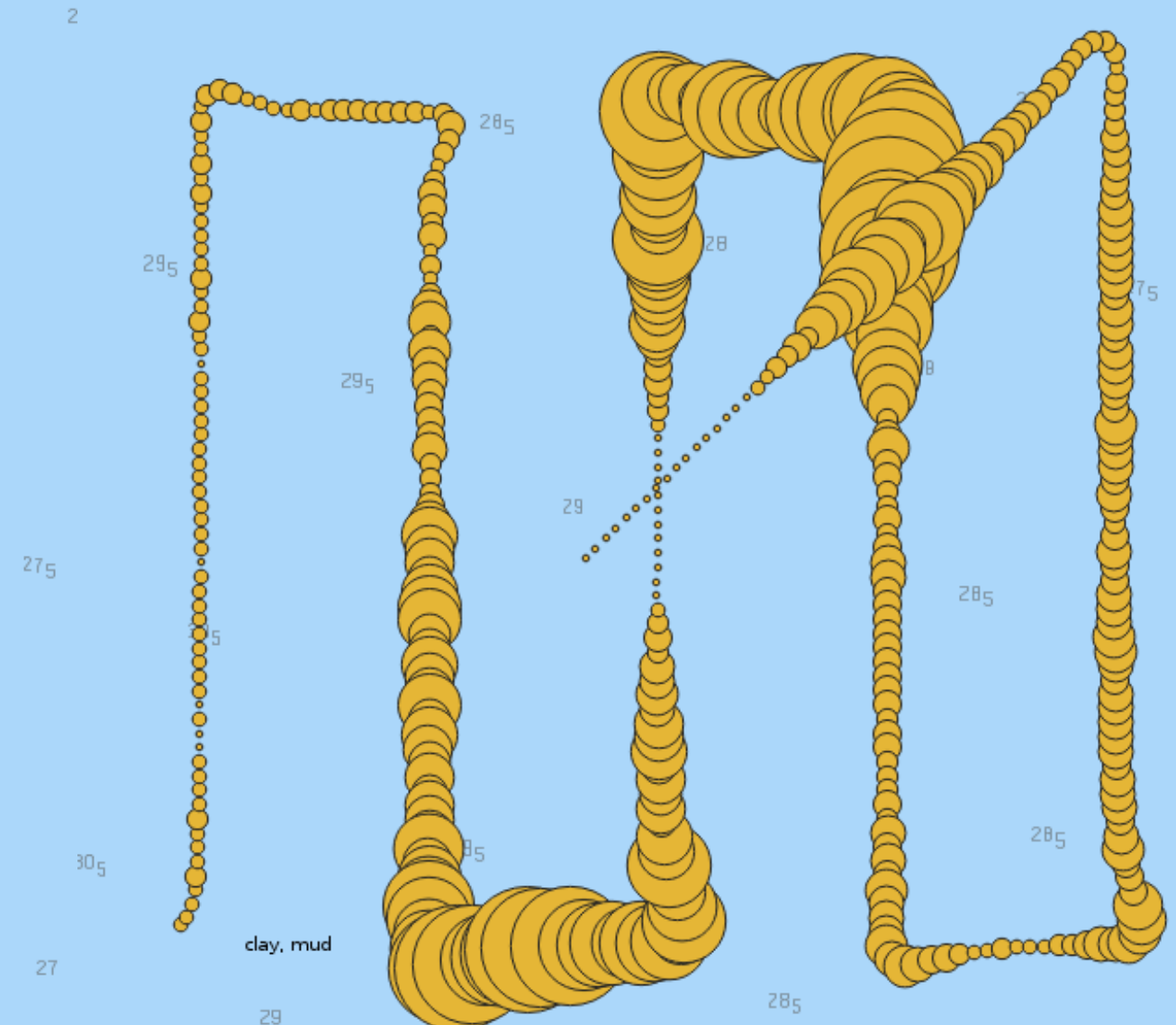
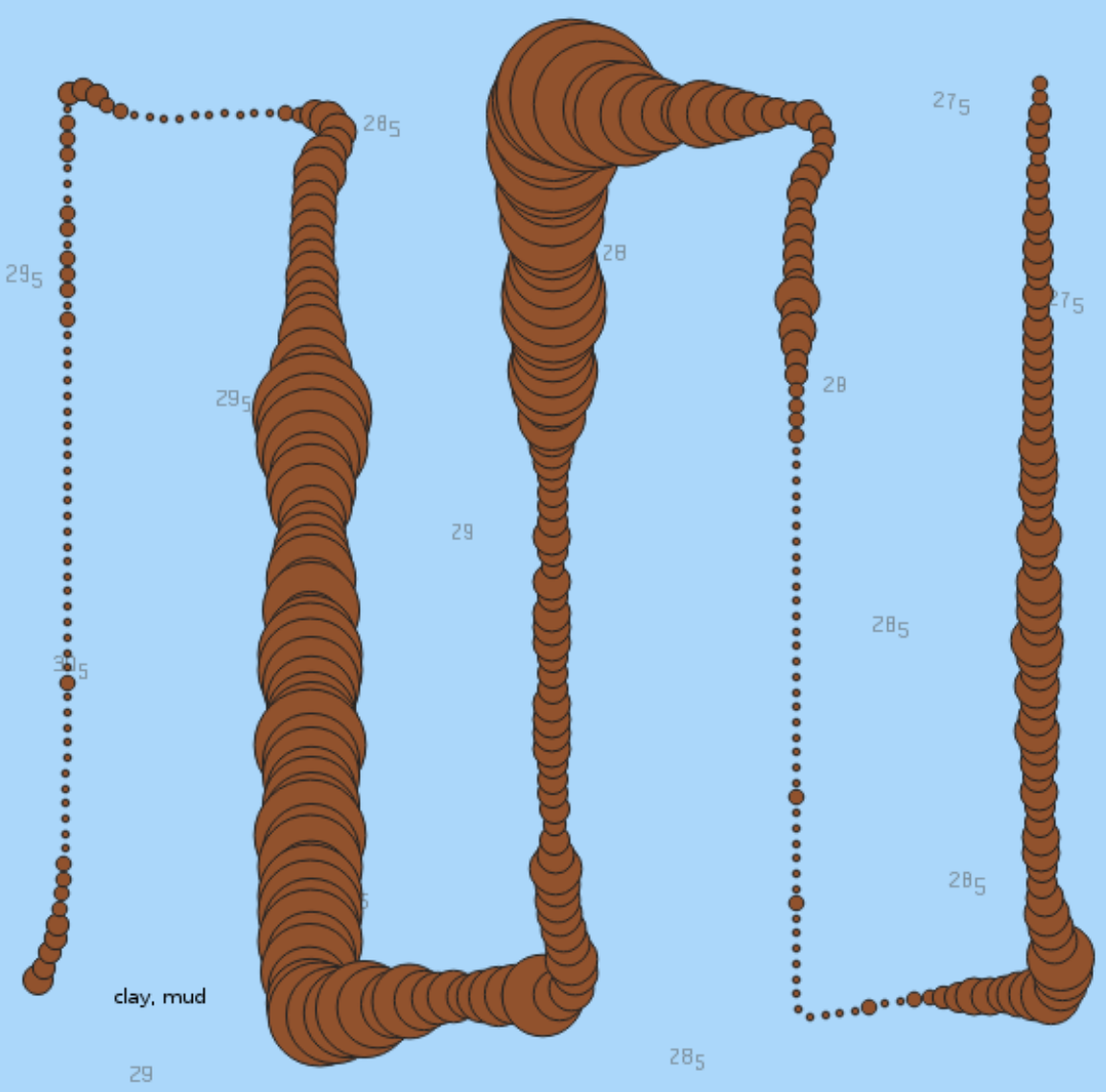


22.07.24

Kontroll
00:20-01:32

Kala tihedus (NASC)





2

Toitumisala katse – mõju statistiline olulisus

Tabel 27. Lineaarse segamudeli tulemused, mis näitavad analüüsi kaasatud sõltumatute muutujate mõju räime arvukusele toitumisala katsetes. Statistiliselt oluliseks seoseks loeti $P < 0.05$.

| | Estimate | SE | t-value | <i>P</i> |
|-----------------------|----------|------|---------|----------|
| kaugus | -0.5 | 0.05 | -0.96 | 0.34 |
| temperatuur | 0.002 | 0.03 | 0.08 | 0.94 |
| manipulatsioon | -0.22 | 0.33 | -0.67 | 0.51 |
| kaugus:manipulatsioon | 0.18 | 0.06 | 2.95 | 0.003 |

Toitumisala katse – mõju avaldumise kaugus

Tabel 28. Hindamaks kalatiheduse muutust erinevatel kaugustel mürallikast (mõju bioloogilist olulisust) käesoleva uuringu käigus läbiviidud toitumisala katsete raames, kasutati konstrueeritud lineaarse segamudeli ennustusi

| Kaugus mürallikast (m) | Mudeli ennustatud kala tiheduse parameetri väärtus | Erinevus kaugusest 0 m |
|------------------------|--|------------------------|
| 0 | 277 | - |
| 500 | 312 | +13% |
| 600 | 321 | +16% |
| 700 | 328 | +18% |
| 800 | 338 | +22% |
| 900 | 345 | +25% |
| 1000 | 357 | +29% |
| 1500 | 401 | +45% |
| 2000 | 452 | +63% |
| 2500 | 514 | +86% |

Toitumisala katse - mõju avaldumise helirõhk

Tabel 29. Tekitatud müra ruumilise mõju ja sellele vastav helitugevuse vahemik erinevate toitumisala katsete näitel.

| Kuupäev | Ruumilise mõju tekkimise vahemik (m) | Vastav helitugevus või vahemik (dB) |
|-------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 18.11.2023* | ~600-750 | 131-134 |
| 22.07.2024 | ~300-700 | 117-127 |
| 29.08.2024 | ~750-800 | 119-120 |
| 07.10.2024 | Pole tuvastatav | - |
| 10.11.2024 | ~750-800 | 122-123 |
| 25.07.2025 | ~750 | 121-124 |
| 10.11.2025 | ~600 | 125 |

* Kõlar oli katsepäeva lõpuks mõranenud ja tekitas laiaribalist mitme dominantse sagedusega heli

Räime
reageerimistase
117-127 dB @ 100
Hz

Räime
reageerimistase
sumbakatse 118 dB
@ 100 Hz

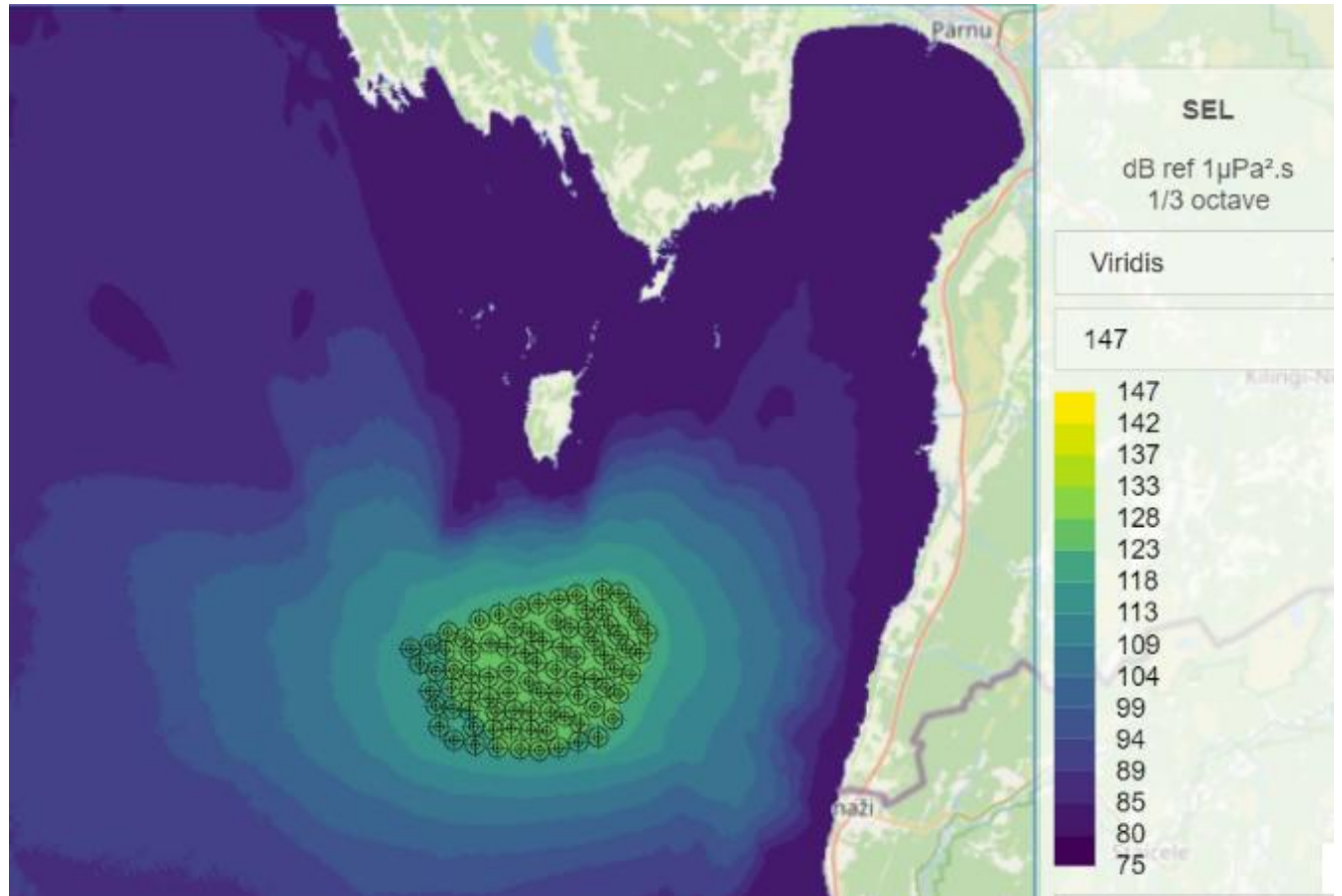
Töömüra kumulatiivsed mõjud

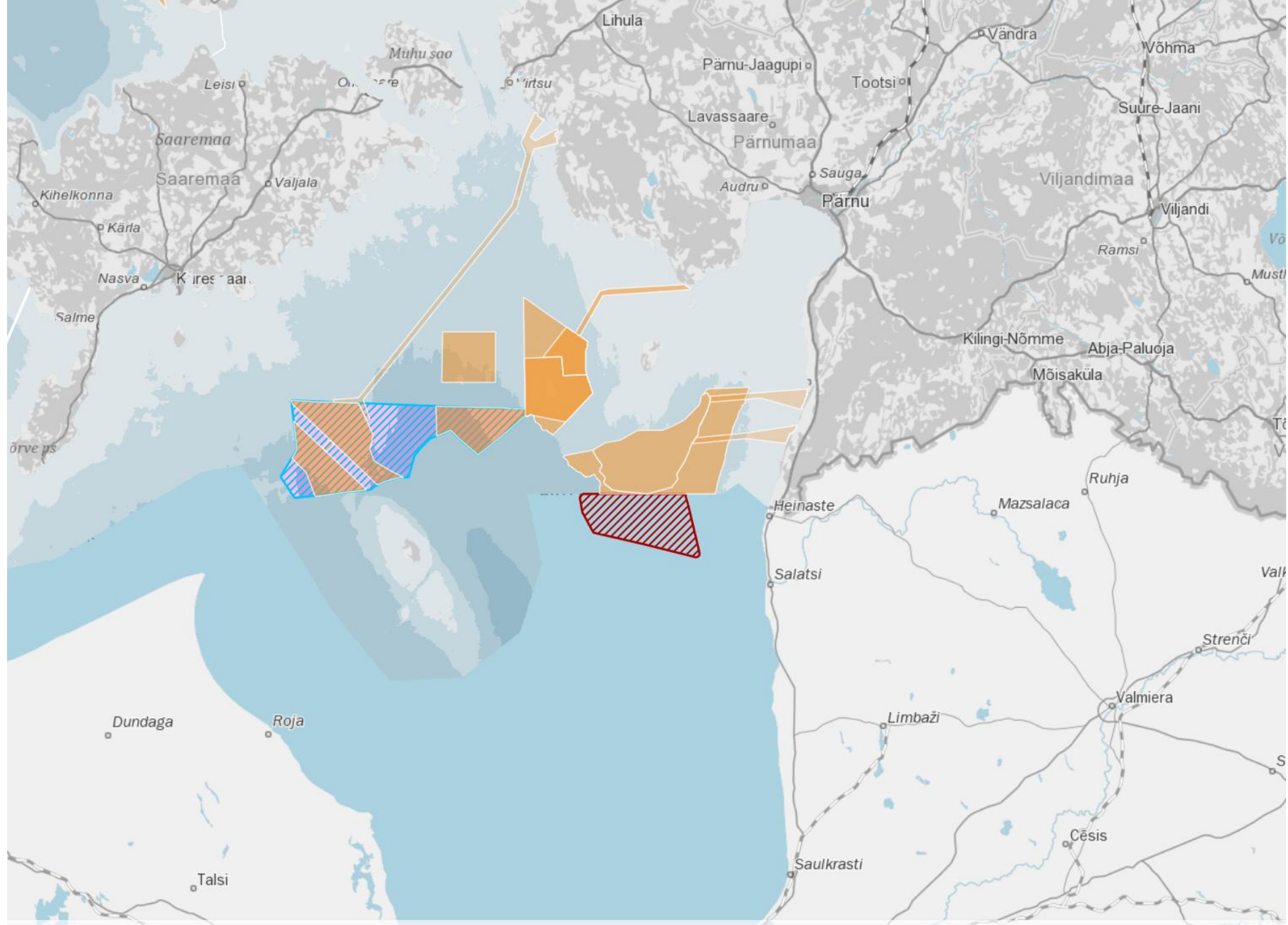
- Üks tuulepark

- 1) Müra füüsikaline kumuleerumine
- 2) Müra ruumiline kumuleerumine



- Mitu tuuleparki





A large school of fish, likely salmon, swimming underwater. The fish are densely packed and moving in a coordinated manner. The water has a greenish-blue tint. A white rectangular box is overlaid in the center of the image, containing the text "Aitäh kuulamast!".

Aitäh kuulamast!