

Jan Grimsrud Davidsen, Sindre Håvarstein Eldøy, Jon Museth,
Rasmus Rødne Lange, Aslak Darre Sjursen, Gaute Kjærstad, Marc
Daverdin og Karstein Hårsaker

Atferd til abbor, sik, harr og vederbuk under prøvepeling i Mjøsa

**NTNU Vitenskapsmuseet
naturhistorisk rapport 2024-5**



Jan Grimsrud Davidsen, Sindre Håvarstein Eldøy, Jon Museth, Rasmus Rødne Lange, Aslak Darre Sjursen, Gaute Kjærstad, Marc Daverdin og Karstein Hårsaker

Atferd til abbor, sik, harr og vederbuk under prøvepeling i Mjøsa

NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk rapport

Dette er en elektronisk serie fra 2013 som erstatter tidligere Rapport botanisk serie og Rapport zoologisk serie. Serien er ikke periodisk, og antall nummer varierer per år. Rapportserien benyttes ved endelig rapportering fra prosjekter eller utredninger, der det også forutsettes en mer grundig faglig bearbeidelse.

Tidligere utgivelser: <http://www.ntnu.no/web/museum/publikasjoner>

Referanse

Davidson, J.G., Eldøy, S.H., Museth, J., Lange, R.R., Sjursen, A.D., Kjærstad, G., Daverdin, M. & Hårsaker, K. 2024. Atferd til abbor, sik, harr og vederbuk under prøvepeling i Mjøsa. – NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk rapport 2024-5: 1-27.

Trondheim, november 2024

Utgiver

NTNU Vitenskapsmuseet
Institutt for naturhistorie
7491 Trondheim
Telefon: 73 59 22 80
e-post: post@vm.ntnu.no

Ansvarlig signatur

Ingrid Ertshus Mathisen (instituttleder)

Kvalitetssikret av

Dag-Inge Øien

Publiseringstype

Digitalt dokument (pdf)

Forsidefoto

Rigg for peleboring med Mjøsbrua i bakgrunnen. Foto: Mikkel Emil Lange Friis

www.ntnu.no/museum

ISBN 978-82-8322-402-3

ISSN 1894-0056

Sammendrag

Davidson, J.G., Eldøy, S.H., Museth, J., Lange, R.R., Sjursen, A.D., Kjærstad, G., Daverdin, M. & Hårsaker, K. 2024. Atferd til abbor, sik, harr og vederbuk under prøvepeling i Mjøsa. – NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk rapport 2024-5: 1-27.

I forbindelse med utvidelse av E6 mellom Moelv og Roterud skal det bygges en ny bru over Mjøsa. I forbindelse med prøvepeling i juni og juli 2024 var det ønskelig å kartlegge i hvor stor grad fisk i området ble negativt påvirket av undervannsstøyen fra pelingen. Hensikten med undersøkelsen var å kartlegge om støy fra prøvepelingen hadde stor negativ påvirkning på fisk i området. Spesielt ble det fokusert på om fisken døde, forsvant fra området eller hadde store og langvarige endringer i akselerasjon og svømmedybde i perioden med mye undervannsstøy.

Det ble i alt fanget og merket 24 abbor, 19 sik, 4 harr og 13 vederbuk og fiskene ble merket med et akustisk merke med sensor for akselerasjon og svømmedybde. Videre ble det satt ut 14 lyttestasjoner i undersøkelsesområdet som registrerte id nummer, svømmedybde og akselerasjon til hver enkelt fisk så lenge de var innenfor rekkevidde. I perioden 26.06-15.07 ble det i alt prøvepelet tolv ganger.

Når prøvepelingen startet oppholdt 38 av de i alt 60 merkede fiskene (63%) seg i undersøkelsesområdet, fordelt på 15 abbor (63%), 7 sik (37%), 4 harr (100%) og 10 vederbuk (77%). Tre sik (43% av de som var til stede) og en abbor (6%) døde under prøvepelingen. Fire abbor (29%) og tre sik (75%) forlot området under prøvepelingen mens vederbuk og harr ble værende. Det ble ikke observert noen lengevarende endringer i svømmedybde eller akselerasjon relatert til prøvepelingen.

Ut fra en samlet vurdering er konklusjonen at fisken ikke ble påført stress og skade på populasjonsnivå som endrer vekst, dødelighet og fiskehelse, men at det er overveiende sannsynlig at enkeltfisk døde eller endret beiteområde grunnet støyen fra peleboringen. Resultatene viser også at den negative påvirkningen fra peleboringen varierte mellom arter, med større påvirkning på sik og abbor enn på vederbuk og harr.

Ut fra et føre var prinsipp kan det være hensiktsmessig å vurdere avbøtende tiltak i forbindelse med videre peleboring i Mjøsa. For å redusere trykklåpningen på fisk og andre organismer i området hvor det skal peles kan det brukes boblegardin som skjerm området. Tester og modeller har vist at disse er effektive og kan dempe trykklåpningen med 10-30 dB. Om en i tillegg ønsker å overvåke, på dag-til-dag basis, atferd og stressnivå til fisk i det aktuelle tiltaksområdet, med henblikk på å kunne justere de avbøtende tiltakene ved behov, kan en bruke «Live» lyttestasjoner.

Nøkkelord: akustisk telemetri, fiskeatferd, hørsel hos fisk, peling, undervannsstøy

Jan Grimsrud Davidson, Sindre Håvarstein Eldøy, Rasmus Rødne Lange, Aslak Darre Sjursen, Gaute Kjærstad, Marc Daverdin, Karstein Hårsaker, NTNU Vitenskapsmuseet, Institutt for naturhistorie, NO-7491 Trondheim

Jon Museth, Norsk institutt for naturforskning, 2609 Lillehammer

Summary

Davidsen, J.G., Eldøy, S.H., Museth, J., Lange, R.R., Sjursen, A.D., Kjærstad, G., Daverdin, M. & Hårsaker, K. 2024. Behavior of perch, whitefish, grayling, and ide during test piling in Lake Mjøsa. – NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk rapport 2024-5: 1-27.

In connection with the expansion of the E6 highway between Moelv and Roterud, a new bridge over Lake Mjøsa is planned to be constructed. As part of test pile-driving conducted in June and July 2024, it was desirable to assess the extent to which fish in the area were negatively affected by underwater noise from the pile-driving. The purpose of the investigation was to determine whether noise from the test pile-driving had a significant negative impact on fish in the area. Specifically, the focus was on whether the fish died, left the area, or experienced significant and long-term changes in acceleration and swimming depth during periods of intense underwater noise.

A total of 24 perch, 19 whitefish, 4 grayling, and 13 ide were caught and tagged with acoustic transmitters equipped with sensors for acceleration and swimming depth. Additionally, 14 acoustic receivers were deployed in the study area to record the ID numbers, swimming depths, and acceleration data of individual fish as long as they were within range of the receivers. Between June 26 and July 15, a total of 12 test pile-driving sessions were conducted.

At the start of the pile-driving, 38 of the 60 tagged fish (63%) were present in the study area. This included 15 perch (63%), 7 whitefish (37%), 4 grayling (100%), and 10 ide (77%). Three whitefish (43% of those present) and one perch (6%) died during the pile-driving. Four perch (29%) and three whitefish (75%) left the area during the pile-driving, while ide and grayling remained. No long-term changes in swimming depth or acceleration related to the pile-driving were observed.

Based on an overall assessment, the conclusion is that the fish population did not experience stress or harm at a population level that would affect growth, mortality, or fish health. However, it is highly likely that individual fish died or changed their feeding areas due to the noise from pile drilling. The results also show that the negative impact of pile drilling varied between species, with greater effects on whitefish and perch than on ide and grayling.

As a precautionary principle, it may be appropriate to consider mitigation measures in connection with further pile-driving in Lake Mjøsa. To reduce pressure on fish and other organisms in the pile-driving area, bubble curtains can be used to shield the site. Tests and models have shown these to be effective, reducing pressure waves by 10–30 dB. Additionally, to monitor the behavior and stress levels of fish in the project area on a day-to-day basis and adjust mitigation measures if needed, "Live" listening stations can be deployed.

Keywords: acoustic telemetry, fish behavior, hearing in fish, pile-driving, underwater noise

Jan Grimsrud Davidsen, Sindre Håvarstein Eldøy, Rasmus Rødne Lange, Aslak Darre Sjursen, Gaute Kjærstad, Marc Daverdin, Karstein Hårsaker, NTNU University Museum, Department of Natural History, NO-7491 Trondheim

Jon Museth, Norwegian Institute for Nature Research, 2609 Lillehammer

Innhold

Sammendrag	3
Summary	4
Forord	6
1 Innledning	7
2 Materiale og metode.....	9
2.1 Områdebeskrivelse	9
2.2 Fangst og merking av fisk med akustiske sendere.....	11
2.3 Registering av vandringsatferd ved akustiske lyttestasjoner.....	11
2.4 Prøvepeling	13
2.5 Måling av lydtrykk under vann	13
2.6 Filtrering og presentasjon av telemetridata	13
3 Resultater	15
3.1 Fisk som var i undersøkelsesområdet under prøvepelingen.....	15
3.2 Fisk som forlot undersøkelsesområdet før prøvepelingen	15
3.3 Fisk som døde under prøvepelingen	15
3.4 Fisk som forlot undersøkelsesområdet under prøvepelingen	18
3.5 Akselerasjon og svømmedybde til fisken under prøvepelingen	18
4 Diskusjon	23
5 Forslag til avbøtende tiltak	25
6 Referanser	26

Forord

NTNU Vitenskapsmuseet inngikk juni 2024 en avtale med Cowi AS og Nye Veier AS om å kartlegge eventuelle negative påvirkninger på fisk i Mjøsa i forbindelse med prøvepeling for ny E6. Prosjektet ble gjennomført i samarbeid med NINA Lillehammer, Multiconsult og Keller Geoteknikk AS.

I denne rapporten presenteres feltinnsatsen og resultater fra overvåkingen av merket fisk i perioden 11. juni til 11. oktober 2024. Videre diskuteres resultatene opp mot kjent litteratur.

Vi ønsker med dette å takke alle involverte for godt samarbeid og for praktisk hjelp i felt. Prosjektet ble gjennomført i samarbeid med NTNU sin satsning «Oppdrag Mjøsa» og i den forbindelse ønsker vi spesielt å takke Mikkel Emil Lange Friis, Andrea Tofte, Hilde Johannesen, Berger Mathias Skjærbakken, Ingvild Grimsrud Davidsen og Sindre Grimsrud Davidsen for assistanse i felt. Vi vil også takke Gabriel Eggebø og Knut Marius Myrvold fra NINA for hjelp i forbindelse med fangst og merking. Multiconsult har velvillig delt data på målinger av undervannsstøy og figur 3.

Trondheim, november 2024

Jan Grimsrud Davidsen
Prosjektleder

1 Innledning

I forbindelse med utvidelse av E6 mellom Moelv og Roterud skal det bygges en ny bru over Mjøsa. Planområdet strekker seg langs dagens E6 fra Moelv i Ringsaker, over Mjøsa og nordover til Roterud i Gjøvik kommune. Den totale strekningen er på ca. 11 km hvorav ca. 1,5 km vil utgjøre ny bru. Som en del av forundersøkelsene for prosjekteringen har Keller Geoteknikk AS og COWI igangsatt prøvepeling for å kartlegge bunnforholdene som vil danne grunnlaget for plassering av ny bru. Første del ble gjennomført i november og desember 2023, mens andre del ble gjennomført i juni og juli 2024.

Samtidig som Nye Veier skal gjennomføre dette arbeidet pågår det i regi av NTNU et større forskningsprogram kalt «Oppdrag Mjøsa». Oppdrag Mjøsa har mål om å legge til rette for verdiskaping gjennom bærekraftig bruk av Mjøsas ressurser og økosystemtjenester og samtidig opprettholde økosystemets struktur, virkemåte, produktivitet, samfunnskritisk infrastruktur og naturmangfold. Oppdrag Mjøsa skal derfor være et verktøy for både å tilrettelegge for verdiskaping, vannkvalitet og matsikkerhet, og for å opprettholde miljøverdiene i Mjøsa. Oppdraget med å kartlegge eventuelle negative påvirkninger på fisk i Mjøsa i forbindelse med prøvepeling for ny E6 bru inngår derfor som en naturlig del av Oppdrag Mjøsa og resultatene vil kunne brukes til å se på områdebruk og påvirkning på et utvalg av fiskepopulasjonene i Mjøsa i en større sammenheng.

Peling ved slag er mye brukt i bygging av broer, havner, vindparker og offshore-strukturer (Popper & Hastings 2009, Dahl mfl. 2015). Slag fra hammeren forårsaker vibrasjoner av pelen i vannet og i underlaget, og genererer dermed lyder som potensielt kan påvirke dyr som oppholder seg i nærheten (Dahl mfl. 2015, Hazelwood & Macey 2016). Økte støynivåer kan svekke dyrets registrering av lyder som er relevante for akustisk orientering, akustisk kommunikasjon, fangst av byttedyr eller unngåelse av rovdyr ved å maskere dyrets hørsel. Høyintensitetslyd, som den som eksempelvis oppstår under peling, kan også skade indre organer og indusere endokrinologiske stressresponser hos laksefisk og andre ferskvannsfisker (Sverdrup mfl. 1994, Wysocki mfl. 2004). I tillegg til direkte skadelige effekter på organismene, kan støy også ha indirekte konsekvenser relatert til økologi, atferd og tilpasningsevne på lang sikt.

Hørsel hos akvatiske organismer er basert enten på deteksjon av lydtrykk eller av partikkelbevegelse (de mekaniske bevegelsene i mediet som følger med lyden). Det er stor variasjon i hørselsevnen hos ulike fiskearter. Generelt registrerer alle fisk partikkelbevegelse, mens noen også kan detektere lydtrykk. Stort sett er fisk uten tilleggsstrukturer for hørsel ("hørsel-generalister") sensitive for partikkelbevegelse, og disse er kun i stand til å oppdage lavfrekvente lyder (Ladich & Fay 2013). Hos disse artene blir otolith-organene («øret») stimulert direkte av den akustiske partikkelakselerasjonen (Sand & Karlsen 2000). Typiske hørselgeneralister i europeiske ferskvann er abbor (*Perca fluviatilis*), gjedde (*Esox lucius*), laksefisk (ørret *Salmo trutta* og røye *Salvelinus alpinus*) og sik (*Coregonus lavaretus*).

Andre arter ("hørselspecialister"; Hawkins & Myrberg 1983) har utviklet forskjellige mekanismer for å akustisk koble svømmeblæren (eller andre gassfylte strukturer) til øret. Disse mekanismene overfører direkte bevegelse fra svømmeblæren eller andre gassfylte strukturer, som induseres av lydtrykk, til det indre øret, noe som gir større nivåer av partikkelbevegelse for å supplere det som overføres direkte fra vannet. Denne koblingen øker hørselssensitiviteten (dvs. senker terskelverdiene) og øker båndbredden for deteksjon (Popper & Fay 1993, Popper 2003). Den dominerende gruppen av hørselspecialister i europeiske ferskvann er karpefisk (cyprinider). Denne gruppen er karakterisert ved en kjede av benete småbein, kjent som Weberian apparatet, som forbinder svømmeblæren med det indre øret (se Ladich & Popper 2004).

Generelt kan fisk utsatt for lyden fra eksempelvis peling reagere med en fysiologisk stressrespons og/eller atferdsendringer. Brå lyder, som de som kan komme fra peling, kan forårsake kortsiktige atferdsreaksjoner hos fisk, slik som endring i svømmedybde og akselerasjon (Wardle mfl. 2001, Davidsen mfl. 2019). En annen typisk respons vil være å forsøke å flykte fra lydkilden. I denne undersøkelsen har vi valgt å fokusere på om individene dør, forlater området eller endrer svømmedybde og/eller akselerasjon.

I forbindelse med prøvepelingen i juni og juli 2024 var det ønskelig å kartlegge i hvor stor grad fisk i området ble negativt påvirket av undervannsstøyen fra pelingen. Ved hjelp av merking med elektroniske fiskemerker (akustisk telemetri) ble det undersøkt om i) fisk som oppholder seg i området under pelingen dør grunnet støyen? ii) fisken blir i området når pelingen begynner? Hvis den svømmer vekk, kommer den tilbake når pelingen tar slutt og hvor raskt skjer dette? iii) fisk som blir i området har en lengrevarende stressrespons (endring av akselerasjon og/eller svømmedybde) relatert til pelingen?

2 Materiale og metode

Atferd til abbor, sik, harr og vederbuk før, under og etter prøvepelingen for Nye Mjøsbrua ble kartlagt ved hjelp av elektroniske merker som sender ut et akustisk signal som igjen fanges opp av et nettverk av lyttestasjoner (akustisk telemetri). Rekkevidden til signalene fra senderne til lyttestasjonene er typisk på 500-700 m og muliggjør derfor kartlegging over et større område.

2.1 Områdebeskrivelse

Mjøsa

Mjøsa er Norges største innsjø og ligger i Innlandet og Akershus fylker. Innsjøen er 117 km lang og har et areal på 366 km². Største kjente dybde er på 453 m. Prosjektområdet (figur 1) ligger utenfor Moelv i nordre del av Mjøsa. Her er innsjøen ca. 1,5 km bred og største dybde er på ca. 90 m.

Abbor, sik, harr og vederbuk

Mjøsa har 21 ulike fiskearter. Fire av disse er abbor (*Perca fluviatilis*), sik (*Coregonus lavaretus*), harr (*Thymallus thymallus*) og vederbuk (*Leuciscus idus*).

Abbor er en fiskeart i abborfamilien. Abboren gyter tidlig om våren på grunt vann. Yngre abbor danner ofte små stimer som aktivt søker etter mat, stort sett på dagtid, mens større abbor gjerne kan opptre alene, eller i litt mindre grupper. Store abborer er rovfisker. Abboren er attraktiv både som matfisk og som sportsfisk. Abbor er ikke spesialisert for hørsel av lydtrykk, men er sannsynligvis sensitiv for partikkelbevegelse. Forsøk viser at arten oppfatter lyder rundt 0,01-1 kHz (Ladich & Fay 2013).

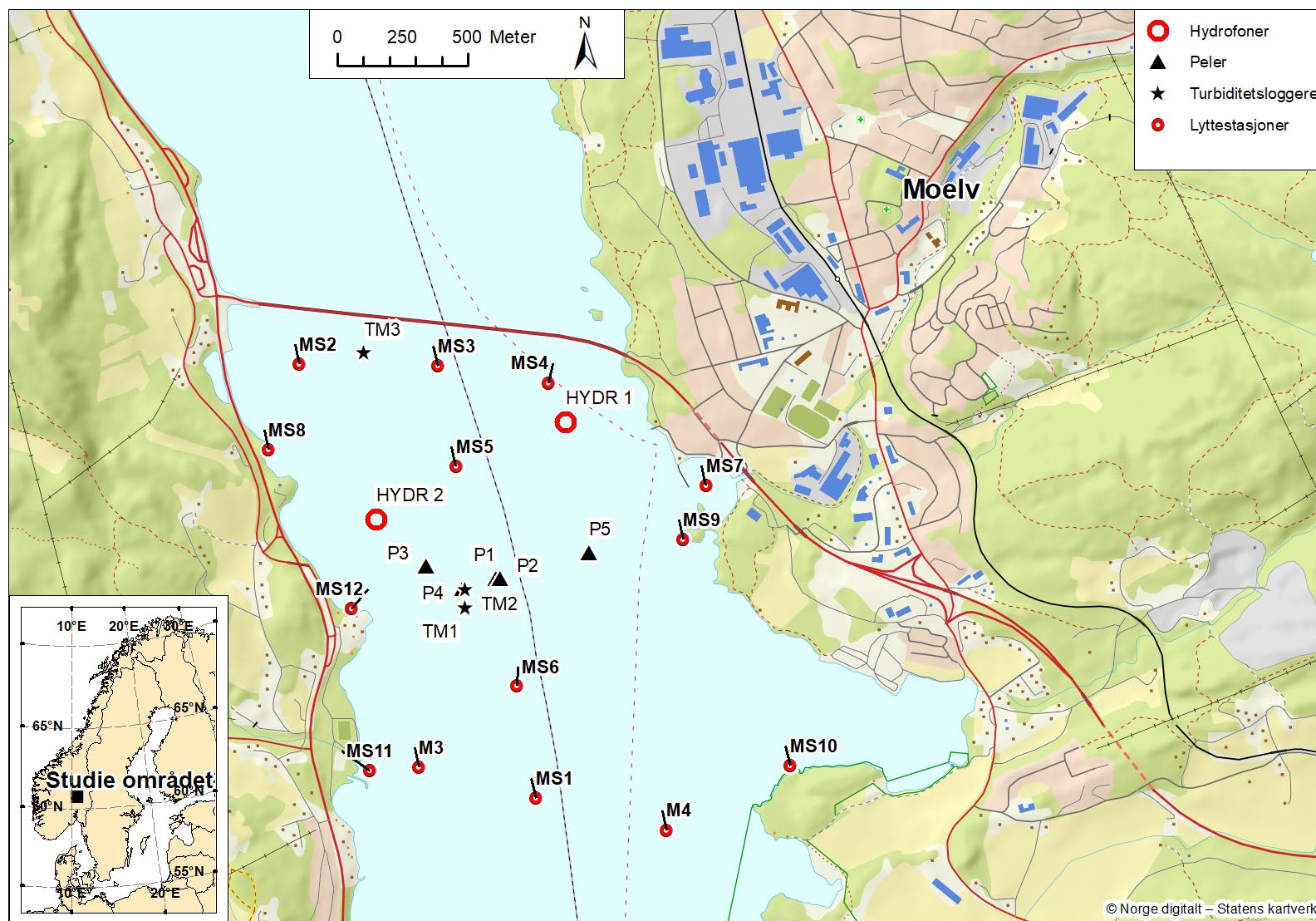
Sik er en fiskeart i laksefamilien. Den gyter om høsten, men det er usikkert hvor stor andel av bestanden som gyter i Gudbrandsdalslågen og i selve innsjøen. Eldre sik beiter oftest på ulike bunndyr (insekter, snegl, muslinger og krepsdyr), men den kan også være en spesialisert dyreplanktonspiser. Sik har historisk sett vært en viktig matfisk i Mjøsa. Det er mye som tyder på at bestanden av sik har gått betydelig ned fra slutten av 1970-tallet og frem til i dag, og at siken i Mjøsa i dag i større grad er bunndyrspiser enn dyreplanktonspiser sammenlignet med tidligere (Sandlund mfl. 2021)

Harr er også en fiskeart i laksefamilien. I motsetning til de fleste andre norske laksefiskene så gyter harren om våren og gytingen skjer vanligvis i rennende vann. Harr er mange steder en populær sportsfisk.

Det er gjort lite studier på hørsel til sik og harr (se dog Amoser mfl. 2004), men data på anatomen til øret hos flere laksefiskarter (Popper & Clarke 1976, Popper 1977) antyder at det auditive systemet er ganske likt i laksefiskfamilien. Hos laksefisk bidrar den åpne svømmeblæren ikke noe særlig til å oppfatte lyd (Hawkins & Johnstone 1978), noe som gjør dem ute av stand til å høre høyfrekvente lyder og samtidig begrenser dem til et smalt frekvensbånd (Gill & Bartlett 2010). Dermed defineres laksefiskfamilien, på samme måte som abborfamilien, som hørselgeneralister som reagerer på partikkelbevegelse, men ikke noe særlig på lydtrykk. Atlantisk laks (*Salmo salar*) oppfatter lyd <1 kHz, men er mest sensitiv til lyd i frekvensbåndet 100-400 Hz (Amundsen & Landrø 2011, Harding mfl. 2016).

Vederbuk er en karpefisk i familien Leuciscidae. Vederbuku gyter i april-mai, og regnes som en av de tidligste vårgyterne (Johnsen mfl. 2014). Den lever av insekter, krepsdyr, snegler og muslinger, men kan også ta fiskeyngel. I motsetning til abbor- og laksefiskfamilien er medlemmer av karpefiskfamilien hørselspecialister, men mellom de ulike arter av karpefisk er det stor variasjon i evnen til å oppfatte lyd (Ladich & Fay 2013). Så langt vi kjenner til er det ikke gjort noen undersøkelser av vederbuk sin evne til å oppfatte lyd.

Partikkelbevegelse har først gjennom de siste 10-15 årene blitt identifisert til, antakeligvis, å være viktigere enn lydtrykk for hørselen til fisk. Det er derfor fortsatt store kunnskapshull når det kommer til tålegrensene for støy (Nedelec mfl. 2016, Popper & Hawkins 2018).



Figur 1. Kart over undersøkelsesområdet. Kartet viser plassering av lyttestasjoner i Mjøsa, rett sør for Mjøsbrua ved Moelv. Lyttestasjonene er nummerert (Mxx). Hydrofoner er nummeret med HYDRx, turbiditetsmålere med TMx mens peler er nummerert med Px. Fisk ble merket og satt ut ved MS11.

2.2 Fangst og merking av fisk med akustiske sendere

I perioden 11.-20.06.2024 ble det i området mellom Skulhussodden og Moelv fanget i alt 24 abbor, 19 sik, 4 harr og 13 vederbuk (tabell 1). Fiskene ble innfanget med storruse, elfiskebåt og med garn under kontinuerlig oppsyn. For å minimere oppholdstid i garn ble fisken klipt fri fra garnet.

Tabell 1: Art, antall og total kroppslengde på fisk merket ved Mjøsbrua 11.-20.06.2024

	N	Totallengde (cm)		
		Gjennomsnitt	Variasjonsbredde	Standardavvik
Abbor	24	34	28-45	4
Sik	19	33	27-41	4
Harr	4	36	33-38	2
Vederbuk	13	46	30-56	9

Før merking ble fisken bedøvet med Finquel VET (180 mg/L vann), og deretter overført til et merkerør med friskt vann. En desinfisert sylindrisk akustisk sender (ThelmaBiotel, model AD-MP9L; 9 x 34 mm; 6 g i luft; estimert batterilevetid ~320 dager, sendestyrke 146 dB re 1uPa @1m) ble forsiktig innført i bukhulen gjennom et 2 cm snitt i buken. Såret ble lukket med et til to sting (Resolon 5/0). På abbor og vederbuk ble det fjernet 1-4 skjell fra buken før snittet ble gjort. Etter merking ble fiskens lengde (naturlig lengde) og vekt notert. Oppholdet i merkerøret varte ca. 5 min, og i denne perioden ble gjellene kontinuerlig tilført friskt vann. Etter merkingen ble fisken oppbevart i en stamp skjermet for lys noen få minutter inntil den hadde normal svømmeatferd og pustefrekvens. To abbor, 2 vederbuk og to harr ble satt ut på østsiden ved Korgerstuguvika (nær stasjon MS10, figur 1), mens de resterende 54 fisk ble satt ut på vestsiden mellom Skulhusodden (Lyttestasjon MS11, figur 1) og E6-brua. Nødvendige tillatelser til merking og fangst ble gitt av Mattilsynet og Statsforvalteren i Innlandet.

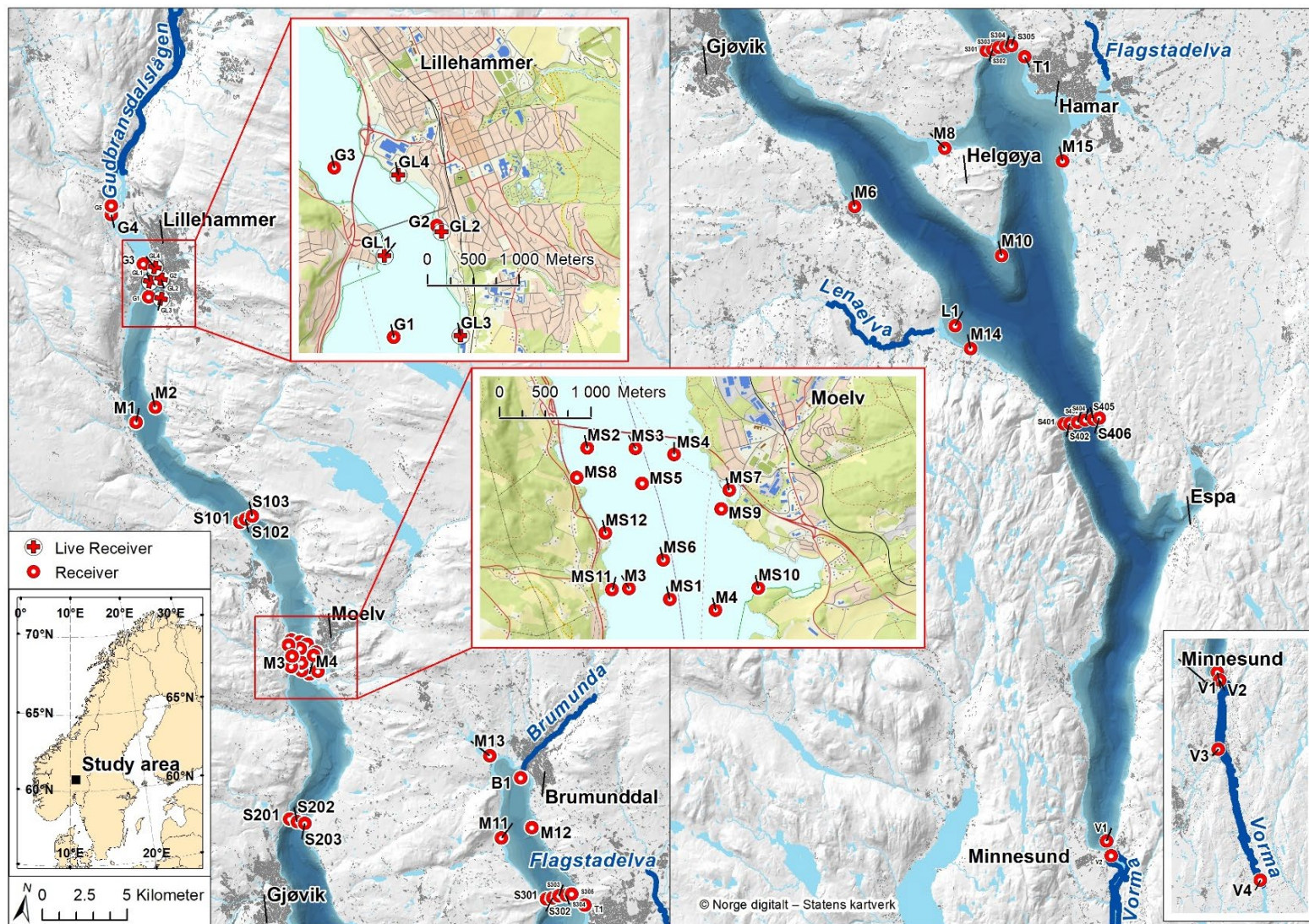
2.3 Registrering av vandringsatferd ved akustiske lyttestasjoner

De akustiske senderne sendte ut et unikt lydsignal (69 kHz; kodesett OPs) som ble registrert når fisken var innen rekkevidde av en lyttestasjon. Signalet ble sendt med et tilfeldig tidsintervall, men med minimum 30 sekunder og maksimum 90 sekunder mellom hvert signal. Signalet inneholdt fiskens ID nr. Annen hver gang hadde signalet i tillegg info om enten fiskens svømmedybde eller akselerasjon. Til sammen ble det utplassert 14 lyttestasjoner i undersøkelsesområdet (figur 1).

Som en del av Forskningsprogrammet «Oppdrag Mjøsa» var det i tillegg utplassert ytterligere 40 lyttestasjoner med logger og fire lyttestasjoner som sendte data i sanntid (livestasjoner). I løpet av høsten 2024 ble det satt ut ytterligere lyttestasjoner slik at det fra oktober var totalt 86 lyttestasjoner i Mjøsa. Om de merkede fiskene under eller etter prøvepelingen forlater området ved Moelv og vandrer til andre områder av Mjøsa vil dette dermed bli dokumentert når lyttestasjonene lastes ned i 2025.

I undersøkelsesområdet ble åtte lyttestasjoner av typen ThelmaBiotel modell TBR800R med innbygd akustisk utløser montert på et 14 mm tau med trålkuler som flyteelement og 20-40 kg anker på bunnen. I tillegg ble seks lyttestasjoner av typen ThelmaBiotel modell TBR700 montert på en helle og feste med kjetting til land.

Alle lyttestasjonene inngår i de to internasjonale forskernettverkene Ocean Tracking Network (www.oceantrackingnetwork.org) og European Tracking Network (www.lifewatch.be/etn/).



Figur 2. Kart over lyttestasjoner utplassert i regi av NTNU sin satsning «Oppdrag Mjøsa» i perioden med prøvepeling. Nederste innstikk viser de 14 lyttestasjonene utplassert i forbindelse med Mjøsbrua-prosjektet, mens øverste innstikk viser utplassering av fire livestasjoner (GL1-4) ved Lillehammer.

2.4 Prøvepeling

I alt ble det rammet på fire peler (figur 1, tabell 2). Aktivitet, dato og klokkeslett kommer frem av tabell 2.

Tabell 2: Oversikt over pel ID, aktivitet, dato og tidspunkt for peling. Posisjon av pel ID fremgår av figur 1.

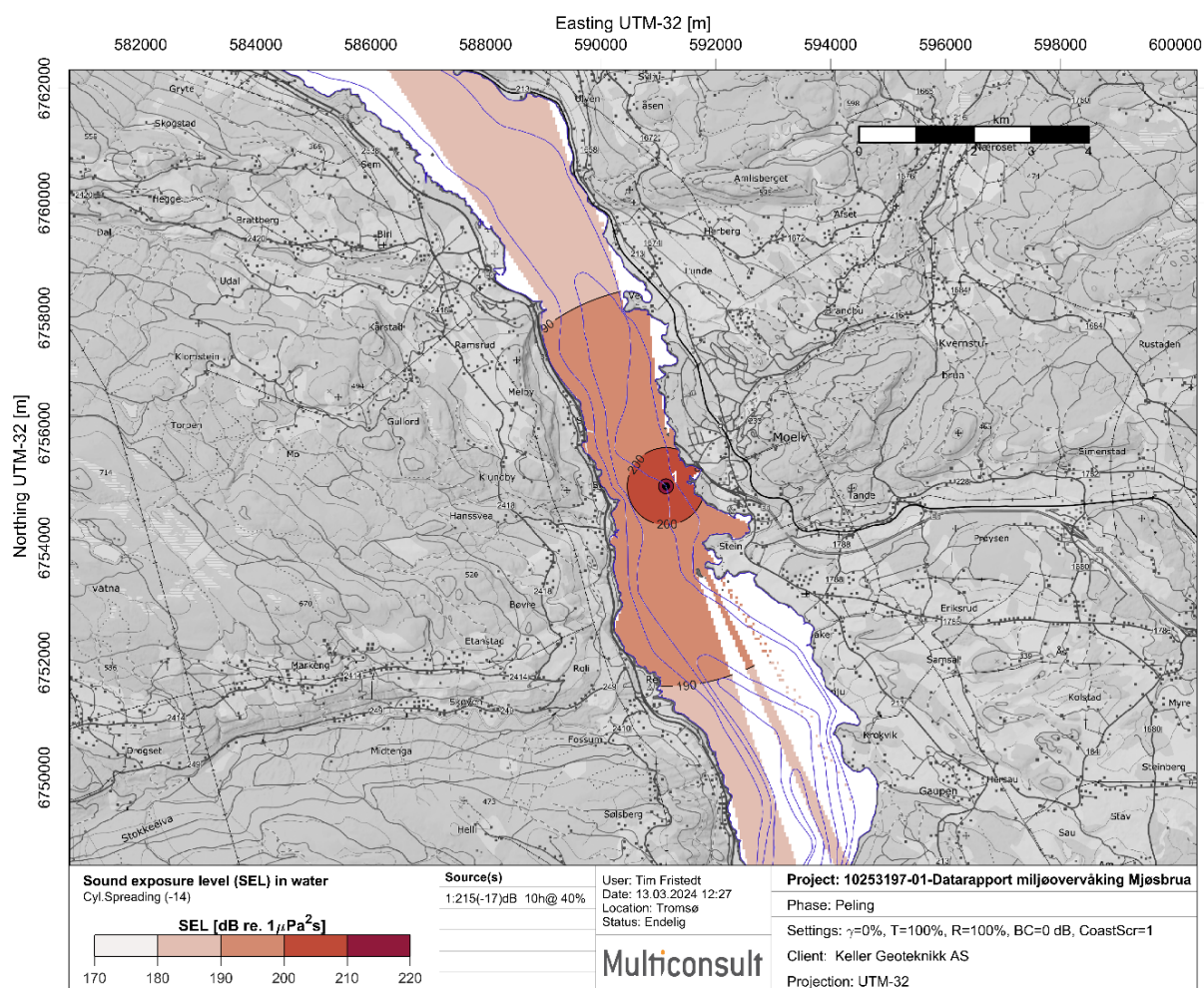
Pel ID	Aktivitet	Kommentar	Dato	Tidspunkt (lokal tid)
P1	Etterramming 2	Ramming med hammer neddykket i vann	26.06	14:01 – 16:09
P2	Ramming seksjon 1		27.06	17:34 – 18:27
P2	Ramming seksjon 2		28.06	09:27 – 11:28
P4	Ramming seksjon 1		01.07	12:31 – 14:25
P4	Ramming seksjon 2		02.07	09:54 – 13:05
P3	Ramming seksjon 1		03.07	14:33 – 19:04
P3	Ramming seksjon 2		04.07	09:15 – 10:29
P5	Etterramming 2	Ramming med hammer neddykket i vann	06.07	13:24 – 14:22
P1	Etterramming 3	Ramming med hammer neddykket i vann	08.07	11:33 – 11:49
P2	Etterramming		08.07	16:48 – 17:04
P4	Etterramming		12.07	10:02 – 10:28
P3	Etterramming	Ramming med hammer neddykket i vann	15.07	09:57 – 14:35

2.5 Måling av lydtrykk under vann

Måling av undervannsstøy ble gjennomført av Multiconsult ved hjelp av to stk. Sigicom P11 hydrofoner (HYDR1 & HYDR2, figur 1). Metoden er nærmere beskrevet i Multiconsult (2024). Resultatene fra Multiconsult sine modeller viser at området som overstiger 200 dB re 1 µPa har en radius på ca. 650 m fra pelepunktet (figur 3). Innenfor dette området utgjør lydnivået en risiko-klassifisering til permanent terskelforskyvning (PTS), hvilket betyr at fisken som oppholder seg her har stor risiko for permanent hørselstap.

2.6 Filtrering og presentasjon av telemetridata

På lyttestasjonene ble det i perioden 11. juni 2024 – 11. oktober 2024 gjort 1 682 024 registreringer av ID numre som var brukt på de aktuelle fiskemerkene. Noen ganger kan det oppstå falske ID, hvilket vil si at lyttestasjonene registrerer ID-numre til fisk som ikke er i det aktuelle området på det tidspunktet ID blir registrert. For å minimere sjansen for å inkludere falske data i dataanalysene, ble datasettet filtrert på følgende måte: Hvis en lyttestasjon registrerte mer enn to fiskemerke-ID som ikke var brukt ved merkingen av fisk, eller hvis mer enn 1000 registreringer ble gjort på stasjonen på en dag, måtte en fisk bli registrert minst to ganger på tolv timer på stasjonen for å bli godkjent. Etter filtrering og visuell kontroll var det 1 679 303 godkjente registreringer. I alt utgjorde falske data dermed kun 0,16 % av datasettet. Endringer i akselerasjon, svømmedybde og avstand til området for peling ble visualisert med ggplot (R Program version 4.2.2 (<http://www.r-project.org>) bygd inn i Rstudio-miljøet version 2023.03.0 (www.rstudio.com)).



Figur 3. Akkumulert lydeksponering (SEL_{cum}) over en 10 timers arbeidsdag hvor det peles 40% av tiden, basert på høyest estimerte lydtryknivå (SPL). SEL_{cum} er redusert med 17dB grunnet at et peleslag har rask demping og at pelefrequensen er omtrent 1 slag per sekund. I nærområdet til pelingen (innerste sirkel; >200 dB re $1 \mu Pa^2 s$) kan lydnivået være dødelig for fisk, mens lydnivået i det mørkebrune området (>200 dB re $1 \mu Pa^2 s$) over tid er så høyt at fisken som oppholder seg her har stor risiko for alvorlig, men gjenopprettelig, hørselstap. I de mer lysebrune områder (>180 og 190 dB re $1 \mu Pa^2 s$) kan midlertidige hørselsskader oppstå. Figuren er lånt fra Multiconsult (2024).



Akustiske lyttestasjoner for registrering av merket fisk klar til utsetting. Foto: Mikkel Emil Lange Friis

3 Resultater

3.1 Fisk som var i undersøkelsesområdet under prøvepelingen

Prøvepelingen foregikk i perioden 26.06-15.07.2024 (tabell 2). Når prøvepelingen startet oppholdt 38 av de i alt 60 merkede fisk (63%) seg i undersøkelsesområdet, fordelt på 15 abbor (63%), 7 sik (37%), 4 harr (100%) og 10 vederbuk (77%).

I tillegg oppholdt det seg en gjedde (*Esox lucius*) (98 cm) og en brasme (*Abramis brama*) (65 cm) i undersøkelsesområdet. Disse var tidligere merket av NINA Lillehammer i Lågendeltaet og hadde elektroniske fiskemerker med sensor for svømmedybde. I området oppholdt det seg også tre ørreter (*Salmo trutta*) (71 cm og 84 cm, merket ved Minnesund; 64 cm, merket i Furnesfjorden). Ørreten fra Furnesfjorden hadde sensor for svømmedybde, mens de andre to hadde merker som kun sendte ut info om ID.

3.2 Fisk som forlot undersøkelsesområdet før prøvepelingen

Tre av de ni abborne (33%) som ikke oppholdt seg i undersøkelsesområdet under prøvepelingen forlot området i løpet av de første to dagene etter merking. Fem andre individer svømte ut av området etter tre til ni dager, mens en abbor aldri ble registrert. Syv abborer forlot området mot sør, mens en svømte nordover. To abborer kom tilbake til undersøkelsesområdet fem dager etter prøvepelingen var avsluttet, mens én så vidt var innom i perioden med prøvepeling.

Av de 12 sikene (63%) som ikke oppholdt seg i undersøkelsesområdet under prøvepelingen var det seks individer som forlot undersøkelsesområdet i løpet av den første dagen etter merking mens to sik forlot området etter henholdsvis fem og seks dager. En sik ble aldri observert i området, en døde dagen etter merking og en døde rett før prøvepelingen startet. Dødsårsaken til de to sistnevnte fiskene var dermed ikke relatert til prøvepelingen. Fem sik forlot området mot sør, mens fire sik svømte ut av området mot nord. Ingen av disse ni sikene kom tilbake til undersøkelsesområdet i perioden fra prøvepelingen var ferdig og fram til 11 oktober 2024.

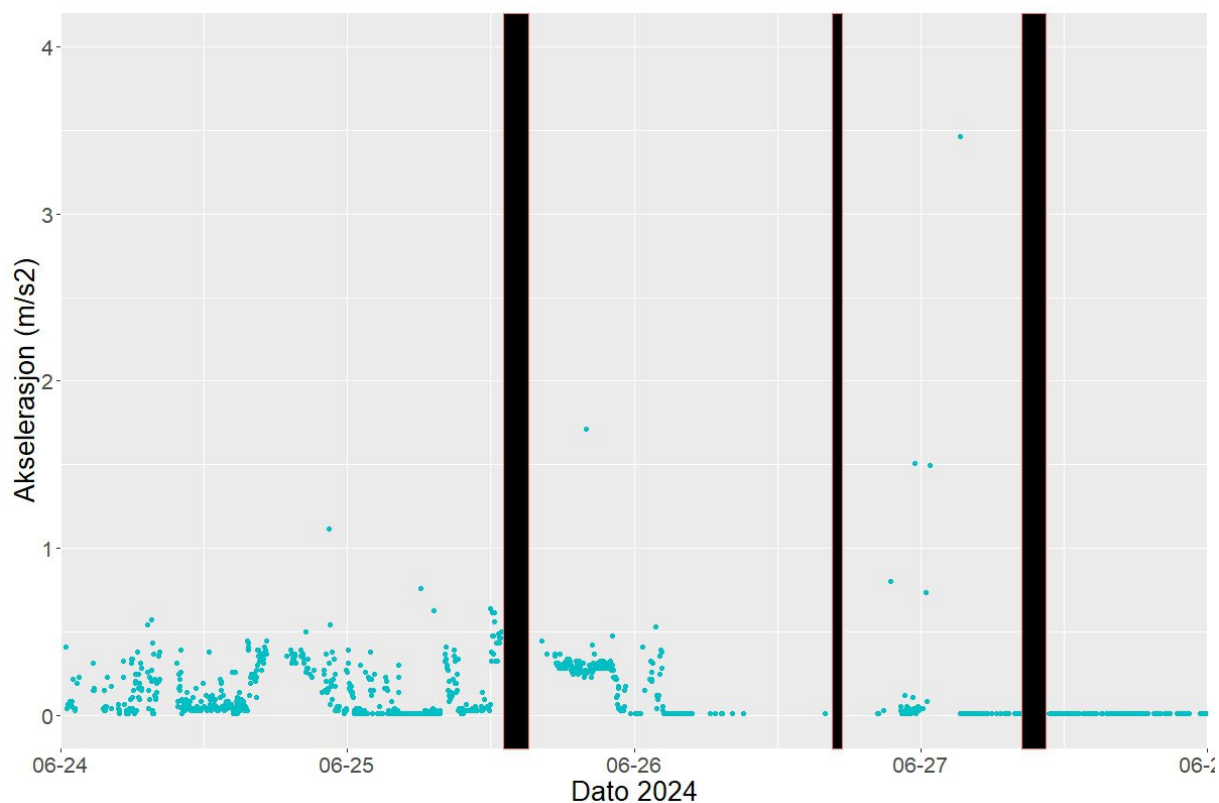
Tre vederbuk (23%) forlot området før prøvepelingen. To vederbuk forlot undersøkelsesområdet, mot henholdsvis nord og sør, to dager etter merking mens en hadde siste observasjon etter seks dager i vestre del av området (ved lyttestasjon MS12, figur 1). Ingen av disse tre vederbukene ble registrert i undersøkelsesområdet igjen.

Det var ingen harr (0%) som forlot området under prøvepelingen. De tre ørretene, gjedda og brasmen vandret gjentatte ganger inn og ut av området i perioden med prøvepeling.

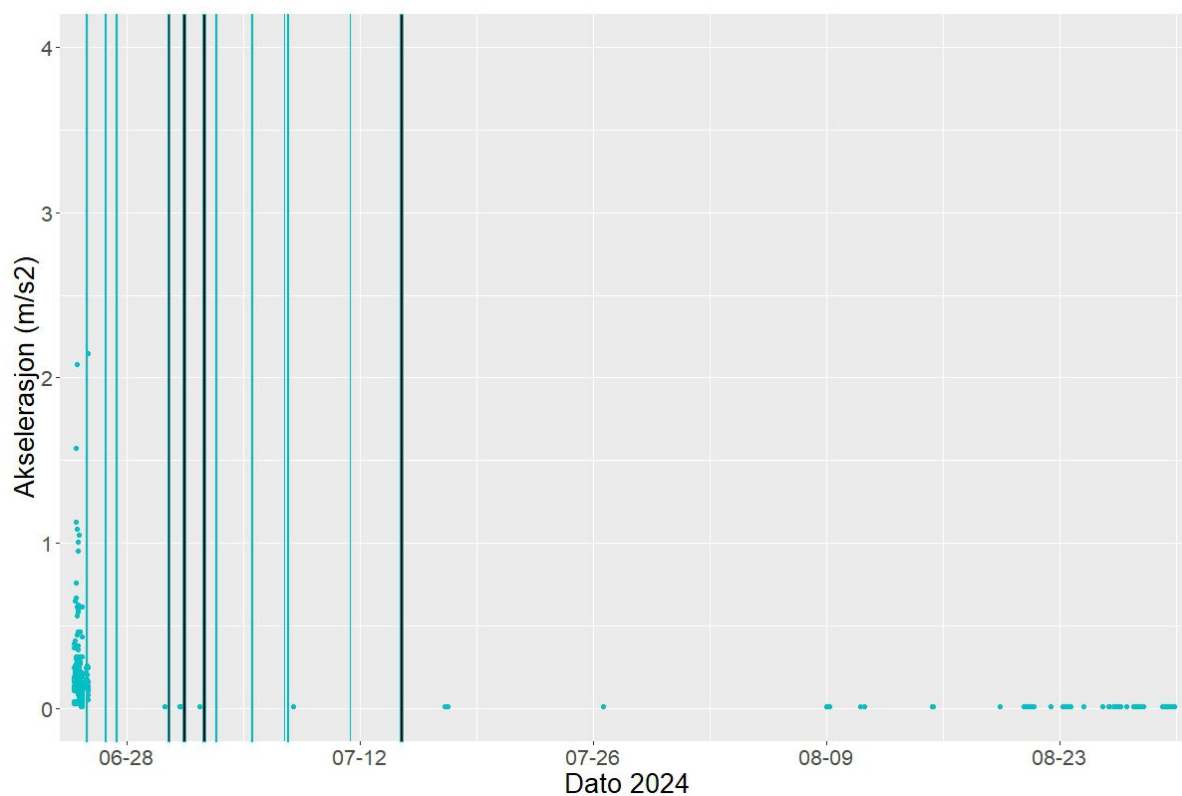
3.3 Fisk som døde under prøvepelingen

En av de 15 abborne (6%; figur 4) og tre av de syv sikene (43%, figur 5-7) som var i undersøkelsesområdet døde under prøvepelingen. Da de døde var de i nærheten av henholdsvis stasjon MS2, MS11, M3 og M4 (figur 1). Ingen av de fire harrene (0%) eller ti vederbukene (0%) som var i undersøkelsesområdet døde i perioden med prøvepeling.

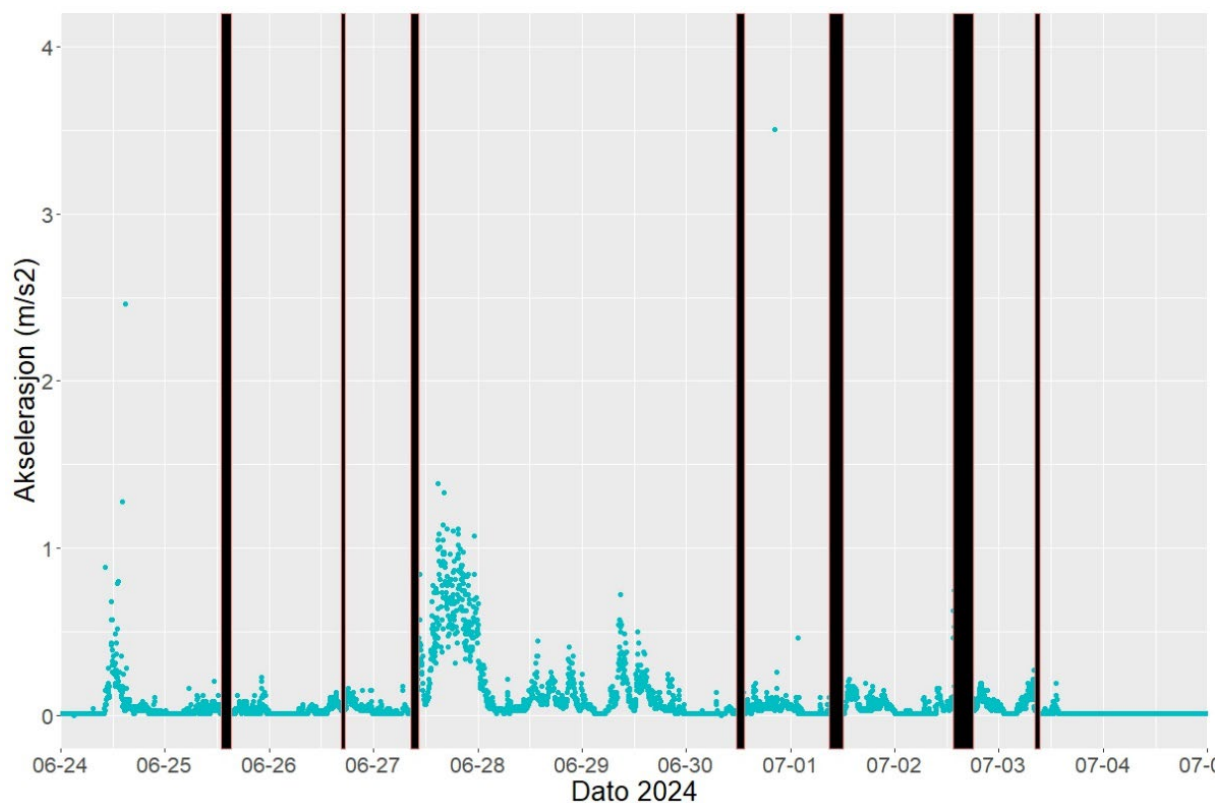
Ingen av de tre ørretene, gjedda eller brasmen døde under prøvepelingen



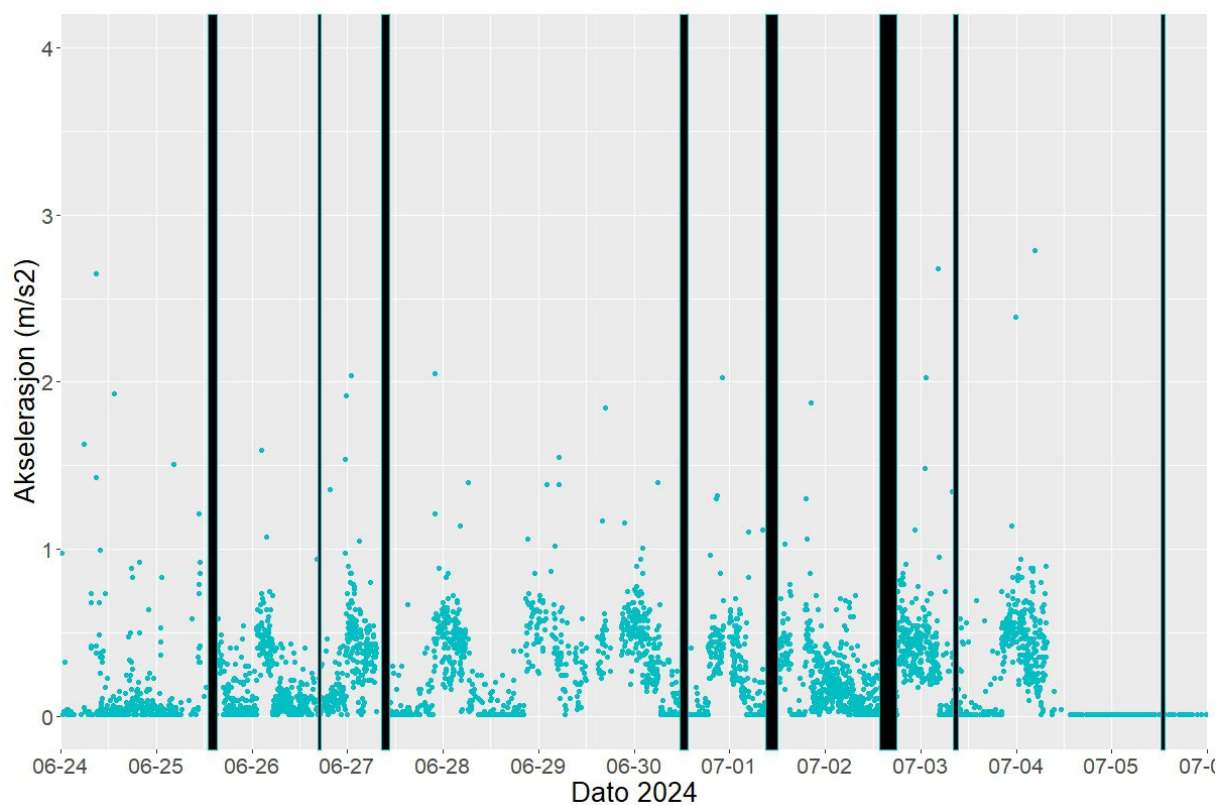
Figur 4. Nivå av akselerasjon til abbor nr. 455 under prøvepeling for nye Mjøsbrua. Loddrette svarte stolper angir perioder for prøvepeling. Fisken sluttet å bevege seg 28.06. kl. 02:19 og ble antatt død fra dette tidspunktet.



Figur 5. Nivå av akselerasjon til sik nr. 441 under prøvepeling for nye Mjøsbrua. Loddrette svarte stolper angir perioder for prøvepeling. Fisken sluttet å bevege seg 01.07. kl. 06:05 og ble antatt død fra dette tidspunktet.



Figur 6. Nivå av akselerasjon til sik nr. 447 under prøvepeling for nye Mjøsbrua. Loddrette svarte stolper angir perioder for prøvepeling. Fisken sluttet å bevege seg 04.07. kl. 13:05 og ble antatt død fra dette tidspunktet.



Figur 7. Nivå av akselerasjon til sik nr. 457 under prøvepeling for nye Mjøsbrua. Loddrette svarte stolper angir perioder for prøvepeling. Fisken sluttet å bevege seg 05.07. kl. 08:23 og ble antatt død fra dette tidspunktet.

3.4 Fisk som forlot undersøkelsesområdet under prøvepelingen

Ti av 14 abbor (71%) som var i området under prøvepelingen ble der i hele perioden, mens fire (29%) forlot området under prøvepelingen. Kun en av de fire abborene kom tilbake til undersøkelsesområdet i perioden fra prøvepelingen var ferdig og fram til 11 oktober 2024.

Tre av fire sik (75 %) som var i undersøkelsesområdet under prøvepelingen, og som ikke døde, forlot området i denne perioden. En kom tilbake etter pelingen var avsluttet.

Ni av ti vederbuk (90%) ble i undersøkelsesområdet under hele perioden med prøvepeling, mens den siste var innom i to perioder av få timer.

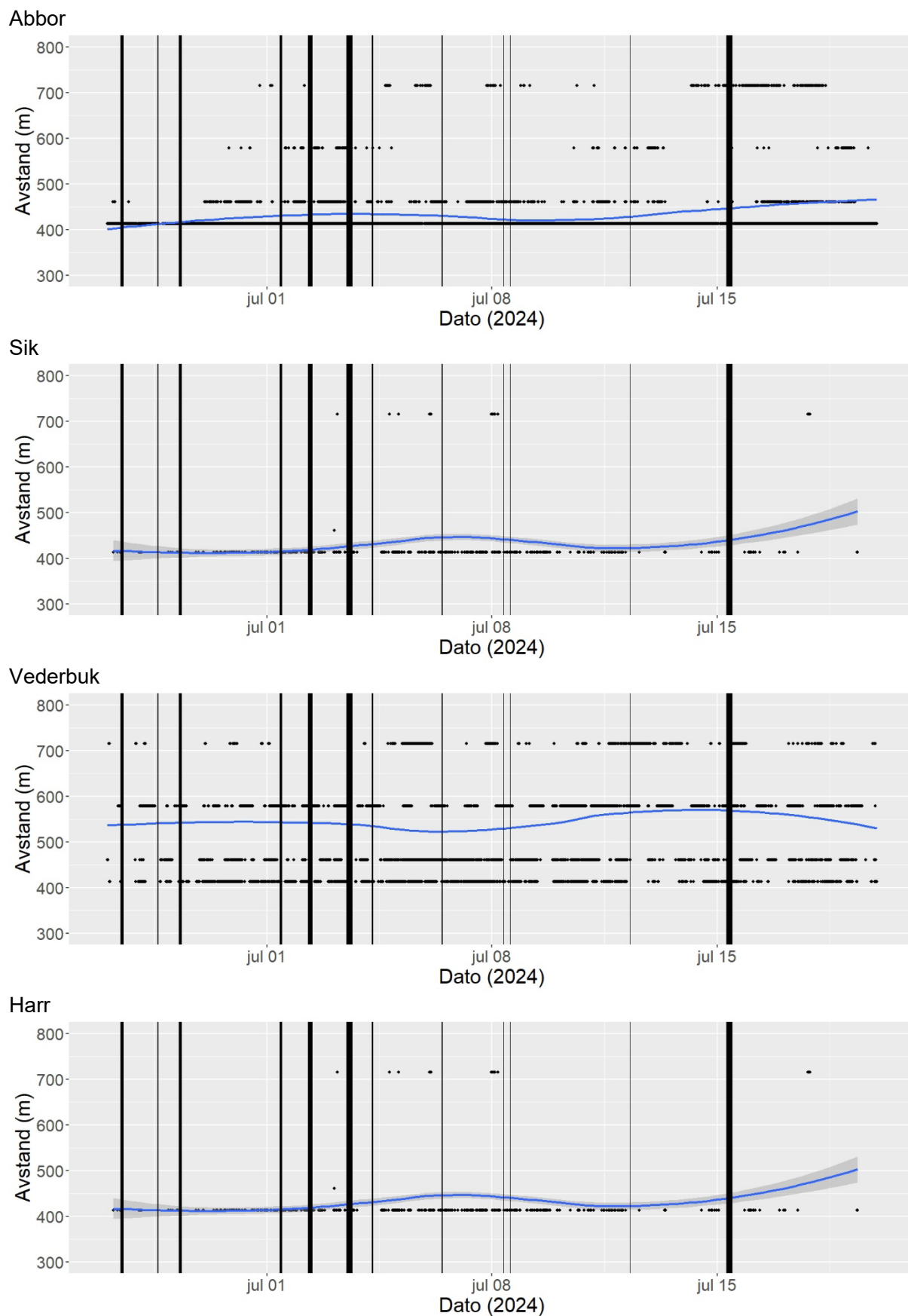
De fire harrene (100%) oppholdt seg i undersøkelsesområdet under hele perioden med prøvepeling.

De tre ørretene, merket i Minnesund og Furnesfjorden, vandret gjentatte ganger inn og ut av undersøkelsesområdet, men var der ikke hele tiden under prøvepelingen. En gjedde og en brasme merket i Lågendeltaet var innom i deler av perioden for prøvepeling, men forsvant igjen etter få dager.

Ingen av de fire artene hadde lengre vandringer vekk fra pel P2 i perioden med prøvepeling (figur 8). Både abborer, sik, vederbuk og harr hadde stabilt med registreringer på lyttestasjonene henholdsvis 400 og 450 m fra P2 gjennom hele perioden.

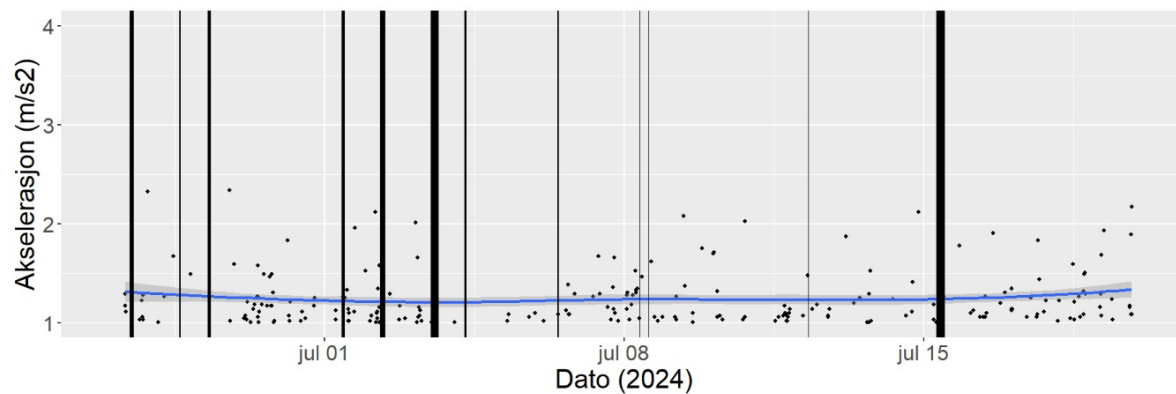
3.5 Akselerasjon og svømmedybde til fisken under prøvepelingen

På de fire lyttestasjonene nærmest området med prøvepeling ble det ikke registrert større endringer i hverken akselerasjon eller svømmedybde i perioden med prøvepeling (figur 9 og 10). Men når en ser på nivået av akselerasjon og svømmedybde i timene før, under og etter prøvepelingen (figur 11 og 12) kan det se ut som at fiskene under prøvepelingen forsvinner ut av området for så å komme tilbake en til to timer etterpå.

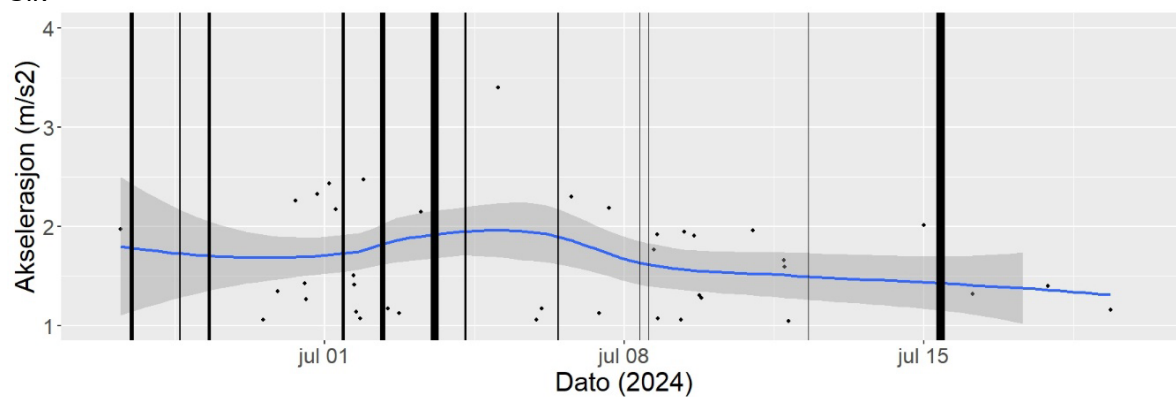


Figur 8. Endring i avstand mellom individuelle fisk og påle P2 (figur 1) under prøvepeling. Data fra de fire nærmeste lyttestasjoner (MS5, MS6, MS9, MS12) ble benyttet. Loddrette svarte stopper angir perioder for prøvepeling. Blå strek med grå skygge viser gjennomsnittlig avstand og konfidensintervall.

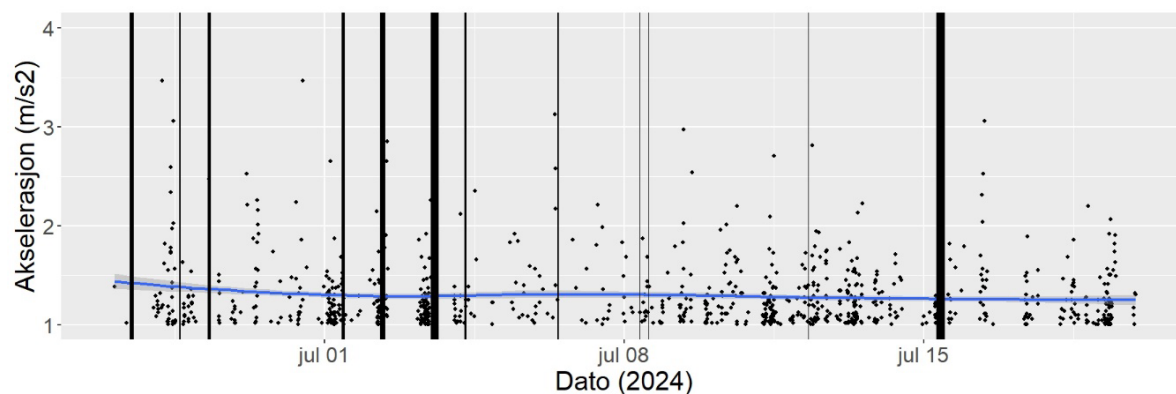
Abbor



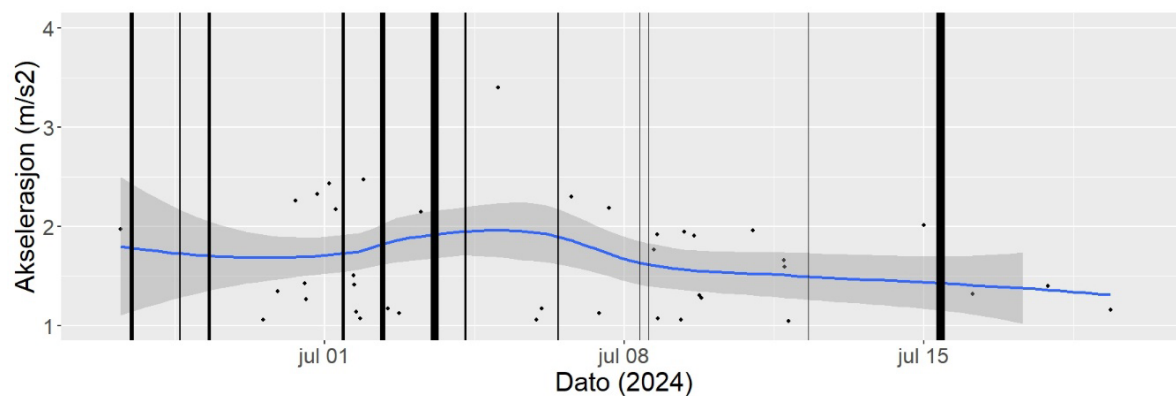
Sik



Vederbuk

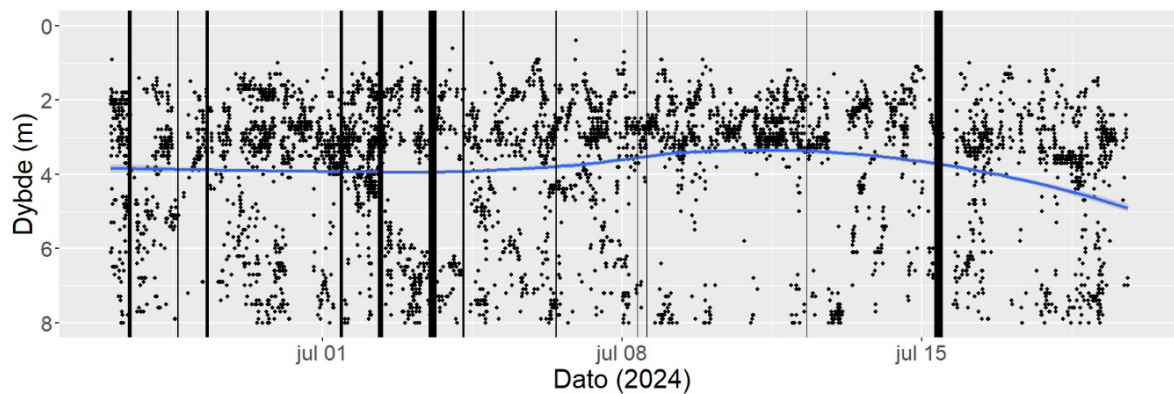


Harr

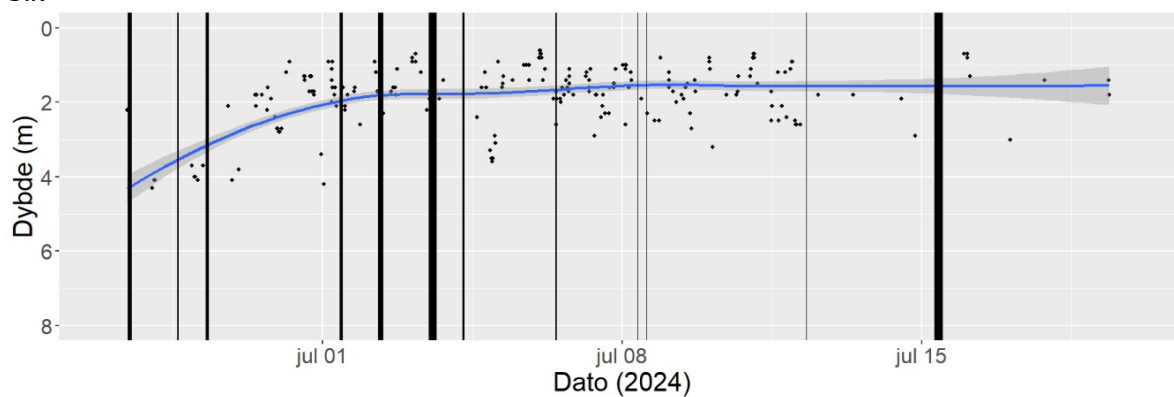


Figur 9. Akselerasjon til abbor, sik, vederbuk og harr under prøvepeling. Figurene viser data registrert på de fire lyttestasjoner nærmest området med prøvepeling (MS5, MS6, MS9, MS12; figur 1). Loddrette svarte stopper angir perioder for prøvepeling. Blå strek med grå skygge viser gjennomsnittlig akselerasjon og konfidensintervall.

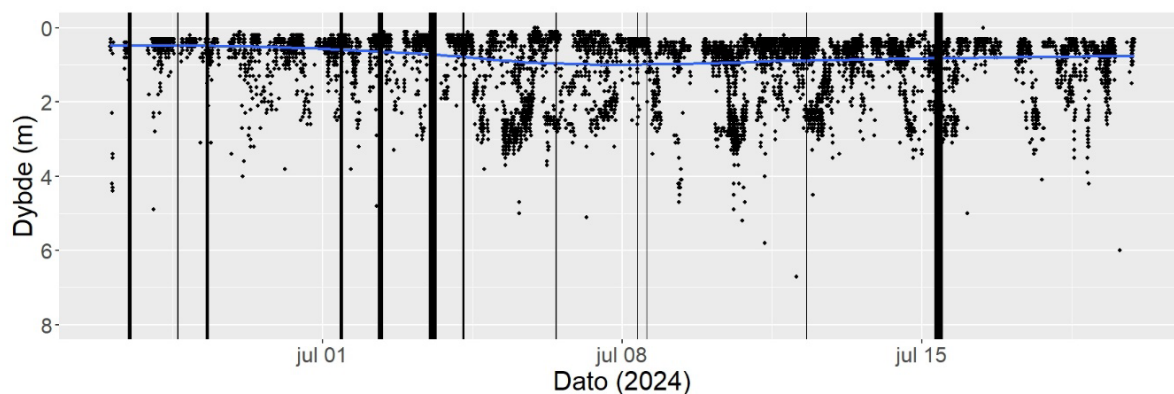
Abbor



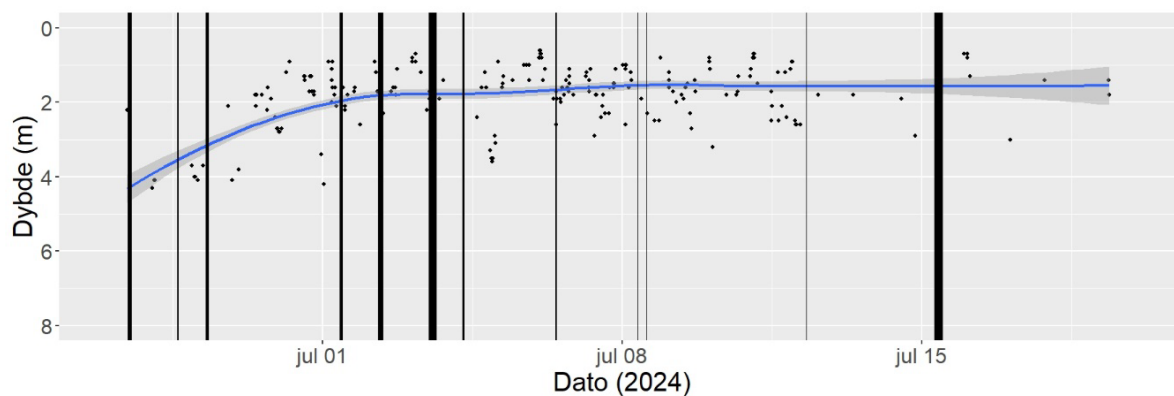
Sik



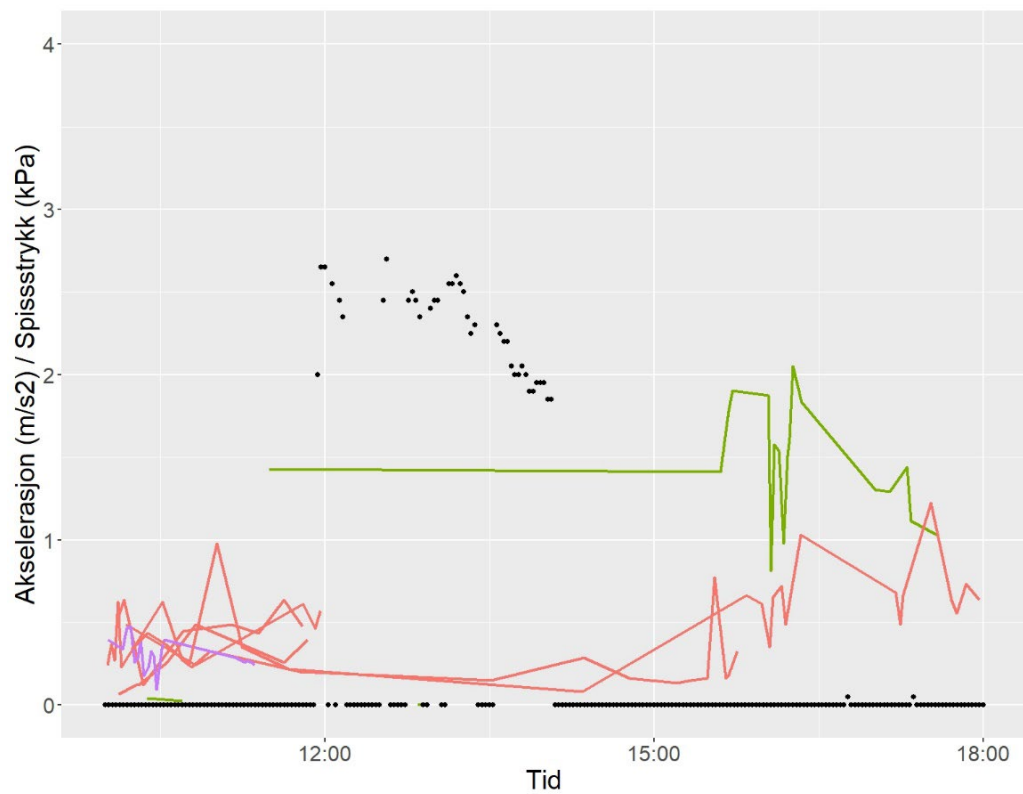
Vederbuk



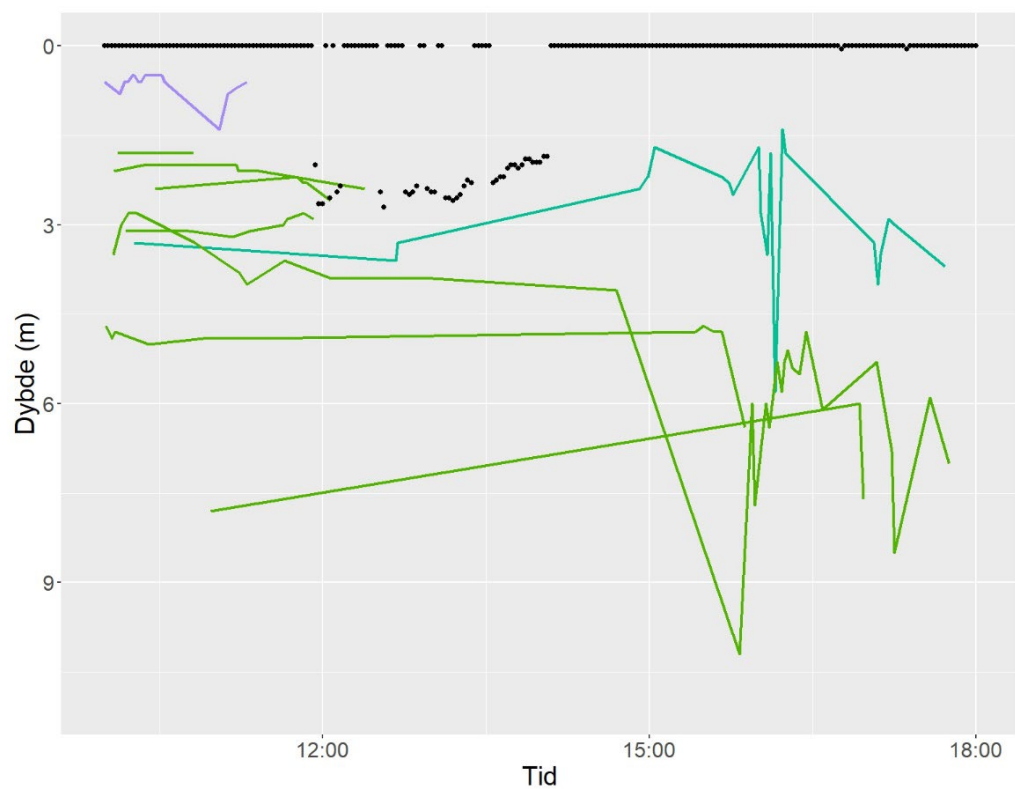
Harr



Figur 10. Svømmedybde til abbor, sik, vederbuk og harr under prøvepeling. Figurene viser data registrert på de fire lyttestasjoner nærmest området med prøvepeling (MS5, MS6, MS9, MS12; figur 1). Loddrette svarte stopler angir perioder for prøvepeling. Blå strek med grå skygge viser gjennomsnittlig dybde og konfidensintervall.



Figur 11. Spissstrykk (svarte prikker) og trendlinjer for akselerasjon til åbber (rød), sik (grønn) og vederbuk (lilla) målt i forbindelse med prøvepeling nr.1 26. juni 2024. Det var ingen merket harr i området under prøvepelingen denne dagen.



Figur 12. Spissstrykk (svarte prikker) og trendlinjer for svømmedybde til åbber (rød), sik (grønn) og vederbuk (lilla) målt i forbindelse med prøvepeling nr.1 26. juni 2024. Det var ingen merket harr i området under prøvepelingen denne dagen.

4 Diskusjon

Hensikten med denne undersøkelsen var å kartlegge om støy fra prøvepeling for ny bru over Mjøsa ved Moelv hadde stor negativ påvirkning på fisk i området. Spesielt ble det fokusert på om fisken døde, forsvant fra området eller hadde store og langvarige endringer i akselerasjon og svømmedybde i perioden med mye undervannsstøy.

Av de fire artene som inngikk i selve undersøkelsen (abbor, sik, vederbuk og harr) ble det observert at 43% av den merkede siken (N=3) og 6% av den merkede abboeren (N=1) som oppholdt i området under prøvepelingen døde. Ingen av de andre artene (vederbuk og harr), eller de tre ørretene, gjedda og brasmen merket i Lågendeltaet, og som var innom i løpet av perioden med støy, døde. Fisken kan dø momentant eller etter en stund om indre organer som lever, nyrer eller gonader skades ved barometrisk trauma (Hardyniec & Skeen 2005, Casper mfl. 2013) eller ved akutt stress (Schreck & Tort 2016), men akkumulert stress over tid kan også medføre dødelighet hos fisk. Død som følge av akutt stress vil sannsynligvis skyldes kardiovaskulær svikt og skjer mens fisken er utsatt for stressfaktoren eller kort tid etterpå (forsinket dødelighet). Hvis døden inntreffer innen en uke eller mer etter en stressfaktor, er det sannsynligvis på grunn av sekundær sykdom forårsaket av replikative patogener (de som kan fullføre hele livssyklusen i en vert), som fisken er infisert med. Under normale omstendigheter vil nivået av kortisol i fisken ha en immundempende effekt, men økt stressnivå og derved økende mengder av kortisol hemmer denne (Schreck & Tort 2016). Det finnes imidlertid situasjoner der årsaken til dødelighet som starter omtrent en uke etter en akutt stressfaktor, ikke kan fastslås. Sammenlignet med tidligere undersøkelser (Fauske 2007, Popper mfl. 2014, Andersson mfl. 2017, Popper & Hawkins 2019) kan en forvente at fisk med åpen eller delvis åpen svømmeblære (slik som abbor, sik, vederbuk og harr) dør ved spisstrykk (SPL; høyeste verdien i en definert periode) $> 229\text{--}234 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}$ eller ved lengrevarende støy (SEL_{cum}) $> 207\text{--}210 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$. I forbindelse med prøvepelingen ble spisstrykket modellert til å være under grensen ($200\text{--}215 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa} @ 1\text{m}$), men den lengrevarende støyen (SEL_{cum}) ble modellert til å være over grensen i området nærmest pelingen ($> 220 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$ nærmest pelingen, avtakende til $> 210 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$ innenfor en radius av 650 m; figur 3). Om en i framtidige undersøkelser ønsker en grundigere analyse av om fisken eventuelt dør grunnet effekten av kumulativ stress er det mulig å bruke fiskemerker med sensor for hjerterytme (Davidsen mfl. 2019). En kan da kartlegge om hjerterytmen holder seg unaturlig høy (sekundær stressrespons) over lengre perioder.

Siden de fire fiskene som døde under pelingen ikke ble observert etter undersøkelsen kan det ikke konkluderes med hvorfor de døde. Det kan derfor ikke utelukkes at dødeligheten som ble observert hos sik og abbor skyldtes prøvepelingen, men vi kan heller ikke utelukke at dødeligheten skyldtes andre faktorer. Merkeeffekt er en potensiell mulighet, men det vurderes som lite sannsynlig at dette er årsaken. Merkeeffekt er oftest et problem når en merker små fisk, slik som smolt, og merket derfor er relativt stort i forhold til fisken (Brown mfl. 1999, Lacroix mfl. 2004, Jepsen mfl. 2005). De tre sikene som døde under perioden med prøvepeling var på henholdsvis 275, 320 og 250 mm total lengde, mens abboeren var på 300 mm. Vekten av fiskemerket utgjorde 1,8–3,8% av fiskenes kroppsvekt. I en studie av merkeeffekt på brasme (Gardner mfl. 2015) ble det observert et fåtall fisk som døde grunnet merking og disse døde alle innen fem dager etter merkingen. De tre sikene som døde under prøvepelingen døde henholdsvis 8, 11 og 15 dager etter merkingen, mens abboeren døde etter 15 dager. Samlet sett vurderes det derfor som mindre sannsynlig at merkeeffekt var den direkte årsak til at fiskene døde.

Av abboeren og siken som oppholdt seg i området under prøvepelingen var det 29% som svømte bort i perioden med prøvepelingen, mens 75% av siken gjorde det samme. Til sammenligning ble både vederbuk og harr i området. Å forlate et område med mye støy fremstår som den mest naturlige responsen. En mulig forklaring på at det ble observert en forskjell i atferd mellom artene kan kanskje forklares med at vederbuk og harr i Mjøsa i denne perioden av året er mer stedbunden og har et mer litoralt levevis enn sik og abbor. Dette har vi imidlertid lite kunnskap om per i dag. Om fisken har tilsvarende leveforhold i området den vandrer til, eller returnerer tilbake til området når støyen er opphørt, vil konsekvensene på sikt kunne antas å være minimale. Fram til undersøkelsens avslutning 11. oktober ble det registrert at en abbor returnerte til området.

Det ble ikke observert større endringer i akselerasjon eller svømmedybde hos de merkede fiskene, hverken umiddelbart etter perioder med prøvepeling eller over hele perioden. Det finns per i dag kun et begrenset antall forsøk relatert til støy og atferdsendringer hos fisk, og de fleste har blitt gjennomført i tanker eller akvarier, noe som gir dem lav direkte overføringsverdi til atferd i frie vannmasser (Popper & Hawkins 2019). Forsøk som har vært gjort har vist at fisk kan respondere på støy med endringer i både akselerasjon og svømmedybde (Neo mfl. 2018, Davidsen mfl. 2019), men terskelverdien for å endre atferd varierer mellom arter. Enkelte forsøk angir at atferdsendringer kan oppstå ved spisstrykk på over 153 dB re 1 μ Pa (Fauske 2007, Popper mfl. 2014, Andersson mfl. 2017, Popper & Hawkins 2019). I følge Multiconsult (2024) varierte spisstrykket fra 200-215 dB re 1 μ Pa, hvilket da tilsier at fisk i området mest sannsynlig reagerte på støyen. At slike responser ikke ble observert i denne undersøkelsen kan skyldes at metoden var designet til å fange opp lengrevarende endringer og at eventuelle kortvarige responser (<1 minutt) derfor ikke ble detektert.

Ut fra en samlet vurdering er konklusjonen at fisken ikke ble påført stress og skade på populasjonsnivå som endrer vekst, dødelighet og fiskehelse, men at det er overveiende sannsynlig at enkeltfisk døde eller endret beiteområde grunnet støyen fra peleboringen. Resultatene viser også at den negative påvirkningen fra peleboringen varierte mellom arter, med større påvirkning på sik og abbor enn på vederbuk og harr.

5 Forslag til avbøtende tiltak

Ut fra et føre var prinsipp kan det være hensiktsmessig å vurdere avbøtende tiltak i forbindelse med videre peleboring i Mjøsa. For å redusere trykkpåkjenningen på fisk og andre organismer i området hvor det skal peles kan det brukes boblegardin som skjermer området (Würsig mfl. 2000, Hardyniec & Skeen 2005, Tsouvalas & Metrikine 2016). Teknikken innebærer å pumpe luft gjennom perforerte rør som plasseres rundt støykilden under vann. Når luften slippes ut fra rørene dannes det bobler og disse stiger da til overflaten og danner en "boblevegg." Denne bobleveggen fungerer som en barriere som demper lydbølgene ved å forstyrre og bryte opp lyden. Den kan både reflektere og absorbere lydbølger, noe som reduserer støynivået som slipper gjennom. Tester og modeller har vist at boblegardiner er effektive og eksempelvis kan dempe trykkbølgen med 10-30 dB (Clorennec mfl. 2019, Zhu mfl. 2023).

Om en i tillegg ønsker å overvåke, på dag-til-dag basis, atferd og stressnivå til fisk i det aktuelle tiltaksområdet, med henblikk på å kunne justere de avbøtende tiltakene ved behov, kan en bruke «Live lyttestasjoner» (Nye Veier AS 2021). En merker da, på samme måte som i denne rapporten, aktuelle fisk med elektroniske merker, men følger dem i stedet med lyttestasjoner som rapporterer i sanntid (Davidsen mfl. 2021).

6 Referanser

- Amoser, S., Wysocki, L.E. & Ladich, F. 2004. Noise emission during the first powerboat race in an Alpine lake and potential impact on fish communities. - *The Journal of the Acoustical Society of America* 116: 3789-3797.
- Amundsen, L. & Landrø, M. 2011. Marine seismic sources part VIII: Fish hear a great deal. - *GEO ExPro* 8: 1-10.
- Andersson, M.H., Nöjd, A. & Carlström, J. 2017. Kunnskapsunderlag om undervattens-eksplosjoner og marina dyr. - Teknisk rapport FOI-R--4413--SE:
- Brown, R.S., Cooke, S.J., Anderson, W.G. & McKinley, R.S. 1999. Evidence to challenge the "2% rule" for biotelemetry. - *North American Journal of Fisheries Management* 19: 867-871.
- Casper, B.M., Halvorsen, M.B., Matthews, F., Carlson, T.J. & Popper, A.N. 2013. Recovery of Barotrauma Injuries Resulting from Exposure to Pile Driving Sound in Two Sizes of Hybrid Striped Bass. - *Plos One* 8: e73844.
- Clorennec, D., Billand, P., Bois, C. & Folegot, T. 2019. Characterisation of the efficiency of a bubble curtain in the context of the assessment of underwater explosions in Ålesund. - Technical Report, Quiet-Oceans, QO.20190523.10.RAP.001.05A: 41.
- Dahl, P.H., De Jong, C. & Popper, A.N. 2015. The underwater sound field from impact pile driving and its potential effects on marine life. - *Acoustics Today* 11: 18-25.
- Davidson, J.G., Dong, H., Linné, M., Andersson, M.H., Piper, A., Prystay, T.S., Hvam, E.B., Thorstad, E.B., Whoriskey, F., Cooke, S.J., Sjørnsen, A.D., Rønning, L., Netland, T.C. & Hawkins, A.D. 2019. Effects of sound exposure from a seismic airgun on heart rate, acceleration and swimming depth use in free-swimming Atlantic cod and saithe. - *Conservation Physiology* 7: 1-19.
- Davidson, J.G., Sjørnsen, A.D., Rønning, L., Davidson, A.G., Eldøy, S.H., Døverdin, M. & Kjærstad, G. 2021. Utbygging av ny E6 ved Hellstranda – kartlegging av områdebruk til sjørret og laks, samt forslag til kompenserende tiltak. - NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk rapport 2021-10: 1-63.
- Fauske, A. 2007. Undervannssprengning i nærheten av oppdretsanlegg - begrensninger og krav til gjennomføring. - I *Fjellsprengningsteknikk, bergmekanikk/geoteknikk* (Kristiansen, J., Braaten, A., Olsson, R. & Berg, K.R., redaksjon.), 23 s.
- Gardner, C.J., Deeming, D.C., Wellby, I., Soulsbury, C.D. & Eady, P.E. 2015. Effects of surgically implanted tags and translocation on the movements of common bream *Abramis brama* (L.). - *Fisheries Research* 167: 252-259.
- Gill, A.B. & Bartlett, M. 2010. Literature review on the potential effects of electromagnetic fields and subsea noise from marine renewable energy developments on Atlantic salmon, sea trout and European eel. - Scottish Natural Heritage Commissioned Report 401: 1-43.
- Harding, H., Brintjes, R., Radford, A. & Simpson, S.D. 2016. Measurement of Hearing in the Atlantic salmon (*Salmo salar*) using Auditory Evoked Potentials, and effects of pile driving playback on salmon behaviour and physiology. - *Scottish Marine and Freshwater Science report Vol 7 No 11*: 51.
- Hardyniec, S. & Skeen, S. 2005. Pile Driving and Barotrauma Effects. - *Transportation Research Record* 1941: 184-190.
- Hawkins, A.D. & Johnstone, A.D.F. 1978. The hearing of the Atlantic salmon (*Salmo salar*). - *Journal of Fish Biology* 13: 655-673.
- Hawkins, A.D. & Myrberg, A.A. 1983. Hearing and sound communication underwater. - s. 347-405 i Lewis, B. (red.). *Bioacoustics, A comparative approach*. - Academic Press London.
- Hazelwood, R.A. & Macey, P.C. 2016. Modeling water motion near seismic waves propagating across a graded seabed, as generated by man-made impacts. - *Journal of Marine Science and Engineering* 47: 1-14.
- Jepsen, N., Schreck, C., Clements, S. & Thorstad, E.B. 2005. A brief discussion on the 2% tag/bodymass rule of thumb. - s.255-259 i Lembo, M.T. & Marmulla, G. (red.). *Aquatic telemetry: advances and applications*. - FAO/COISPA Rome.
- Johnsen, S.I., Museth, J. & Dokk, J.G. 2014. Vurdering av Åkersvika som funksjonsområde for fisk - Effekter av vegbygging og foreslåtte miljøtiltak. - NINA Rapport 1074: 1-44.

- Lacroix, G.L., Knox, D. & McCurdy, P. 2004. Effects of implanted dummy acoustic transmitters on juvenile Atlantic salmon. - Transactions of the American Fisheries Society 133: 211-220.
- Ladich, F. & Fay, R.R. 2013. Auditory evoked potential audiometry in fish. - Reviews in Fish Biology and Fisheries 23: 317-364.
- Ladich, F. & Popper, A.N. 2004. Parallel evolution in fish hearing organs. - s. 95-127 i Manley, G., Popper, A.N. & Fay, R.R. (red.). Evolution of the Vertebrate Auditory System. - Springer-Verlag New York.
- Multiconsult 2024. Prøvepeling Mjøsa - Miljøovervåkning. - En rapport 10253197-01-RIM-RAP-001: 81.
- Nedelec, S.L., Campbell, J., Radford, A.N., Simpson, S.D. & Merchant, N.D. 2016. Particle Motion: The missing link in underwater acoustic ecology. - Methods in Ecology and Evolution 7: 836-842.
- Neo, Y.Y., Hubert, J., Bolle, L.J., Winter, H.V. & Slabbekoorn, H. 2018. European seabass respond more strongly to noise exposure at night and habituate over repeated trials of sound exposure. - Environmental Pollution 239: 367-374.
- Nye Veier AS 2021. Kan se hvordan fisken har det akkurat nå. Sist åpnet: 17.11.2024. <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/17910595/kan-se-hvordan-fisken-har-det-akkurat-na?publisherId=14424980>
- Popper, A.N. 1977. A scanning electron microscopic study of the sacculus and lagena in the ears of fifteen species of teleost species. - J. Morph. 153: 397-418.
- Popper, A.N. 2003. Effects of anthropogenic sound on fishes. - Fisheries 28: 24-31.
- Popper, A.N. & Clarke, L.M. 1976. The auditory system of the goldfish (*Carassius auratus*): effects of intense acoustic stimulation. - Comp. Biochem. Physiol A 53: 11-18.
- Popper, A.N. & Fay, R.R. 1993. Sound detection and processing by fish: critical review and major research questions. - Brain, Behavior and Evolution 41: 14-38.
- Popper, A.N. & Hastings, M.C. 2009. Effects of anthropogenic sources of sounds on fishes. - Journal of Fish Biology 75: 455-498.
- Popper, A.N. & Hawkins, A.D. 2018. The importance of particle motion to fishes and invertebrates. - The Journal of the Acoustical Society of America 143: 470-488.
- Popper, A.N. & Hawkins, A.D. 2019. An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. - Journal of Fish Biology 94: 692-713.
- Popper, A.N., Hawkins, A.D., Fay, R.R., Mann, D., Bartol, S., Carlson, T., Coombs, S., Ellison, W.T., Gentry, R., Halvorsen, M.B., Lokkeborg, S., Rogers, P., Southall, B.L., Zeddies, D.G. & Tavolga, W.N. 2014. Sound exposure guidelines for fishes and sea turtles. - Springer, London.
- Sand, O. & Karlsen, H.E. 2000. Detection of infrasound and linear acceleration in fishes. - Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences 355: 1295-1298.
- Sandlund, O.T., Gjelland, K.Ø., Museth, J., Bækkeli, K.A. & Lie, E.F. 2021. Fiskesamfunnet i Mjøsa; de lange linjer. - VANN 2: 117-129.
- Schreck, C.B. & Tort, L. 2016. 1 - The Concept of Stress in Fish. - s. 1-34 i Schreck, C.B., Tort, L., Farrell, A.P. & Brauner, C.J. (red.). Fish Physiology. - Academic Press.
- Sverdrup, A., Kjellsby, E., Krüger, P.G., Floysand, R., Knudsen, F.R., Enger, P.S., Serck-Hanssen, G. & Helle, K.B. 1994. Effects of experimental seismic shock on vasoactivity of arteries, integrity of the vascular endothelium and on primary stress hormones of the Atlantic salmon. - Journal of Fish Biology 45: 973-995.
- Tsouvalas, A. & Metrikine, A.V. 2016. Noise reduction by the application of an air-bubble curtain in offshore pile driving. - Journal of Sound and Vibration 371: 150-170.
- Wardle, C.S., Carter, T.J., Urquhart, G.G., Johnstone, A.D.F., Ziolkowski, A., Hampson, G. & Mackie, D. 2001. Effects of seismic air guns on marine fish. - Continental Shelf Research 21: 1005-1027.
- Würsig, B., Greene, C.R. & Jefferson, T.A. 2000. Development of an air bubble curtain to reduce underwater noise of percussive piling. - Marine Environmental Research 49: 79-93.
- Wysocki, L.E., Ladich, F. & Dittami, J. 2004. Noise, stress, and cortisol secretion in teleost fishes. - Hormones and behaviour 46: 125.
- Zhu, S.J., Ooi, A., Skvortsov, A. & Manasseh, R. 2023. Modelling underwater noise mitigation of a bubble curtain using a coupled-oscillator model. - Journal of Sound and Vibration 567: 117903.

NTNU Vitenskapsmuseet er en enhet ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU.

NTNU Vitenskapsmuseet skal utvikle og formidle kunnskap om natur og kultur, samt sikre, bevare og gjøre de vitenskapelige samlingene tilgjengelige for forskning, forvaltning og formidling.

Institutt for naturhistorie driver forskning innenfor biogeografi, biosystematikk og økologi med vekt på bevaringsbiologi. Instituttet påtar seg forsknings- og utredningsoppgaver innen miljøproblematikk for ulike offentlige myndigheter innen stat, fylker, fylkeskommuner, kommuner og fra private bedrifter. Dette kan være forskningsoppgaver innen våre fagfelt, konsekvensutredninger ved planlagte naturinngrep, for- og etterundersøkelser ved naturinngrep, fauna- og florakartlegging, biologisk overvåking og oppgaver innen biologisk mangfold.

ISBN 978-82-8322-402-3
ISSN 1894-0056

© NTNU Vitenskapsmuseet
Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

www.ntnu.no/museum