

Bjørn Richard Prestbakk

Overlevelse, svømmekapasitet og reinfestasjon hos mobile stadier av lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) uten vert

Masteroppgave i Ocean Resources

Veileder: Anna S. Båtnes

Medveileder: Cecilie Miljeteig, Maja Hatlebakk

Mai 2024

Bjørn Richard Prestbakk

Overlevelse, svømmekapasitet og reinfestasjon hos mobile stadier av lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) uten vert

Masteroppgave i Ocean Resources

Veileder: Anna S. Båtnes

Medveileder: Cecilie Miljeteig, Maja Hatlebakk

Mai 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Fakultet for naturvitenskap

Institutt for biologi



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Norsk lakseoppdrett er en viktig næring i Norge og i 2023 ble det eksportert atlantisk oppdrettslaks til en samlet verdi av 122,5 milliarder NOK. Veksten i næringen har de siste årene stagnert, og en av hovedgrunnene til dette er utfordringer med ektoparasitten lakselus (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer, 1837). Lakselus er et problem både for oppdrettsfisk og vill laksefisk. Næringen bruker derfor betydelig med ressurser for å kontrollere denne og for ikke å overskride fastsatte grenser for antall voksne hunnlus per fisk i anlegget. Avlusning av oppdrettsfisken er en strategi som er mye benyttet for bekjempelse av lakselus, og dette innebærer i alle tilfeller trenging av fisken i merden. Trenging av fisk i åpne merder har vist seg å føre til at mobil lakselus faller av og sprer seg i vannmassene. Målet med denne studien var derfor å undersøke hvordan mobil lakselus håndterer det å være uten vert.

Tre hovedmomenter ble undersøkt; overlevelse uten vert, svømmekapasitet og muligheten for reinfestasjon av ny vert. Studien ble gjennomført ved lab-forsøk på NTNU Sealab, Trondheim, vinteren 2023/2024. Overlevelsen ble studert ved å plukke lakselus av infestert atlantisk laks (*Salmo salar*) og plassere disse i inkubasjonsrør, hvor overlevelsen ble observert i dagene etter. Svømmekapasiteten ble testet ved å fiksere individer til polyestertråder i et akvarium, hvor de ble utsatt for blinkende blå lysstimuli tre ganger daglig. Atferdsresponsen og svømmekapasiteten ble observert over tid, i hele perioden de var aktive. Aktiviteten ble filmet før, under og etter at lysstimulusen ble gitt. Muligheten for reinfestasjon ble undersøkt etter tre ulike tidsperioder uten vert: 0 dager (kontroll), 3 dager og 7 dager. Etter denne perioden ble preadult og voksne lakselus manuelt plassert på bedøvet atlantisk laks. Reinfestasjonssuksessen til disse stadiene ble registrert syv dager og fire uker post reinfestasjon.

Studien viser at mobil lakselus kan leve i flere dager uten vert, i gjennomsnitt 7-9 dager og 4-8 dager ved hhv. 10 °C og 12 °C. Den lengste overlevelsen registrert i overlevelsesforsøket var 14 dager uten vert, mens i svømmekapasitetsforsøket var den 19 dager. Voksne hannlus overlevde signifikant kortere enn voksne hunnlus ved 12 °C ($p < 0,01$), hhv. 4 ± 4 og 8 ± 2 dager (gjennomsnitt \pm SD). Lakselus hadde evnen til og aktivt svømme i perioden etter de mistet verten sin. Tiden fra de mister verten ser ikke ut til å ha en betydelig effekt på hvor aktive de er, og i de fleste tilfeller var de like aktive i hele perioden frem til slutten da det skjedde en drastisk reduksjon og de døde. Gjennomsnittlig varighet per svømmeperiode var 1,5, 1,6 og 2,4 sekunder for hhv. preadult II hunn-, voksne hann- og voksne hunnlus. Det var en signifikant høyere aktivitet under lysstimuli sammenliknet med i mørke hos alle stadiene undersøkt ($p < 0,05$). Under et minutt stimuli var de aktiv i gjennomsnitt 20,3-23,5% av tiden. Reinfestasjonsforsøkene viser at mobil lakselus har evnen til å reinfestere ny vert selv etter 7 dager uten, men at lengden på perioden uten vert påvirker suksessen. Andelen lakselus på fisken fire uker post reinfestasjon var 39-62% høyere i gruppen med lus som hadde vært uten vert i 0 dager sammenliknet med gruppen som var uten vert i 7 dager. Voksen hunnlus var det livsstadiet som hadde størst reinfestasjonssuksess uansett tid uten vert. Studien konkluderer med at mobil lakselus har evnen til å overleve og aktivt svømme i lang tid etter de mister verten sin, samt at de kan reinfestere ny atlantisk laks. Mobil lakselus som faller av oppdrettsfisk under trenging, må derfor anses som en mulig smittekilde både innad i anlegget og hos nærliggende oppdrettsanlegg. Disse vil potensielt også kunne smitte vill laksefisk i området rundt.

Abstract

Norwegian salmon farming is an important industry in Norway, with exported Atlantic farmed salmon (*Salmo salar*) reaching a total value of 122.5 billion NOK in 2023. However, the growth in the industry has levelled off in recent years, mainly due to challenges with the ectoparasitic salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer 1837). Salmon lice pose a problem for both farmed salmon and wild salmonids, prompting the industry to invest substantial resources in controlling the lice and to remain within the legal limit of adult female salmon lice per fish in a facility. Delousing, a common strategy to combat salmon lice, involves crowding the salmon in cages. This crowding has been shown to cause mobile salmon lice to detach and spread in the water column. The aim of this study is to investigate how salmon lice respond to being detached from their host.

Three aspects were examined: survival without a host, swimming capacity, and the possibility of reinfesting a new host. The study was conducted at NTNU Sealab in Trondheim during the winter of 2023/2024. The survival was studied by picking lice from infected Atlantic salmon and placing them in incubators where their survival was observed over several days. The swimming capacity was tested by fixing lice to polyester threads in an aquarium and exposing them to blue light stimuli. Their responses and swimming capacities were observed throughout their active period, and their swimming behavior was recorded before, during and after the light stimuli. The possibility of reinfestation was investigated after three starvation periods: 0 days (control), 3 days, and 7 days. After the starvation period, the preadult and adult lice were manually placed on uninfected Atlantic salmon. The reinfestation success was observed seven days and four weeks post-reinfestation.

The study shows that mobile salmon lice can survive multiple days without a host. Average survival was 7-9 and 4-8 days at 10 °C and 12 °C, respectively. The median survival ranged from 5 to 10 days across all groups and temperatures. The maximum survival observed in the survival experiment was 14 days without a host, and in the reinfestation experiment, 19 days. The results show a significant difference in survival between adult males and adult females at 12 °C ($p < 0.01$), 4 ± 4 and 8 ± 2 days (average \pm SD), respectively. Salmon lice could swim throughout the period after detachment from the host, with preadult II females being the most active life stage. The time after the detachment did not significantly affect their activity levels, which remained consistent until a sudden decline before death, in most cases. Average duration of each swimming period (burst swim) was 1.5, 1.6 and 2.4 seconds for preadult II female, adult male and adult female, respectively. Light stimuli significantly increased the activity of mobile salmon lice compared to dark periods ($p < 0.05$). During the one minute of light stimuli, they were on average active 20,3-23,5% of the time. The reinfestation experiment shows that mobile salmon lice had the ability to reinfest new hosts even after seven days without one, although the starvation time influenced this success. Four weeks post-reinfestation, the survival rates were 41-68%, 24-62%, and 0-6% for lice starved for 0, 3, and 7 days, respectively. Adult female salmon lice had the highest ability of reinfestation across all starvation periods tested.

This study concludes that mobile salmon lice can survive and actively swim for a relative long period of time after they detach from their host, and they can reinfest new hosts. Mobile salmon lice that detach from farmed salmon during crowding must be considered a potential source of lice infestation within the facility and at nearby facilities. They can also potentially infest wild salmonids close to the facility.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet i samarbeid med FoU-prosjektet NTNU Taskforce Lakselus ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). NTNU Taskforce Lakselus er en prosjektgruppe finansiert av FHF, NTNU og oppdrettsnæringen i Midt-Norge, og har som hensikt å bygge ny kunnskap om lakselus og interaksjonen mellom lakselus og oppdrettsnæringen. Takk til Taskforce Lakselus for at jeg fikk jobbe sammen med dere.

Jeg ønsker også å rette en stor takk til min hovedveileder Anna S. Båtnes og mine to medveiledere Cecilie Miljeteig og Maja Hatlebakk. Takk for veiledning, hjelp og konstruktiv tilbakemelding gjennom hele masterperioden. Jeg har satt stor pris på at jeg i hele perioden har kunne komme innom kontorene deres og stilt spørsmål, dersom jeg satt fast eller trengte hjelp med noe.

Jeg ønsker å takke mine medstudenter i Taskforce Lakselus for godt samarbeid, og som sparringspartner under lab-forsøkene. Dag Altin ved NTNU Sealab fortjener også å bli nevnt. Takk for gode forslag, lån av utstyr og hjelpen med å få etablert et godt forsøksoppsett til gjennomføring av svømmekapasitetsforsøkene.

Familie og venner, takk for støtten og oppmuntrende ord i prosessen med å skrive masteroppgaven. Og sist, men ikke minst en spesiell takk til alle mine medstudenter på Ocean Resources for noen fine år sammen.

Trondheim, mai 2024

Bjørn Richard Prestbakk

Innhold

Figurer	xi
Tabeller	xii
Forkortelser/symboler	xiii
1 Introduksjon	1
1.1 Lakselus.....	1
1.2 Lakselusens påvirkning på laksefisk.....	3
1.3 Lakselus i norsk oppdrettsnæring	4
1.4 Forebyggende og kontrollerende tiltak	5
1.5 Avlusningsmetoder.....	5
1.5.1 Medikamentell behandling.....	5
1.5.2 Ikke-medikamentelle avlusningsmetoder (IMM).....	6
1.6 Trenging av oppdrettslaks i merden.....	6
1.7 Mål med studien	8
2 Materiale og metode.....	9
2.1 Lakselus brukt i studien	9
2.2 Overlevelse uten vert	11
2.2.1 Klassifisering av preadult lakselus	11
2.3 Svømmekapasitet hos mobil lakselus.....	12
2.3.1 Forsøksoppsett brukt i svømmekapasitetsforsøkene	12
2.3.2 Gjennomføring av svømmekapasitetsforsøkene	14
2.3.3 Analyse av filmene fra svømmekapasitetsforsøkene	15
2.4 Reinfestasjon av ny vert	16
2.4.1 Ny vertsfisk og miljøforhold etter reinfestasjon	16
2.4.2 Gjennomføring av reinfestasjonsforsøkene.....	16
2.5 Data og statistisk analyse.....	18
2.5.1 Analyse av overlevelse uten vert	18
2.5.2 Analyse av svømmekapasiteten hos mobil lakselus	18
2.5.3 Analyse av reinfestasjon av ny vert.....	18
2.6 Bruk av kunstig intelligens (KI) i studien	18
3 Resultat.....	20
3.1 Overlevelse uten vert	20
3.2 Svømmekapasitet hos mobil lakselus.....	21
3.2.1 Antall svømmeperioder per minutt	21
3.2.2 Varighet per svømmeperiode under lysstimuli	25
3.2.3 Total tid i bevegelse under lysstimuli.....	27

3.3	Reinfestasjon av ny vert	29
4	Diskusjon.....	30
4.1	Overlevelse uten vert	30
4.2	Svømmekapasitet hos mobil lakselus.....	31
4.3	Reinfestasjon av ny vert	34
5	Konklusjon	37
	Referanser.....	38
	Vedlegg.....	43
	Vedlegg A – Rådata svømmekapasitet	43

Figurer

Figur 1.1: Livssyklusen til lakselus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) består av totalt åtte livsstadier, hvor de tre første (nauplius I – kopepoditt) er frittlevende stadier og de fem siste stadiene (chalimus I – voksen) er parasittiske stadier som foregår på laksefisk (Salmonidae). Figuren er hentet fra Igboeli et al. (2014).	2
Figur 1.2: Illustrasjon av metoder for trenging av oppdrettslaks i merden. A og B viser trenging med orkastnot, C viser trenging med kuleline. Figurene er hentet fra Nersten (2021).	8
Figur 2.1: (a) Inkubasjonsoppsett brukt til klekking av eggstrenger, overlevelsesforsøk og reinfestasjonforsøket med mobil lakselus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>). Oppsettet besto av to vannreservoar (1 og 3), en inkubatorkasse med inkubatorrør (2) og ei resirkuleringspumpe (4). (b) Bilde tatt ovenfra som viser inkubasjonsrørene plassert i plexiglassplaten.....	10
Figur 2.2: Måling av den totale lengden (TL) til mobil lakselus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>), ref. Hamre et al. (2013).	12
Figur 2.3: En skjematisk fremstilling av forsøksoppsettet brukt for filming av svømmekapasiteten hos mobil lakselus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) sett ovenfra (A), forfra (B) og bilde av oppsettet tatt forfra (C). Oppsettet besto av to infrarøde lyskastere (1), et akvarium (2), et infrarød-sensitivt kamera (3), LED-stripe i lokket på akvariet (4) og seks oppheng til lakselus (5).....	14
Figur 2.4: Skjerm bilde fra en av svømmekapasitet-filmene med voksne hunnlus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>). Individene var fiksert på en 4 cm polyestertråd festet til en L-ståltråd plassert over kanten på akvariet. På hver side av akvariet var det plassert IR-lys og foran var det montert et IR-kamera, noe som gjorde at man kunne observere lakselusene på filmene selv om de var plassert i mørke.	15
Figur 2.5: I reinfestasjonforsøkene ble preadult og voksne lakselus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) plassert på den ene ryggsiden av uinfestert atlantisk laks (<i>Salmo salar</i>) etter en periode på 0, 3 eller 7 dager uten vert. Den svarte rammen viser området lakselusene ble plassert. Antall lakselus satt på hver fisk varierte mellom 4 – 13.	17
Figur 3.1: Kaplan-Meier overlevelseskurve for de mobile livsstadier (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) uten vert over tid; (a) preadult I, (b) preadult II og (c) voksen. Individene var inkubert ved to temperaturer, 10 °C og 12 °C. n = 3 – 45 individer (Tabell 3.1).	21
Figur 3.2: Antall svømmeperioder per minutt før (a), under (b) og etter (c) blå lysstimulus hos preadult II hunnlus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusene var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R ² vises i plottene.	22
Figur 3.3: Antall svømmeperioder per minutt før (a), under (b) og etter (c) blå lysstimulus hos voksne hannlus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusene var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R ² vises i plottene.	23
Figur 3.4: Antall svømmeperioder per minutt før (a), under (b) og etter (c) blå lysstimulus hos voksne hunnlus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusene var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R ² vises i plottene.	24

Figur 3.5: Varighet per svømmeperiode i sekunder under blinkende blå lysstimuli hos preadult II hunnulus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusene var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R ² vises i plottet.	25
Figur 3.6: Varighet per svømmeperiode i sekunder under blinkende blå lysstimuli hos voksne hannulus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusene var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R ² vises i plottet.	26
Figur 3.7: Varighet per svømmeperiode i sekunder under blinkende blå lysstimuli hos voksne hunnulus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusene var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R ² vises i plottet.	26
Figur 3.8: Total tid i bevegelse i sekunder under et minutt blinkende blå lysstimuli hos preadult II hunnulus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusen var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R ² vises i plottet.	27
Figur 3.9: Total tid i bevegelse i sekunder under et minutt blinkende blå lysstimuli hos voksne hannulus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusen var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R ² vises i plottet.	28
Figur 3.10: Total tid i bevegelse i sekunder under et minutt blinkende blå lysstimuli hos voksne hunnulus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusen var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R ² vises i plottet.	28
Figur 3.11: Andel lakselus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) i prosent på vertsfisken 7 og 28 dager etter reinfestasjon. (a) Lakselus som var uten vert i 0 dager (kontroll), (b) lakselus som var uten vert i 3 dager og (c) lakselus som var uten vert i 7 dager før reinfestasjon.	29

Tabeller

Tabell 2.1: Lakselusens (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) totale lengde (TL) i mm, brukt til å stadfeste hvilket mobilt livsstadium individene tilhørte. Tallene baserer seg på data fra Schram (1993) og Johnson og Albright (1991).	12
Tabell 2.2: Gjennomsnittstemperatur (°C; målt minst en gang per dag), samt minimums- og maksimumstemperatur registrert i svømmekapasitetsforsøkene med preadult II hunnulus, voksen hannulus og voksen hunnulus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>). Saliniteten (ppt) i akvariet ble målt en gang før start og en gang etter forsøkene ble avsluttet.	14
Tabell 2.3: Oversikt over antall lakselus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) i hver gruppe uten vert i 0, 3 og 7 dager før de ble satt på ny uinfestert atlantisk laks (<i>Salmo salar</i>).	17
Tabell 3.1: Overlevelsen til lakselus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) uten vert i antall dager. Tabellen gir antall individer i hver gruppe (n), den gjennomsnittlige overlevelsen (\pm standardavvik (SD)), median og maks overlevelse for alle gruppene.	20

Tabell 3.2: Antall svømmeperioder per minutt hos preadult II hunnlus, voksne hannlus og voksne hunnlus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) før, under og etter blå lysstimuli. n = 6 individer av hvert livsstadium. Det er testet for endring over tid (regresjonslinje), og p-verdien forteller om gjennomsnittsverdien endres signifikant over tid.	24
Tabell 3.3: Varighet per svømmeperiode i sekunder hos preadult II hunnlus, voksne hannlus og voksne hunnlus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) under blinkende blå lysstimuli. n = 6 individer. Det er testet for endring over tid (regresjonslinje), og p-verdien forteller om gjennomsnittsverdien endres signifikant over tid.	26
Tabell 3.4: Total tid i bevegelse (sekunder) hos ulike livsstadier lakselus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) i løpet av ett minutt (60 sek) blå lysstimuli. n = 6 individer. Det er testet for endring over tid (regresjonslinje), og p-verdien forteller om gjennomsnittsverdien endres signifikant over tid.	28

Forkortelser/symboler

<i>C. elongatus</i>	<i>Caligus elongatus</i>
IMM	Ikke-medikamentell avlusningsmetode
IR	Infrarød
KI	Kunstig intelligens
<i>L. salmonis</i>	<i>Lepeophtheirus salmonis</i>
NOK	Norske kroner
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
PO	Produksjonsområde
Sprut-test	Vannstrøm sprutet på immobile lakselus for å undersøke om de var i live og responderte.
<i>S. salar</i>	<i>Salmo salar</i>
Svømmeperiode	Brukt om svømmeaktivitet til lakselus fiksert i forsøket. En svømmeperiode er definert som aktiv svømming over tid utført av lusen. Dette kan variere fra en kort svømmeperiode på 0,5 sekunder til lengre svømming hvor lusene svømmer i mange sekunder og over en relativ stor avstand (begrenset av fikseringen).
TL	Total lengde

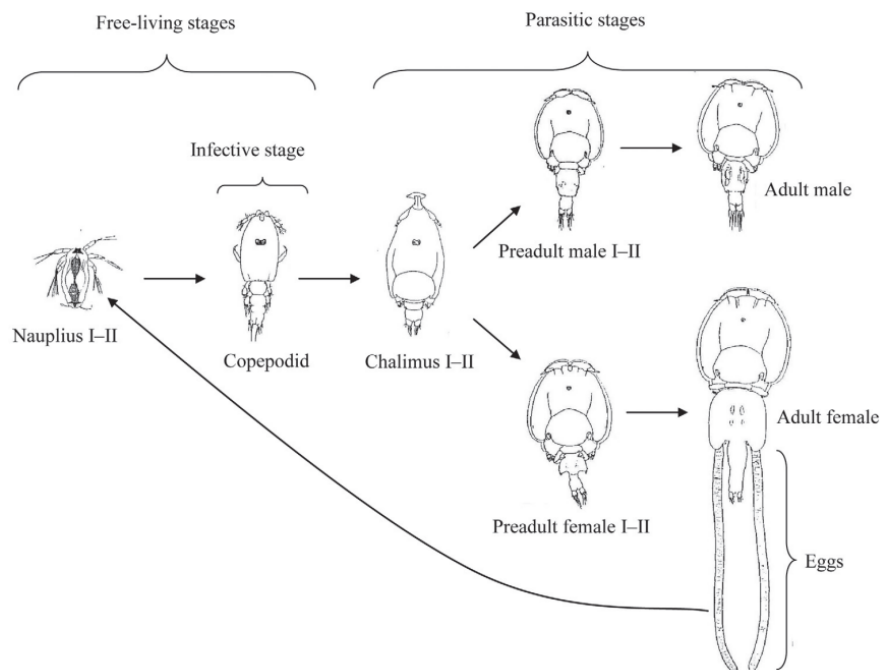
1 Introduksjon

Norge er en av de viktigste nasjonene når det kommer til eksport av sjømat. I 2023 ble det eksporterte sjømat til en samlet verdi av 172 milliarder NOK, hvorav den norske havbruksnæringen utgjorde 75%. Lakseeksporten i seg selv stod for 122,5 milliarder NOK og det ble eksportert 1,2 millioner tonn atlantisk laks (*Salmo salar*; Norges Sjømatråd, 2024). Produksjon av norsk laks er svært viktig med tanke på et økende behov for trygg og sunn mat i verden, og er sett på som en viktig brikke for å øke denne produksjonen. Oppdrettsnæringen er også viktig i Norge ved at den sysselsetter et stort antall mennesker og gir arbeidsplasser over hele landet. Det norske oppdretts-eventyret startet på slutten av 1970-tallet, da med bare et fåtall mindre produsenter. Siden da har næringen vokst enormt, og den ble raskt en viktig og verdifull næring. Veksten i næringen har stagnert de siste årene, og produksjonen av atlantisk laks har holdt seg relativt stabilt (Fiskeridirektoratet, 2024). En av hovedårsaken til dette er problematikken rundt parasitten lakselus *Lepeophtheirus salmonis* Krøyer, 1847. Lakselus parasitterer laksefisk, og er et problem for både oppdrettsfisk og vill laksefisk. Det er derfor innført en rekke reguleringer av næringen for å begrense skaden som følge av parasitten, og veksten har derfor stanset. Kunnskap om parasitten og bedre tiltak for å kontrollere den, samt redusere skadene, er derfor svært viktig for å kunne tillate økt vekst i norsk lakseoppdrett.

1.1 Lakselus

Lakselus tilhører familien Caligidae, og er en naturlig ektoparasitt som parasitterer laksefisk, Salmonidae (laks, ørret og røye; Igboeli et al., 2014). Lakselus finnes kun i havområdene på den nordlige halvkule og den har en direkte livssyklus, noe som vil si at den trenger bare en vert for å fullføre livssyklusen (Boxaspen, 2006; Kabata, 1979). Livssyklusen fra egg til voksen fertil lakselus kan deles inn i åtte ulike stadier som alle skiller ved skallskifte (Figur 1.1; Hamre et al., 2013). De åtte livsstadiene kan dele inn i to hovedgrupper: De frittlevende stadiene og de parasittiske stadiene, hvor hver gruppe består av henholdsvis tre og fem livsstadier. De frittlevende stadiene kalles også de planktoniske, dette fordi lakselusen her flyter fritt i vannmassene og driver passivt med havstrømmene. Det første livsstadiet etter egget har klekket er nauplius I og lakselusen slippes ut i de frie vannmassene. Etter en kort tid skjer det et skallskifte og nauplius I utvikler seg til nauplius II. Nauplius-stadiene har ikke tilgang på ekstern næring og spiser derfor ikke, men lever av energireserver fra egget (Tucker et al., 2000). Det tredje livsstadiet er kopepoditt-stadiet, som er det infesterende stadiet. Det er ved dette stadiet at lakselusen prøver å finne en vert den kan infestere. Kopepoditten leter etter en vert ved at den gjør en revers døgnmigrasjon, den går opp mot lyset på dagtid, og ned i dypere vann om natten (Andersen, 2020; Hagemann et al., 2024; Heuch et al., 1995). Denne migrasjonen er motsatt av den vertikale migrasjonen til vill atlantisk laks, noe som medfører at de to migrasjonene krysser hverandre to ganger i døgnet, og lakselusen har derfor større sjans for å treffe en mulig vert (Heuch et al., 1995). Hvis kopepoditten ikke finner en vert vil den til slutt dø som følge av sult. Hvis den derimot kommer i kontakt med en vert, vil den feste seg til overflaten av fisken med et frontalifilament, og den kan begynne å spise av verten (Schram, 1993). Etter en tid vil lakselusen utvikle seg

videre til chalimus I og chalimus II-stadiene, som begge er fastsittende (Hamre et al., 2013). I de fastsittende livsstadiene har ikke lakselusen mulighet til å bevege seg rundt på fisken eller mellom verter, men sitter på samme plass hele tiden grunnet frontalfilamentet (Hamre et al., 2013). Etter et visst antall dager, avhengig av temperaturen i havet, skifter lakselusen skall og blir preadult I. Det er nå mulig å skille hann- og hunnlus fra hverandre ved visuell observasjon, de har ulik størrelse og får ulik utforming av genitalsegmentet. Hunnlus får et genitalsegment med to spisser helt bakerst, mens hannlusen får et mer tønneformet genitalsegment (Boxaspen, 1993; Johnson & Albright, 1991). Preadult I blir så preadult II, før den igjen skifter skall og blir voksen kjønnsmoden lakselus. De tre siste stadiene kalles de mobile livsstadiene. Lakselusen sitter fast med vakuum og kan ved disse stadiene bevege seg fritt rundt, både på fisken og mellom vertene. Hann- og hunnlusen har samme utvikling, men hannlusen utvikler seg noen raskere enn hunnlusen (Hamre et al., 2019; Stien et al., 2005). Når lakselusen går over til voksen-stadiet blir den kjønnsmoden, og de har da mulighet til å formere seg og produsere avkom (Hamre et al., 2013; Schram, 1993).



Figur 1.1: Livssyklusen til lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) består av totalt åtte livsstadier, hvor de tre første (nauplius I – copepoditt) er frittlevende stadier og de fem siste stadiene (chalimus I – voksen) er parasittiske stadier som foregår på laksefisk (*Salmonidae*). Figuren er hentet fra Igboeli et al. (2014).

Per dags dato viser forskning at en voksen hunnlus kan produsere opptil 11 eggstrengpar i løpet av livet, og at hver eggstreng kan inneholde opptil 700 egg (Heuch et al., 2000). Det vil si at en voksen hunnlus kan gi opphav til 15 400 nauplier i løpet av livet. Men siden utviklingen og biologien til lakselus er svært temperaturavhengig vil antall egg produsert bli påvirket av temperaturen i havet. En lakselus ved lavere temperaturer vil produsere flere egg enn en lakselus ved høyere temperaturer (Samsing et al., 2016). Høyere temperatur gir en raskere utvikling og de fullfører livssyklusen på en kortere tid (Hamre et al., 2019; Samsing et al., 2016). Infestasjonssuksessen blant copepodittene er i likhet med utvikling temperaturavhengig (Dalvin et al., 2020; Dalvin & Oppedal, 2019; Samsing et al., 2016). Man observerer derfor en høyere produksjon av

lakselus i sommermånedene enn på vinteren og det er derfor et større infestasjonspress i denne perioden.

Størrelsen på lakselusen er påvirket av kjønn, hvor hunnlus er lengre og større enn hannlus. Schram (1993) har utført en studie av utviklingen og størrelsen til de ulike livsstadiene av lakselus. Resultatene fra hans forsøk viste at preadult I hunnlus har en gjennomsnittslengde på 3,6 mm, mens en preadult I hannlus i gjennomsnitt er 3,4 mm lang. Når det gjelder preadult II hunn og hann, er gjennomsnittslengden henholdsvis 5,3 mm og 4,3 mm. En voksen hunnlus er 7-11,6 mm lang og en voksen hannlus har en total lengde på 4,5-6,55 mm (Schram, 1993). Størrelsen på lakselus er ikke bare påvirket av kjønn, men også av temperatur. Den totale lengden (TL) til lakselus har en negativ korrelasjon med vanntemperaturen, noe som vil si at ved høyere temperaturer vil lakselusen bli mindre (Samsing et al., 2016).

Spredning av lakselus påvirkes både av temperatur og lokale strømmer, hvor vind ofte har stor påvirkning på strømmene i vannoverflaten. Planktonstadiene til lakselus er de viktigste stadiene for overføring og spredning av lakselus i miljøet. Disse stadiene varer i 2-4 uker og de kan da spre seg horisontalt flere titalls kilometer fra smittepunktet før de finner en vert de kan infestere (Asplin et al., 2014; Samsing et al., 2017). En rekke ulike stimuli påvirker luselarvenes bevegelse, og disse er avgjørende for at de skal kunne finne en vert. Hydrodynamiske, fysiske og kjemiske endringer som lys, salinitet, trykk, vibrasjon og lukt er stimuli lakselus reagerer på, og hjelper de med å lokalisere fisk (Mordue & Birkett, 2009). Lakselus er positiv fototaktiske, noe som vil si at de beveger seg mot lyskilder (Bron et al., 1993a; Flamarique et al., 2000). En undersøkelse gjort på svømmerespons til kopepoditter og voksne hunnlus, viser en tydelig respons til lys som blir tent. Voksne hunnlus responderte også når lyset ble slukket og de reagerer på et bredt spekter av ulike bølgelengder (Flamarique et al., 2000).

1.2 Lakselusens påvirkning på laksefisk

Lakselus er en ectoparasitt, noe som vil si at den sitter på overflaten av fisken. Her sitter den og spiser hud, slim og blod fra verten (Pike & Wadsworth, 1999). Dette fører ofte til sår og anemi hos vertsfisken. Sårne som oppstår, kan svekke osmoreguleringen til fisken. Fisken vil da ha vansker med å opprettholde riktig saltbalanse i kroppen og forbruker mer energi. Sårne kan også gi inngang for sekundære infeksjoner og det er rapportert at lakselus kan føre til økt stress hos versfisken (Fjelldal et al., 2020; Grimnes & Jakobsen, 1996). For høyt lusetrykk er også dokumentert å være dødelig for laksen (Finstad et al., 2000; Grimnes & Jakobsen, 1996).

Lakselus er, sammen med rømt oppdrettslaks, i dag sett på som den største trusselen for norsk villaks (Forseth et al., 2017; Forseth et al., 2023). Ved høyt infestasjonstrykk over flere år kan lakselus alene være en trussel mot de norske bestandene. Antall villaksbestander som er vurdert til kritisk truet som følge av lakselus har de siste årene økt, og i 2023 ble mellom 6 og 20 bestander vurdert til tapt eller kritisk truet som følge av parasitten (Forseth et al., 2023). Og ifølge Artsdatabanken har atlantisk laks siden 2021 blitt vurdert til å være «nært truet» (Hesthagen et al., 2021). En av årsaken til at lakselus gjør så stor skade på vill laksefisk, er at den utvandrende smolten fra elvene får store mengder lakselus på seg og dette påvirker dens overlevelse. I 2019 ble det beregnet et tap på innsig av vill atlantisk laks til Norge på ca. 39 000 som følge av lakselus (Thorstad et al., 2020). Norge er delt inn i 13 produksjonsområder (PO), og hvert andre år vurderes den lakselusinduserte villfiskdøden i hver av disse POene, se

avsnitt 1.3 (Vollset et al., 2022). Ved sist vurdering ble det i fem produksjonsområder (PO 2 og PO 5 – 8) vurdert en dødelighet på 10 – 30%. I PO 3 og 4 var dødeligheten vurdert til å være 30% eller mer, mens i de resterende POene (1 og 9 – 13) var dødeligheten som følge av lakselus i området vurdert til å være under 10% (Regjeringen.no, 2024).

1.3 Lakselus i norsk oppdrettsnæring

Oppdrettslaks i åpne merder er både direkte og indirekte påvirket av lakselus. Økt produksjon av oppdrettslaks i Norge har ført til at antall verter har økt betraktelig, noe som igjen har ført til økte mengder lakselus. Dette gir store problemer for de norske bestandene med vill atlantisk laks og ørret *Salmo trutta*. Konsekvensen er at det er innført en rekke begrensninger og reguleringer av næringen, for å kontrollere lusepresset bedre. Dette har begrenset veksten, og påført oppdrettslaksen redusert velferd i form av ulike tiltak satt i verk.

Trafikklyssystemet er en av disse reguleringen, hvor produksjonsveksten i hvert produksjonsområde reguleres ut fra en vurdering av lakselusindusert villfiskdød. En ekspertgruppe innhenter informasjon om lakselusens påvirkning blant annet fra planktonfeller, lusetelling gjort av næringen selv og annen datainnsamling. Næring- og Fiskeridepartementet tar den endelige avgjørelsen basert på vurderingen og bestemmer endringen i produksjonsvolum i hver av POene de neste to årene (Vollset et al., 2022). Dersom mindre enn 10% av villfiskdødeligheten er vurdert til å skyldes lakselus kan det åpnes for en økning i produksjon på 6% (grønn). Er dødeligheten hos vill utvandrende laksesmolt beregnet til å være mellom 10-30%, holdes produksjonen slik den er (gul). Men er det beregnet en dødelighet på 30% eller mer på grunn av lakselus (rød), må produksjon i det aktuelle området reduseres med 6% de to kommende årene (Produksjonsområdeforskriften, 2021).

En annen regulering som er innført for å kontrollere mengden lakselus i miljøet er at det i alle åpne oppdrettsanlegg er satt en øvre grense på antall voksne hunnlus per fisk. Dette kontrolleres ved at oppdrettselskapene må telle antallet lakselus på minst 10 eller 20 tilfeldige fisk per merd, avhengig av sesong og region. Er temperaturen i sjøen under 4 °C er det krav om å telle lakselus hver 14. dag (Forskrift om lakselusbekjempelse, 2016). Grensen for antall voksne hunnlus, i gjennomsnitt per fisk, er satt til 0,5 for store deler av året. I en seksukersperiode om våren, når vill laksesmolt vandrer ut i havet, er denne grensen redusert til 0,2. I Nord-Trøndelag og sørover er denne perioden fra uke 16 til uke 21, mens for Nordland, Troms og Finnmark er 0,2 grensen satt i ukene 21-26 (Forskrift om lakselusbekjempelse, 2016). Oppdretterne er pliktig til å holde seg under disse grensene, og hvis nødvending må de iverksette tiltak for å ikke overskride dem (Forskrift om lakselusbekjempelse, 2016). Tiltak som kan være aktuell ved for høyt lusestrykk er tidlig utslakting og/eller avlusning av oppdrettsfisken. Iversen et al. (2017) beregnet at næringen hadde direkte kostnader tilsvarende rundt 5 milliarder NOK knyttet til bekjempelse av lakselus i 2016. Indirekte kostnader knyttet til redusert tilvekst, redusert velferd, tidligere slakt og økt dødelighet som følge av lakselus og avlusning er ikke tatt med og de reelle kostandene var trolig betraktelig høyere. For å unngå avlusning har mange oppdrettere satset stort på forebyggende og kontrollerende tiltak slik at de holder lusestrykket nede og ikke kommer over de fastsatte grensene.

1.4 Forebyggende og kontrollerende tiltak

I dag tas det i bruk mange ulike forebyggende og kontrollerende tiltak for å hindre et for høyt lusestrykk i merdene. Forebyggende tiltakene prøver å fysisk skille luselarvene og oppdrettsfisken. Mens de kontrollerende tiltakene reduserer mengden lakselus på fisken, uten at fisken trengs å håndteres, som ved en avlusning.

Et forebyggende tiltak som er mye brukt, er skjermingsteknologi. Snorkelmerd, luseskjørt og nedsenkede merder er eksempler på skjermingsteknologi brukt i dag. Disse tre metodene har som hensikt å skjerme oppdrettsfisken fra kopepoditter i de øvre meterne av vannsøylen, hvor luselarvene ofte finnes i et høyere antall (Heuch et al., 1995). Snorkelmerd og nedsenkede merder fungerer ved at de presser fisken dypere i vannet, under det såkalte lusebeltet. Luseskjørt har en tett/semipermeabel barriere rundt den øvre delen av merden og hindrer dermed luselarvene i å trenge inn i merden. Både snorkelmerd og luseskjørt er tiltak som har vist seg å være effektive med tanke på å redusere infestasjonstrykket i merden (Barrett et al., 2020a).

Et kontrollerende tiltak som i dag brukes mot lakselus er rensefisk som spiser parasitten av oppdrettslaksen/-ørreten. De to vanligste artene som blir brukt i norsk oppdrettsnæring er rognkjeks *Cyclopterus lumpus* og grønngylt *Symphodus melops* (Sommerset et al., 2024). Effekten av rensefisk er mye diskutert, og det ser ut til at kun få oppdrettere har god effekt ved bruk av rensefisk og at man i mange tilfeller ikke oppnår ønsket effekt (Barrett et al., 2020b). Men det er også observert tilfeller hvor rensefisk har god effekt, og hvor tiden før man når 0,1 voksne hunnlus per fisk i begynnelsen av en produksjonssyklus øker ved bruk av rensefisk (Jevne & Reitan, 2019). Helse- og velferdsutfordringer sammen med en presisering av regelverket om utsortering av rensefisk før f.eks. lusebehandling, har ført til at rensefisk i stadig mindre grad brukes som et kontrollerende tiltak (Sommerset et al., 2024).

Luselaser er ett av de kontrollerende tiltakene som har tatt over. Laseren fungerer ved at den plasseres i merden sammen med fisken, hvor de detekterer lakselus på fisken og skyter dem med laserstråle (Stingray, 2024). Selv om de forebyggende og kontrollerende tiltakene til en viss grad holder infeksjonstrykket nede, må oppdrettere ofte utføre en eller flere avlusninger i løpet av en produksjonssyklus.

1.5 Avlusningsmetoder

Avlusning av oppdrettsfisk brukes for å fjerne lakselus på fisk i anlegg der mengden lakselus har, eller nesten har, overskredet de fastsatte grensene. Avlusningsmetodene som brukes i dag kan deles inn i to hovedgrupper: de medikamentelle behandlingene og de ikke-medikamentelle metodene (IMM). Totalt ble det i 2023 gjennomført 3583 behandlingsuker. Behandlingen er registrert som uker, siden oppdretteren kun er pliktig å melde inn om gjennomførte avlusningsbehandlinger ukentlig (Sommerset et al., 2024).

1.5.1 Medikamentell behandling

I 2023 ble det gjennomført 974 uker med medikamentell behandling av atlantisk laks (Sommerset et al., 2024). De medikamentelle avlusningsbehandlingene bruker medisiner eller kjemikalier for å behandle laksen mot lakselus. Medisinene brukt i behandlingen kan enten gis i fôret eller de kan løses opp i vann før fisken bades i dette, noe som kalles badebehandling (Burridge et al., 2010). Badebehandling kan enten gjennomføres ved at fisken trenges i en del av merden og det blir trukket en presenning under og rundt, slik

at man får et lukket volum og medisinen tilsettes. Eller det kan gjennomføres ved å trenge fisken i merden før den pumpes over i en brønnbåt som inneholder avlusningsløsningen (Overton et al., 2019). De siste årene har man registrert at lakselus har utviklet resistens mot flere legemidler, og effekten av disse har derfor avtatt (Helgesen et al., 2023; Aaen et al., 2015). Dette, sammen med et økt fokus på miljøeffektene av slike midler, har ført til at flere og flere oppdrettere går bort fra medikamentelle avlusning og heller tar i bruk ikke-medikamentelle avlusningsmetoder.

1.5.2 Ikke-medikamentelle avlusningsmetoder (IMM)

Ikke-medikamentelle avlusningsmetoder (IMM) utsetter laksen og lakselusen for en fysisk endring som gjør at lakselusen faller av. I dag er det tre ulike IMM som er vanlig ved avlusning av oppdrettsfisk; ferskvann, mekanisk (spyling og/eller børsting) og termisk (varmtvann) avlusning. Hver av avlusningsmetoden kan enten gjøres alene eller man kan kombinere to eller tre av disse, og i 2023 ble det gjennomført 2609 uker med IMM. Felles for dem alle er at fisken må trenge i merden før de blir pumpet over i en brønnbåt og/eller et avlusningssystem for behandling. IMM fører ofte til stor påkjenning hos oppdrettslaksen, og per i dag er ikke-medikamentell behandling rapportert som den største velferdsutfordringen i produksjon av laks (Sommerset et al., 2024).

Ferskvannsavlusning er trolig den mest skånsomme av de ikke-medikamentelle avlusningsmetodene med tanke på fiskevelferden (Båtnes et al., 2024). Denne avlusningsmetoden gjennomføres ofte ved at oppdrettsfisk overføres til en brønnbåt som er fylt med ferskvann. Her oppholder fisken seg i 6-12 timer, slik at lakselusen faller av eller dør som følge av at de får problemer med å opprettholde den osmotiske balansen. Etter avlusningen blir fisken satt tilbake i sjøen, mens lakselusen som har falt av blir filtrert ut (Guttu et al., 2024; Holan et al., 2017).

Termisk avlusning gjennomføres ved at fisken pumpes over i et avlusningssystem, der den blir utsatt for sjøvann med høy temperatur (28-34 °C) i en periode på inntil 30 sekunder før den settes tilbake i merden. Den høye temperaturen fører til at mobil lakselus som sitter på fisken slipper og man kan filtrere de ut (Holan et al., 2017). Høy temperaturer og store temperaturforskjeller gjør at fisken blir stresset og kan pådra seg mekaniske skader, noe som igjen gir dårlig fiskevelferd. Studier viser at atlantisk laks viser smerteatferd ved temperaturer over 28 °C, og at fisk dør/er døende etter få minutter ved denne temperaturen eller høyere (Nilsson et al., 2019; Roth, 2016).

Mekanisk avlusning er en samlebetegnelse på flere behandlingsmetoder der fisken og lakselusen utsettes for en mekanisk kraft. De vanligste mekaniske metodene er børsting, spyling eller en kombinasjon av disse. Disse avlusningsmetodene påfører fisken store påkjenninger, og gir redusert velferd (Holan et al., 2017). Mekanisk avlusning er den mest brukte avlusningsmetoden, og i 2023 ble det gjennomført 980 uker med rene mekaniske avlusninger (Sommerset et al., 2024).

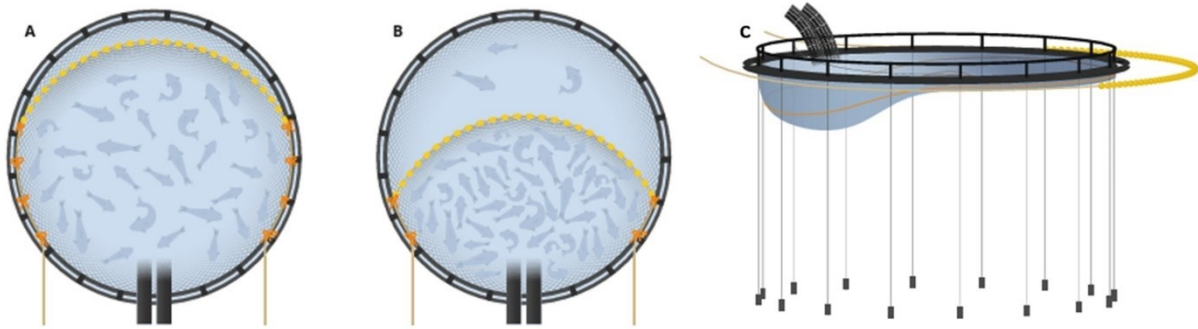
1.6 Trenging av oppdrettslaks i merden

Trenging av oppdrettsfisk i merden er en helt nødvendig prosess når fisken skal håndteres, uansett om dette er i forbindelse med avlusning, sortering av fisk eller transport av slakteklar fisk til slakteriet. Hensikten med trengingen er at den gir økt tetthet og fisken presses mot innsuget, noe som gjør at det blir lettere å pumpe fisken ut av merden. I dagens lakseoppdrett er det to vanlige trengemetoder som benyttes,

orkastnot og kuleline (Nersten, 2021). Orkastnot fungerer ved at man bruker en ekstern not/nettvegg til å presse en del av fisken i merden sammen mot deler av nettvegg og innsuget, og dermed skaper et mindre volum (Figur 1.2). Kuleline eller kulerekke fungerer på en annen måte ved at man bruker merdeposen i seg selv til å trenge fisken, ved at en kulerekke trekkes under notposen og dermed skaper en lomme med et mindre volum (Figur 1.2C; Nersten, 2021). Selv om dette er velfungerende måter å få oppdrettsfisken pumpet ut av merden på, er det også stilt spørsmål om det kan medføre at lakselus spres i vannmassene. Årsaken til mulig spredning er at trengingen fører til en så stor tetthet av fisk at de i mye større grad kommer i kontakt både med hverandre og noten, noe som kan føre til at lakselus faller av og spres.

Et tidligere studium har rapportert at 40% av parasittiske lakselus som sitter på fisken kan falle av under trenging i merden (Powell et al., 2015). Guttu et al. (under review) rapporterer også om liknende funn, hvor det ble observert en reduksjon på 22% for preadult/voksen hannlus og 29% for voksne hunnlarver etter trenging sammenliknet med før trenging. Oppedal et al. (2024) rapporterer at lakselus faller av, men de fant en reduksjon på 10 – 38% av den bevegelige lakselusen under denne prosessen. Studien fant også at små lakselus faller mer av enn stor lakselus, noe som vil si at preadult lakselus i større grad faller av enn voksne.

Mobil lakselus som faller av fisken under trenging, blir derfor ikke samlet opp som under avlusningsprosessen, men kan spre seg i de frie vannmassen. Det antas at lakselus som har falt av verten har mulighet til å infestere ny fisk enten innad i anlegget eller andre nærliggende anlegg ved at de driver med havstrømmene. En tidligere studie viser en økning i antall mobile lakselus kort tid etter en avlusning, noe som tyder på at lakselus som har falt av fisken kan reinfestere på nytt (Guttu et al., under review). Mobil lakselus i de frie vannmassene vil derfor også være en smittekilde for vill laksefisk i området. Selv om det er vist at lakselus faller av fisk i merden, er det per nå liten kjennskap til hvordan denne lakselusen håndterer å være uten vert. Økt kunnskap rundt hva som skjer med lakselus som faller av verten vil være viktig for næringen, og vil kunne bidra til at oppdretterne tar bedre beslutninger som reduserer infestasjonstrykket. Det økende velferdsproblemet hos oppdrettsfisken som følge av hyppig avlusning vil også kunne reduseres dersom man tar i bruk teknologi som hindrer spredning av mobil lakselus under trenging. Denne studien har derfor et ønske om å skaffe mer kunnskap på området, gjennom forsøk på overlevelse, svømmekapasitet og reinfestasjon hos mobil lakselus (preadult og voksen) som har mistet verten sin.



Figur 1.2: Illustrasjon av metoder for trenging av oppdrettslaks i merden. A og B viser trenging med orkastnot, C viser trenging med kuleline. Figurene er hentet fra Nersten (2021).

1.7 Mål med studien

Målet med denne studien var å få bedre kunnskap om hva som skjer med mobil lakselus som mister verten. For å finne ut hvordan lakselus håndterer å være uten vert, ble det etablert tre forskningsspørsmål:

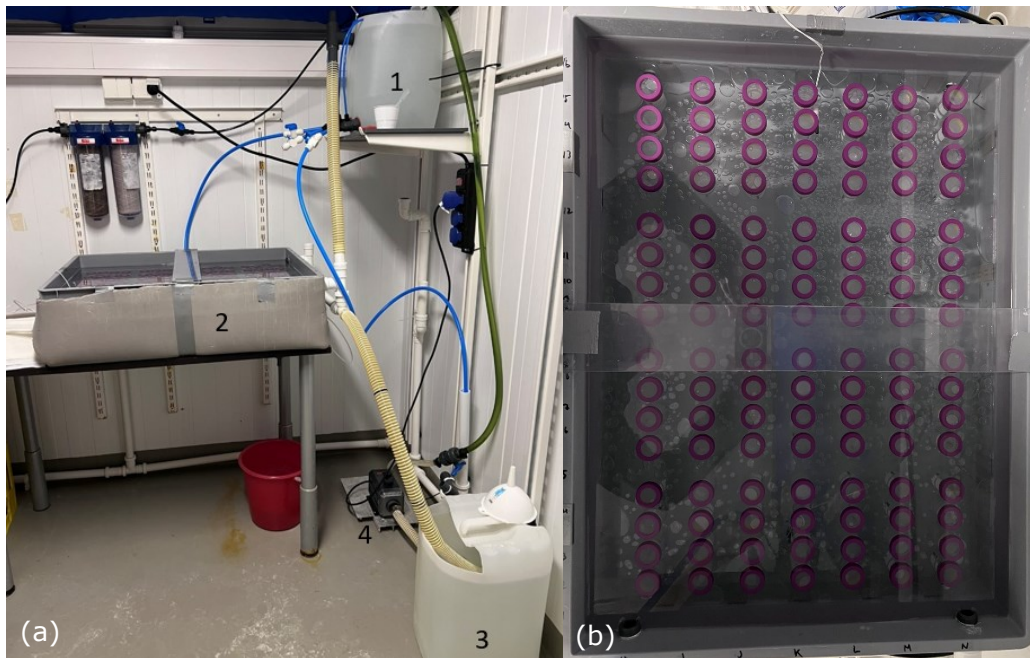
- I. Hvor lenge overlever mobil lakselus (preadult og voksen) etter de har mistet verten?
- II. Hvor lenge kan mobil lakselus (preadult og voksen) aktivt svømme etter å ha mistet verten og hvor aktive er de i denne perioden?
- III. Kan mobil lakselus (preadult og voksen) som har mistet verten, reinfestere en ny vert og har varigheten på tiden uten vert noe å si for reinfestasjonsuksessen?

2 Materiale og metode

Alle forsøkene i denne studien er gjennomført på NTNU Sealab, Trondheim, og med mobile lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*; preadult I, preadult II og voksen). Det er gjennomført tre ulike forsøk basert på forskningsspørsmålene stilt ovenfor: En studie av overlevelsen til mobil lakselusen uten vert, et eksperiment for å se på svømmekapasiteten hos preadult II hunnlus, voksen hann- og hunnlus i tiden etter de mister verten og en studie av reinfestasjon av ny vert.

2.1 Lakselus brukt i studien

Lakselus brukt i denne studien kommer fra NTNU Taskforce Lakselus sin kultur holdt på NTNU Sealab, Trondheim. Lusekulturen som er benyttet stammer fra en generasjon morlus hentet fra et oppdrettsanlegg i PO6 i Midt-Norge 25. mai 2023. Hunnlus ble plukket og lagt i rør med sjøvann, og ved ankomst Sealab ble eggstrengene fra disse hunnlusene plukket med pinsett og lagt parvis i inkubatorrør for klekking. På hvert inkubatorrør (50 mL Falcon polypropylen conical tubes) var bunnen kuttet av, og det var sveiset en planktonduk (150 μm) til bunnen. Korken var også kuttet i toppen og det ble lagt en planktonduk (150 μm) mellom rør og kork, slik at vann kunne strømme gjennom dem. Rørene ble så plassert i et inkubasjonsoppsett (Figur 2.1), der de fikk gjennomstrømming av filtrert sjøvann. Oppsettet besto av en kasse (60×80cm) hvor det var montert en plexiglassplate med hull i for inkubasjonsrørene. Platen dekket hele kassen og var tett rundt kantene, noe som gjorde at vannet som kom inn på undersiden av platen, måtte gå opp gjennom rørene og ut av kassen. Vannet som rant ut av kassen rant ned i et reservoar, og det ble videre pumpet opp igjen til et nytt reservoar. I dette reservoaret rant noe av vannet ut i via et overløp, og nytt filtrert sjøvann ble tilsatt. Vannet rant så videre ned og inn på undersiden av rørene og plata. Her ble vannet presset opp gjennom rørene og ut av kassen igjen. På denne måten ble noe av vannet resirkulert, samtidig som nytt vann ble tilsatt, og man fikk en jevn strøm av sjøvann gjennom inkubasjonsrørene (Figur 2.1). For en mer utfyllende forklaring på hvordan inkubasjonsoppsettet fungerte se Furberg (2022).



Figur 2.1: (a) Inkubasjonsoppsett brukt til klekking av eggstrenger, overlevelsesforsøk og reinfestasjonforsøket med mobil lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*). Oppsettet besto av to vannreservoar (1 og 3), en inkubatorboks med inkubatorrør (2) og ei resirkuleringspumpe (4). (b) Bilde tatt ovenfra som viser inkubasjonsrørene plassert i plexiglassplaten.

Når eggene var klekket og de hadde utviklet seg til kopepoditter, noe som tok 3-4 dager ved en temperatur på 10-12 °C (Hamre et al., 2019), ble et utvalg kopepoditter brukt til oppsmitte av atlantisk laks. Oppsmittingen av laksen ble gjennomført ved at vannet i karet ble tappet ned til ca. 1/3 av det totale volumet og vannstrømmen ble redusert til ca. 3 L/min. Kopepodittene ble så tilsatt, og etter ca. 45 minutter ble vannstrømmen skrudd opp igjen til normalen, 6-10 L/min. Når disse kopepoditten (f1-generasjon) hadde utviklet seg til voksne lakselus, ble vertsfisken bedøvet og eggstrenger fra de voksne hunnene plukket. Disse eggene ga opphav til f2-generasjonen lakselus. Inkubasjon, klekkingen av eggstrengene og oppsmittingen av laks med f2-generasjon ble gjort på samme måte som for f1-generasjon. F1- og f2-generasjonen av denne lakseluslinja er de generasjonene som er benyttet i forsøkene presentert i denne studien, med unntak av 11 preadulte lakselus. Disse 11 hadde et annet opphav og var brukt i et annet forsøk, men hadde de de samme miljøforholdene som lusekulturen.

Atlantisk laks brukt som vertsfisk for lusekulturen var 250-700 gram og ble holdt i 450 L kar (B95×L95×D50cm) i klimarom. Karene hadde gjennomstrømming av filtrert sjøvann (6-10 L/min) hentet fra Trondheimsfjorden, hvor innløpet var på 70 meter dyp og 800 m fra strandlinjen. Lysregimet var konstant lys (24t lys:0t mørke), mens salinitet og vanntemperatur varierte med de naturlige svingningene i fjorden. Fisken ble automatisk fôret med 2 mm Nutra Olympic pellets fra Skretting, fôrmengden var ca. 1% av den totale biomassen i karet per døgn. Laksen som ble holdt med lusekultur hadde daglig røkting i hele perioden.

Vertsfisken ble kun håndtert når lakselus skulle plukkes fra dem. Dette ble gjort ved at en og en laks ble håvet fra karene og lagt i en bønne med bedøvelse. Bedøvelsen besto av 0,5 mg/L metomidate hydrochloride (Aquacalm.vet) og 0,25 mL/L benzokain

(Benzoak.vet) løst i 5 L sjøvann. Når fisken var helt bedøvet, ble fisken tatt opp av bedøvelsen og lagt i en plastbakke med litt sjøvann. Her ble lakselus plukket med pinsett, før laksen ble satt tilbake i karet. Denne metoden for håndtering og bedøving er benyttet på all vertsfisk i denne studien.

2.2 Overlevelse uten vert

Mobile lakselus (preadult og voksen) ble forsiktig plukket av laksen med pinsett og lagt i veieskip, petriskåler eller brønnbrett med sjøvann. De preadulte lakselusene ble alle lagt enkeltvis i petriskåler eller i brønnbrett, fordi livsstadiene måtte stadfestes via bilde. Hvordan livsstadiet ble klassifisert er presentert i avsnitt «2.2.1. Klassifisering av preadult lakselus». Ett unntak var 11 preadulte lakselus ikke ble tatt bilde av, men som ble klassifisert basert på utseende, tiden fra oppsmitte og temperatur i karet, i henhold til tabell 4 i Hamre et al. (2019). Lakselusene ble så overført med pinsett til hvert sitt inkubatorrør, og rørene ble deretter satt i inkubasjonsoppsettet (Figur 2.1). Hver lakselus brukt i overlevelsesforsøket ble håndtert så lite og skånsomt som mulig, for å ikke påvirke dens overlevelse. Lakselusene i inkubasjonskassen var utsatt for kontinuerlig lys (24t lys:0t mørke) i hele perioden de var i live.

Overlevelsen til lakselusene i inkubasjonsrørene ble registrert daglig frem til alle var døde. Dette ble gjort ved at en hodelykt ble benyttet til å lyse ned i inkubasjonsrørene for å observere lakselusene. Lakselus som satt på veggen av røret eller svømte rundt, ble klassifisert som i live. Der lakselusen lå stille på bunnen, ble røret tatt ut av inkubasjonskassen og plassert i en kopp med sjøvann, slik at lusen hele tiden var under vann. Inkubatorrøret ble så åpnet og lakselusen ble utsatt for en «sprut-test» med sjøvann. Sprut-testen ble gjennomført ved at en 3 mL plastpipette ble fylt med vann og det ble sprutet en vannstrøm direkte på den immobile lakselusen, samtidig som den fortsatt lå i vannet. Lakselusen ble utsatt for vannstrøm/sprut frem til den viste en reaksjon eller til det var gjennomført fem (5) sprut uten reaksjon. Uten reaksjon ble lakselusen klassifisert som ikke-reagerende/død og røret med lakselusen ble satt tilbake i inkubatorrøret. Hvis lakselusen heller ikke reagerte på sprut-testen dagen etter ble den merket som død og fjernet fra røret. Sprut-testen ble altså gjennomført to dager på rad på en og samme lakselus for å verifisere at den var død før den ble fjernet. Dag for død ble satt til den første dagen den ble klassifisert som ikke-reagerende.

Saliniteten i reservoar 3 (Figur 2.1a) ble målt daglig med en oksygen/salinitetsmåler påmontert en ODO/CT probe (ProSolo, YSI inc.). Vanntemperaturen i inkubasjonskassen ble også registrert daglig fra et labtermometeret (TFA LT-102, Impex Produkter). Forsøket ble gjennomført i to perioder. Det var en gjennomsnittlig temperaturforskjell på 1,8 °C mellom de to periodene. Overlevelsesforsøket er derfor delt i to, der den ene perioden hadde en gjennomsnittstemperatur på 11,8 °C (11,3-12,0 °C; min-maks), fra nå av referert til som 12 °C. Den andre perioden hadde en gjennomsnittstemperatur på 10,0 °C (9,4-10,4 °C, min-maks). Hann- og hunnlus ved alle de tre mobile stadiene, preadult I, preadult II og voksen, ble inkubert ved 12 °C, mens ved 10 °C ble kun preadult I hannlus, preadult II hannlus, voksen hannlus og voksne hunnlus inkubert.

2.2.1 Klassifisering av preadult lakselus

Å skille voksen lakselus fra preadult lakselus kan i de fleste tilfeller gjøres kun ved det visuelle, men dette er ikke mulig å gjøre for å skille de to preadulte livsstadiene. Det er

derfor nødvendig å måle lengden på dem for å bestemme om de er preadult I eller preadult II. De preadulte lakselusene ble tatt bilde av (iPhone 13 Pro) gjennom ei stereolupe (16x forstørrelse; LEICA M80). Bildene ble analysert ved bruk av ImageJ versjon 1.54i (W. Rasband, National Institutes of Health, USA), der den totale lengden (TL) i mm ble målt basert på en skala satt fra mm-papiret plassert under individene. TL ble målt etter prosedyren presentert i Hamre et al. (2013), og er vist i Figur 2.2. Hver enkelt preadult lakselus ble gruppert i preadult I eller preadult II basert på utseende og den totale lengden. Tabell 2.1 viser de ulike intervallene av den totale lengden brukt til å stadfeste livsstadierne og baserer seg på størrelsene publisert i Schram (1993) og Johnson og Albright (1991)



Figur 2.2: Måling av den totale lengden (TL) til mobil lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*), ref. Hamre et al. (2013).

Tabell 2.1: Lakselusens (*Lepeophtheirus salmonis*) totale lengde (TL) i mm, brukt til å stadfeste hvilket mobil livsstadium individene tilhørte. Tallene baserer seg på data fra Schram (1993) og Johnson og Albright (1991).

Livsstadium	Total lengde, TL (mm)	
	Hann	Hunn
Preadult I	2,7 – 3,6	3,3 – 3,8
Preadult II	3,75 – 4,5	4,48 – 5,97
Voksen	> 4,5	> 7

2.3 Svømmekapasitet hos mobil lakselus

Svømmekapasitetsforsøkene ble gjennomført med preadult II hunnlus, voksne hannlus og voksne hunnlus.

2.3.1 Forsøksoppsett brukt i svømmekapasitetsforsøkene

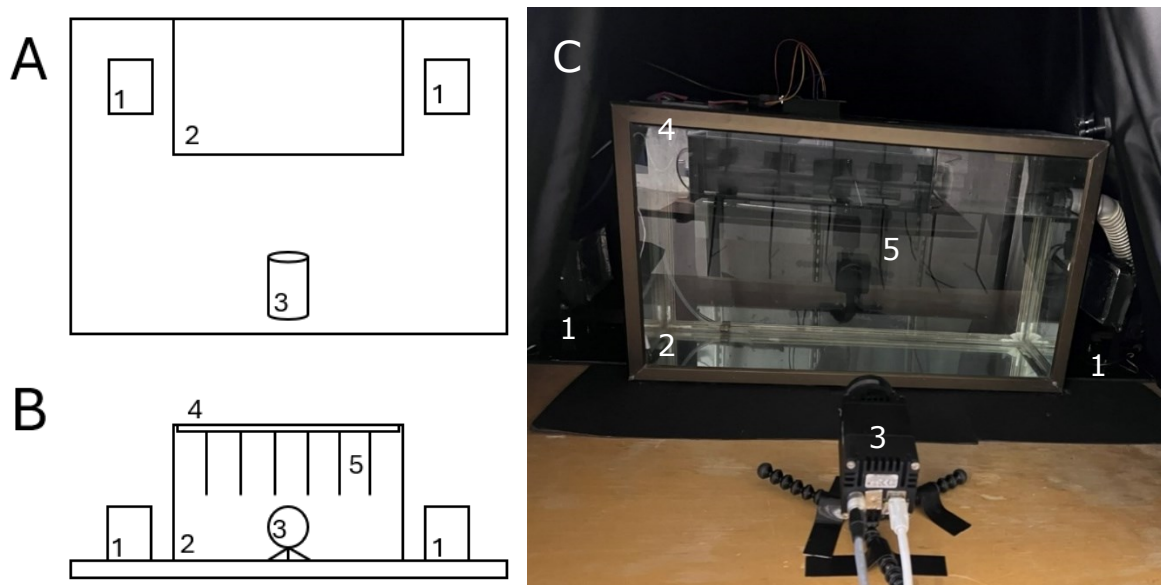
Forsøksoppsettet som ble utviklet og brukt her, var plassert i et klimaregulert rom, som holdt en temperatur på ca. 14 °C. Oppsettet besto av et akvarium (L60xH35xB25cm) fylt med 32,6 L filtrert sjøvann. På hver kortsida av akvariet var det plassert en infrarødluskaster (IR30, SmartProdukter Norge AS, bølgetopp på 844 nm) som lyste opp innholdet i akvariet og gjorde det mulig å filme lakselusene (Figur 2.3 og 2.4). 30 cm

foran akvariet var det plassert et IR-sensitivt kamera, Oryx 5.0 MP Mono 10GigE (Sony IMX250). Kameraet var styrt fra en stasjonær lab-PC, via programvaren Spinnaker® SDK (FLIR), og kameraet var stilt inn til å filme 30 bilder per sekund. På toppen av akvariet var det påmontert et lokk med en LEDstripe (72 RGB dioder; 5V dc RGB LED Strip Light, Adafruit Industries) festet til undersiden (Figur 2.3). LEDstripen var programmert og styrt gjennom Arduino uno Rev 3 fra en stasjonær lab-pc. Den var programmert til å blinke med blått lys i 0,5 sekunder etterfulgt av 3 sekunder mørke, fra den ble startet til den ble stoppet. Det blå lyset ble målt til å ha en bølgetopp på 462 nm og en integrert intensitet på 0,151 W/m² (µSPEC lyssensor utstyrt med en plan bestrålingssensor, In-situ marine optics). Basert på likningen presentert i Baker og Romick (1976) ble intensiteten på det blå lyset omregnet til å være 0,584 µmol fotoner/m²/s.

Blått lys ble valgt på bakgrunn av lys-tester gjort før forsøket som del av forberedelsene til studien. Observasjoner gjort under testene viste at blått lys ga mest svømmereaksjon hos lakselusene. Et lysintervall på 0,5 sek ble valgt på bakgrunn av at man ønsket et kort blink, noe som best simulerer en naturlig lysrefleksjon fra en eventuell vert i naturen.

Seks oppheng til lakselusene ble laget av ståltråd formet som en L. På toppen av L-en ble det laget en liten bøy, slik at de kunne henge over kanten på akvariet. Til enden på den nedre delen av L-en ble det limt (LOCTITE Super Glue Precision) en 4 cm lang sytråd (Flak 100% polyester) som var splittet i to for å få en enda tynnere og mer fleksibel tråd. Når lakselusene var fiksert til polyestertråden, ble L-ene plassert i akvariet med 8 cm mellomrom (Figur 2.4). Hele oppsettet, inkludert IR-lys, akvariet og kameraet var dekket med en lystett duk, slik at lakselusene ikke ble påvirket av eventuelle andre lyskilder og bevegelser i rommet.

Akvariet var koblet til en vannpumpe (Watson Marlow 505U), som pumpet nytt filtrert sjøvann inn i akvariet. Pumpen var koblet til et tidsur (SE-19405, RUSTA), slik at nytt sjøvann (20 mL/min) kun ble tilført i tidsperiodene mellom forsøkene (09.00-13.00, 15.00-18.00 og 21.00-07.00). Vannet ble hentet fra et reservoar plassert under oppsettet, og hadde tilnærmet lik temperatur som rommet, ca. 14 °C. Akvariet hadde et overløp, noe som gjorde at samme mengden vann som ble pumpet inn også rant ut av akvariet. Temperaturen i akvariet ble loggført minst en gang per dag i hele forsøksperioden (Tabell 2.2; TFA LT-102, Impex Produkter). Saliniteten i akvariet ble registrert to ganger i hvert del-forsøk, en gang ved forsøksstart og en gang ved avslutningen av forsøket (Tabell 2.2; ProSolo Optical Dissolved Oxygen Meter med ODO/CT probe, YSI inc.).



Figur 2.3: En skjematisk fremstilling av forsøksoppsettet brukt for filming av svømmekapasiteten hos mobil lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) sett ovenfra (A), forfra (B) og bilde av oppsettet tatt forfra (C). Oppsettet besto av to infrarøde lyskastere (1), et akvarium (2), et infrarød-sensitivt kamera (3), LED-stripe i lokket på akvariet (4) og seks oppheng til lakselus (5).

Tabell 2.2: Gjennomsnittstemperatur (°C; målt minst en gang per dag), samt minimums- og maksimumstemperatur registrert i svømmekapasitetsforsøkene med preadult II hunnlus, voksen hannlus og voksen hunnlus (*Lepeophtheirus salmonis*). Saliniteten (ppt) i akvariet ble målt en gang før start og en gang etter forsøkene ble avsluttet.

Livsstadium	Temperatur (°C)			Salinitet (ppt)	
	Gjennomsnitt	Minimum	Maksimum	Før	Etter
Preadult II hunnlus	13,9	13,1	14,4	33,35	32,92
Voksen hannlus	13,6	13,4	13,9	33,21	33,05
Voksen hunnlus	13,5	12,0	13,9	30,81	33,37

2.3.2 Gjennomføring av svømmekapasitetsforsøkene

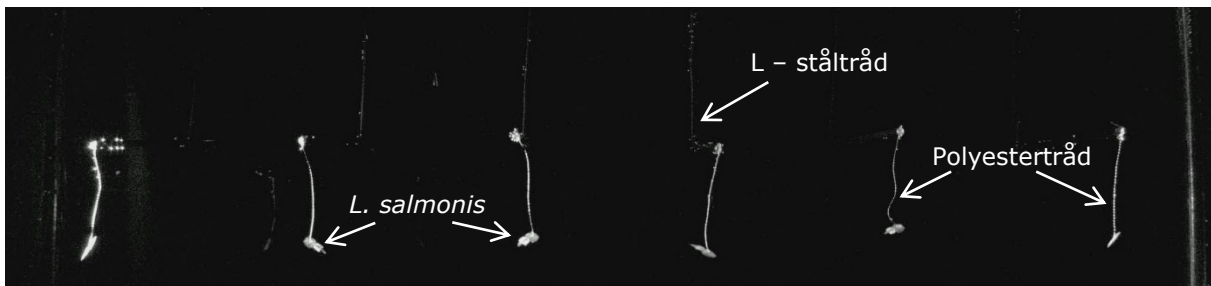
Svømmekapasitetsforsøket ble gjennomført i tre runder, en runde preadult II hunnlus, en med voksne hannlus og en med voksne hunnlus. Seks individer av hvert livsstadium ble plukket av bedøvet atlantisk laks, som beskrevet i avsnitt 2.1. Hver lakselus ble overført til petriskåler med litt sjøvann. Etter kort tid ble lusene tatt ut og lagt med ventral side ned på et flatt underlag i en liten vanddråpe. Enden av polyestertråden som var limt til L-ståltråden (se avsnitt 2.3.1) ble så dyppet i en dråpe lim (LOCTITE Super Glue Precision) før den ble limt til lakselusens cephalothorax. Tråden ble limt bak øyet, men fremfor genitalsegmentet slik at limet ikke hemmet lakselusens svømmebevegelser. Når limet var tørket og lakselusen hang fast til polyestertråden, noe som tok omtrent ett minutt, ble L-en plassert i akvariet. Totalt seks slike oppheng med lakselus i hver gruppe ble plassert i akvariet (Figur 2.4) og hele oppsettet ble dekket til med en lystett duk.

Etter en akklimatiseringsperiode på 1-1,5 time i mørket, ble første filming av svømmekapasiteten gjennomført (dag 0). Det ble gjennomført tre filminger per dag i faste tidsrom (08.00-09.00, 14.00-15.00 og 20.00-21.00). Oppstart av forsøkene var kl.

13-14.00, det ble derfor gjennomført kun to filminger på dag 0 for alle rundene. Hver film varte i 7 minutter, og etter omtrent tre minutter filming i mørke, ble lakselusene utsatt for lysstimuli som beskrevet i avsnitt 2.3.1. Det blinkende blå lyset varte i omtrent ett minutt før det ble skrudd av. De resterende 3 minuttene ble filmet i mørke.

Svømmekapasitetsforsøkene ble avsluttet når ingen av de seks lakselusene viste noen form for bevegelse i en og samme film. I forsøket med preadult II hunnlus ble det på de to siste dagen kun filmet en gang per dag (08.00-09.00), da hadde forsøket vart i 17 dager og det var bare en lakselus som var aktiv. Antall filminger ble ikke redusert i forsøkene med voksne hannlus og voksne hunnlus. Totalt varte forsøket med preadult II hunnlus i 20 dager, voksne hannlus i 7 dager og voksne hunnlus i 8 dager. Mellom hver forsøksrunde ble vannet i akvariet skiftet med nytt filtrert sjøvann.

I forsøket med voksne hunnlus, hang den ene hunnlusen seg opp på L-ståltråden. Dette skjedde på dag 1, og den ble derfor rett etter filmingen kl. 08.00-09.00 tatt ut og knuten løsnet, slik at den hang fritt i vannet igjen. Frigjørelsen ble gjennomført på en slik måte at den ble utsatt for så lite lys som mulig. De resterende fem lakselusene i akvariet ble ikke utsatt for lysforurensning og var under hele prosessen tildekket med en lystett duk.



Figur 2.4: Skjermfoto fra en av svømmekapasitet-filmene med voksne hunnlus (*Lepeophtheirus salmonis*). Individene var fiksert på en 4 cm polyestertråd festet til en L-ståltråd plassert over kanten på akvariet. På hver side av akvariet var det plassert IR-lys og foran var det montert et IR-kamera, noe som gjorde at man kunne observere lakselusene på filmene selv om de var plassert i mørke.

2.3.3 Analyse av filmene fra svømmekapasitetsforsøkene

Alle filmene fra svømmekapasitetsforsøket ble manuelt analysert. Videoanalysen ble gjennomført i VLC media player (versjon 3.0.20) oppgradert med «Time v3.2». Totalt ble det filmet 104 filmer à 7 minutter; 57 filmer med preadult II hunn, 22 med voksen hann og 24 med voksen hunn. Analysen ble gjort på 6 minutter av hver film; 2,5 minutter før lyset ble satt på, 1 minutt under blinkende lysstimuli og 2,5 minutter i mørke etter.

Antall svømmeperioder før, under og etter stimulusen ble registrert for hver enkelt lakselus i hver film. En svømmeperiode er definert som aktiv svømming over tid utført av lusen. Dette kan variere fra en kort svømmeperiode på 0,5 sekunder til lengre svømming hvor lusen svømmer i mange sekunder og over en relativ stor avstand (begrenset av fikseringen). Svømmeperiodene ble skilt ved at lakselusene enten hang i ro når bevegelsen startet, eller den var rolig og ble passiv dratt tilbake av polyestertråden, og en ny svømmeperiode startet under den passive «synkingen». Under lysstimulusen ble varigheten på hver svømmeperiode til hver enkelt lus registrert. Hver svømmeperiode ble målt til nærmeste 0,5 sekund. Den totale tiden i bevegelse i løpet av et minutt med lysstimuli ble beregnet for hver lakselus, ved å summere tiden til hver svømmeperiode.

2.4 Reinfestasjon av ny vert

Reinfestasjonssuksessen ble undersøkt ved å reinfestere atlantisk laks med preadult og voksen lakselus som hadde vært uten vert i 0, 3 eller 7 dager.

2.4.1 Ny vertsfisk og miljøforhold etter reinfestasjon

12 atlantisk laks (Opphav: Belsvik, Lerøy) fordelt i tre kar (400 L; L90×B90×D50cm) ble benyttet som vertsfisk for lakselus som hadde vært uten vert i ulike perioder. Karene hadde gjennomstrømning av filtrert sjøvann (8-10 L/min) og konstant lys (24t lys:0t mørke). Laksen ble fôret daglig med 2 mm Nutra Olympic pellets fra Skretting ved et automatisk foringssystem som fôret fisken hver hele time mellom 09.00 og 18.00. Fôrmengden per døgn var ca. 1% av den totale biomassen i karene. Det ble gjennomført daglig røkting av fisken, og temperaturen i hvert kar ble registrert.

Gjennomsnittstemperaturen i forsøket med preadult og voksne lakselus var henholdsvis 7,2 °C (6,5-7,8 °C) og 8,2 °C (7,3-9,2 °C; min-maks). Laksene brukt i forsøket med voksen lakselus ble også benyttet som vertsfisk i forsøket med preadult lakselus. Etter runden med voksne lakselus ble fisken plukket ren, og sto 10 dager uten lus før preadult lakselus ble satt på. Ved infestasjon med preadult lakselus ble fisken grundig undersøkt og ev. gjenværende voksne lakselus ble fjernet før de preadulte lakselusene ble satt på.

2.4.2 Gjennomføring av reinfestasjonsforsøkene

Lakselus ble plukket fra vertsfisk holdt med lusekultur, som beskrevet i avsnitt 2.1. Voksne lakselus ble fordelt i veieskip (direkte smitte; 0 dager uten vert) eller i inkubasjonsrør, og hvert rør inneholdt 6–8 lakselus og en blanding av hunn- og hannlus. De preadulte lakselusene ble derimot først overført til petriskåler for å kunne stadfeste livsstadiet under stereolupe (16x forstørrelse; LECIA M80). De ble deretter enten brukt til direkte reinfestasjon (kontroll; 0 dager uten vert) eller lagt i inkubatorrør, 8 lakselus per rør og en blanding av hann- og hunnlus. Inkubasjonsrørene med voksne og preadulte lakselus ble plassert i inkubasjonskassen (Figur 2.1). Basert på utseende, størrelsen og tiden fra infestasjon (Hamre et al., 2019) ble de preadulte lakselusene klassifisert til å være preadult II hannlus og preadult I hunnlus. De voksne hunnlusene som ble plukket av laksen hadde akkurat skiftet skall, og var derfor ikke fullvoksne/kjønnsmodne lakselus.

Reinfestasjon av ny laks ble gjennomført ved at lakselus ble plassert på fisken med pinsett, og de ble satt med ventral side ned på den ene ryggsiden av fisken, innenfor rammen marker i Figur 2.5. Når alle lakselusen var plassert på en fisk, ble litt sjøvann skylt over fisken, for å verifisere at alle hadde dannet vakuum og festet seg til fisken. De som ble skylt av, ble plassert tilbake på fisken, og fisken ble satt tilbake i karet. Håndteringen av lakselusene ble gjort så skånsom som mulig, for å ikke skade lakselusen eller vertsfisken.

I gruppen med lakselus som var 0 dager uten vert (kontroll) ble lusene satt på ny fisk i løpet av 2 timer etter de var plukket av sin første vert. I forsøket med voksen lakselus, ble 47 lus benyttet, mens i forsøket med preadult lakselus ble 37 lus overført til ny vert (Tabell 2.3). Hver fisk i denne gruppen ble infestert med 9-13 lakselus. I gruppen som var uten vert i 3 dager ble 30 voksne og 40 preadulte lakselus satt på ny fisk (Tabell 2.3). Lakselus i inkubasjonsrørene som hadde en tydelig misfarging (oransje/lilla) ble ikke satt på fisken, men fjernet, da dette tydet på at disse var døde. Inkubasjonsrørene

med lakselus som skulle benyttes til reinfestasjon etter 7 dager uten vert, ble plukket ren for døde lus på dag 3 og dag 5 (preadult) eller dag 6 (voksne). Sju dager etter lakselusene hadde blitt plukket av vertsfisk ble lakselus uten en tydelig misfarge satt på uinfestert atlantisk laks. Totalt ble 18 voksne hunnlus brukt til reinfestasjon (4-5 lus per fisk; Tabell 2.3). Mens i gruppen med preadult lakselus ble fire laks infestert med 15 lus etter 7 dager (Totalt 60 lus; Tabell 2.3).

Sjekk av reinfestasjonssuksessen til lakselusene ble gjennomført 7 og 28 dager (4 uker) post reinfestasjon. Dette ble gjennomført ved at hver enkelt fisk ble håvet opp fra karet og bedøvet, og antall hann- og hunnlus på fisken ble så registrert. Både håven og bedøvelsesbøtten ble grundig undersøkt for lakselus som hadde falt av under håndtering. Lakselus som hadde falt av ble satt tilbake på fisken og registrert som på fisken, siden de trolig falt av som følge av håndtering. Når alle lakselusene på fisken var registrert ble fisken satt tilbake i karet og en ny fisk ble bedøvet og undersøkt. I forsøket med preadult lakselus uten vert i 3 dager, døde den ene fisken etter registreringen på dag 7, trolig pga. bedøvelsen. Denne fisken ble derfor byttet ut med en annen atlantisk laks, og lakselusene som satt på den døde fisken ble overført til den nye. Ved 4 ukers kontrollen ble alle gjenværende lakselus på fiskene plukket av og destruert.



Figur 2.5: I reinfestasjonsforsøkene ble preadult og voksne lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) plassert på den ene ryggside av uinfestert atlantisk laks (*Salmo salar*) etter en periode på 0, 3 eller 7 dager uten vert. Den svarte rammen viser området lakselusene ble plassert. Antall lakselus satt på hver fisk varierte mellom 4 – 13.

Tabell 2.3: Oversikt over antall lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) i hver gruppe uten vert i 0, 3 og 7 dager før de ble satt på ny uinfestert atlantisk laks (*Salmo salar*).

Periode uten vert	Kjønn	Livsstadium	Antall individer (n) brukt til reinfestasjon
0 dager	Hann	Preadult	15
		Voksen	22
	Hunn	Preadult	22
		Voksen	25
3 dager	Hann	Preadult	15
		Voksen	17
	Hunn	Preadult	25
		Voksen	13
7 dager	Hann	Preadult	26
		Voksen	0
	Hunn	Preadult	34
		Voksen	18
Totalt			232

2.5 Data og statistisk analyse

All data samlet i denne studien ble rensert og administrert ved hjelp av Microsoft Excel (versjon 2403). Datafiler fra Excel ble overført til R versjon 2023.12.1 (RStudio Team, 2023), hvor det ble laget figurer og gjort statistiske analyser. Ved statistiske analyse ble data undersøkt for normalfordeling ved en Shapiro-Wilks test ($p < 0,05$).

2.5.1 Analyse av overlevelse uten vert

Overlevedesdata ble gruppert etter kjønn og livsstadier som beskrevet i «2.2 Overlevelse uten vert», samt inkubasjonstemperatur. Lakselus som ble klassifisert død på dag 1, ble ekskludert og ikke tatt med videre i beregningene. Årsaken til dette var at de trolig døde av håndteringen og ikke av «sult». I tillegg ble seks andre lakselus ekskludert grunnet ulike uforutsette hendelser som påvirket deres overlevelse. Totalt ble det ekskludert 10 av 162 lakselus. I Excel ble median og den gjennomsnittlige overlevelsen i hver gruppe beregnet. En Kruskal-Wallis test med Dunn post hoc test ble gjennomført på dataen, og signifikansnivået ble satt til $p < 0,01$ for å redusere risikoen for falsk deteksjonsandel ved gjennomføring av mange tester (45). En grafisk fremstilling av overlevelseskurvene (Kaplan-Meier plot) til hver gruppe ble laget ved hjelp av pakken «survival».

2.5.2 Analyse av svømmekapasiteten hos mobil lakselus

I Excel ble gjennomsnittet og standardavviket (SD) av alle de aktive lakselusene i hver filming beregnet. Kun lakselus som var aktiv frem til og med det gitte filmingspunktet ble brukt i kalkuleringen. Dataen ble videre administrert og organisert, og grafer som viser antall svømmeperioder per minutt, varighet per svømmeperiode og total tid i bevegelse i tiden de var fiksert ble laget i R. I alle grafene ble det lagt inn en lineær regresjonslinje, og denne ble benyttet for å kunne si noe om det var en trend i gjennomsnittsverdiene over tid ($p < 0,05$). På dataen til preadult II hunnulus og voksen hannulus ble det gjennomført en parett t-test, for å se om det var en signifikant forskjell i antallet svømmeperioder per minutt før, under og etter ($p < 0,05$). For voksen hunnulus ble det gjennomført en Wilcoxon test, siden flere av datafilene ikke viste normalfordeling ($p < 0,05$). På dataen som viste antall hopp per minutt i lyset og den gjennomsnittlige varigheten per svømmeperiode ble det gjennomført en Kruskal-Wallis test med en Dunn post hoc test for å avdekke eventuelle signifikante forskjeller mellom livsstadierne (Bonferroni; 3 tester; $p < 0,017$). Det ble også testet for signifikante forskjeller i den gjennomsnittlige totale tiden i bevegelse under et minutt lysstimuli ved en Kruskal-Wallis test ($p < 0,05$).

2.5.3 Analyse av reinfestasjon av ny vert

I Excel ble prosentvis reinfestasjon per gruppe per observasjonspunkt (dag 7 og 28) beregnet. En grafisk fremstilling av dataen ble laget ved hjelp «plot» funksjonen i R. Det ble ikke gjennomført noen statistiske analyser på dataen, på grunn av at det bare ble gjennomført ett replikat per livsstadium.

2.6 Bruk av kunstig intelligens (KI) i studien

Kunstig intelligens er i denne studien kun benyttet som et hjelpeverktøy i analysen og fremstillingen av data samlet i forsøkene. Chat GPT 4 er benyttet til å generere og foreslå

koder som er brukt til å lage plot og utføre de statistiske analysene i R versjon 2023.12.1 (RStudio Team, 2023). Chat GPT 4 er også benyttet til å rette skrivefeil og grammatikk i «Abstract» presenter i denne oppgaven.

3 Resultat

3.1 Overlevelse uten vert

Overlevelsen til mobil lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) uten vert inkubert ved 10 °C og 12 °C ble undersøkt. Det var stor variasjon i hvor lenge individene i hver gruppe overlevde uten vert, men de aller fleste overlevde i flere dager. Den lengstlevende hunnlusen levde i 12 dager uten vert (12 °C), mens de lengstlevende hannlusene levde i 14 dager (10 °C; Tabell 3.1, Figur 3.1).

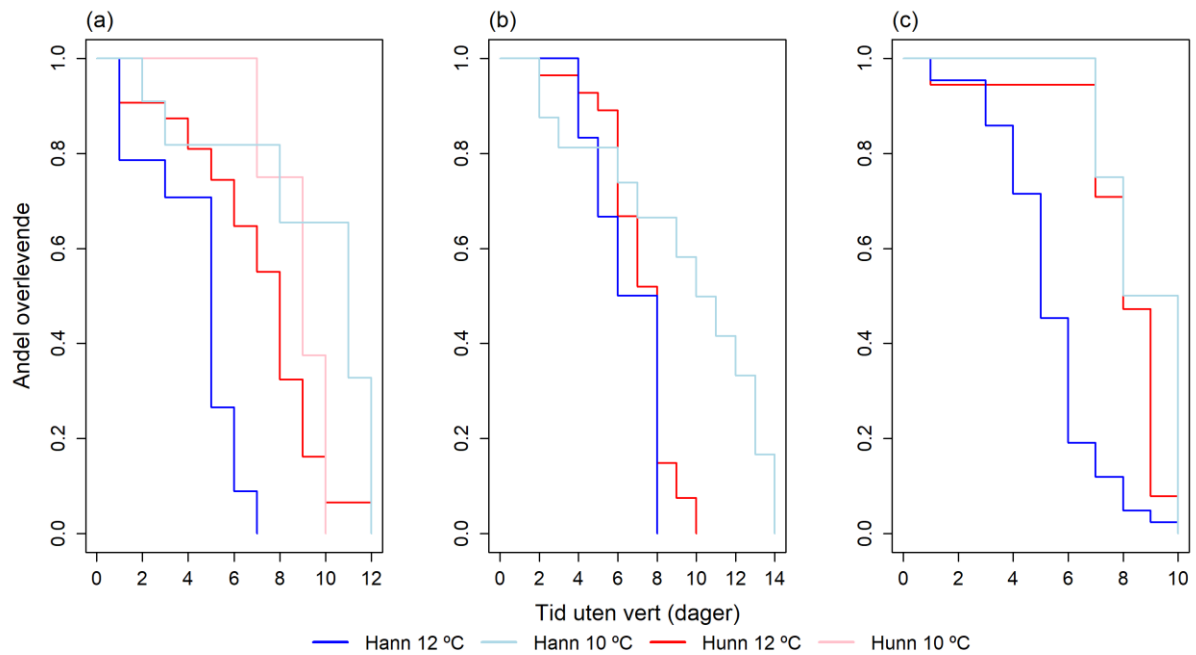
Det ser ut til å være en trend for at lakselus inkubert ved 10 °C overlevde litt lengre enn de som var inkubert ved 12 °C, men det ble ikke funnet noen signifikant forskjell ($p > 0,01$). Lakselus uten vert som var inkubert ved 10 °C hadde 1-3 dager høyere gjennomsnittsoverlevelse enn lakselus inkubert ved 12 °C. Median-overlevelsen var også 1-4 dager høyere hos livsstadiene inkubert ved 10 °C (Tabell 3.1, Figur 3.1).

Av de voksne lakselusene ved 12 °C var det en signifikant forskjell i overlevelsen mellom hannlus og hunnlus ($p = 0,006$; Tabell 3.1). Det var ingen signifikant forskjell mellom kjønnene til de preadulte, men det kan se ut til at forskjellen også gjelder for disse. Både gjennomsnittlig og median overlevelsen viser at alle stadiene hunnlus overlevde lengre enn de respektive hannstadiene (Tabell 3.1).

Preadult II var det livsstadiet som levde lengst blant hannlusene, i gjennomsnitt 1 og 2 dager lengre en henholdsvis voksne og preadult I. Blant hunnene derimot var det voksne lakselusene som overlevde lengst uten vert, 8 ± 2 dager (gjennomsnitt \pm SD; Tabell 3.1). Preadult I var det stadiet som overlevde kortest blant alle de mobile lakselusene uansett kjønn (Tabell 3.1). Det var en jevn reduksjon i overlevelse for samtlige livsstadier og kjønn i tidsperioden etter de mistet verten sin, med unntak av preadult II hannlus (12 °C), der det var et tydelig dropp i overlevelsen etter 8 dager, da de resterende individene i gruppen døde (Figur 3.1)

Tabell 3.1: Overlevelsen til lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) uten vert i antall dager. Tabellen gir antall individer i hver gruppe (n), den gjennomsnittlige overlevelsen (\pm standardavvik (SD)), median og maks overlevelse for alle gruppene.

Kjønn	Inkubasjons-temperatur	Livsstadium	Antall individer (n)	Gjennomsnittlig overlevelse \pm SD	Median	Maks overlevelse
Hann	10 °C	Preadult I	5	$7 \pm 4,5$	8	12
		Preadult II	13	$9 \pm 4,5$	10	14
		Voksen	3	$8 \pm 1,5$	8	10
	12 °C	Preadult I	12	4 ± 4	5	7
		Preadult II	5	6 ± 2	6	8
		Voksen	42	5 ± 2	5	10
Hunn	10 °C	Preadult I	3	$9 \pm 1,5$	9	10
	12 °C	Preadult I	30	7 ± 3	8	12
		Preadult II	26	7 ± 2	8	10
		Voksen	13	8 ± 2	8	10



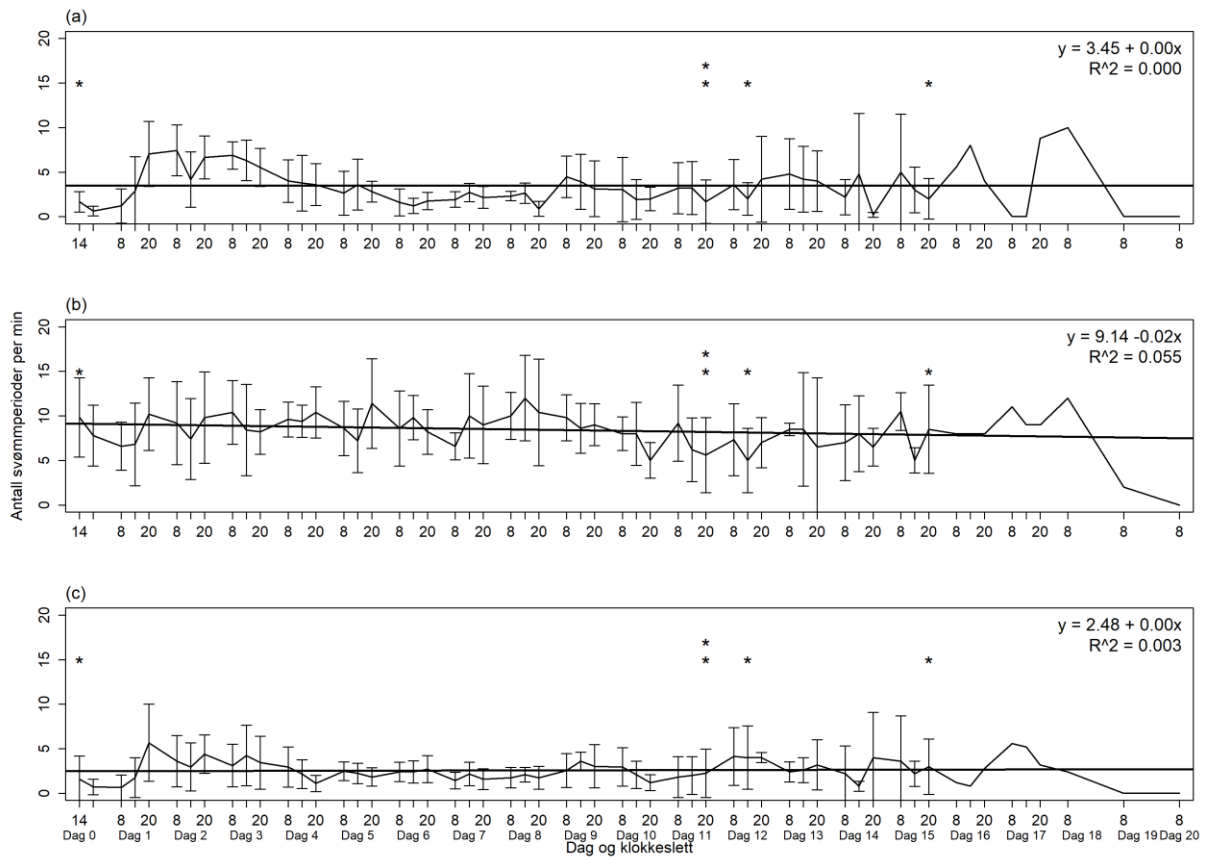
Figur 3.1: Kaplan-Meier overlevelseskurve for de mobile livsstadiene (*Lepeophtheirus salmonis*) uten vert over tid; (a) preadult I, (b) preadult II og (c) voksen. Individene var inkubert ved to temperaturer, 10 °C og 12 °C. n = 3 – 45 individer (Tabell 3.1).

3.2 Svømmekapasitet hos mobil lakselus

Svømmekapasitetsforsøkene med fiksert lakselus viste at det var stor variasjon i atferd og overlevelse mellom individer (Vedlegg A). Av de voksne hannene døde 3 av 6 lakselus etter første filming, og en fjerde hann døde etter film nummer to. De to siste hannen levde like lenge og døde/ble inaktive syv dager etter de ble fiksert. De voksne hunnene overlevde lengre og døde/ble inaktive mellom dag 2 og dag 8 etter de ble fiksert. Preadult II hunnlus var den gruppen som levde lengst og alle individene var aktive lengre enn individene i de andre to gruppene, med unntak av en som døde etter første filming. Den preadulte II hunnlusen som var lengst aktiv viste svømmeaktivitet i 19 dager (Tabell 3.2). Resultatene som presenteres nedenfor baserer seg på gjennomsnittsverdien blant individene i hver film (enkeltverdier for hvert enkelt individ er presentert i vedlegg A).

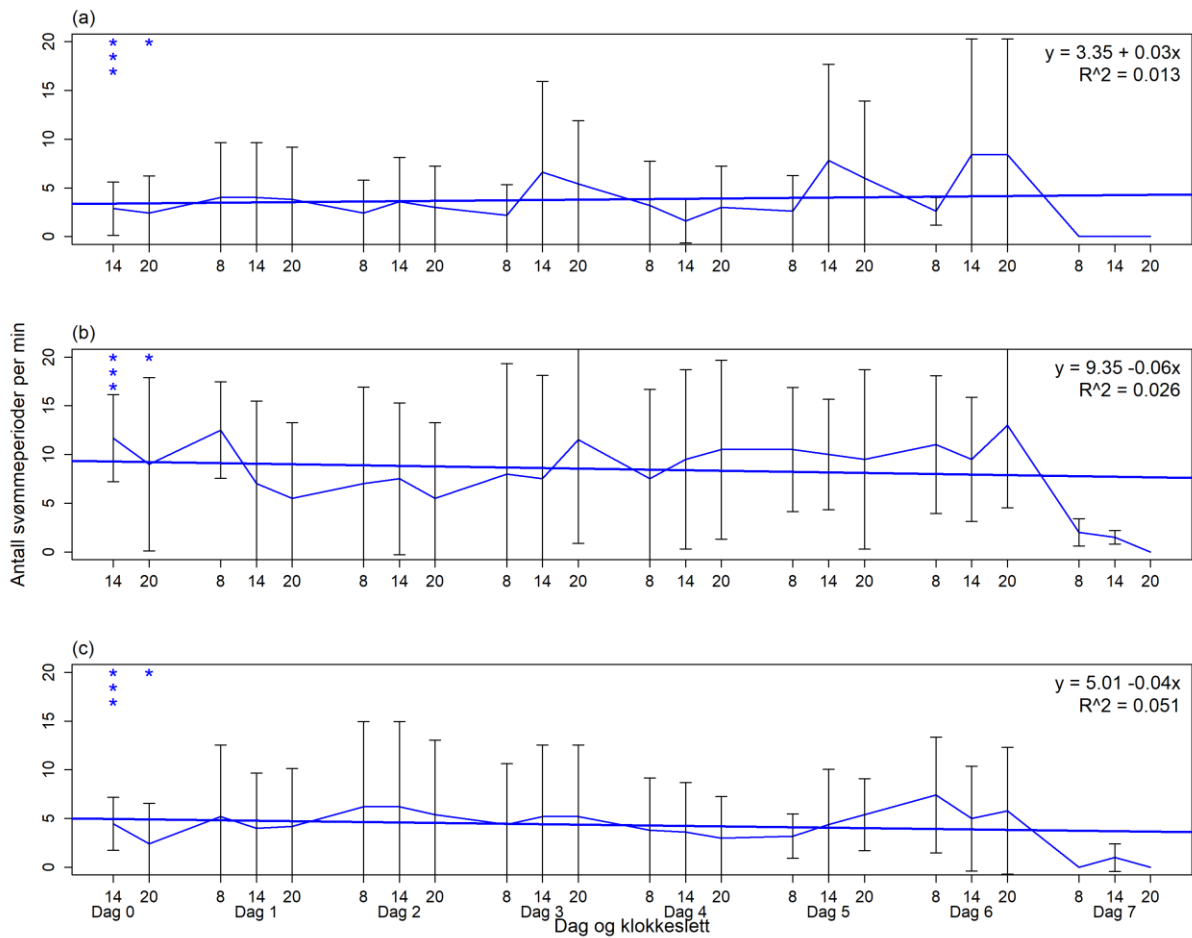
3.2.1 Antall svømmeperioder per minutt

For preadult II hunnlus var det en signifikant forskjell på antall svømmeperioder før og under, før og etter og under og etter lysstimuli (hhv. $p < 0,05$, $p = 0,007$ og $p < 0,05$; Paret t-test). Før og under lysstimuli var det ingen endring i antall svømmeperioder over tid for preadult II hunnlus (hhv. $p = 0,969$ og $p = 0,085$). Gjennomsnittlig antall svømmeperioder under stimulusen varierte mellom 2 og 12. I perioden etter lysstimulusen falt antall svømmeperioder per minutt, men heller ikke her endret antallet seg over tid ($p = 0,707$; Figur 3.2, Tabell 3.2). Det var signifikant flere svømmeperioder per minutt under lysstimulusen hos preadult II hunnlus sammenliknet med voksen hunnlus ($p < 0,017$; Kruskal- Wallis).



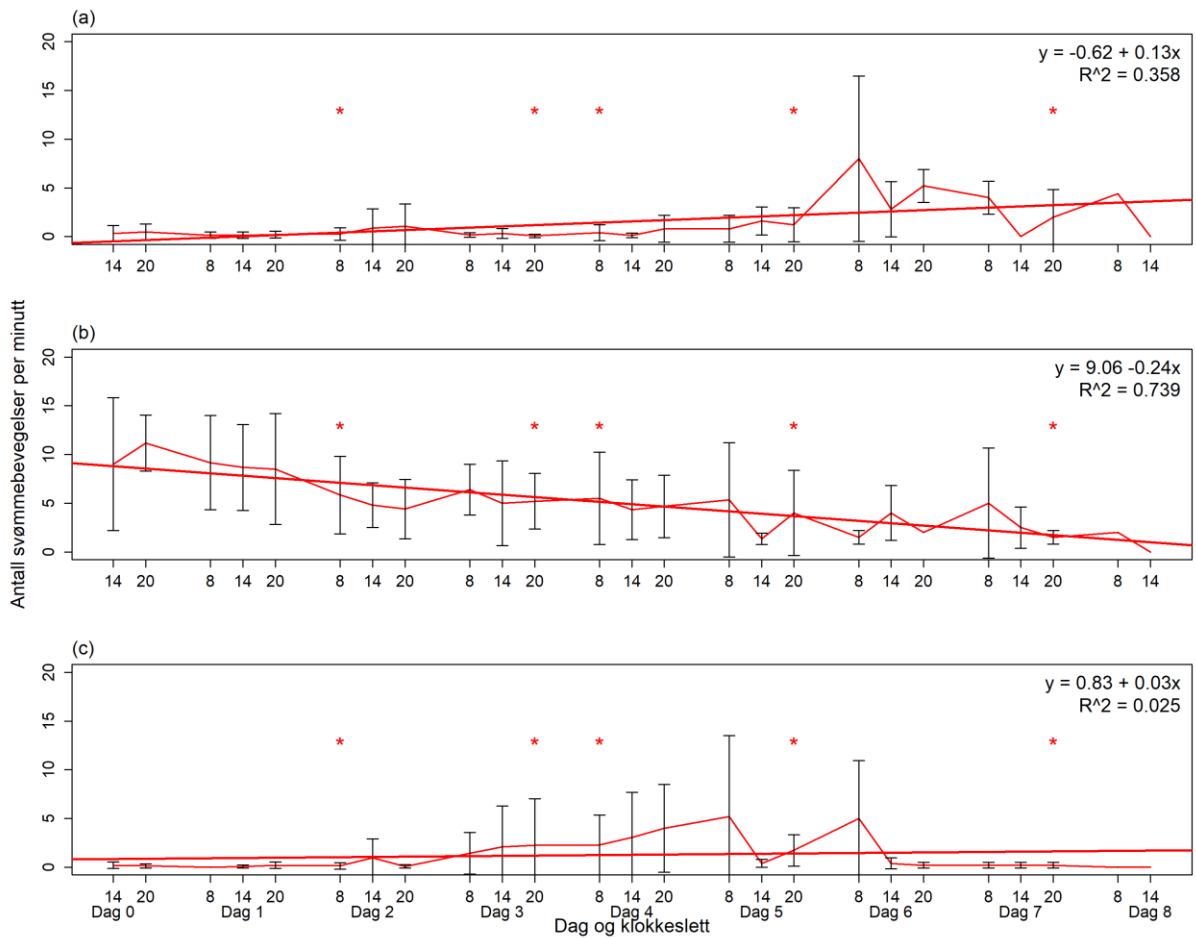
Figur 3.2: Antall svømmeperioder per minutt før (a), under (b) og etter (c) blå lysstimulus hos preadult II hunnslus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. $n = 6$ individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusene var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R^2 vises i plottene.

For voksne hannslus var det signifikant forskjell i antall svømmeperioder før og under lysstimuli, samt under og etter ($p < 0.05$), men ikke før og etter lysstimuli ($p = 0,248$; Figur 3.3). Tiden hadde heller ingen effekt på gjennomsnittlig antall svømmeperioder før, under og etter stimulusen, og regresjonslinjen var flat over hele perioden de var aktive ($p = 0,618$, $p = 0,476$ og $p = 0,310$; Figur 3.3). Antall svømmeperioder under lysstimuli hos voksne hannslus, i likhet med preadult II hunnslus, var signifikant høyere enn hos voksne hunnslus ($p < 0,017$).



Figur 3.3: Antall svømmeperioder per minutt før (a), under (b) og etter (c) blå lysstimulus hos voksne hannlus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusene var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R^2 vises i plottene.

For voksne hunnlus var det samme trend som for voksne hannlus, med signifikant forskjell mellom antall svømmeperioder før og under ($p = 0,001$), samt under og etter perioden med lysstimuli ($p < 0,05$). Det var ingen forskjell i antall svømmeperioder før og etter det ene minuttet med blinkende lysstimuli ($p = 0,715$). Hos voksne hunnlus var det en liten økning i antall svømmeperioder før lysstimuluset over tid ($p = 0,002$), mens antall svømmeperioder under lysstimuluset ble redusert ($p < 0,05$; Figur 3.4, Tabell 3.2).



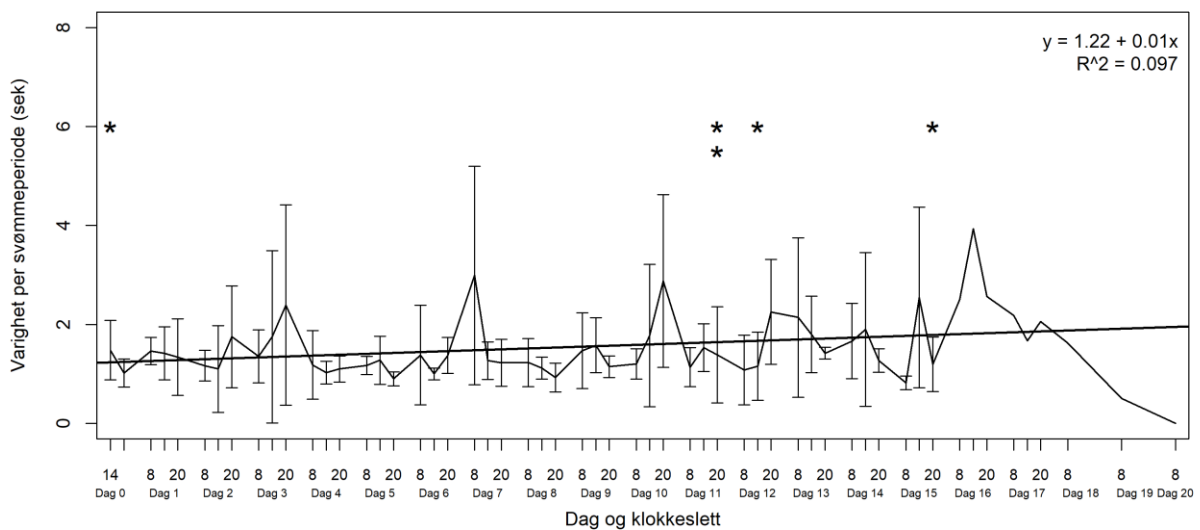
Figur 3.4: Antall svømmeperioder per minutt før (a), under (b) og etter (c) blå lysstimulus hos voksne hunnlus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusene var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R^2 vises i plottene.

Tabell 3.2: Antall svømmeperioder per minutt hos preadult II hunnlus, voksne hannlus og voksne hunnlus (*Lepeophtheirus salmonis*) før, under og etter blå lysstimuli. n = 6 individer av hvert livsstadium. Det er testet for endring over tid (regresjonslinje), og p-verdien forteller om gjennomsnittsverdien endres signifikant over tid.

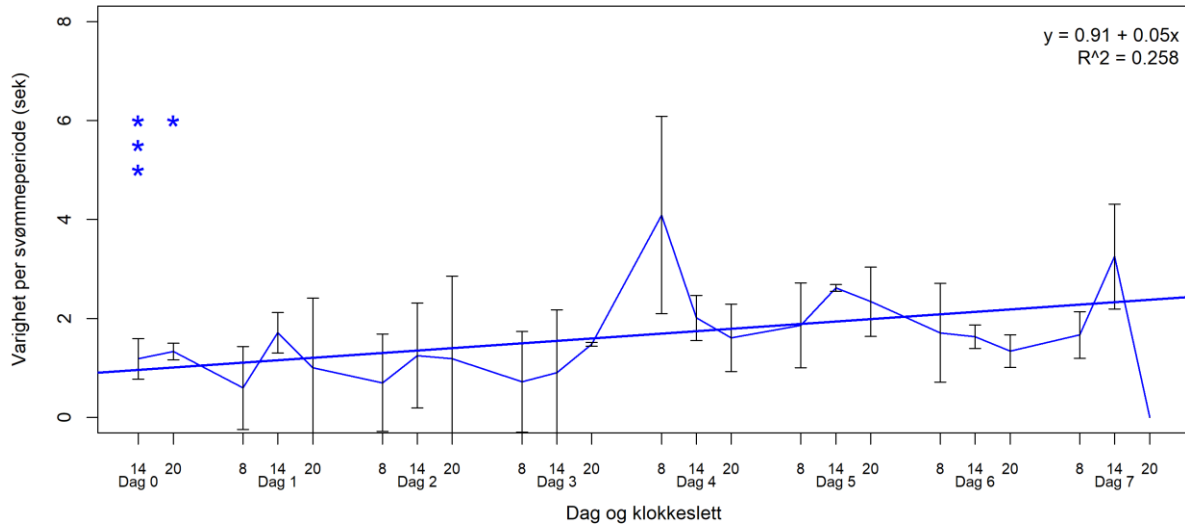
Livsstadium	Lengst aktiv (dager)	Periode	Gjennomsnitt i hele perioden de var i live	Maks	p-verdi
Preadult II hunnlus	19	Før	3,3	10,0	0,969
		Under	8,5	19,0	0,085
		Etter	2,5	12,4	0,707
Voksen hannlus	7	Før	3,7	16,8	0,618
		Under	8,8	19,0	0,476
		Etter	4,3	12,4	0,310
Voksen hunnlus	8	Før	0,9	14,0	0,002
		Under	6,0	15,0	0,000
		Etter	1,1	14,8	0,464

3.2.2 Varighet per svømmeperiode under lysstimuli

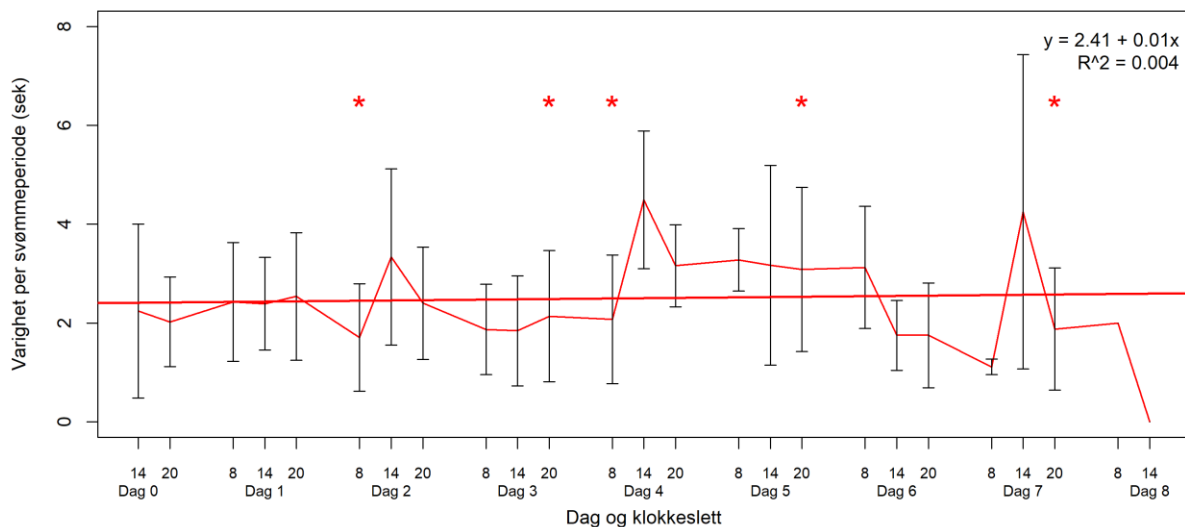
Varigheten per svømmeperiode varierte mellom individene av samme livsstadium og mellom livsstadiene (Vedlegg A). Preadult II hunnlus og voksne hannlus hadde en liten økning i varigheten per svømmeperiode over tid, noe som vil si at den gjennomsnittlige varigheten var lavest rett etter fiksering og høyest rett før de døde (Figur 3.5 og 3.6). Voksne hunnlus hadde en flat regresjonslinje, og tiden så ikke ut til å påvirke den gjennomsnittlige tiden per svømmeperiode ($p = 0,758$; Figur 3.7). Voksne hunnlus hadde en gjennomsnittlig høyere varighet per svømmeperiode (2,4 sekunder) sammenliknet med preadult II hunnlus (1,5 sekunder; $p < 0,017$; Tabell 3.3). Det var også en signifikant forskjell mellom varigheten per svømmeperiode for voksne hunnlus og voksne hannlus (1,6 sekunder; $p < 0,017$).



Figur 3.5: Varighet per svømmeperiode i sekunder under blinkende blå lysstimuli hos preadult II hunnlus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. $n = 6$ individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusene var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R^2 vises i plottet.



Figur 3.6: Varighet per svømmeperiode i sekunder under blinkende blå lysstimuli hos voksne hannlus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusene var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R² vises i plottet.



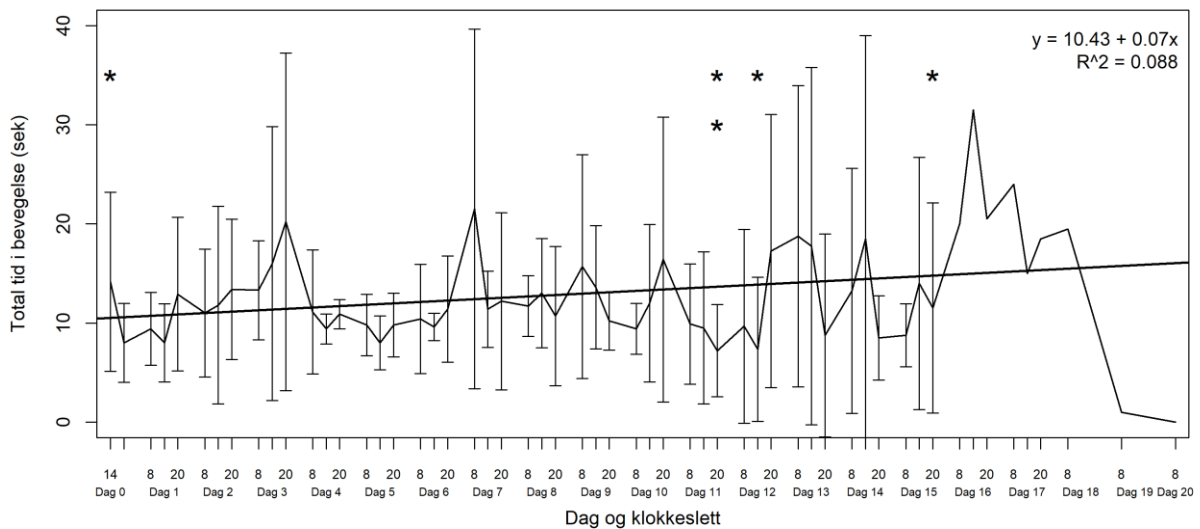
Figur 3.7: Varighet per svømmeperiode i sekunder under blinkende blå lysstimuli hos voksne hunnlus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusene var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R² vises i plottet.

Tabell 3.3: Varighet per svømmeperiode i sekunder hos preadult II hunnlus, voksne hannlus og voksne hunnlus (*Lepeophtheirus salmonis*) under blinkende blå lysstimuli. n = 6 individer. Det er testet for endring over tid (regresjonslinje), og p-verdien forteller om gjennomsnittsverdien endres signifikant over tid.

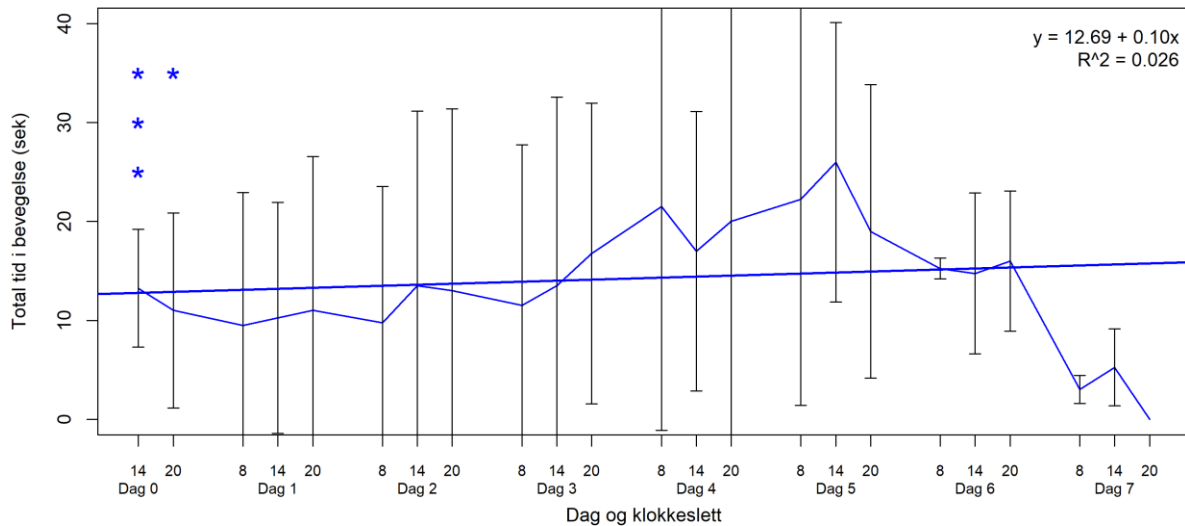
Livsstadium	Gjennomsnitt (sek)	Maks varighet (sek)	p-verdi
Preadult II hunnlus	1,5	19	0,020
Voksen hannlus	1,6	10,5	0,016
Voksen hunnlus	2,4	12	0,758

3.2.3 Total tid i bevegelse under lysstimuli

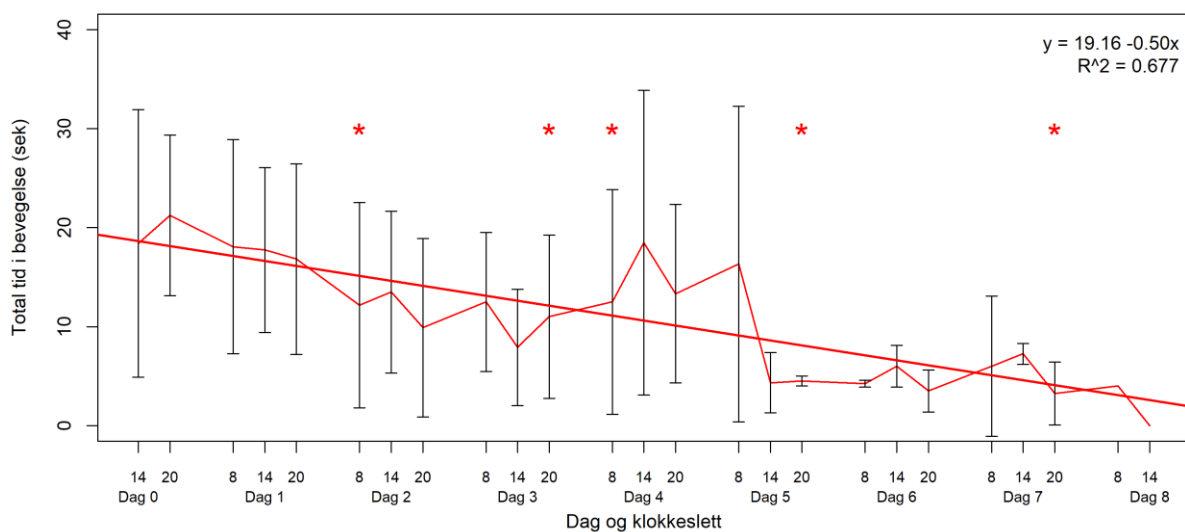
Den totale tiden i bevegelse under lysstimuluset varierte, i likhet med antall svømmeperioder og varighet per svømmeperiode, mye blant individene. Figur 3.8 viser at den totale tiden i gjennomsnitt varierte fra litt under 10 sekunder til over 30 sekunder i løpet av et minutt med lysstimuli hos preadult II hunnslus. Den høyeste totale tiden i bevegelse under et minutt lysstimuli (60 sek) var for preadult II hunnslus 47,5 sekunder (Tabell 3.4). Selv om den totale tiden i bevegelse varierte mye viste trenden at det var en svak økning i perioden preadult II var i live ($p = 0,028$; Figur 3.8). Den totale tiden i bevegelse hos voksne hannslus ble ikke påvirket av tiden uten vert (Figur 3.9) og de hadde en gjennomsnittlig total tid i bevegelse for hele perioden på 14,1 sekunder (Tabell 3.4). Voksne hunnslus hadde derimot en tydelig reduksjon i total tid i bevegelse som funksjon av tid ($p < 0,05$; Figur 3.10). Det var ingen signifikant forskjell i den gjennomsnittlige totale tiden i bevegelse i løpet av hele perioden mellom de tre ulike livsstadiene ($p > 0,05$).



Figur 3.8: Total tid i bevegelse i sekunder under et minutt blinkende blå lysstimuli hos preadult II hunnslus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. $n = 6$ individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusen var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R^2 vises i plottet.



Figur 3.9: Total tid i bevegelse i sekunder under et minutt blinkende blå lysstimuli hos voksne hannlus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusen var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R² vises i plottet.



Figur 3.10: Total tid i bevegelse i sekunder under et minutt blinkende blå lysstimuli hos voksne hunnslus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Usikkerheten er representert med standardavvik. n = 6 individer, og * markerer siste tidspunktet en av de seks lakselusen var aktiv. Likningen for regresjonslinjen og R² vises i plottet.

Tabell 3.4: Total tid i bevegelse (sekunder) hos ulike livsstadier lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) i løpet av ett minutt (60 sek) blå lysstimuli. n = 6 individer. Det er testet for endring over tid (regresjonslinje), og p-verdien forteller om gjennomsnittsverdien endres signifikant over tid.

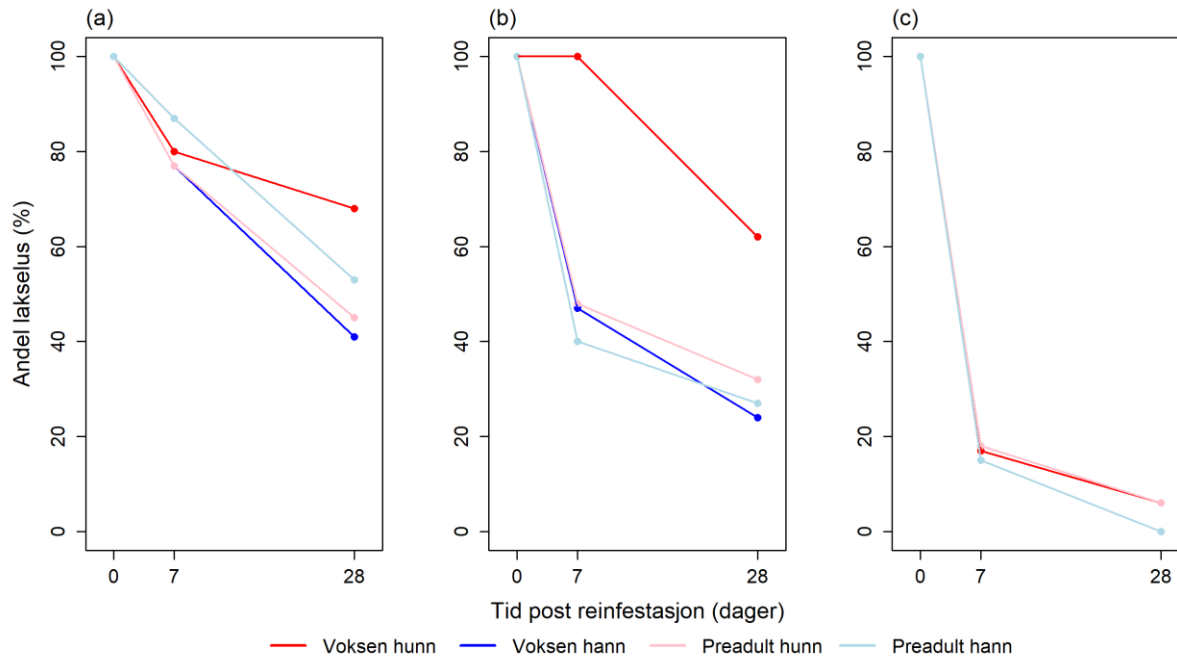
Livsstadium	Gjennomsnitt	Maks (sek)	p-verdi
Preadult II hunnslus	12,2	47,5	0,028
Voksen hannslus	14,1	37,5	0,470
Voksen hunnslus	12,6	35,5	7,95e-07

3.3 Reinfestasjon av ny vert

Lakselus hadde evnen til å reinfestere ny atlantisk laks etter en periode uten vert, men varigheten på perioden uten vert, påvirket denne suksessen. Kun ved ett tilfelle var 100% av lakselusen som ble satt på fisken til stede ved observasjon etter reinfestasjon, dette var hos voksne hunnlus i gruppen som hadde vært uten vert i 3 dager og ble observert etter 7 dager (Figur 3.11). Fire uker etter infestasjon var andel voksne hanner, voksne hunner, preadulte hanner og preadulte hunner henholdsvis 17%, 6%, 26% og 13% høyere i gruppen som ikke hadde vært uten vert (kontroll) sammenliknet med gruppen som var uten vert i 3 dager. Det var også stor forskjell mellom kontrollen og de som var uten vert i 7 dager (39-62% flere). Forskjellen mellom gruppen uten vert i 3 dager og gruppen uten vert i 7 dager var 26-56% (Figur 3.11).

Både i kontrollgruppen, 0 dager uten vert, og i gruppen som var uten vert i 3 dager var det en større andel voksne hunnlus igjen på fisken sammenliknet med voksne hannlus. Det samme gjaldt for preadult i gruppene uten vert i 3 og 7 dager, men ikke for kontrollgruppen, hvor preadult hann hadde en større andel igjen på fisken enn preadult hunn (Figur 3.11). Ser man bort fra dette ene tilfellet ser det ut til at hunnlus gjør det bedre enn hannlus ved reinfestasjon av ny vert.

Det ser ikke ut til å være noe klar trend for at preadult hann gjør det bedre eller verre enn voksne hanner. Derimot ser det ut til at blandt hunner gjør voksne lakselus det litt bedre enn de preadulte. Voksne hunnlus var også det livsstadiet blant alle de mobile lakselusene som hadde størst reinfestasjonssuksess (Figur 3.11).



Figur 3.11: Andel lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) i prosent på vertsfisken 7 og 28 dager etter reinfestasjon. (a) Lakselus som var uten vert i 0 dager (kontroll), (b) lakselus som var uten vert i 3 dager og (c) lakselus som var uten vert i 7 dager før reinfestasjon.

4 Diskusjon

Denne studien av mobil lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) hadde som formål å danne ny og bedre kunnskap om hvordan de tre siste livsstadiene i lakselusens liv håndterer å være uten vert. Dette skulle oppnås ved tre ulike eksperimenter; generell overlevelse uten vert, svømmekapasitet og reinfestasjon av ny vert etter en periode uten.

Hovedfunnene fra denne studien viser at mobil lakselus kan overleve flere dager uten vert, og at temperatur og kjønn ser ut til å påvirke overlevelsen. Mobil lakselus har også muligheten til å svømme i en lengre periode og de kan reinfestere ny fisk minimum 7 dager etter de mister sin første vert. Disse resultatene tyder på at lakselus som har falt av fisk, for eksempel under trenging, kan spre seg og reinfestere ny vert i tiden etter. Mobil lakselus som faller av fisk, må derfor anses som en mulig smittekilde for oppdrettsfisk og vill laksefisk.

4.1 Overlevelse uten vert

Forskningsspørsmålet som ble stilt innledningsvis var om lakselus kan overleve uten vert. Overlevelsesforsøket viser at preadult I, preadult II og voksne lakselus kan leve i flere dager uten vert. Overlevelsen varierte i stor grad mellom individene innad i stadiene, og strakk seg fra en dag til 14 dager (Figur 3.1). I svømmekapasitetsforsøket var det lakselus som overlevde enda lengre, så lengde som 19 dager uten vert (Tabell 3.2). En mulig årsak til at de overlevde lengre i svømmekapasitetsforsøket enn i overlevelsesforsøkene var miljøet rundt. I svømmekapasitetsforsøket ble lakselus plassert i et lyst oppsett, og var kun utsatt for lysstimuli tre ganger om dagen. Derimot var lakselus i overlevelsesforsøket plassert i inkubasjonsrør, i et rom med konstant lys og mye menneskelig aktivitet. Overlevelsen ble også registrert daglig ved å lyse med en hodelykt ned i rørene. Denne aktiviteten vil ha medført skygger og endrede lysstimuli flere ganger om dagen, noe som kan ha ført til at disse var mer aktive, og derfor forbrakte energien raskere enn de som var plassert i «konstant» mørke uten forstyrrelser. Mengden stimuli ser altså ut til å påvirke overlevelsen til mobil lakselus uten vert.

Median-overlevelsen strakk seg fra 5 til 10 dager for de mobile livsstadiene (Tabell 3.1). En annen studie gjort på lakselus uten vert, viser at lakselus har en median overlevelse på 5-25 dager avhengig av temperatur, stadium og kjønn (Oppedal et al., 2024). Voksne hunnlus er også observert til å overleve opp til 34 dager uten vert (Bron et al., 1993b). Overlevelsen funnet i disse studiene er lengre enn det som ble observert her, men trolig er det flere faktorer som spiller inn, blant annet temperatur. Studier gjort på den nært beslektete skottelus *Caligus elongatus* viser at denne ektoparasitten også kan leve i lang tid uten vert. Skottelus er en generalist som kan infestere mer enn 80 marine arter og som ofte er observert til å skifte vert (Bruno & Stone, 1990; Kabata, 1979). Forsøk med skottelus uten vert viser at voksne hanner kan leve opptil 30 dager uten vert, og at voksne hunner kan leve minimum 32 dager uten vert ved en temperatur på ca. 10 °C (Obrestad, in prep.). Basert på studien gjennomført her, ser det ut til at skottelus overlever lengre enn lakselus uten vert.

En sammenlikning av overlevelsen til livsstadiene ved de to ulike inkubasjonstemperaturene, viste ingen signifikant forskjell ($p > 0,01$) mellom dem.

Derimot kan det ut fra Tabell 3.1 og Figur 3.1 se ut til at det er en trend for at lakselus i kaldere vann overlever lengre uten vert enn lakselus i varmere vann. Både median og gjennomsnittsverdien for overlevelsen uten vert var høyere for livsstadiene inkubert ved 10 °C sammenliknet med de som var inkubert ved 12 °C. En tidligere overlevelsesstudie gjennomført med mobil lakselus uten vert ved ulike temperaturer, fant at vanntemperaturen påvirket hvor lenge de overlevde. For en samlet gruppe med preadult lakselus falt median-overlevelsen fra 13 til 5 dager når inkubasjonstemperaturen økte fra 4 °C til 16 °C. Median hos voksne hannlus og voksne hunnlus ble redusert fra henholdsvis 12 til 7 dager og fra 25 til 7 dager (Oppedal et al., 2024). En forklaring på at lakselus overlever kortere ved høye temperaturer sammenliknet med lave temperaturer, er temperaturens påvirkning på metabolismen. Hos ektoterme marine organismer har temperatur stor påvirkning på blant annet utvikling, reproduksjon og overlevelse. Økt temperatur fører derfor til økt metabolisme og et økt forbruk av energi. Hos kopepoditter fører dette til at energireserven forbrukes raskere og de får et kortere tids-vindu der de må finne en vert å infestere (Samsing et al., 2016). Dette er også trolig tilfellet for mobile lakselus, der økt temperatur fører til raskere forbruk av energireservene og de dermed overlever korter tid. Temperaturpåvirkningen forklarer trolig også hvorfor Oppedal et al. (2024) generelt fant en lengre overlevelse i sin studie sammenliknet med denne, siden den laveste temperaturen de undersøkte var 4 °C, mens her var den 10-12 °C.

Blant voksne hann- og hunnlus inkubert ved 12 °C var det en signifikant forskjell mellom kjønnene, henholdsvis 5 ± 2 og 8 ± 2 dager (gjennomsnitt \pm SD; Tabell 3.1). Det ser også ut til å være samme trend bland de preadulte. Både den gjennomsnittlige overlevelsen og median-overlevelsen for alle hunnstadiene var 1-3 dager lengre enn de respektive hannstadiene (Tabell 3.1.). Oppedal et al. (2024) viste også at overlevelsen uten vert ble påvirket av kjønn på lakselusen. Voksne hunnlus hadde en like lang eller lengre median-overlevelse enn de voksne hannene. Ved en inkubasjonstemperatur på 4 °C var median for voksne hunner 25 dager, mens for voksne hanner var den 12 dager (Oppedal et al., 2024). Kjønn på lakselusen ser dermed ut til å påvirke hvor lengde de overlever uten vert. Hos skottelus derimot er det ikke funnet en signifikant forskjell i overlevelsen til voksne hannlus og voksne hunnlus uten vert (Obrestad, in prep.). Selv om kjønn ser ut til å ha en påvirkning på overlevelsen, viser ikke denne studien en effekt av livsstadium på overlevelsen uten vert (Tabell 3.1).

Håndteringen av lakselus i forsøket kan ha påvirket hvor lengde de overlevde uten vert. Det ble gjennomført minimum to håndteringer per lus, og selv om disse ble utført så skånsom som mulig, kan man ikke utelukke at noen av individene kan ha blitt skadet som følge av håndtering. Blant annet var fire individer døde på dag 1, og disse døde trolig grunnet håndteringen. Lakselus vil derfor muligens overlever enda lengre enn det som er beskrevet i denne studien, hvis de faller av naturlig og ikke blir utsatt for denne typen håndtering. Det hadde derfor muligens vært bedre å overføre lakselus på en annen måte, enn ved bruk av pinsett. I en foreslått studie kunne det derfor vært interessant å se om det var mulig å håve opp lakselus som faller av oppdrettsfisk naturlig, f.eks. under trenging, og studert overlevelsen til disse.

4.2 Svømmekapasitet hos mobil lakselus

Det var stor variasjon i atferdsresponsen til de ulike individene i studien, men resultatene viser at mobil lakselus har mulighet til å aktivt svømme i mange dager etter de har

mistet verten. Preadult II hunnlus var aktiv lengst, med bevegelse i 19 dager etter de hadde mistet verten. Det mest aktive individet hos voksen hann- og hunnlus svømte i henholdsvis 7 og 8 dager (Tabell 3.2).

I hele perioden lakselusene var aktive var gjennomsnittlige antallet svømmeperioder før og under lysstimuli, samt under og etter signifikant forskjellig ($p < 0,05$). Man så et høyere antall svømmeperioder per minutt når preadult II hunnlus, voksen hannlus og voksen hunnlus var utsatt for stimuli sammenliknet med når de ikke var det. Studie av hvordan mobil lakselus reagerer på blinkende lys med ulik intensitet og farge gjennomført av Espås (in prep.) viser at det var en klar reaksjon på lys hos preadult II hunnlus og voksen hunnlus og de var mer aktive under lys sammenliknet med mørke. Studien viste derimot ingen tydelig effekt av lysstimuli på voksne hanner, og atferden så ut til å være lik både med og uten (Espås, in prep.). En lysblink i havet kan oppstå ved lysrefleksjon fra siden til en mulig vert og en svømmerespons på dette kan før til at de kommer i kontakt med fisk de kan infester (Flamarique et al., 2000). Sammenlikner man gjennomsnittlig antall hopp før og etter lysstimuli, viser resultatet at i kun ett av tilfellene var det en signifikant forskjell. Preadult II hunnlus hadde en signifikant lavere respons etter lysstimuli sammenliknet med før ($p < 0,05$). Dette kan tyde på at det høye energiforbruket under lysstimulusen gjorde at innsatsen falt i mørkeperioden etter. Ingen av resultatene viste en økt aktivitet i mørkeperioden etter, sammenliknet med før lysstimulusen, noe som tyder på at den økte aktiviteten under stimuli ikke varer over tid, men at når stimulusen forsvinner reduseres også aktiviteten momentant.

Sammenlikner man livsstadiene viser resultatet at det var signifikant flere svømmeperioder per minutt for preadult II hunnlus og voksen hannlus sammenliknet med voksne hunnlus under lysstimulusen ($p < 0,017$; Tabell 3.2). Det ble også observert en høyere varighet per svømmeperiode hos voksne hunnlus enn hos preadult II hunnlus og voksne hannlus ($p < 0,017$; Tabell 3.3). Dette kan tyde på at voksne hunnlus utfører færre svømmeperioder per minutt, men at hver svømmeperiode er lengre enn hos de to andre livsstadiene testet i denne studien. Man kan derfor spekulere i om dette fører til at voksne hunnlus klarer å svømme over en lengre distanse enn de andre livsstadiene. Eller at preadult II hunnlus og voksne hunnlus kompensere for de noe kortere svømmeperioder med å gjøre flere av dem, slik at den totale avstanden de svømmer ikke blir så forskjellig.

Antall svømmeperioder over tid hos preadult II hunnlus og voksne hannlus var stabil før, under og etter lysstimulusen (Figur 3.2 og 3.3), mens for voksne hunnlus var dette kun tilfellet i perioden etter (Figur 3.4). I perioden under lysstimulusen var det en reduksjon i antall svømmeperioder per minutt for voksne hunnlus (Figur 3.4). En mulig forklaring på dette er redusert energi over tid, og de derfor ble mindre aktive. Reduksjon i antall svømmeperioder (Figur 3.10) kan også forklare den observerte reduksjonen i total tid i bevegelse hos voksne hunnlus. Varigheten per svømmeperiode hos voksne hunnlus var stabil over tid (Figur 3.7) og en reduksjon i antall svømmeperioder vil derfor ført til en reduksjon i total tid i bevegelse. Preadult II hunnlus og voksne hannlus hadde derimot en svak økning i varighet per svømmeperiode (Figur 3.5 og 3.6). En mulig forklaring på den økende trenden i disse to tilfellene, er høy individuell variasjon blant et lite utvalg, hvor individene som levde lengst var mer aktiv enn de andre (Vedlegg A). Denne høye aktiviteten blant få individer kan derfor ha dratt opp snittet, og man fikk en økning i varighet per svømmeperiode over tid. Dette kan også forklare økningen i total tid i bevegelse observert hos preadult II hunnlus (Figur 3.8). Total tid i bevegelse hos voksne hannlus var derimot stabil i tiden de var fiksert (Figur 3.9). Ser man på hovedtrendene i

endringen av aktivitet til mobile lakselus over tid, ser det ut til at aktiviteten blant lakselus holder seg stabilt i tiden etter de mister verten. De var like aktive i starten som i slutten av forsøkene. Av regresjonslinjene presentert i resultatet hadde 9 av 15 stabile gjennomsnittsverdier over tiden de var i live. En flat trend kan gi mening hvis man ser det i en evolusjonær sammenheng, der lakselus ikke har noe å vinne ved å spare energi. De har derimot alt å tape ved å spare på energi, siden det ikke er mulig å vite om de får en ny stimulus som mulig kan være en ny vert. Man ser derfor en stabil trend, der lakselusen maksimerer innsatsen ved hver stimulus, før de på slutten ikke har mer energi igjen og man ser en kraftig reduksjon og de dør.

Ett av forskningsspørsmålene stilt i innledningen var om mobil lakselus kan aktivt svømme i tiden uten vert. Studien viser at de kan dette, og at de er like aktive i hele perioden frem til de dør. Funnet åpner for spørsmålet om de svømmer nok til å holde seg i de øvre vannmassen eller om de synker. Oppedal et al. (2024) fant at bevegelig lakselus synker med en hastighet på 0,5-1,5 cm/s. De observerte også at større lakselus sank raskere enn mindre lakselus. Espås (in prep.) fant lignende synkehastighet, henholdsvis $1,03 \pm 0,15$ cm/s for preadult II hunnulus, $1,11 \pm 0,086$ cm/s for voksen hannulus og $1,98 \pm 0,14$ cm/s for voksen hunnulus. Preadult lakselus ser derfor ut til å synke saktest. Disse funnene i kombinasjon med at de i denne studien ser ut til å overleve lengst og er mest aktive, vil trolig si at preadult lakselus kanskje er en større kilde til smitte enn voksne. Voksne hunnulus er i en annen undersøkelse funnet til å ha en litt høyere gjennomsnittlig synkehastighet på $3,8 \pm 0,4$ cm/s, og en gjennomsnittlig svømmehastighet på $3,6 \pm 1,0$ cm/s (Flamarique et al., 2000). Det ser derfor ut til at lakselus i teorien kan oppnå en større svømmehastighet enn synkehastigheten, og de derfor kan motvirke den passive synkingen i havet. Lukt av laks er også bevist til å redusere synkehastigheten til hannulus (Oppedal et al., 2024). Det er derfor vanskelig å si noe om hvordan svømmeaktiviteten er relativ til synkehastigheten, noe som vil være helt avgjørende for om de klarer å holde seg i de øvre vannmassen og dermed kunne komme i kontakt med ny vert. De fleste kommersielle merdene strekker seg noen titalls meter ned i havet, noe som vil si at dersom lakselus synker under dette og de ikke klarer å svømme opp igjen, vil de ikke lengre være en trussel for oppdrettsfisk. Den eneste sjansen de har for å overleve da, er å finne vill laksefisk å infestere. Et moment som også må vurderes, er hvis lakselusen setter seg på andre overflater i anlegget, for eksempel not eller flytering. De vil da kunne holde seg på relevant dyp over lengre tid og utgjøre en større risiko for oppdrettsfisken. Den horisontale avstanden vil også spille en rolle, hvor strøm og vind vil påvirke avstanden lakselus klarer å svømme. En tidligere studie observerte større reinfestasjon av preadult/voksen hannulus i tilfeller der behandlet laks ble satt tilbake i samme merd (en dobling i antallet på fisken), sammenliknet med hvis de ble satt tilbake i en annen merd (Guttu et al., under review). Klarer de frie mobile lakselusen å holde seg i de øvre vannmassen, kan det hende at de da får muligheten til å finne en ny vert å infestere. En studie som ser grundigere på sammenhengen mellom aktiv svømming og passiv synking vil kunne gi et mer nøyaktig svar om de faktisk er en reel smittekilde, eller om de bare synker ut av systemet og vekk fra vertsfisken.

Et annet viktig moment i svømmekapasitetsforsøket, er at lakselusen var fiksert. Fikseringen vil trolig ha medført at de brukte mer energi per svømmerespons enn de ville gjort i frie vannmasser, siden polyestertråden ga motstand og de måtte bruke energi på å motvirke denne. Lakselus som faller av i merden ved for eksempel trenging i forbindelse med avlusning, vil derfor muligens være mer aktiv og kunne svømme over enn lengre periode enn det som er dokumentert i denne studien.

En ting som kan ha påvirket resultatene, er at det ble gjort en manuell analyse av filmene. En av utfordringene var å være konsekvent på hva som var en svømmeperiode og hva som ikke var det, i henhold til definisjonen beskrevet i «2.3.3 Analyse av filmene fra svømmekapasitetsforsøkene». Det at lakselusene var fiksert og måtte motvirke stivheten i polyestertråden, gjorde det vanskelig å skille en lengre svømmeperiode fra mindre enkelte svømmeperioder. I tillegg var det ulike utfordringer i lys vs. mørke. Som følge av eventuelle feilregistreringer ved den manuelle analysen, burde analysen ideelt sett vært gjort gjennom et dataprogram, f.eks. SLEAP. Dette var også planen, men ble gått bort fra som følge av liten tid, samt at etter gjentatte forsøk med å trene opp modeller, klarte den ikke å identifisere enkeltlus, og ga ofte 30 til 300 spor i hver film. Ved et lignende forsøk, burde man derfor finne et program som viser større egnethet for å følge individene i et slik oppsett. Eventuelt må oppsettet endres slik at man får mindre forstyrrelser og enklere klare å følge enkeltindividene.

I metoden og resultatet er det presentert tre runder med svømmekapasitetsforsøk; preadult II hunn, voksen hann og voksen hunnlus. I praksis ble det gjennomført to runder med voksne hannlus, men den ene runden var mislykket og ble ikke analysert. Alle de seks hannlusen i dette forsøket døde i løpet av dag 1. Årsaken til den raske døden er ikke kjent, men det var ingen avvik i miljøforholdene i forhold til de andre forsøkene. En forklaring kan være skader som følge av håndtering og fiksering av individene. Metoden ser derfor ut til å ha noen begrensninger og den egner seg kanskje derfor ikke så godt til å overvåke svømmekapasitet hos mobile lakselus uten vert. Forsøket med voksne lakselus som er presenter i resultat, ble avsluttet når det ikke var noe aktivitet blant samtlige lus i en og samme film. Det ble derimot gjort en filming til etter dette, for å bekrefte at alle var inaktive. I denne filmen, viste den ene lusen aktivitet, og det ble derfor vurdert om man skulle fortsette filmingen, eller om man skulle avslutte forsøket. Forsøket ble valgt avsluttet som følge av begrenset med tid og ressurser, kameraet skulle også benyttes av andre studenter, samt at individet hadde vist varierende aktivitet i tidligere filmer. Men dette tyder på at individet kunne vært aktiv lengre enn de syv dagen forsøket varte.

4.3 Reinfestasjon av ny vert

Mobil lakselus som har mistet verten sin kan reinfestere ny vert selv om de har vært noen dager uten. Denne evnen bekreftes også av andre studier. Oppedal et al. (2024) fant at alle de mobile livsstadiene kan reinfestere ny vert etter en periode på 1-2 uker uten vert, men at det var stor variasjon innad i stadiene. Studier av mengden lakselus på oppdrettslaks i perioden etter en avlusning, viser også en signifikant økning i antall mobile hannlus på fisken i tiden etter en avlusning. Dette tyder på at lakselus som har falt av under trengingen reinfestere laks som blir satt tilbake i merden (Guttu et al., under review). Det er også en klar trend for at tiden mobil lakselus er uten vert påvirker evne til å reinfestere en ny vert. Grafene i Figur 3.11 viser at lusene som var uten vert i 0 dager, hadde en høyere reinfestasjonssuksess enn individene som hadde vært uten vert i 3 eller 7 dager, andelen lus igjen på fisken var hhv. 41-68%, 24-62% og 0-6% fire uker post reinfestasjon (for alle stadiene). Den lengste perioden uten vert undersøkt i denne studien var 7 dager, og lakselus klarte å reinfestere selv etter denne perioden. Det vil derfor vært interessant og gjennomført en studie der man økte denne perioden, for å se hvor mange dager de må være uten vert for at ingen av lakselusene klarer å reinfestere.

Kjønn kan se ut til å ha en effekt på suksessen til å reinfestere ny vert. Både i kontrollgruppen og i gruppen som hadde vært uten vert i 3 dager hadde voksne hunnlus størst reinfestasjonssuksess ved dag 7 og 28 post reinfestasjon (Figur 3.11). Denne forskjellen ble også observert for preadult lakselus som hadde vært uten vert i 3 og 7 dager. Lignende forsøk fant også en trend for at hunnlus hadde større reinfestasjonssuksess enn hannlus (Oppedal et al., 2024), noe som bekrefter observasjonene i denne studien. I alle gruppene viser resultatet at voksne hunnlus er det livsstadiet som hadde størst reinfestasjonssuksess (Figur 3.11). Voksne hunnlus er også sett på som det største problemet for akvakulturæringen, siden det er de som bærer eggstrenger og har mulighet til å produsere nye avkom. Det at voksne hunnlus ser ut til å ha størst suksess i reinfestasjon vil derfor være dårlig nytt for næringen.

På grunn av naturlige svingninger i vanntemperaturen (avsnitt 2.1) var gjennomsnittstemperaturen i forsøket med preadult lakselus noe lavere enn i forsøket med voksne lakselus, 1 °C kaldere. Temperaturen i inkubasjonsskassen var også forskjellig, henholdsvis 10,0 °C for preadult lakselus og 11,8 °C for voksne lakselus. Temperatur er vist til å ha en positiv effekt på infeksjonssuksessen til kopepoditter (Dalvin et al., 2020; Dalvin & Oppedal, 2019). Og man vil derfor tro at dette også vil gjelde for de mobile stadiene, siden disse også i stor grad er påvirket av temperaturen. Derimot er det ikke observert noen trender for temperaturpåvirkning i denne studien, mulig grunnet at det kun var små forskjell i temperatur. Oppedal et al. (2024) fant heller ingen klar trend for at temperatur påvirket evnen til reinfestasjon blant de mobile stadiene.

Både i denne studien og i de fleste forsøkene gjennomført av Oppedal et al. (2024), ble mobil lakselus manuelt plassert på ny vertsfisk med pinsett. Dette samsvarer ikke med de faktiske forholdene i havet, der lakselus selv må aktivt komme i kontakt med fisk de kan infestere. Oppedal et al. (2024) gjennomførte et forsøk der de så på evnen til å reinfestere fra frie vannmasser og der fant de at lusene har evnen til å finne og reinfestere ny vert selv, uten «hjelp». Det er også vist at mobil lakselus kan sette seg på ny vert fra frie vannmasser i en studie gjort av Ritchie (1997). Mobil lakselus ble observert til å immigrere inn i forsøks-merder og infestere fisk, og 90% av hannene som ble plassert i et kar med atlantisk laks infesterte fisken innen 24 timer (Ritchie, 1997). Det ser derfor ut til at mobil lakselus kan komme i kontakt og reinfestere ny vert selv om de flyter fritt i vannmassene. Men som Guttu et al. (under review) presenterte, vil avstand trolig spille en viktig rolle for omfanget av reinfestasjon.

En mulig feilkilde i svømmekapasitetsforsøket var klassifiseringen av hvilke lakselus som var døde og hvilke som var i live og ble satt på fisken. Døde lakselus var lus med en tydelig misfarging, lilla eller oransje, og denne fargen var observert tidligere på døde individer i overlevelsesforsøket. Derimot ble det i noen få tilfeller observert lakselus som falt av fisken i det øyeblikket fisk, som nettopp var infestert, ble satt tilbake i karet. Dette kan tyde på at de ikke klarte å danne vakuum eller at de var døde. I resultatet er alle lakselus satt på fisken tatt med i beregningene, siden man ikke kan si med sikkerhet hvilke av disse årsakene som gjorde at de falt av. En forbedring som kunne vært gjort var å bedre kontrollere lakselusene som ble satt på fisken. En metode som kunne blitt benyttet her er «sprut-testen» fra overlevelsesforsøkene, hvor responsen til lakselusene ble undersøkt ved å sprute en liten vannstrøm på dem.

Det er vist i flere studier at store mengder lakselus (10-40%) faller av under trenging i merden (Guttu et al., under review; Oppedal et al., 2024; Powell et al., 2015). Ser man

dette i sammenheng med resultatet presentert i denne studien, er det en klar indikasjon på at lakselus som faller av under trenging har et reelt smittepotensial. Mobil lakselus som mister verten sin kan overleve flere dager, de har muligheten til å aktivt svømme i perioden etter, og de kan reinfestere ny vert. De må derfor, i tillegg til kopepoditter, ses på som en mulig kilde for overføring og spredning av lakselus innad i anlegg og mellom nærliggende anlegg. Mobil lakselus fra oppdrettsanlegg kan også mulig smitte vill laksefisk i nærheten av anlegget. Det bør derfor vurderes om man i større grad bør benytte seg av teknologi som fanger opp mobile lakselus som faller av under trenging. Et eksempel på slik teknologi er CatchLICE, som er en orkastnot med mindre maskevidde enn de konvensjonelle nøtene. CatchLICE har en maskevidde på 2 mm og har vist seg å være effektiv for oppsamling av mobil lakselus som faller av under trenging (Oppedal et al., 2024). Oppedal et al. (2024) fant i sine forsøk at CatchLICE fanger opp til 100 % av de voksne hunnlusene. Voksne hunnlus er funnet til å høyest reinfestasjonsuksess og levere lengre enn hannlusen, og ved å ta ut denne vil man kunne redusere påslaget av lus i anlegget. Man vil derfor ha høyere effekt av eventuelle avlusninger, siden man får med alle de voksne hunnlusene inn i systemet og kan fjerne disse fra miljøet. Man vil da muligens forlenge tiden det tar før man når de fastsatte lusegrensen på 0,2/0,5 voksne hunnlus per fisk (Forskrift om lakselusbekjempelse, 2016). En større effekt av hver avlusning, samtidig som man fjerner lus som tidligere har blitt spredt i vannet, vil trolig kunne medføre færre avlusninger og bedre dyrevelferd. Ved å samle opp mobil lakselus vil man også trolig redusere infeksjonstrykket på vill laksefisk.

5 Konklusjon

Denne studien gir verdifull innsikt i hvordan mobil lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) håndterer det å være uten vert. Det er sett på tre ulike momenter; overlevelse uten vert, svømmekapasitet og muligheten for reinfestasjon av ny vert. Resultatet viser at mobil lakselus overlever i gjennomsnitt 4-9 dager uten vert ved temperaturer på 10-12 °C. Den lengste overlevelsen registrert i overlevelsesforsøket var 14 dager og i svømmekapasitetsforsøket 19 dager uten vert. Kjønn og temperatur er to faktorer som ser ut til å påvirke overlevelsen uten vert. Mobil lakselus har også evnen til å aktivt svømme i tiden etter de har mistet verten sin. Det var stor individuell variasjon, men i hovedsak var det en trend for at mobil lakselus var stabilt aktiv i hele perioden de var uten vert, før det var en drastisk reduksjon på slutten og de døde. Kun i noen tilfeller var det en økning eller en reduksjon i aktiviteten. Alle de mobile stadiene testet her viste en tydelig respons på lysstimuli, hvor de i gjennomsnitt svømte i 20,3-23,5% av tiden under stimuli. Undersøkelsen av reinfestasjon viser at både preadult og voksen lakselus kan reinfestere ny atlantisk laks etter de har mistet sin første vert, og tiden uten vert påvirker reinfestasjonssuksessen. Av alle stadiene testet i denne studien viser resultatet at voksen hunnlus har størst reinfestasjonssuksess, og at det er en trend for at hunnlus gjør det bedre en hannlus. Helt til slutt konkluderer denne studien med at mobil lakselus har evnen til å overleve og aktivt svømme i lengre tid etter de mister verten sin, samt at de kan reinfestere ny vert etter flere dager uten. Mobil lakselus som faller av oppdrettsfisk, for eksempel under trenging i merden, må derfor anses som en mulig smittekilde både innad i anlegget og hos nærliggende oppdrettsanlegg, samt hos vill laksefisk. Nye studier som ser nærmere på sammenhengen mellom momentene som er presenter i denne studien er å anbefale, siden den praktiske betydningen av funnene vil ha stor betydning for oppdrettsnæringen.

Referanser

- Andersen, R. (2020). *The Effect of Natural and Artificial Light on in situ Vertical Migration of Salmon Lice (Lepeophtheirus Salmonis) Copepodids* [Masteroppgave, NTNU]. NTNU Open. <https://hdl.handle.net/11250/2782469>
- Asplin, L., Johnsen, I. A., Sandvik, A. D., Albretsen, J., Sundfjord, V., Aure, J. & Boxaspen, K. K. (2014). Dispersion of salmon lice in the Hardangerfjord. *Marine Biology Research*, 10(3), 216-225. <https://doi.org/10.1080/17451000.2013.810755>
- Baker, D. J. & Romick, G. J. (1976). The rayleigh: interpretation of the unit in terms of column emission rate or apparent radiance expressed in SI units. *Applied optics*, 15(8), 1966-1968. <https://doi.org/10.1364/AO.15.001966>
- Barrett, L. T., Oppedal, F., Robinson, N. & Dempster, T. (2020a). Prevention not cure: a review of methods to avoid sea lice infestations in salmon aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2527-2543. <https://doi.org/10.1111/raq.12456>
- Barrett, L. T., Overton, K., Stien, L. H., Oppedal, F. & Dempster, T. (2020b). Effect of cleaner fish on sea lice in Norwegian salmon aquaculture: a national scale data analysis. *International journal for parasitology*, 50(10-11), 787-796. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2019.12.005>
- Boxaspen, K. (1993). Lakselus-livsløp og reproduksjon. *Havforskningsnytt*, nr. 7.
- Boxaspen, K. (2006). A review of the biology and genetics of sea lice. *ICES Journal of Marine Science*, 63(7), 1304-1316. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.04.017>
- Bron, J., Sommerville, C. & Rae, G. (1993a). Aspects of the behaviour of copepodid larvae of the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837). I G. A. Boxshall & D. Defaye (Red.), *Pathogens of wild and farmed fish: sea lice* (s. 125-142).
- Bron, J., Sommerville, C., Wootten, R. & Rae, G. (1993b). Following of marine Atlantic salmon, *Salmo salar* L., farms as a method for the control of sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Kroyer, 1837). *Journal of Fish Diseases*, 16(5), 487-493. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1993.tb00882.x>
- Bruno, D. W. & Stone, J. (1990). The role of saithe, *Pollachius virens* L., as a host for the sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* Krøyer and *Caligus elongatus* Nordmann. *Aquaculture*, 89(3-4), 201-207. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90125-7)
- Burrige, L., Weis, J. S., Cabello, F., Pizarro, J. & Bostick, K. (2010). Chemical use in salmon aquaculture: a review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*, 306(1-4), 7-23. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.020>
- Båtnes, A. S., Bjørnland, T., Hansen, S. S., Furberg, M. H., Middelthon, M., Ekundayo, O. I., Olsen, Y., Sæter, A. F., Bengston, J. M. & Miljeteig, C. (2024). *Ikke-medikamentell kontroll av lus: sammenlikning av avlusingsmetoder på bakgrunn av avlusingseffekt, fiskevelferd, toleranse mot og smittepotensial etter avlusing* NTNU Taskforce lakselus.
- Dalvin, S., Are Hamre, L., Skern-Mauritzen, R., Vågseth, T., Stien, L., Oppedal, F. & Bui, S. (2020). The effect of temperature on ability of *Lepeophtheirus salmonis* to

- infect and persist on Atlantic salmon. *Journal of Fish Diseases*, 43(12), 1519-1529. <https://doi.org/10.1111/jfd.13253>
- Dalvin, S. & Oppedal, F. (2019). *Utvikling av lakselus ved ulike temperaturer og lys-TEMPLUS* (13). (Rapport fra Havforskningen), Issue. Havforskningsinstituttet. <http://hdl.handle.net/11250/2600148>
- Espås, E. (in prep.). *Atferdsrespons hos voksne og preadulte lakselus* [Masteroppgave, NTNU].
- Finstad, B., Bjørn, P., Grimnes, A. & Hvidsten, N. (2000). 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. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2000.00511.x>
- Fiskeridirektoratet. (2024). *Biomassestatistikk*. <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Biomassestatistikk>
- Fjelldal, P. G., Hansen, T. J. & Karlsen, Ø. (2020). Effects of laboratory salmon louse infection on osmoregulation, growth and survival in Atlantic salmon. *Conservation physiology*, 8(1), coaa023. <https://doi.org/10.1093/conphys/coaa023>
- Flamarique, I. N., Browman, H. I., Bélanger, M. & Boxaspen, K. (2000). Ontogenetic changes in visual sensitivity of the parasitic salmon louse *Lepeophtheirus salmonis*. *Journal of Experimental Biology*, 203(11), 1659-1669.
- Forseth, T., Barlaup, B. T., Finstad, B., Fiske, P., Gjørseter, H., Falkegård, M., Hindar, A., Mo, T. A., Rikardsen, A. H. & Thorstad, E. B. (2017). The major threats to Atlantic salmon in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, 74(6), 1496-1513. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx020>
- Forseth, T., Einum, S., Fiske, P., Falkegård, M., Garmo, Ø. A., Garseth, Å. H., Skoglund, H., Solberg, M. F., Thorstad, E. B. & Utne, K. R. (2023). *Status for norske laksebestander i 2023* (18). Vitenskapelig råd for lakseforvaltning.
- Forskrift om lakselusbekjempelse. (2016). *Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg* (FOR-2023-12-14-2087). Lovdata. <https://lovdata.no/forskrift/2012-12-05-1140>
- Furberg, M. H. (2022). *Sammenlikning av mekanisk og termisk avlusning: Klekkesuksess og larveutvikling fra eggstrenger med vurdering av smittepotensial hos lakselus (Lepeophtheirus salmonis)* [Masteroppgave, NTNU]. NTNU Open. <https://hdl.handle.net/11250/3004413>
- Grimnes, A. & Jakobsen, P. (1996). The physiological effects of salmon lice infection on post-smolt of Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology*, 48(6), 1179-1194. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1996.tb01813.x>
- Guttu, M., Båtnes, A. S., Aunsmo, A., Bjørnland, T. & Olsen, Y. (under review). Detachment and Re-Attachment of Salmon Lice During Full-Scale Delousing Operations on Salmon Farms. Available at SSRN 4754242. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4754242>
- Guttu, M., Gaasø, M., Båtnes, A. S. & Olsen, Y. (2024). The decline in sea lice numbers during freshwater treatments in salmon aquaculture. *Aquaculture*, 579, 740131. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740131>
- Hagemann, A., Kvæstad, B. & Venås, B. (2024). Effect of diel light cycles on vertical migration patterns of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837) copepodids measured in an in situ mesocosm. *Aquaculture International*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01519-y>
- Hamre, L. A., Bui, S., Oppedal, F., Skern-Mauritzen, R. & Dalvin, S. (2019). Development of the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* parasitic stages in temperatures

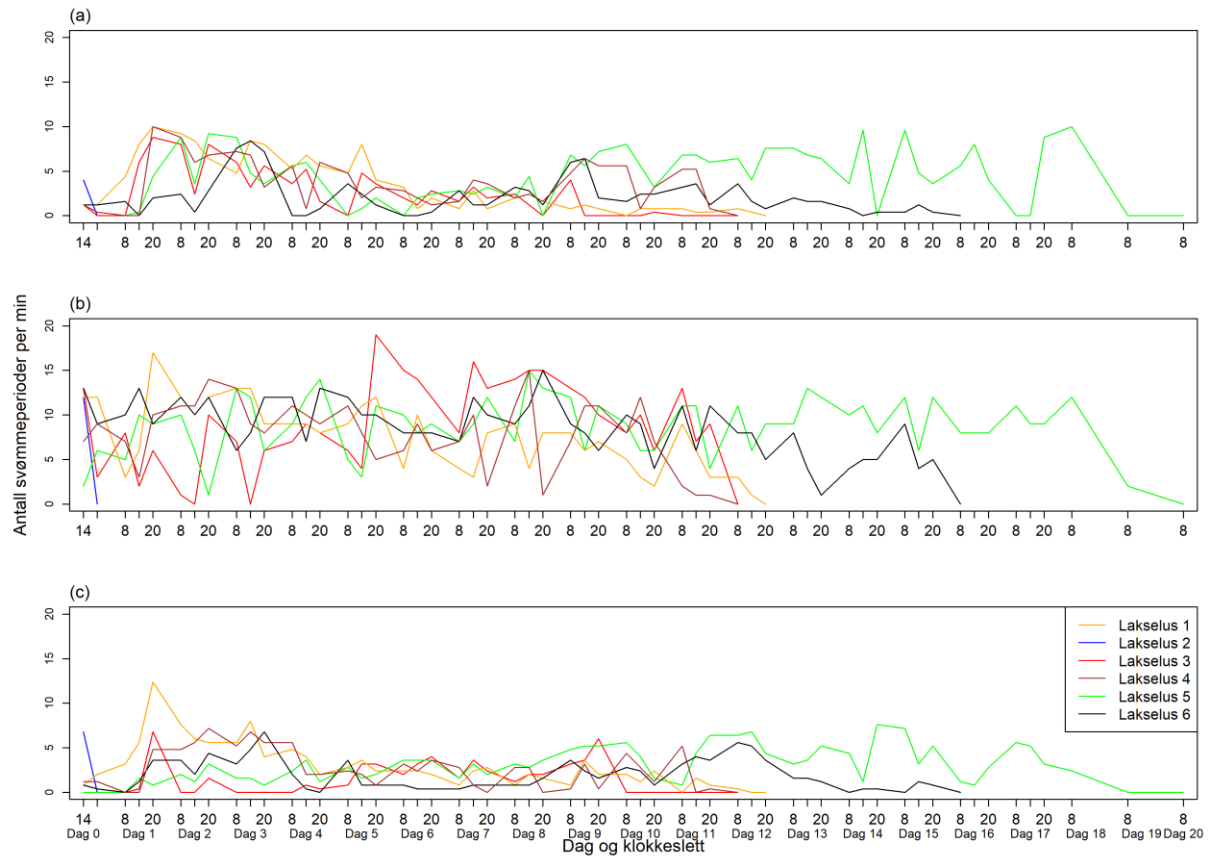
- ranging from 3 to 24 C. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 429-443. <https://doi.org/10.3354/aei00320>
- Hamre, L. A., Eichner, C., Caipang, C. M. A., Dalvin, S. T., Bron, J. E., Nilsen, F., Boxshall, G. & Skern-Mauritzen, R. (2013). The salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) life cycle has only two chalimus stages. *PLoS one*, 8(9), e73539. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073539>
- Helgesen, K. M. O., Horsberg, T. E., Stige, L. C., Tarpai, A. & Norheim, K. (2023). *The surveillance programme for resistance to chemotherapeutants in L. salmonis in Norway 2022* (6). Veterinærinstituttet. https://vetinst.brage.unit.no/vetinst-xmlui/bitstream/handle/11250/3117846/Helgesen2023+OK_resistens.pdf?sequence=1
- Hesthagen, T., Wienerroither, R., Bjelland, O., Byrkjedal, I., Fiske, P., Lynghammar, A., Nedreaas, K. & Straube, N. (2021, 24. november). *Fisker: Vurdering av laks Salmo salar Linnaeus, 1758. Rødlista for arter 2021*. Artsdatabanken. <https://www.artsdatabanken.no/lister/rodlisteforarter/2021/8149>
- Heuch, P., Nordhagen, J. & Schram, T. (2000). Egg production in the salmon louse [*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)] in relation to origin and water temperature. *Aquaculture research*, 31(11), 805-814. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2000.00512.x>
- Heuch, P. A., Parsons, A. & Boxaspen, K. (1995). Diel vertical migration: a possible host-finding mechanism in salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) copepodids? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52(4), 681-689. <https://doi.org/10.1139/f95-069>
- Holan, A. B., Roth, B., Breiland, M. S. W., Kolarevic, J., Hansen, Ø. J., Iversen, A., Hermansen, Ø., Gjerde, B., Hatlen, B. & Mortensen, A. (2017). *Beste praksis for medikamentfrie metoder for lakseluskontroll (MEDFRI)-Faglig sluttrapport* (10). (Nofima rapportserie), Issue. Nofima. <https://nofima.brage.unit.no/nofima-xmlui/bitstream/handle/11250/2443555/Rapport+10-2017.pdf?sequence=2>
- Igboeli, O. O., Burka, J. F. & Fast, M. D. (2014). *Lepeophtheirus salmonis*: a persisting challenge for salmon aquaculture. *Animal Frontiers*, 4(1), 22-32. https://www.researchgate.net/profile/Okechukwu_Igboeli/publication/269429846_Lepeophtheirus_salmonis_a_persisting_challenge_for_salmon_aquaculture/links/55ff2a5d08aec948c4f9b065/Lepeophtheirus-salmonis-a-persisting-challenge-for-salmon-aquaculture.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Nystøyl, R. & Hess, E. J. (2017). *Kostnadsutvikling i lakseoppdrett-med fokus på fôr-og lusekostnader* (24). (Nofima rapportserie), Issue. Nofima. <http://hdl.handle.net/11250/2481501>
- Jevne, L. S. & Reitan, K. I. (2019). How are the salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer, 1837) in Atlantic salmon farming affected by different control efforts: A case study of an intensive production area with coordinated production cycles and changing delousing practices in 2013–2018. *Journal of Fish Diseases*, 42(11), 1573-1586. <https://doi.org/10.1111/jfd.13080>
- Johnson, S. & Albright, L. (1991). The developmental stages of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837)(Copepoda: Caligidae). *Canadian Journal of Zoology*, 69(4), 929-950. <https://doi.org/10.1139/z91-138>
- Kabata, Z. (1979). *Parasitic Copepoda of British fishes* (Bd. 152). British Museum.

- Mordue, A. & Birkett, M. (2009). A review of host finding behaviour in the parasitic sea louse, *Lepeophtheirus salmonis* (Caligidae: Copepoda). *Journal of Fish Diseases*, 32(1), 3-13. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2008.01004.x>
- Nersten, M. (2021). *Fate of Lepeophtheirus salmonis and Caligus elongatus During Farmed Salmon Crowding* [Masteroppgave, NTNU]. NTNU Open. <https://hdl.handle.net/11250/2782504>
- Nilsson, J., Moltumyr, L., Madaro, A., Kristiansen, T. S., Gåsnes, S. K., Mejdell, C. M., Gismervik, K. & Stien, L. H. (2019). Sudden exposure to warm water causes instant behavioural responses indicative of nociception or pain in Atlantic salmon. *Veterinary and animal science*, 8, 100076. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2019.100076>
- Norges Sjømatråd. (2024, 4. januar). *Prisvekst og svak krone ga eksportrekord for norsk sjømat i 2023*. Hentet 20.05.2024 fra <https://seafood.no/aktuelt/nyheter/prisvekst-og-svak-krone-ga-eksportrekord-for-norsk-sjomat-i-2023/>
- Obrestad, L. (in prep.). *Overlevingsevne og åtferdsresponsar på lysstimuli hjå vaksne skottelus (Caligus elongatus) etter tap av vert* [Masteroppgave, NTNU].
- Oppedal, F., Dalvin, S., Barrett, L., Geitung, L., Huserbråten, M., Nola, V., Harvey, M., Vågseth, T., Martinsen, L. V., Dahlgren, A. & Saltskår, D. (2024, 23. januar). *Oppsamling av bevegelige lus som faller av og deres evne til spredning og reinfeksjon*. Lusekonferansen 2024, Trondheim, Norge.
- Overton, K., Dempster, T., Oppedal, F., Kristiansen, T. S., Gismervik, K. & Stien, L. H. (2019). Salmon lice treatments and salmon mortality in Norwegian aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1398-1417. <https://doi.org/10.1111/raq.12299>
- Pike, A. & Wadsworth, S. (1999). Sealice on salmonids: their biology and control. *Advances in parasitology*, 44, 233-337. [https://doi.org/10.1016/S0065-308X\(08\)60233-X](https://doi.org/10.1016/S0065-308X(08)60233-X)
- Powell, M. D., Reynolds, P. & Kristensen, T. (2015). Freshwater treatment of amoebic gill disease and sea-lice in seawater salmon production: Considerations of water chemistry and fish welfare in Norway. *Aquaculture*, 448, 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.027>
- Produksjonsområdeforskriften. (2021). *Forskrift om produksjonsområder for akvakultur av matfisk i sjø av laks, ørret og regnbueørret (produksjonsområdeforskriften)* (FOR-2023-09-28-1520). Lovdata. <https://lovdata.no/forskrift/2017-01-16-61>
- Regjeringen.no. (2024). *Ny fargelegging i trafikklyssystemet for havbruk*. Hentet 04.05.2024 fra <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/ny-fargelegging-i-trafikklyssystemet-for-havbruk/id3028522/>
- Ritchie, G. (1997). The host transfer ability of *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) from farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*, 20(2), 153-157. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.1997.00285.x>
- Roth, B. (2016). *Avlusing av laksefisk med Optilice: Effekt på avlusing og fiskevelferd* (59). (Nofima rapportserie), Issue. Nofima. <https://hdl.handle.net/11250/3051299>
- Samsing, F., Johnsen, I., Dempster, T., Oppedal, F. & Treml, E. A. (2017). Network analysis reveals strong seasonality in the dispersal of a marine parasite and identifies areas for coordinated management. *Landscape Ecology*, 32, 1953-1967. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0557-0>
- Samsing, F., Oppedal, F., Dalvin, S., Johnsen, I., Vågseth, T. & Dempster, T. (2016). Salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) development times, body size, and

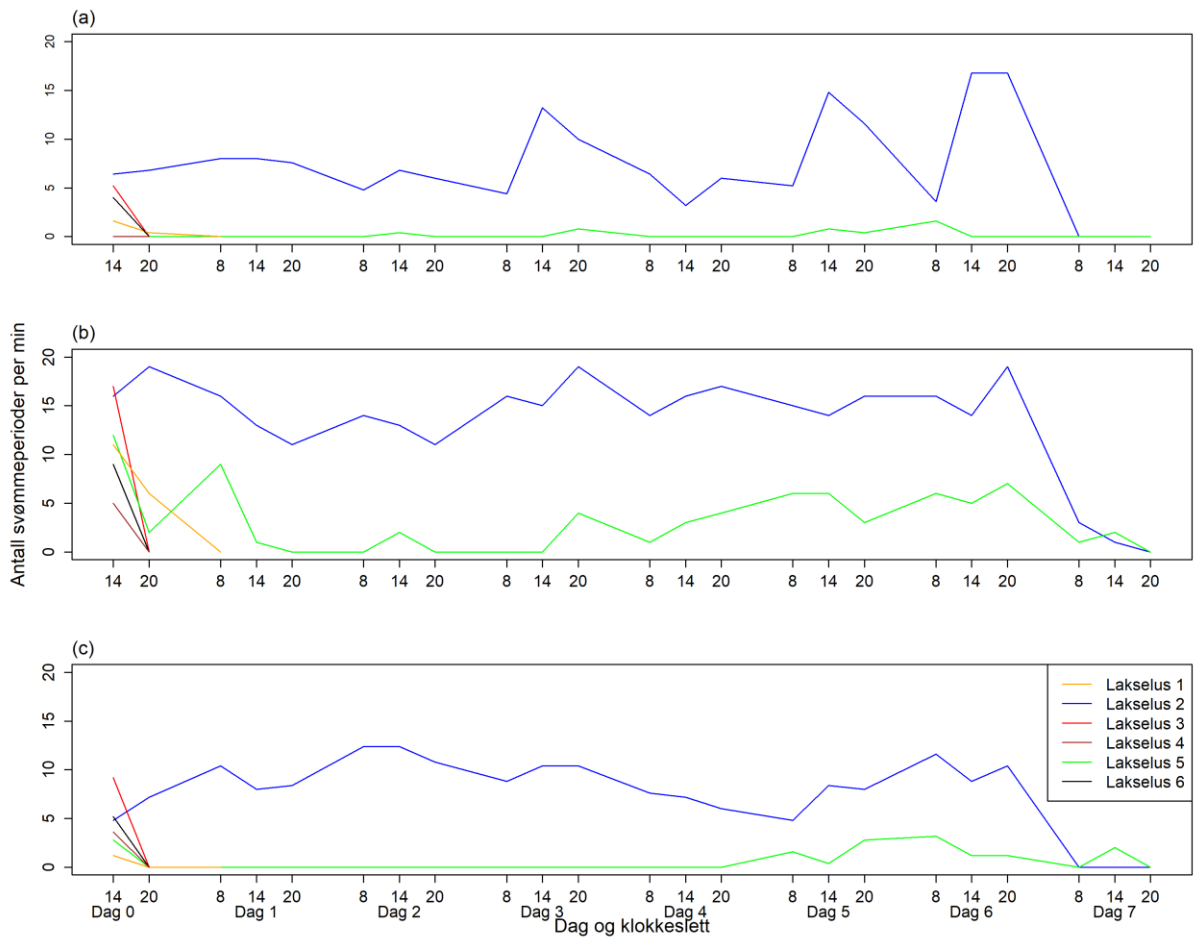
- reproductive outputs follow universal models of temperature dependence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 73(12), 1841-1851. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2016-0050>
- Schram, T. A. (1993). Supplementary descriptions of the developmental stages of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837)(Copepoda: Caligidae). I *Pathogens of wild and farmed fish: sea lice* (Bd. 1, s. 30-47).
- Sommerset, I., Wiik-Nielsen, J., Moldal, T., Oliveira, V., Svendsen, J., Haukaas, A. & Brun, E. (2024). *Fiskehelsesrapporten 2023* (Veterinærinstituttets rapportserie 8a/2024), Issue. Veterinærinstituttet 2024.
- 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. <https://doi.org/10.3354/meps290263>
- Stingray. (2024). *Stingray-systemet*. Hentet 04.05.2024 fra <https://www.stingray.no/avlusing-med-laser/>
- Thorstad, E. B., Forseth, T. & Peder, F. (2020). *Status for norske laksebestander i 2020* (15). Vitenskapelig råd for lakseforvaltning. <https://hdl.handle.net/11250/2657947>
- Tucker, C. S., Sommerville, C. & Wootten, R. (2000). An investigation into the larval energetics and settlement of the sea louse, *Lepeophtheirus salmonis*, an ectoparasitic copepod of Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Fish Pathology*, 35(3), 137-143. <https://doi.org/10.3147/jsfp.35.137>
- Vollset, K. W., Nilsen, F., Ellingsen, I., Karlsen, Ø., Paterson, R. A., Qviller, L., Skardhamar, J., Stige, L. C., Sægrov, H., Ugedal, O. & Dalvin, S. (2022). *Produksjonsområdebasert vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet i 2022* (Rapport fra ekspertgruppe for vurdering av lusepåvirkning), Issue. <https://www.regjeringen.no/contentassets/b6f5e7d38fe04234b32156131a1eec14/ekspertrapport-tls-2022-1.pdf>
- Aaen, S. M., Helgesen, K. O., Bakke, M. J., Kaur, K. & Horsberg, T. E. (2015). Drug resistance in sea lice: a threat to salmonid aquaculture. *Trends in parasitology*, 31(2), 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2014.12.006>

Vedlegg

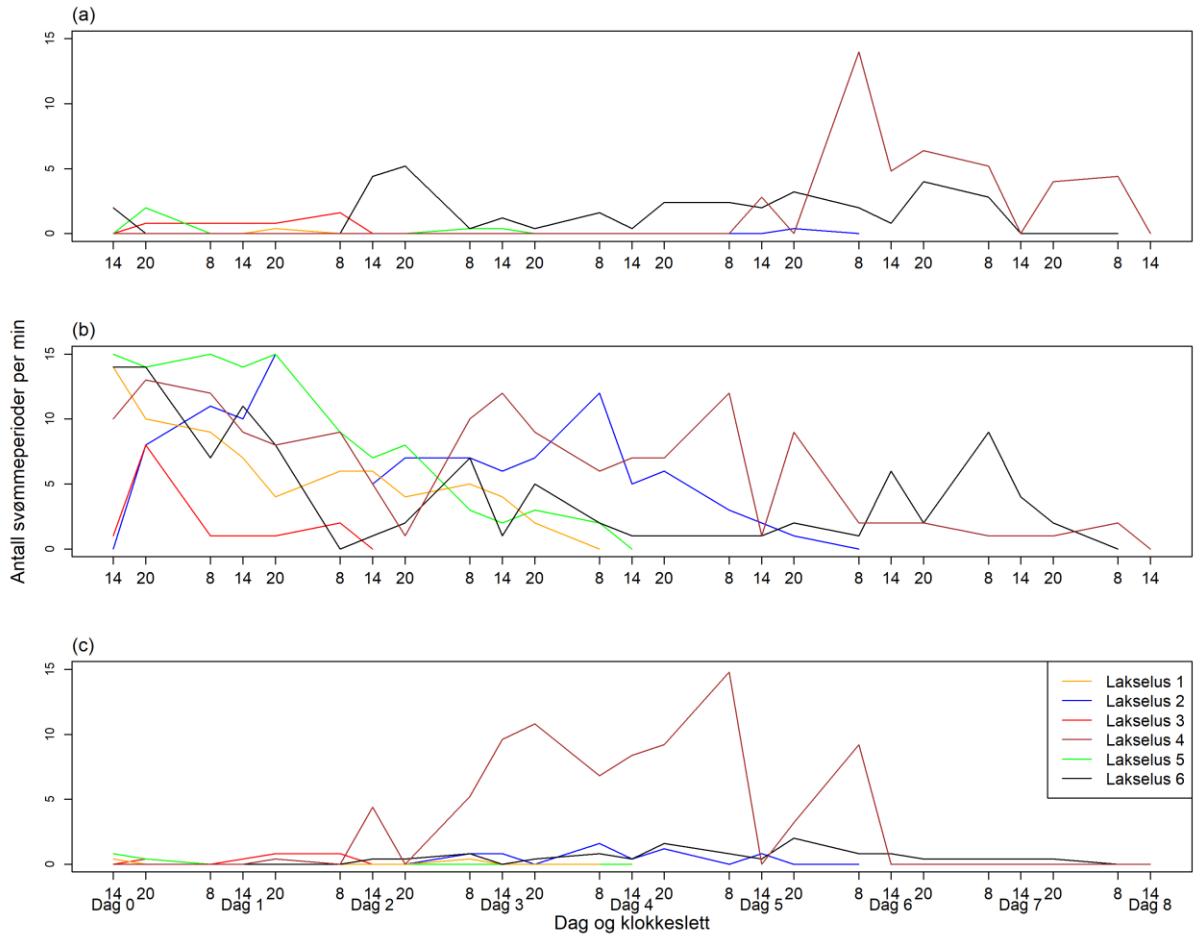
Vedlegg A – Rådata svømmekapasitet



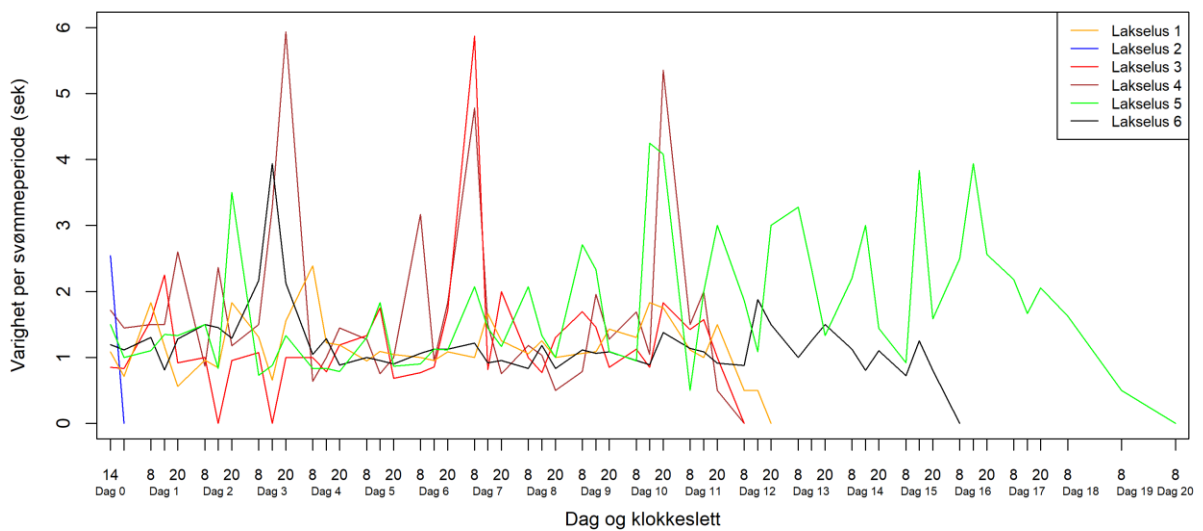
Figur A.1: Antall svømmeperioder per minutt hos preadult II hunnlus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Før (a), under (b) og etter (c) blinkende blå lysstimuli.



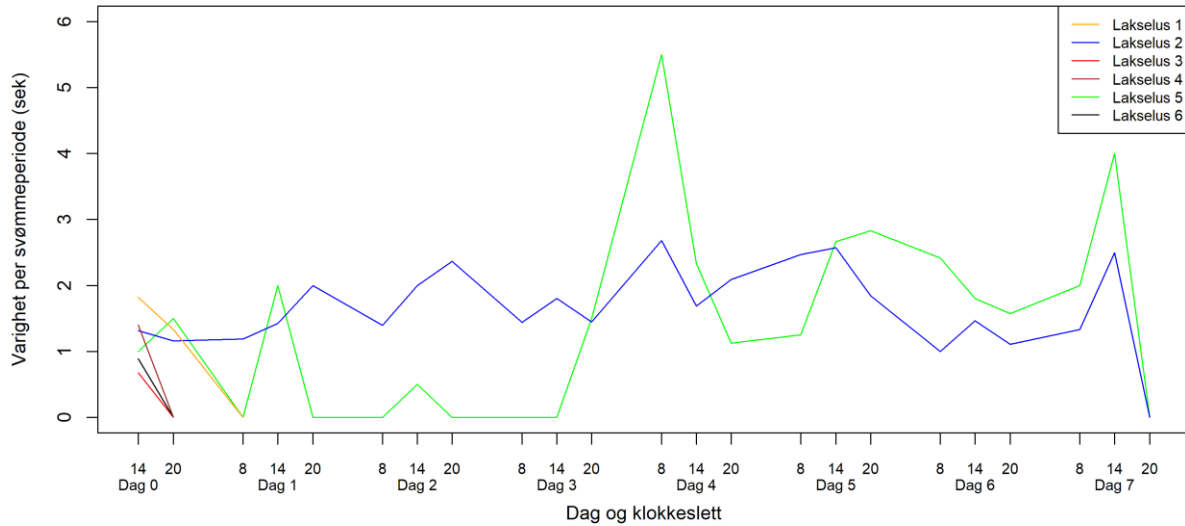
Figur A.2: Antall svømmeperioder per minutt hos voksne hannlus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Før (a), under (b) og etter (c) blinkende blå lysstimuli.



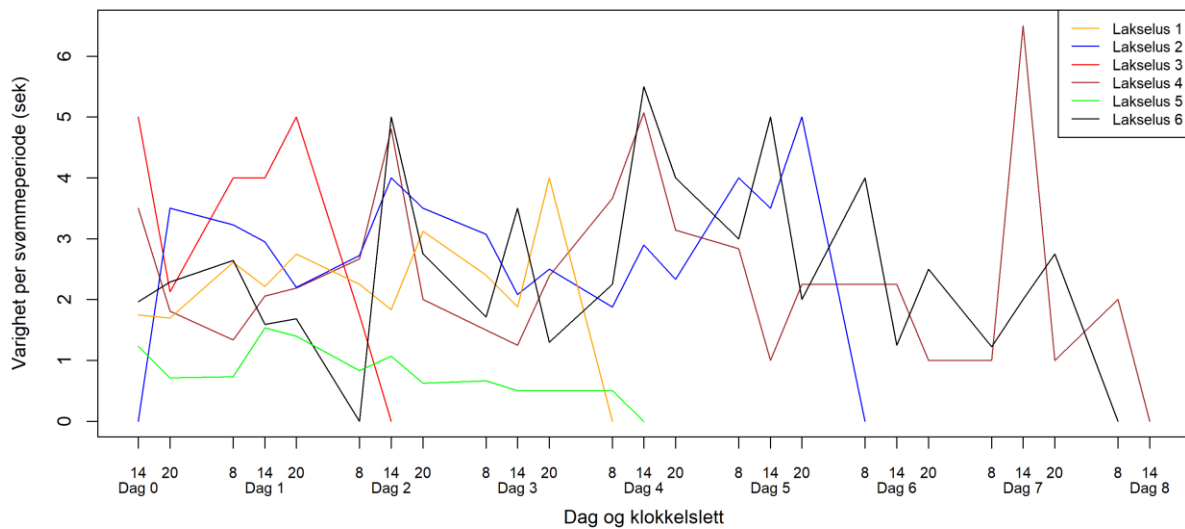
Figur A.3: Antall svømmeperioder per minutt hos voksne hunnlus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00). Før (a), under (b) og etter (c) blinkende blå lysstimuli.



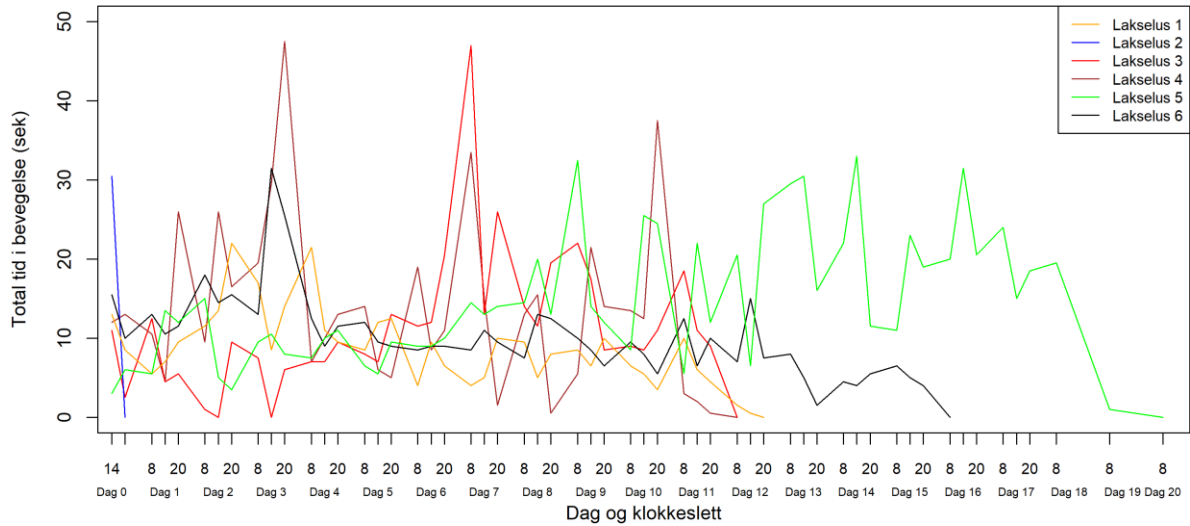
Figur A.4: Varighet per svømmeperiode i sekunder under blinkende blå lysstimuli hos preadult II hunnlus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00).



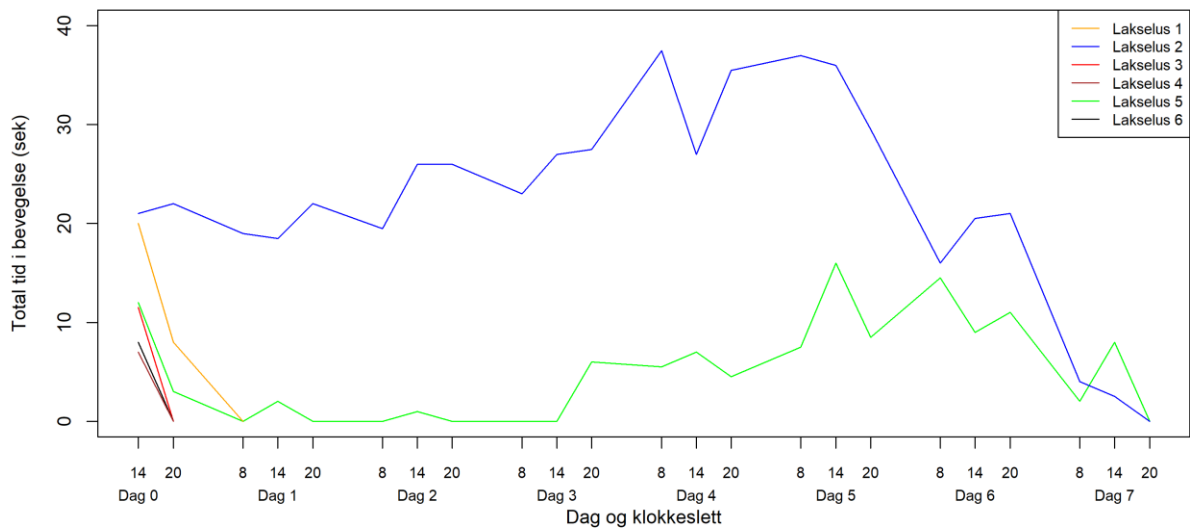
Figur A.5: Varighet per svømmeperiode i sekunder under blinkende blå lysstimuli hos voksne hannlus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00).



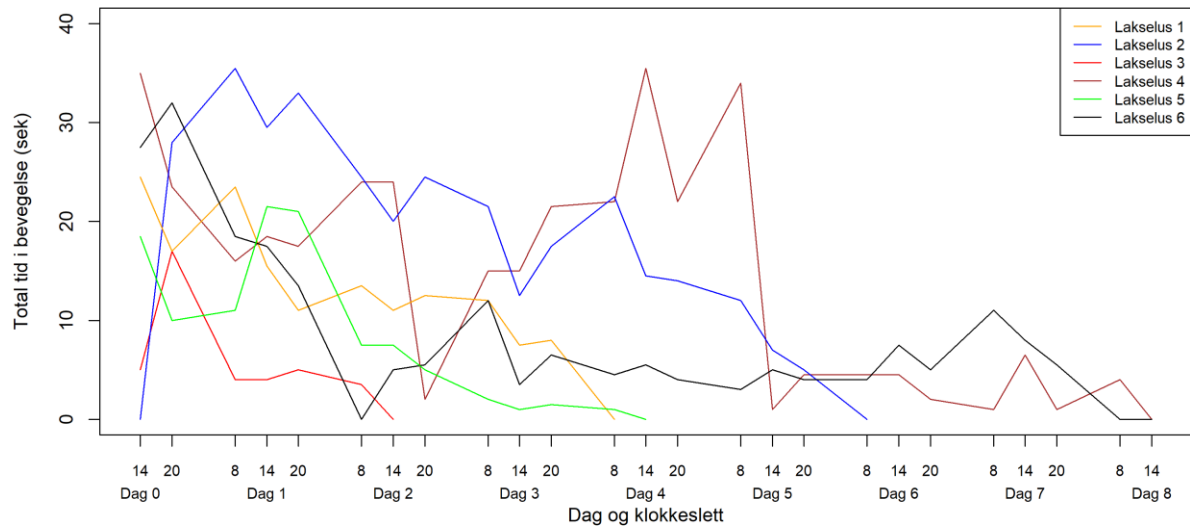
Figur A.6: Varighet per svømmeperiode i sekunder under blinkende blå lysstimuli hos voksne hunnlus (*Lepeophtheirus salmonis*) over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00).



Figur A.7: Totalt tid i bevegelse i sekunder hos preadult II hunnlus (*Lepeophtheirus salmonis*) under et minutt blinkende blå lysstimuli over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00).



Figur A.8: Totalt tid i bevegelse i sekunder hos voksne hannlus (*Lepeophtheirus salmonis*) under et minutt blinkende blå lysstimuli over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00).



Figur A.9: Totalt tid i bevegelse i sekunder hos voksne hunnlus (*Lepeophtheirus salmonis*) under et minutt blinkende blå lysstimuli over dag og klokkeslett (08.00, 14.00 og 20.00).

