



Fakultet for Biovitenskap, Fiskeri og Økonomi

**Smitteforsøk med lakselus *Lepeophtheirus salmonis* på røye *Salvelinus alpinus* og videoovervåking av anadrome laksebestander i Ringvatnvassdraget 2021**

Lars Amundsen Kristiansen

FSK-3960, Masteroppgave i Fiskeri- og havbruksvitenskap

Mai 2022





## **Forord**

Masteroppgaven er gjennomført ved Norges fiskerihøyskole, Fakultet for biovitenskap, fiskeri og økonomi ved Universitetet i Tromsø i samarbeid med Havforskningsinstituttet i Tromsø.

Jeg ønsker å takke Thomas Bøhn, John Fredrik Strøm og Pål-Arne Bjørn ved Havforskningsinstituttet i Tromsø og Eva B Thorstad og Per-Arne Amundsen ved universitetet i Tromsø for hjelp og veiledning under mitt arbeid med masteroppgaven.

Jeg ønsker også å takke Havforskningsinstituttet i Tromsø for muligheten til å være med på et større feltarbeid i forbindelse med min masteroppgave. Det har vært en utrolig lærerik opplevelse, med blant annet flere flotte naturopplevelser i Ringvasselva.

Videre vil jeg takke mine medstudenter gjennom fem år på UIT. Det har vært fantastisk. Tiden har gitt meg uvurderlige minner og vennskap jeg tar med meg videre i livet.

Jeg ønsker også å takke mine nærmeste for hjelp og støtte gjennom mine år som student.

## Sammendrag

I en raskt voksende oppdrettsnæring langs kysten i Norge har økt produksjon og spredning av lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) blitt et økende problem for vill laksefisk (*Salmonidae*). For anadrom røye (*Salvelinus alpinus*) som vandrer til sjøen og har sin beitevandring i kystnære områder, er det en økende risiko for å bli smittet med lakselus.

Gjennom kontinuerlig videoovervåking fra 22. mai til 3. oktober 2021 ble de oppvandrende bestandene av all laksefisk i Ringvatnvassdraget kartlagt. Det ble totalt observert 821 fisk med videoovervåking, og av disse var det mulig å artsbestemme 97 %. Ved bruk av digital lengdemålingsmetode var det mulig å lengdemåle 83 % av all observert fisk i video. For å undersøke konsekvensene lakselus har på sjøvandringen til røye ble 68 fisk merket med PIT- og akustiske merker og eksperimentelt smittet med lakselus *in situ*. Røya ble deretter satt ut i sjøen og tilbakevandringen til elven ble registrert med PIT-antenne, akustiske mottakere, og videoovervåking.

Det ble ikke funnet økt dødelighet som en følge av smitte med lakselus. Det ble derimot funnet en redusert tid i sjøen for røye smittet med lakseluskoepoditter, selv ved lave konsentrasjoner. Antall dager i sjøen ble ytterligere redusert med økt konsentrasjon av lakselus. Problemer med PIT-antennen førte til et redusert antall identifiseringer i video for tilbakevandrende røye. Den reduserte identifiseringen ga begrensede lengdevekstdata i smitteforsøket. Det ble likevel vist tendenser til en redusert totalvekst i sjøen for røye smittet med lakselus som en følge av prematur tilbakevandring. Det ble ikke funnet forskjeller mellom kontroll- og smittegruppe for lengdevekst per dag i sjøen.

Sjørøye var den dominerende arten i vassdraget med 73 % av all oppvandrende fisk. Andre arter som ble observert i vassdraget var ørret (*Salmo trutta*), laks (*Salmo Salar*) og pukkellaks (*Oncorhynchus gorbuscha*). For alle artene ble oppvandringstidspunkt og størrelse registrert. Røye vandret fra sjøen og opp i vassdraget fra 28. juni til 18. juli, og de største røyene svømte opp tidligst i sesongen. Ørreten hadde oppvandring fra 30. august til 3. oktober, med liten størrelsesvariasjon gjennom perioden. Laks og pukkellaks var få i antall og vandret opp i vassdraget fra 28 juni frem til 12. september.

## Abstract

With a rapidly growing aquaculture industry along the coast off Norway, the increase and spread of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) has become a growing problem for populations of wild salmonids (*Salmonidae*). For anadromous Arctic char (*Salvelinus alpinus*) that migrates to the coastal sea to feed, grow and build up energy stores, there is an increasing risk of being infested with salmon lice.

The upstream migration of anadromous salmonids in the Ringvatn watercourse was recorded through continuous video surveillance from 22 May to 3 October 2021. A total of 821 fish were observed, of which 97% were identified to species level. By using a digital length measurement method, 83% of all observed fish were length measured. To study the impact of salmon lice on sea migration of anadromous Arctic char, 68 fish were tagged with PIT-tags and acoustic tags and experimentally infested with salmon lice *in situ*. The fish was then released into the sea and the return to the river was registered with PIT-receivers, acoustic receivers, and video surveillance.

Arctic char infested with salmon lice had no significant increase in marine mortality. However, reduced time at sea was found for Arctic char infested with salmon lice, even at low concentrations. The time at sea was increasingly reduced with increasing concentrations of salmon lice. Technical problems with the PIT receiver caused a reduced number of identifications on video for returning Arctic char, and a limited data set on marine growth for infested individuals. Nevertheless, there were tendencies that there was a reduction in total growth at sea for Arctic char infected with salmon lice as a result of premature freshwater return. No differences were found between the control and infection groups for length growth per day in the sea.

Arctic char was the dominant species in the watercourse, representing 73% of all returning anadromous salmonids. Other species observed in the watercourse were brown trout (*Salmo trutta*), Atlantic salmon (*Salmo Salar*) and pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). For all species, timing of upstream migration and body size distribution were studied. Arctic char ascended the Ringvatn watercourse from 28 June to 18 July, and the largest fish ascended early in the season. The brown trout ascended the river from 30 August to 3 October, with little size variation throughout the period. Atlantic salmon and pink salmon were few and ascended the river from 28 June to 12 September.

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Introduksjon .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Metode .....</b>	<b>6</b>
2.1	Beskrivelse av området .....	6
2.2	Oppsett i elva.....	7
2.2.1	Videokameraoppsett.....	7
2.2.2	Utvandringsfelle .....	8
2.2.3	Merking av fisk .....	9
2.3	Smitteforsøk .....	9
2.3.1	Smitteforsøk med lakselus i stadiet kopepoditt.....	10
2.3.2	Smitteforsøk med lakselus i stadiet preadult.....	11
2.4	Videoanalyse .....	12
2.4.1	Artsbestemmelse .....	13
2.4.2	Bestemmelse om fisk hadde vært i havet .....	13
2.4.3	Identifisering av tilbakevandrende fisk fra smitteforsøkene .....	14
2.4.4	Lengdemålinger.....	15
<b>3</b>	<b>Resultater .....</b>	<b>18</b>
3.1	Oppholdstid i sjø for røye fra smitteforsøk .....	18
3.2	Vekst i havet for røye fra smitteforsøk.....	19
3.3	Bestanden av anadrome laksefisk i Ringvatnvassdraget.....	20
3.4	Oppvandringstidspunkt for røye og ørret .....	21
3.5	Lengdefordeling av oppvandrende fisk .....	22
3.6	Fiskestørrelse gjennom sesongen .....	23
<b>4</b>	<b>Diskusjon.....</b>	<b>25</b>
4.1	Smitteforsøk .....	25
4.1.1	Vurdering av smolt eller veteran .....	26
4.1.2	Dødelighet .....	26
4.1.3	Tid i havet.....	27

4.1.4	Vekst i havet mot antall lus .....	27
4.1.5	Metodevurdering av smitteforsøkene .....	28
4.2	Overvåking av Ringvatnvassdraget .....	29
4.2.1	De anadrome bestandene .....	29
4.2.2	Fiskestørrelse og oppvandringstidspunkt .....	29
4.2.3	Metodevurdering videoovervåking .....	31
<b>5</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>33</b>
	<b>Kildeliste: .....</b>	<b>I</b>

## Tabelliste

Tabell 1. Datooversikt for driftsperioden av utstyr .....	7
Tabell 2. Artsbestemmelses for laksefisk.....	13
Tabell 3. Tilbakevandrende røye fra smitteforsøk med lakselus. ....	19
Tabell 4. Den observerte anadrome artssammensetningen i Ringvatnvassdraget. ....	20

## Figurliste

Figur 1 Studieområdet Ringvatnvassdraget. ....	6
Figur 2. Utvandringsfeller bruk i Ringelva. ....	8
Figur 3. Oppbevaringstank for fanget utvandrende laksefisk .....	9
Figur 4. Vanntanksystemet til smitteforsøket med lakseluskoepoditter. ....	10
Figur 5. Størrelsesfordelingen til røyene i smitteforsøkene. ....	12
Figur 6. Røye som svømmer opp elva, forbi videokamera og laserstrekene. ....	16
Figur 7. Utreknings eksempel for røye som svømmer med vinkel forbi kamera. ....	17
Figur 8. Antall lus mot antall dager i havet for røye fra de to smitteforsøkene. ....	18
Figur 9. Vekst i mm per dag mot antall dager i havet og antall lakselus. ....	20
Figur 10. Artsfordeling av anadrom laksefisk i Ringvatnvassdraget. ....	21
Figur 11. Oppvandringstidspunkt for røye og ørret fra 28. juni-03.oktober .....	22
Figur 12. Lengdefordelingen for anadrom laksefisk.....	23
Figur 13. Lengdefordelingen og oppvandringstidpunkt for anadrom laksefisk.....	24





# 1 Introduksjon

I Norge har lakseoppdrett utviklet seg fra noen få anlegg som produserte noen hundre tonn i året tidlig på 70-tallet, til en årlig produksjon på over 1,4 millioner tonn laksefisk (*Salmonidae*) i 2019, fordelt på i underkant av 10 000 oppdrettslokaliteter ([www.fiskeridir.no](http://www.fiskeridir.no)). Denne veksten har ført til en rekke miljømessige utfordringer. For vill anadrom laksefisk er særlig genetisk innblanding fra rømt oppdrettslaks og økt smitte av det parasittiske krepsdyret lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) utfordrende (Costello, 2009b; Serra-Llinares et al., 2014; Taranger et al., 2015; Forseth et al., 2017). De store ansamlingene av laks (*Salmo salar*) i oppdrettsanlegg danner et godt vekstpotensial for lakselus i form av mange verter, noe som gir et økt smittepress på vill laksefisk. Dette truer ville bestander av laksefisk enten i form av økt dødelighet (Bjørn et al., 2001; Bøhn et al., 2020) eller ved endring i den marine adferden (Birkeland & Jakobsen, 1997; Wells et al., 2007; Halttunen et al., 2017). Smittepresset på vill laksefisk er størst i de områdene med høyest biomasse av laks i åpne merder (Serra-Llinares et al., 2014; Svåsand et al., 2016; Kristoffersen et al., 2018). I de samme områdene er det også gode temperaturvilkår for at lakselus kan vokse og reproducere (Hamre et al., 2019).

For å regulere oppdrett av laksefisk i Norge er norskekysten delt inn i 13 produksjonsområder. Inndelingen er gjort ved bruk av kunnskap om smittespredning av lakselus og strømforholdene langs kysten. Nærings- og fiskeridepartementet regulerer oppdrettsproduksjonen for hvert område ved å fastslå om det tillates økning, stagnasjon eller om det kreves reduksjon i produksjonen i hvert område (Trafikklyssystemet). Vekstvilkårene for hvert produksjonsområde fremstilles ved hjelp av fargekodene i et trafikklys; grønn, gul og rød. Fargekoden for hvert produksjonsområde bestemmes av hvor stor andel laksesmolt som dør på grunn av lakselus, og hvert produksjonsområde vurderes uavhengig av hverandre. Grønt lys tilsier at det tillates vekst med opptil 6 %. Det er da antatt at 0-10 % av vill laksesmolt vil dø på grunn av lus. Gult lys setter området på stedet hvil og det er forventet at 10-30 % av smolten dør, mens rødt lys gir 6 % produksjonskutt i tilfeller der >30 %, av smolten dør. Trafikklyssystemets farger oppdateres hvert andre år. Det er også satt en lusegrense i Norge på 0,5 voksen hunnlus tillat per fisk i et oppdrettsanlegg (forskrift om lakselusbekjempelse, 2013, §8). Om våren er grensen satt til 0,2 voksen hunnlus per fisk. Hensikten med redusert lusegrense om våren er å beskytte vill laksefisk som vandrer ut i sjøen.

Laks, ørret (*Salmo trutta*) og røye (*Salvelinus alpinus*) er laksefisk med store variasjoner i habitat og utbredelse. Dette er arter med økonomisk og økologisk interesse. Forvaltning av disse artene er nedskrevet i lovverket, både gjennom naturmangfoldloven (2009) og lov om lakse- og innlandsfisk (1993). Målet for forvaltningen er å bevare naturmangfoldet og opprettholde bestandenes produktivitet. For at forvaltningstiltak skal kunne treffe best mulig er man avhengig av gode data på bestandene. Derfor har det vært viktig å samle inn kunnskap om bestandene i hver elv i Norge (Larsen et al., 1995). Dette gjøres ved hjelp av overvåkning. Overvåkning av bestander av anadrom laksefisk kan gjøres enten indirekte eller direkte (Larsen et al., 1995). I indirekte overvåkning beregnes bestander ut fra parametere som for eksempel fangststatistikk, utvalgsanalyser, drivtelling eller gytegroptelling. I direkte overvåkning telles hver fisk ved kontinuerlig overvåkning, for eksempel ved fangst i oppvandringsfelle, registrering med automatiske tellere eller kameraovervåkning. Hvilken metode som tas i bruk vil variere basert på ulike faktorer som fiskens adferd eller vassdragets utforming og vannføring. Innhenting og analysering av bestandsdata kan være både tidsmessig og økonomisk utfordrende. Det er likevel knyttet stor nytte til kontinuerlig overvåkning, og en av fordelene er muligheten til å vurdere en bestands tilstand over tid. Tidsserier gir et godt kunnskapsgrunnlag for å kunne avgjøre om en kan drive fangst eller må sette inn bevaringstiltak.

Røye har en sirkumpolar utbredelse og er den nordligste ferskvannsfisken med et tilpasset liv i kaldt klima (Klemetsen et al, 2003). Nord for 65° er deler av bestanden anadrom (Nordeng, 1983). At den er anadrom betyr at den klekkes i ferskvann, gjør næringsvandring til sjøen og gyter igjen i ferskvann (Myers, 1949). Dersom det er vannstrømhindre mellom innsjø og sjø kan en hel røyebestand være ferskvannsstadionær. I innsjøer med forbindelse til sjøen kan en del av en røyebestand være stasjonære i ferskvann, mens en annen del kan være anadrom. Hvilke fisk som blir anadrome avgjøres av individuelle faktorer i parrstadiet (Rikardsen & Elliot, 2005). Før røye vandrer til sjøen går den igjennom en smoltifisering. Smoltifisering er en endring i fysiologien, morfologien og adferden som gjør den i stand til å leve i saltvann (Hoar, 1988). Det tar mellom 2-12 år fra yngelstadiet i ferskvann (parr) til den er smoltifisert (smolt), her er det store variasjoner mellom vassdrag og bestander (Jensen et al., 2012). Etter smoltifisering kan det ta opptil fire sesonger i sjøen før røye blir kjønnsmoden, og den kan gjenta sjøvandring hver sesong. Røye bruker 1-2 måneder om sommeren på beitevandring før de overvintrer i ferskvann (Jørgensen & Johnsen, 2014). Det kan forekomme variasjoner i hvor lenge de er i sjøen fra år til år, her er det ikke vist til variasjoner mot hav- og elvetemperaturer (Berg & Berg, 1993). Røye er observert til å bruke sjøområdene innenfor 45 km fra elven den

vandrer ut ifra (Nordli, 2021) og førstegangsvandrere (smolt) er observert nærmere elvemunningen enn større veteraner (flergangsvandrende) (Atencio et al., 2021).

Ørret har en naturlig utbredelse i Europa, Nord-Afrika og vestlige Asia (Klemetsen et al., 2003). I Norge finner man den i elver, bekker og innsjøer i store deler av landet. I likhet med røye kan ørreten være stasjonær hele livet eller leve anadromt, men gytinga vil i begge tilfeller skje i ferskvann. Ørret med ulik livsstrategi kan produsere avkom sammen på grunn av liten genetisk variasjon (Jonsson & Jonsson, 2011; Klemetsen et al., 2003). Gyting foregår normalt i perioden oktober-november, men i Nord-Norge kan gytingen starte så tidlig som september (Pethon & Nyström, 2019), eggene klekker våren etter. Den anadrome ørreten, «sjøørreten», bruker alt fra 1-8 år før den er klar til å vandre ut til sjøen. Valget mellom sjø og ferskvann er adaptivt etter det beste miljøet i ulike stadier av livssyklusen (Nilsen et al., 2019). Ofte vandrer sjøørreten ut på våren og kommer tilbake til elva for overvintring, men her finnes det store variasjoner (Nilsen et al., 2019), og det er kjent at ørreten kan overvintre i sjøen (Klemetsen et al., 2003). Når ørreten er i sjøen, er den i kystnære områder.

For røye og ørret medfølger det både fordeler og ulemper ved å foreta næringsvandring til sjøen. Fordelene er tilgang på mer mat og mer plass, noe som kan gi en fordelaktig vekst og reproduksjonsevne (Nilsen et al., 2019). Ulempene er at den bruker mye energi på smoltifisering og det er en økt predasjonsfare.

Laks har utbredelse i Nord-Atlanteren. I Norge er det registrert over 400 vassdrag med laks (Hindar et al., 2011). I likhet til røye og ørret starter laks livet i ferskvann, men i motsetning til røye og ørret tilbringer laksen mesteparten av livet sitt i havet. Når fisken har vært i havet i 1-4 år er den klar for å gyte. Fra april og frem til vinteren returnerer laksen til elva den kom fra. Under gyteperioden i oktober-november lever laks på fettreservene de har spart opp fra livet i havet (Pethon & Nyström, 2019). Eggene klekkes på våren, og yngelen utvikler seg til parr. Parr kan lett gjenkjennes med sine mørke fingermerker langs siden på fisken. Etter 2-5 år vil fingermerkene forsvinne og laksen får en blank, sølvaktig farge. Når laksen vandrer til havet gjennomfører den lange næringstokt, og kan vandre 30 km i døgnet (Pethon & Nyström, 2019). Vandringene er risikable og krever mye energi.

Pukkellaks (*Oncorhynchus gorbuscha*) er en stillehavslaks med naturlig utbredelse i det nordlige Stillehavet. Arten ble satt ut i elver rundt Kolahalvøya på 60-tallet, men fikk ikke etablert seg i Norge før nye utsett rundt Kolahalvøya ble utført på slutten av 2000-tallet. Dette har ført til etablering av pukkellaks i Finnmark (Mo et al., 2018; Berntsen et al., 2020; VRL, 2021) og fangst i norske elver (Pethon & Nyström, 2019). I 2017 ble det registrert pukkellaks i

260 norske elver (Berntsen et al., 2020). Pukkellaks lever en 2-årig livssyklus hvor den dør etter gyting. Utsett fra partallsår skiller seg genetisk fra oddetallsår og det er pukkellaks fra oddetallsår som har etablert seg i norske elver i 2017 og 2019 (Berntsen et al., 2020). Pukkellaks er ansett som en fremmedart med høy risiko på fastlands-Norge (Artsdatabanken, 2018). Gjennom konvensjonen om biologisk mangfold (CBD, 1993) er det lovfestet at fremmede arter som truer økosystemer eller andre arter, skal kontrolleres eller utryddes (Mo et al., 2021). Et stort antall pukkellaks som svømmer i fjordene kan være sykdomsbærere for patogener fra oppdrettsanlegg (VRL, 2021). Som en følge av at pukkellaks dør etter gyting vil en økt mengde næringsstoffer være tilgjengelig for det lokale økosystemet, og til annen fisk, og dette kan føre til en endring i hele økosystemet (VRL, 2021).

Lakselus lever som en ektoparasitt på laksefisk i saltvann (Thorstad et al., 2015). Parasitten lever naturlig i Nord-Atlanteren og Nord-Stillehavet, men skilles i to underarter (Skern-Mauritzen et al., 2014). Lakselus har en livssyklus med åtte stadier. Mellom alle stadiene foretar den et skallskifte; to stadier av nauplius, et stadium kopepoditt, to stadier chalimus, to stadier pre-voksen og voksen (Hamre et al., 2013; Thorstad et al., 2015). I de to naupliusstadiene er lakselus planktoniske, frittsvømmende og ikke-spisende larver som klekkes fra eggstrengen til en voksen hunnlus. Utviklingen til kopepoditt stadiet kan ta 1-2 måneder (Thorstad et al., 2015) og er temperaturavhengig (Stien et al., 2005). Etter å ha utviklet seg til kopepodittstadiet er det essensielt for lakselus å finne seg en vertsfisk (Thorstad et al., 2015). Om parasitten finner en vert, fester den seg til fisken før den gjør et skallskifte til chalimusstadiene. Tidligere var det omtalt fire stadier av chalimus, men biologien til lakselus ble i 2013 undersøkt og omtalt med to stadier chalimus (Hamre et al., 2013). Under chalimus stadiene er lakselusa festet til fiskens hud med frontalfilamenter og kan ikke bevege seg rundt på fisken. Når lakselusa er pre-voksen og voksen er den bevegelig på fiskens hud (Thorstad et al., 2015) og det er mulig å se kjønnnet. Den voksne hunnlusa produserer et par med eggstrenger etter parring og eggene frigis til vannmassene etter klekking. Planktoniske larvestadier av lakselus spres med havstrømmer (Asplin et al., 2011, 2014; Johnsen et al., 2014) og kan smitte post-smolt og større voksen vill laksefisk (Jones & Beamish, 2011; Taranger et al., 2015).

Det er kjent at de fysiologiske effektene lakselus har på laksefisk kan være høye stresshormonverdier, økt problem med osmoregulering og nedsatt immunologiske egenskaper (Thorstad et al., 2015; Svåsand et al., 2016). Lakselusa lever av slim, hud og blod fra røye og annen laksefisk. Dette skaper sår på fisken som kan føre til problemer med å osmoregulere eller være inngangssår for sykdom (Tveiten et al., 2010; Thorstad et al., 2015). Røye omtalt som

voksne (5 år +) undersøkt i laboratorium har vist problemer med osmoregulering når de var smittet av lakselus (Tveiten et al. 2010). I samme forsøket ble det vist at smittet fisk hadde økt stress-respons, samt redusert vekt, redusert reproduksjonsinvestering og økt dødelighet. Et annet forsøk gjennomført på røyesmolt i laboratorium viste at smitte av lakselus ga økt dødelighet og påvirket veksten til smolt negativt (Fjelldal et al., 2019). Høy konsentrasjon av lakselus hos vill laksefisk kan føre til en tidlig tilbakevandring for å kvitte seg med lakselusa i ferskvann og for å opprettholde den osmotiske balansen i kroppen (Bjørn et al., 2001; Wells et al., 2007; Thorstad, et al., 2015). For ørret er det dokumentert en prematur tilbakevandring og økt dødelighet på grunn av lakselus (Serra-Llinares et al., 2020). Dødeligheten for vill laksefisk som følge av lakselus er godt dokumentert for laks og ørret (Hoist et al., 2003; Thorstad et al., 2015; Serra-Llinares et al., 2020; Bøhn, et al., 2020). Eksperimentelle studier i felt (*in situ*) på vill laksefisk som undersøker dødeligheten til fisk smittet med lakselus er nødvendig (Vollset et al., 2018). Dette studiet er etter min kjennskap et av de første til å undersøke påvirkning lakselus har på røye i naturen og vil bidra til økt kunnskap på dette feltet.

Denne masteroppgaven undersøker hvordan sjøvandringen til røye blir påvirket av smitte med lakselus. Data på oppholdstid i sjø samt vekst og smittebelastning benyttes til å teste følgende hypoteser;

**1 A) Utvandrende røye smittet med lakselus vil redusere tiden for opphold i sjøen.**

**1 B) Røye smittet med lakselus vil ha redusert lengdevekst i sjøen.**

Videre kartlegger oppgaven oppvandrende bestander av laksefisk i Ringvatnvassdraget i Troms og Finnmark ved bruk av videoovervåking i elven. Data om bestander, oppvandringstidspunkt og fiskestørrelse tester følgende hypoteser;

**2 A) Ringvatnvassdraget er røyedominert.**

**2 B) Stor fisk vandrer opp tidligere i sesongen enn mindre fisk innenfor hver fiskeart.**

## 2 Metode

### 2.1 Beskrivelse av området

Ringvatnvassdraget (69.8057°N, 19.2601°E) er lokalisert på sørsiden av Ringvassøya i Troms og Finnmark fylke i Norge (Figur 1). Vassdraget har et areal på 0,72 km<sup>2</sup> med et nedslagsfelt på 16 km<sup>2</sup>. Ringvannet ligger 8 meter over havet, har en maksdybde på 41 meter og en gjennomsnittsdypde på 16 meter (Kristoffersen K. , 1994). Det er en lakseførende strekning i vassdraget på 1 kilometer, av dette utgjør utløpselven som renner fra Ringvannet til Grøtsund 400 meter. Fangststatistikk fra Miljødirektoratets lakseregister viser at det er anadrome bestander av røye, ørret og laks i Ringvatnvassdraget ([www.lakseregisteret.no](http://www.lakseregisteret.no)). Med en kort elv og uten store vandringshindre er vassdraget godt egnet for anadrom vandring for røye (Kristoffersen, 1994). Laksen i vassdraget er vurdert til å ikke ha en selvreproduserende bestand. Sjøområdet rundt er vurdert til å ha liten påvirkning fra oppdrettsanlegg (<https://www.hi.no/forskning/marine-data/forskningsdata/lakseluskart/html/lakseluskart.html>). Studiet ble gjennomført i elven og sjøområdet rundt i perioden 22. mai-3. oktober 2021.



Figur 1 Kart over Troms og Finnmark og sørsiden av Ringvassøya. Punkter markerer utplassert utstyr i elven og området. Orange firkant = akustisk mottaker, lilla firkant = kameraoppsett med laser, PIT-antenne og ledegjerde, rød trekant = felleplassering i elva merket med fellenummer, rød sirkel = sted for utsett i smitteforsøk. Plassering av kulp 1 og 2 er merket på kartet. Kartet er hentet fra [norgeskart.no](http://norgeskart.no) 26.04.2022.

## 2.2 Oppsett i elva

### 2.2.1 Videokameraoppsett

Det ble plassert ut to videokamera med tilhørende laser i elven den 22. mai (Figur 1, Tabell 1). Videokameraene hadde som hensikt å filme et tverrsnitt av elven gjennom hele sesongen og ble tatt ned 3. oktober. Videokameraene ble plassert øverst i stryket fra kulp 1 hvor elven har et tverrsnitt på ca. 7 meter. Kameraene var plassert ca. 2 meter fra land, ca. 20 cm fra bunn og filmet inn mot elvebredden. Stryket hadde en naturlig innsnevring rett bak kameraplasseringen som sikret filming av hele tverrsnittet ved lav vannføring. Fra 28. juni ble det utplassert et ledegjerde fra videokamera til elvebredden på andre siden for å lede fisken forbi videokamera ved økende vannstand (Tabell 1). Det var høy vannføring i elven fra 16-30. juli. I denne perioden ble ledegjerdet ødelagt, og gjerdet ble ikke satt opp igjen før vannstanden sank.

Laseroppsettet ble aktivert fra 28. juni (Tabell 1), og besto av to parallelle, grønne laserstreker plassert i underkant av videokameraene. Laserstrekene hadde en avstand på 100 mm i sentrum av hver laserstrek.

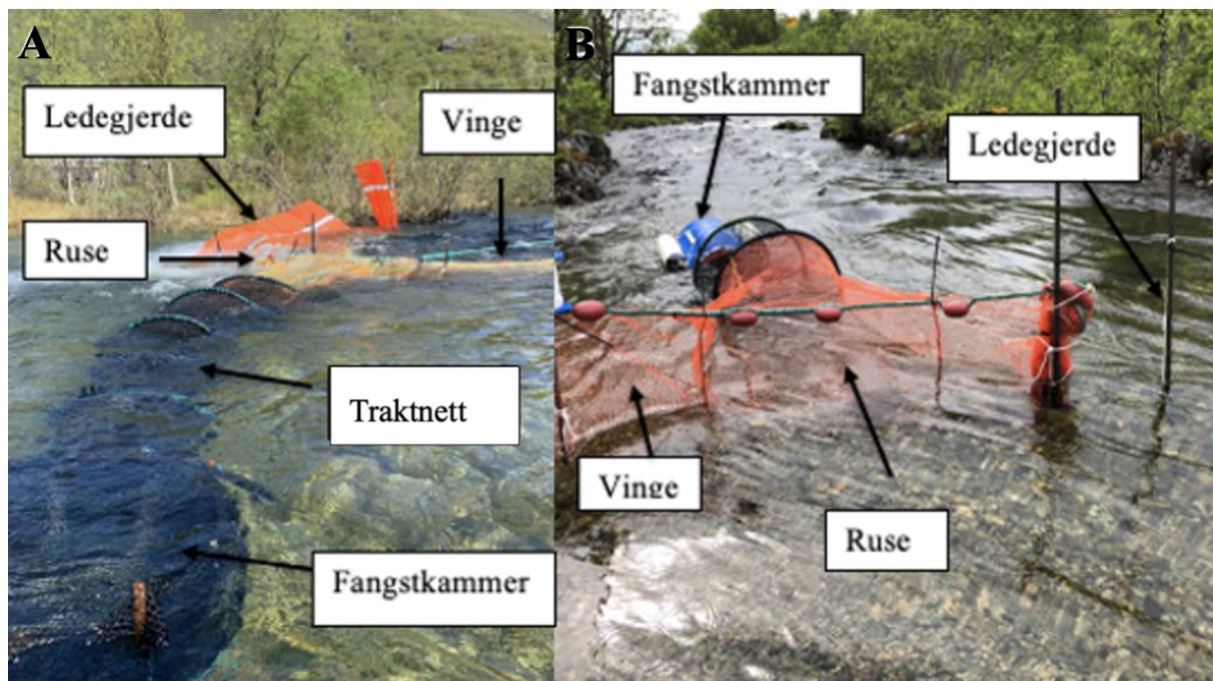
Tabell 1. Datooversikt for driftsperioden av videokamera, laser, utvandringfeller, ledegjerde, PIT-antenne og akustiske mottakere.

	<b>Dato start</b>	<b>Dato slutt</b>	<b>Antall dager uten drift</b>	<b>Periode uten drift</b>
<b>Videokamera</b>	22.05.2021	03.10.2021	1	01.06.2021-03.06.2021
<b>Laser</b>	28.06.2021	03.10.2021	0	Uten nedetid
<b>Felle 1</b>	28.05.2021	07.07.2021	3	03.07.2021-05.07.2021
<b>Felle 2</b>	21.06.2021	28.06.2021	0	Uten nedetid
<b>Ledegjerde til kamera</b>	28.06.2021	03.10.2021	15	16.07.2021-30.07.2021
<b>PIT-antenne</b>	28.06.2021	16.07.2021	x	Ukjent
<b>Akustisk mottakere</b>	16.06.2021	03.10.2021	0	Uten nedetid



### 2.2.2 Utvandringsfelle

Utvandringsfelle 1 ble satt opp 10 meter nedenfor videokameraene, rett før kulp 2 (Figur 1). Denne hadde som hensikt å fange utvandrende laksefisk på vei til sjøen. Utvandringsfellen besto av et ledegjerde, en ruse med vinger for å sperre av elvas tverrsnitt og et sylinderformet traktnett med et fangstkammer i enden (Figur 2 A). Fangstkammeret var sylinderformet med diameter 590 cm, høyde 975 cm og lukket med et nett i toppen. Utvandringsfelle 1 var aktiv 28. mai-7. juli (Tabell 1). For å øke sjansene for fangst av utvandrende fisk ble det i tillegg satt opp en utvandringsfelle (felle 2) i stryket rett nedenfor kulp nr 2 (Figur 1). Denne fellen besto av et ledegjerde for å sperre av elvens bredde, en ruse med vinger og traktnett ned mot et fangstkammer (Figur 2 B). Fangstkammeret hadde et volum på 220 liter. Felle 2 var aktiv fra 21.-28. juni (Tabell 1). Begge fellene ble røktet daglig i driftsperioden og etter fangst ble fisken flyttet til en oppbevaringstank i kulp 2 med et volum på 579 liter (Figur 3). Fra 28. mai-7. juli ble det totalt fanget 165 utvandrende fisk. Av disse var 124 røye, 27 ørret og 14 laks.



Figur 2. Utvandringsfelle 1 (A) og 2 (B) er avbildet og viser hvordan fellene sto i elven, markert med ledegjerde, vinge, ruse, traktnett, og fangstkammer.

### 2.2.3 Merking av fisk

All fisk som ble fanget i elven ble merket. Merkingen av fisk ble gjort etter følgende metode: fisk ble bedøvet med Benzoak® Vet 200 mg/ml med en dosering på 2 ml per 10 liter vann. Tiden før bedøvelsen virket varierte fra 3-6 minutter. Under bedøvelse ble det operert inn et PIT-merke (passiv integrert transponder) og for fisk i smitteforsøk ble det i tillegg operert inn et akustisk merke i bukhulen av sertifisert personell (se beskrivelse av 2.3 smitteforsøk). Under bedøvelse ble fisken også veid og målt (gaffellengde). Prosedyren tok 2-3 minutter før fisken ble lagt til oppvåking. Fisk merket med PIT-merker ble satt ut i elva etter oppvåking, mens fisk merket med akustiske merker ble satt ut i sjøen.



Figur 3. Oppbevaringstanken som ble benyttet til oppbevaring av laksefisk fanget i elven.

All laksefisk som ble fanget på vei til sjøen ble PIT-merket. PIT-merking brukes til individmerking av fisk. Merket består av en magnet som opereres inn i buken på fisken og ved passering av et magnetfelt (PIT-antenne) vil merket aktiveres og sende ut et signal (Whitfield & Kimberly, 2004). Det ble satt opp en PIT-antenne rett i forkant av videokameraene. Denne detekterte individmerket fisk samtidig som den ble filmet. Antenna var kun aktiv i korte perioder, og etter høy vannføring fra 16. juli ble det ikke registrert aktivitet på PIT-antenna (Tabell 1).

Det var kun røye som var en del av smitteforsøkene og ble merket med akustisk merke. Et akustisk merke sender ut lydsignaler med et visst intervall, her 30-90 sekunder. Disse lydsignalene tas opp av utplasserte lyttebøyer ved passering. I dette forsøket ble akustisk mottaker (Vemco VR2W og VR2Tx) utplassert i kulp 2 og i Ringvannet (Figur 1). Disse registrerte tilbakevendt fisk merket med akustisk merke. Akustisk mottaker var aktiv fra 16. juni-3.oktober (Tabell 1).

## 2.3 Smitteforsøk

Forsøket ble gjennomført i henhold til norske dyrevelferdslover og forskrift om bruk av dyr i forsøk (forskrift om bruk av dyr i forsøk, 2015). Håndteringen og merkingen av fisk var godkjent av Mattilsynet (FOTS ID 23011).

Lakselus benyttet under forsøket ble produsert etter prosedyre av Hamre et al., (2009) ved Havforskningsinstituttet i Bergen. Lakselusa ble sendt med fly fra Bergen til Tromsø og fraktet direkte ut til elva samme dag som smitteforsøket ble gjennomført.

### 2.3.1 Smitteforsøk med lakselus i stadiet kopepoditt

Smitteforsøk med lakselus i stadiet kopepoditt ble gjennomført den 29. juni med totalt 50 røyer før de ble merket med sendere. Fisken som ble benyttet var fanget de siste to dagene før lusepåsetting med en gjennomsnittlig gaffellengde på 264 mm (st. avvik 22 mm) (Figur 5) og en gjennomsnittlig vekt på 154 g (st. avvik 38 g). Røyene ble tilfeldig fordelt i tre tanker (ca. 300 L) merket med «høy», «lav» og «kontroll» (Figur 4). Det var totalt 20 røyer i «høy», 20 i «lav» og 10 i «kontroll». Tankene inneholdt sjøvann pumpet fra havet med en temperatur på 8,3°C og en salinitet på 32,4 ‰. Fisken ble akklimatisert i tankene 1 time før vannstanden ble senket til 10 cm og vannsirkulasjonen ble stoppet. Under den lave vannstanden ble «kontroll» tanken ikke tilsatt med lus,



Figur 4. Vanntanksystemet som ble benyttet under smitteforsøket med kopepoditter.

«lav» tanken tilsatt med 4000 og «høy» tanken tilsatt med 12000 lakselus kopepoditter. Etter at fisken hadde vært eksponert for lus i 1 time, ble tankene fylt opp med sjøvann som ble sirkulert i 15 minutter. Utbyttingen av sjøvann ble gjennomført hver andre time i ett døgn og inntaksvannet ble kontrollert for salinitet, oksygen og temperatur. Heretter blir fisk fra «kontroll», omtalt som kontrollgruppe og fisk fra «høy» og «lav» omtalt som smittegruppe.

Transport, merking og utslipp av fisk fra smitteforsøket ble gjennomført 30. juni. Røyene i forsøket ble transportert til et utslippssted i sjøen ca. 5 km fra elven (Figur 1) for å unngå at lakselusa ble påvirket av ferskvann. Transporten ble gjennomført med bil og en henger med fraktetank utstyrt med kontinuerlig oksygentilførsel. Hver gruppe ble fraktet separert fra hverandre for å holde kontrollfisken uten lus. Direkte fra transporttanken ble fisken merket (se 2.2.3 merking av fisk). Under oppvåkningen ble antall kopepoditter som hadde festet seg på hver fisk talt. Av 16000 lakselus festet 975 seg til fisken, dette ga en smitteeffektivitet på 6,1 %. Den smittede gruppen ble infisert med 4-57 kopepoditter (gjennomsnitt  $\pm$  st. avvik =  $24 \pm$

17). Dette tilsvarte en størrelsesavhengig infestasjon på  $0,02 - 1,17 \text{ lus g}^{-1} \text{ fisk}$  (gjennomsnitt  $\pm$  st. avvik =  $0,19 \pm 0,20 \text{ lus g}^{-1} \text{ fisk}$ ).

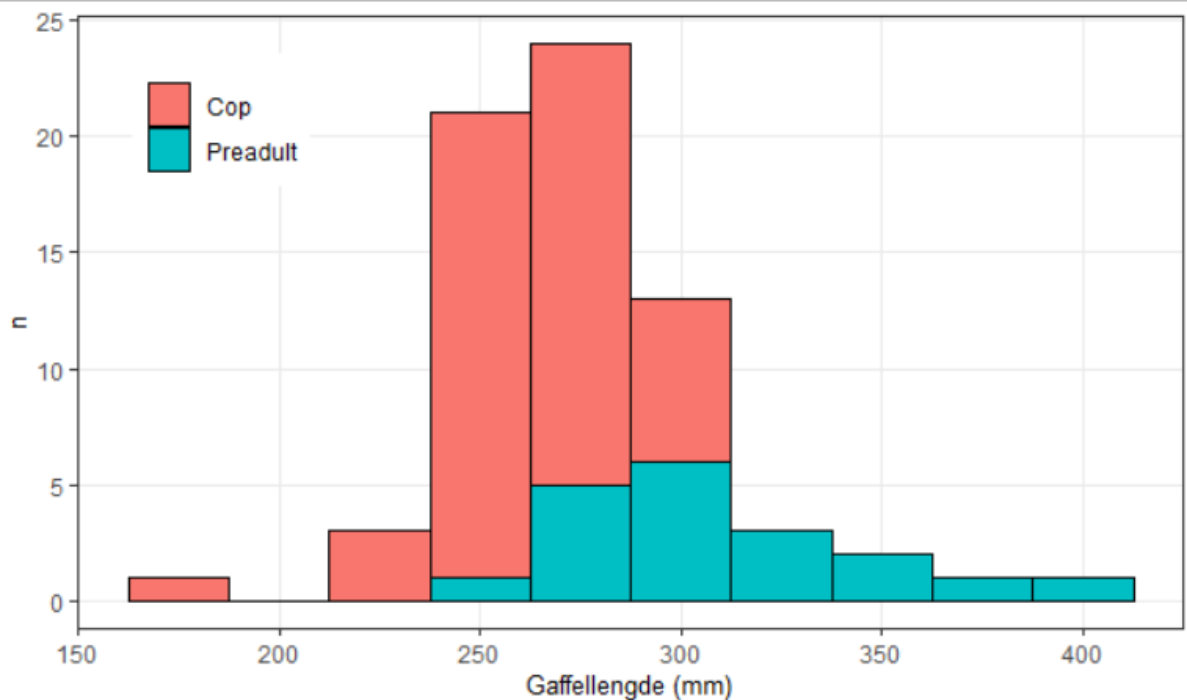
Etter oppvåkning ble fisken satt ut i sjøen. Hele prosessen tok ca. 10 minutter per fisk. Fisk fra kontrollgruppen ble utsatt for den samme behandlingen, inkludert telleprosedyren for å ha likhet mellom gruppene. For å ha så liten behandling som mulig ble det ikke foretatt noen undersøkelse om de var smolt eller veteran (flergangsvandrende) ved skjellprøver. Alle prosesser der fisken ble fraktet og håndtert var tilpasset slik at fisken skulle utsettes for så lite og kortvarig stress som mulig.

### **2.3.2 Smitteforsøk med lakselus i stadiet preadult**

Smitteforsøk med lakselus i stadiet preadult ble gjennomført den 15. og 22. juni med henholdsvis 13 fisk og 5 fisk. Disse fiskene var fanget i elva innen fire dager før smitteforsøket. Behandlingen av fisken var lik som for de i kopepodittforsøket bortsett fra hvordan de ble smittet.

Smitteforsøket ble gjennomført ved at preadult lakselus ble plukket levende og lagt på rygg på et papirark. Papirarket ble lagt på fisken i noen sekunder så lusa fikk festet seg. Det ble bestemt på forhånd at det totalt skulle være 5 fisk i kontrollgruppen (0 lus) og 13 fisk med lus i forskjellig antall. For å bestemme antall lus hver fisk skulle smittes med ble det laget en liste med ulike antall lus for å få en variasjon i smitekonsentrasjoner fra 0-0,3 lus  $\text{g}^{-1} \text{ fisk}$  med antagelse om at fisken hadde en gjennomsnittsvekt på 300 g. For å ikke sortere hvilken fisk som skulle være i kontroll- eller smittegruppen ble listen randomisert. Siden fisken ble behandlet én om gangen var det mulig å velge fisk før antall lus fra listen var kjent. Dette ble gjort for å unngå bias, ved ikke å sortere fisken ut ifra antall lus den skulle smittes med.

Under oppvåkning ble det talt hvor mange lus som hadde festet seg på fisken og hvor mange lus som hadde falt av i oppvåkingskaret. Deretter ble fisken sluppet ut i sjøen. Prosedyren ble gjennomført av sertifisert personell. Gruppen uten lus ble utsatt for samme prosedyre for å ha likhet mellom gruppene. Røye i preadult smitteforsøk hadde en gjennomsnittlig gaffellengde og vekt på henholdsvis 309,1 mm (st. avvik 38,8) og 258,4 g (st. avvik 98,2) (Figur 5). Røyene var smittet med 0,02-0,13 lus  $\text{g}^{-1} \text{ fisk}$ , (gjennomsnitt  $\pm$  =  $0,07 \pm 0,04 \text{ lus g}^{-1} \text{ fisk}$ ).



Figur 5. Størrelsesfordelingen til røyene som var med i smitteforsøkene, n= antall fisk. Røye (n=50) som var med i smitteforsøket med kopepoditter (cop), markert med rosa. Røye (n=18) som var med i smitteforsøket med preadult, markert med turkis.

## 2.4 Videoanalyse

De to videokameraene i elva filmet kontinuerlig fra 22. mai-3. oktober med avbrudd ved harddiskbytte og strømbrudd. Det ble registrert strømbrudd i video fra 1. juni klokken 21:58-00:01 3. juni (Tabell 1). I tillegg manglet noen minutter video ved harddiskbytte gjort 29. juni og 18. august.

Som en følge av sesongvariasjon i dagslys ble daglengden kortere gjennom studieperioden, noe som påvirket muligheten til å observere fisk. Fra 20. august var det mørkt i video fra ca. klokken 21:00- 03:00 og 3. september var det mørkt i video fra ca.19:00-05:45. Videokameraet filmet med en oppløsning på 1280 x1024 og ble lagret på en videoopptaker (Novus NHDR-5104A HD) for senere analyse. Det var totalt 12 TB lagringsplass fordelt på 3 harddisker.

All video ble analysert ved å se på videoene kontinuerlig fra start til slutt i 1-16 ganger sanntid. Alle observasjoner av fisk ble lagret som en kort videosnutt og avbildet. Hver enkeltfisk som passerte kamera ble registrert med art, dato, klokkeslett, retning forbi kamera og et unikt ID-nummer.

### 2.4.1 Artsbestemmelse

Bestemmelse av art i videoanalysene ble gjort ved å se på bilde og video av all enkeltfisk. I tvilstilfeller ble bestemmelsesnøkler fra Aschehougs store fiskebok brukt (Pethon & Nyström, 2019) (Tabell 2).

Tabell 2. Artsbestemmelse laget utfra Aschehougs store fiskebok (Pethon & Nyström, 2019) for røye, ørret, laks og pukkellaks.

<b>Laksefamilien</b> <i>(Salmonidae)</i>	<b>Farge</b>	<b>Gattfinne</b>	<b>Ryggfinne</b>	<b>Typisk trekk</b>
<b>Røye</b>	Ryggen mørk med hvite flekker	Ingen svart stripe på gattfinnen	Ryggfinne uten mørk marmorering	
<b>Ørret</b>	Mange svarte flekker på rygg og under sidelinjen	Første stråle i gattfinnen når forbi de bakre ståler	Mange svarte flekker på ryggfinne	Kort tykk halefinnerot, Nesten rett halefinne
<b>Laks</b>	Ingen eller få svarte flekker under sidelinjen	Første stråle i gattfinnen når ikke forbi de bakre stråler	Ingen eller få svarte flekker på ryggfinnen	Lang slank halefinnerot, Svak kløft i halefinnen
<b>Pukkellaks</b>	Mange svarte små flekker på øvre del av rygg	Gattfinnen har flere stråler en laks	Mange små svarte prikker	Mange små flekker på halefinnen

### 2.4.2 Bestemmelse om fisk hadde vært i havet

De anadrome trekkene for hver enkelt art ble brukt som en indikasjon på om fisken hadde vært i havet inneværende sesong. Den sølvblanke fargen er et generelt trekk for laksefisk, og sammen med typiske trekk for røye og ørret ble det tatt en vurdering om fisken hadde vært i sjøen eller ikke. Heretter vil ørret som har vært i sjøen omtales som «sjøørret», mens de som

ble antatt å kun ha vært i ferskvann omtales som «stasjonærørret». Stasjonærørre har som regel en mørkere rygg og side enn sjørøyene som har fått en sølvblank farge. Stasjonærørret har vanligvis brunsvarte flekker og sjørørreten har en blank farge som er tilpasset et liv i havet (Pethon & Nyström, 2019). Her er det viktig å merke seg at ørret som har vandret i sjøen kan ligne lyse former av ørret som har vært i ferskvann hele livet.

Videoanalyse av all laksefisk som svømte forbi kameraet fra 22. mai-3. september dannet grunnlaget for resultatene. Laks som kunne identifiseres som samme individ ble kun registrert én gang, selv om den passerte videokamera flere ganger. Identifiseringen ble gjort ved å se på form, skader og flekker langs siden og på gjellene. Dette lot seg ikke gjennomføre for de andre artene. Støing av laks ble observert, dette er laks som har overvintret i elv etter gyting. Støingene har slitt ut fettlagene, er avmagret og er på tur ut i sjøen igjen. Fiskepasseringer fra 22. mai-27. juni ble vurdert til å ikke være en del av den oppvandrende bestanden med bakgrunn i avsperringen av elven med to feller (Tabell 1). Disse passeringene er likevel tatt med i den helhetlige vurderingen av bestanden. Det var totalt 821 fiskepasseringer i elva i perioden 22. mai-3. oktober. Det ble registrert fisk som svømte forbi kamera i begge retninger, det var derfor nødvendig å ta hensyn til dette når den oppvandrende bestanden ble beregnet. I denne oppgaven defineres oppvandrende bestand av laksefisk som oppsvømmende fisk minus nedsvømmende fisk i perioden 28.juni-3.oktober. Det var i all hovedsak ørret som svømte både opp og ned. Her er det viktig å merke seg at de nedsvømmende fiskepasseringene av røye, laks og pukkellaks er vurdert til å ikke være utvandrende fisk.

### **2.4.3 Identifisering av tilbakevandrende fisk fra smitteforsøkene**

For å identifisere enkeltrøyer fra smitteforsøket på video var det tiltenk å benytte PIT-registreringer samtidig som røyene ble filmet. Av totalt 50 fisk i kopepodittsmitteforsøket ble kun to identifisert tilbakevandrende med PIT. Det ble derfor benyttet akustisk mottaker for å identifisere enkeltfisk i video. Ved å bruke det siste signalet i lyttebøye fra kulp 2 (under videokameraene) og første signal i Ringvannet (over videokameraene) (Figur 1) var det mulig å bestemme tidsperioden enkeltfisk fra smitteforsøket hadde passert videokameraene.

De akustiske mottakerne hadde registrert 37 oppvandrende røyer fra smitteforsøket og dermed 37 tidsperioder fisken kunne passert kamera. Etter ny gjennomgang av videomateriale ble det totalt observert 69 oppvandrende røyer i de aktuelle tidsrommene. Det var derfor nødvendig å skille fisk fra smitteforsøket fra annen røye som svømte opp i samme tidsperiode. For å identifisere enkeltrøyer i video ble en individuell vurdering av hver enkelt tidsperiode foretatt.

Det ble det konkludert med at tidsperioder som strakk seg over flere døgn, og tidsperioder med flere enn 5 røyer ikke var mulig å identifisere enkeltfisk fra smitteforsøket. For å identifisere tidsperioder der det var 5 eller færre røypasseringer ble alle fiskene lengdemålt (se kapittel 2.3.4 lengdemålinger). Med dette kunne fisk som var mindre enn startlengden og usannsynlig mye lengre fjernes. Totalt ble det identifisert 14 røyer fra smitteforsøket på video.

I smitteforsøket med preadult lakselus var det 5 av 18 røyer som ble registrert tilbakevandrende i elven. Det ble ikke observert røye fra preadult smitteforsøk med akustisk mottaker, merkene som var benyttet ble ansett som defekt. All tilbakevandrende røye i preadult smitteforsøk er derfor registrert ved PIT-antenna til tross for at denne kun hadde drift i enkeltperioder (Tabell 1). På bakgrunn av defekte akustiske merker og usikker drift av PIT-antenna er det stor usikkerhet rundt antall tilbakevandrende røyer fra preadult smitteforsøk. Identifiseringene av enkeltfisk er derimot nøyaktige på grunn av PIT-antennas plassering i videobilde med synkronisert klokkeslett.

#### **2.4.4 Lengdemålinger**

Alle fiskepasseringer registrert på video ble gjennomgått med fiskens unike ID-nummer for å bestemme art og måle lengde. Fisk ble lengdemålt ved å analysere bilder av fisken der den var truffet av lasere med kjent avstand mellom to linjer (100 mm) (Figur 6). Ved å kalibrere bildebehandlingsprogrammet ImageJ® (Schneider et al., 2012) mot den kjente avstanden på bildet (Figur 6) ble fiskens hele lengde beregnet. Metoden er basert på at laserstrekene har 100 mm mellom seg uavhengig av avstand til fisken. Det er nødvendig at kalibreringen i ImageJ blir gjort på hvert enkelt bilde av fisk. Programmet teller antall piksler mellom valgte punkter. Etter å ha kalibrert antall piksler per 100 mm kan man beregne lengden fra snute til gaffel på fisken utfra antall piksler langs gaffellengden. Dersom laserstrekene ikke ble observert på fisken, var ikke lengdemåling mulig. For den anadrome bestanden på totalt 558 observasjoner var det mulig å gjennomføre måling på 489 fisk (88 %). For røye i smitteforsøkene var det mulig å lengdemåle totalt 12 fisk hvorav 9 fra kopepodittforsøket og 3 fra smitteforsøk med preadult lus.





Figur 6. Røye som svømmer oppover i elva forbi videokamera og laserstrekene. Bildet viser hvordan de to parallelle laserstreker treffer fisken, samt dato og klokkeslett for denne fisken med ID A 72.

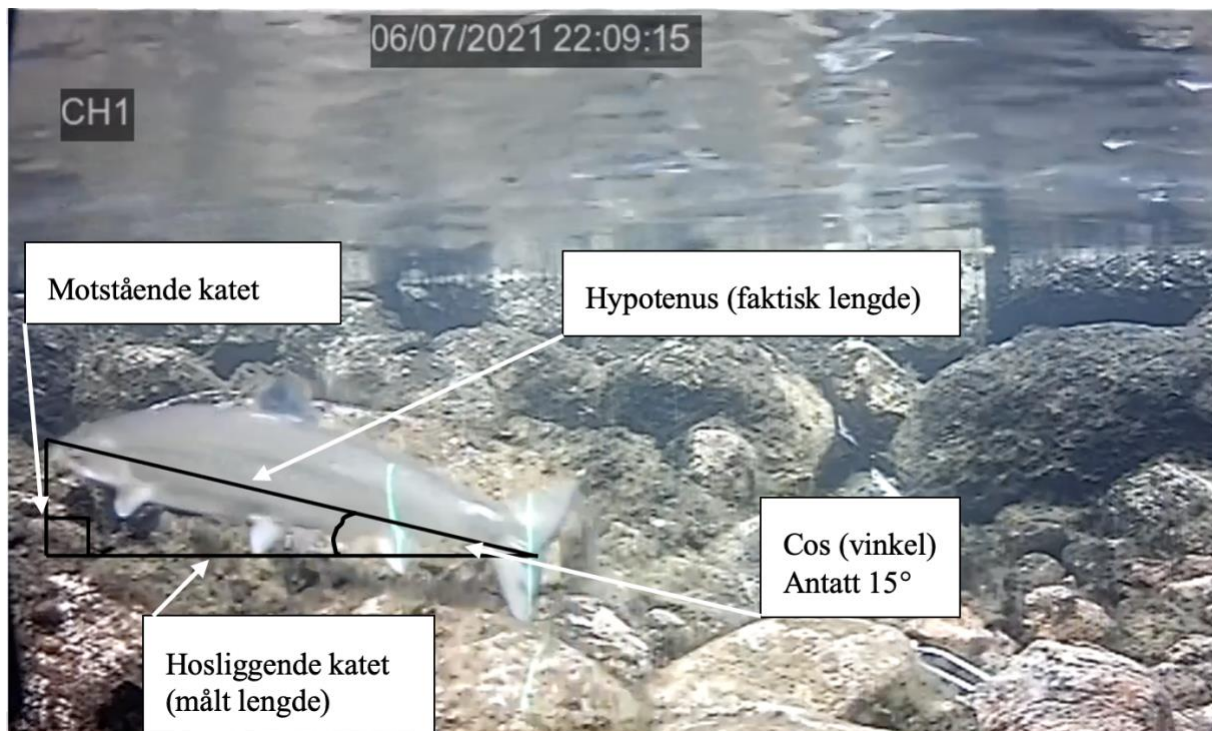
Lengdemålingene tar ikke hensyn til vinkelen fisken har i bildet. Hvis fisken ikke har en vinkelrett posisjon i bildet, vil vinkelavviket påvirke lengden som er målt til å være kortere enn den faktiske lengden. Ved hjelp av trigonometri kan lengdemålingene korrigeres:

$$\cos(\text{vinkel}) = \frac{\text{Hosliggende katet}}{\text{Hypotenus}}$$

Cosinus til en vinkel defineres som forholdet mellom den hosliggende kateten og hypotenusen i en rettvinklet trekant. Hvis den målte lengden til fisken (hosliggende katet), samt fiskens vinkel er kjent, er det mulig å regne ut den faktiske lengden (hypotenus). Eks. hosliggende katet = fisk målt til 361 mm, antatt vinkel  $15^\circ = \cos(\alpha) = 0,9659$  (Figur 7).

$$\text{Faktisk lengde} = \text{hypotenus} = \frac{\text{hosliggende katet}}{\cos(\text{vinkel})} = \frac{361 \text{ mm}}{0,9659} = 373,7 \text{ mm}.$$

Dersom vinkelavviket er  $15^\circ$  vil fisken i bildet (Figur 7) være målt 12,7 mm kortere enn den faktiske lengden. Siden det ikke var mulig å bestemme vinkelen nøyaktig ble ikke lengdemålingene korrigert mot fiskens vinkel. De fleste fiskene (92 % av totalt antall fisk) svømte imidlertid tilnærmet vinkelrett forbi videokameraet.



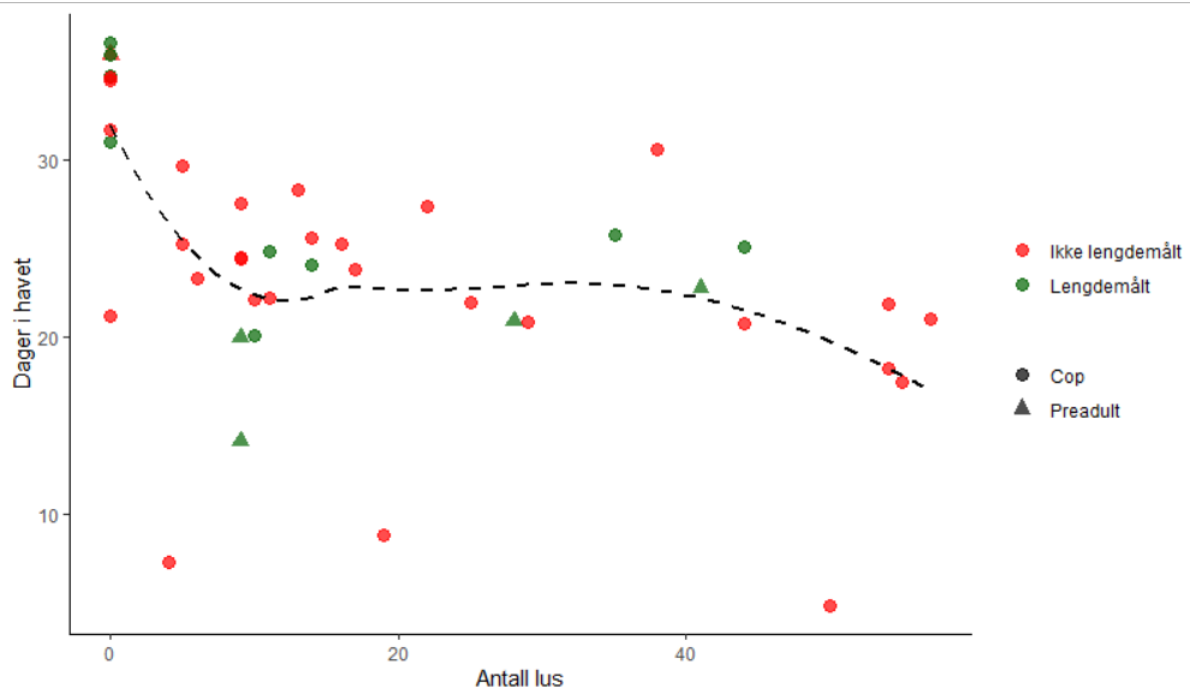
Figur 7. Røye som svømmer oppover elven, bildet er avbildet fra video. En illustrert trekant til utregning av den faktiske lengden til fisken når antatt vinkelavvik =  $15^\circ$ , hosliggende katet (målt lengde, 361 mm) er kjent.

### 3 Resultater

#### 3.1 Oppholdstid i sjø for røye fra smitteforsøk

Fra smitteforsøket med kopepodittinfisering kom 37 av 50 røye tilbake til Ringvatnet etter 5-38 dager i sjøen. Prosentandelen røye som kom tilbake var 80 % for kontrollgruppen (8 av 10), 80 % for lav smittegruppe (16 av 20), og 65 % for høy smittegruppe (14 av 20). Det var ingen signifikant forskjell i tilbakevandringen mellom gruppene (Fishers eksakte test, p-verdi = 0,68). Fisk smittet med lakselus kopepoditter oppholdt seg kortere i havet sammenlignet med kontrollgruppen (Figur 8). For fisk som var smittet var tiden i havet redusert med et økt antall lus.

Fra smitteforsøk med preadult lus var det 5 av 18 røyer som ble observert tilbakevandrende. De var mellom 15-22 dager i havet og hadde 0-40 lus ved forsøksstart (Figur 8). Det ble registrert tilbakevandring for 1 fisk fra kontrollgruppen.



Figur 8. Antall lus mot antall dager i havet for røye fra de to smitteforsøkene. Røye infestert med kopepoditter er illustrert med sirkler, mens røye infestert med preadult lakselus er markert med trekantar. Grønne punkter viser til fisk som ble lengdemålt, mens røde punkter viser til fisk hvor lengdemåling ikke ble gjort. Stiplet linje henviser til LOESS-regresjon.

### 3.2 Vekst i havet for røye fra smitteforsøk

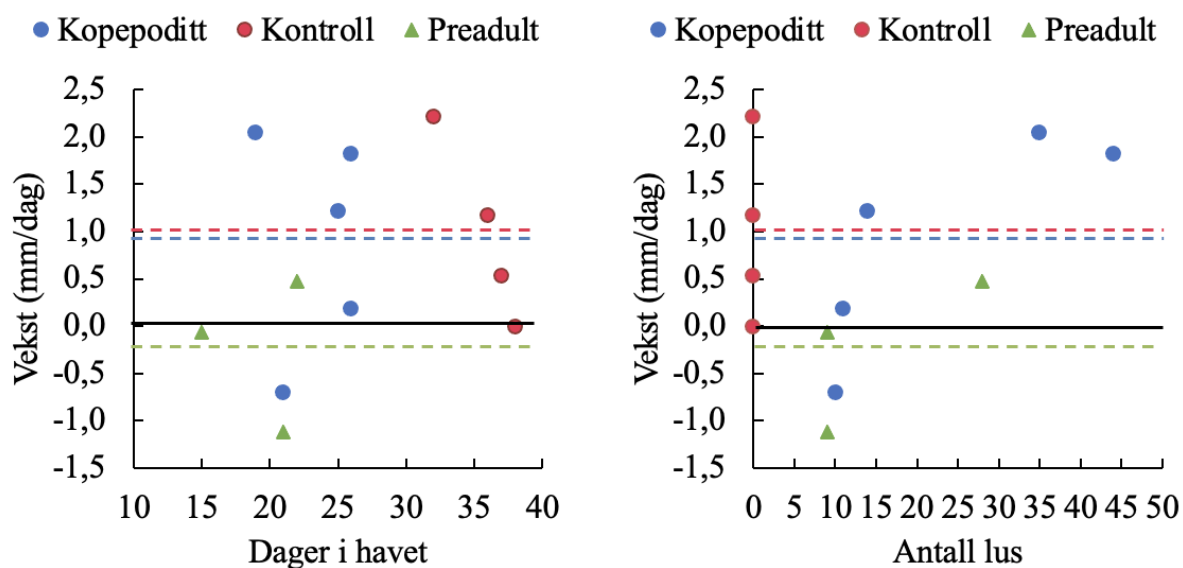
Den totale målte lengdeveksten til røyene i kontrollgruppen hadde en variasjon fra -0,3–70,7 mm (gjennomsnitt  $\pm$  st. avvik =  $33 \pm 30,5$ ). De var 32-39 dager i havet og den målte lengdeveksten per dag hadde en variasjon fra 0-2,2 mm (gjennomsnitt  $\pm$  st. avvik =  $1 \pm 0,95$ ) (Figur 9). Kontrollgruppen besto av 4 fisk (Tabell 3).

Den totale målte lengdeveksten til røye i smittegruppe kopepoditt hadde en variasjon fra -14,9-47,3 mm (gjennomsnitt  $\pm$  st. avvik =  $21,2 \pm 25,7$ ). De var smittet med 10-44 lus og var 19-26 dager i havet. Målt lengdeveksten per dag varierte fra -0,7-2,04 mm (gjennomsnitt  $\pm$  st. avvik =  $0,9 \pm 1,16$ ) (Figur 9). Gruppen besto av 5 fisk (Tabell 3).

For røyene i det preadulte smitteforsøket varierte den totale målte lengdeveksten fra -31-11 mm (gjennomsnitt  $\pm$  st. avvik =  $-7,0 \pm 21,6$ ). De var 15-22 dager i havet og hadde 9-28 preadulte lakselus. Den gjennomsnittlige målte lengdeveksten per dag var -0,2 mm (st. avvik 0,8). Gruppen besto av 3 fisk (Tabell 3, Figur 9).

Tabell 3. Antall lakselus, antall dager i havet, vekst i mm per dag og total vekst i mm for røye i smitteforsøk med lakselus.

	Lengdemålt tilbakevendt fra smitteforsøk kopepoditt Kontrollgruppe				Lengdemålt tilbakevendt fra smitteforsøk kopepoditt Smittegruppe					Lengdemålt tilbakevendt fra smitteforsøk Preadult		
<b>nLus</b>	0	0	0	0	10	11	14	35	44	9	9	28
<b>Dager i havet</b>	32	36	37	39	21	26	25	19	26	15	21	22
<b>Vekst mm/dag</b>	2,21	1,17	0,53	-0,01	-0,71	0,18	1,22	2,04	1,82	-0,07	-1,12	0,48
<b>Total vekst i mm</b>	70,7	42	19,6	-0,3	-14,9	4,7	30,4	38,7	47,3	-1	-31	11



Figur 9. A) Vekst i mm per dag mot antall dager i havet. B) Vekst i mm per dag i mm mot antall lus. De stiplede linjene viser gjennomsnittlig vekst per dag for de ulike gruppene og den svarte linjen viser nullverdien.

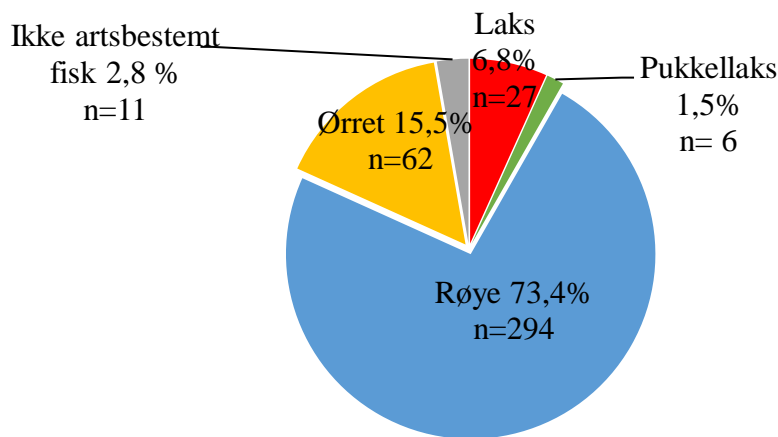
### 3.3 Bestanden av anadrome laksefisk i Ringvatnvassdraget

I hele videoperioden ble det observert totalt 821 laksefisk. Av disse var 390 ørret, 363 røye, 33 laks, 10 pukkellaks og 25 ikke artsbestemt fisk (Tabell 4).

Tabell 4. Den observerte anadrome artssammensetningen av røye, ørret, laks, pukkellaks og ikke artsbestemt fisk. Tabellen viser oversikt over all opp- og nedsvømmende fisk i hele videoperioden, og i oppvandringsperioden 28. juni - 3. oktober.

Art	Fisk observert i video, hele perioden 22. mai-3. oktober				Oppvandrende fisk 28. juni-3. oktober				
	Opp	Ned	Total	Total %	Opp	Ned	Total	(opp- ned)	Opp- ned %
Røye	355	8	363	44 %	301	7	308	<b>294</b>	<b>73,4 %</b>
Ørret	233	157	390	48 %	218	156	374	<b>62</b>	<b>15,5 %</b>
Laks	30	3	33	4 %	30	3	33	<b>27</b>	<b>6,8 %</b>
Pukkellaks	8	2	10	1 %	8	2	10	<b>6</b>	<b>1,5 %</b>
Ikke artsbestemt fisk	18	7	25	3 %	18	7	25	<b>11</b>	<b>2,8 %</b>
Total	644	177	821	100 %	575	175	750	<b>400</b>	<b>100 %</b>

Oppvandrende laksefisk ble definert som oppsvømmende fisk minus all nedsvømmende fisk i perioden 28. juni- 3.oktober (se 2.4.2 bestemmelse om fisk har vært i havet). Den oppvandrende bestanden besto av 400 fisk (Tabell 4). Disse var fordelt på 294 røye, 62 ørret, 27 laks, 6 pukkellaks og 11 ikke artsbestemt fisk (Figur 10).

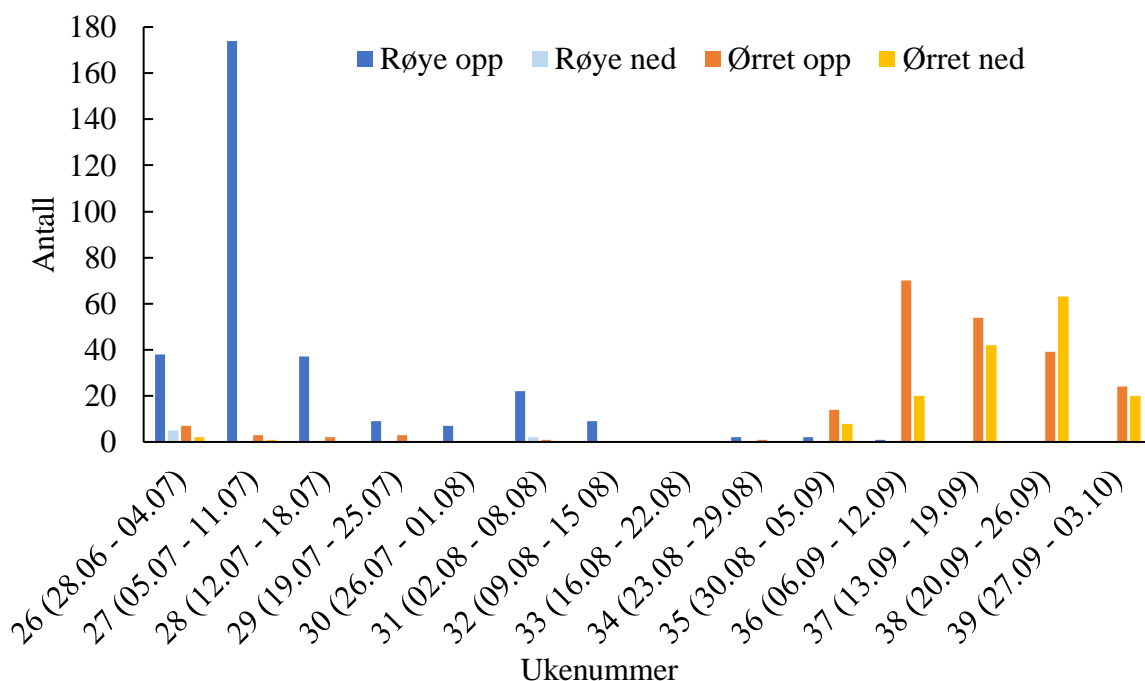


Figur 10. Fordeling og antall av oppvandrende røye, ørret, laks, pukkellaks og ikke artsbestemt fisk.

### 3.4 Oppvandringstidspunkt for røye og ørret

Det ble totalt observert 682 opp- og nedvandrende røye og ørret på video i perioden 28.juni-03. oktober. For røye ble det registrert 301 fisk opp og 7 ned. Oppvandringstid for røye var fra 28.juni-12.september, med flest oppvandrende fisk (n=58) i perioden 5-11. juli (Figur 11).

For ørret ble det registrert 218 fisk opp og 156 ned. Ørret hadde oppvandringsperiode fra 28.juni-3.oktober. Det var flest oppvandrende ørret (93 %) fra 20. august-3. oktober (Figur 11).



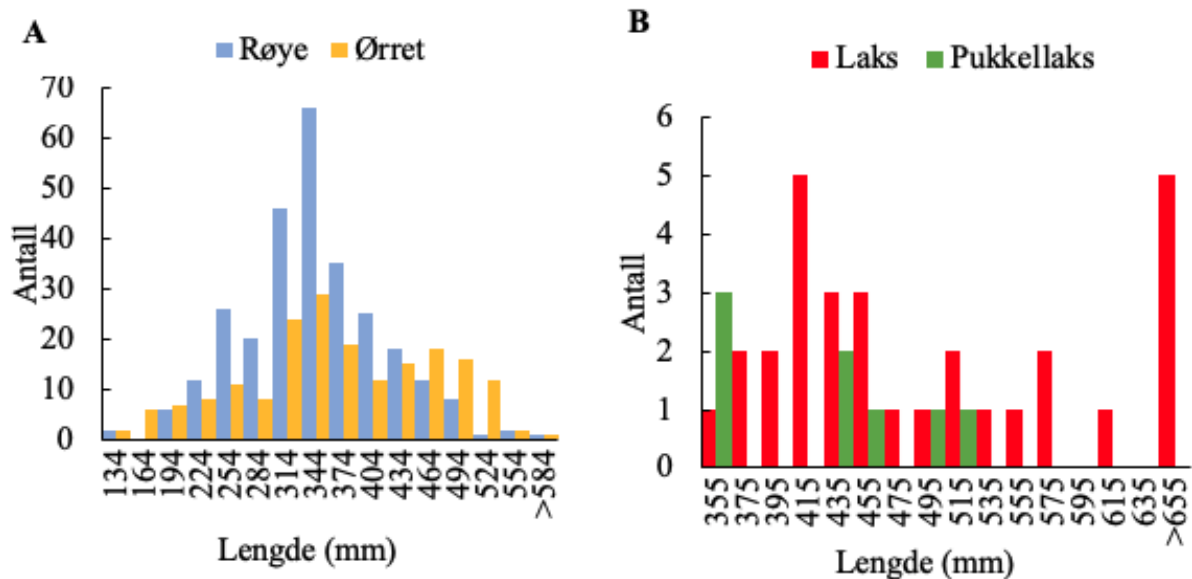
Figur 11. Oppvandringstidspunkt for røye og ørret fra 28. juni-03.oktober. Figuren er basert på oppvandrende røye og ørret og de ørret og røye som svømmer ned forbi kamera i samme tidsperiode.

### 3.5 Lengdefordeling av oppvandrende fisk

På bakgrunn av lengdemålingene gjort fra video hadde røyene en lengde fra 151-633 mm (gjennomsnitt  $\pm$  st. avvik= 359  $\pm$  74). Røye i størrelsen 34-37 cm var den dominerende størrelsesgruppa med 24 % av all røye (Figur 12A), og 53 % av all røye hadde størrelse fra 31-40 cm. Det var få fisk i størrelsesgruppen fra 20-30 cm.

Ørretene hadde en lengde fra 134-567 mm (gjennomsnitt  $\pm$  st. avvik= 386  $\pm$  105). Det er to dominerende størrelsesgrupper, én ved 31-37 cm med 38 % av all ørret (Figur 12A) og én ved 46-49 cm med 18 % av all ørret. I størrelsesgruppen 20-30 cm var det få fisk.

Laks hadde en lengdefordeling fra 387 -767 mm (gjennomsnitt  $\pm$  st. avvik= 545  $\pm$  111). Det ble totalt registrert 5 laks over 65 cm (Figur 12 B). Pukkelaks hadde en lengde fra 352-530 mm (gjennomsnitt  $\pm$  st. avvik= 401  $\pm$  63) (Figur 12 B).



Figur 12. A) Lengdefordelingen for røye og ørret med gruppeintervall på 30 mm, og B) lengdefordeling for laks og pukkellaks, gruppeintervall på 20 mm.

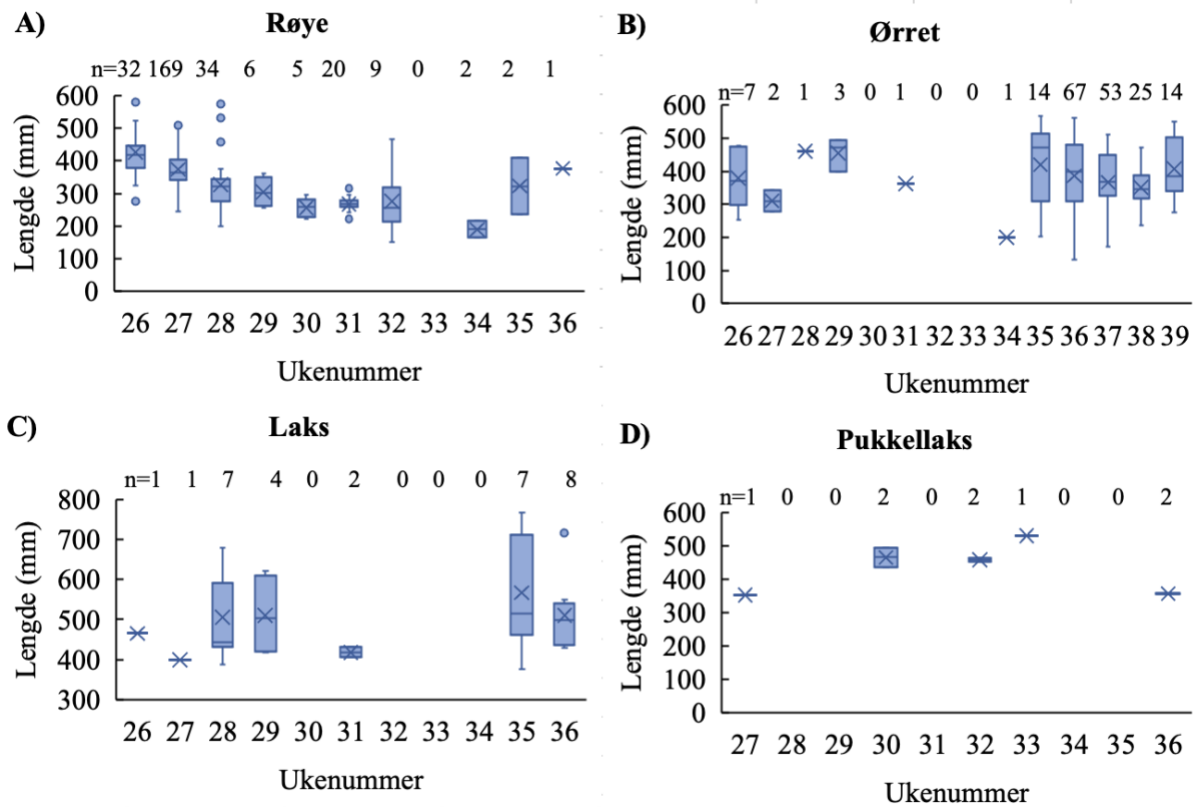
### 3.6 Fiskestørrelse gjennom sesongen

Røye svømte opp fra den 28. juni, med nesten alle observasjoner de tre første ukene. Lengdemålingene viste at røye som svømte opp fra 28. juni- 4. juli var i gjennomsnitt 428 mm. Gjennomsnittslengden var synkende de to neste ukene fra 4.-18. juli (Figur 13 A). Etter 18. juli var det 45 røyer som svømte opp, med varierende lengde.

Oppvandringstidspunkt viste at ørret svømte opp fra 30. august. Det var ingen forskjell i størrelsen mellom ukene fra 30. august-3. oktober (Figur 13B). Før den 30. august ble det registrert 19 oppvandrende ørret. Størrelsen for disse varierte fra 199- 495mm.

Laks ble observert oppvandrende fra 28. juni-12. september. Lengdefordelingen viste en gruppe på 11 fisk fra 12.-25. juli med lengde 374-679 mm, og en gruppe på 15 fisk i perioden 30. august-13. september med en lengdefordeling 429-767 mm (Figur 13 C). Pukkellaks (n=8) gikk opp i hele perioden, med en størrelse fra 352-530 mm (Figur 13 D).





Figur 13. Lengdefordelingen for oppvandrende A) røye, B) ørret, C) laks og D) pukkellaks per uke.

## 4 Diskusjon

Den økte veksten av oppdrettslokaliteter i Norge har ført til et økt smittepress av lakselus for vill laksefisk (Costello., 2009a,b; Serra-Llinares et al., 2014; Taranger et al., 2015; Forseth et al., 2017). Effekten av lakselus på røye er undersøkt i laboratorium av Tveiten et al., (2010) og Fjellidal et al., (2019). Effekten av lakselus på røye er derimot ikke dokumentert i røyenes naturlige habitat. Gjennomføring av et forsøk *in situ* som det ble gjort i dette studiet er ansett som en god metode for å teste spesifikke hypoteser innenfor økologi (Barley & Meeuwig, 2017). Det er også oppfordret til *in situ* eksperimenter for å se de faktiske effektene lakselus har på vill laksefisk (Vollset et al., 2018). Det ble i dette smitteforsøket ikke dokumentert at røye som var smittet med lakselus hadde økt dødelighet, men at røye smittet med lus hadde kortere tid i sjøen enn røye som ikke var smittet.

Kunnskap om bestander vil være avgjørende for å kunne forvalte og opprettholde naturlig mangfold og bevare produktivitet i et vassdrag (Larsen et al., 1995; Holthe et al., 2019; Nilsen et al., 2019). Det er nødvendig med kartlegging av en bestand for å se utvikling over tid. Hensikten med dette forsøket var å kartlegge den anadrome bestanden i Ringvatnvassdraget ved bruk av videoovervåking. Oppgaven viser at bestanden i Ringvatnvassdraget er røyedominert med 73 % av alle observerte oppvandrende fisk. Det er også bestander av ørret og laks i vassdraget, og det ble observert åtte pukkellaks gjennom sesongen. Videoovervåking sikret kontinuerlig filming av et tverrsnitt i Ringelva og laserstreker i videobilde sikret digital lengdemåling for 83 % av alle observerte fisk fra 28. juni-3. oktober.

I denne oppgaven diskuter jeg: 1. Hvordan lakselus påvirket dødelighet, tilbakevandring og tid i havet for røye, 2. De anadrome bestandene i Ringvatnvassdraget 2021 og 3. Hvordan videoovervåking sikret data for lengde og oppvandring av anadrom laksefisk.

### 4.1 Smitteforsøk

Det ble dokumentert lav dødelighet med en høy tilbakevandring (74 %) for røyene som var en del av smitteforsøket med kopepodittinfeksjon. Det ble ikke dokumentert signifikant forskjell mellom kontrollgruppen og smittegruppen, selv om smittegruppen «høy» hadde tilbakevandring på 65 %, mens «kontroll» og «lav» hadde 80 % tilbakevandring. I smitteforsøket med preadult lakselus ble dødelighet og tilbakevandring ikke bestemt fordi PIT-antenna ikke var i drift og de akustiske merkene var defekte. Tilstedeværelsen av lakselus fra kopepodittinfeksjon reduserte tiden i sjøen, og ved økte lusetall ble tiden i sjøen ytterligere redusert, støttet hypotese 1A). Målt total lengdevekst viste at smittegruppe med kopepoditter

hadde en noe kortere vekst enn kontrollgruppa som støtter hypotese **1B**). Målt lengdevekst per dag var tilnærmet lik mellom kontroll- og smittegruppe. Preadult smittegruppe hadde negativ målt lengdevekst og vekst per dag.

#### **4.1.1 Vurdering av smolt eller veteran**

For å ha så liten behandling som mulig av røyene i smitteforsøket ble det ikke foretatt noen undersøkelse om de var smolt eller veteraner ved skjellprøver. Vurderingen om røyene i smitteforsøket var smolt eller veteraner ble gjort ut ifra lengden til fisken. Røye fra smitteforsøket med kopepoditter hadde en gjennomsnittlig gaffellengde på 264 mm, mens røye fra preadult smitteforsøk hadde en gjennomsnittlig gaffellengde på 309,1 mm (Figur 5). Dette gir en indikasjon på at røye i kopepodittforsøket var første- og andregangsvandrere, mens røye fra preadult var andre- og tredjegangsvandrere, sammenlignet med funn gjort av (Jensen et al., 2012; Jensen et al., 2018a). For smolt av røye kan det være store variasjoner i alder og størrelse ved smoltifisering og førstegangsvandrere er gjennomsnittlig 5 år ( $\pm 2$  år) (Jensen et al. 2012).

#### **4.1.2 Dødelighet**

Smitteforsøket med kopepoditter viste at røyene hadde 74 % tilbakevandring til elva etter gjennomgått smitteforsøk. Selv om de ble vurdert til å være første- og andregangsvandrere er dette høyt sammenlignet med Jensen et al., (2019), hvor førstegangsvandrere hadde tilbakevandring på 33,6 %, andregangsvandrere 60 % og tredjegangsvandrere 80 %.

Det ble foretatt et parallelt studie som så på atferdsendringer for de samme røyene i sjøen. Denne konkluderte med at de 13 (26 %) som ikke vandret tilbake til elven døde i sjøen (upublisert Strøm et al., 2022). Røyene i kopepodittforsøket var smittet med 0,02-1,17 lus  $g^{-1}$  fisk (gjennomsnitt 0,19). Ved noe lavere smittetall har laboratorieundersøkelser gjort av Fjelldal et al., (2019) vist en dødelighet på 50 % ved smittetall 0,5 - 0,6 lus  $g^{-1}$  fisk. At det ikke ble funnet en økt dødelighet som følge av lusesmitte i vårt forsøk kan begrunnes med sjørøye og sjørretens evne til å vandre tidlig tilbake til ferskvann fremfor økt dødelighet i sjø (Wells et al., 2007; Thorstad et al., 2015).

Røye i preadult smitteforsøk ble vurdert til å være andre- og tredjegangsvandrere og 27 % ble registrert tilbakevandrende i elven. Dette er lavere enn det som ble funnet i studien til Jensen et al., (2019). I dette studiet er det ikke kjent hvor mange som vandret tilbake til elven, da både de akustiske merkene var defekte og PIT-antenna ikke var aktiv i store perioder av sesongen. I preadult smitteforsøk var gjennomsnittlig lusekonsentrasjon 0,07 lus  $g^{-1}$  fisk (st. avvik 0,04). De samme smittetallene har tidligere vist 0 % dødelighet ved forsøk i laboratorium, da smittet

med kopepoditter som utviklet seg til preadulte gjennom forsøket (Fjelldal et al., 2019). Det er ikke tilstrekkelig data til å si noe om dødeligheten i forsøket med preadult lakselus, men egenskapene til lakselusa i de forskjellige stadiene kan være interessante å vurdere da preadult lakselus forventes å gi større skader på fisken. I kopepodittstadiet må lusa finne en vert, da de er frittsvømmende og ikke spiser. Når de har festet seg til fisken er de begrenset til å kun spise av huden ved punktet de er festet (Thorstad et al., 2015). I preadult-stadiet vandrer lusa rundt på fisken og kan spise av slim, hud, blod og vev (Thorstad et al., 2015). Preadult lus er ansett som svært skadelig for laksefisk og kan medføre økt dødelighet ved høye lusemengder (Finstad et al., 2001; Tveiten et al., 2010; Thorstad et al., 2015; Fjelldal et al., 2019).

### **4.1.3 Tid i havet**

Tilbakevandringen til elven fra kopepodittforsøket viste en vesentlig reduksjon i tid i havet for røye smittet med lus sammenlignet med kontrollgruppen. Dette støtter hypotese **1A) Utvandrende røye smittet med lakselus vil redusere tiden for opphold i sjøen**. Det er omtalt av Thorstad et al. i 2015 at sjøørret smittet med store mengder lakselus kan ha en prematur tilbakevandring. Denne atferdsendringen er regnet som adaptiv som en følge av at lakselus gir osmoregulerende problemer (Wells, et al., 2007; Tveiten et al., 2010). Ved å returnere til ferskvann vil fisken kunne gjenopprette osmotisk balanse og samtidig avluses (Bjørn et al., 2001; Thorstad, et al., 2015; Svåsand, et al., 2016). Avlusingen skjer som en følge av at lakselusa har lav toleranse for ferskvann (Heuch, 1955; Birkeland, 1996). Tiden i sjøen ble ytterligere redusert ved økte lusemengder, og dette kan beskrives som en dose-respons reaksjon for antall lus mot antall dager i havet.

### **4.1.4 Vekst i havet mot antall lus**

Som en følge av en prematur tilbakevandring for lusesmittet fisk var det forventet å finne en redusert målt total lengdevekst i sjøen sammenlignet med kontrollgruppen (Jensen et al., 2018b). Her viste kontrollgruppen å ha en total lengdevekst på 33 mm og smittegruppen 21 mm. Det er ikke statistisk grunnlag til å trekke en sterk konklusjon om påvirkningen av kopepoditter på totallengdevekst, men det kan antas at den reduserte tiden i sjøen ville ført til en redusert vekst dersom forsøket var gjennomført på et større antall fisk.

Det er i tillegg forventet en reduksjon i vekst alene som følge av lusesmitte (Tveiten et al., 2010; Fjelldal et al., 2019). Ved å se på veksten per dag kan forskjeller mellom smitte- og kontrollgruppen vise hvilken effekt lakselusa hadde på lengdeveksten. Lengdevekst i dette forsøket viste en gjennomsnittlig vekst per dag for kontroll- og smittegruppe kopepoditt på

henholdsvis 1 mm og 0,9 mm per dag. For røye i preadultsmitteforsøk ble det vist til en negativ lengdevekst per dag. Resultatet for både kontroll- og smittegruppe kopepoditt kan derfor indikere noe lavere veksttall per dag i sjøen enn det som er rapportert av (Berg & Berg, 1989) med 1,3-2,2 mm per dag for sjøvandrende røye. Det er ikke bevist at smitte med kopepoditter alene reduserte tilveksten, men som en følge av prematur tilbakevandring vil vekstpotensialet reduseres. Røye har et vekstpotensial til å doble vekten sin i løpet av 4-6 uker i sjøvann (Jørgensen & Johnsen, 2014) og en av fordelene med sjøvandring er de økte vekstmulighetene (Jensen et al., 2019). På bakgrunn av et svakt datagrunnlag var det ikke mulig å bekrefte eller avkrefte hypotese **1B) Røye smittet med lakselus vil ha redusert lengdevekst i sjøen.**

Ved å avbryte sjøvandringen tidlig på grunn av lakselus kan den reduserte veksten føre til redusert energi til å gyte, overvintre og på sikt overleve (Jensen et al., 2018b). Redusert vekst kan også føre til en redusert eller utsatt fruktbarhet, fordi antall egg er avhengig av størrelsen og energireservene til fisken (Klemetsen et al., 2003; Tveiten et al., 2010). I laboratoriums undersøkelse er det også dokumentert at lakselus reduserte andelen kjønnsmodne røyer (Tveiten et al., 2010). For ørret er det konkludert med at predasjonsfaren øker som en følge av at fisken bruker lengre tid i sjøen med liten størrelse (Halttunen et al., 2017). Med tanke på at røye bruker de samme kystnære områdene er dette også sannsynlig for røye. På lang sikt kan konsekvensene av lakselus være en seleksjon mot et anadromt liv til fordel for et liv i ferskvann (Fjellidal et al., 2019).

#### **4.1.5 Metodevurdering av smitteforsøkene**

Det var tiltenkt at en PIT-antenne rett før videokamera skulle brukes til å identifisere tilbakevandrende fisk for en presis identifikasjon til lengdevekst. Her var det kun 2 fisk i smitteforsøk med kopepoditt og 5 fisk i preadult smitteforsøk som ble identifisert. Tilbakevandrende røye fra kopepodittforsøket ble detektert med akustiske mottakere som var satt opp i forbindelse med et annet prosjekt (upublisert, Strøm, et al., 2022). Det er vurdert at den akustiske identifiseringsmetoden ga en viss grad av usikkerhet ved identifisering av fisk i video. Gjennom vurderingskriteriene i metode (2.4.3) er grunnlaget for identifiseringen beskrevet, og til tross for usikkerheten er det antatt at det er riktig fisk som er identifisert. Ved gjentagelse av forsøket vil det være nødvendig å kvalitetssjekke identifiseringsmetodene av tilbakevandrende fisk.

## 4.2 Overvåking av Ringvatnvassdraget

Gjennom videoovervåking ble det vist at røye er den dominerende arten av de anadrome bestandene (73%) i vassdraget. Dette støttet hypotese **2A) Ringvatnvassdraget er et røyedominert vassdrag**. Oppvandringstiden til røyene var hovedsakelig fra 5.-11. juli. De lengste røyene gikk opp først og den gjennomsnittlige lengden sank de tre første ukene, støttet hypotese **2B) Stor fisk vandrer opp tidligere i sesongen enn mindre fisk innenfor hver fiskeart**. Dette var forventet og er tidligere omtalt av (Gulseth & Nilssen, 2000; Ebne, 2009). Ørret vandret primært opp etter 30. august og utgjorde 15,5% av de anadrome bestandene. For ørret var det også forventet at den største fisken gikk opp først (Jonsson & Jonsson, 2002; Klemetsen, et al., 2003). Dette ble ikke observert for oppvandrende ørret i Ringelva.

### 4.2.1 De anadrome bestandene

For å beregne de anadrome bestanden var det nødvendig å ta hensyn til både opp-og nedvandring forbi videokamera. Dette ble spesielt viktig for ørret da det ble observert mange fisk i begge retninger. Det er kjent at ørret vandrer til det miljøet som er fordelaktig for vekst gjennom de ulike livsstadiene (Gross et al., 1988) og stasjonær ørret kan vandre mellom elv og innsjø (Nilsen et al., 2019). For røye, laks og pukkellaks var det kun enkeltfisk som svømte i begge retninger, men dette ble det likevel tatt hensyn til. I tillegg ble oppvandringen beregnet til å starte den 28. juni som en følge av at de to nedvandningsfellene sperret av hele elven før denne datoen.

### 4.2.2 Fiskestørrelse og oppvandringstidspunkt

#### Røye

Den oppvandrende bestanden av røye viste få fisk i størrelsen 19-31 cm. Dette var den størrelsesgruppen det var forventet å observere flest fisk i, med argumentasjon om at dødeligheten ved sjøvandring er avtagende med antall sjøvandring (Jensen et al., 2019) og derfor burde det vært flest fisk i de minste observerte størrelsesgruppene. Det er observert få fisk i kamera fra 16.-30. juli, dette var en periode med høy vannføring hvor ledegjerdet til kamera ikke var aktivt. I denne perioden var det mulig for fisk å gå opp bak videokameraene. Dessuten ble røye som var en del av smittetesten og hadde en størrelse fra 19-31 cm observert oppvandrende i den aktuelle tidsperioden. Med dette vurderes det som sannsynlig at røye med størrelse 19-31 cm har gått opp mellom 16.-30. juli, samtidig som det var flom og derfor ikke ble registrert i videoovervåkingen.

Røye i vassdraget vandret opp fra 28. juni-30. juli. De største røyene svømte opp først og det kan forklares med at den største fisken svømmer ut først med en bedre evne til å osmoregulere (Klemetsen et al., 2003). Tiden røyene bruker i sjøen varierer mellom bestander fra 34-57 dager i gjennomsnitt (Klemetsen et al., 2003). Utvandringen i vassdraget ble ikke videoovervåket, derfor er det ikke foretatt en bestandsvurdering for utvandringstid til sjøen. Et studie fra førstegangsutvandrende røye i Alta har vist at de er 30 dager eller mindre i sjøen (Atencio et al., 2021), mens et studie fra Balsfjorden viste at førstegangsvandrende røye var i gjennomsnitt 50 dager i sjøen (Nordli, 2021).

### **Ørret**

Oppvandringen for ørret i Ringvatnvassdraget startet i hovedsak den 30. august. Størrelsesfordelingen viste en topp på 31-35 cm og en ny topp på 45-50 cm. Det ble også for ørret observert lite fisk i størrelsesgruppen 19-30 cm. For ørret er det tidligere rapportert at den lengste ørreten går opp først (Jonsson & Jonsson, 2002; Klemetsen, et al., 2003), dette ble ikke vist i dette forsøket. For å forklare lite fisk i størrelsesgruppen 19-31 cm og at vi ikke ser en forskjell i størrelse mellom ukene kan vi se på andre bestander av ørret. Her er oppvandringstider fra april til oktober med variasjoner mellom vassdrag blitt vist (Jensen & Aass, 1995; Jonsson & Jonsson, 2002; Pethon & Nyström, 2019). Vi kan derfor anta at overvåkingen i Ringvatnvassdraget ble stanset (3. oktober) før hele ørretbestanden hadde vandret opp elven. Det er også en mulighet for at ørret overvintret i sjøen (Klemetsen, et al., 2003) og derfor ikke har vandret opp elven. Hypotese **2B**) blir ikke understøttet av resultatet for ørret i dette studiet, men diskusjonen sannsynliggjør at den største ørreten gikk opp elven tidligere enn liten fisk.

### **Laks**

Gjennom sesongen ble det observert 27 laks opp elven, disse hadde en gjennomsnittslengde på 55cm. At det ble observert så få laks tyder på en svært liten bestand. Det er kjent at laks svømmer tilbake til moderelven for å gyte etter 1-4 år i sjøen (Liu & Skonhoft, 2011; Pethon & Nyström, 2019). Den lille bestanden var forventet utfra fangststatistikk de siste 10 årene (Miljødirektoratet, 2022).

### **Pukkellaks**

Tilstedeværelsen av pukkellaks i vassdraget forklares av den raskt voksende og etablerende oddetall-års-bestanden langs kysten i Nord -Norge (Mo, et al., 2018; Berntsen et al., 2020; VRL, 2021). Dette er en uønsket art i vassdraget og gjennom konvensjonen om biologisk mangfold (CBD, 1993) er det lovfestet at fremmede arter som truer arter eller økosystemer skal

kontrolleres eller utryddes (Mo et al., 2021). Det ble observert få pukkellaks i Ringvasselva, og grunneier tok ut 7 pukkellaks gjennom 2021 sesongen. Det er derfor ikke forventet at arten skal ha klart å etablere seg i dette vassdraget. Det er nødvendig å merke seg tilstedeværelsen av pukkellaks, da den kan påvirke andre bestander i vassdraget (VRL, 2021).

Overvåkingen av de anadrome fiskebestandene i Ringvatnvassdraget 2021 viser et bilde av bestandene for dette året. Det er kjent at sesongvariasjoner kan påvirke bestandene og det er nødvendig med overvåking over tid for å se et helhetlig bilde av vassdraget. Sammenligninger av forskjellige år vil kunne brukes for å plukke opp sesongvariasjoner påvirket av temperatur, utvandringstidspunkt og vannføring. Overvåking over tid kan også brukes for å se påvirkning av eventuelle endringer i miljøet. Dette er sett på som en fordel ved videoovervåking av et vassdrag.

### **4.2.3 Metodevurdering videoovervåking**

Videoovervåkingen i 2021 var til en viss grad påvirket av nattemørket fra midten av august til prosjektet ble avsluttet. Siden det var for mørkt til å observere bevegelse i kamera er det mulighet for underrapportering av antall fisk i vassdraget.

Artsbestemmelse ble gjort for 97 % av alle observerte fisk. Dette vurderes til svært nøyaktig. I tillegg er det forventet en stor nøyaktighet knyttet til observasjoner av antall fisk. Ved ekstra gjennomgang av noen tidsperioder ble det observert et høyere antall fisk sammenlignet med første gjennomgang. Menneskelige feil kan anses som en mulig kilde til underrapportert antall fisk ved videoovervåking. Når det gjelder data for oppvandringstidspunkt er metoden nøyaktig uten at den hindrer fiskens adferd opp elven. Videoovervåking er forbundet med lite eller ingen stress for fisken (Holthe et al., 2019).

Lengdemålingene var avhengige av bilder av fisken hvor begge laserstrekene traff fiskens kropp. Det er ikke registrert noen nedetid på laseren gjennom hele sesongen, noe som sikret måling på 83 % av all fisk som har svømt forbi videokamera. Det var ikke mulig å måle fisk som svømte for nært kamera eller utenfor en av laserstrekene. Dette kommer av at videokamera plassert 20 cm over bakken ga blindsoner rett i forkant av kamera. En presis lengdemåling med den brukte målemetoden krever filming i høy kvalitet. Her er både lys og mørke utfordrende for et godt bilde. Også lukketiden på kamera ga uskarpe «kanter» på fisken, som kan ha gitt upresise målinger. Det er også presentert en metode for å ta høyde for vinkelen fisken svømmer forbi kamera. Selv om 92 % svømte vinkelrett på kamera, vil presisjonen på lengdemålingene



øke om de med vinkel blir korrigert til faktisk lengde. For å gjennomføre dette er det nødvendig å filme fisken fra flere retninger slik at vinkelen kan måles.

Dersom videoovervåking og lengdemålinger skal gjentas med metoden presentert i denne oppgaven vil det være flere fordeler med å lede fisken gjennom en sluse. Fisk vil lettere kunne observeres mot en bakgrunn med noe kontrast, i tillegg vil fisken ha en kortere avstand til kamera med en mindre blindsoner. Fisken bør også få en smalere sluse for gjennomsvømming som kan sikre en mer bestemt svømmeretning. Samtidig vil det være mulig å filme fisken fra flere vinkler. Også montering av en fungerende PIT-antenne vil gi økte muligheter for suksess i identifikasjon av enkelt individer. Siden det var mørkt om natten i store deler av overvåkingen vil kunstig lys være nødvendig for å sikre mer kontinuerlig overvåking.

## 5 Konklusjon

Røye smittet med lakselus viste ikke en økt dødelighet, men en redusert tid i sjøen sammenlignet med kontrollgruppen. Det var en forskjell i total målt lengdevekst mellom kontroll- og smittegruppen av røye i smitteforsøket med lakseluskoepoditter, og det er grunn til å tro at dette kommer av den reduserte tiden i sjøen. Det kunne ikke påvises hvilken effekt eksperimentell infeksjon av preadulte lakselus hadde på sjøvandringen til røye, men til tross for lite data ble det vist en negativ målt lengdevekst per dag for røye smittet med preadulte lakselus. Resultatene kan tyde på at anadrom sjørøye smittet med lakselus kan ha en prematur tilbakevandring til ferskvann, og som følge av dette en redusert vekst under beitevandringen til sjøen. Videre studier vil være nødvendig for å verifisere dette. Det vil også være nødvendig å undersøke hvilken konsekvenser en eventuelt redusert vekst i sjøen har på røyas overlevelse, reproduksjon og eventuelt seleksjon mot anadromitet. Smitteforsøkene bør gjentas med flere fisk for å ha et godt statistisk materiale.

Videoovervåkingen har kartlagt de oppvandrende anadrome bestandene i Ringvatnvassdraget 2021. For røye ble det observert at den største fisken gikk opp elven før den minste. Videoovervåking er vurdert til å være svært nøyaktig til artsbestemmelse og bestemme oppvandringstidspunkt. Det er i denne oppgaven foreslått forbedringer som vil lette noe av arbeidet, samt økte nøyaktigheten ytterligere dersom videoovervåking skal benyttes.

## Kildeliste:

- Artsdatabanken. (2018). *Fremmedartslista 2018*. Hentet: 29.04.2022 fra <https://www.artsdatabanken.no/fremmedartslista2018>
- Asplin, L., Boxaspen, K., Sandvik, A., Jones, S., & Beamish, R. (2011). Modeling the distribution and abundance of planktonic larval stages of *Lepeophtheirus salmonis* in Norway. I *Salmon lice: an integrated approach to understanding parasite abundance and distribution* (s. 31-50). Chichester: John Wiley & Sons.
- Asplin, L., Johnsen, I., Sandvik, A., Albretsen, J., Sundfjord, V., Aure, J., & Boxaspen, K. (2014). Dispersion of salmon lice in the Hardangerfjord. *Marine Biology Research*, 10(3), 216-225. DOI:10.1080/17451000.2013.810755
- Atencio, B. J., Thorstad, E. B., Rikardsen, A. H., & Jensen, J. L. A. (2021). Keeping close to the river, shore and surface: the first marine migration of brown trout (*Salmo trutta*) and Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) post-smolts. *Journal of Fish Biology*, 99 (2), 462-471. DOI:10.1111/jfb.14737
- Barley, S. C., & Meeuwig, J. J. (2017). The power and the pitfalls of large-scale, unreplicated natural experiments. *Ecosystems* 20(2), 331-339. DOI:10.1007/s10021-016-0028-5
- Bøhn, T., Gjelland, K. Ø., Serra- Llinares, R. M., Finstad, B., Primicerio, R., Nilsen, R., Karlsen, Ø., Sandvik, A. D., Skilbrei, O. T., Elvik, K. M. S., Skaala, Ø., Bjørn, P. A. (2020). Timing is everything: Survival of Atlantic salmon *Salmo salar* postsmolts during events of high salmon lice densities. *Journal of Applied Ecology*, 57(6), 1149-1160. DOI:10.1111/1365-2664.13612
- Berg, O. K. & Berg, M. (1989). Sea growth and time of migration of anadromous arctic char (*Salvelinus alpinus*) from the Vardnes river, in northern Norway. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46(6), 955-960. DOI:10.1139/f89-123
- Berg, O. K., & Berg, M. (1993). Duration of sea and freshwater residence of Arctic char (*Salvelinus alpinus*), from the Vardnes River in northern Norway. *Aquaculture*, 110(2), 129-140. DOI:10.1016/0044-8486(93)90267-3
- Berntsen, H. H., Sandlund, O. T. , Thorstad, E., & Fiske, P. (2020). *Pukkellaks i Norge, 2019. NINA Rapport 1821*. Norsk institutt for naturforskning.
- Birkeland, K. (1996). Consequences of premature return by sea trout (*Salmo trutta*) infested with the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer): migration, growth, and mortality. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53(12), 2808-2813. DOI:10.1139/f96-231
- Birkeland, K. & Jakobsen, P.J. (1997). Salmon lice, *Lepeophtheirus salmonis*, infestation as a causal agent of premature return to rivers and estuaries by sea trout, *Salmo trutta*, juveniles. *Environmental Biology of Fishes* 49, 129–137. DOI:10.1023/A:1007354632039
- Bjørn, P., Finstad, B., & Kristoffersen, R. (2001). Salmon lice infection of wild sea trout and Arctic char in marine and freshwaters: the effects of salmon farms. *Aquaculture Research* 32(12), 947-962. DOI:10.1046/j.1365-2109.2001.00627.x
- CBD 1993. Konvensjon om biologisk mangfold. Hentet 29.04.2022 fra <https://lovdata.no/dokument/TRAKTAT/traktat/1992-06-05-1>

- Costello, M. J. (2009a). The global economic cost of sea lice to the salmonid farming industry. *Journal of Fish Diseases*, 32(1), 115-118. DOI:10.1111/j.1365-2761.2008.01011.x
- Costello, M. J. (2009b). How sea lice from salmon farms may cause wild salmonid declines in Europe and North America and be a threat to fishes elsewhere. *Proceedings of The Royal Society* 276 (1), 3385-3394. DOI:10.1098/rspb.2009.0771
- Ebne, I. (2009). Anadrom røye (*Salvelinus alpinus*) i Linnévassdraget, Svalbard. Diett, oppvandring, bestandssammensetning og fangbarhet. (Masteroppgave). Institutt for miljø- og biovitenskap, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Finstad, B., Bjørn, P. A., Grimnes, A., & Hvidsten, N. A. (2001). Laboratory and field investigations of salmon lice [*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)] infestation on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquaculture Research* 31 (11), 795-803. DOI:10.1046/j.1365-2109.2000.00511.x
- Fjellidal, P. G., Hansen, T. J., Karlsen, Ø., & Wright, D. W. (2019). Effects of laboratory salmon louse infection on Arctic char osmoregulation, growth and survival. *Conservation Physiology*, 7(1), 1-11. DOI:10.1093/conphys/coz072.
- Forseth, T., Barlaup, B., Finstad, B., Fiske, P., Gjørseter, H., Falkegård, M., Hindar, A., Mo, T. A., Rikardsen, A. H., Thorstad, E. B., Vøllestad, L. A., Wennevik, V. (2017). The major threats to Atlantic salmon in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, 74(6), 1496-1513. DOI:10.1093/icesjms/fsx020
- Forskrift om bruk av dyr i forsøk. (2015) forskrift om bruk av dyr i forsøk (FOR-2017-04-05-451) hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-06-18-761>
- Forskrift om lakselusbekjempelse. (2013) forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg (FOR-2012-12-05-1140) hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-12-05-1140>
- Gross, M. R., Coleman, R. M., & McDowall, R. M. (1988). Aquatic productivity and the evolution of diadromous fish migration. *Science* 239(4845), 1291-1293. DOI:10.1126/science.239.4845.1291
- Gulseth, O. A., & Nilssen, K. J. (2000). The brief period of spring migration, short marine residence, and high return rate of a northern Svalbard population of Arctic char. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129(3), 782-796. DOI:10.1577/1548-8659(2000)129<0782:TBPOSM>2.3.CO;2
- Halttunen, E., Gjelland, K-Ø., Hamel, S., Serra-Llinares, R-M., Nilsen, R., Arechavala-Lopez, P., Skarðhamar, J., Johnsen, I. A., Asplin, L., Karlsen, Ø., Bjørn, P-A., Finstad, B., (2017) Sea trout adapt their migratory behaviour in response to high salmon lice concentrations. *Journal of Fish Diseases* 41(6), 953-967. DOI:10.1111/jfd.12749
- Hamre, L. A., Bui, S., Oppedal, F., Skern-Mauritzen, R., & Dalvin, S. (2019). Development of the salmon louse. *Aquaculture environment interactions* 11, 429-443. DOI:10.3354/aei00320
- Hamre, L. A., Eichner, C., Caipang, C. M. A., Dalvin, S. T., Bron, J. E., Nilsen, F., Boxshall, G., Skern-Mauritzen, R. (2013). The salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) life cycle has only two chalimus stages. *PLoS ONE* 8(9) e73539. DOI:10.1371/journal.pone.0073539

- Hamre, L. A., Glover, K. A., & Nilsen, F. (2009). Establishment and characterisation of salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer 1837)) laboratory strains. *Parasitology International*, 58(4), 451-460. DOI:10.1016/j.parint.2009.08.009
- Heuch, P. A. (1955). Experimental evidence for aggregation of salmon louse copepodids (*Lepeophtheirus Salmonis*) in step salinity gradients. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 75(4), 927-939. DOI:10.1017/S002531540003825X
- Hindar, K., Hutchings, J., Diserud, O., & Fiske, P. (2011). Stock, recruitment and exploitation. *I Atlantic Salmon Ecology*, 299-332. Ed. by Aas Ø., Einum S., Klemetsen A., Skurdal J.. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
- Hoar, W. S. (1988). 4 the physiology of smolting salmonids. *Fish Physiology*, 11(Part B), 275-343. DOI:10.1016/S1546-5098(08)60216-2
- Hoist, J., Jakobsen, P., Nilsen, F., Holm, M., Asplin, L. and Aure, J. (2003). Mortality of seaward-migrating post-smolts of Atlantic salmon due to salmon lice infection in Norwegian salmon stocks. *In Salmon at the Edge* 136-137. Ed. Mills, D, Blackwell Science, Oxford. DOI:10.1002/9780470995495.ch11
- Holthe, E., Skoglund, H., Solem, Ø., Kanstad-Hanssen, Ø., Kambestad, M., Lamberg, A., Muladal, R., Sollien, V. P., Hellen, B. A., Ulvan, E. M. (2019). *Overvåking av gytebestander av laks og sjøøret i Norge, 2019*. Norsk Institutt for naturforskning rapportnr:1849.
- Jørgensen, E. H., & Johnsen, H. K. (2014). Rhythmic life of the Arctic charr: Adaptations to life at the edge. *Marine Genomics*, 14, 71-81. DOI:10.1016/j.margen.2013.10.005
- Jensen, A. J., Finstad, B., & Fiske, P. (2019). The cost of anadromy: marine and freshwater mortality rates in anadromous Arctic char and brown trout in the Arctic region of Norway. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 76(12), 2408–2417. DOI:10.1139/cjfas-2018-0428
- Jensen, A. J., Finstad, B., & Fiske, P. (2018a). Evidence for the linkage of survival of anadromous Arctic char and brown trout during winter to marine growth during the previous summer. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 75(5), 663–672. DOI:10.1139/cjfas-2017-0077
- Jensen, A. J., Finstad, B., Fiske, P., Forseth, T., Rikardsen, A.H., & Ugedal, O. (2018b) Relationship between marine growth and sea survival of two anadromous salmonid fish species. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 75(4): 621-628. DOI:10.1139/cjfas-2016-0408
- Jensen, A. J., Finstad, B., Fiske, P., Hvidsten, N. A., & Rikardsen, A. H., Saksgård, L., (2012). Timing of smolt migration in sympatric populations of Atlantic salmon (*Salmo salar*), brown trout (*Salmo trutta*), and Arctic char (*Salvelinus alpinus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 69(4), 711-723. DOI:10.1139/f2012-005
- Jensen, A. J., & Aass, P. (1995). Migration of a fast-growing population of brown trout (*Salmo trutta* l.) through a fish ladder in relation to water flow and water temperature. *Regulated Rivers: Research & Management*, 10 (2-4), 217-228. DOI:10.1002/rrr.3450100216

- Johnsen, I. A., Fiksen, Ø., Sandvik, A. D., & Asplin, L. (2014). Vertical salmon lice behaviour as a response to environmental conditions and its influence on regional dispersion in a fjord system. *Aquaculture environment interactions*, 5, 127-141. DOI:10.3354/aei00098
- Jones, S., & Beamish, R. (2011). *Salmon lice: An integrated approach to understanding parasite abundance and distribution*. Ed. Simon Jones, Richard Beamish. DOI:10.1002/9780470961568
- Jonsson, B., Jonsson, N. (2011). Population enhancement and population restoration. *I Ecology of Atlantic salmon and brown trout*. Vol 33. Springer, Dordrecht. DOI:10.1007/978-94-007-1189-1\_11
- Jonsson, N., & Jonsson, B. (2002). Migration of anadromous brown trout *Salmo trutta* in a Norwegian river. *Freshwater Biology*, 47(8), 1391-1401. DOI:10.1046/j.1365-2427.2002.00873.x
- Klemetsen, A., Amundsen, P. A., Dempson, J. B., Jonsson, N., O'Connell, M. F., & Mortensen, E. (2003). Atlantic salmon *Salmo salar* L., Brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish*, 12(1), 1-59. DOI:10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x
- Kristoffersen, K. (1994). The influence of physical watercourse parameters on the degree of anadromy in different lake populations of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* (L.)) in northern Norway. *Ecology of Freshwater Fish*, 3, 80-91. DOI:10.1111/j.1600-0633.1994.tb00109.x
- Larsen, B. M., Lamberg, A., & Hvidsten, N. A. (1995). *Metoder for overvåking av gytebestander av anadrome laksefisk*. Norsk institutt for naturforskning Rapport nr: 331.
- Liu, Y., & Skonhøft, A. (2011). Wild and farmed salmon in Norway—A review. *Marine Policy*, 35(3), 413-418. DOI:10.1016/j.marpol.2010.11.007
- Lov om forvaltning av naturens mangfold (2009) naturmangfoldloven (LOV-2009-06-19-100) hentet fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2009-06-19-100>
- Lov om laksefisk og innlandsfisk mv. (1993) lakse- og innlandsfiskloven (LOV-1992-05-1547) hentet fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1992-05-15-47>
- Miljødirektoratet. (2022). *Lakseregisteret*. Hentet fra <https://lakseregisteret.fylkesmannen.no/visElv.aspx?vassdrag=Ringvatnvassdraget&id=200.3Z>
- Mo, T., Berntsen, H., Frøiland, E., Thorstad, E., Hindar, K., & Sandlund, O. (2021). *Forslag til handlingsplan mot pukcellaks*. Finnmark, NINA og Statsforvalteren i Troms og Finnmark. Miljødirektoratet.
- Mo, T. A., Thorstad, E. B., Sandlund, O. T., Berntsen, H. H., Fiske, P., & Uglem, I. (2018). The pink salmon invasion: a Norwegian perspective. *Journal of Fish Biology* 93(1), 5-7. DOI:10.1111/jfb.13682.
- Myers, G. (1949). Usage of anadromous, catadromous and allied terms for migratory fishes. *Copeia*, 1949 (2), 89-97. DOI:10.2307/1438482

- Nilsen, F., Ellingsen, I., Finstad, B., Helgesen, K. O., Karlsen, Ø., Qviller, L., Sandvik, A. D., Sægro, H. Ugedal, O., Vollset, K. (2019). *Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for å implementere lakselus på sjøørret som en bærekraftsindikator i «produksjonsområdeforskriften»*. ISBN 978-82-7744-200-6.
- Nordeng, H. (1983). Solution to the "char problem" based on Arctic Char (*Salvelinus alpinus*) in Norway. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40 (9), 1372-1387. DOI:10.1139/f83-159
- Nordli, E. (2021). *The behaviour of anadromous Arctic charr during their first marine migration* (Masteroppgave). Universitetet i Tromsø.
- Pethon, P., & Nyström, B. O. (2019). *Aschehougs store fiskebok*. Oslo: H. Aschehoug & co. (W.Nygaard) A/S.
- Rikardsen, A., & Elliot, J. (2005). Variations in juvenile growth, energy allocation and life-history strategies of two populations of Arctic charr in north Norway. *Journal of Fish Biology*, 56 (2), 328-346. DOI:10.1111/J.1095-8649.2000.TB02110.X
- Schneider, C., Rasband, W., & Eliceiri, K. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671-675. DOI:10.1038/nmeth.2089.
- Serra-Llinares, R.M, Bjørn, P., Finstad, B., Nilsen, R., Harbitz, A., Berg, M., & Asplin, L. (2014). Salmon lice infection on wild salmonids in marine protected areas: an evaluation of the Norwegian 'National Salmon Fjords'. *Aquaculture Environment Interactions*, 5, 1-16. DOI:10.3354/aei00090
- Serra-Llinares, R.M, Bøhn, T., Nilsen, R., Karlsen, Ø., Freitas, C., Albretsen, J., Haraldstad, T., Thorstad, E.B., Elvik, K.M.S. & Bjørn, P.A. (2020). Increased mortality and altered behavior of sea trout (*Salmo trutta*) post-smolts infested with salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*). *Marine Ecology Progress Series* 635: 151-168. DOI:10.3354/meps13199
- Skern-Mauritzen, R., Torrissen, O., & Glover, K. A. (2014). Pacific and Atlantic *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1838) are allopatric subspecies: *Lepeophtheirus salmonis salmonis* and *L. salmonis oncorhynchi* subspecies novo. *BMC Genetics*, 15(32). DOI:10.1186/1471-2156-15-32
- Stien, A., Bjørn, P. A., Heuch, P. A., & Elston, D. A. (2005). Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon and sea trout. *Marine ecology progress series*, 290, 263-275. DOI:10.3354/meps290263
- Strøm, J. F., Bjørn, P. A., Bygdenes, E., Kristiansen, L. A., Skjold, B., & Bøhn, T. (2022). Behavioural responses of wild anadromous Arctic charr experimentally infested in situ with salmon lice. *Upublisert*.
- Svåsand, T., Karlsen, Ø., Kvamme, O., Stien, L., Teranger, G., & Boxaspen, K. (2016). Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2016. Fisken og havet, særnummer 2-2016, 18-20.
- Taranger, G., Karlsen, Ø., Bannister, J., Glover, A., Husa, V., Karlsbakk, E., Kvamme, B. O., Boxaspen, K. K., Bjørn, P. A., Finstad, B., Madhun, A. S., Morton, C. H., Svåsand, T. (2015). Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES Journal of Marine Science*, 72(3), 997-1021. DOI:10.1093/icesjms/fsu132

- Thorstad, E., Todd, C., Uglem, I., Bjørn, P., Gargan, P., Vollset, K., Halttunen, E. Kålsås, S., Berg, M., Finstad, B. (2015). Effects of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on wild sea trout *Salmo trutta*—a literature review. *Aquaculture environment interactions* 7, 91-113. DOI:10.3354/aei00142
- Tveiten, H., Bjørn, P., Johnsen, H., Finstad, B., & McKinley, R. (2010). Effects of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* on temporal changes in cortisol, sex steroids, growth and reproductive investment in Arctic charr *Salvelinus alpinus*. *Journal of Fish Biology*, 76(10), 2318-2341. DOI:10.1111/j.1095-8649.2010.02636.x
- Vollset, K. W., Dohoo, I., Karlsen, Ø., Halttunen, E., Kvamme, B., Finstad, B., Wennevik, V., Diserud, O. H., Bateman, A., Friedland, K. D., Mahlum, S., Jørgensen, C., Qviller, L., Krkošek, M., Åtland, Å., Barlaup, B. T. (2018). Disentangling the role of sea lice on the marine survival of Atlantic salmon. *ICES Journal of Marine Science*, 75(1), 50-60. DOI:10.1093/icesjms/fsx104
- VRL Vitenskapelig råd for lakseforvaltning, 2021. (2021). *Status for norske laksebestander i 2021*. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 16, 227
- Wells, A., Grierson, C., Marshall, L., MacKenzie, M., Russon, I., Reinardy, H., Sivertsgård, R., Bjørn, P. A., Finstad, B., Bonga, S. E. W., Todd, C. D., Hazon, N. (2007). Physiological consequences of “premature freshwater return” for wild sea-run brown trout (*Salmo trutta*) postsmolts infested with sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64(10), 1360-1369. DOI:10.1139/f07-107
- Whitfield, J. G., & Kimberly, M. A. (2004). PIT tagging: Simple technology at its best. *BioScience*, 54(5), 447-454. DOI:10.1641/00063568(2004)054[0447:PTSTAI]2.0.CO;2



