

Effekt og velferd ved bruk av rensefisk og luseskjørt (EFFEKTIV)



Rapport APN-62335

Dette er en blank side

Akvaplan-niva AS

Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur

Org.nr: NO 937 375 158 MVA

APN Island-kontor (svaradresse)

Akralind 4

201 Kópavogur, Island

E-post: iceland@akvaplan.niva.nowww.akvaplan.niva.no

Rapporttittel <i>Effekt og velferd ved bruk av rensfisk og luseskjørt (EFFEKTIV)</i>	
Forfatter(e): Albert K. D. Imsland, Patrick Reynolds, Magne Aldrin, Solveig Engebretsen, Peder Jansen, Lauris Boissonnot, Camilla Karlsen, Katrine Hiorth, Mette Remen, Marthe Austad, Bård Harald Worum, Ola Kvaal Brandshaug, Sondre Veberg Larsen, Reidun Bjelland, Anne-Berit Skiftesvik	Akvaplan-niva rapport: APN- 62335
	Dato: 27.04.22
	Antall sider: 131 + 28
	Distribusjon: Offentlig
Oppdragsgiver: Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF)	Oppdragsgiver Referanse 901652

1 Sammendrag

Abstrakt

Effekt – leppefisk og rognkjeks

Det er funnet svært stor variasjon i antall lus i magen hos rensefisk basert på mageprøver samlet i laksemerder langs norskekysten. De fleste rensefisk har 0 lus, mens noen få rensefisk har svært mange lus. For leppefisk har vi foreløpig for få observasjoner til å kunne trekke noen sikre konklusjoner, men det virker å være samsvar med tidligere modeller utviklet i FHF-LUSEKONTROLL. For rognkjeks derimot har vi mageprøver fra 26.000 fisk. I gjennomsnitt er det 0,19 lakselus per rognkjeks. Hvis vi antar at fordøyelsestid for lus hos rognkjeks er 1 døgn ved en sjøtemperatur på 9 grader, vil det utgjøre 0,19 lus per rognkjeks per døgn ved denne temperaturen. Dette tilsvarer at 19 % av lusepopulasjonen dør ved 10 % innblanding av rognkjeks og 0,1 lus (sum voksne+preadulte) per laks.

Systematisk gjennomgang av tilgjengelige data (publisert, rapporter, pers. medd.) viser tydelig at rognkjeks beiter på lakselus og skottelus og kan redusere lusebyrden betydelig i lakseoppdrett. Det er mulig å forbedre lusebeiting av rognkjeks ved hjelp av levende fôrkondisjonering før sjømerdoverføring og med selektiv avl. Data tyder på at lusebeiting av rognkjeks er størrelsesavhengig og beiteeffekten er lav for rognkjeks større enn 200-250 g. Observasjoner fra storskala oppdrett av laks i åpne havmerder i Norge, på Island, på Færøyene, og i Skottland tyder også på at rognkjeks kan være effektive for å senke nivåer av lakselus på laks.

Velferd - rognkjeks

Resultater fra oppfølging av rognkjeksens velferdsstatus, miljøbetingelser og produksjonsforhold ved 12 lokaliteter i Midt-Norge i perioden vår 2019-høst 2021 tyder på at velferdsstatusen hos rognkjeks utviklet seg negativt etter utsatt i merd. Mens ny-utsatt rognkjeks hadde god velferd, hadde en stor andel rognkjeks tydelig redusert velferd etter 6-7 måneder i sjø. Den negative utviklingen var mest sannsynlig grunnet en kombinasjon av ulike faktorer, men resultatene tyder på at mekanisk avlusing var en viktig negativ faktor. Alvorlige utvendige skader ble observert i etterkant av mekanisk avlusning. Sammenstilling av individbaserte data for lusebeite-effektivitet og overordnet velferdsscore viser at individer med tydelig eller alvorlig redusert velferdsstatus ikke spiser lus.

Velferd – leppefisk

Resultatene fra analysene av sannsynlighet for skade og sannsynlighet for alvorlig skade viste begge en økning over tid etter første helsekontroll med velferdsvurdering. Datatilfanget i velferdsundersøkelsene blant villfanget leppefisk var relativt begrenset, slik at det ikke er mulig å trekke sikre konklusjoner om hvilke påvirkningsfaktorer som bidrar til skadeutvikling på leppefisken.

Luseskjørt

Prosjektet omfatter en beskrivelse av praktisk bruk av luseskjørt, basert på intervjuer av et bredt utvalg av deltagere fra oppdrettsnæringen og dens leverandører samt et studium av tilgjengelig litteratur. Materialet er bearbeidet av en arbeidsgruppe, og det er avdekket viktige funn som er av betydning for god bruk av luseskjørt. Resultatene er gruppert innenfor kategoriene strategiske forhold, driftsmessige forhold, eksponering og miljøforhold, fiskehelse og effekt. De omfatter dermed både ytre og indre faktorer som er av betydning for hvilken effekt som kan hentes ut av teknologien, alene eller i kombinasjon med andre forebyggende metoder mot lakselus.

Storskala testing av effekt hos rensefisk med og uten CFC

For å sammenligne lakselusinfeksjonsnivåer i kommersielle polarsirkelmerder utstyrt med Gifas Closed Fish Cage System (CFC) i nærvær eller fravær av rognkjeks og sammenlignet vekstytelse og helse av rognkjeks føret med fôrblokker eller pelletert fôr, var seks 90 m polarsirkelmerder som inneholdt ca. 150 000 atlantisk laks med en gjennomsnittlig vekt på 500 g utstyrt med CFC-systemer. Det var en klar forskjell i luseangrep mellom behandlingene. Merder med rognkjeks føret med fôrblokker hadde lavere nivåer av pre-voksen og moden hunnlus sammenlignet med merder med rognkjeks føret på pellet og merder uten rognkjeks til stede. Bruk av fôrblokker som vedlikeholdsfôr kan forbedre lusebeiteeffekten av rognkjeks. Mer langvarige studier er nødvendig for å fullt ut belyse dette potensialet.

Fremtidige FoU behov

Det er et generelt behov for flere case-studier, særlig fra lokaliteter som har god erfaring med rensefisk og/eller luseskjørt som forebyggende metoder. Det er også behov for flere langsiktige studier i storskala, da det er et stort antall parametere som påvirker bruken av rensefisk og luseskjørt. Det kan være komplisert å estimere effekten av forbyggende metoder hvis man ikke kan sammenligne merder med og uten bruk av disse metoder. En mer omfattende rapportering fra oppdretterne med systematisk registrering av bruk av rensefisk og luseskjørt vil kunne være en interessant mulighet for å kunne sammenligne lusenivåene ved alle lokalitetene som bruker forbyggende metoder i ulike grad.

Abstract

Efficacy – lumpfish and wrasses

Very large variation in the number of lice in the stomach has been found in cleaner fish based on stomach samples collected in salmon cages along the Norwegian coast. Most cleaner fish have 0 lice, while a few cleaner fish have very many lice. For wrasses, we currently have too few observations to be able to draw any safe conclusions, but this seems to be consistent with previous models developed in FHF-LUSEKONTROLL. For lumpfish, on the other hand, we have stomach samples from 26,000 fish. On average, there were 0.19 sea lice per lumpfish. If we assume that the digestive time of lice in lumpfish is 1 day at a sea temperature of 9 degrees, it will amount to 0.19 lice per lumpfish per day at this temperature. This corresponds to 19 % of the lice population dying from 10 % intervention of lumpfish and 0.1 lice (total adults+preadulte) per salmon.

Systematic review of available data (published, reports, pers. comm..) clearly shows that lumpfish graze on sea lice and *Caligus elongatus* and can significantly reduce the lice burden in salmon farming. It is possible to improve lice grazing of lumpfish with the help of live feed conditioning before sea cage transfer and with selective breeding. Data suggest that lice grazing of lumpfish is size dependent and the grazing effect is low for lumpfish larger than 200-250 g. Observations from large-scale salmon farming in open sea cages in Norway, Iceland, the Faroe Islands, and in Scotland also suggest that lumpfish may be effective in lowering levels of sea lice on salmon.

Welfare - lumpfish

Results from follow-up of lumpfish welfare status, environmental conditions and production conditions at 12 sites in Central Norway in the period spring 2019-autumn 2021 indicate that the welfare status of lumpfish developed negatively after transfer to sea cages. While newly transported lumpfish had good welfare, a large proportion of lumpfish had clearly reduced welfare after 6-7 months at sea. The negative development was most likely due to a combination of different factors, but the results suggest that mechanical delousing was an important negative factor. Severe external damages were observed in the aftermath of mechanical delousing. Compilation of individual-based data on lice grazing efficiency and overall welfare scores shows that individuals with clearly or severely reduced welfare status do not eat lice.

Welfare – wrasses

The results from the analyses of the likelihood of injury and the likelihood of serious injury both showed an increase over time after the first health check with welfare assessment. The data captured in the welfare surveys among wild-caught wrasses were relatively limited, so it is not possible to draw definitive conclusions about which factors contribute to the damage development of the wrasses.

Lice skirt

The project includes a description of the practical use of lice skirts, based on interviews of a wide range of participants from the aquaculture industry and its suppliers as well as a study of available literature. The material has been processed by a working group, and important findings have been uncovered that are important for the good use of lice skirts. The results are grouped within the categories of strategic conditions, operational conditions, exposure and environmental conditions, fish health and efficacy. They thus include both external and internal factors that are of significance for the effect that can be extracted from the technology, alone or in combination with other preventive methods against sea lice.

Large-scale validation of lumpfish efficacy

To compare sea lice infestation levels in commercial polar circle cages equipped with the Gifas Closed Fish Cage System (CFC) in the presence or absence of lumpfish and compared growth performance and health of lumpfish fed with feed blocks or pelleted feed, six 90 m polar circle cages containing approximately 150, 000 Atlantic salmon with a mean weight of 500 g were equipped with CFC systems. There was a clear difference in sea lice infestation levels between the treatments. Cages stocked with lumpfish fed with feed blocks had frequently lower levels of pre-adult and mature female *L. salmonis* compared to cages stocked with lumpfish fed with pelleted feed and cages with no lumpfish present. Using feed blocks as a maintenance feed may enhance lice grazing efficacy of lumpfish and more prolonged studies are required to fully elucidate this potential.

Future RTD needs

There is a general need for more case studies, especially from localities that have good experience with cleanerfish and/or lice skirts as preventive methods. There is also a need for several large-scale long-term studies, as there are several parameters that affect the use of cleaner fish and lice skirts. Estimating the effect of preventive methods can be complicated if cages cannot be compared with and without the use of these methods. A more comprehensive report from the fish farmers with systematic registration of the use of cleaner fish and lice skirts could have been an interesting opportunity to be able to compare lice levels at all the sites that use preventive methods to varying degrees.

Prosjektleder

Albert K. D. Imsland



Kvalitetskontroll

Anton A. Giæver



© 2019 Akvaplan-niva AS. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva AS.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1 SAMMENDRAG	4
2 INNLEDNING	8
3 PROBLEMSTILLING OG FORMÅL	11
3.1 Leveranser	11
4 PROSJEKTGJENNOMFØRING	12
5 OPPNÅDDE RESULTATER, DISKUSJON OG KONKLUSJON	14
5.1 AP1. Dokumentere effekt av og fiskevelferd ved bruk av rognkjeks til forebygging og kontroll av lakselus og skottelus.....	14
5.1.1 - Effektvurdering	14
5.1.2 - Fiskevelferd hos rognkjeks.....	17
5.1.3 Fiskevelferd	21
5.1.4 Årsaker til redusert velferd	29
5.1.5 Diskusjon	36
5.2 AP2. Dokumentere effekt av rensefisk og beskrivelse av fiskevelferd til leppefisk.....	42
5.2.1 Del 1. Effektberegning	42
5.2.2 Del 2. Beskrivelse av fiskevelferd hos leppefisk.....	44
5.3 AP3. Evaluere effekt av luseskjørt mot lakselus og skottelus med hensyn til design, driftsrutiner og lokalitetens egenskaper.....	49
5.3.1 Resultater	49
5.3.2 Driftsmessige forhold	56
5.3.3 Eksponering og miljøforhold.....	63
5.3.4 Fiskehelse	67
5.3.5 Effekt	70
5.4 Litteraturstudium	72
5.4.1 Hydrodynamikk.....	72
5.4.2 Teknisk, krefter og løfting av skjørt	73
5.4.3 Oksygenforhold	74
5.4.4 Egenskaper lus.....	75
5.4.5 Effekter skjørt.....	76
5.4.6 Effekter av skjørt og andre preventive tiltak	77
5.4.7 Hva påvirker effekten?	78
5.5 Diskusjon	80
5.5.1 Evaluering av metode	80
5.5.2 Strategiske forhold.....	80
5.5.3 Driftsmessige forhold	81
5.5.4 Eksponering og miljøforhold.....	83
5.5.5 Fiskehelse	84
5.5.6 Effekt	86
5.6 Konklusjon	88
5.7 AP4. Storskala testing av effekt hos rensefisk med og uten CFC (CLOSED FISH CAGE) 94	
5.7.1 Results	95
Health and mortality of lumpfish.	100
5.7.2 Discussion.....	103
5.7.3 Conclusions	104
5.8 AP5. Anbefalinger om beste praksis for bruk av rensefisk og skjørt som forbyggende tiltak mot lus, og prioritering av videre FoU-behov	106

5.8.1 Kunnskapsstatus og videre FoU behov	106
5.8.2 Rognkjeks	106
5.8.3 Leppefisk	112
5.8.4 Luseskjørt	118
5.8.5 Kombinasjon av luseskjørt og rensefisk.....	123
6 HOVEDFUNN	129
7 LEVERANSER	130
8 VEDLEGG	131
Vedlegg 1. Arbeidspakke 1. In lumpfish we trust? The efficacy of lumpfish to control Lepeophtheirus salmonis infestations on farmed Atlantic salmon: a review. <i>Aquaculture</i> (submitted).....	131
Vedlegg 2. Arbeidspakke 1. Salmon lice (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>) in the stomach contents of lumpfish (<i>Cyclopterus lumpus</i>) sampled from Norwegian fish farms. <i>Aquaculture</i> (submitted).	166

2 Innledning

- *Faglig bakgrunn for at prosjektet ble igangsatt*

Bekjempelse av lakselus er en av de største utfordringene i norsk lakseoppdrett og er blitt anslått til å koste oppdrettsnæringen rundt 9% av deres inntekter (Abolofia et al. 2017). De siste årene har det vært kraftig søkelys på det økende lakselus problemet i norsk oppdrettsnæring, og de store økonomiske tapene det gir laksenæringen i form av tapt tilvekst, behandlings dødelighet, redusert fôrutnyttelse, sekundærinfeksjoner, nedgradering og behandlingskostnader. Havbruksnæringen har fokus på forebygging og kontroll av lakselus *Lepeophtheirus salmonis* og i de senere år også skottelus *Caligus elongatus*. Høy forekomst av lakselus blir vurdert som en alvorlig trussel overfor ville bestander av laksefisk. I havbruk representerer lakselus og håndteringen av denne utfordringer knyttet både til fiskehelse og fiskevelferd, men også til at det må brukes store ressurser for å sikre vedvarende lave lusenivå. Dette må i praksis gjøres gjennom overvåking, ved hjelp av forebyggende, kontrollerende og reduserende tiltak, samt samtidig å ha søkelys på å ivareta god fiskevelferd og minimal påvirkning på resipienten (Rykhus mfl. 2020).

Ikke-medikamentelle og forebyggende metoder, som bruk av rensefisk, benyttes ofte som kompletterende strategier i lusebekjempelsen. Men effekt av tiltakene er vanskelig å dokumentere på grunn av at mange faktorer påvirker effekt samtidig. Det er store variasjoner i bruk av rensefisk (Skiftesvik mfl. 2013; Imsland mfl. 2018) og luseskjørt (Grøntvedt mfl. 2018; Bui mfl. 2020) med hensyn til praktisk drift. Det er variasjon i valg av fiskestørrelse og tidspunkt for utsett, valg av teknologi og oppfølging i form av supplerende utsett av rensefisk eller skifte av skjørt. Miljø- og driftsvariabler på de enkelte lokaliteter kan også påvirke praktisk bruk og effekt av tiltakene.

For å få kontroll over lakselus i et langsiktig perspektiv, er det viktig å se på alle virkemidlene i en total bekjempelsesstrategi. Biologisk avlusing er fremhevet som en viktig del av denne strategien. Det er nå ustrakt bruk av rensefisk som et kontinuerlig tiltak mot lakselus. Årlig settes det ut rundt 50 millioner rensefisk i Norge (<https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Rensefisk>). Rognkjeks har vist seg å være en effektiv lusespiser ved lave sjøtemperaturer (Imsland et al., 2014a-c; 2018) noe som gjør arten spesielt egnet til avlusing i Nord-Norge. I FHF prosjektet *KEKS* (Kunnskaps- og erfaringskartlegging av skottelus, FHF 901539, Imsland et al., 2019) ble det videre dokumentert at rognkjeks også beiter på skottelus. Med økende matfiskproduksjon i nordlige områder av landet har det blitt tydelig at også skottelus kan være en velferdsutfordring, både for laksefisk og rognkjeks (Nodland 2017ab, Solsletten 2018; Sommerset mfl. 2020). Per dags dato gjennomføres avlusingsoperasjoner grunnet skotteluspåslag både i Finnmark og Troms (Elisabeth Ann Myklebust, Områdeansvarlig Cermaq Fiskehelse Finnmark; Imsland mfl. 2019).

Leppefisk fungerer som rensefisk ved at de beiter på lus på oppdrettslaks. Oppdretterne erfarer lave lusetall og redusert legemiddelbruk dersom man har en god kvalitet på leppefisken og best mulig bruk av leppefisk (Kvenseth, 2011). Resultater fra en studie gjennomført på berggyllt ved Havforskningsinstituttet (Skiftesvik mfl. 2013) viser at berggyllt er svært effektiv mht. å avluse laks,

mens det har også vært påpekt at det mangler en effektvurdering av leppefisk i stor-skala forsøk (Overton mfl. 2020).

En nylig effektvurdering av rensfisk, basert på nasjonale data fra Barentswatch, så imidlertid liten og varierende effekt av rensfisk mot lus (Barret m.fl. 2020). I et annet studie har en benyttet estimerte rensfiskinnblandinger, og ved analyse i statistiske populasjonsmodeller sett en klar effekt av leppefisk, men mindre effekt av rognkjeks (av hvert stadium) (Aldrin, M., Huseby, R.B., 2019a). Vurdering av effekt ved bruk av rensfisk er komplisert, og det er ingen god forklaring til de sprikende resultatene. Det er ukjent hvor stor rensfiskinnblandingen er til enhver tid, og det er mer utfordrende å avdekke en liten, men jevn effekt, enn en større og umiddelbar effekt, slik som ved annen behandling. Videre kan det være regionale forskjeller i effektivitet ved bruk av ulike rensfiskarter, som et resultat av varierende sjøtemperatur, ulike driftsmåter og andre faktorer. Det er et generelt behov for mer kunnskap om effekt av rensfisk i avlusning.

Fiskevelferd hos rensfisk har hatt et økende fokus de siste årene. Dødeligheten blant rensfisk er uakseptabelt høy, og Mattilsynets tilsynskampanje som ble avsluttet i 2019 konkluderte med at det er stor usikkerhet forbundet med dødelighetstallene som registreres, og at man kan anta at registrerte tap av fisk i sjøfasen er lavere enn den reelle dødeligheten. En utfordrende helsesituasjon sammen med manglende kontroll på dødelighet utgjør en betydelig velferdsutfordring. Næringsaktørene i samarbeid med fiskehelsetjenestene jobber løpende for å identifisere faktorer som kan bedre forholdene for både rognkjeks og leppefisk i norske oppdrettsmerder. Et eksempel på dette, er Aquakompetanse, som har gjennomført systematiske undersøkelser av velferd, helse og produksjonsbetingelser på utvalgte lokaliteter med rognkjeks i PO7 på oppdrag for Namdal Rensfisk AS og Nordland Rensfisk AS. Målsetningen med arbeidet har vært å identifisere faktorer som øker lusebeiting og gir god fiskevelferd. Basert på erfaringene de gjør seg, skal forbedringstiltak defineres og testes i samarbeid med rognkjeksbrukerne. I *EFFEKTIV* prosjektet ønsker Aqua Kompetanse og Akvaplan-niva å utnytte erfaring og datamateriale fra det eksisterende prosjektet for å dokumentere eksisterende velferdsstatus og beskrive hovedutfordringer, mulige suksesskriterier og peke på forbedringstiltak.

Nylig ble det indikert at kombinert bruk av luseskjørt, rensfisk, funksjonelt fôr og bruk av undervannslys kan bidra til å redusere luseinfestasjoner på laks i oppdrettsmerder over lengre tid (Bui mfl. 2020). Velferden til laksen ble ikke endret som følge av disse metodene, mens velferden til rensfisken var ikke vurdert. Dette studiet og andre gjennomført av en forskningsgruppe (Imstrand mfl. 2014a, 2018) har indikert positive effekter av kombinert bruk av luseskjørt og rensfisk, mens en helhetlig effekt- og velferdsvurdering gjenstår og er derfor det overordnede målet i *EFFEKTIV*.

- *Prosjektets omfang*

I første del av prosjektet (AP1-3) vil det gjennom en kombinasjon av skrivebordsstudier, feltstudier, analyse av produksjonsdata og erfaringskartlegging, samles og systematiseres kunnskap om effekt av og fiskevelferd ved bruk av rognkjeks (AP1), leppefisk (AP2) og luseskjørt (AP3) som forebyggende tiltak mot lus. Videre vil en i AP4 gjennomføre en stor-skala studie for å vurdere fiskevelferd og beiteeffektivitet hos rognkjeks og berggylt etter at de er overført til oppdrettsmerder i sjø. I AP5 skal prosjektfunnene oppsummeres, og fremtidige FoU behov vil bli vurdert og prioritert, i samarbeid med referansegruppen i prosjektet.

Prosjektet startet i september 2020 og ble avsluttet i mars 2022.

- *Prosjektorganisering*

Prosjektgruppe

- **Prosjektansvarlig er Akvaplan-niva (APN).** Prosjektansvarlig ved Akvaplan-niva og prosjektleder i *EFFEKTIV* er Albert K. D. Imsland. Imsland vil være ansvarlig for effektstudier av rognkjeks i AP1 og formidling i AP6. Arbeidet i AP3 vil bli ledet av Bård Worum (seniorrådgiver i APN/tidligere daglig leder i Salgard AS) i samarbeid med Ola Kvaal Brandshaug og Sondre Veberg Larsen.
- **INAQ AS** vil være ansvarlig for effekt- og fiskevelferdsvurdering av leppefisk i AP2. Peder Jansen vil delta i effekt og velferdsvurdering av leppefisk i AP2.
- **Aqua Kompetanse AS** er ansvarlige for velferdsundersøkelser på rognkjeks (AP1, Marthe Austad og Lauris Boissonnot) og for kartlegging av fremtidig FoU behov (AP5, Lauris Boissonnot).
- **Norsk Regnesentral** vil samarbeide med INAQ om effektstudier på rognkjeks og leppefisk i AP2 (Magne Aldrin, Solveig Engebretsen).
- **Åkerblå AS** vil være utførende aktør i felt for systematisk oppfølging av velferd til leppefisk i AP2.
- **Gildeskål Forskningsstasjon AS (GIFAS) – Inndyr.** Patrick Reynolds vil være ansvarlig vil være arbeidspakkeleder for AP4.
- **Havforskningsinstituttet** Anne-Berit Skiftesvik vil delta i AP5 og være ansvarlig for sammenfatning og anbefalinger innen bruk og velferd av leppefisk.

Referansegruppe

- Kine Edvardsen, Nova Sea
- Remi Mathisen, Nordlaks
- Elisabeth Ann Myklebust, Cermaq
- Geir Magne Knudsen, Bremnes Seashore
- Erlend Haugarvoll, Lingalaks
- Florian Sprater, Bolaks

Kvalitetssikring

Prosjektbeskrivelse og plan er kvalitetssikret i henhold til interne rutiner hos Akvaplan-niva og gjennom FHF's rutiner for gjennomgang av faglig og næringsmessige relevans.

3 Problemstilling og formål

Hovedformålet med *EFFEKTIV* er å dokumentere effekt av og fiskevelferd ved bruk av rensefisk og skjørt og kombinasjon av disse metodene i lakseoppdrett.

Delmål:

1. Dokumentere effekt av og fiskevelferd ved bruk av rognkjeks til forebygging og kontroll av lakse- og skottelus.
2. Beregne effekter av leppefisk på luseforekomster under varierende miljø- og driftsbetingelser, samt dokumentere velferdsutvikling hos lusekontrollerende leppefisk.
3. Utarbeide protokoll for beste praksis ved bruk av rensefisk og luseskjørt gjennom brukerundersøkelser og stor-skala testing.
4. Avdekke, vurdere og prioritere videre FoU-behov for å øke næringens mulighet i målrettet bruk av rensefisk og luseskjørt for forebygging og kontroll av lakse- og skottelus.

3.1 Leveranser

Lev. Nr.	Beskrivelse	AP Nr.	Type	Gradering	Leveranse-mnd.
1	Åpent oppstartsmøte med prosjektgruppe, referansegruppe og oppdrettere	6	Referat	Offentlig	1
2	Dokumentasjon av effekt ved bruk av rognkjeks til avlusing	1	Rapport	Offentlig	6
3	Vurdering av effekt av leppefisk fra felldata	2	Rapport	Offentlig	6
4	Sammenstillende notat fra intervjuer rundt praktisk bruk av luseskjørt	3	Rapport	Offentlig	6
5	Vurdering av luseskjørtets effekt basert på geografiske og lokalitetsspesifikke ulikheter	3	Rapport	Offentlig	14
6	Beskrivelse av leppefiskens velferd som lusespiser i laksemerder	2	Vitenskapelig artikkel	Offentlig	16
7	Beskrivelse av rognkjeksens velferd som lusespiser i laksemerder	1	Vitenskapelig artikkel	Offentlig	18
8	Stor-skala dokumentasjon, best-praksis rognkjeks	4	Vitenskapelig artikkel	Offentlig	18
9	Stor-skala dokumentasjon, best-praksis leppefisk	4	Vitenskapelig artikkel	Offentlig	18
10	Fremtidig FoU behov	5	Rapport	FHF	18
11	Faglig og administrativ sluttrapport	6	Rapport	FHF	18

4 Prosjektgjennomføring

Arbeidet i prosjektet ble delt inn i følgende seks arbeidspakker:

AP1. Dokumentere effekt av og fiskevelferd ved bruk av rognkjeks til forebygging og kontroll av lakselus og skottelus

- Effektvurdering

I første omgang vil vi systematisere eksisterende kunnskap med det formålet å dokumentere effekt av rognkjeks til forebygging og kontroll av lakselus og skottelus. Vekt vil bli lagt på data fra stor-skala forsøk og feltstudier. Formålet med det samlede arbeidet er å dokumentere dagens status for når og hvordan rognkjeks skal brukes for å oppnå god effekt, med hensyn til årstidsvariabler og oppdrettsbetingelser. Arbeidet ledes av prof. Albert D. K. Imsland, Akvaplan-niva.

- Fiskevelferd hos rognkjeks

Fiskevelferd ved bruk av rognkjeks som forebyggende tiltak skal dokumenteres og vurderes basert på kunnskaps gjennomgang, feltarbeid og erfaringskartlegging. Arbeidet ledes av Aqua Kompetanse (Lauris Boissonnot), i samarbeid med Akvaplan-niva (Dr. Mette Remen), Cermaq (Elisabeth Myklebust, Tiril Slettjord), Nova Sea (Kine Edvardsen) og aktører i PO7 som deltar i et eksisterende prosjekt for Namdalen Rensefisk AS og Nordland Rensefisk AS.

AP2. Dokumentere effekt av rensefisk og beskrivelse av fiskevelferd til leppefisk

- Effektberegning

I første del av denne arbeidspakken vil en forsøke å beregne oppdaterte effekter av leppefisk og rognkjeks fra fullskala produksjonsdata fra oppdrettsnæringen. Beregningene vil gjøres ved tilpassing av lusetall og produksjonstall på merdnivå, til en stadium-strukturert populasjonsmodell for lakselus (Aldrin mfl. 2017, Aldrin og Huseby 2019).

- Fiskevelferd hos leppefisk

I prosjektet vil en ved noen utvalgte lokaliteter som erfaringsmessig har god praksis på leppefisk, gjøre systematiske undersøkelser av leppefisk i perioden fra utsett til kaldere perioder nærmere jul. Dette vil gjennomføres i samarbeid med fiskehelsetjenesten Åkerblå.

AP3. Evaluere effekt av luseskjørt mot lakselus og skottelus med hensyn til design, driftsrutiner og lokalitetens egenskaper

Målet med arbeidspakke 3 er samle eksisterende informasjon om luseskjørtets effekt på lakselus og skottelus gjennom en litteraturgjennomgang, brukererfaringer og et teknologistudie. Vi ønsker å sammenfatte kunnskap for å etablere en "best praksis", sammenligne effekt av ulike konstruksjoner og konkretisere forbedringsforslag med hensyn til strategisk bruk og fysisk utforming. Det vil bli gjennomført intervjuer av fiskehelsepersonell, driftspersonell og produksjonsledere hos næringspartnerne med hensyn til erfaringer/beslutningsgrunnlag. Analysemetode- og fokus skal

diskuteres på prosjektets åpne arbeidsmøte. Denne arbeidspakken ledes av senior rådgiver Bård Worum seniorrådgiver i APN/tidligere daglig leder i Salgard AS.

AP4. Storskala testing av effekt hos rensefisk med og uten CFC (CLOSED FISH CAGE)

Målet med denne arbeidspakken er å vurdere helsen og beiteeffektiviteten til rognkjeks etter at de er overført til full-skala oppdrettsmerder i sjø.

ClosedFishCage AS har utviklet et system for luseskjørt som brukes sammen med en impeller (CFC) som kan aktiveres når det er nødvendig for å løfte sjøvann fra dybden for å få et passende oksygenivå når det er nødvendig. Luseskjørtet fungerer som en fysisk barriere som forhindrer de smittsomme stadiene av lakselus å komme inn i merden. Tidligere studier på kommersielle oppdrettsanlegg har vist gode reduksjoner i infeksjonsnivåer ved hjelp av denne metoden. Hovedformålet med denne studien er å belyse effekten av et CFC-system som brukes med og uten rognkjeks for å kontrollere nivået av lakselus.

AP5. Anbefalinger om beste praksis for bruk av rensefisk og skjørt som forbyggende tiltak mot lus, og prioritering av videre FoU-behov

For å knytte de ulike arbeidspakkene best sammen og for å oppnå størst mulig nytteverdi vil arbeidet i AP5 rette seg mot å sammenfatte kunnskapen i de andre arbeidspakkene samt avdekke, vurdere og prioritere videre forsknings og utviklingsbehov. Denne arbeidspakken ledes av Aqua Kompetanse (Dr. Lauris Boissonnot, FoU-koordinator) og HI (Anne-Berit Skiftesvik) i samarbeid med de andre forsknings- og næringsaktørene i prosjektet.

AP 6. Rapportering, formidling og koordinering

AP6 ledes av Prof. Albert K. D. Imsland som har jobbet med akvakultur formidling siden 1991. Ann Cecilie Ursin Hilling fra NCE Aquaculture i Bodø vil også delta i AP6 og formidle funn fra prosjektet i klyngens rognkjeksforum. Forumet har regelmessige seminarer og vil *EFFEKTIV* prosjektet bli presentert på neste møte i september 2020, samt andre seminarer under prosjektperioden. Næringsdeltagere i prosjektet driver lakseproduksjon i: PO2, PO3, PO4, PO6, PO7, PO8, PO9, PO12 og PO13. De representerer, derfor, relativt godt hele landet. Anbefalinger fra prosjektet vil bli tilrettelagt slik at de dekker bruk av rensefisk og luseskjørt i hele landet.

5 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

5.1 AP1. Dokumentere effekt av og fiskevelferd ved bruk av rognkjeks til forebygging og kontroll av lakselus og skottelus

5.1.1 - Effektvurdering

I første omgang vil vi systematisere eksisterende kunnskap med det formålet å dokumentere effekt av rognkjeks til forebygging og kontroll av lakselus og skottelus. Vekt vil bli lagt på data fra stor-skala forsøk og feltstudier. Formålet med det samlede arbeidet er å dokumentere dagens status for når og hvordan rognkjeks skal brukes for å oppnå god effekt, med hensyn til årstidsvariabler og oppdrettsbetingelser. Arbeidet ledes av prof. Albert D. K. Imsland, Akvaplan-niva.

Del 1. Review av tilgjengelig litteratur:

- Imsland, A.K.D., Reynolds, P. In lumpfish we trust? The efficacy of lumpfish to control *Lepeophtheirus salmonis* infestations on farmed Atlantic salmon: a review. Aquaculture (submitted).

Vi har systematisert dagens kunnskap om antall lakselus på oppdrettslaks i forhold til bruk av rognkjeks som rensefisk og skrevet en review artikkel basert på dataene. Tilgjengelig data viser tydelig at rognkjeks beiter på lakselus og skottelus og kan redusere lusebyrden betydelig i lakseoppdrett. Det er mulig å forbedre lusebeiting av rognkjeks ved hjelp av levende førkondisjonering før sjømerdoverføring og med selektiv avl. Data tyder på at lusebeiting av rognkjeks er størrelsesavhengig og beiteeffekten er lav for rognkjeks større enn 200-250 g. Observasjoner fra storskala oppdrett av laks i åpne havmerder i Norge, på Island, på Færøyene, og i Skottland tyder også på at rognkjeks kan være effektive for å senke nivåer av lakselus på laks. Samlet sett viser denne nåværende gjennomgangen at rognkjeks aktivt kan bidra til lavere antall lakselus på oppdrettslaks (Tabell 1).

Kopi av manuskript er gitt i Appendiks 1.

Tabell 1 En oppsummering av dagens litteratur og observasjoner (pers. med.) om eksperimenter med rognkjeks og dens effekt på lakselus på oppdrettslaks. Data inkludert: eksperimentell periode og temperatur, eksperimentell enhet, eksperimentelt sted / land, tetthet av rognkjeks, effekt undersøkt og om en effekt ble funnet.

Citation	Experimental period and temperature	Experimental unit (number and size)	Experimental site/country	Size and density of lumpfish	Effect investigated	Effect on <i>L. salmonis</i> found?
Small scale studies						
Imsland et al. (2014a)	June – August, 9.0-12.1°C	4 small sea cages 5x5x5 m (125 m ³)	Nordland county, Norway	53-182 g 10% and 15%	Different density of lumpfish	Yes, increased effect at 15% density
Imsland et al. (2019)	May – July, 7.2-13.3°C	4 small sea cages 5x5x5 m (125 m ³)	Nordland county, Norway	114-180 g 10%	Habitation of lumpfish	Yes, and habitation of lumpfish increased the effect
Imsland et al. (2016)	May – August, 7.1-13.2°C	9 small sea cages, 5x5x5 m (125 m ³)	Nordland county, Norway	169-549 g 10%	Different families, parental effect	Yes, and varied between families
Imsland et al. (2021)	Sept. – December, 10.5-6.8°C	10 small sea cages, 5x5x5 m (125 m ³)	Nordland county, Norway	30-123 g, 12%	Different families	Yes, and varied between families
Large scale studies						
Imsland et al. (unpublished data)	September – December, 12.1-8.5°C	4 large sea cages (90 m circumference)	Røssøy, Nordland county, Norway	71-125 g, 9.5%	Large scale evaluation of sea lice grazing in lumpfish	Yes. Increasing effect of lumpfish seen during the trial.
Imsland et al. (unpublished data)	July – January, 12.2-5.5°C	12 large sea cages (160 m circumference, 58900 m ³ volume)	Nordlaks AS, Nordland county, Norway	32-157 g, 6%	Large scale evaluation of sea lice grazing in lumpfish	Yes. Less mechanical treatment, 600 g larger salmon at slaughter with lumpfish present.
Imsland et al. (2018)	October – May, 8.3°C in October 3.6°C in March 6.8°C in May	8 large sea cages (130 m circumference, 37688 m ³ volume)	Lerøy Aurora AS, Troms county, Norway	25-115 g, 4, 6 and 8%	Different densities of lumpfish in large scale sea cages	Yes, similar at all densities
Eliassen et al. (2018), Kirsten Eliassen, Fiskaaling, Faroe Islands, pers. comm.)	Year round, 6-11°C	Large sea cages from 9 farming sites	Faroe Islands	13-545 g, Density not given	Cleaning efficacy of lumpfish in relation to size and season	Yes, but seasonal effect seen. Sea lice grazing most effect during Oct.-April
Eva Dögg Jóhannesdóttir, Arctic Fish Ltd. (pers. comm.)	June-December, 10.1-3.2°C	7 sea pens (160 m circumference)	Iceland, Dýrafjörður	20-255 g, 8-10%	Comparison of sea lice at sites with and without lumpfish	Yes, significantly lower <i>L. salmonis</i> with lumpfish present
Hjörtur Methúsalemsson, Arnarlax Ltd. (pers. comm.)	Sept.-Sept. (one year) 1.9°C (February) 11.1°C (early Sept).	12 sea pens (160 m circumference)	Iceland, Arnarfjörður	32-340 g 8-10%	Comparison of sea lice at sites with and without lumpfish	Yes, significantly lower <i>L. salmonis</i> with lumpfish present

Del 2. Effekt studie basert på analyser av mageinnhold fra rognkjeks:

- Solveig Engebretsen, Magne Aldrin, Lars Qviller, Leif Christian Stige, Trond Rafoss, Ole Roald Danielsen, Andreas Lindhom, Peder A. Jansen. Salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in the stomach contents of lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) sampled from Norwegian fish farms. *Aquaculture* (submitted).

Abstract

Cleaner fish are commonly used as a preventive control measure against salmon lice infestations in salmonid farms. Lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) is the most common cleaner fish species used in Norwegian farms. However, little is known about how different operational and environmental conditions affect the grazing efficacy by lumpfish. In this paper, we analyse salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in the stomach contents of a large sample of more than 20 000 lumpfish from 80 different Norwegian farms. We investigate the proportion of lumpfish with salmon lice and the mean number of salmon lice in the stomach contents of the lumpfish. We further explore how the salmon lice contents vary with different factors like lumpfish weight, weight of salmonids, salmon lice abundance in the cage, cloud cover, and sea temperature. We find that 3.1% of the lumpfish contained salmon lice, with an average of 0.19 salmon lice per lumpfish. The distribution is highly skewed, implying that most lumpfish had no or few salmon lice in their stomach contents, while a few lumpfish contained many salmon lice. We find more salmon lice in the stomach contents with increasing abundance of salmon lice in the sea cage, lower weight of the salmonids, and in clear weather. Interestingly, we find a nonmonotone relationship between lumpfish weight and salmon lice in the stomach contents, with an optimal weight of ca. 40 g for salmon lice grazing. Hence, we find fewer salmon lice per lumpfish for weights lower and higher than 40 g. Surprisingly, we find no relationship between sea temperature and salmon lice per lumpfish. We find more salmon lice in the stomach contents of the lumpfish with comparatively high condition. By studying the factors associated with most efficient salmon lice grazing, our paper contributes to understanding how different operational factors affect salmon lice grazing by lumpfish. For controllable factors, the results thus contribute to guiding the best practice for use of lumpfish as a preventive salmon lice control measure.

See also Appendix 2. First two pages of manuscript submitted to *Aquaculture* in March 2022.

5.1.2 - Fiskevelferd hos rognkjeks

Fiskevelferd ved bruk av rognkjeks som forebyggende tiltak skal dokumenteres og vurderes basert på kunnskapsgjennomgang, feltarbeid og erfaringskartlegging. Arbeidet ledes av Aqua Kompetanse (Lauris Boissonnot), i samarbeid med Akvaplan-niva (Dr. Mette Remen), Cermaq (Elisabeth Myklebust, Tiril Slettjord), Nova Sea (Kine Edvardsen) og aktører i PO7 som deltar i et eksisterende prosjekt for Namdalen Rensefisk AS og Nordland Rensefisk AS.

Denne delen av Arbeidspakke 1 sammenstiller resultatene fra oppfølging av rognkjeksens velferdsstatus, miljøbetingelser og produksjonsforhold ved 12 lokaliteter i Midt-Norge i perioden vår 2019-høst 2021. Resultatene fra denne studien tyder på at velferdsstatusen hos rognkjeks utviklet seg negativt etter utsatt i merd. Mens ny-utsatt rognkjeks hadde god velferd, hadde en stor andel rognkjeks tydelig redusert velferd etter 6-7 måneder i sjø. Den negative utviklingen var mest sannsynlig grunnet en kombinasjon av ulike faktorer, men resultatene tyder på at mekanisk avlusning var en viktig negativ faktor. Alvorlige utvendige skader ble observert i etterkant av mekanisk avlusning. Sammenstilling av individbaserte data for lusebeite-effektivitet og overordnet velferdsscore viser at individer med tydelig eller alvorlig redusert velferdsstatus ikke spiser lus.

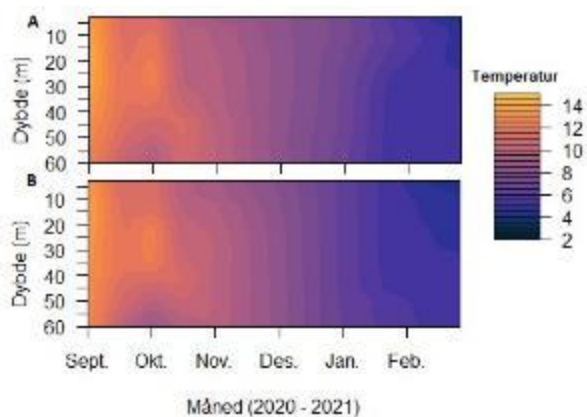
Å sikre god velferd hos rognkjeks er viktig av etiske grunner, men har også avgjørende betydning for lusebeite-effektivitet ifølge resultater fra dette studiet. Ved kontinuerlig overvåking av rognkjeks vil man kunne identifisere redusert velferd tidlig, og dermed iverksette forebyggende tiltak. God oppfølging og fortløpende tilpasning er viktig for å oppnå gode resultater.

Resultater

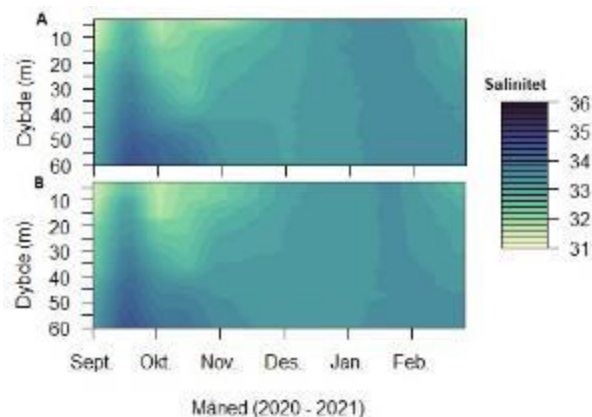
Miljøbetingelser

Hydrografi

Overordnet fulgte de ulike hydrografiske parameterne samme mønster og utvikling gjennom måleperioden ved begge de undersøkte lokalitetene (lokalitet A og B; Fig. 3-6). På sensommeren økte saliniteten med økende dybde, mens temperaturen sank med økende dybde. Om høsten og vinteren økte den vertikale miksingen av vannsøyla, og de vertikale forskjellene i temperatur og salinitet ble redusert.

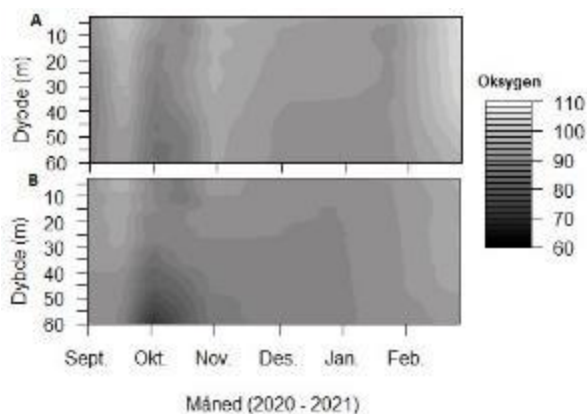


Figur 3: Interpolerte temperaturprofiler (°C) fra september 2020 til mars 2021 ved lokalitetene A og B fra 0 til 60 meters dybde.

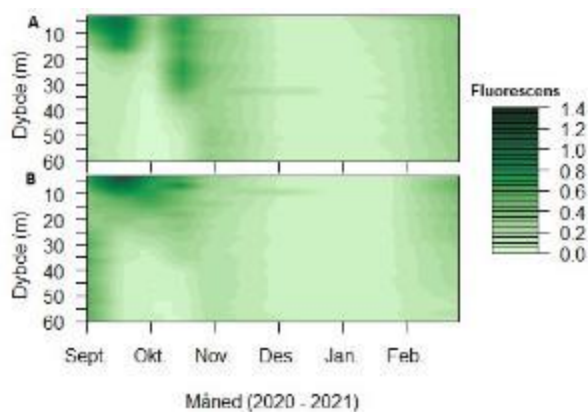


Figur 4: Interpolerte salinitetsprofiler fra september 2020 til mars 2021 ved lokalitetene A og B fra 0 til 60 meters dybde.

Oksygenmetningen var god gjennom hele oppfølgingsperioden (> 80 %; Fig. 5). Det ble registrert noen forskjeller mellom lokalitetene, hvor lokalitet B hadde noe lavere metning sammenlignet med lokalitet A. Fluorescensmålingene viste lav primærproduksjon ved begge lokalitetene i løpet av oppfølgingsperioden (Fig. 6). Klorofyllkonsentrasjonen, indikert ved hjelp av fluorescens, var høyest i overflatelaget (0-10 m) i september og tidlig oktober. I dypere vannmasser, samt senere i oppfølgingsperioden, var klorofyllkonsentrasjonen lav.



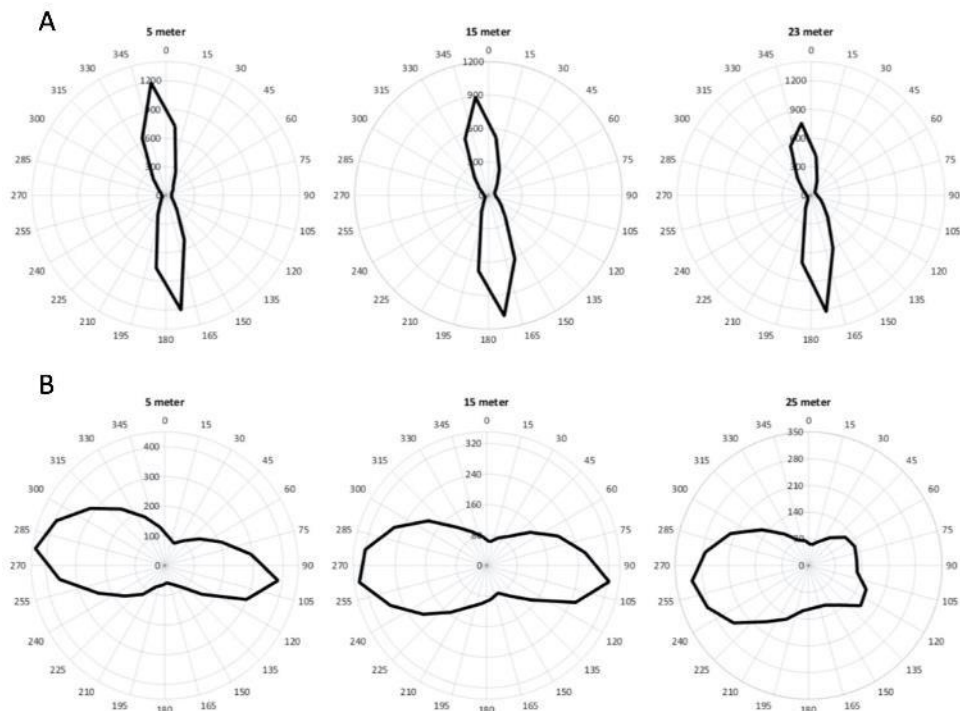
Figur 5: Interpolerte oksygenmetningprofiler (%) fra september 2020 til mars 2021 ved lokalitetene A og B fra 0 til 60 meters dybde.



Figur 6: Interpolerte fluorescensprofiler ($\mu\text{g l}^{-1}$) fra september 2020 til mars 2021 ved lokalitetene A og B fra 0 til 60 meters dybde.

Vannstrøm

Vannstrømmen var tidevannsstyrt og fulgte batometriens orientering i målepunktet ved begge lokalitetene. De dominerende strømretningene ved lokalitet A og B var derfor hhv. nord-sør og vest-øst, og vannstrømmen vekslet hovedsakelig mellom disse retningene i takt med tidevannet (Fig. 7). Dette mønsteret var tydeligere ved lokalitet A, som i tillegg var mer strømsterk med høyere gjennomsnittsstrøm i alle måledyp (Tab. 5). September, oktober og november var de mest strømsterke månedene ved begge lokalitetene, og januar og februar var de svakeste månedene.



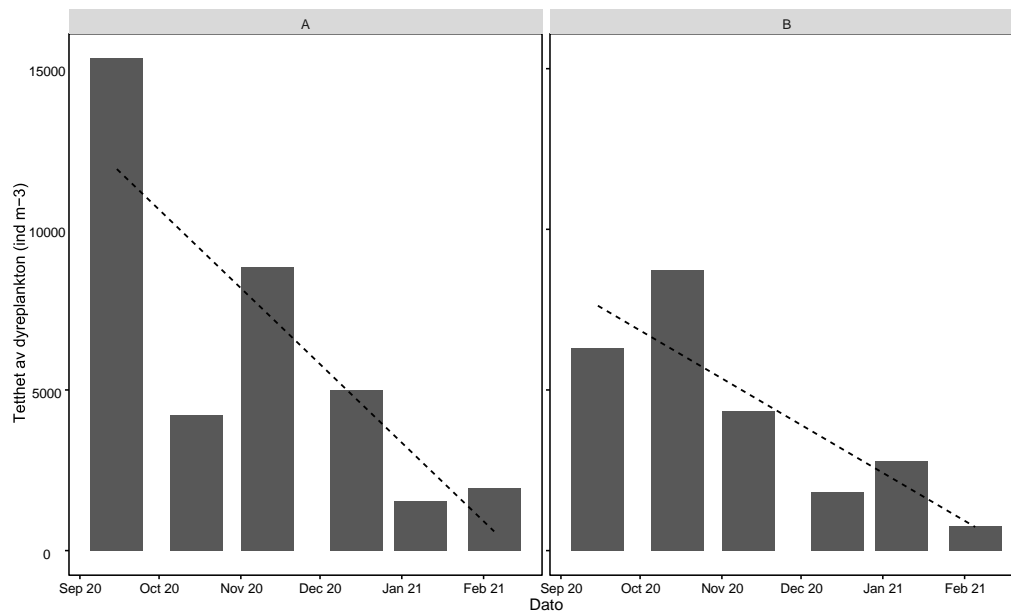
Figur 7: Vannstrøm ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$) for hver 15° sektor på 5, 15 og 23/25 meters dyp i oppfølgingsperioden ved lokalitetene A og B.

Tabell 5: Gjennomsnittsstrøm (cm/s) i ulike måledyp ved lokalitetene A og B.

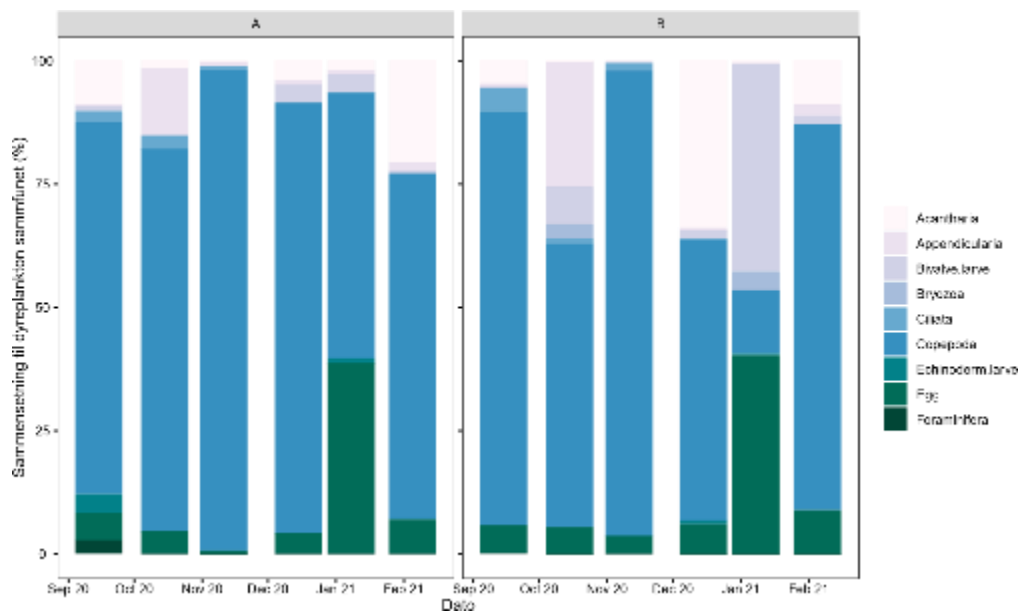
Måledyp	Lokalitet A	Lokalitet B
5 meter	8.1 cm/s	5.5 cm/s
7 meter	7.8 cm/s	5.2 cm/s
15 meter	7.3 cm/s	4.7 cm/s
23/25 meter	7.1 cm/s	4.2 cm/s

Dyreplanktonsamfunnet

Tettheten av dyreplankton var lik ved begge lokalitetene (A og B; 7661 ind. m^{-3} mot 3152 ind. m^{-3}), og hadde en signifikant reduksjon fra september til februar (hhv. $p < 0,05$, $R^2 = 0,26$ og $p < 0,05$, $R^2 = 0,20$; Fig. 8). På alle uttak var dyreplanktonsamfunnet dominert av individer $< 180 \mu\text{m}$ (98,4 %), herunder av kopepoder (> 50 %). Unntaket var i januar ved lokalitet B, der representerte kopepoder kun 13 % av samfunnet (Fig. 9). Det ble funnet veldig få maneter på alle uttak ($< 22 \text{ ind m}^{-3}$).



Figur 8: Total tetthet (ind. m⁻³) i dyreplanktonsamfunnet fra september 2020 til februar 2021 ved lokalitetene A og B. Stiplete linjer viser lineære regresjoner til total tetthet.

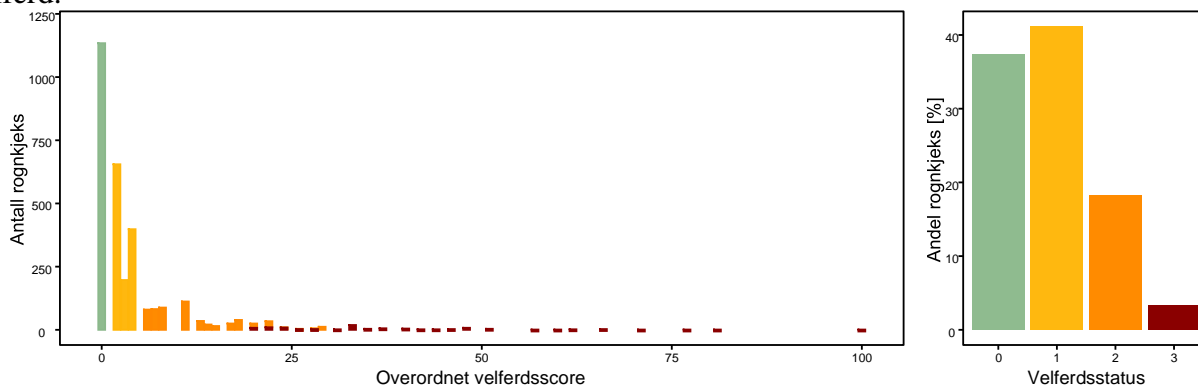


Figur 9: Fordeling av dyreplanktonsamfunnet (%) fra september 2020 til februar 2021 ved lokalitetene A og B. Samfunnet er fordelt i de 9 slektene som bidro til mer enn 2 % av total tetthet.

5.1.3 Fiskevelferd

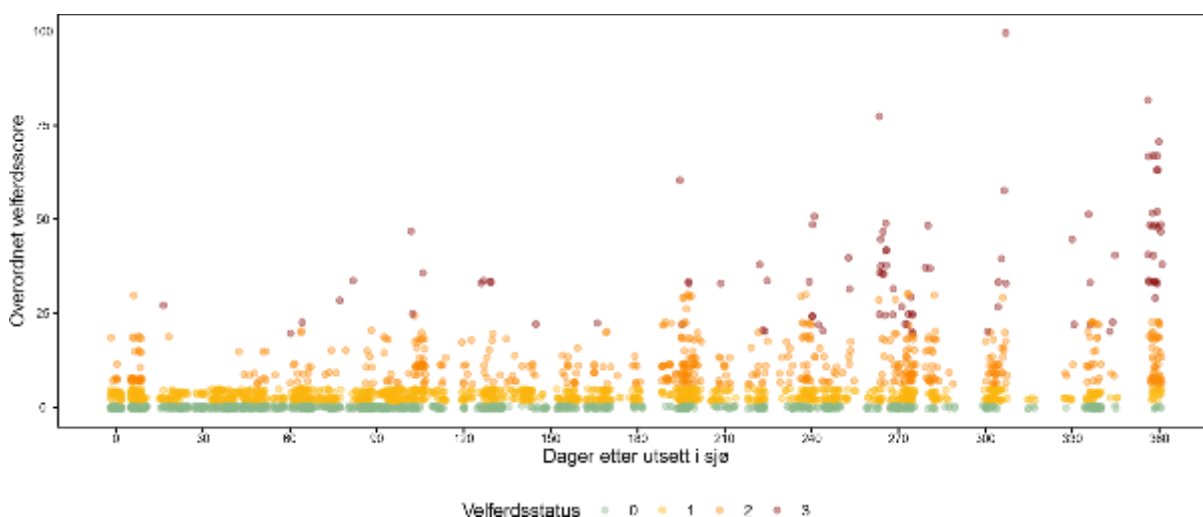
Overordnet velferdsstatus

Resultatene fra rognkjeksoppfølgingen viste at kun 21,5 % av rognkjeksene hadde tydelig eller alvorlig redusert velferd (score 2 og 3), mens 78,5 % hadde god eller noe redusert velferd (score 0 og 1; Fig. 10). Dette indikerte at individene som ble vurdert i denne studien stort sett hadde akseptabel velferd.



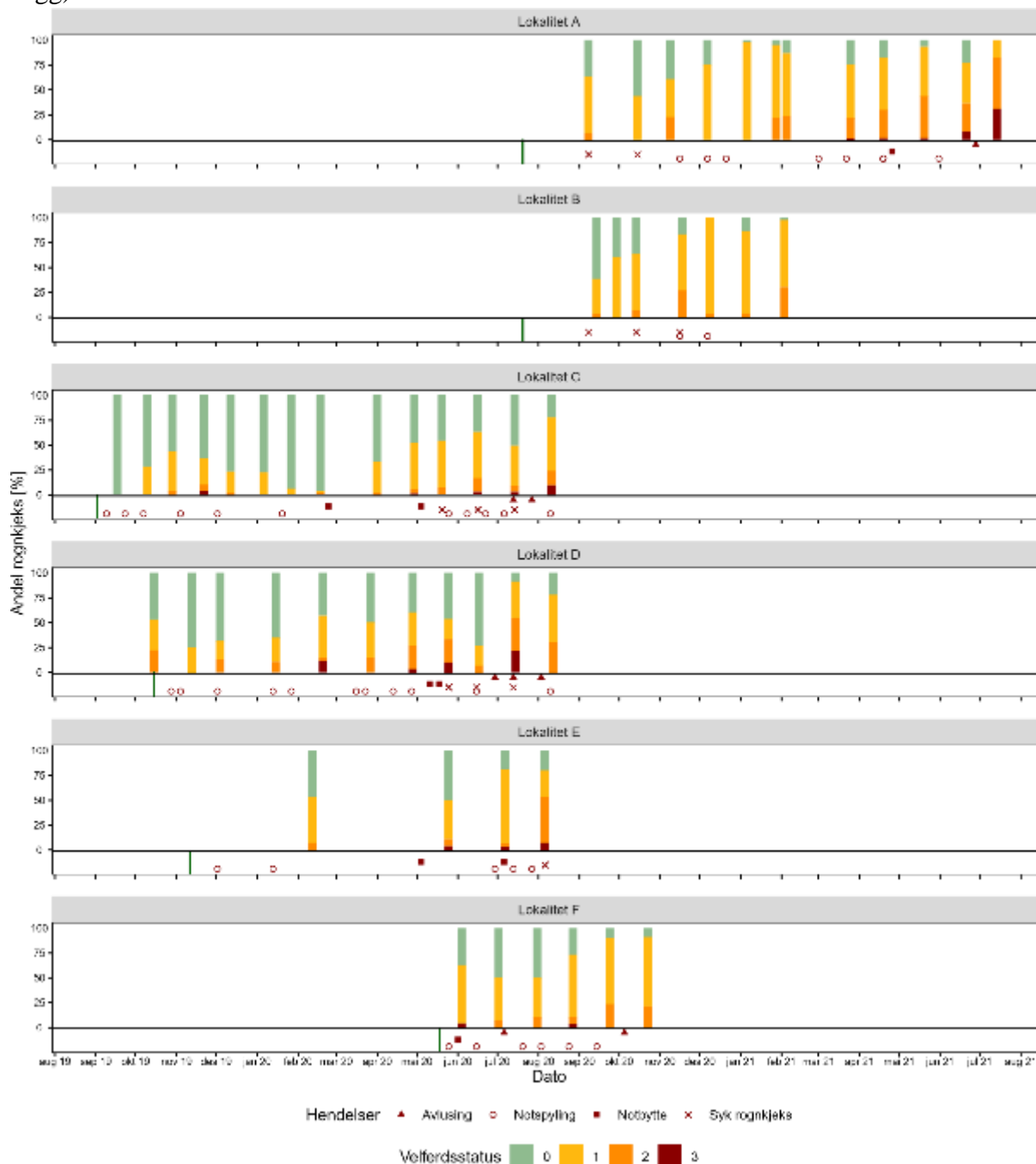
Figur 10: Venstre: fordeling av overordnet velferdsscore hos rognkjeks (%) i oppfølgingsperioden. Høyre: fordeling av velferdsstatus samlet i kategorier 0 (grønn): god, 1 (gul): noe redusert, 2 (oransje): tydelig redusert, 3 (rød) alvorlig redusert. Antall rognkjeks vurdert: 3038.

Til tross for relativt god velferd hos rognkjeksene som ble undersøkt ble det observert en økning av overordnet velferdsscore jo lengre rognkjeksene hadde stått i sjø (Fig. 11). Av velferdsscorene gitt den første måneden etter utsett var 10,4 % av tydelig og alvorlig grad og 53,4 % av god grad. Tre måneder senere (3-4 måneder etter utsett) var 30,4 % av velferdsscorene gode og 13,8 % tydelig/alvorlig. Etter 6-7 måneder i sjø var 20,4 % gode og 35,3 % tydelig/alvorlig. Etter 9-10 måneder i sjø var 17,9 % gode og 38,7 % tydelig/alvorlig.



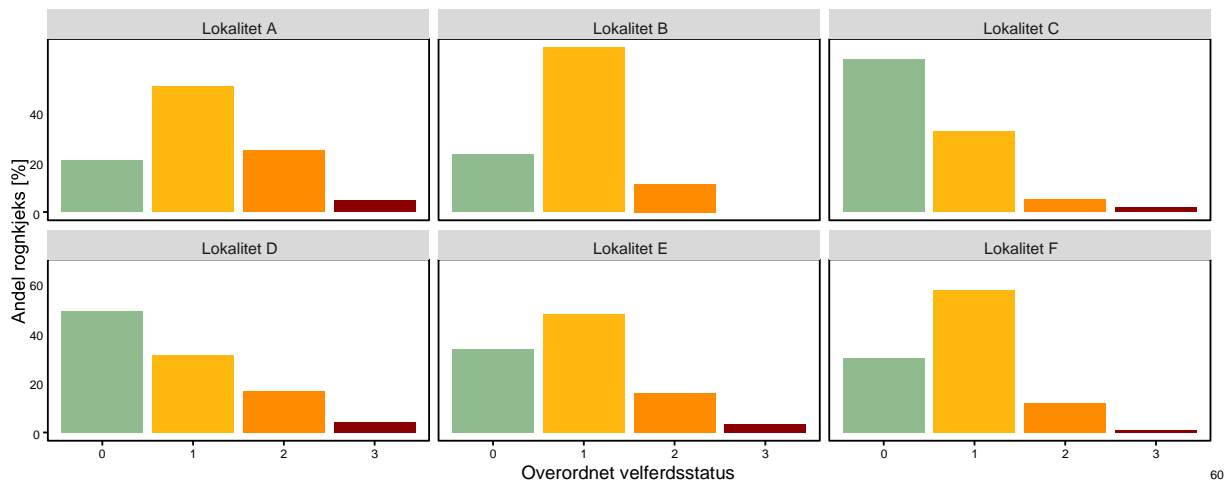
Figur 11: Utviklingen av overordnet velferdsscore (0-100) for alle 12 lokalitetene mot antall dager i sjø etter første utsett blant alle lokalitetene. Farger viser velferdsstatus: 0 (grønn): god, 1 (gul): noe redusert, 2 (oransje): tydelig redusert, 3 (rød) alvorlig redusert. Antall rognkjeks vurdert: 3038.

Ved de fleste lokalitetene var det en betydelig andel rognkjeks med noe redusert velferd (score 1) ved første oppfølging (etter første utsett; Fig. 12). Alle lokalitetene med tettere oppfølging hadde en signifikant økning i overordnet velferdsscore gjennom oppfølgingsperioden ($p < 0,01$; Fig. 33 i vedlegg).



Figur 12: Fordeling av velferdsstatus ved hver av rognkjeksoppfølgningene på lokalitetene A-F. Farger viser velferdsstatus: 0 (grønn): god, 1 (gul): noe redusert, 2 (oransje): tydelig redusert, 3 (rød) alvorlig redusert. Registrerte produksjonshendelser er merket av under x-aksen, og den grønne, vertikale streken indikerer utsettsdato. Antall rognkjeks vurdert: 835 ved lokalitet A, 223 ved lokalitet B, 720 ved lokalitet C, 353 lokalitet D, 120 ved lokalitet E, 177 ved lokalitet F. Alle de registrerte velferdsscorene for hver av lokalitetene er presentert i Fig. 33 i vedlegg.

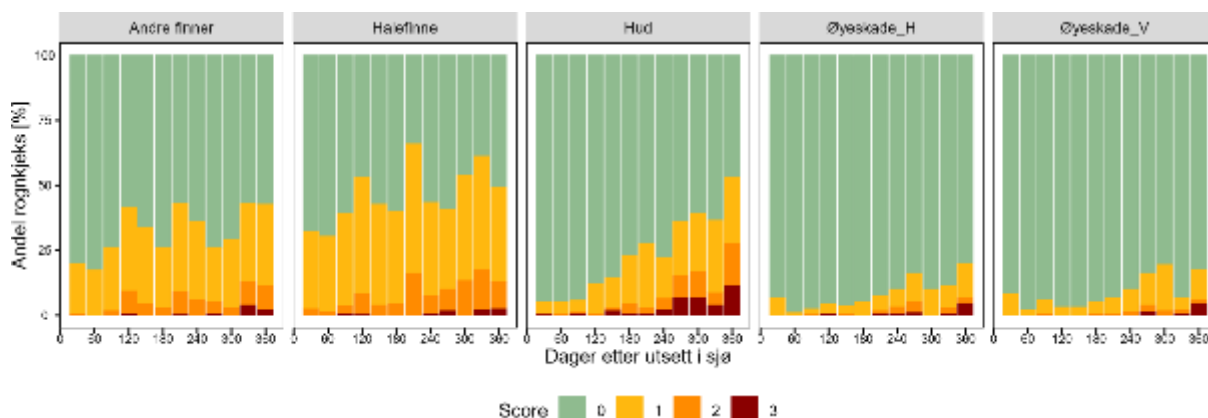
Den totale fordelingen av velferdsstatus på hver av lokalitetene varierte noe, men den var hovedsakelig god og noe redusert (score 0 og 1) ved alle de seks lokalitetene (Fig. 13). Lengden på oppfølgingsperioden og tidspunkt i forhold til utsett varierte fra lokalitet til lokalitet, og dette kan naturligvis ha påvirket fordelingen av velferdsstatusen.



Figur 13: Fordelingen av velferdsstatus ved lokalitetene A-F. Farger viser velferdsstatus: 0 (grønn): god, 1 (gul): noe redusert, 2 (oransje): tydelig redusert, 3 (rød) alvorlig redusert. Antall rognkjeks vurdert: 835 ved lokalitet A (50-359 dager etter utsett), 223 ved lokalitet B (39-198 dager etter utsett), 720 ved lokalitet C (15-344 dager etter utsett), 353 lokalitet D (0-302 dager etter utsett), 120 ved lokalitet E (93-269 dager etter utsett), 177 ved lokalitet F (17-158 dager etter utsett).

Ytre lyter

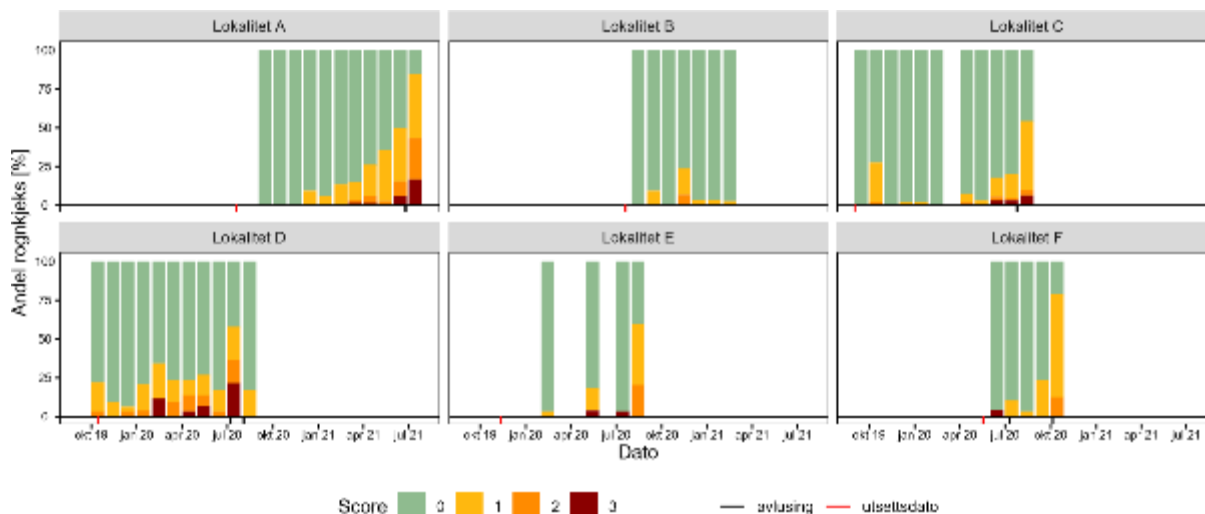
Av de ytre velferdsparametrene, var det skader på hud og finner som oftest ble observert i oppfølgingsperioden. Omtrent halvparten av rognkjeksen ble observert med halefinneskader gjennom perioden (Fig. 14). Ved første oppfølging etter utsett var det liten grad av registrerte skader på hud og øye, men både alvorlighetsgraden og andelen rognkjeks med disse skadene økte med antall dager etter utsett i sjø.



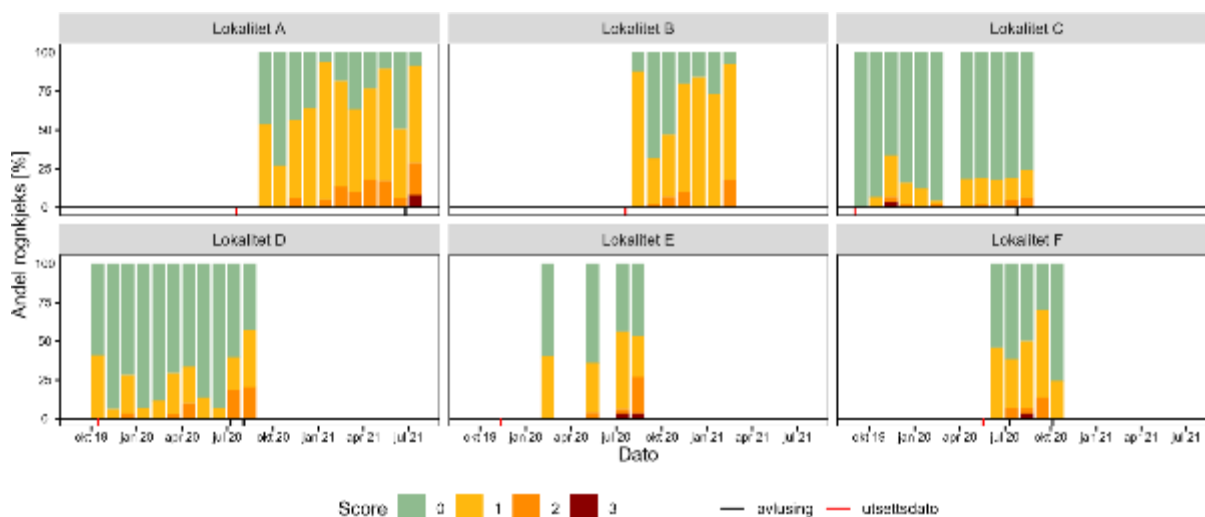
Figur 14: Fordeling av de ulike gradene for hver av de ytre velferdsparametrene mot antall dager i sjø etter første utsett ved alle lokalitetene. Farger viser velferdsstatus: 0 (grønn): god, 1 (gul): noe redusert, 2 (oransje): tydelig redusert, 3 (rød) alvorlig redusert. Antall rognkjeks vurdert: 3037 på andre finner, 3036 på halefinne, 3038 på hud, 2123 på øyeskade venstre øye og 2124 øyeskade høyre øye.

Andelen rognkjeks med hudskader økte fra 5,6 % ved utsett til 53,1 % etter ett år i sjø. Andelen rognkjeks med øyeskade på høyre og venstre øye økte fra hhv. 6,7 % og 8,2 % til 20,0 % og 17,6 %. Av rognkjeksene som ble undersøkt de første 30 dagene etter utsett hadde 32,3 % skade på halefinnen og 20,0 % skade på andre finner. Andelen og alvorlighetsgraden av finneskader økte også over tid, og etter ett år i sjø hadde 49,5 % skade på halefinne og 42,8 % skade på andre finner (Fig. 14).

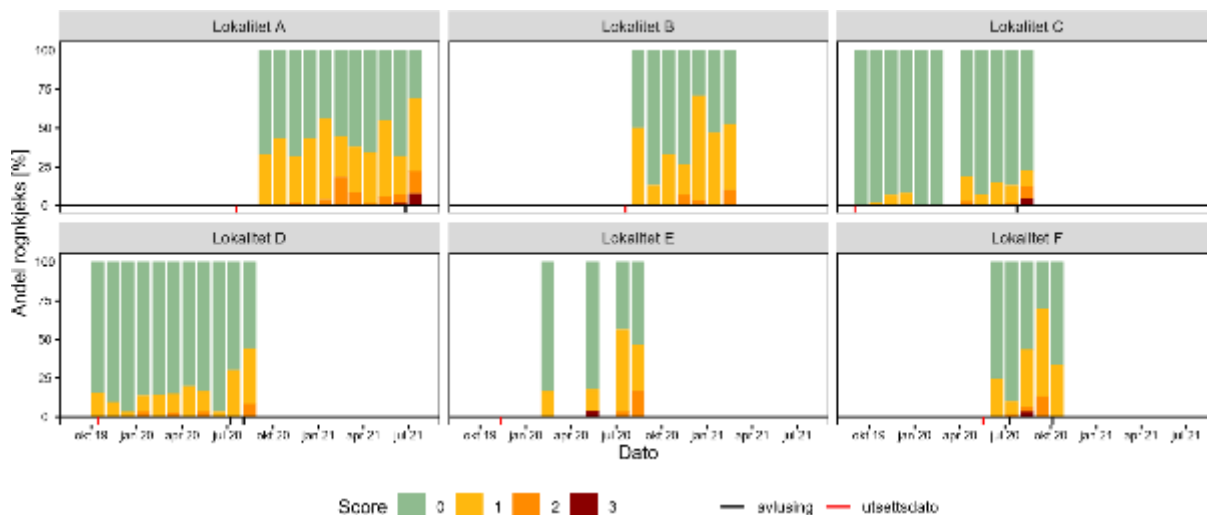
Disse trendene var også synlige på lokalitetsnivå, til tross for mindre variasjoner (Fig. 15-18).



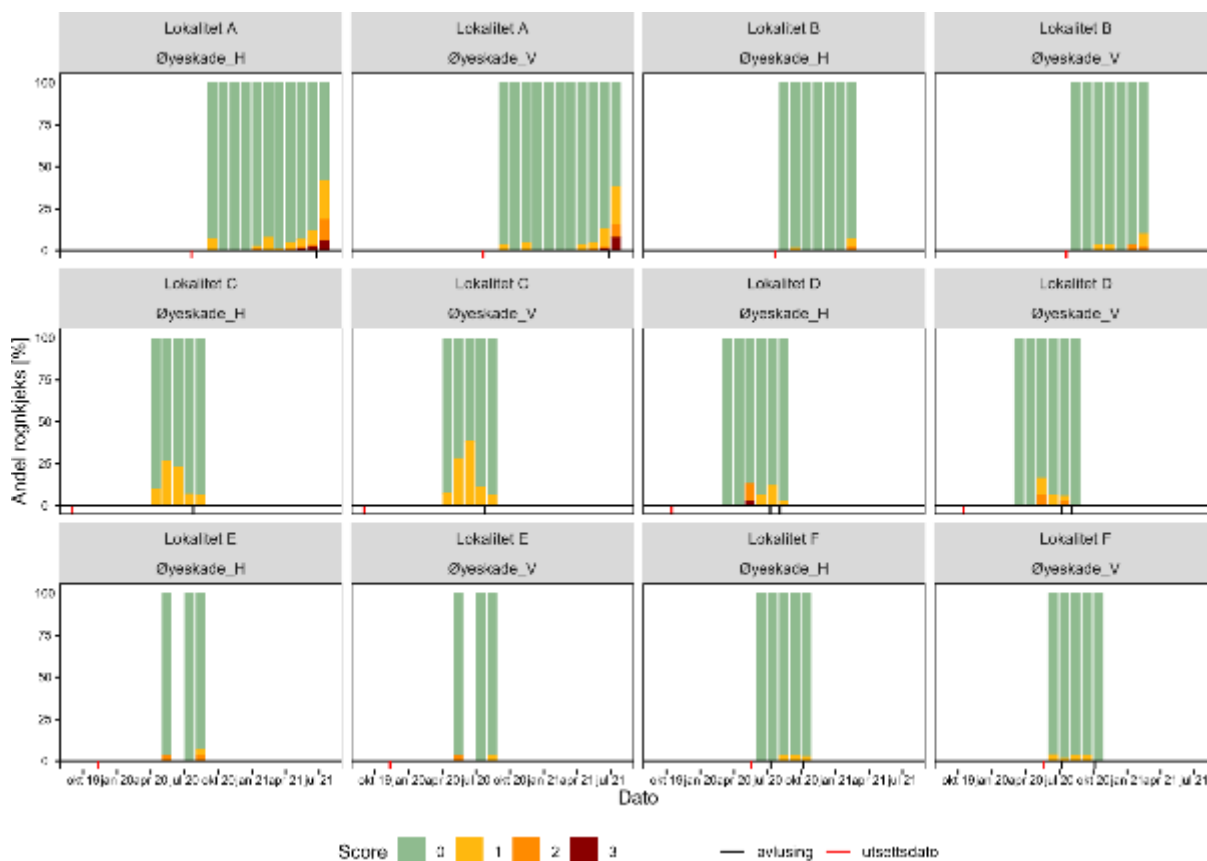
Figur 15: Fordeling av velferdsscorene på hud ved lokalitetene A-F. Farger viser velferdsstatus: 0 (grønn): god, 1 (gul): noe redusert, 2 (oransje): tydelig redusert, 3 (rød) alvorlig redusert. Utførte avlusinger på lokalitetene og utsettsdato er merket av under x-aksen. Antall rognkjeks vurdert: 835 ved lokalitet A, 223 ved lokalitet B, 720 ved lokalitet C, 353 lokalitet D, 120 ved lokalitet E, 177 ved lokalitet F.



Figur 16: Fordeling av velferdsscorene på halefinne ved lokalitetene A-F. Farger viser velferdsstatus: 0 (grønn): god, 1 (gul): noe redusert, 2 (oransje): tydelig redusert, 3 (rød) alvorlig redusert. Utførte avlusinger på lokalitetene og utsettsdato er merket av under x-aksen. Antall rognkjeks vurdert: 835 ved lokalitet A, 222 ved lokalitet B, 720 ved lokalitet C, 352 lokalitet D, 120 ved lokalitet E, 177 ved lokalitet F.



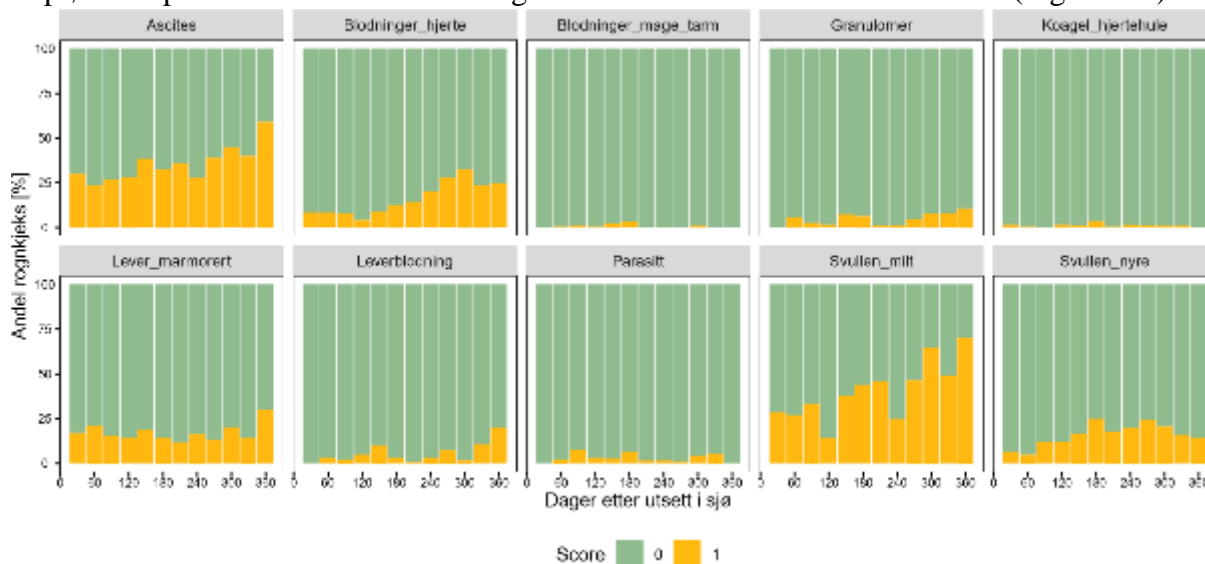
Figur 17: Fordeling av velferdsscoreingene på andre finner ved lokalitetene A-F. Farger viser velferdsstatus: 0 (grønn): god, 1 (gul): noe redusert, 2 (oransje): tydelig redusert, 3 (rød) alvorlig redusert. Utførte avlusinger på lokalitetene og utsettsdato er merket av under x-aksen. Antall rognkjeks vurdert: 834 ved lokalitet A, 223 ved lokalitet B, 720 ved lokalitet C, 353 lokalitet D, 120 ved lokalitet E, 177 ved lokalitet F.



Figur 18: Fordeling av velferdsscoreingene på øyeskade på venstre (V) og høyre øyet (H) ved lokalitetene A-F. Farger viser velferdsstatus: 0 (grønn): god, 1 (gul): noe redusert, 2 (oransje): tydelig redusert, 3 (rød) alvorlig redusert. Utførte avlusinger på lokalitetene og utsettsdato er merket av under x-aksen. Antall rognkjeks vurdert: 715 ved lokalitet A, 223 ved lokalitet B, 397 ved lokalitet C, 193 lokalitet D, 90 ved lokalitet E, 177 ved lokalitet F.

Obduksjonsanmerkninger

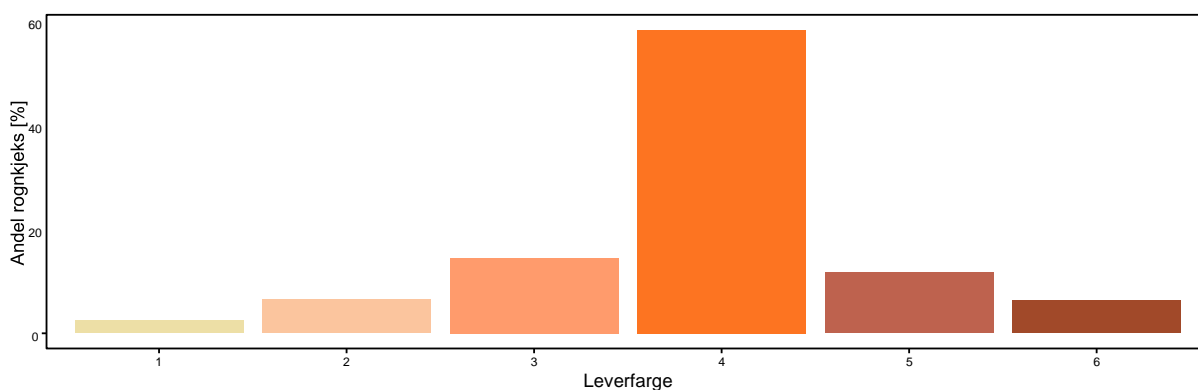
Under obduksjon var det ascites (væske i bukhulen), blødninger på hjerte og svullen milt som oftest ble registrert (Fig. 19), og som i tillegg økte gjennom oppfølgingsperioden. Andel rognkjeks med svullen nyre økte de første seks månedene før andelen stabiliserte seg. Kun få tilfeller av blødninger på andre organer, granulomer, parasitter og koagel i hjertehule ble registrert. Det var for lite data på hvert prøvetidspunkt til å kunne sammenligne velferdsstatus mellom lokalitetene (Fig. 34-37).



Figur 19: Fordeling av anmerkninger ved obduksjon mot antall dager i sjø etter første utsett blant alle lokalitetene. Farger viser funnene: 0 (grønn): ikke til stedet, 1 (gul): til stedet. Antall rognkjeks vurdert: 2070 for ascites, 1938 for blødninger i hjerte, 2052 for blødninger i mage og tarm, 2075 for granulomer, 1986 for koagel i hjertehule, 1281 for marmorert lever, 1311 for leverblødning, 2044 for parasitter, 1286 for svullen milt og 2042 for svullen nyre.

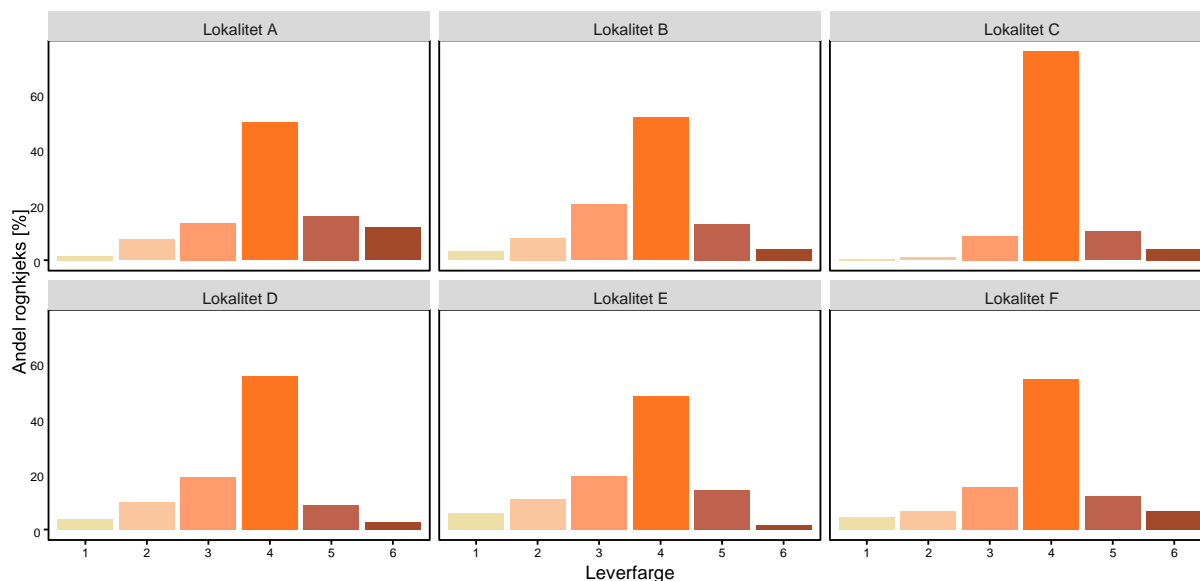
Leverfarge

Av rognkjeks som ble undersøkt hadde 73 % leverfarge 3-4 (normal; Fig. 20).



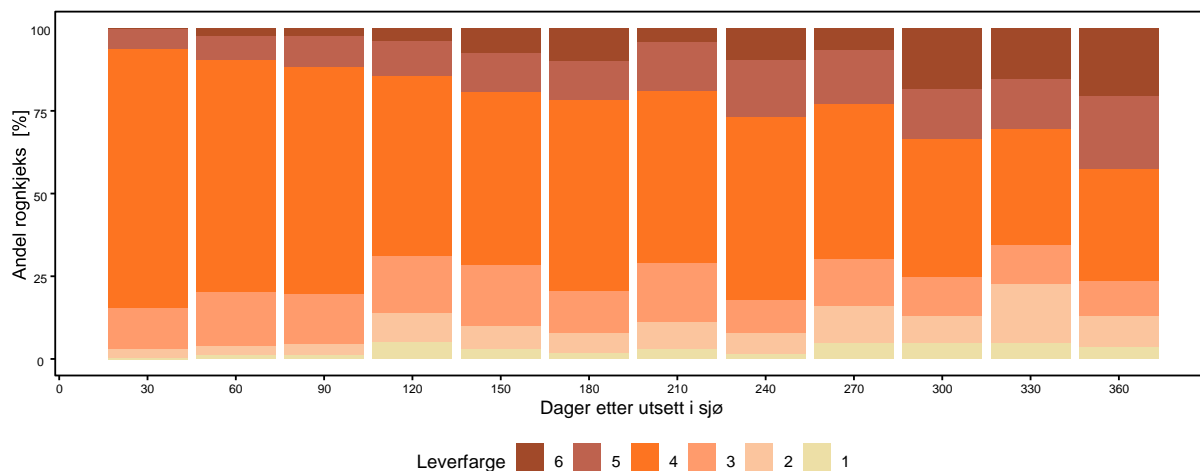
Figur 20: Fordeling av leverfarger i hele oppfølgingsperioden. Antall rognkjeks vurdert: 2833.

Det var ingen store forskjeller i fordelingen mellom lokalitetene, men lokalitet C skilte seg ut med en noe høyere andel rognkjeks med leverfarge 3-4 (84 %; Fig. 21). I tillegg skilte lokalitet A seg ut med en høyere andel rognkjeks med leverfarge 5-6 (mørk; 28 %).



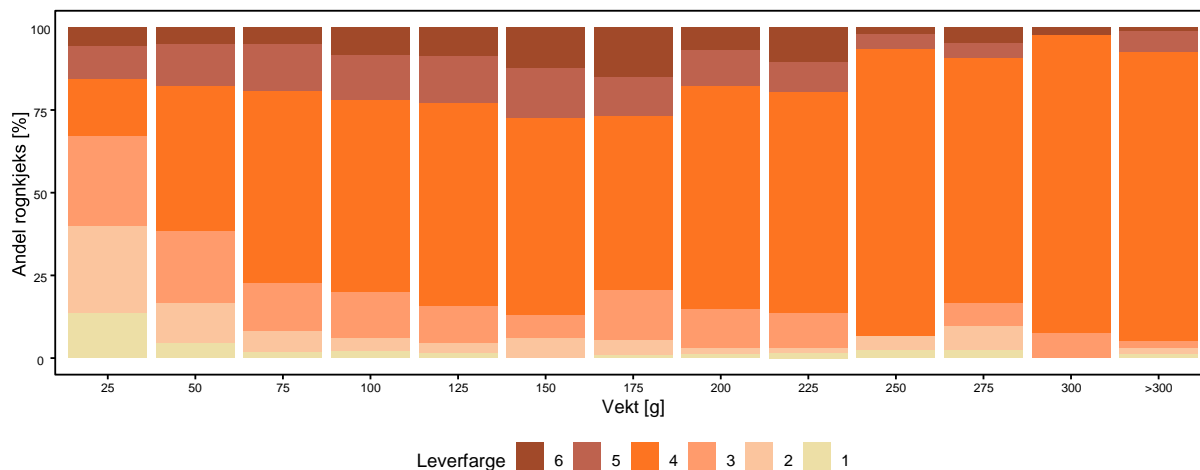
Figur 21: Fordeling av leverfarger ved lokalitetene A-F. Antall rognkjeks vurdert: 834 ved lokalitet A (50-359 dager etter utsett), 223 ved lokalitet B (39-198 dager etter utsett), 720 ved lokalitet C (15-344 dager etter utsett), 351 lokalitet D (0-302 dager etter utsett), 120 ved lokalitet E (93-269 dager etter utsett), 175 ved lokalitet F (17-158 dager etter utsett).

Andelen rognkjeks med antatt unormal leverfarge (1, 2, 5 eller 6) økte med antall dager i merd (Fig. 22). Den første måneden etter utsett hadde 2,9 % lys leverfarge (1-2) og 6,3 % mørk leverfarge (5-6). 11 måneder senere hadde 9,8 % av de undersøkte rognkjeksene lys leverfarge og 57,2 % mørk leverfarge.



Figur 22: Fordeling av leverfarger mot antall dager etter utsett i sjø ved alle lokalitetene. Antall rognkjeks vurdert: 2833.

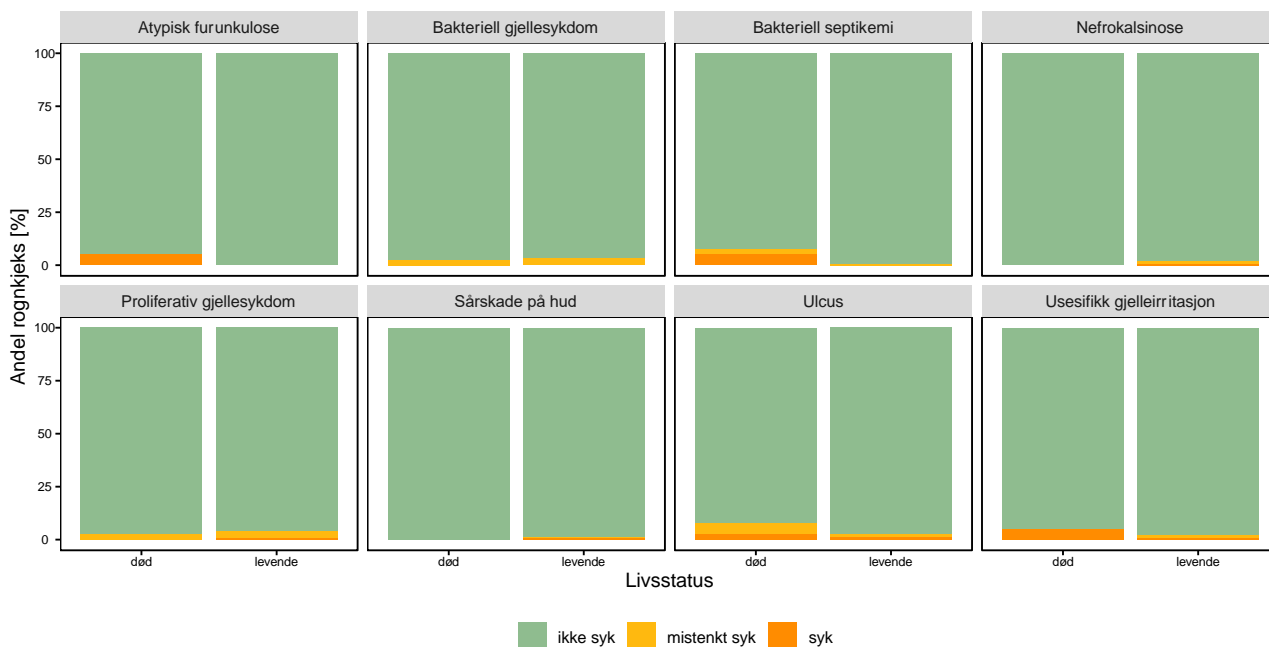
Andelen rognkjeks med antatt unormal leverfarge (score 1, 2, 5 eller 6) reduserte i takt med vekt (Fig. 23). Av de minst individene (>25 g) hadde 39,8 % lys leverfarge (1-2) og 15,5 % mørk leverfarge (5-6). Derimot hadde kun 2,9 % lys leverfarge (1-2) og 7,6 % mørk leverfarge (5-6) blant de største individene (> 300 g).



Figur 23: Fordelingen av leverfarger mot rognkjeksens vekt. På grunn av lite datamateriell på store rognkjeks er fordelingen av leverfarge for rognkjeks over 300 g slått sammen. Antall rognkjeks vurdert: 2695.

Sykdomsstatus

Av 234 rognkjeks (190 levende, 5 svekket og 39 død) ble 84,6 % ansett som friske (uten sykdom) mens det ble påvist sykdom hos 4,7 % og mistenkt sykdom hos 10,7 %. Ulcus (sår som skyldes sykdom) og uspesifikk gjelleirritasjon var sykdommene som ble påvist flest ganger (1,3 % av rognkjeksens; Fig. 24).



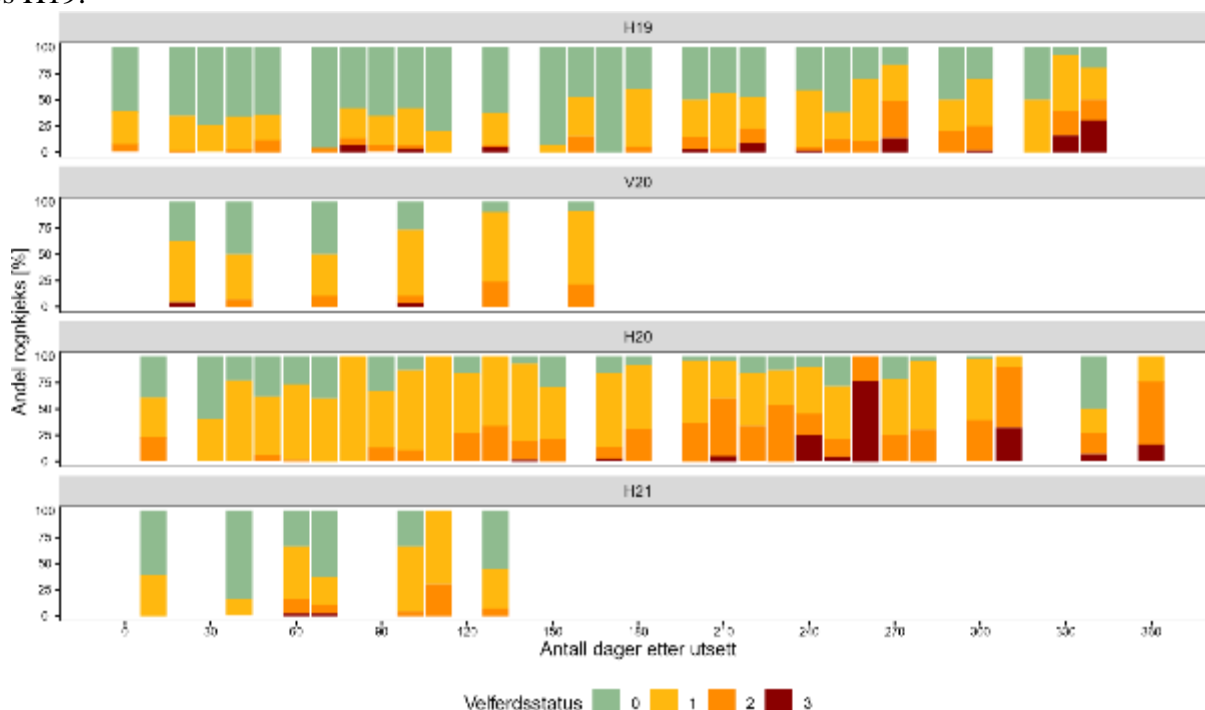
Figur 24: Fordelingen av påvist sykdom (oransje), mistenkt sykdom (gul) og ikke påvist/mistenkt sykdom (antatt frisk rognkjeks, grønn). Det skiller mellom død og levende rognkjeks, hvor 195 levende og 39 døde er testet.

Grunnet lite datamateriale på syke individer, var det ikke mulig å sammenligne helsestatus blant de ulike lokalitetene, eller se på utvikling over tid. Det ble heller ikke funnet sammenheng mellom helsestatus og leverfarge.

5.1.4 Årsaker til redusert velferd

Utsettstidspunkt

På grunn av lite data fra vårutsett ble det vanskelig å undersøke om rognkjeksens velferd ble påvirket av utsettstidspunktet (Fig. 25). Det var ingen betydelig forskjeller mellom V20, H20 og H21, men velferden var i starten noe bedre hos H21. Velferdsstatus var bedre gjennom hele oppfølgingsperioden hos H19.



Figur 25: Fordelingen av velferdsstatus for generasjonene H19, V20, H20 og H21 mot antall dager etter utsett i sjø. Farger viser velferdsstatus: 0 (grønn): god, 1 (gul): noe redusert, 2 (oransje): tydelig redusert, 3 (rød) alvorlig redusert. Resultatene er basert på rognkjeksoppfølging ved tre H19 lokaliteter (1193 rognkjeks), en V20 lokalitet (177 rognkjeks), to H20 lokaliteter (1058 rognkjeks) og tre H21 lokaliteter (270 rognkjeks).

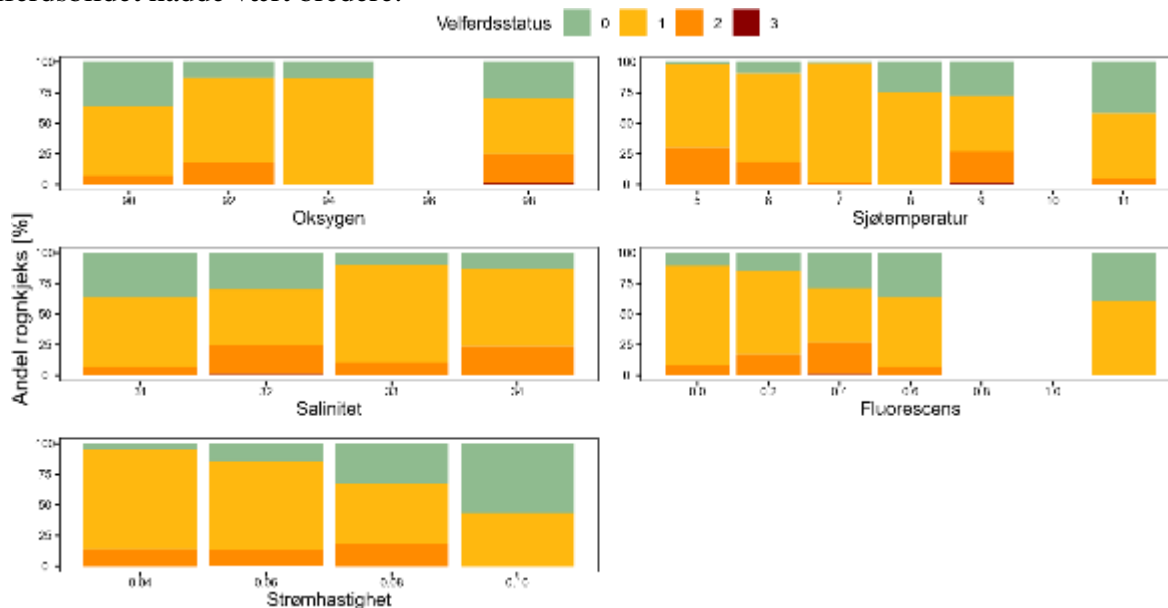
Produksjonshendelser

Det ble ikke funnet tydelige sammenhenger mellom produksjonshendelser og velferdsstatus hos rognkjeksens på lokalitetsnivå (Fig. 12, og se Fig. 38 i vedlegg for eksempler på merdnivå). Vurderingen av de ulike OVI viste likevel en økning av alvorlighetsgraden på hud- og finneskader etter avlusing (Fig. 15-17).

Hydrografi og vannstrøm

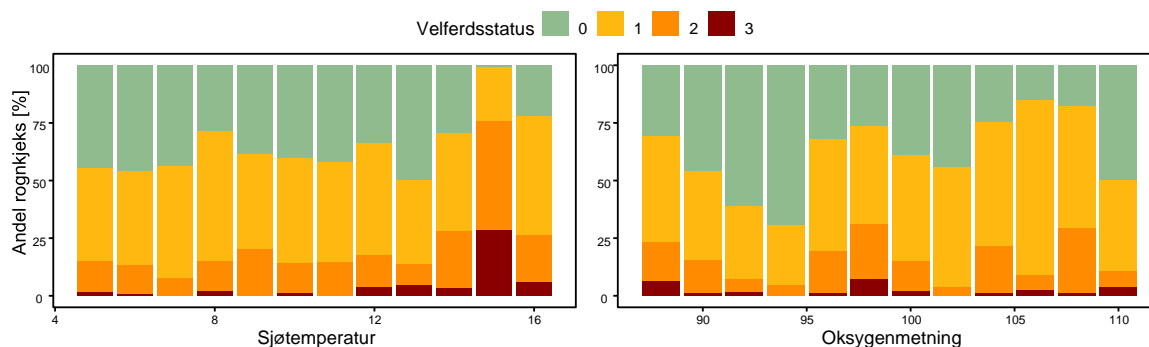
Ved lokalitet A og B ble hver enkelt miljøparameter sammenlignet med rognkjeksens velferdsstatus for å vurdere parvis samvariasjon mellom parametere (Fig. 26). Det var ingen sterke sammenhenger mellom de ulike miljøparametere og rognkjeksens velferdsstatus. Det var ingen rognkjeks med alvorlig redusert velferd ved lokalitetene A og B i den perioden, og vi kan derfor ikke utelukke at det

kunne ha vært en mer tydelig sammenheng mellom hydrografi og velferdsstatus dersom velferdsbildet hadde vært bredere.



Figur 26: Fordeling av velferdsstatus mot miljøparametere: oksygenmetning (%), sjøtemperatur (°C), salinitet, fluorescens ($\mu\text{g/L}$) og strømhastighet (m/s). Farger viser velferdsstatus: 0 (grønn): god, 1 (gul): noe redusert, 2 (oransje): tydelig redusert. Antall rognkjeks vurdert: 554.

Sjøtemperatur og oksygen ble kontinuerlig registrert ved 6 av lokalitetene (lokalitet A-F). Det var derfor mulig å undersøke påvirkning av disse miljøparametere på rognkjeksens velferdsstatus basert på et større datagrunnlag enn kun data fra lokalitetene A og B (Fig. 27). Ut fra disse resultatene var det ingen trend mellom rognkjeksens velferdstatus og oksygen, mens rognkjeksens velferd var dårligst ved de høyeste temperaturene.



Figur 27: Fordeling av velferdsstatus mot sjøtemperatur (°C) og oksygenmetning (%). Farger viser velferdsstatus: 0 (grønn): god, 1 (gul): noe redusert, 2 (oransje): tydelig redusert, 3 (rød) alvorlig redusert. Antall rognkjeks vurdert: 2428 for temperatur og 2251 for oksygen.

Multippel regresjonsanalyse

I den fulle regresjonsmodellen var regresjonskoeffisientene til sjøtemperatur, vekt og notvedlikehold i effektmodellen, samt lokalitet B i indikatorvariabelen i presisjonsmodellen, ikke signifikante. Modellen med lavest aikaie information criterie (AIC) ble funnet etter at notvedlikehold ble fjernet i første runde med baklengs seleksjon (Tab. 6). Noen av de standardiserte residualene til regresjonsmodellen hadde noe høye negative verdier (Fig. 39 i vedlegg), men fordelingen av

residualene til modellen ble allikevel antatt å være tilstrekkelig til å bruke regresjonsmodellen til å se på påvirkningsgraden av de ulike faktorene.

Tabell 6: Regresjonskoeffisientene med tilhørende estimat, standardfeil og signifikansnivå for betamodellen som er basert på data fra rognkjeksoppfølgingen på lokalitetene A-E. Lokalitet A er benyttet som referanseverdi, og er i presisjonsmodell inkludert i skjæringspunktet (intercept). Effektmодellen predikerer den forventede effekten på overordnede velferdsscore og presisjonsmodellen predikerer variansen (dispersjonsparameteren).

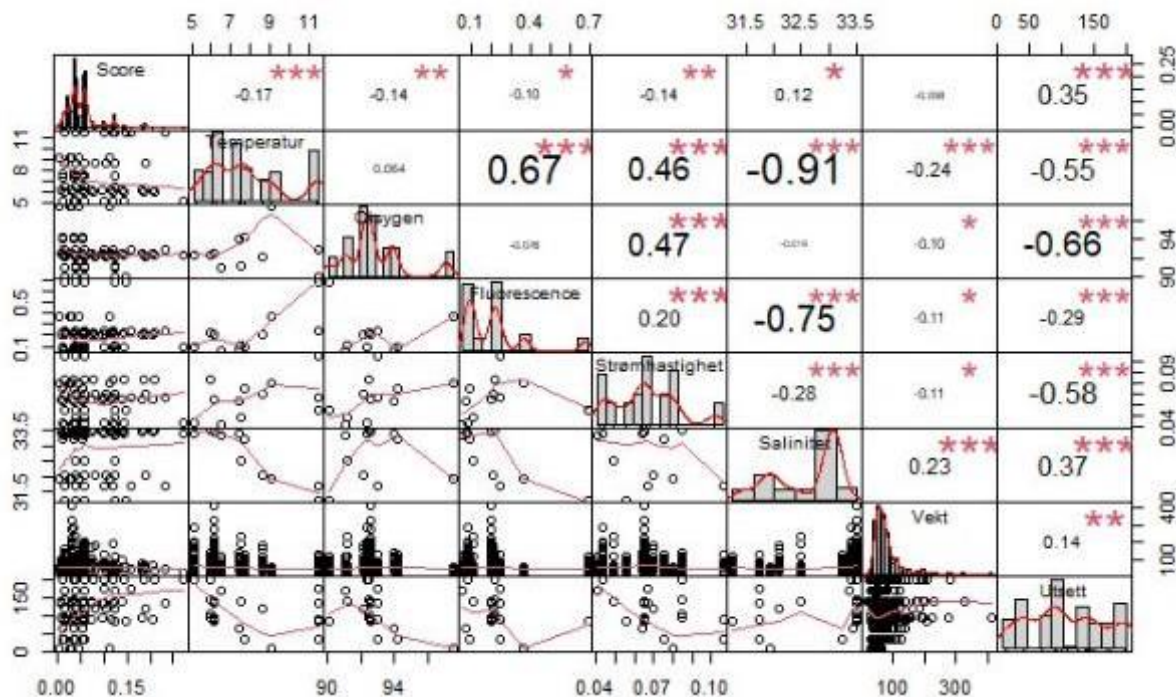
	Effektmodell		Predisjonsmodell	
	Estimat	Standardfeil	Estimat	Standardfeil
(Skjæringspunkt)	-4,9346***	0,5365	3,4134***	0,0883
Sjøtemperatur	-0,0122	0,0073		
Oksygen	0,0109*	0,0054		
Dager etter utsett	0,0045***	0,0003	-0,0046***	0,0004
Avlusing	0,7885***	0,0865		
Vekt	-0,0004	0,0002		
Lokalitet B			0,1014	0,0958
Lokalitet C			-0,6926***	0,0696
Lokalitet D			-0,7377***	0,0765
Lokalitet E			-0,4382**	0,1136

Antall observasjoner: 2103 Log-likelihood: 6126 R²: 0,11

Signifikansnivå: *** ≡ p < 0,001; ** ≡ p < 0,1; * ≡ 0,05

De estimerte regresjonskoeffisientene indikerte at forventet overordnet velferdsscore og variansen økte med antall dager i sjø (Tab. 6). Det vil si at velferdsstatus ble redusert jo lenger rognkjeksene sto i sjø. I tillegg indikerte modellen at overordnet velferdsscore ville øke med en faktor $\exp(0,79) = 2,2$ etter første avlusing, hvis alle andre parametere ble holdt konstant. Det var også signifikante forskjeller i variansen til noen av lokalitetene. Lokalitet C, D og E hadde en signifikant lavere dispersjonsparameter enn lokalitet A, som indikerte at variansen i fordelingen av den overordnede velferdsscoren til lokalitet A var mindre enn for lokalitet C, D og E.

I den utvidede regresjonsanalysen, hvor miljømålingene av oksygen, sjøtemperatur, salinitet, fluorescens og strømhastighet fra lokalitet A og B var inkludert, ble det utfordringer med multikolaritet. Sjøtemperatur var sterkt negativt korrelert med salinitet (Fig. 28), og siden det var små variasjoner i salinitet (Fig. 26), ble det sjøtemperatur som ble beholdt som variabel i modellen. Ingen av miljøparameterne, samt vekt eller lokalitet var signifikante i den fulle regresjonsmodellen. Baklengs seleksjon ble derfor benyttet, og det ble totalt utført 5 runder før modellen med lavest AIC ble valgt. I disse rundene ble sjøtemperatur, fluorescens, strømhastighet, lokalitet og vekt stegvis fjernet. Residualplotet til den endelige modellen hadde god spredning, og de standardiserte residualene var tilnærmet normalfordelte (Fig. 40 i vedlegg).



Figur 28: Korrelasjonsplot av dataene som ble benyttet i den utvidede regresjonsmodellen basert på velferd og miljødataene fra lokalitet A og B. Øvre del inneholder Pearsons korrelasjonskoeffisient for de ulike variablene, og de røde stjernene indikerer signifikansgraden. I diagonalen er fordelingen til hver av variablene presentert som histogram. Punktplottene til hver av variabelparene er presentert i nedre del. Variabelen score representerer overordnet velferdsscore og utsett representerer antall dager siden første utsett. Antall rognkjeks vurdert: 422.

I motsetning til regresjonsmodellen for alle lokalitetene (Tab. 6) indikerte den utvidede regresjonsmodellen at utført notvedlikehold hadde en signifikant positiv påvirkning på overordnet velferdsscore (Tab. 7). Ved å holde alle parametere med unntak av notvedlikehold konstant, ville den forventede overordnede velferdsscoren økt med en faktor $\exp(0,13) = 1,1$, om notvedlikehold hadde blitt utført i løpet av de siste 30 dagene.

Tabell 7: Regresjonskoeffisientene med tilhørende estimat, standardfeil og signifikansnivå for betamodellen som er basert på data fra det utvidede overvåkningsprogrammet ved lokalitet A og B. Effektmodellen predikerer den forventede effekten på overordnede velferdsscore og presisjonsmodellen predikerer variansen (dispersjonsparameteren).

	Effektmodell		Predisjonsmodell	
	Estimat	Standardfeil	Estimat	Standardfeil
(Skjæringspunkt)	-6,6123***	1,8336	4,5547***	0,1389
Oksygen	0,0324	0,0192		
Notvedlikehold	0,1315*	0,0527		
Dager etter utsett	0,0050***	0,0006	-0,0047	0,0012

Antall observasjoner: 422, Log-likelihood: 961, $R^2:0,16$

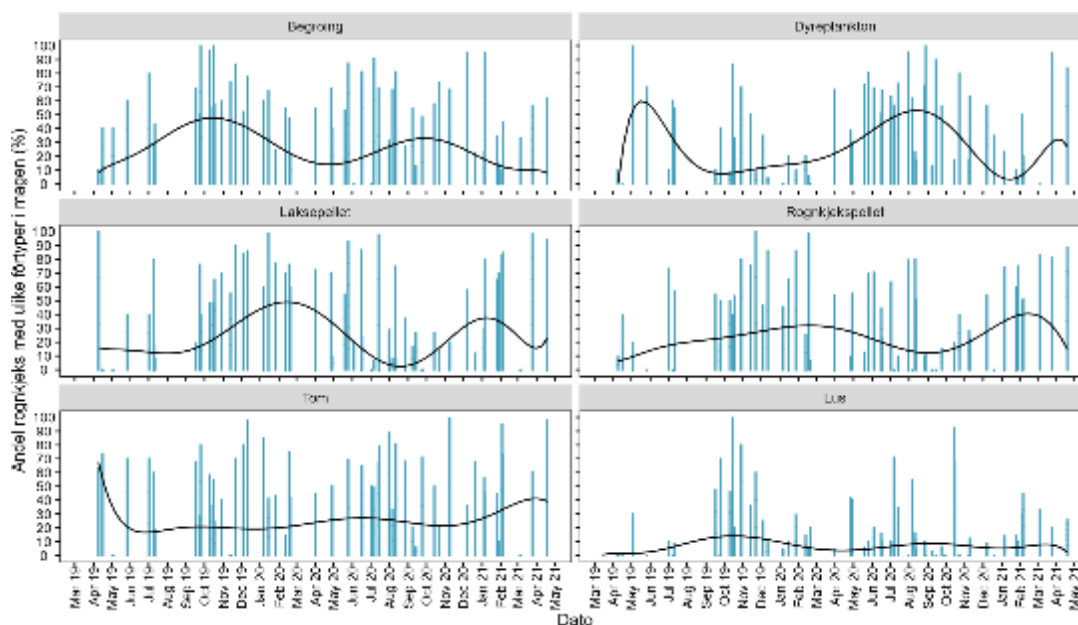
Signifikansnivå: *** $\equiv p < 0,001$; ** $\equiv p < 0,1$; * $\equiv 0,05$

Den utvidede regresjonsmodellen indikerte også at velferdsscoren ble redusert med antall dager i sjø og at variansen økte med antall dager siden utsett. Den multivariable analysen indikerte dermed at hverken sjøtemperatur, oksygen, fluorescens, strømhastighet eller vekt hadde en signifikant påvirkning på rognkjeksens velferdsscore i dette studiet.

Diettpreferanser

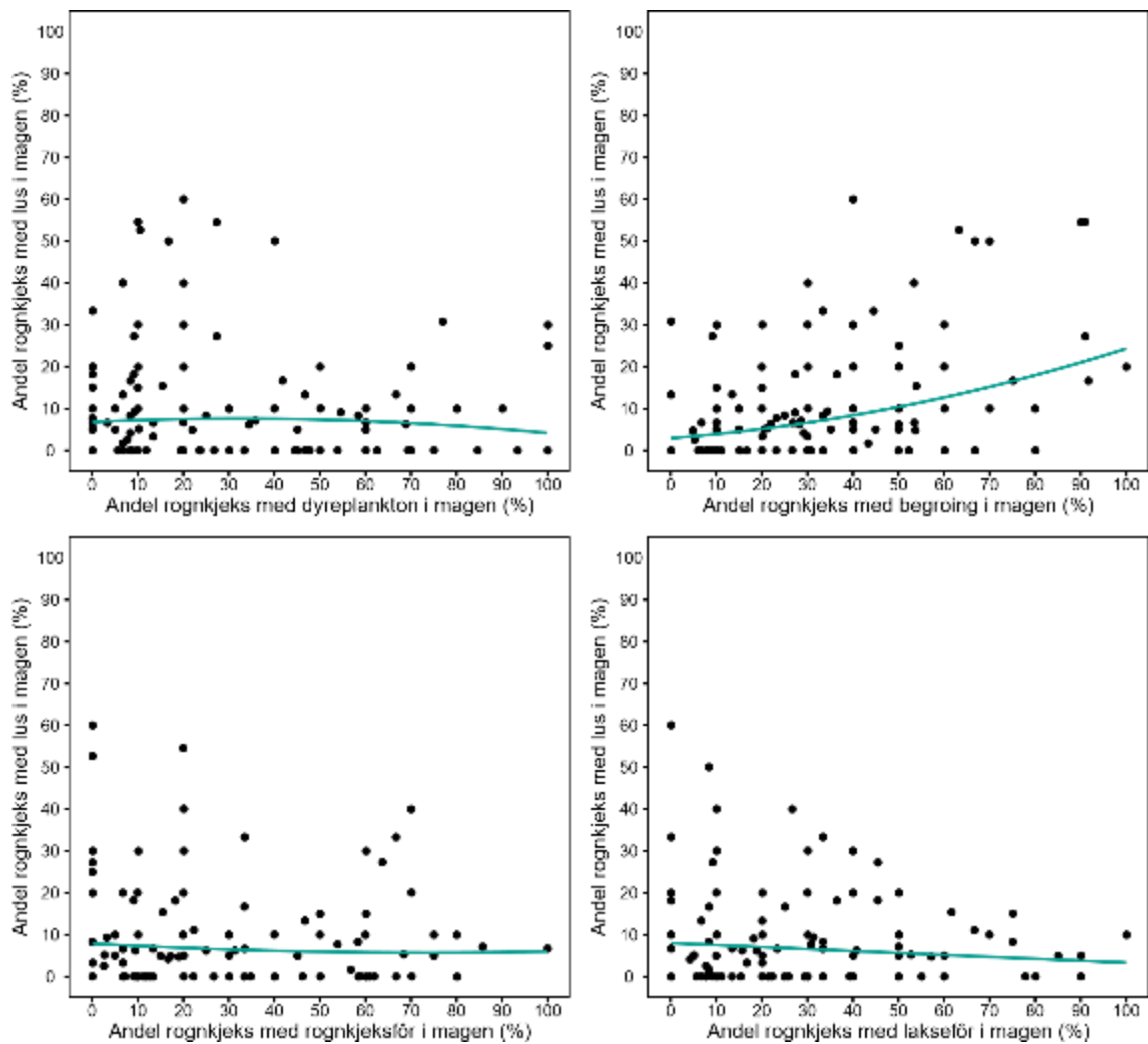
Effekt av diettpreferanser på lusebeite-effektivitet

Andelen rognkjeks som spiste lus var lavest på vinteren og våren, og økte på høsten med et maksimum i oktober (Fig. 29). Den samme trenden ble funnet med begroingsorganismer og dyreplankton, med lavest andel på vinter/vår og høyest andel på høsten. På våren hadde de fleste rognkjeksene dyreplankton i magen, dominert av hoppekreps i slekten *Calanus*. På høsten hadde rognkjeksene med dyreplankton i magen hovedsakelig spist ribbemaneter (Ctenophora). Det ble ikke funnet noen trend for andelen rognkjeks med rognkjeksfôr i magen, mens andelen rognkjeks med laksefôr i magen var høyest på vinteren. Andelen rognkjeks med tomme mager lå ganske konstant på 25 % gjennom hele oppfølgingsperioden.



Figur 29: Fordeling av rognkjeks med ulike fôrtyper identifisert i magen mot dato. Den svarte linjen viser lokal regresjon for dataene. Antall rognkjeks vurdert: 3255.

Det var en positiv korrelasjon mellom andel rognkjeks med begroingsorganismer og lus i magen ($p < 0,0001$; $R^2 = 0,18$). Det var ingen korrelasjon mellom andel rognkjeks som hadde spist lus og dyreplankton, rognkjeksfôr eller laksefôr (Fig. 30; $p > 0,05$). Det ble heller ikke funnet korrelasjon mellom andel rognkjeks med dyreplankton i magen og tetthet av dyreplankton i vannmassene ($p > 0,05$).



Figur 30: Sammenheng mellom andel rognkjeks med lus i magen og andre fôrtyper i magen. Blå linjer viser polynomiale regresjoner (grad 2). Antall rognkjeks vurdert: 3255.

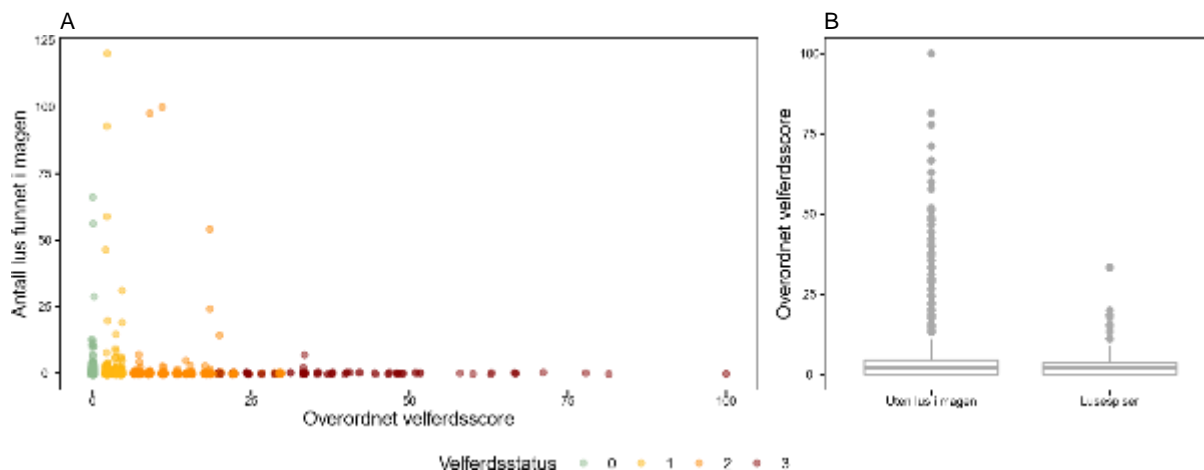
Effekt av velferd på lusebeite-effektivitet

Det var en signifikant negativ sammenheng mellom rognkjeksens velferdsstatus og om rognkjeksen hadde lus i magen eller ikke ($p < 0,01$; Tab. 8). Av rognkjeks med god velferd hadde 7,4 % lus i magen, mens kun 2,0 % av rognkjeksene med alvorlig redusert velferd hadde lus i magen.

Tabell 8: Totalt antall lus funnet i rognkjeksenes mage, antall undersøkte rognkjeks, antall rognkjeks med lus i magen og andelen undersøkte rognkjeks med lus i magen gruppert etter velferdsstatusen til rognkjeksene. En felles statistikk uavhengig av rognkjeksens velferdsstatus er gitt til slutt.

Velferdsstatus	Totalt antall lus	Antall undersøkte rognkjeks	Rognkjeks med lus i magen	
			Antall	andel (%)
God (0)	365	1134	84	7,41
Noe redusert (1)	564	1250	88	7,04
Tydlig redusert (2)	330	555	22	3,96
Alvorlig redusert (3)	9	99	2	2,02
Alle undersøkte rognkjeks	1268	3038	196	6,45

Av de 196 rognkjeksene med lus i magen hadde 50,5 % én lus i magen og 32,1 % hadde to til fem lus i magen. De resterende 33 rognkjeksene hadde 6-120 lus i magen. Den overordnede velferdsscoren hos rognkjeks med lus i magen var signifikant lavere enn hos rognkjeks uten lus i magen ($p < 0,005$; Fig. 31B), og det var en negativ korrelasjon mellom antall lus i magen og overordnet velferdsscore ($p = 0,005$; Fig. 31A).



Figur 31: Venstre (A): antall lus i magen mot rognkjeksens overordnet velferdsscore. Høyre (B): fordeling av overordnet velferdsscore for rognkjeks med og uten lus i magen presentert som box-plot. Fargene viser velferdsstatus: 0 (grønn): god, 1 (gul): noe redusert, 2 (oransje): tydelig redusert, 3 (rød) alvorlig redusert. Antall rognkjeks vurdert: 3038.

5.1.5 Diskusjon

Scoring av velferd

Selv om utvalget og scoringen av OVI for fortløpende evaluering av velferd i merd er tilnærmet standardisert hos rognkjeks, mangler det fortsatt en metode for å vurdere overordnet velferd basert på OVI. Vi foreslår derfor en formel for å beregne overordnet velferd fra OVI som sikrer systematisk og sammenlignbar sammenstilling av data i stor skala.

Som beskrevet i fiskehelsesrapporten 2020 (Sommerset mfl., 2021) bør man unngå å gjøre vurderinger basert på gjennomsnittsverdier for hele populasjonen fordi det kan kamuflere variasjoner mellom individer som har veldig ulik velferdsstatus. Derfor foreslår vi at man estimerer en overordnet velferdsscore som tar utgangspunkt i en vektet sum av ytre OVI. Vektingen av OVI scoringene tydeliggjør forskjellene mellom individer som har noen få lyter som ikke reduserer velferden i større grad og individer som har mye mer alvorlige lyter (Tab. 9). Samme type vekting er satt på alle OVI siden vi vurderer at en alvorlig skade påvirker velferden til rognkjeks like negativt om den finnes på finnen, huden eller øyet.

Antall OVI som vurderes for hver rognkjeks kan variere av ulike grunner som f. eks. feil- eller manglende registrering i feltskjema. Derfor foreslår vi å benytte en relativ sum hvor alle totalvurderingene er prosentandeler av maks oppnåelig sum (score 3 på alle vurdert OVI) som overordnet velferdsscore. Dette gjør det mulig å sammenligne flere individer på likt grunnlag.

Tabell 9: Eksempel av overordnet velferdsscore med og uten vekting av scoringen.

Parameter	Uten vekting			Med vekting		
	Fisk 1	Fisk 2	Fisk 3	Fisk 1	Fisk 2	Fisk 3
Halefinne	1	0	0	1	0	0
Andre finner	1	1	0	1	1	0
Hud	1	2	3	1	4	9
Øyeskade høyre	0	0	0	0	0	0
Øyeskade venstre	0	0	0	0	0	0
Sum	3	3	3	3	5	9
Overordnet velferdsscore	20	20	20	6,7	11	20

For å vurdere overordnet velferdsstatus hos rognkjeks foreslår vi å fordele den relative summen i fire alvorlighetsgrader, fra god til alvorlig redusert velferd (Tab. 4). Utfordringen med OVI er at det mangler kunnskap om biologiske parametere for kunne å velge riktige indikatorer og etablere bestemte grenseverdier som skiller mellom god, noe redusert eller alvorlig redusert velferd (Sommerset mfl., 2021). Vår fordeling er kun basert på Scientific Wild Ass Guess (SWAG; Thomas og McDonagh, 2013) og bør bekreftes av målbare parametere (e.g. stresshormoner, hjerneaktivitet osv.) i videre forskning. I tillegg var det kun OVI på ytre parametere som ble inkludert på grunn av manglende kunnskap om indre parametere og deres betydning. En bedre forståelse av disse vil forbedre overordnet velferdscoring.

Selv om katarakt og avmagring ble vurdert, ble de ikke inkludert i datagrunnlaget på grunn av for store usikkerheter i vurderingene. Katarakt krever både spesialutstyr (spaltelampe), opplæring og tilstrekkelig mørklagt rom ved vurdering. Dette fører til at det er vanskelig å gjennomføre i felt. Det finnes flere måter å måle kondisjon hos fisk. Den mest brukte i akvakultursammenheng er Fultons kondisjonsfaktor K (Bolger og Connolly, 1989). Denne brukes også ofte for rognkjeks, men ettersom rognkjeks både har en unik kroppsfasong og heller ikke vokser isometrisk i alle stadier (Daborn og Gregory, 1983) er ikke K like godt egnet for vurdering av kondisjon (Gutierrez Rabadan mfl., 2021).

Visuell vurdering av avmagring vil kunne påvirkes av om rognkjeksens nettopp har fått tilgang på fôr, og ofte vil man oppfatte en rognkjeks som avmagret først når det er for sent å sette inn tiltak.

Utvikling av velferd i merd

Resultatene viser at velferdsstatusen ble redusert jo lenger rognkjeks stod i sjø. Ny-utsatt rognkjeks hadde stort sett god velferd, men 32 % av rognkjeksene som ble undersøkt de første 30 dagene etter utsett hadde skade på halefinnen. Disse skadene var mest sannsynlig knyttet til tidligere aggresjon mellom individer, et fenomen som ofte observeres i settefiskfasen og som forsvinner etter utsett i sjø. Derimot hadde en stor andel rognkjeks tydelig redusert velferd etter 6-7 måneder i sjø, med tydelige og/eller alvorlige hud- og øyeskader, samt ascites, blødninger på hjerte og svullen milt. Dette tyder på at redusert velferdsstatus hos rognkjeks skyldes suboptimale betingelser i sjø heller enn konsekvenser av eventuelle hendelser i settefiskfasen. Det er sannsynlig at andelen rognkjeks med god velferd etter 6-7 måneder i sjø var enda lavere enn resultatene tilsier, da det var flere påfyll av rognkjeks i merdene underveis i oppfølgingsperioden. Vekstkurver kan ikke brukes for å skille ulike kohorter pga. store vekstvariasjoner mellom individene. Det var derfor sannsynligvis rognkjeks fra flere utsett som ble obduert 6-7 måneder etter første utsett. Rognkjeks fra de siste utsettene hadde antagelig god velferd, og attenuerte derfor den observerte negative utviklingen i velferden.

Denne studien indikerte at det var mekanisk avlusing som påvirket velferdsstatus hos rognkjeks mest negativt. Spesielt hudskader økte i både utbredelse og alvorlighetsgrad etter avlusing ved de fleste lokalitetene. Som følge av akvakulturdriftsforskriften § 28 (andre ledd tredje og fjerde setning) er det et krav om utsortering av rensefisk før behandling mot lakselus. Dessverre er ikke dagens gjenfangst/sorteringsmetoder gode nok, da man sjelden klarer å ta ut hele populasjonen og dette kan medføre skader og økt stress for rognkjeksens. Med mindre rognkjeksens telles for hånd eller metoden har automatisk teller vil man heller ikke ha kontroll på hvor mange individer som blir fisket ut og hvor mange som potensielt står igjen i merd basert på beholdningstall. Det er derfor et stort behov for å utvikle gjenfangst- og sorteringsmetoder som ivaretar lovpålagt krav om utsortering før behandling, og som ikke gir økt belastning for fisken i form av økt stress og redusert velferd. Så lenge det ikke finnes bedre metoder for gjenfangst og utsortering bør man utvikle bruk av rognkjeks på lokaliteten når lusepresset øker på sommeren. Et annet argument for å ikke ha rognkjeks i merd i den perioden er at rognkjeks har lav toleranse for sjøtemperaturer over 16 °C (Hvas mfl., 2018), og er mer mottakelige for sykdommer ved temperaturer over 10 °C (Brooker mfl., 2018; Nordstrand mfl., 2017; Rønneseth mfl., 2017).

Påvirkning av strømhastighet på velferd ble undersøkt ved lokalitetene A og B. Lokalitetene hadde noe ulike strømregimer, men det ble ikke funnet signifikante forskjeller i utvikling av velferdsstatus mellom lokalitetene. Likevel, ettersom rognkjeks har begrenset svømmekapasitet kan høy vannstrømhastighet være en medvirkende årsak til både redusert velferd og lusebeiteeffektivitet (Hvas mfl., 2018). Uavhengig av hvor vannstrøm-eksponert en lokalitet er mtp. vannstrøm skal lokaliteten være utstyrt med skjul dersom det er rognkjeks i merdene (akvakulturdriftsforskriften § 19 første ledd bokstav a) for å gi hvileplass til rognkjeksens (Mortensen mfl., 2021). Dette kan man anta vil være desto viktigere ved særlig eksponerte lokaliteter. Det er også mulig at krav til skjulbruk endrer seg i løpet av produksjonssyklusen til laksen, da liten rognkjeks tåler mindre vannstrøm en stor rognkjeks, samtidig som liten rognkjeks har større evne til å sitte fast i skjul ved sterk strøm (Hvas mfl., 2018). Det var dessverre ikke mulig å vurdere skjulenes evne til å legge til rette for god velferd, da det ikke ble gitt tilstrekkelig informasjon om skjulbruk på lokalitetene. Det ble heller ikke målt vannstrøm i merdene som gjorde det mulig å undersøke hvorvidt skjulene klarte å redusere vannstrømhastigheten gjennom merdene. Flere oppdrettere med særlig eksponerte lokaliteter har besluttet å ikke bruke rognkjeks etter flere utsett med dårlig velferd og lite effekt av tiltak (eks. skjul; pers. medd. L.

Boissonnot). Det er derfor mulig at bruk av rognkjeks vil begrenses til mindre eksponerte lokaliteter, men videre studier bør undersøke dette nærmere ved å se på hvorvidt skjul kan brukes for å redusere vannstrøm gjennom merdene.

Det er uklart hvorvidt fôringsstrategier i merd er tilstrekkelige for å sikre god velferdsstatus. I denne studien var det ikke mulig å samle inn tilstrekkelig systematisk data om fôring, da ingen lokaliteter hadde like fôringsregimer. Fellesnevneren for alle lokalitetene var at de fôret rognkjeks med rognkjekspellet, men mengden fôr, fôrleverandør og utfôringsmetodikk og -strategi varierte både mellom lokalitetene og over tid på den enkelte lokalitet. To lokaliteter brukte fôrautomater, og de andre fôret manuelt. Oppdretterne oppga at fôring ble utført i henhold til fôrproduzentenes anbefalinger, dvs. 1-3 % av biomassen (rognkjeks) per dag. Men, personlige observasjoner underveis i studien gjør at vi stiller spørsmål til om biomassen ble regnet ut basert på snittvekt rognkjeks hadde da den ble levert fra settefiskanlegg, og dermed ikke tok høyde for vekst. Leverfarge kan brukes som en indikasjon på ernæringsstatus hos rognkjeks, hvor oransje lever indikerer en rognkjeks med god ernæringsstatus sammenlignet med en rognkjeks med mørk leverfarge som indikerer dårlig ernæringsstatus (Eliassen mfl., 2020). I denne studien fant vi at andelen rognkjeks med mørk leverfarge økte over tid. Dette kan indikere at den næringen som ble tilbudt til rognkjeks i merd ikke var tilstrekkelig for å opprettholde god ernæringsstatus. Dette kan være med på å gi dårligere velferd samt gjøre rognkjeks mer mottakelig for sykdom. Videre kan man stille spørsmål om fôring med pellets er optimalt for rognkjeks og om den gir alle individene tilgang til fôr. Flere forskningsprosjekter ser på påvirkning av ulike fôringsstrategier, blant annet FHF-prosjektene STRATEGI (901693), OPTIfôr (901694), OPTIRens (901563). Disse ser på, blant annet, hvordan ulike fôringsstrategier påvirker ernæringsstatus hos rognkjeks (f. eks. frekvens, mengde, manuell eller automatisk fôring), og om fôrblokker kan være et bedre alternativ til tradisjonell fôring med pellets. Disse prosjektene vil forhåpentligvis bidra til mer kunnskap om fôring av rognkjeks i merd, og gi et bedre grunnlag for gode protokoller som kan tas i bruk av oppdrettere som ønsker å bruke rognkjeks til bekjempelse av lakselus.

Sykdomsbilde

Rognkjeks er mottakelig for en rekke sykdommer som kan føre til alvorlig redusert velferd og økt dødelighet. Bakteriesykdommer er påpekt som hovedårsaken til høy dødelighet hos rognkjeks i Norge (Mortensen mfl., 2021). Vibriose (*Vibrio anguillarum*) og atypisk furunkulose (atypisk *A. salmonicida*) var de første sykdommene som ble diagnostisert og funnet å føre til massedødelighet hos rognkjeks i både settefiskanlegg og kommersielle oppdrettsanlegg for laks (Mortensen mfl., 2021). Disse sykdommene er fremdeles rapportert til å være et problem (Sommerset mfl., 2021). Fiskehelse rapporten 2020 (Sommerset mfl., 2021) rapporterer for eksempel at atypisk furunkulose ble påvist ved 51 lokaliteter i løpet av 2020, og var dermed den hyppigst påviste sykdommen. Pasteurellose (ulike varianter av *Pasteurella* spp.) er også en bekymrende fremvoksende sykdom (Mortensen mfl., 2021). I denne studien var det ikke mulig å fange opp noen tydelige sykdomsepisoder, og det ble påvist sykdom hos kun 4,7 % av rognkjeks som ble undersøkt. Av de tre bakteriesykdommene som er mest bekymrende var det kun atypisk furunkulose som ble påvist, og da kun på død rognkjeks.

Per i dag er det eneste tiltaket ved sykdom og/eller alvorlig redusert velferd å fiske ut rognkjeks for human avlving og destruksjon. I tillegg finnes det en risiko for spredning av patogener, ikke bare internt i rognkjeksspopulasjonen men også til laksen (Sandlund mfl., 2021), noe som gjør det veldig viktig å unngå ukontrollert spredning av sykdommer.

Det finnes vaksiner til de vanligste agensene, men som [Sommerset mfl., 2021](#) påpeker er det fortsatt et behov for nye og forbedrede vaksiner og vaksinereregimer. Det påpekes også at mange av de sykdommene som opptrer i dag mest sannsynlig ville blitt redusert dersom rensefiskens immunsystem hadde fått bedre forutsetninger til å fungere optimalt ([Sommerset mfl., 2021](#)). Avlsarbeidet som foregår hos bl.a. Namdal Rensefisk i samarbeid med AquaGen søker også å produsere en mer robust og sykdomsbestandig rognkjeks ([AquaGen, 2019](#)). Dette er en viktig del av utviklingsarbeid og må fortsette å testes ut i stor-skala for å følge opp effekten på rognkjeksens velferd.

Lusebeite-effektivitet

En vanlig oppfatning i norsk akvakultur er at tilgjengelighet til andre førtyper som dyreplankton eller begroing har en negativ effekt på luseappetitt ([Mortensen mfl., 2021](#); [Powell mfl., 2018](#)). Denne studien viser derimot at andelen rognkjeks med lus i magen ikke hadde sammenheng med andel rognkjeks med dyreplankton i magen. I tillegg var andelen rognkjeks med lus i magen positivt korrelert med andel rognkjeks med begroingsorganismer i magen. Dette samsvarer med funnene til [Eliassen mfl. \(2018\)](#), som antydte at begroing på nøtene hadde en positiv effekt på lusebeite-effektivitet. Argumentasjonen deres var basert på at begroingsorganismer har en positiv innvirkning på rognkjeksvelferden, da de er en naturlig førkilde som i tillegg fungerer som skjul og reduserer vannstrømmen. Dessverre kan ikke årsakssammenhengen vurderes direkte ut fra slike resultater. Vi foreslår at sammenhengen mellom funn av begroingsorganismer og lus i magen også kan være knyttet til rognkjeksens adferd ettersom inntak av begge førtypene er å spise fôr som er festet til et «substrat», som forklart i [Côté \(2000\)](#). Dessverre er det gjort for lite forskning på dette området, og det er behov for videre forskning basert på systematisk oppfølging av begroing på nøter og mageinnhold hos rognkjeks.

Hvordan velferd påvirker lusebeite-effektivitet er, så vidt vi vet, ikke undersøkt. Våre resultater tyder på at redusert velferdsstatus påvirker negativt lusebeite-effektivitet hos rognkjeks. Å sørge for at rognkjeks har god velferd er derfor viktig av flere grunner, både etisk og for å sikre god lusebeite-effektivitet for forebygging og kontroll av lus.

Konkluderende kommentarer

I denne studien har vi utviklet en formel for estimering av overordnet velferdsstatus hos rognkjeks basert på OVI. Dette vil forhåpentligvis bidra til en systematisk og sammenlignbar sammenstilling av data til videre forskning og utvikling. Resultatene våre tyder på at velferdsstatus hos rognkjeks utvikler seg negativt etter utsett i merd, hvor en stor andel hadde tydelig redusert velferd etter 6-7 måneder i sjø. I motsetning til tidligere antakelser om faktorer som påvirker velferd, var dette i liten grad knyttet til sykdom. Den negative utviklingen var mest sannsynlig grunnet en kombinasjon av ulike faktorer, men mekanisk avlusning viste seg å ha signifikant effekt. Høye temperaturer og høy strømhastighet kan også ha redusert velferdsstatusen, selv om den multifaktorielle analysen ikke viste dette. Kartlegging av leverfarge tyder også på at ernæringsstatus gradvis ble redusert. Hyppigere undersøkelser og flere lokaliteter ville mest sannsynlig økt presisjonen til den statistiske analysen. Resultatene tydet på at redusert velferd påvirket lusebeite-effektiviteten negativt. Det ble ikke funnet lus i magen til individer med tydelig eller alvorlig redusert velferd.

I konklusjon tyder denne studien på at jo lengre rognkjeks står i sjø desto mer sannsynlig er det at en rekke hendelser reduserer velferdsstatusen til rognkjeks. Så lenge tilpassede tiltak er ikke utviklet, kan det være en løsning å begrense hvor lenge rognkjeks står i merd. Vi foreslår at 6 måneder bør være grensen i første omgang. I tillegg bør avlusingsperiode og de høyeste sjøtemperaturene unngås, det vil si at utsett bør gjennomføres mellom september og januar med

utfisking før juni. Dette vil også kunne øke lusebeite-effektiviteten, da denne studien viser at rognkjeksene som spiser mest lus har relativt god velferd. Kontroll over rognkjeksens velferd og lusebeite-effektivitet i merd kan oppnås ved å innføre rutineoppfølginger. Ved kontinuerlig oppfølging vil man kunne identifisere redusert velferd og mulige sykdomsutbrudd tidlig, og dermed iverksette forebyggende tiltak. Slik kan man også identifisere hvilke prosedyrer og operasjoner som påvirker helse og velferd, for så å videre kunne tilpasse og optimalisere disse. Riktig og tilstrekkelig bruk av ressurser er nødvendig for å sikre god oppfølging og fortløpende tilpasning ved bruk av rognkjeks.

Referanser AP1.2

- AquaGen. (2019). Nytt avlssenter sikrer bærekraftig utvikling av rognkjeksoppdrett. Hentet 31. januar 2022, fra <https://aquagen.no/wp-content/uploads/2019/01/01-2019-nyttavlssenter-sikrer-brekraftig-utvikling-av-rognkjeksoppdrett.pdf>
- Boissonnot, L., Kharlova, I., Iversen, N. S., Staven, F. R. & Austad, M. (2022). Characteristics of lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) with high cleaning efficacy in commercial Atlantic salmon (*Salmo salar*) production [upublisert manuskript] [Status: til review].
- Bolger, T. & Connolly, P. L. (1989). The Selection of Suitable Indices for the measurement and Analysis of Fish Condition. *Journal of Fish Biology*, 34, 171–182.
- Brooker, A. J., Papadopoulou, A., Gutierrez, C., Rey, S., Davie, A. & Migaud, H. (2018). Sustainable production and use of cleaner fish for the biological control of sea lice: recent advances and current challenges. *Veterinary Record*, 183(12), 383–383. <https://doi.org/10.1136/vr.104966>
- Côté, I. M. (2000). Evolution and ecology of cleaning symbioses in the sea. I R. N. Gibson & M. Barnes (Red.), *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* (s. 311–355). CRC Press.
- Daborn, G. R. & Gregory, R. S. (1983). Occurrence, distribution, and feeding habits of juvenile lumpfish, *Cyclopterus lumpus* L. in the Bay of Fundy. *Canadian Journal of Zoology*, 61(4), 797–801. <https://doi.org/10.1139/z83-105>
- Eliassen, K., Danielsen, E., Johannesen, Á., Joensen, L. L. & Patursson, E. J. (2018). The cleaning efficacy of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) in Faroese salmon (*Salmo salar* L.) farming pens in relation to lumpfish size and seasonality. *Aquaculture*, 488, 61–65. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.01.026>
- Eliassen, K., Patursson, E. J., McAdam, B. J., Pino, E., Morro, B., Betancor, M., Baily, J. & Rey, S. (2020). Liver colour scoring index, carotenoids and lipid content assessment as a proxy for lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) health and welfare condition. *Scientific Reports*, 10(1), 8927. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65535-7>
- Gutierrez Rabadan, C., Spreadbury, C., Consuegra, S. & Garcia de Leaniz, C. (2021). Development, validation and testing of an Operational Welfare Score Index for farmed lumpfish *Cyclopterus lumpus* L. *Aquaculture*, 531, 735777. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735777>
- Hvas, M., Folkedal, O., Imsland, A. & Oppedal, F. (2018). Metabolic rates, swimming capabilities, thermal niche and stress response of the lumpfish, *Cyclopterus lumpus*. *Biology Open*, bio.036079. <https://doi.org/10.1242/bio.036079>
- Hvas, M., Nilsson, J., Vågseth, T., Nola, V., Fjellidal, P. G., Hansen, T. J., Oppedal, F., Stien, L. H. & Folkedal, O. (2022). Full compensatory growth before harvest and no impact on fish welfare in Atlantic salmon after an 8-week fasting period. *Aquaculture*, 546, 737415. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737415>
- Mortensen, S., Halvorsen, K. T., Skiftesvik, A. B., Durif, C., Stien, L. H., Jansson, E., Quintela, M., Sandlund, N., Nedreaas, K., Jørgensen, T., Stockhausen, H. H., Korsnes, K., Fyllingen, I., Bysheim, H., Reynolds, P., Faust, E., Wennhage, H., André, C., Møller, P. R., ... Henly, L. (2021). *Towards a sustainable fishery and use of cleaner fish in salmonid aquaculture - Challenges and opportunities*. Nordic Council of Ministers. 10.6027/temanord2021-545
- Nordstrand, H., Sæbjørnsen, H., Vaagnes, Ø., Glosvik, H. & Colquhoun, D. (2017). Utdfordrende å vaksinere rognkjeks mot *Aeromonas salmonicida*. *Norsk Fiskeoppdrett*, 11, 4.
- 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>
- Powell, A., Treasurer, J. W., Pooley, C. L., Keay, A. J., Lloyd, R., Imsland, A. K. & Garcia de Leaniz, C. (2018). Use of lumpfish for sea-lice control in salmon farming: challenges and opportunities. *Reviews in Aquaculture*, 10(3), 683–702. <https://doi.org/10.1111/raq.12194>
- Rønneseth, A., Haugland, G. T., Colquhoun, D. J., Brudal, E. & Wergeland, H. I. (2017). Protection and antibody reactivity following vaccination of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) against atypical *Aeromonas salmonicida*. *Fish & Shellfish Immunology*, 64, 383–391. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.03.040>

- Sandlund, N., Rønneseth, A., Ellul, R. M., Nylund, S. & Sandlund, L. (2021). Pasteurella spp. Infections in Atlantic salmon and lumpsucker. *Journal of Fish Diseases*, 44(8), 1201– 1214. <https://doi.org/10.1111/jfd.13381>
- Sommerset, I., Jensen, B. B., Bornø, B., Haukaas, A. & Brun, E. (2021). *Fiskehelse rapporten 2020* (tekn. rapp. 41a/2021). Veterinærinstituttet. www.vetinst.no
- Thomas, J. & McDonagh, D. (2013). Shared language: Towards more effective communication. *Australasian Medical Journal*, 10.

5.2 AP2. Dokumentere effekt av rensefisk og beskrivelse av fiskevelferd til leppefisk

- *Effektberegning*

I første del av denne arbeidspakken vil en forsøke å beregne oppdaterte effekter av leppefisk og rognkjeks fra fullskala produksjonsdata fra oppdrettsnæringen. Beregningene vil gjøres ved tilpassing av lusetall og produksjonstall på merdnivå, til en stadium-strukturert populasjonsmodell for lakselus (Aldrin mfl. 2017, Aldrin og Huseby 2019).

- *Fiskevelferd hos leppefisk*

I prosjektet vil en ved noen utvalgte lokaliteter som erfaringsmessig har god praksis på leppefisk, gjøre systematiske undersøkelser av leppefisk i perioden fra utsett til kaldere perioder nærmere jul. Dette vil gjennomføres i samarbeid med fiskehelsetjenesten i Åkerblå.

5.2.1 Del 1. Effektberegning

Magne Aldrin, Norsk Regnesentral

Målet i del 1 av Arbeidspakke 2 har vært av å estimere effekt av rensefisk med hensyn på lusespising, fordelt på rognkjeks og leppefisk.

Dette er gjort ved å tilpasse en eksisterende lusemodell (Aldrin mfl. 2017, Aldrin og Huseby 2019) til fullskala oppdrettsdata for en rekke lokaliteter spredt over hele Norge, og er utført i samarbeid med FHF-prosjektet LUSEKONTROLL. Analysene er per mars 2022 ikke fullstendig ferdige, og endelig resultater vil bli presentert som en del av LUSEKONTROLL-prosjektet. Vi forventer imidlertid at resultatene angående rensefisk ikke kommer til å forandre seg nevneverdig i forhold til hva som gjengis under. Merk at vi er usikre på om resultatene gir et riktig bilde av den reelle effektiviteten til rensefisk.

Vi har også analysert mageprøver av rognkjeks og leppefisk i dette prosjektet, i samarbeid med FHF-prosjektene EFFEKTIV, STRATEGI og LUSEKONTOLL, samt prosjektet CyclusII som er finansiert av Bjørøya AS. Dette arbeidet var opprinnelig ikke planlagt i EFFEKTIV, men dukket opp som en mulighet underveis, og blei etter hvert prioritert fordi vi var usikre på relevansen av resultatene fra lusemodellen nevnt over. Arbeidet er oppsummert i en vitenskapelig artikkel sendt inn til tidsskriftet *Aquaculture* (Engebretsen mfl., 2022).

Resultater fra analyser basert på lusemodell

Analysene er basert på daglige, merdvide data fra 90 lokaliteter spredt lang Norges kyst, med én fullført produksjonssyklus per lokalitet. Vi har estimert at en leppefisk i gjennomsnitt spiser omkring 0,1 lus (voksen eller preadult) per dag. Ved 10 % leppefiskinnblanding og 0,1 lus (sum voksne+preadulte) per laks (eller ørret) vil det si at 10 % av lusene drepes per dag. For rognkjeks har vi imidlertid estimert en effekt som er mindre enn 1/10 av hva vi fikk for leppefisk, dvs. at en rognkjeks i gjennomsnitt spiser mindre enn 0,01 lus per dag. Ved 10 % rognkjeksinnblanding og 0,1 lus per laks vil det si at mindre enn 1 % av lusene drepes per dag, og det vil ha ganske liten effekt.

Resultatet for rognkjeks stemmer ikke med den kunnskap som er tilgjengelig fra andre kilder, men er i tråd med tidligere analyser med samme modell på annet datasett (Aldrin og Huseby 2019). Dette kan bety at modellen ikke egner seg til å estimere effekt av rensefisk, og at mer direkte beregninger er mer nyttige, se under.

Resultater fra analyse av mageprøver

Ved å ta mageprøver av rensefisk kan en beregne gjennomsnittlig antall lus i magen per rensefisk. Hvis en i tillegg kjenner hvor lenge en lus blir liggende i magen (fordøyelsestid) ved en gitt temperatur kan en beregne hvor mange lus en rensefisk spiser per døgn. Det finnes per nå få gode data på fordøyelsestid, så den er svært usikker. Derimot finnes det flere datasett med mageprøvedata.

Vi har analysert et stort datasett med mageprøver fra Norsk Oppdrettsservice. Det er svært stor variasjon i antall lus i magen. De fleste rensefisk har 0 lus, mens noen få rensefisk har svært mange lus. Det gjør at det er nødvendig med mange observasjoner for å kunne angi hvor mye lus en rensefisk spiser i gjennomsnitt. For leppefisk har vi foreløpig for få observasjoner til å kunne trekke noen sikre konklusjoner, men det virker å være samsvar med resultatene fra lusemodellen nevnt over.

For rognkjeks derimot har vi mageprøver fra 26.000 fisk. I gjennomsnitt er det 0,19 lakselus per rognkjeks. Som nevnt over er fordøyelsestida svært usikker, men hvis vi antar at det er 1 døgn ved en sjøtemperatur på 9 grader, vil det utgjøre 0,19 lus per rognkjeks per døgn ved denne temperaturen. Dette tilsvarer at 19 % av lusepopulasjonen dør ved 10 % innblanding av rognkjeks og 0,1 lus (sum voksne+preadulte) per laks, altså en mye høyere effektivitet enn det vi fikk fra lusemodellen beskrevet over.

Vi har videre sammenholdt innhold av lakselus i magen på rognkjeks med ytre faktorer, deriblant vekt på rognkjeksen, mengde lus til stede i merda, værtype, vekt på laksen, kondisjonsfaktor på rognkjeksen og sjøtemperatur. Vi har beregnet at en rognkjeks på omkring 40 gram spiser mest lus, og at lusebeitinga deretter minker med økende vekt på rognkjeksen, slik at en rognkjeks på 500 gram spiser svært lite lus. Videre øker luseinnholdet i magen med økende mengde lus per laks i merda. Luseinnholdet i magen er større ved klarvær enn ved overskyet vær, noe som kan skyldes at rognkjeksen lettere finner lus når lysforholdene er gode. Det er en tendens til at luseinnholdet i magen øker ved økende vekt på laksen, og en hypotese er at det skyldes at laksepelletsen da er større og at rognkjeksen derfor spiser mindre av den. Det er også en tendens til at rognkjeksen spiser mer lus hvis den har god kondisjon. Vi fant ingen klar sammenheng mellom luseinnhold i magen og sjøtemperatur. Det var riktignok en svak tendens til at luseinnholdet økte med økende sjøtemperatur, men denne tendensen var langt fra signifikant.

Konklusjon

For rognkjeks gir de to måtene å estimere effektivitet på vidt forskjellige svar. Resultatene fra lusemodellen tilsier at rognkjeks spiser lite lus jevnt over, men mageprøvedataene antyder en ganske god effekt med hensyn på lusebeiting. For leppefisk antyder både lusemodellen og mageprøvedataene at det er en viss effekt av å bruke leppefisk.

5.2.2 Del 2. Beskrivelse av fiskevelferd hos leppefisk

Peder Jansen, INAQ, Stine Kolstø og Hanna Sæteraas Bjerke, Åkerblå

Under arbeidspakke 2, del 2, ble det igangsatt undersøkelser av velferdsindikatorer hos villfanget leppefisk ved tre lokaliteter i Rogaland. Alle lokalitetene karakteriseres som eksponerte lokaliteter. Driftspersonalet ved lokalitetene har lang erfaring med bruk av leppefisk for lusekontroll. De benytter skjul, de fôrer leppefisken og har innført en rekke andre rutiner knyttet til hold av leppefisk for å understøtte fiskevelferd og derigjennom effekten av lusebeiting. Det brukes for eksempel ikke «liftup» i første periode etter utsett av leppefisk og leppefisken overvåkes daglig med kamera.

Velferdsundersøkelsen har dessverre vært påvirket av ekstremt mye dårlig vær, særlig i desember og januar. Dette har begrenset tilfanget av innsamlede data.

Materiale og metoder

Det er samlet inn to serier av data med skåring av velferdsindikatorer. Den ene serien er samlet inn av personale ved lokalitetene i forbindelse med lusetelling. Disse dataene er opparbeidet fra to av de tre lokalitetene. Leppefisk som har fulgt med ved hoving av laks for lusetelling har da blitt vurdert med hensyn til overflatesår (sår skinn), finneslitasje og avmagring. Ved tegn til slike skader ble fisken gitt en skår på 1, ellers 0. Leppefisken ble også artsbestemt til bergnebb, grønngylt eller berggylt. Registreringene ble gjort i et standardisert skjema for registrering av velferdsindikatorer.

Den andre serien av data ble samlet inn av fiskehelsepersonell fra Åkerblå under helsekontroller. Her ble det gitt skår fra 0 (ingen skader) til 2 (alvorlige skader) på skinn, øyne og finner. Videre ble det registrert om fisken hadde snuteskader, skader på gjellelokk og om det var fôr i tarm eller ikke. Skåringen fulgte en veileder utarbeidet i forkant av undersøkelsene. I tillegg ble det registrert årsak til at fisken ble vurdert, enten fordi den hadde dødd, om den fulgte levende med i liftup, om den stammet fra et tilfeldig utvalg eller om vurderingene ble gjort i forbindelse med utsettskontroll. Registreringene ble gjort i standardisert registreringskjema for velferd .

Dataene som er samlet inn er oppsummert i tabeller under. I tillegg er det gjort analyser av påviste skader versus ingen skader, benyttet som responsvariabel i logistisk regresjon. Skade er da definert som en skåring over 0, uavhengig om det er overflatesår, finneslitasje eller avmagring i serien av registrerte data. For serien fra helsekontrollene vil skade i tillegg kunne omfattes av skåring over 0 for skader på gjellelokk, snute eller øyne. For disse dataene ble det gjort en tilleggsanalyse der fisk som fikk skår 2 på noe organ ble vurdert til alvorlig skade versus fisk som ikke ble vurdert til skår 2 på noe organ. Som forklaringsvariabler inkluderer vi om det er forskjell på artene av leppefisk, forskjell på lokaliteter og tid i dager fra første velferdsundersøkelse. Tabell 1 viser oppsummerende data for utsett og dødelighet i enkelmerkene som ble fulgt opp ved lokalitet 1 og 2.

Tabell 1. Utsett av leppefisk og dødelighet (%) frem til mars 2022 for lokalitet 1 og 2

	Utsettsperiode	Antall leppefisk	Døde (%; til mars 2022)
Lokalitet 1	Juli-september 2021	13222	23,9
Lokalitet 2	Juli-september 2021	27257	42,11

Resultater

For velferdsskåring gjort av personale fra oppdrettsbedriften ved lusetelling er det registrert data fra 67 leppefisk fra lokalitet 1 og 12 fisk fra lokalitet 2. En samlet fordeling av skår er gitt i tabell 2.

Tabell 2. Velferdsskåring av leppefisk i forbindelse med lusetelling på to lokaliteter i Rogaland. N er totalt antall vurderte fisk av gitt art. Tallene for type skade angir antall fisk vurdert til 1 for gitte skade.

	Bergnebb	Berggyllt	Grønngyllt
N	17	39	23
Sår skinn	8	8	2
Finneslitasje	8	3	3
Avmagring	5	1	2

Bergnebb har samlet sett høyest skår av leppefiskartene i tabell 2. Dette ga allikevel ikke noe signifikant forskjell mellom artene med hensyn til sannsynlighet for skade. Dette fordi det var de samme bergnebbene som hadde flere typer skader. Det var heller ingen tegn til at skadeomfanget økte utover høsten eller at det var noen forskjell mellom de to lokalitetene dataene ble samlet fra. Det var imidlertid sparsomt med data fra den ene lokaliteten.

For velferdsskåring gjort under helsekontrollene er det opparbeidet velferdsskår fra i alt 143 leppefisk fra tre lokaliteter. Dette fordelte seg på vurdering av 92 døde leppefisk, 17 fisk fra «liftup» og 34 fisk fra utsettskontroll. En samlet vurdering av velferdsskåring fra helsekontrollene er gitt i tabell 3.

Tabell 3. Velferdsskåring av leppefisk i forbindelse med helsekontroller på tre lokaliteter i Rogaland. Tallene angitt under skår 0 angir antall fisk vurdert uten skade for gitt organ, tallene under skår 1 angir antall fisk vurdert med mindre skade, og tallene under skår 2 antall fisk vurdert med alvorlig skade.

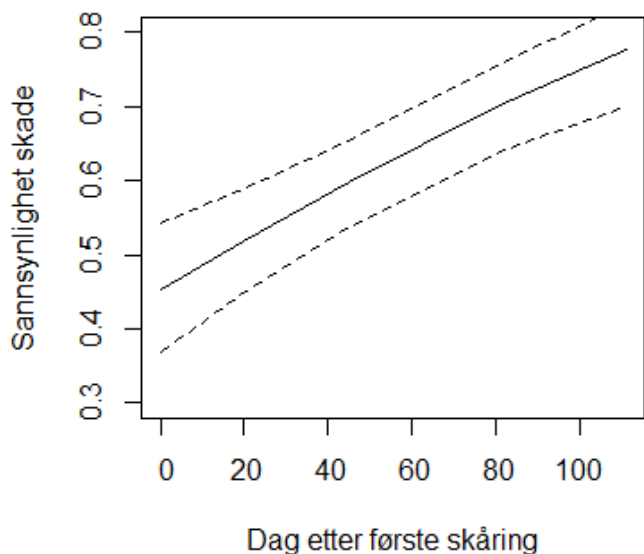
Art	Bergnebb			Berggyllt			Grønngyllt		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Sår skinn	11	5	2	54	9	20	34	4	4
Finneslitasje	13	5	0	37	30	16	11	17	14
Gjellelokk	18	0	-	83	0	-	41	1	-
Øyeskade	18	0	0	77	5	1	40	0	2
Snuteskade	18	0	-	73	8	-	42	0	-

Analyser av observert skade som funksjon av forklaringsvariabler ga signifikant effekt av antall dager etter første runde med velferdsskåring av leppefisk under helsekontrollene og effekt av lokalitet (Tabell 4).

Tabell 4. Oppsummerende statistikk fra regresjonsanalyse av observerte skader på rensefiskene som funksjon av forklaringsvariablene dager etter første undersøkelse på lokaliteten og lokalitet som faktor.

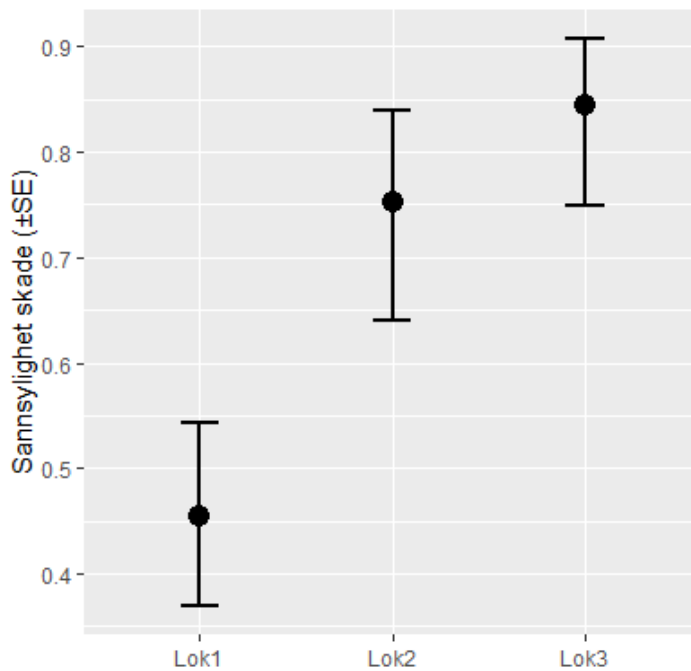
	Estimat	SE	P
Krysningspunkt	-0,184	0,353	0,6
Dag	0,0128	0,0052	0,014
Lokalitet 2	1,115	0,539	0,039
Lokalitet 3	1,694	0,598	0,005

Prediksjoner fra denne modellen viste at sannsynligheten for å observere skader på leppefisken økte fra omkring 0,45 ved første helsekontroll ved lokalitet 1 til bortimot 0,87 ved siste helsekontroll, som var i overkant av 100 dager senere ved denne lokaliteten (Fig. 1).



Figur 1. Sannsynlighet for observasjon av skader som funksjon av dager etter første helsekontroll ved lokalitet 1. Stiplede linjer viser \pm standard feil.

Prediksjoner fra modellen viste også signifikant høyere sannsynlighet for observasjon av skade på lokalitet 2 og 3, enn på lokalitet 1. Figur 2 viser sannsynlighet for skade på de tre lokalitetene ved første helsekontroll.



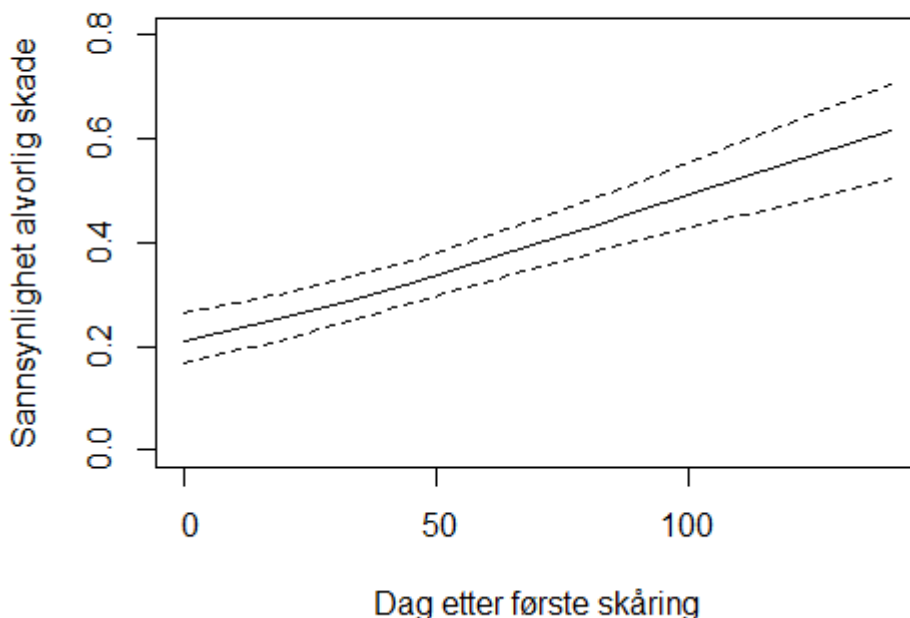
Figur 2. Sannsynlighet for observasjon av skade (\pm standard feil) på leppefiskene fra de tre lokalitetene.

Analyser av alvorlig skade som funksjon av forklaringsvariabler ga kun signifikant effekt av antall dager etter første runde med velferdsskåring (Tabell 5).

Tabell 5. Oppsummerende statistikk fra regresjonsanalyse av observert alvorlig skade på rensefiskene som funksjon av forklaringsvariabelen dager etter første undersøkelse på lokaliteten.

	Estimat	SE	P
Krysningspunkt	-1,317	0,285	<0,001
Dag	0,013	0,004	0,001

Prediksjoner fra regresjonsmodellen for alvorlig skade viste at sannsynligheten for slik observasjon økte fra omkring 0,2 ved første helsekontroll ved lokalitetene til omkring 0,6 ved helsekontroll etter bortimot 150 dager etter første helsekontroll (Fig. 3).



Figur 3. Sannsynlighet for observasjon av alvorlig skade som funksjon av dager etter første helsekontroll ved lokalitetene. Stiplede linjer viser \pm standard feil.

Oppsummering

Resultatene fra analysene av sannsynlighet for skade og sannsynlighet for alvorlig skade viste begge en økning over tid etter første helsekontroll med velferdsvurdering. Det var også antydningvis mindre skader på leppefisk på lokalitet 1 enn på de to andre lokalitetene. Datatilfanget i velferdsundersøkelsene blant villfanget leppefisk var relativt begrenset, slik at det ikke er mulig å trekke sikre konklusjoner om hvilke påvirkningsfaktorer som bidrar til skadeutvikling på leppefisk.

Referanser AP2

- Aldrin, M., Huseby, R.B., 2019. Re-estimering av populasjonsmodell for lakselus 2019. Delrapport for prosjekt FHF:901414 "Enhetlig proaktiv lusestrategi Rogaland", Norsk Regnesentral. Rapport nr. SAMBA/28/19. 26 pp.
- Aldrin, M., Huseby, R.B., Stien, A., Grøntvedt, R.N., Viljugrein, H., Jansen, P. A. 2017. A stage-structured Bayesian hierarchical model for salmon lice populations at individual salmon farms - Estimated from multiple farm data sets. *Ecological Modelling*, 359, 333-348.
- Engebretsen, S., Aldrin, M., Qviller, L., Stige, L.C., Rafoss, T., Danielsen, O.R., Lindhom, A., Jansen, P.A., 2022. Salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in the stomach contents of lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) sampled from Norwegian fish farms. Submitted to *Aquaculture* March 2022.

5.3 AP3. Evaluere effekt av luseskjørt mot lakselus og skottelus med hensyn til design, driftsrutiner og lokalitetens egenskaper

Målet med arbeidspakke 3 var å samle eksisterende informasjon om luseskjørtets effekt på lakselus og skottelus gjennom en litteraturgjennomgang, brukererfaringer og et teknologistudie. Vi ønsker å sammenfatte kunnskap for å etablere en “best praksis”, sammenligne effekt av ulike konstruksjoner og konkretisere forbedringsforslag med hensyn til strategisk bruk og fysisk utforming. Det ble gjennomført intervjuer av fiskehelsepersonell, driftspersonell og produksjonsledere hos næringspartnerne med hensyn til erfaringer/beslutningsgrunnlag.

5.3.1 Resultater

Strategiske forhold

Innenfor kategorien strategi har vi undersøkt beslutningsprosesser og omkringliggende prosesser som innkjøp, vask og vedlikehold, bruk av kompletterende ikke-medikamentelle løsninger, innovasjon og nytte/kostnadsanalyser.

Teknologisk beslutning

Teknologisk beslutning omfatter de prosessene som leder frem til valg av design. Vi har hatt et spesielt fokus på hvem som foretar beslutningene, og i hvilken grad de involverer deltagere fra andre deler av organisasjonen. Det ble også vurdert i hvilken grad det er gjennomført utprøving av ulike alternative design før større innkjøp. Temaet var relevant for majoriteten av intervjugruppen, og det var et godt samsvar i besvarelsene.

I større selskaper ble beslutningen tatt av en ledergruppe, eller en utnevnt lusegruppe bestående av representanter fra produksjon, fiskehelse og ledelse. I mindre selskaper ble beslutningen om bruk av luseskjørt tatt av dagligleder/direktør sammen med produksjonssjef, ofte i samråd med driftsleder for aktuell lokalitet. En deltager har beskrevet at det i deres selskap er besluttet at alle innkjøp skal gå via styret.

Vi ser en trend hvor det foretas benchmarking av kostnader både i form av pris, men også i form av livstidskostnader. I større selskaper er det også en økt grad av profesjonalisering i innkjøpsprosessene. En deltager beskriver at de har innkjøpskompetanse fra petroleumindustrien, og at denne har vist seg å være overførbart til akvakulturindustrien.

De fleste deltagerne beskrev at beslutningen for innkjøp av luseskjørt ble tatt på produksjonsledernivå i selskapene. Det var ulik grad av involvering av drifts- og fagansvarlige, men under innkjøpsprosessene beskrev enkelte deltagere at drifts-, service- og fiskehelsepersonell ble bedt om innspill. Det ble også beskrevet at mange innkjøp ble initiert av denne gruppen, og at dette skyldtes at de har førstehåndskjennskap til driften ute på lokalitetene.

I enkelte av selskapene beskriver de at det i beslutningsprosessen involveres personell fra alle ledd i driften, fra røkter og til produksjonsledelse, slik at både det praktiske grensesnittet og den

biologisk/teknologiske effekten ble ivaretatt. Graden av uttesting av ulike design varierte veldig mellom de ulike selskapene, fra de som har brukt samme type i over 10 år til de som etter utprøving har kommet frem til et design som de oppfatter som best for sine lokaliteter.

Ett selskap gikk de første årene grundig til verks ved uttesting av luseskjørt da de kjøpte inn flere ulike typer luseskjørt som de testet ut på en lokalitet. Målet med uttestingen var ikke nødvendigvis å komme fram til det luseskjørtet som hadde best effekt på forebygging mot lakselus, men mer å komme fram til det luseskjørtet som var lettest for røkterne å jobbe med. Selskapets teori var at den forebyggende effekten av luseskjørtet ville komme som følge av god jobb fra godt motiverte røktere. Ettersom selskapene har fått mer erfaring og kunnskap om sine lokaliteter, kan de lettere skille mellom gode og mindre gode luseskjørtlokaliteter. Det har bla ført til at enkelte selskaper har gått bort fra bruk av luseskjørt på sine eksponerte lokaliteter.

Det er viktig å få frem at vi ser at deltagerne har ulike innfallsvinkler med hensyn til innkjøp. Driftsteknikere har fokus på slitestyrke og grensesnitt mot annen teknologi, fiskehelsebiologer har fokus på fiskevelferd og vannkvalitet, mens innkjøpere fokuserer på kostnader (både for innkjøp og levetidskostnader). Dette er utslagsgivende for hvilke teknologiske valg som tas, da menneskelige faktorer vil kunne påvirke dette.

Deling av brukererfaringer

Med brukererfaring mener vi den praktiske kunnskapen som fremkommer etter hvert som en teknologi brukes, som overføres både muntlig og skriftlig. Temaet er relevant for alle deltagerne, hvor deltagerne som er tjenestetilbydere supplerer dybdeerfaringen med bredde fra sine kunder. Besvarelsene er samsvarende, og har sin variasjon gjennom forskjellen i størrelsene på selskapene.

Deling av brukererfaring har vi skilt i to hovedkategorier. Vertikal deling av brukererfaringer skjer innenfor en lokalitet eller regioner i et selskap. Horisontal deling av kunnskap skjer mellom selskapene. Vi har også undersøkt i hvilken grad deling av kompetanse er formalisert gjennom prosedyrer og sjekklister, eller om det foretrekkes en uformell, praktisk opplæring med veiledning under drift. Vi har ikke vurdert kvalitet på dette da begge tilnærminger har sine fordeler. Viktigste i undersøkelsen har vært å avdekke om slik kunnskapsdeling gjennomføres, hvor de deles og om det er en utvikling som fører til en bedre bruk av luseskjørt.

Majoriteten av deltagerne beskriver at det deles kunnskap internt i selskapene. Det er tro på at det må jobbes systematisk for å utnytte effekten av alle tekniske løsninger som er valgt. Deltagerne beskriver også et ønske om et større samarbeid, horisontalt på tvers av selskapene. Det anses å være en vinn-vinn-situasjon for alle at man høster av hverandres erfaringer

. Flere regioner har fellesmøter for å koordinere lusetiltak, men innholdet i disse dreier seg i mindre grad om bruk av teknologi. Det etterlyses at ikke-medikamentelle metoder og praktisk bruk gis større fokus her.

Det beskrives en bevisst bruk av interne prosedyrer som deles i regelmessige samlinger. Et eksempel til etterfølgelse: "Vi har et prinsipp hvor alle røktere får delta i alle ledd i produksjonskjeden på sjø, dette i forbindelse med fagbrevet. De får dermed en tverrfaglig og bred kompetanse som er viktig for

god drift. Vi har tro på at man må jobbe systematisk for å få utnyttet effekten av de valgte tekniske løsningene." Med et slikt prinsipp i bunn sørger man for å skaffe arbeidsstokken et absolutt best utgangspunkt for å gjøre en god jobb.

En aktør kom med følgende uttalelse: *"Hele næringen er bygd opp på at man diskuterer problemstillinger på møter. Dialogen er viktig. Selskapene har blitt større og avstanden mellom selskapene har blitt større. Erfaringsutvekslingen var bedre før enn i dag. Tror ikke det er mangel på motivasjon som ligger bak mindre dialog mellom selskapene. Det er mer mangelen på møteplasser som er problemet"*.

Det ble avdekket at enkelte regioner har et svært godt samarbeid, mens det i andre regioner er fravær av samarbeid. Dette kan være en følge av mange årsaker, både geografi og personlige relasjoner. Felles for alle er uansett et ønske om et bedre samarbeid.

Det pekes på at profesjonaliserte servicebåter kan være en kilde til formidling av praktisk kunnskap. Våre prosjektdeltagere kommer både fra selskaper med egne servicebåter og fra de som har valgt å kjøpe inn slike tjenester. Det pekes allikevel på at personell på disse fartøyene har mye erfaring fra håndtering av teknisk utstyr, og at de overfører kunnskap når de samhandler med lokalitetenes eget personell.

En deltager har en rolle som sensor i den regionale fagprøvenemnda, og reiser ut til kandidatene for evaluering av den praktiske prøven. På denne måten får han innsikt i metoder og prosedyrer hos en rekke selskaper. En annen bidragsyter er arrangør av fagsamlinger. Det faglige nivået på disse samlingene er høyt. Yrkesfaglig utdanning og fagbrev gir en sterk praktisk-teoretisk bakgrunn for arbeid innenfor akvakultur, og i forhold til vårt prosjekt er fagkompetanse viktig for å lykkes med bruk av teknologi. Fagutdanningen og deres samlinger er derfor være en god arena for deling av kunnskap.

Kommunikasjonen kan bli bedre gjennom at den formaliseres og at det legges til rette for plattformer for erfaringsdeling. Det er også et behov for at det legges til rette for en mer utstrakt dialog mellom personell som har samme ansvarsområde – men på tvers av regioner og selskaper.

Formidling av kunnskap har høyest verdi når den deles mellom personell som har samme grensesnitt til teknologi og biologisk effekt, og man unngår da at kunnskap deles gjennom personell som ikke har førstehånds kjennskap til relevante problemstillinger. Eksempelvis vil det normalt sett være uhensiktsmessig å la fiskehelsepersonell/biologer formidle erfaringer og forespørsler som er av ren teknisk karakter.

Vask og vedlikehold

Gjennomføring av vask og vedlikehold er undersøkt for å avdekke hvordan selskapene håndterer dette, og om tilbudet fra eksterne leverandører er godt nok utviklet. Vi har sett på hvilke tiltak som utføres internt i selskapene og hvor stort tilbudet av spesialiserte tjenester er.

Temaet er i hovedsak relevant for de deltagerne som er involvert i praktisk drift av oppdrettsanlegg, samt tjenestetilbydere innenfor vask og vedlikehold. Det er spredning i besvarelsene.

Deltagerne beskriver behovet for vask og vedlikehold som sammenhengende med eksponering for vær og vind, materialkvalitet, montering, håndtering og begroing. Materialkvalitet og metoder for sammenføring har blitt forbedret siden de første generasjonene av luseskjørt ble produsert, og store skader inntreffer stadig sjeldnere. Korrekt innfesting mot flytekragen er nødvendig for en jevn belastning, og risiko for lokale skader som kan resultere i følgeskader reduseres. Utvikling av gode metoder for montering og demontering er viktig for å unngå overbelastning av materialenes rivestyrke. Alle servicebåter har løfte- og trekkekapasitet som langt overskrider rivestyrken, og vi har fått beskrevet metoder for utsetting og opptak som gir lav belastning og høy effektivitet. Fra at utsett av et luseskjørt tok store deler av en arbeidsdag, har vi nå metoder som tar rundt en time per skjørt – uavhengig av design. Man kan derfor kle opp et anlegg med luseskjørt på én til to dager.

Et økende antall utfører spyling av skjørt mens de står i sjøen, gjerne i forbindelse med spyling av nota. Skjørtene har størst begroing på sin utside, siden friksjonen som mellom luseskjørt og nota forhindrer påslag og vekst og fordi alger, hydroider, skjell og andre organismer kommer drivende i strømmen utenfor merdene. Spyling av nota gjøres oftest fra innsiden og en del groe som sitter på skjørtet løsner ofte samtidig. De ulike materialene som brukes i luseskjørtene begroes i ulik grad av marine organismer, og alger sitter ikke så godt fast som for eksempel posthornmark, rur og blåskjell. Jo lengre man lar venter med å fjerne groe, jo vanskeligere er det å få den til å slippe. De deltagerne som har erfaring fra spyling beskriver bruk av ulikt utstyr, men størst suksess oppnås ved hjelp av ROV da disse har større manøvreringsdyktighet og er mest egnet til utvendig vask. Utvendig vask vil naturlig vis også gi størst effekt siden begroingen er sterkest her.

Det er beskrevet to ulike metoder for vask av skjørt på servicestasjoner. Det er få servicestasjoner med spesialiserte vaskemaskiner for luseskjørt, og de vaskes derfor ofte i trommelvaskemaskiner for nøter. Det er oppgitt at slik vasking i trommel kan ta opptil tre til fire timer, avhengig av begroing. Skjørtene må også ofte løftes ut og greies hvis de slår knute på seg. Siden skjørtene vaskes med fløyt og bly påmontert påføres de en betydelig slitasje som i mange tilfeller overgår bruksrelatert slitasje. De spesialiserte vaskemaskinene for skjørt baserer seg på samme hovedprinsipp, hvor skjørtet trekkes i full bredde mellom en rekke av dyser som spylar av begroingen, se Figur 1. Den fysiske kontakten mellom skjørt og vannstrøm reduseres dermed til få sekunder, og den mekaniske belastningen reduseres til et minimum. Vask av ett skjørt er oppgitt til å ta om lag én time, avhengig av hvor begrodde de er. Inspeksjon av skjørtets paneler for videre reparasjon gjøres fortløpende mens skjørtet trekkes ut av maskinen.



Figur 1: Vaskemaskin for luseskjørt med roterende dyser (Foto: Remi Mathisen, Nordlaks Oppdrett AS).

Nettverket for servicestasjoner oppfattes som spredt, og flere deltagere poengterer at det blir for lang og kostbar transport til nærmeste stasjon. Vask av skjørt og nøter sammenfaller ofte tidsmessig, og det antydes at kapasiteten til servicestasjonene kunne vært høyere for å ta unna topper i servicebehovet.

En deltager var svært tydelig på at brukte skjørt må betraktes som en ressurs, og at de i innkjøpsprosessen også vektla mulighet for resirkulering. De inngikk da også avtaler om retur av skjørtene, og optimalt sett med leverandøren av luseskjørtene. Materialene ble da gjenbrukt direkte eller som delkomponent i andre produkter. I et fremtidsperspektiv forventet de at dette ville bli et krav.

Etter ti års bruk av teknologien har håndteringen av luseskjørt blitt profesjonalisert og effektivisert. Materialvalg og produksjonsmetoder har forbedret kvaliteten og slitestyrken har økt. Det er utviklet metoder for vasking i sjøen, noe som både forbedrer skjørtenes effektivitet og er tidsbesparende i forhold til demontering for vask. Det ønskes et bedre nettverk av servicestasjoner, og basert på erfaringene med vaskemaskiner spesielt tilpasset luseskjørt gir disse markant mindre vaskeslitasje og dermed forlenget levetid på luseskjørtene. Det bør settes et økt fokus på resirkulering og retur av brukte materialer.

Teknisk utvikling

Vi har undersøkt hvordan kommunikasjonen mellom kunde og leverandør resulterer i teknisk utvikling av produktene. Temaet er relevant for majoriteten av deltagerne, som alle har vært involvert i innkjøpsprosesser.

Det beskrives en stor variasjon i kontakt mellom leverandør og kunder i tidsrommet mellom innkjøpene. Enkelte deltagere beskriver en god dialog med leverandøren, mens andre sier den er fraværende. Innovasjonsfokuset mellom deltagerne har vært sprikende, men dette preges også av at gruppen består av personell med svært ulike roller.

De materialene som benyttes til produksjon av luseskjørt er i stor grad de samme som for 10 år siden. Toppseksjonene har hatt størst utvikling med forbedret innfesting og sterkere materiale. Det har vært

prøvd ut en ulike materialer til lodd, fra herunder bly, kjetting og stein. Viktigst har vært at dette sikres slik at det ikke kan forskyves sideveis i luseskjørtet og gi skjev belastning og utspiling.

Det er ønske om ytterligere forbedring av holdbarheten og levetiden, da bruk av luseskjørt representerer en betydelig kostnad.

Det har hele tiden vært etterlyst en forbedring av metode for lukking, som i dag fremdeles nesten uten unntak består av prinsippet med omslagsskjørt. Den eneste variasjon i så tilfelle er lengde på den overlappende sonen og plassering av denne i forhold til strømmretningen. Det er prøvd ut bruk av glidelås, lisser og maljer hvor man kunne feste sammen skjørtet med tau eller strips. Dette har vist seg å være tungvinte løsninger siden det fordrer at man må løfte opp skjørtets ender etter utsetting. På dypere skjørt blir det da vanskelig å få skjørtet til å omslutte nota godt. Det er derfor ønskelig at leverandørene legger et økt fokus på denne utfordringen.

I vårt spørsmål om bruk av skvettkant (forlenging av luseskjørtet over vann for å hindre at lus vaskes over med bølgene) så er det lite konsistens i besvarelsene. Enkelte deltagere mener det er viktig for skjørtenes effekt mens andre er av motsatt oppfatning. Lokale forskjeller i lokalitetenes eksponering for bølger kan være utslagsgivende, men det beskrives også utfordringer med å få til en god montering, siden en skvettkant kan komme i konflikt med innfesting av notas hovedtau til flytekragen. En aktør har beskrevet en lite utprøvd løsning med løse skvettkanter som festes på flytekragenes rekkverk, og kun mot den himmelretningen hvor den største eksponeringen for bølger. Et interessant poeng som flere av aktørene i Nord-Norge påpekte var at skvettkant, som ofte er lagd i pvc-materiale, kan redusere mengden is på merden under vinteren. Pvc er et glattere materiale enn nota og flytekragen slik at mer vann renner av før det rekker å fryse.

Det er en noe svak innovasjonsgrad på luseskjørt, og oppdrettsnæringen kan stimulere denne gjennom økt kommunikasjon med leverandørene. Brukererfaringer er essensielt for å designe forbedrede løsninger, og siden leverandørenes kompetanse ligger innenfor bruk av materialer og sammenføring av disse må disse kunnskapene kombineres for å finne de beste løsningene.

Komplementerende metoder

Bruk av komplementerende løsninger er utbredt, og vi har bedt om beskrivelse av strategisk og praktisk tilnærming. Temaet er relevant for alle deltagerne, og vi har funnet variasjon i besvarelsene. Bruk av rensefisk er utbredt langs hele kysten hvor ulike arter leppefisk og rognkjeks er de vanligste. Bruk av rensefisk i kombinasjon med luseskjørt er en strategi flere av prosjektdeltagerne benyttet. En deltager fortalte at de hadde gått helt bort fra bruk av rensefisk og satset fullt på luseskjørt, mens en annen fortalte at de hadde testet ut rensefisk i kombinasjon med luseskjørt, men opplevde ikke noe forbedret effekt og valgte å gå bort fra rensefisk. En tredje deltager fortalte at de vurderte å gå bort fra bruk av rensefisk. Årsaken til dette var ikke på grunn av effekt mot lakselus, men at de ikke klarte å etterleve krav fra Mattilsynet.

Noen av våre deltagere benytter laser som kompletterende teknologi sammen med luseskjørt. Det er åpenhet om at det er usikkert hvilket tiltak som har best effekt, men for deltagerne som bruker løsningene alene eller i kombinasjon så er fokuset å unngå avlusning. En prosjektdeltager bemerket allikevel at de hadde observert at lusetallene gikk opp når det var nedetid på laseren. Denne observasjonen var nok til at de valgte å supplere med flere noder (enheter med laser).

Fôringsstrategi

Vi har bedt deltagerne beskrive hvilke tilpasninger de har foretatt med hensyn til fôring etter at de har tatt i bruk luseskjørt. Vi har diskutert både tekniske løsninger og tilpasninger i fôringsregimet. Temaet er relevant for majoriteten av intervjugruppen.

Mindre selskaper fôrer fisken ut fra en tabell på hvor mye fisken skal spise på de gitte snittvektene. Større selskaper har gjerne ansatte som fôrer fisken og bedømmer fiskens adferd på når de har fått nok å spise og ikke. Ved starten av fôringen svømmer fisken opp til overflaten for å spise fôret. Når fiskene har spist seg mett trekker de dypere i merden igjen. Dette blir ofte omtalt som et stoppsignal. Luseskjørt på merden har vist seg å endre fiskens adferd i ulike situasjoner. Den mest vanlige adferdsendringen er at fisk trekker dypere i merden, ofte under luseskjøret. En slik endring kan påvirke hvordan de som fôrer fisken tolker stoppsignalet. Ingen av prosjektdeltakerne hadde gjort forandringer på fôrsystem eller strategi for å kompensere for adferdsendring hos fisken. De forandringer som ble gjort var hos de som fôret fisken ved at de måtte være mer bevisst på måten de tolket stoppsignalet på.

Egne metodiske utprøvinger

Vi har i vår undersøkelse ønsket å avdekke om gruppens deltagere og deres tilhørende selskaper har hatt en metodisk tilnærming til valg av teknologi gjennom utprøving. Temaet er relevant for alle deltagerne, men med ulik vinkling avhengig av deres roller i selskapene.

Om lag halvparten av deltagerne har besvart at de i ulik grad har gjennomført en metodisk utprøving av luseskjørt. Majoriteten har valgt å prøve ut ulike leverandører og design, herunder skjørt med ulike dyp, materialer og vanngjennomstrømming. To av våre deltagere/selskaper fremstår som mere aktive enn de øvrige, og disse har bidratt i vitenskapelige forsøk sammen med ulike forskningsinstitusjoner. Vi må skille mellom de rene effektstudiene og de teknologisk/driftsmessige studiene, men felles er at de hittil ikke har vært fortolket av oppdrettsselskapene som om de har gitt entydige svar.

Det har også vært studert effekt med kompletterende metoder som luseskjørt, rensefisk og pumpesystemer for sirkulering av vann. Forsøkene har vært utført alene eller sammen med forskningsinstitusjoner. Flere beskriver varierende resultater, og vanskelig å trekke konklusjoner. Enkeltelskaper har hatt en langsiktig strategi på å løse teknologiens utfordringer, og brukt betydelige ressurser for å oppnå optimal bruk av luseskjørt.

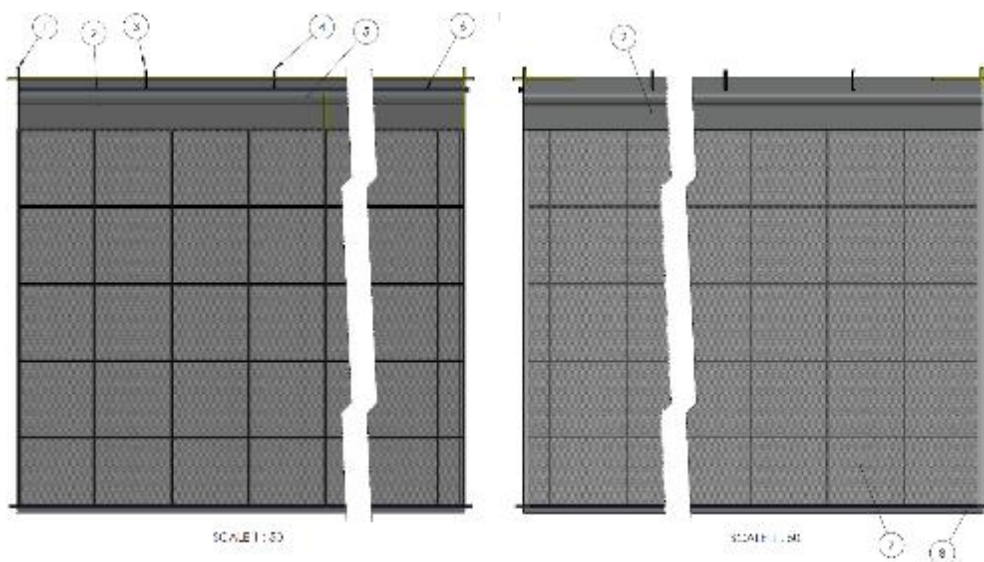
5.3.2 Driftsmessige forhold

Kapittelet omfatter den praktiske bruken av luseskjørt og de driftsmessige forholdene som påvirker denne. Vi har bedt om beskrivelser av teknologivalg, produktdokumentasjon, egne tiltak og metoder samt opplæring av personell.

Materialvalg og design

Vi har bedt deltagerne om beskrivelse av de designmessige valgene de har tatt med hensyn til luseskjørtets utforming og materialegenskaper. Temaet er relevant for alle deltagerne, og vi ser en variasjon i valg innenfor tydelige yttergrenser.

Et luseskjørt består av delkomponentene toppseksjon, fløyt, paneler med ulik grad av vanngjennomstrømming, innsydd lodd i skjørtets nedre kant, løftetau for å trekke skjørtet opp og påmonterte løkker for innfesting, trekking og løfting, se Figur 2.



Figur 2 Skjematisk fremstilling av luseskjørt. 1, 3 og 4: Løkker for trekking og innfesting. 2: toppseksjon. 5: Kanal for fløyt. 6: Innsydd forsterkningsbånd. 7: Panel av tett eller permeabelt materiale. 8: Lodd (Figur: Salgard AS/Calanus AS).

Luseskjørt brukes på alle typer nøter, herunder spissposer, sylindriske nøter og nøter med bunnring og løftetau. Sistnevnte har også en variant hvor bunnringens løftetau er en del av nota. Vi har ikke fått opplysninger om noen fortilpasning som innsøm av luseskjørtet. Det vil derfor være en varierende omslutning på de ulike notefasongene, som igjen vil kunne påvirke luseskjørtets effekt. Det er nærliggende å anta at det er mulig å sørge for en mer optimalisert tilpasning av design, men det vil samtidig kunne være kompliserende for både produksjon, bruk og vedlikehold.

I vår gruppe er det utelukkende beskrevet overlapping som metode for lukking av luseskjørtet. Metoden er beskrevet som omslagsskjørt, hvor den ene enden av skjørtet legges utenpå den andre. Andre løsninger er utprøvd, herunder glidelås, lisse- og maljesystemer samt strips for å feste nedre

hjørne til motsvarende ende. Dette har vist seg å ikke ha den ønskede effekten og samtidig være kompliserende under montering, drift og demontering.

Vi har avdekket en variasjon i hvor lang overlappende sone som velges, og hvor denne plasseres i forhold til strømretningen. Brukerhåndbøkene beskriver ofte at denne skal plasseres i forhold til strømretningen, men vi har fått beskrivelse av en praksis hvor den overlappende sonen plasseres både på leside, loside og på sidene med overlapping med strømretningen. Vi ser et behov for ytterligere studier av dette prinsippet da det vil være av stor betydning for luseskjørtets effekt. En deltager har beskrevet lokaliteter som har svært varierende strømretning, og hvor strømmen har åpnet opp skjørtet slik at vannutskiftingen blir total.

Luseskjørtets dybde varierer i vår gruppe fra 5 til 10 meter. Variasjonen er godt argumentert, og det har over tid blitt utprøvd og konkludert hvilken størrelse som antas å være beste løsning, hensyntatt lokalitetens forhold. Argumentasjonen for valgene omfatter både om hvilken størrelse som selskapenes fartøyer klarer å håndtere, risiko for oksygenvikt og opplevd effekt med ulike skjørtedybder. Eksponering for vind, bølger og strøm trekkes også frem, og siden luseskjørtenes soliditet ofte settes til 100 % i fortoyingsanalysene, så blir i mange tilfeller den totale strukturelle belastningen på konstruksjonen høy.

Bruk av dypere skjørt (8 og 10 meter) er oftest valgt på bakgrunn av ønske om høyere effekt. Det er hos disse brukerne ikke meldt om utfordringer verken med håndtering, vannkvalitet eller strukturell belastning på øvrige hovedkomponenter i anlegget. Vi har fått informasjon om at det også prøves ut 12 meter luseskjørt, men det var på intervju tidspunktet ingen tilgjengelige resultater eller erfaringer fra disse utprøvingene.

Vi ser en trend at brukere av 5 m dype skjørt oftere klarer å benytte luseskjørt gjennom hele produksjonssyklusen. Brukere av dypere skjørt beskriver oftere at de kun bruker skjørt deler av produksjonssyklusen som følge av uønskede bieffekter, herunder skader på utstyr, sviktende vannkvalitet og redusert tilvekst. Man kan dermed stille et spørsmålstegn ved at redusert effekt av et grunnere luseskjørt kan oppveies av en tilført effekt i form av forlenget brukstid.

Vi har også deltagere som bruker dype skjørt (8 til 10 m) hele generasjonen. Disse har oppgitt å produsere med lavere fisketetthet, eller så befinner de seg i den nordlige delen av landet.

Variasjonen i designet dreier seg i all hovedsak om materialbruk, herunder de ulike materialenes vanngjennomstrømmingsevne (permeabilitet) og deres styrke. Utover dette tilbys i hovedsak noen standardiserte opsjoner i design. Skvettkant, som er en forlenging av luseskjørtet over vannlinjen, har til hensikt å forhindre at bølger og sjøsprøyt kommer over flyterørene og innenfor luseskjørtet. Det er uenighet om denne har ønsket effekt, og en del av våre deltagere benytter seg av dette. Det beskrives at det er komplisert å få god innfesting av luseskjørt med skvettkant siden notas hovedtau festes inn til flytekragen i vannlinjen. Skvettkanten kommer dermed i konflikt med disse innfestingspunktene, og det fortelles om skjev vektbelastning og frykt for gnag mellom not og luseskjørt. Det er beskrevet bruk av egne skvettkanter som påmonteres rekkverket, uavhengig av luseskjørtet. Dette er basert på et ønske om å unngå gnag, men kunne beskytte mot

overskylling/sjøsprøyt fra de eksponerte sektorene for bølger. En deltager beskrev at de brukte skjørt med skvettkant som hadde egne åpninger for gjennomføring av notas innfestingsløgger (hovedtauet). Skjørtet ble innfestet som normalt til flytekragen, mens skvettkanten ble festet til rekkverket med strikk. De oppnådde dermed en jevn oppstramming av luseskjørtet, og minimerte risiko for gnag. Luseskjørtene leveres med eller uten fløyt (egen oppdrift), og vi har fått gode beskrivelser av metode for utsett og opptak for begge varianter. Det er beskrevet en variasjon i tilfredshet med designet på fløyt, da den over tid kan miste sin oppdrift eller trenge ut av toppseksjonen. Vi har sammenlignet besvarelsene og synes å se en trend hvor dette kan skyldes for hard belastning under håndtering eller vask i maskin. Løsningen på disse utfordringene kan derfor ligge i design eller metode for vask og vedlikehold.

Det var i vår gruppe varierende hvor mye lodd per meter luseskjørt som ble foretrukket. Uavhengig av eksponering og regional tilhørighet brukes det fra 1,5 til 8 kg per meter, med et flertall på 4 kg. Mengde bly anses å være relevant for hvor godt skjørt holder fasongen i strømmen, men én aktør bruker 2 kg/m som standard, og har kun økt til 4 kg/m på sin mest strømsterke lokalitet.

Flertallet i gruppen beskriver bruk av løftetau, som muliggjør løfting av luseskjørtet opp til overflaten mens dette er påmontert flytekragen. Løftetauene er festet til skjørtets nedre kant, og ofte tredd gjennom ringer før det festes til toppseksjonen. Bruken beskrives i forbindelse med andre operasjoner som avlusning, men de muliggjør også periodevis løfting for å skifte ut vann fra nota som har uønsket vannkvalitet. Under demontering av luseskjørtet beskriver flere deltagere at løftetauene er nødvendige for å få tak rundt midten av skjørtet før det løsnes fra flytekragen, og deretter trekkes om bord servicebåten. Servicestasjonene har gitt tilbakemelding om at løftetau i mange tilfeller må demonteres før vask. Både under trommelvasking og i luseskjørtvaskemaskiner vil de kunne komplisere operasjonen ved at de filtrer sammen skjørtet eller setter seg fast i vaskemaskinen. De demonteres derfor i forkant av vasking, og påmonteres igjen etterpå.

Vi har avdekket en sprikende praksis i hvor den overlappende sonen for lukking av skjørt plasseres. Brukerhåndbøkene beskriver en plassering i forhold til hovedstrømretningen, og bruker begreper som "nedstrøms" og "...fra hovedstrøm". Dette for å få den overlappende sonen presset sammen både i hovedstrømretning og returstrømsretning. Brukerne derimot beskriver montering både slik som angitt i håndboken, men også på sidene av flytekragen. Felles for besvarelsene er at montering gjøres i forhold til strømretning, uten grundigere argumentasjon.

En deltager beskrev at de også benyttet løsninger med to skjørt per merd. Dette forenklet monteringen og muliggjorde utskifting av bare en seksjon ved skader. To åpninger i skjørtet per merd var en åpenbar nedside av prinsippet, men de mente at dette ville oppveies av økt fleksibilitet i bruken. Majoriteten av deltagerne monterer luseskjørtet mellom indre flyterør og nota. De beskriver at dette kommer som en følge av et ønske om tett omslutning av nota. Det beskrives også at det er risiko for å påføre luseskjørtet skader dersom det kommer i klem mellom båt og flytekrage. Enkelte deltagere har prøvd begge alternativer, men over tid besluttet å plassere dem på indre flyterør. Kun to av deltagerne beskrev montering på ytre ring, og argumenterte med at flytekrager med bunnring kompliserte påmontering på indre flyterør.

Produktdokumentasjon

I henhold til NYTEK-forskriften skal leverandøren av ekstrautstyr sammen med produktet levere en brukerhåndbok som minimum inneholder beskrivelse av montering, drift og vedlikehold. Vi har undersøkt om denne dokumentasjonen er tilgjengelig, har tilstrekkelig innhold og om den brukes aktivt. Temaet er kun relevant for de deltagerne som er involvert i daglig drift på lokalitet.

Vi har avdekket en variasjon i bruk av brukerhåndbøker blant deltagerne. Gruppen vår består av personell med tilhørighet i alle ledd i selskapene, og behovet varierer fra en praktisk veiledning rundt håndtering til dokumentasjon av produktets egenskaper. Prosjektdeltagerne beskriver dem som "gode nok" etter å ha vært under kontinuerlig forbedring siden introduksjonen av teknologien. I henhold til NYTEK-forskriften og anleggssertifikat skal de være tilgjengelige for det personellet som arbeider på lokaliteten. Det beskrives allikevel at de allikevel brukes lite, og det er som et supplement utviklet egne, interne prosedyrer for å håndtere luseskjørt. Disse beskrives som mere konkrete for de enkelte arbeidsoperasjonene, med flere bilder og forklarende tekst. Men det beskrives som utfordrende å ha oversikt over håndbokens innhold mens operasjonene pågår. Tekst skal da konverteres til praksis, og egen metode for håndtering under installasjon skal knyttes sammen med brukerhåndbokens monteringsanvisning. Opplæring bør derfor gjennomføres som en kombinasjon av beskrivelser, veiledning og deltagelse fra den som er i opplæring.

Flere deltagere har ytret ønske om opplæringsvideoer, eksempelvis tilgjengelig gjennom Youtube eller lignende plattformer. Spesielt for personell med liten erfaring. Slike videoer brukes i mange sammenhenger i dag, og kan vise anbefalte metoder på en svært illustrativ måte.

Det er variasjoner i ekstrautstyrets design – også mellom ulike leverandører av luseskjørt, og ulike utgaver. Det vil det være variasjoner i metoder for håndtering under montering, bruk og demontering. Forskrift og standard sier heller ikke noe spesifikt om service og vedlikehold. Oppdrettsselskapene og servicestasjonene må derfor allikevel etablere og utvikle egne metoder og prosedyrer for slike operasjoner.

Opplæringsplaner og driftsrutiner

Vi har bedt deltagerne beskrive sine respektive selskaperes egne systemer for opplæring rundt bruk av hovedkomponenter og ekstrautstyr. Og vi har også fokusert på grensesnittet mellom brukerhåndbøkene og interne metoder og prosedyrer. Temaet er hovedsakelig relevant for de deltagerne som er involvert i daglig drift på lokalitet.

Det er stor spredning i hvordan deltagerne beskriver egne formaliserte systemer for opplæring. Gjentakende beskrivelse er at skriftlige prosedyrer kombineres med praktisk opplæring og veiledning. Det er fremdeles mye opplæring som gis gjennom at nyansatte settes i arbeid med de som innehar mest erfaring, men en stadig større andel av oppdrettsselskapene har kvalitetssystemer med detaljerte opplæringsplaner.

Det poengteres som nevnt innledningsvis at flere deltagere presiserer at det er ønskelig med en større erfaringsutveksling på tvers av selskaper og regioner for på den måten kunne utvikle og forbedre opplæringen av service og driftspersonell.

En deltager gav en beskrivelse av selskapets opplæringsystemer, hvor alle røktere/driftsoperatører skulle delta i alle operasjoner som omfatter drift av anlegg i sjø. De ansatte ble etter behov sendt rundt til andre lokaliteter for å høste kunnskap sammen med personell med erfaring. Det ble også gjennomført hospitering på servicebåter, som bistår i større operasjoner som avlusning, rigging av anlegg og håndtering av ekstrautstyr. Den brede opplæringen skulle derfor bidra til å oppnå fagbrev innen akvakultur.

Under oppbyggingen av et flytende oppdrettsanlegg kategoriseres komponentene som hovedkomponenter (forankring, flytekrager, nøter og flåte) og ekstrautstyr. I kategorien ekstrautstyr plasseres alle øvrige fastmonterte eller midlertidige installasjoner. Deltagere har beskrevet opplæringsystemer, men poengtert at det i kategorien ekstrautstyr er svært stor spredning på type utstyr og med varierende brukergrensesnitt. Frekvensen i håndtering av disse varierer fra en gang per generasjon til ukentlig, og det er ofte krevende å etablere gode prosedyrer og opplæringsplaner for disse. En generell opplæring bør derfor suppleres med tilgjengelige beskrivende prosedyrer for håndtering av slikt utstyr. Luseskjørt med sine variasjoner i design og grensesnitt representerer en risiko gjennom sin påvirkning på den strukturelle styrken, og det er derfor viktig å sørge for trygg bruk av disse.

Påmonteringstidspunkt og brukstid

Vi har bedt deltagerne beskrive prosessen rundt påmontering av luseskjørt og hvor lenge de får til å bruke dem. Vi har også bedt deltagerne å beskrive de kriteriene som brukes for beslutning om demontering og eventuelt ny påmontering. Temaet er relevant for majoriteten av deltagerne, men vi ser en variasjon som skyldes deres roller i selskapene.

Påmonteringstidspunkt har et stort fokus hos flere av prosjektdeltakerne. De aller fleste monterte luseskjørtet på flytekragen før nota, dette av praktiske årsaker siden dette forenkler arbeidsoperasjonen. Det beskrives også av majoriteten av deltagerne at det er ønskelig med en etablert beskyttelse før fisken settes i sjøen. Men det er deltagerne som har andre strategier, og en prosjektdeltaker forklarte at de satte ut fisk i januar, men ventet til april med å montere på skjørtene. Årsaken til dette var at lokaliteten var veldig eksponert, spesielt for bølger, som kunne ødelegge skjørtene. I april hadde det meste av vinterstormene roet seg og risikoen for at skjørtene ble ødelagt var mindre. Et viktig argument for denne beslutningen var også at lokaliteten lå i Nord-Norge, hvor luseutviklingen gikk sakte mellom januar og april som følge av lave sjøtemperaturer.

Brukstiden for luseskjørt varierte mellom de ulike prosjektdeltakerne, og den største variasjonen var mellom prosjektdeltakere på Vestlandet og prosjektdeltagere i Nord-Norge. Det var lettere å holde skjørtene på gjennom hele generasjonen i Nord-Norge enn på Vestlandet. Enkelte av prosjektdeltagere på Vestlandet fortalte også at de fjernet skjørtene fra mai/juni og satte de på igjen i oktober.

Flere deltagere i Nord-Norge har rapportert at de kjører eller har kjørt hele generasjoner med luseskjørtet påmontert, og de benytter både tette og gjennomstrømmingsskjørt. Dette uten å ha problemer med vannmiljø eller fiskehelse. En aktør benytter 5 m dype skjørt, mens de øvrige bruker 10 m dype skjørt. Av disse har én aktør økologisk produksjon med lavere fisketetthet, mens de øvrige følger ordinære produksjonssykluser med tetthet opp mot 25 kg/m³.

Av- og påmontering i produksjonssyklusen

Vi har bedt deltagerne om å beskrive deres prinsipper rundt av- og ny påmontering av luseskjørt i produksjonssyklusen. Temaet er relevant for en del av deltagerne, og vi ser en sprikende praksis rundt påmontering av luseskjørt når disse har vært demontert.

En rekke forhold er angitt som årsak til avmontering av luseskjørtene. Vi kan dele disse inn i tre hovedkategorier: Forhold som er av betydning for fiskehelse og tilvekst, operasjonelle forhold og tekniske begrensninger.

Med hensyn til fiskehelse så beskriver deltagerne at oksygensvikt er hovedårsaken til at luseskjørt tas av. Dette kan inntreffe når biomassen blir stor, sjøtemperaturen stiger og nettoproduksjonen av oksygen i sjøen er avtagende. Noen deltagere har også beskrevet at det ved fallende oksygenverdier sees en reduksjon i appetitt, og av frykt for redusert tilvekst tas derfor skjørtene av. Noen av deltagerne beskriver i denne sammenhengen et tiltak hvor de løfter skjørtene opp til overflaten for å skifte ut vannmassene i nota. Deretter slippes skjørtet ned igjen. På denne måten forlenger de brukstiden til luseskjørtet – om enn med risiko for et påslag av lus. Gjellehelse/gjellestatus er også av betydning for når luseskjørtene tas av. Dersom denne er redusert er det lavere terskel for å fjerne luseskjørtene.

Innenfor operasjonelle forhold legges det vekt på håndtering av luseskjørt i forbindelse med avlusning og sortering. Deltagerne beskriver operasjoner hvor luseskjørt løftes opp eller tas av for å unngå komplikasjoner. Spesielt under bruk av kuleline for fortrenging av fisken før avkast beskrives som utfordrende hvis luseskjørtet står påmontert. Det er da risiko for å påføre skjørtet skader, både når kulelina trekkes og dras av. Vi ser så en variasjon i besvarelsene rundt hvor stor verdi deltagerne ser i luseskjørtet når avlusninger iverksettes sent i produksjonssyklusen. Forventer de flere avlusninger avveies skjørtenes effekt opp mot merarbeidet som håndtering av disse medfører.

Dersom det må gjennomføres avlusninger tidlig i produksjonssyklusen løftes skjørtene opp til overflaten for så å slippes ned igjen etter avlusningen. Vi ser så en variasjon i nårtid luseskjørtene slippes ned. Enkelte deltagere beskriver at de slippes ned suksessivt i avlusningen av anlegget, mens andre beskriver at de venter med å slippe ned skjørtene til alle merder er behandlet. Det er omdiskutert hvilken betydning dette kan ha for re-smitte av eget anlegg. Og vi ser verdi i å undersøke hvilken effekt luseskjørt kan ha på å redusere gjensidig smitte mellom merdene.

Med hensyn til operasjonelle forhold er tidsbruk og arbeidsbelastning er oppgitt som et argument mot å skifte eller remontere luseskjørt. Men vi har fått en rekke beskrivelser av utvikling av metoder og bruk av teknisk utstyr. En deltager presiserte at de i starten, for snart ti år siden, brukte store deler av en arbeidsdag for montering av skjørt. I dag bruker de under én time – uavhengig om nota er påmontert flytekragen eller ikke. Han presiserer at dette er avhengig av korrekt klargjøring av luseskjørtet, tilstrekkelig bemanning og to båter.

Av tekniske begrensninger er begroing en utfordring for alt utstyr som står i sjøen, spesielt med hensyn til håndtering, og den gir en betydelig økning i egenvekt. Det er en berettiget frykt for overbelastning av innfestingspunkter, og det beskrives skader i form av materialer som revner og stropper som ryker under løfting ut av sjøen. Sterk begroing er også en utfordring på servicestasjonene, hvor rengjøring blir krevende når groe har satt seg fast i materialet. Brukere av gjennomstrømmingsskjørt beskriver brukssykluser hvor begroing overvåkes og skjørt skiftes ut for vask tidsnok til at vanngjennomstrømmingen opprettholdes. Nye skjørt må da være klare for påmontering kort tid etter for å opprettholde beskyttelsen av fisken.

Enkelte brukere av tette skjørt lar samme skjørt stå påmontert flytekragen i hele produksjonssyklusen uten renhold. Men de benytter da som oftest grunnere skjørt som ikke oppnår kritisk egenvekt som utfordrer materialenes og servicebåtenes kapasitet ved håndtering. Utvikling av teknologi og metoder for spyling av luseskjørt i sjø er tidligere beskrevet, og vil redusere behovet for utskifting av luseskjørt.

En deltager har beskrevet en metode hvor skjørt trekkes opp til overflaten for uttørking, slik at groen dør og slipper materialet etter nedsenking av skjørtet. Man må i slike operasjoner vurdere om flytekragen har tilstrekkelig oppdrift for dette, da vekten av groe med sitt vanninnhold vil være betydelig.

Eksponering for vind, bølger og strøm er også avgjørende for bruk av luseskjørt. En stor del av deltagerne har lokaliteter med stor eksponering, og flere beskriver bølger og strøm som utfordrende i deler av året. Luseskjørtene tas derfor av i vinterhalvåret, og monteres igjen på våren. Dette er forhold som i hovedsak beskrives å være en utfordring i den nordlige landsdelen.

5.3.3 Eksponering og miljøforhold

Bruk av luseskjørt er avhengig av kunnskap rundt lokalitetsspesifikke forhold som eksponering, variasjon i hydrografiske parameter som temperatur, oksygen og salinitet og endringer i strømforhold. Vi har bedt deltagerne om å beskrive sine lokaliteter, og hvilke forhold som påvirker bruken av luseskjørt.

Strøm, bølger og vind

Vi har bedt intervjugruppen å beskrive hvilke fysiske forhold i det omkringliggende miljøet som påvirker bruken av luseskjørt, og samtidig rangere disse i forhold til hverandre. Vi har også bedt deltagerne beskrive konsekvensene av spesielt ugunstige forhold. Temaet er relevant for alle deltagerne, og beskrivelsene fremstår som samsvarende.

Majoriteten av gruppen beskriver strøm som den faktoren som har størst betydning for bruk av luseskjørt. For mye strøm resulterer i deformasjon av nota, og en deltager beskrev at det i ytterste konsekvens også resulterer i deformasjon av flytekragen.

Oppdrettsanleggenes hovedkomponenter skal være dimensjonert for bruk av luseskjørt, og i fortøyningsanalysene settes notas soliditet opp for å modellere den tilleggsbelastningene som luseskjørt gir. Allikevel beskriver deltagerne at de i sine selskaper har enkelte lokaliteter hvor det ikke brukes luseskjørt på grunn av strømforholdene. Eksempel på deformasjon i sterk strøm er vist i Figur 3.



Figur 3: Viser deformasjon av not under sterk strøm (Foto: Lerøy Aurora AS).

En aktør beskriver at de har et kriterium for å avslutte bruk av luseskjørt hvis de opplever et tap av tilgjengelig volum i nota på 30 – 40 %. De har opplevd dette på lokaliteter med registrert

strømhastighet opp mot 80 cm/s, og påfølgende deformasjon av nota. Hvis slikt tap av volum gjentar seg demonteres skjørtene for resten av generasjonen.

Stor eksponering for bølger settes i sammenheng med skader som påføres skjørtene. Stropper kan slites av og toppseksjonen kan få riveskader. En aktør presiserte at dette gjaldt spesielt på lokaliteter eksponert for havsjø, og at de kunne oppleve skader som skyldtes utmatting av materialer. Som for strømsterke lokaliteter beskrev deltagerne at de hadde eksponerte lokaliteter hvor skjørt ikke ble benyttet på grunn av bølger.

Vind kommenteres ofte sammen med eksponering for bølger, og enkelte deltagerne beskriver forhold hvor skjørt blåses opp utenfor flytekragen, mellom flytekrage og not og inne i nota. Luft presses da under flyterørene og samler seg i lommer i luseskjørtet, og dette er påvist både på tette skjørt og gjennomstrømmings-skjørt.

Det er ikke rapportert om skader eller andre uønskede hendelser i denne sammenhengen, men skjørtet mister naturligvis sin funksjon når slike forhold inntreffer.

Oksygenforhold

Utover eksponering for bølger, strøm og vind, ansees oksygenforhold for å være den største begrensende faktoren for bruk av skjørt. Problemstillinga oppstår gjerne når biomassen øker og i perioder med høy temperatur, dette inntreffer typisk sen-sommer 2. året i sjøen. I dette tidsrommet kan også døgnmessige variasjoner i primærproduksjon pga. kortere daglengde føre til svingninger i tilgjengelig oksygen på lokaliteten.

Oksygensvikt som følge av for dårlig vannutskifting i nota oppgis å være en indirekte konsekvens av for lav strøm og vannutskifting, og en uønsket bieffekt av luseskjørt. Alle deltagerne opplyser om at de har erfaringer med oksygensvikt og et påfølgende tap av appetitt og tilvekst. Oksygen overvåkes derfor i merdene og tiltak iverksettes når metningen faller, enten ved at skjørtene tas av eller løftes opp inntil vannmassene er skiftet ut. Problemet tiltar med økende biomasse og temperatur, og dersom det forventes at dette er vedvarende så avsluttes bruken av luseskjørt.

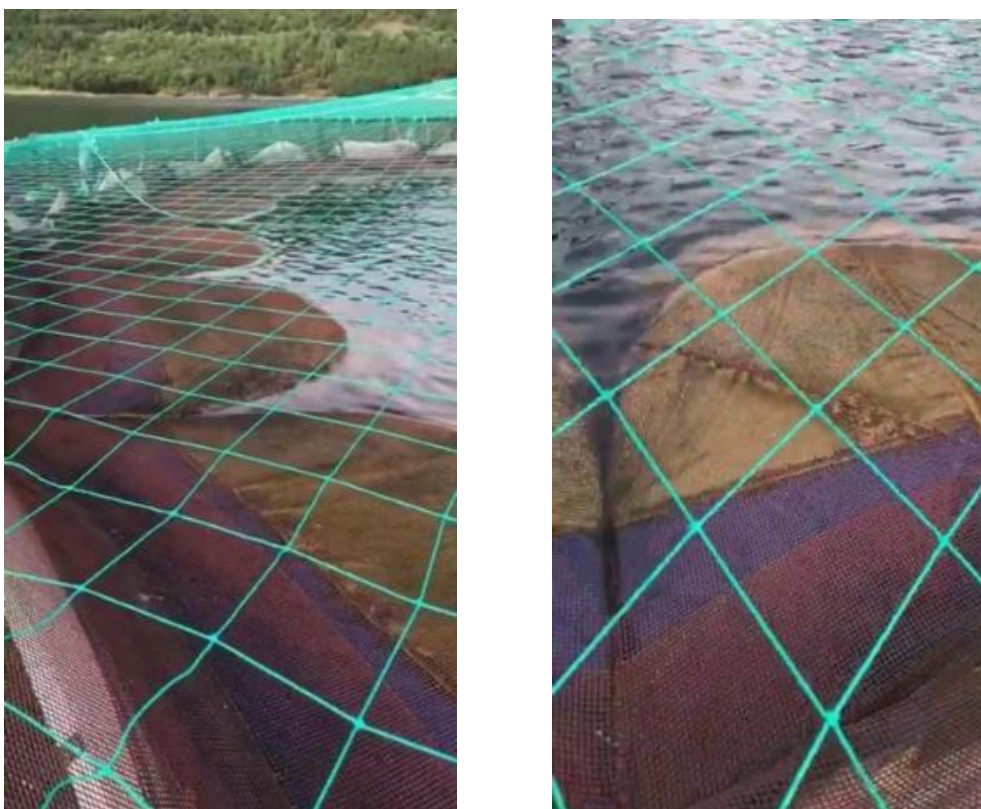
For å motvirke disse situasjonene benytter enkelte pumpeløsninger. Formålet med slike pumpeløsninger er å bedre miljøet inne i merden ved å øke vannutskiftningen. Få av deltakerne hadde testet ut pumpeløsninger, og blant disse var det både ulike erfaring og ulik tro på denne teknologien. En prosjektdeltager mente at pumping av vann virket mot sin hensikt, siden det fikk fisken til å stå høyere i merden og dermed mer utsatt for lusepåslag.

En positiv effekt av å bruke pumpeløsninger var at enkelte av prosjektdeltagerne så bedre tilvekst i merdene hvor slike pumpeløsninger ble brukt sammenlignet med de uten. Prosjektdeltagerne mente at i merdene med pumpeløsninger, så gikk ikke fisken like dypt og befant seg i et varmere vannlag. Vekstresponsen kan eventuelt også skyldes forbedret oksygenforhold i dette vannlaget. Ingen av prosjektdeltagerne brukte slike pumpeløsninger strategisk ut fra sesongmessige variasjoner.

Avrenning av ferskvann og sprangsjikt

Vi har deltagere som er lokalisert ytterst på kysten, mens andre er plassert inne i fjordsystemer med stor ferskvannsavrenning under snøsmelting og i flomperioder. Forekomst av tydelige halokliner er derfor varierende. Spørsmål rundt ferskvannets påvirkning på bruk av luseskjørt er derfor kun relevant for en del av gruppen som er intervjuet. Gruppen er også geografisk spredt fra nord til sør, og variasjonen i mengde innstrålt sollys (irradians) påvirker derfor tidspunktet for etablering og oppløsning av termokliner.

En del av gruppen beskriver et fenomen hvor luseskjørtet presser sammen nota fra alle sider, slik at den får en timeglassfasong, se Figur 4. Presset fra luseskjørtet kan da være så sterkt at folk har gått rundt på innsida av flytekragen. Det er begrenset med registreringer av temperatur, saltholdighet og strømhastighet når dette inntreffer, men det er kun registrert på lokaliteter inne i fjordsystemer. Ferskvann og dybde på ulike sprangsjikt antas å ha betydning for påslag av lakselus, men vi har ikke fått oppgitt strategier for å utnytte dette på en fordelaktig måte. Enkelte deltagere har oppgitt at de forsøker å unngå dette med bruk av pumpeystemer eller gjennomstrømmingsskjørt. Det er også beskrevet observasjoner som antyder at deformasjonen kan skyldes fiskens egenbevegelse og dens påvirkning på strømmen inne i nota. Stor fisk antas å sette i gang en sirkulær strøm og en sekundær vertikal strøm, som igjen resulterer i at nota suges sammen.



Figur 4: Viser deformasjon av not med timeglassfasong (Foto: Salaks AS).

Endringer i miljøtilstand (resipient)

Vi har bedt deltagerne om å vurdere om luseskjørt kan påvirke den lokale miljøtilstanden, som trend overvåkes gjennom resipientundersøkelser.

Kun én aktør mener at luseskjørt kan påvirke miljøtilstanden negativt. Spesielt på lokaliteter med god overflatstrøm og dårligere sprednings- og bunnstrøm. Dette ble eksemplifisert med at de hadde hatt drift på én lokalitet med slike strømforhold, og opplevd lokal overbelastning ved enkelte merder. Det ble derfor antatt at luseskjørtene påvirket strømforholdene i overflatelaget, som igjen resulterte i at spillfôr og fekalier sank rett ned. De hadde ikke opplevd en slik reduksjon i miljøtilstand i de forutgående produksjonssyklusene hvor de ikke brukte luseskjørt.

De øvrige deltagerne hadde ingen observasjoner av forringet miljøtilstand som kunne tilskrives bruken av luseskjørt. Det ble derimot poengtert av en deltager at basert på skjørtenes dyp, og at fôr og fekalier normalt sett slipper ut av nota i nærheten av den bunn, så vil skjørtets betydning for spredning av organiske utslipp være uten betydning. Forringelse av miljøtilstanden i resipienten skyldes derfor overføring, dårlige strømforhold på lokaliteten eller én for grunn lokalitet.

5.3.4 Fiskehelse

All bruk av nye teknologiske løsninger som installeres på en lokalitet, må brukes slik at de ikke øker risikoen for redusert fiskehelse. Kapittelet omfatter ulike forhold av betydning for fiskehelse, hvor vi har bedt deltagerne vurdere om luseskjørtet kan ha positiv eller negativ effekt.

Dødelighet

Dødelighet som kan relateres til bruk av luseskjørt er et tema som er relevant for intervjugruppen, men vi har mottatt få konkrete besvarelser basert på deltagerne egne erfaringer.

Majoriteten av deltagerne har fortalt at det er lav risiko for dødelighet med bruk av luseskjørt. Et fåtall rapporterte at de hadde opplevd økt dødelighet på sine lokaliteter, men de kunne ikke relatere dette til bruken av luseskjørtet. En gjentagende kommentar er at siden luseskjørtet kun dekker en del av notas volum, så kan fisken trekke bort fra dette ved ugunstige forhold. Dette vil da gjelde ved både oksygensvikt, uvær og deformasjoner. Kun én av deltagerne mente at luseskjørtet hadde ved et tilfelle gitt økt dødelighet, under deformasjon av nota og plutselig endring av volum i sterk strøm.

Skinnhelse og sårdannelse

Sårdannelse hos fisk er et velferdsproblem. Sårdannelse kan oppstå som følge bakteriell infeksjon, men også som følge av mekanisk skade gjennom håndtering av fisken. Sårproblematikk kan være en større utfordring i Nord-Norge enn lengre sør på grunn av kalde vintertemperaturer som gjør at sår gror saktere. Hvor stort omfang sårdannelse var et problem for de deltagende hvor dette var relevant varierte. Hvorvidt luseskjørt kan ha negativ innvirkning på sårdannelse virker lite trolig. Erfaringene fra de intervjuede var samstemte på at luseskjørt ikke forårsaket økt sårdannelse hos fisk.

Gjelleproblematikk

Gjellene hos laksefisk er et ømtålig organ som på enkelte områder er kun et cellelag tykt. Det gjør dette organet sårbart for blant annet håndtering og bakterielle infeksjoner. Redusert gjellekvalitet kan også være stressende for fisken gjennom redusert oksygenopptak. Vi har spurt deltagerne om hvilken betydning gjelleproblematikk har for bruk av luseskjørt. Temaet var relevant for majoriteten av gruppen, men besvarelsene var sprikende ut fra hvor i landet de intervjuede oppholdte seg. Det er kjent at gjelleproblematikk er et større problem på Vestlandet enn i Nord-Norge. Svarene fra intervjuene ga ikke den samme geografiske gradienten på om luseskjørt forverret gjelleproblematikken da det var opptil flere av de intervjuede fra Midt- og Nord-Norge som hadde gjelleproblematikk i forbindelse med luseskjørt. En prosjektdeltager fortalte at de har valgt å endre sin strategi ved bruk av luseskjørt som følge av gjelleproblematikk. Det ser ikke ut til at luseskjørt forverret gjelleproblematikken i tilsvarende geografisk grad ut fra svarene fra intervjuene.

En alvorlig, og kanskje den mest diskuterte, gjellesykdommen de senere årene er Amoebic Gill Disease (AGD). AGD forårsakes av amøben *Paramoeba perurans* og har blitt påvist på Vestlandet og opp til sørlige deler av Helgelandskysten. Spørsmål om AGD var derfor relevant for halvparten av deltagerne. Om forekomsten av AGD økte i merden som følge av luseskjørt var det stor usikkerhet om. En av deltagerne mente at luseskjørt hadde negativ beskyttelse mot AGD, mens de resterende deltagerne hadde ikke opplevd denne beskyttelsen.

Predatorer, alger og maneter

Ettersom luseskjørt er en ekstra barriere utenfor noten kan det tenkes at de kan beskytte laksen mot andre faktorer enn kun lus. Deltagerne har derfor blitt spurt om luseskjørt kan gi en ekstra fordel i beskyttelse mot predatorer (fugl, sjøpattedyr og rovfisk), alger og maneter.

Erfaringene fra deltagerne var sprikende der kun et fåtall hadde problemer med predatorer som skarv og pigghå, mens de øvrige hadde få eller ingen problemer. Intervjugruppen var derimot samstemt i at luseskjørt hadde ingen eller liten beskyttende effekt mot slike elementer.

Både brennmaneter og glassmaneter er nesledyr som har nesleceller som kan skade fisk. Tilbakemeldingene fra intervjugruppen tyder på at maneter generelt sett ikke er et problem i næringen, men enkelte av prosjektdeltagerne kommenterte at de hadde vært borti situasjoner hvor fisk hadde blitt skadet av maneter. Besvarelsene var allikevel så sprikende at det ikke kan konkluderes om det finnes en effekt.

Alger kan være en utfordring for fiskehelsen på flere ulike måter. Enkelte arter kan produsere toksiner som er giftige for fisken, mens andre alger kan ha tagger som kan feste seg på gjellene og irritere fisken. Noen av prosjektdeltagerne hadde opplevd problematikk med alger, men hvorvidt luseskjørt kunne redusere skaden var de usikre på. Noen av deltagerne mente at luseskjørt kunne ha en beskyttende effekt mot algebelter, men det kom an på hvor i vannmassene algebeltet befant seg.

Biomasse, tetthet og appetitt

Biomasse og appetitt var to temaer som var svært relevant for en stor del av intervjugruppen. Kontroll på biomasse er viktig for alle selskaper til dels på grunn av at det er myndighetskrav, men også fordi at det er dette selskapenes prestasjoner blir målt på. Svarene fra intervjugruppen var noe sprikende om når luseskjørtet ble tatt av. Ulike tidspunkt for utsett gjør at en når biomassetaket ved ulik tid på året. Det betyr at problemstillingen om høy biomasse ofte vil avgjøres av hvilken begrensning en møter først; vannkvalitet eller tetthet. Begge disse begrensningene kan også ha innvirkning på appetitten hos laks. God appetitt hos fisk gir god tilvekst som igjen vil gi rask økning i biomasse og dermed korte ned produksjonstiden i sjø. Kortere produksjonstid i sjø kan i tillegg redusere smittepresset for laksen. God appetitt blir brukt som velferdsindikator hos fisk og er et sunnhetstegn siden dette gir et godt grunnlag for at de metabolske prosessene skal fungere optimalt. Nedsatt appetitt kan gi vedvarende konsekvenser i form av stor variasjon i snittvekt, økt andel taperfisk i merden og økt risiko for sykdom. Flere deltagere hadde opplevd en reduksjon i appetitt hos fisk som følge av flere hendelser med reduserte oksygenverdier.

Rensefiskens velferd

Rensefisk er en felles betegnelse for flere ulike arter av leppefisk samt rognkjeks, og de brukes som lusespisere i merden. Rensefisk stiller andre krav til miljøforhold i merden enn det laks gjør, og bruk av luseskjørt kan derfor ha en annen påvirkning hos rensefisk enn hos laks. De senere årene har det blitt rettet en økt oppmerksomhet på rensefiskens velferd i merdene, og hvordan luseskjørtets innvirkning har hos de ulike rensefiskartene er derfor diskutert. Temaet er relevant for en andel av gruppen som har erfaringer innen bruk av rensefisk og i kombinasjon med luseskjørt.

Laksens vertikale vandring i merden er godt dokumentert, og har vist at laksen kan stå dypere i merder med luseskjørt. Hvorvidt rensefisk trekker ned på samme måte er ukjent. Om rensefisk ikke trekker

ned, men blir igjen i de øvre vannmassene i større grad enn det laksen gjør, kan det tenkes at rensefisken er mer utsatt for reduserte oksygenverdier. Majoriteten av gruppen brukte eller hadde brukt rensefisk sammen med luseskjørt. Ingen av deltagerne som hadde erfaring med rensefisk hadde opplevd luseskjørt som negativt for rensefisken. Faktisk hadde de aller fleste sett en positiv effekt, spesielt på eksponerte lokaliteter, siden luseskjørtet bremser strømmen. Rognkjeks er ikke en utpreget god svømmer, og kan være utsatt for sterk strøm. Det kan derfor tenkes at rensefisk i merder uten luseskjørt bruker mer energi på å svømme enn rensefisk i merder med luseskjørt.

All rensefisken har behov for fysiske skjul hvor den kan hvile. Rensefisk-skjul har design tilpasset hvilken art som benyttes, da rognkjeks må suge seg fast for hvile mens de øvrige artene trenger kun en skjerming for de frie vannmassene. Skjulene henger på ulike dyp fra overflaten, og det er diskutert om deres plassering i merder med luseskjørt kan ha en betydning for fiskens velferd. Dette basert på en hypotese om skjul plassert i et ugunstig miljø kan resultere i redusert velferd. Ingen av deltagerne (med relevant erfaring) hadde plassert skjulene med hensyn til luseskjørtene, og de hadde heller ikke observert sviktende velferd som kunne relateres til disse problemstillingene.

Tilbakemeldingene fra deltagerne tyder på at det er forbundet lav risiko for forøket dødelighet ved bruk av luseskjørt. Få deltagerne hadde opplevd forøket dødelighet som følge av bruk av luseskjørt. Funnene fra intervjurunden tyder på at luseskjørt utsetter gjellene for størst problematikk i form av skader eller redusert gjellekvalitet. Miljømessige betingelser ble sett på som en medvirkende faktor for økt risiko for dødelighet. Kombinasjonen redusert gjellekvalitet og suboptimale miljøbetingelser gir den største risikoen for redusert fiskehelse og fiskedød.

5.3.5 Effekt

Vi har bedt deltagerne om å beskrive hvilke forsøk de har gjort for å avdekke effekten til luseskjørt. Vi har også bedt dem om å beskrive hvilke forventninger de hadde, hvilken effekt de har klart å måle og eventuelt hva effekt skyldes. Deltagerne har presentert sine observasjoner og resultater fra egne studier, utført internt i selskapene eller sammen med forskningsinstitusjoner. Temaet er relevant for majoriteten av deltagerne i intervjugruppen, og besvarelsene sprer seg fra tallfestede resultater til anekdotiske tilbakemeldinger.

Vi har avdekket at det er to ulike oppfatninger rundt hvordan og hvorfor et luseskjørt fungerer. Den ene gruppen mener at effekten skyldes at luseskjørtet er en barriere mot de omkringliggende vannmassene, og at luseskjørtet forhindrer påslag ved at vannmassene med infeksiose stadier av lakselus ledes forbi merda. Dette er også omtalt som en skjermingseffekt. Den andre gruppen poengterer at fisk i merder med luseskjørt står dypere enn i merder uten. Den trekker derfor ned under vannmassene med lus (vert-parasitt "mismatch"). Resultatet vil uansett være det samme, ved at man forhindrer kontakt mellom laks og lus.

Vi har deltagere som startet med egne forsøk allerede fra 2010 og storskala bruk fra 2011. Det er utført et fåtall vitenskapelige forsøk i regi av eksterne forskningsinstitusjoner hvor det er utprøvd ulike design og andre preventive tiltak, med kontrollgrupper hvor fisk har stått uten beskyttelse. Resultatene av disse er presentert i kapittel 4.

Vi har også deltagere som har utført egne forsøk men disse er mer preget av å være en benchmarking av ulike design og leverandører, for å beslutte hvilken dybde og materialtype de skal gå til innkjøp av. De har da ikke hatt samme vitenskapelige kvalitet, og det er ikke brukt kontrollgrupper for å kvantifisere resultatene. Vi har også deltagere som ved tilfeldigheter har påvist effekt av luseskjørt, da ved at enkeltmerder ble stående uten beskyttelse.

Det var svært stort sprik rundt hva som ble oppgitt som forventninger til effekt. Det ble henvist til utførte forsøk, og erfaringer som i andre i havbruksnæringen hadde gjort seg. Men det har også vært en ærlighet rundt om at de er klar over at det vil være store lokale og regionale variasjoner, og at man ikke kan forvente samme resultater som andre. Luseskjørtet er allikevel ansett som en forebyggende metode med lav risiko for uønskede hendelser, og terskelen har vært liten for å prøve det ut på egne lokaliteter.

Et sitat fra en deltager beskriver en ytring med moderate forventninger til effekt: *"Vi vet for lite om hva som er forventet effekt. Vi er veldig gode på å bruke ting uten at det er godt dokumentert, men vi vet fortsatt ikke hvor god effekt vi kan forvente av skjørtene. Dette kommer an på området man er i, smittepresset totalt etc. Det er ekstremt mye mer vi skulle ha visst om bruk av luseskjørt enn det vi vet i dag."*

Med hensyn til målt effekt har en deltager fortalt at de ved et uhell hadde bestilt ett skjørt for lite, og en merd ble da stående ubeskyttet – og som en ufrivillig kontrollgruppe. Denne fikk betraktelig mere lus enn de øvrige merdene, og er en av årsakene til at de har valgt å satse videre på luseskjørt.

Vi har spurt deltagerne om hvordan de har dokumentert effekten av luseskjørt og besvarelsene var veldig sprikende. Enkelte av deltagerne beskriver en effekt på luseskjørt mellom 20 og 30 %, mens andre har opplevd en effekt opp mot 80 %. Men det er da ikke presisert hva denne effekten står i forhold til. Det er som oftest ingen reelle kontrollgrupper involvert, og effekten kan være oppgitt i forhold til forutgående generasjon eller en annen lokalitet. Resultatene har begrenset verdi for andre

områder enn den aktuelle lokaliteten, og den fanger heller ikke opp variasjoner fra år til år med ulikt smittepress.

En annen deltager presenterte en annen interessant metodisk tilnærming til beregning av effekt, hvor han i stedet for å regne effekt i prosent så på antall dager fra utsett til første lusebehandling, og så intervallet mellom hver påfølgende behandling. Dette var basert på en konkretisering av at luseskjørtet har en forsinkende effekt på utvikling av lus i anlegget, og målet måtte være å forskyve første behandling så langt som mulig i tid, og kanskje unngå en eller flere behandlinger i produksjonssyklusen. Metoden er utprøvd på flere lokaliteter i deres selskap, og kan den kan enkelt implementeres hos alle brukere av luseskjørt for å se om effekten kan sammenlignes. Deltageren har beskrevet ett av sine innledende forsøk som følgende: "*...Vi har prøvd å bruke skjørt på én av to lokaliteter som ligger nært hverandre, med seks merder på hver. Lokalitetene hadde litt forskjellig utsettstidspunkt. Vi så at vi hadde 29,8 dager i sjø per behandling i snitt på anlegget med luseskjørt, og 21 dager i sjø per behandling i snitt på anlegget uten luseskjørt. Antall dager før første behandling var 123 dager med skjørt mot 60 dager på anlegget uten skjørt.*".

Det er et stort sprik i deltageres beskrivelse av effekt. Noen få har opplevd fullstendig fravær av effekt og deretter gått bort fra luseskjørt, mens andre har sett god effekt og utvikler metode og teknologi videre. Generelt sett har deltagerne oppsummert sine erfaringer med at de anser luseskjørtet å gi en forsinkende effekt på utviklingen av lusesmitte, og at de forskyver tidspunktet hvor de iverksetter andre tiltak.

Egensmitte i forbindelse med lusebehandling oppgis av flere deltagere å være en utfordring. Under fortrenging av fisken faller en andel av den voksne lusen av, og så lenge denne ikke samles opp vil den kunne slå seg på annen laks i eget eller andres anlegg i området. Det beskrives en varierende praksis rundt demontering eller løfting av luseskjørt i forbindelse med annen lusebehandling. Enkelte aktører velger å la skjørt stå på under behandling mens andre demonterer dem. Enkelte løfter opp skjørtet under behandling for så å slippe dem ned umiddelbart etterpå, andre venter med å slippe dem ned til behandlingen er gjennomført. Enkelte avslutter generasjonens bruk av luseskjørt når første behandling gjennomføres, mens andre fortsetter bruken til utslakting eller at andre forhold gjør at skjørtene må tas av.

Beskrivelse av egen praksis viser at avveiningene om skjørt skal brukes etter behandling blir en kombinasjon av forventning om videre effekt, tilvekst og hvor arbeidskrevende den resterende håndteringen blir.

Vi har spurt deltagerne om luseskjørtet kan gi en negativ skjermingseffekt i form av at luselarver blir holdt inne i merden tilstrekkelig lenge til at de utvikler seg og blir infeksiose. Én deltager var veldig bevisst på at luseskjørt kunne ha en negativ effekt gjennom en slags drivhuseffekt som økte egensmitte i merden. Etter denne hendelsen hadde de implementert i sine prosedyrer at luseskjørtene skulle av om snittet for kjønnsmodne hunnlus oversteg 0,15. Tilbakemeldinger fra andre deltagere var at de ikke hadde sett den samme trenden.

5.4 Litteraturstudium

5.4.1 Hydrodynamikk

Hydrodynamikk er væsker og gasser sine bevegelser på makronivå og innebærer forståelse av strømningsmønster, virvler og turbulens (snl.no). Hydrografi er havvannets kjemiske og fysiske forhold, eksempelvis saltholdighet og temperatur som vil påvirke tettheten og derav den vertikale sjiktningen og sirkulasjon av vannmassene. I denne sammenheng er det valgt å bruke hydrodynamikk om hva som skjer på innsiden av skjørtet, da dette kan sees på som et delvis lukket system, mens hydrografi er den vertikale sjiktning og egenskaper i havvannet på utsiden av skjørtet.

Observert hydrodynamikk

Den direkte effekten av skjørt på hydrodynamikken ble studert i et storskalaforsøk ved bruk av fargemarkør (fluorescein) og høyoppløste bilder i tidsserie fra drone (Frank et al., 2014). Strømningsmønster ble sammenlignet mellom merd med skjørt og merd uten skjørt, og under forskjellige værforhold. Studiet viste at skjørt påvirker strømningsmønster mellom og rundt merder. Vann føres rundt og langsmed skjørtet og redusert trykk oppstår på nedstrømssiden av skjørt (en skjermingseffekt). I tillegg til endringer av vannutskiftning horisontalt, ble det også observert endringer av vannstrømmen vertikalt. Overflatevann presses under skjørtekant og går inn i merda. Oppsummert ble det konkludert med at utbygging av vann i de øverste vannlagene reduseres ved bruk av skjørt, og man får endrede strømforhold. Litteratur publisert i etterkant støtter oppunder disse funnene (Lien et al., 2014; Volent og Jónsdóttir, 2019; Volent et al., 2020; Klebert et al., 2020; Jónsdóttir et al., 2021a:2021b).

Målinger av hydrodynamikk

Nyere studier har i større grad benyttet strømmålere, som er en mer indirekte metode for å karakterisere strømningsmønstre og hydrodynamikk (Jónsdóttir et al., 2021a:2021b; Klebert et al., 2020). Det ble observert svakere strøm i en 160 m merd med spissnot og bruk av 10 m permeabelt skjørt. Svakest strøm ble observert ved 6 m dyp (86 % reduksjon innside sammenlignet med utside skjørt) (Jónsdóttir et al., 2021a). Etter 6 m dyp økte strømmen ved økende dyp. Det var en klar reduksjon i strømmen nedstrøms av skjørtet, med høyest reduksjon rett bak skjørtet. Ingen blokkeringseffekt ble observert (fra not) under 22 m dyp, som kan være en konsekvens av at det var spissnot. Til sammenligning ble det observert høyest reduksjon i strømmålinger ved 2 m dyp i sylindernot ved bruk av 6.7 m upermeabelt skjørt (Jónsdóttir et al., 2021b). Gjennomsnittlig reduksjon var 56.9 % sammenlignet med en reduksjon på 32 % uten skjørt. Reduksjon av nota i seg selv, vil avhenge av begroingsgrad og forholdet mellom arealet av notmaterialet og totalarealet av nota (Gansel et al., 2015). Effekten av fisk (5.5 kg i snitt) på strømningsmønster i merd med 10 m upermeabelt skjørt er også undersøkt (Klebert og Su, 2020). Fisken endret ikke strømmønster betydelig (retning vertikalt og radially pga svømmemønster) innenfor skjørtet, men reduserte farta på strømmen. Det ble også observert en reduksjon på strømmen nedstrøms på utsiden av merda (ca. 2 x diameteren av merda) pga skjørtet (Klebert og Su, 2020). Skjørtedybde, type skjørt, notfasong og

soliditet, samt biomasse er faktorer som kan påvirke og eventuelt redusere strømmen i merder med skjørt.

Hydrografisk påvirkning på hydrodynamikk

Flere studier har observert endret strømmønster vertikalt og mer turbulens i de øvre vannlagene ved bruk av skjørt (Frank et al., 2014; Lien et al., 2014; Klebert og Su 2020; Jónsdóttir et al., 2021b). I regi av SINTEF og FHF- prosjektet SKJERMTEK (2017-2020) har man klart å koble disse hydrodynamiske effektene innenfor skjørtet til hydrografiske miljøforhold og betydningen av lokalitetens vertikale tetthetsprofil. Spesielt tilstedeværelse av et definert sprangsjikt og pyknoklin (stor økning i salinitet over begrenset dybde) er av viktighet (Volent og Jónsdóttir, 2019; Volent et al., 2020; Jónsdóttir et al., 2020). Ved sammenligning av to lokaliteter med forskjellig vertikalprofil, ble det funnet mer vertikale strømmer og turbulens i lokaliteten med homogen/ usjiktet vannmasse (Volent og Jónsdóttir, 2019; Jónsdóttir et al., 2020). Lite energi kreves for å flytte en vannpartikkel fra overflaten og ned under skjørtet, og med påtrykk av strøm på duken kan vannpartikkelen bli presset ned og opp under skjørtet. Ved sterk pyknoklin og vertikal sjiktning på den andre lokaliteten, var det begrenset utskiftning av vann og mer forutsigbare strømforhold. De hydrografiske forholdene vil påvirke de hydrodynamiske forholdene på innsiden av skjørtet, vannutskiftning påvirker oksygenforhold og mulig også skjermingseffekten av skjørtet mot lus (Bui et al., 2019; Volent og Jónsdóttir, 2019; Jónsdóttir et al., 2020).

5.4.2 Teknisk, krefter og løfting av skjørt

Det er utført modellforsøk i strømmingstank med nedskalert modell (1:17) for vurdering av krefter som virker på fortøyning, deforming av skjørt og vannstrøm (Lien et al., 2014; Volent og Bekkevoll, 2017). Modeller av 157 m merder både med flat bunn og spissnot, ulike skjørte dybder, duktype, ekstra nedlodding og sammensying/ plassering av skjørte kant er undersøkt ved ulike strømhastigheter, bølgehøyder og perioder.

Hovedfunn fra disse er at skjørtet øker kreftene i spissnot og sylindernot med bunnring med ca. 30 %. I bakkant, nedstrøms for skjørtet løfter ikke skjørtet seg før strømhastighetene kommer opp i 33-41 cm/s. I fremkant forflytter duken seg lite vertikalt (både for 5 og 10 m skjørt), før strømhastigheten passerer 20 cm/s. Den naturlige deformasjonen av merda er stor også uten bruk av skjørt ved økende strømstyrke. Innenfor normale strømhastigheter (<30 cm/s) ble det observert liten forskjell mellom planktonduk og tett duk mtp vertikal forflytting av skjørtet. Ekstra nedlodding, plassering av overlapp duk (motstrøms, medstrøms eller sydd sammen) gav liten effekt på krefter. Sammensying anbefales for å unngå at store mengder vann strømmer inn i merden og anbefalt nedlodding er mellom 5 og 8 kg/ m tørrvekt.

Til sammenligning er det observert i kommersielle merder under forsøk at skjørtet løfter seg ved strømhastighet på 8 cm/s (etter en periode med over 20 cm/s en time tidligere) (Jónsdóttir et al., 2021a). Ved bruk av trykksensorer ble det observert løfting av skjørt ved 13 cm/s, og løftet var høyest i bakkant, nedstrøms. Dette stemmer ikke helt med modellforsøkene, og kan skyldes strømmens angrepsvinkel eller et mer variert strømbilde i virkeligheten sammenlignet med modellforsøkene (Volent et al., 2020).

5.4.3 Oksygenforhold

Grenseverdien for hvor lave oksygenivå fisken kan tolerere både med tanke på prestasjon (appetitt og vekst) og stressrespons, synker med økende temperatur (Remen et al., 2016). Perioder med høy temperatur, som sensommer og tidlig høst kan derfor være ekstra utfordrende mtp oksygen og bruk av skjørt. Det er observert lave oksygenverdier ved bruk av skjørt (Stien et al., 2012; Frank og Lien, 2015; Jónsdóttir et al., 2020), mens andre studier har vist til tilstrekkelige nivåer (Næs, Heuch og Mathisen., 2012; Næs et al., 2014; Lind, 2015; Stien et al., 2018; Midtlyng et al., 2019).

Studier med lave oksygenverdier

Stien et al., 2012 observerte reduksjon i oksygen ved bruk av kun 3 m dypt tett skjørt. Etter tre dager falt medianverdiene innenfor skjørtet til 51 til 62 %, sammenlignet med 89 % i en referansemerd. Temperaturen var rundt 15°C i overflatelaget. Forsøket som var tiltenkt å gå over en periode på 6 mnd ble avbrutt etter 7 dager. Fisken i forsøket hadde påvist PD og plasserte seg høyt i overflaten, mulig også motivert av temperatur (Johansson et al., 2006). Den vertikale profilen med høy temperatur og lavere salinitet i overflaten indikerer et høytliggende sprangsjikt. Begge disse scenarioene kan ha bidratt til å skape situasjonen der oksygenverdiene falt. Tilsvarende verdier ned mot 52-53 % er også observert i andre studier (Frank og Lien, 2015; Jónsdóttir et al., 2020; 2021b). Den direkte koblingen av skjørtet til reduserte oksygenforhold har blitt verifisert i to av studiene der man har fjernet skjørtet og målt effekten av dette ved en økning i oksygen i etterkant (Frank og Lien, 2015; Jónsdóttir et al 2021b). Oksygenverdiene steg fra 59 til 81 % i løpet av kun 30 minutter til tross for lave strømverdier i studien til Jónsdóttir et al 2021b.

Studier med gode oksygenverdier

For to av studiene som har rapportert gode oksygenivåer (minimum > 77 %) er lokalitetene plassert geografisk langt nord, og gjennomsnittlige temperaturer forventes å være noe lavere (Næs et al., 2014; Lind, 2015). Tidevannsforskjeller, strømforhold og primærproduksjon (Lind et al., 2015) vil også variere geografisk og gjennom sesong og kunne påvirke oksygenforhold. I studiet til Stien et al., 2018 i Nordland, observerte man reduksjoner i oksygen fra 5 til 35 % fra juli til august i merd med skjørt sammenlignet med referanse uten, men nivået var fremdeles over 70 % ved temperatur på 14°C. Reduksjonen syntes å sammenfalle med dybden på skjørtet (10 m permeabelt skjørt) (Stien et al., 2018).

Andre forhold som kan påvirke

Lokalitetens topografi, anleggsutforming, biomassestatus og begroing på nøter kan også påvirke oksygenforhold (Volent et al., 2020; Jónsdóttir et al., 2020; Gansel et al., 2015). I tillegg vil laksens svømmeadferd og vertikale plassering påvirkes av miljøfaktorer, f.eks har man vist at den har en preferansetemperatur på 16-18°C, og kan aggregere i høye tettheter i overflaten (Oppedal et al., 2011; Johansson et al., 2006). Dersom fisken samler seg i høye tettheter bak det skjermede skjørtet, vil det kunne føre til et høyt forbruk av oksygen.

Nyere studier viser også at innløsning og tilgjengelighet av oksygen innenfor skjørtet i stor grad er påvirket av hydrodynamikk og hydrografi. Tetthetsgradienter og pyknoklin over skjørtedypet vil påvirke vannutskiftning og oksygenforhold. Dette kan som tidligere nevnt variere på lokalitetsnivå (Jónsdóttir et al., 2020:2021b; Volent et al., 2020).

5.4.4 Egenskaper lus

Skjermingseffekten til skjørtet for å redusere lusepåslag vil i stor grad avhenge av lusa og fisken sin plassering vertikalt i vannsøylen (Frenzl et al., 2014). Adferden til de planktoniske stadiene av nauplius og det infeksjose kopepoditt-stadiet har blitt undersøkt i flere studier (Heuch et al., 1995; Nelson et al., 2018; Crosbie et al., 2019; Coates et al., 2020) og vertikal plassering av lusa i vannsøylen har blitt koblet opp mot effekt i modeller for spredning (Johnsen et al., 2014; Samsing et al., 2016; Coates et al., 2021).

Døgnmessig variasjon (diurnalt mønster)

Det ble observert døgnmessig variasjon (diurnalt mønster) i vertikal plassering for kopepoditter, hvor de samlet seg i overflaten om dagen og spredde seg til dypere lag om natten (Heuch et al., 1995). Vandringer så ut til å være styrt av lysintensitet, og i mindre grad av temperatur eller salinitet. Dette migrasjonsmønsteret er motsatt av hva som er observert for villaksen, og kanskje en strategi for å øke sannsynligheten for parasitt-vert interaksjoner. Et annerledes diurnalt mønster ble observert for nauplius larver hvor de befant seg i dypere vannlag om dagen (10-17 m), og grunnere om natten (1-6 m). Tettheten av luselarvene (nauplius) syntes å være høyest innenfor 100 m avstand fra produksjonsområder med oppdrett (Nelson et al., 2018).

Salinitet

I senere studier er det observert at salinitet også kan påvirke vertikalvandringen. Kopepoditter forsøker å unngå saliniteter under 27 ppt ved å endre svømmeadferd og synkerate (Bricknell et al., 2006). Crosbie et al., 2019 fant en mer gradvis reduksjon for kopepoditter ved synkende salinitet, noen individer ble også observert på 16 til 20 ppt. Nauplius larver ser ut til å unngå saliniteter under 30 ppt. Begge stadier syntes å aggregere rundt haloklinen/ spransjiktet (Crosbie et al., 2019).

Temperatur

For temperatur er det vist at nauplius vandrer mot overflaten når temperaturen er 10°C eller kaldere, men vandrer nedover og aggregere på thermoklinen dersom temperaturen går over 12°C. Temperatur syntes ikke å påvirke vertikalvandringen til kopepodittene (Crosbie et al., 2019). Det er også observert at ved trykkøkning i seg selv (simulerer økende dyp), så migrerer kopepoditter mot overflaten (Coates et al., 2020). Men her ble det observert variasjoner mellom familier, hvor andelen som migrerte mot toppen varierte mellom 17 og 79 %. Dette indikerer at familier med svakere svømmerespons kan plassere seg dypere i vannsøylen (Coates et al., 2020).

Spredningsmodeller og mulig seleksjon

Spatiale spredningsmodeller bla i Hardangerfjorden indikerer at dersom lusa responderer på miljøvariabler som lys, salinitet og temperatur og vertikalvandrer, så reduseres utviklingstiden og de sprer seg lengre horisontalt (Johnsen et al., 2014; Samsing et al., 2016; Coates et al., 2021a). Da lakselusa er vekselvarm, og holder samme temperatur som omgivelsene, er den spesielt viktig for utviklingstiden. En utviklingstid på 35 døgngader til kopepoditt stadiet og mulig vertikalvandring (oppsøker vannlag med høyere temperatur) gav bedre samsvar i modell enn 50 døgngader utviklingstid, sammenlignet med reelle lusedata (Samsing et al., 2016). Ved en temperatur på 10°C tilsvarer dette en utviklingstid på 3.5 dager.

Det er også blitt spekulert i om variasjoner i lusa sin evne til å vertikalvandre kan utgjøre et seleksjonstrykk (Coates et al., 2020; 2021a; 2021b). Eksempelvis dersom kopepoditt-larven sin preferanse og mulighet for vertikalvandring påvirkes av dybdebasert metoder for avgrensning, kan metoder som bruk av skjørt få redusert behandlingseffekt i fremtiden (Barrett et al., 2020).

5.4.5 Effekter skjørt

Det er begrenset med studier som har vurdert effekten av skjørt på lusepåslag om vi tar utgangspunkt i fagfelleverdert litteratur (Cerbule og Godfroid., 2020). Effektstudier er svært utfordrende i kommersiell skala da mange faktorer vil påvirke samtidig, og kan være en medvirkende årsak til at så få studier er fagfelleverdert.

Studier som viser til effekt

De to studiene som viser til effekt er utført i Nordland, og rapportert effekt varierer fra 30 % reduksjon i ukentlig lusepåslag (Grøntvedt et al., 2018) til 80 % reduksjon på fisk etter 12 uker (Stien et al., 2018). En forskjell mellom disse to studiene, er at Grøntvedt et al., 2018 estimerte effekt ut fra fem lokaliteter i et område i Nordland, mens Stien et al. 2018 estimerte effekten ved kun én lokalitet i Nordland. Det kan indikere mer variasjon i dataene til Grøntvedt et al., 2018, og/ eller at miljøbetingelsene på lokaliteten til Stien et al., 2018 var gunstige for bruk av skjørt (f.eks salinitet > 30 ppt i hele vannsøylen). Disse studiene var også grunnlaget for Barrett et al., 2020 sin beregning av effekt ved forskjellig type barriereteknologi. Skjørt gav moderat effekt (median 33 % og variasjon 30 - 81 % n=2), snorkel var høyere (76 % og variasjon fra 8 til 95 %, n = 9) og i et lukket merdsystem (Nilsen et al., 2017) var reduksjonen 98 til 99.7 %.

Studier som viser begrenset/ fraværende effekt

Det er i senere tid utført to studier som indikerer fravær/ redusert effekt. Jevne og Reitan., 2019 fant ikke signifikant effekt av skjørt da de studerte lusedata fra et produksjonsområde i Frøya fra 2013 til 2018. Mellom to produksjonssykluser fra år 2016 til 2017, økte antall luseskjørt i bruk med x 5, men mediansnittet på lus var høyere for merder med skjørt. Forfatterne påpeker at disse funnene må tolkes varsomt, da det er mest observasjoner fra kun en produksjonssyklus og det kan foreligge geografiske variasjoner.

Hvilke stadie på lusa man måler effekt på kan også være av betydning. Det ble funnet små forskjeller i tetthet av planktonisk nauplius stadie ved sammenligning innside og utside skjørt (Jevne et al., 2021). Studien indikerte også en sammenheng mellom adulte holus på innsiden av skjørtet og tettheten til planktonisk nauplius på innsiden og utsiden av skjørtet, spesielt andre året i sjø. Sammenhengen var ikke like klar for lokaliteter uten skjørt. Dette kan indikere at lus produsert innenfor skjørtet spres mindre ut fra lokaliteten pga skjørtet skjermer for dette. Temperatur, årstidsvariasjon og brakklegging var også av betydning for tettheten av nauplius larver (Jevne et al., 2021).

5.4.6 Effekter av skjørt og andre preventive tiltak

Oversikt over fagfelleverdert litteratur som har sett på skjørt i sammenheng med andre preventive tiltak viser til fire studier. To av disse studiene i review format sammenligner effekt av ulike tiltak fra allerede publisert materiale (Barrett et al., 2020; Cerbule og Godfroid, 2020). Studien til Gentry et al., 2020 baserer seg på materiale fra forsøket til Bui et al., 2020, så totalt er det i realiteten en studie å vise til.

Manipulering av svømmedyp

I flere studier har man forsøkt å manipulere laksen sitt svømmedyp vertikalt (f.eks ved bruk av undervannsføring og lys) og mulig skape avstand i sted og over tid (mismatch) mellom vert og parasitt (Bui et al., 2019; Geitung et al., 2019; Wright et al., 2019). Effekten av preventive metoder som leppefisk, funksjonelt fôr, manipulering svømmedyp og luseskjørt ble undersøkt av Bui et al., 2020. Konseptet for vert-parasitt "mismatch" fungerte delvis da laksen i merder med undervannslys og føring plasserte seg 6 m under haloklinen over tid, og ved bruk av skjørt i tillegg til de andre preventive metodene reduserte man lusepåslaget av fastsittende lus med 51,3 % sammenlignet med merder som kun hadde leppefisk. Det samme ble ikke observert for bevegelige stadier av lus, og det var lik frekvens på antall medikamentelle avlusninger gjennom studien. Samspillet mellom laksen og lusa sin vertikale plassering og preferanse i merden, påvirkes i stor grad av lokalitetens miljøforhold, som tilsvarende forsøksoppsett også avdekte ved to andre lokaliteter (Bui et al., 2019).

Selv om laksen tiltrekkes med undervannslys og føring mot et dypere vannlag, hjelper det lite om lusa følger etter pga f.eks et brakkvannslag i overflaten (Bui et al., 2019; Trengereid et al., 2020). Effekten av et brakkvannslag ble studert av Wright et al., 2019. Men her forsøkte man å "lokke" laksen opp i de øvre vannlagene med kunstig brakkvann ved hjelp av et lys på en meters dyp. Det ble ikke observert forskjeller i lusepåslag mellom vanlige merder med skjørt, og merder med brakkvannslag og skjørt. For kort oppholdstid og ikke tilstrekkelig lave nok saliniteter kan ha vært medvirkende til dette resultatet, da senere laboratorieeksperiment viste at saliniteten være under 4 ppt over 3 timer eller lengre for å ta livet av kopepoditter (Wright et al., 2020).

Til sammenligning har andre studier vist og predikert god effekt ved dybdebasert avgrensning og teorien rundt vert-parasitt "mismatch" (Frenzl et al., 2014; Samsing et al., 2016; Barrett et al., 2020). Som et eksempel ble det observert 75 % redusert lusepåslag gjennom en 12 måneders

produksjonssyklus ved bruk av snorkelmerd, men også her vises det til begrensninger ved bruk i perioder med pyknoklin, høye temperaturer og brakkvann i overflaten om sensommer/ høst (Geitung et al., 2019).

Rensefisk og luseskjørt

Flere studier viser til bruk av leppefisk eller rognkjeks i kombinasjon med luseskjørt (Grøntvedt og Kristoffersen, 2015; Jevne og Reitan, 2019; Bui et al., 2020). Det fine med kombinasjon av disse metodene er at rensefisk kan bidra med å fjerne lus dersom den først kommer på innsiden av skjørtet (Holan et al., 2017). Bruk av grønnngylt (*Symphodus melops*) i kombinasjon med skjørt resulterte i forskjellig svømmedyp og færre interaksjoner mellom laksen og grønnngylten og derav redusert/fraværende estimert beiteeffektivitet (Gentry et al., 2020).

5.4.7 Hva påvirker effekten?

Litteraturen viser til et begrenset antall studier og varierende grad av målt effekt av skjørt for å redusere lusepåslaget. Det er utfordrende å trekke slutninger, men videre følger noen gjentakende tema fra studiene som det er verdt å fremheve.

Variasjoner gjennom sesong og produksjonssyklus

Barriereteknologi og luseskjørt viser til variasjoner i effekt gjennom sesong (Samsing et al., 2016; Holan et al., 2017; Stien et al., 2018; Geitung et al., 2019; Bui et al., 2020; Jevne et al., 2021). Det antas at effekten syntes å være best på sommerhalvåret, med stabile vertikale temperatur og salinitetsgradienter og liten vertikal bevegelse av vannet (Holan et al., 2017). Høy temperatur og mye lys kan også bidra til å trekke luselarvene opp i denne perioden (Samsing et al., 2016). Utover høst og vinter vil temperatur og salinitetssjiktningen endres til en mer homogen vannmasse i de øvre vannlag. Usjiktet vann har vist seg å lettere la seg blande inn under skjørtet (Volent og Jónsdóttir, 2019; Jónsdóttir et al., 2020) og effekten av luseskjørtet kan bli redusert. Mengden lus kan variere gjennom sesong og produksjonssyklus. Jevne et al., 2021 fant variasjoner i tetthet av planktoniske nauplius stadier med $\sim 0.4-2,5$ ind/m³ om sommer over 9°C og reduseres til 0.02-0.21 ind/m³ om vinteren under 9°C. I en tilsvarende langtidstudie ble det også funnet variasjoner i mobile lus gjennom året og produksjonssyklus, med en økning mot slutten av produksjonssyklus (Bui et al., 2020). En effekt av brakklegging ble observert av Jevne et al., 2021, det ble ikke funnet planktoniske stadier av hverken lakselus eller skottelus (*Caligus elongatus*) etter 3 mnd uten fisk. Dette viser en viktig metode for å redusere internt smittepress mellom generasjoner og utsett.

Vertikal plassering av lus og laks

Lakselus har som tidligere beskrevet vist evne til å vandre vertikalt i vannmassene ut ifra en rekke miljøfaktorer som lys, salinitet, temperatur og trykk i seg selv (Heuch et al., 1995; Crosbie et al., 2019; Coates et al., 2020). Tilsvarende har laksen sine preferanser for miljøfaktorer som vil påvirke dens svømmeadferd og vertikale plassering (Oppedal et al., 2011; Johansson et al., 2006). Dette har

nok bidratt til at noen studier som har forsøkt å manipulere svømmedyp og skape vert-parasitt "mismatch" i visse tilfeller har hatt begrenset suksess (Bui et al., 2019; Wright et al., 2019; Trengereid et al., 2020). Det er blitt foreslått at fisken sin avstand fra haloklinen er av større betydningen enn faktisk svømmedyp (Crosbie et al., 2019; Bui et al., 2020). Sprangsjiktet er dynamisk og kan sammen med laksens avstand fra det påvirke infeksjonstrykket av lus fra dag til dag (Bui et al., 2020).

Variasjoner i effekt mellom lokaliteter

Variasjoner i effekt mellom lokaliteter er observert i flere studier (Bui et al., 2019; Volent og Jónsdóttir, 2019; Jónsdóttir et al., 2020). Spesielt syntes viktigheten av hydrografi og kjennskap til lokalitetens egnethet for bruk av skjørt å være av betydning (Stien et al., 2018; Grøntvedt et al., 2018; Jónsdóttir et al., 2020; Bui et al., 2019:2020). Det vil være forskjeller i vertikalprofil mellom en lokalitet inne i en fjord med høy ferskvannstilførsel sammenlignet med en lokalitet plassert langt ute i et fjordsystem med jevnere salinitet. Vertikalprofil er av betydning for oksygenforholdene innenfor skjørtet og vurderes som en av de største utfordringene ved bruk av skjørt (Holan et al., 2017; Jónsdóttir et al., 2020: 2021b; Volent et al., 2020), og påvirker trolig også skjermingseffekten mot lus (Stien et al., 2018; Jónsdóttir et al., 2020; Bui et al., 2020).

Skjørtedybde

Skjørtedybde antas å ha betydning for skjermingseffekten mot lus. 10 m dype skjørt viste seg å redusere andelen fastsittende lus mer sammenlignet med 6 m ved undersøkelse av 5 lokaliteter i Nordland (Næs et al., 2014; Johansen, 2014). Senere ble det samme materialet benyttet videre i en fagfelleverdert publikasjon (Grøntvedt et al., 2018), og her ble det vist til for få observasjoner til at man kunne konkludere med forskjeller mellom ulike dybder på skjørt. Forfatterene påpeker behovet for å undersøke ideelt skjørtedyp for optimal skjermingseffekt, og dette bør tilpasses den enkelte lokalitet (Grøntvedt et al., 2018).

Komplementær metode

Flere publikasjoner viser til at bruk av luseskjørt må betraktes som en komplementær metode og brukes ilag med andre preventive tiltak og det må iverksettes medikamentell behandling dersom lusegrensen overskrides (Holan et al., 2017; Grøntvedt et al., 2018; Bui et al., 2018:2019:2020; Cerbule og Godfroid., 2020; Barret et al., 2020). Dette er også i samsvar med litteraturen som viser til variabel effekt ved bruk av skjørt.

Dynamisk strategi

Studier viser til at en mer dynamisk strategi med mulighet for å variere skjørtedypet ifht lusa og fisken sin vertikale plassering kan være gunstig (Bui et al., 2018:2020; Crosbie et al., 2019). F.eks kan det være ønskelig å senke luseskjørt dypere dersom det er et brakkvannslag i overflaten og fisken står dypt, eller fjerne de helt dersom laksen står grunt i de øvre vannlagene med brakkvann (Bui et al., 2020). Bedre forståelse av samspillet mellom endringer i miljøet på lokaliteten og fisken og lusa sin vertikale plassering vil trolig øke effekten ved bruk av luseskjørt.

5.5 Diskusjon

5.5.1 Evaluering av metode

Vi har i denne arbeidspakken valgt å benytte en kvalitativ, intervjubasert metode hvor deltagerne er gitt mulighet til å beskrive sine egne erfaringer og opplevelser rundt bruk av luseskjørt. Intervjuene er basert på en standardisert intervjuguide, med like spørsmål til alle deltagere, men det er også presisert at denne guiden er veiledende og at deltageren står fritt til å holde sitt eget fokus. For å gi en uforpliktende frihet i besvarelsene er disse anonymiserte, og opptak som er utført er kun brukt til vår kontroll av innhold og sitatsjekker. Vi har hatt et sterkt fokus på å unngå vitenskapelige bias, og har prioritert å få deltagere med god geografisk spredning, ulike faglige roller, bedrifter av ulik størrelse og drift på lokaliteter med ulik eksponering. Leverandørene har sammenfallende markeder med en god geografisk spredning. Besvarelsene er transkribert til skriftlig form, og resultatene sammenlignet og vurdert av vår interne faggruppe med ulik erfaring og faglig bakgrunn. Det er så foretatt et bredt litteraturstudium innenfor relevante tema. Basert på dette kunnskapsgrunnlaget med kombinasjon av driftsmessig erfaring og resultater fra vitenskapelige forsøk har vi sammenstilt det vi mener er en beskrivelse av beste praksis i bruk av luseskjørt. Vi anser metoden å ha vært velegnet til formålet, og gitt oss en bred innsikt i de temaene vi har valgt å undersøke. Vi har i prosjektperioden vært forhindret fra å gjennomføre fysiske besøk hos kunder og leverandører av varer og tjenester, men intervjuer og møter på digitale møteplattformer har fungert godt.

5.5.2 Strategiske forhold

Innkjøpsprosessene og de teknologiske beslutningene preges av hvem som tar beslutningene og hvilken rolle eller faglig bakgrunn de har. Vi har avdekket at det i de fleste tilfellene er små grupper eller enkeltpersoner som iverksetter innkjøp, og det er stor variasjon i hvem som involveres. Siden de ulike faglige rollene har eget fokus i valg av metode og design vil det være fordelaktig å gjennomføre benchmarking med et utvalg av kriterier for teknologiens egenskaper før beslutning om innkjøp tas.

En effektiv bruk av teknologi fordrer god opplæring av brukerne. Et interessant funn er at deltagerne ønsker et større samarbeid med mer informasjonsflyt på tvers av selskapene. For å imøtekomme dette ønsket kan det legges til rette for etablering av digitale møter, fagkonferanser og forum. Røktene og driftsledere vil da gis en mulighet til å diskutere teknologiske utfordringer og erfaringer fra bruk. Vi har også fått et innblikk i gjennomføring av fagutdanningen, og vi ser at en tidlig introduksjon rundt bruk av oppdrettsteknologi vil ha en stor praktisk nytteverdi.

Utfordringer rundt eksterne tjenester som vask, reparasjon og vedlikehold har vært fremhevet i samtalen, og det er påpekt at disse er svært arbeids- og kostnadskrevenne. Selv om materialkvaliteten har blitt forbedret, medfører slitasje i forbindelse med vedlikehold en betydelig forkortning av produktets levetid. Det etterlyses derfor bedre og mer skånsomme metoder for vask og vedlikehold, og det er i denne sammenhengen også presentert et økt fokus på produktenes levetid og mulighet resirkulering av kasserte materialer. Det er etablert et fåtall servicestasjoner som har spesialisert seg

på vask av luseskjørt med skånsomme metoder. Brukerne av disse tjenestene rapporterer om mindre slitasje og lengre levetid.

Ti år med bruk av luseskjørt har resultert i en teknisk forbedring, men vi kan nå se at innovasjonsgraden er avtagende. Luseskjørt har fått et standardisert design med et utvalg av tilleggsløsninger for tilpasning til lokale og regionale forhold. Det prøves ut kompletterende metoder for å øke effekten av luseskjørtet eller for å unngå negative forhold som oksygensvikt. Pumpeløsninger for å sirkulere vann inne i nota vil kunne forlenge brukstiden og dermed den akkumulerte effekten til luseskjørt. Men vi ser utfordringer i forbindelse med grensesnitt mot andre komponenter og tilknyttet øvrige operasjoner som krever både teknologisk og metodisk utvikling. Dette er presentert i påfølgende diskusjon av driftsmessige forhold.

Konklusjonen vår med hensyn til strategisk bruk er at et bredere faglig fokus kan gi en bedre tilpasning av luseskjørtene til den aktuelle lokaliteten, siden både praktiske, tekniske, fiskevelferdsmessige og økonomiske forhold må avveies for å oppnå gode og langvarige effekter. Egen eller felles benchmarking av ulike varianter basert på et tilstrekkelig antall kvalitetsmål vil være et viktig verktøy for å anskaffe det produktet som er optimalt for egne lokaliteter.

5.5.3 Driftsmessige forhold

Vi har avdekket en variasjon i materialvalg og design blant deltagerne. De har forsøkt å tilpasse utforming og størrelse til sine lokaliteter, men denne er i de fleste tilfeller basert hva som er teknisk mulig og ikke basert på hvilken effekt de har. Vi har stilt spørsmål ved hvordan luseskjørtene er tilpasset de nøtene som de brukes på, og vi har ikke fått opplysninger at det er foretatt noe for å optimalisere luseskjørtets omslutning av nota. Luseskjørtet er tilpasset sylindriske nøter, og det foretas ingen innsøm på skjørt som skal brukes på spissposer. For å lukke luseskjørtet brukes utelukkende omslagsprinsippet, hvor skjørtets ender overlapper hverandre. Men det er varierende hvor langt endene overlapper hverandre og hvor denne lukkingen plasseres i forhold til strømreringen på lokaliteten. Brukerhåndbøkene vi har mottatt beskriver at den overlappende sonen skal plasseres på notas leside, men allikevel så har vi deltagere som plasserer denne på strømsida og på notas sider. Det er åpenbart at luseskjørtets skjermingseffekt avgjøres av hvor godt dette forhindrer vannutskiftingen i notas overflatelag, og dette påvirkes av både hvor godt skjørtet omslutter og hvordan det lukkes. Det bør derfor legges et økt fokus på å optimalisere dette. Flere deltagere beskrev at de hadde utprøvd ulike alternativer for lukking av skjørtene, men ingen har blitt kommersialisert eller anvendt i større skala.

Vi har også avdekket variasjon i luseskjørtenes dybde, og argumentasjonen for valg av grunne versus dype skjørt er også sprikende. Korte skjørt prefereres av tekniske årsaker når det benyttes nøter med innsydde løftetau for bunnring. Skjørtene må da tres på innsiden av disse, og kan derfor ikke være dypere enn den dybden hvor løftetauet går inn i nota. Korte skjørt brukes også i hele produksjonssyklusen, da negative forhold som oksygensvikt inntreffer sjeldnere. Brukerne av dypere skjørt argumenterer med at de ønsker en bedre beskyttelse, og aksepterer at de må overvåke vannkvaliteten. Et sentralt element i diskusjonen blir derfor om bruk av dypere skjørt i et kortere

tidsrom gir en annen akkumulert effekt enn langvarig bruk av kortere skjørt. Vi har funnet en fagfellestudie hvor skjørtedyp er vurdert, men resultatene avdekket at forsøket hadde for få observasjoner til å trekke en entydig konklusjon (Grøntvedt et al., 2018). En vurdering av ideelt skjørtedyp bør avveie eksponeringsgrad (strøm og bølger), skjermingseffekt (hydrografi og vertikal sjiktning) og fiskens velferd (oksygenforhold og partikler). Dette bør vurderes for den enkelte lokalitet, gjennom året og utover i produksjonssyklus.

Produktdokumentasjon som brukerhåndbøker skal ha et spesifisert innhold i henhold til *NS 9415 Flytende oppdrettsanlegg*, og sammen med egne interne prosedyrer og metoder skal de gi driftspersonellet tilstrekkelig informasjon til korrekt montering og bruk. Deltagerne beskriver brukerhåndbøker som tilstrekkelige til sitt forhold, men fremhever samtidig viktigheten med egne prosedyrer. Prosedyrene er utviklet over tid, og som oftest lagt inn i bedriftens kvalitetssystem, men det er viktig å fremheve at kvaliteten på disse vil kunne heves gjennom et bedre samarbeid på tvers av selskapene. Som presentert under diskusjonen av strategiske forhold så poengterer deltagerne at de ønsker et bedre samarbeid, og dette vil igjen kunne forbedre kvaliteten på bruken av all teknologi på lokaliteten. Gode prosedyrer forenkler arbeid, det minimerer risiko for skader på personell og utstyr og det øker effekten av den teknologien som er tilgjengelig. Et konkret forbedringspotensial vil derfor være at man i fellesskap samler gode rutiner og presenterer dem i et format som er tilgjengelig mens de ulike operasjonene foregår. Skriftlige dokumenter tas sjelden ut på merdkanten, og er derfor ikke tilgjengelige hvis uventede forhold eller situasjoner inntreffer. Flere deltagerer **poengterer** at bilder og video er langt mer virkningsfullt enn tekst. Og det bør også være nedlastbare for å være tilgjengelige i områder uten mobildekning.

Vi har undersøkt hvordan luseskjørt brukes i produksjonssyklusen, og forsøkt å avdekke når tid de settes ut og hvor lenge de står påmontert. Normalt sett monteres skjørt på før fisken settes i sjøen, slik at den har en beskyttelse fra starten av produksjonssyklusen. Det er en praktisk fordel å sette ut skjørt før nota, og siden biomassen i det første året er såpass lav så er det få utfordringer med lite oksygen og redusert tilvekst. Når tettheten begynner å tilta i siste del av produksjonssyklusen ser vi at stadig flere tar av luseskjørtene. Det vises da til de to nevnte forholdene, men vi har selskaper som lykkes med å kjøre hele generasjonen ut med luseskjørt påmontert. Vi ser her geografiske forskjeller, og det er kun i Nord-Norge at skjørt brukes hele generasjonen. Det har også sammenheng med at enkelte av disse bruker kortere luseskjørt på 5-6 meter. Kortvarig løfting av skjørt for å skifte ut oksygenfattig vann er et tiltak som vi ser et potensiale i, og dette kan være en metode som forlenger brukstiden og dermed forhindrer utviklingen av lusesmitte.

Det er stor spredning i hvordan skjørt håndteres under avlusning eller når flytting av fisk skal gjennomføres. Noen velger å ta av skjørtene når avlusningene igangsettes, andre løfter dem midlertidig opp for så å slippe dem igjen. Hvis fisken skal fortrenses i operasjonen benyttes det en kuleline, og det kan oppfattes som problematisk at skjørtet står på når denne trekkes innunder nota. Enkelte design av luseskjørt er heller ikke dimensjonert for denne ekstra belastningen, og vil kunne skades av dette. De som velger å ta skjørtene helt av argumenterer for dette med at biomassen begynner å bli stor, de forventer at det kan komme flere avlusninger og det er tidkrevende å håndtere skjørtene. Andre som velger å løfte dem opp for så å slippe dem ned har et ønske om å hente ut all effekt av skjørtene, og avventer til fiskens biologi krever andre miljøforhold. Vi vil allikevel påpeke

at vi ser en varians i hvordan skjørtene løftes og senkes ned igjen, som kan være av betydning for re-smitte av fisken etter avlusning. Dersom man ikke hever og senker skjørt merd for merd under prosessen, så vil lus som faller av kunne slå seg på fisk som allerede er behandlet. Vi anser det derfor som viktig at man etablerer metoder hvor luseskjørtet også skjermer for lus fra egen lusebehandling. Vi ønsker derfor også å adressere en problemstilling rundt et behov for å samle opp lus som faller av fisken under fortrenging. Man ønsker ikke at denne skal komme i kontakt med egen fisk, men samtidig må ikke denne slippes fritt ut slik at den kan slå seg på andre anlegg i regionen.

Vår konklusjon er at det er et potensiale for optimalisering av hvordan luseskjørt brukes, og vi oppfordrer til en bevisst strategi for å utnytte all tilgjengelig effekt i skjørtene, både ved å få teknologien best mulig tilpasset nøtene og de lokale forholdene, men også ved at man forsøker å hente ut lengst mulig brukstid.

5.5.4 Eksponering og miljøforhold

Lokalitetens eksponering for strøm, bølger og vind setter fysiske begrensinger for anvendelsen av luseskjørt. Rangert i forhold til hverandre beskriver deltagerne at strøm er den miljøparameter som er av størst betydning for muligheten til å anvende skjørt, både direkte gjennom den fysiske påvirkningen på skjørtet og de hovedkomponentene det har et grensesnitt mot - men også indirekte gjennom relasjonen mellom luseskjørtets soliditet og fortøyningsanalysen. Lokalitetsundersøkelser i henhold til NS 9415 er foreløpig basert på måling av strøm i én måned og denne fanger nødvendigvis ikke opp årstidsvariasjoner, selv om det benyttes sikkerhetsfaktorer på toppen av maksimal strømhastighet. I modellforsøk er det påvist at skjørtet øker kreftene i nøtene med inntil 30 %, og det er også observert at skjørtene løftes mot overflaten ved strømhastigheter på 20 cm/s. I kommersielle forsøk har man observert et slik løft av not inntreffer allerede fra 8-13 cm/s (Volent og Bekkevoll, 2017; Jónsdóttir et al. 2021a). Kombinasjonen av at nota presses sammen – med risiko for en fisketetthet utover det forsvarlige - og en redusert effekt i form av et løftet skjørt som gir en begrenset beskyttelse, gjør at man på eksponerte lokaliteter bør vurdere om luseskjørt er en egnet teknologi.

Bølger er av deltagerne oppgitt til å være mest relatert til skader på luseskjørtene. På de mest eksponerte lokalitetene tas skjørt ofte av i vintersesongen, for så å reparere dem i vårsesongen. Hyppig overskylling av luseskjørtet vil naturligvis kunne resultere i en redusert effekt, og enkelte aktører velger å forsøke å unngå dette ved å benytte luseskjørt med en skvettkant.

Vind kan presse luft under flytekragen (se rapportens forside) og blåse opp luseskjørtet, slik at dette løftes mot overflata. Skjer dette inne i flytekragen får man et redusert notvolum slik som ved sterk strøm, mens dersom det skjer på utsiden får man kun en redusert beskyttende effekt.

Det er beskrevet et fenomen som omtales som timeglasseseffekt, hvor nota presses inn fra alle sider, og da så mye at det er mulig å gå på notveggen på innsida av rekkverket. Det er ikke bevist hva dette skyldes, men det antas at årsaken kan være spesielle strømforhold, mye ferskvann i overflatelaget eller andre hydrografiske forhold. Og på samme måte som ved sterk ensrettet strøm kan det resultere i at man mister store deler av tilgjengelig volum inne i nota.

Enkelte lokaliteter har naturlig lave oksygenverdier i deler av året, og et luseskjørt kan forverre dette. Fra litteraturen og prosjekter i den senere tid har det blitt fokusert på den enkelte lokalitet og de omkringliggende vannmassenes vertikale sjikning. De hydrografiske forholdene (temperatur, oksygen, salinitet og tetthet) vil påvirke de hydrodynamiske forholdene (vertikale strømmingene) på innsiden av skjørtet, ved at tilstedeværelse av en pyknoklin kan begrense innstrømming av vann. Redusert vannutskiftning vil igjen kunne påvirke oksygenforhold og mulig også skjermingseffekten av skjørtet mot lus (Bui et al., 2019; Volent og Jónsdóttir, 2019; Volent et al., 2020; Jónsdóttir et al., 2020).

For å kunne bruke luseskjørt på lokaliteten må man derfor kjenne de fysiske forholdene godt. Både eksponering og hydrografiske forhold er av betydning for om og når du kan bruke skjørt, og hva effekten kan være. Noen av deltagerne har testet ut pumpe- og vannutskiftnings-systemer for å bedre vannkvaliteten. Et FHF-prosjekt som ble ferdigstilt i 2019 så på effekten av et vannutskiftningsssystem og luseskjørt (Midtlyng et al., 2019). Prosjektet sammenlignet ikke effekten av vannutskiftningsystemet mot en kontroll med bare bruk av skjørt. Det er derfor vanskelig å vurdere den konkrete effekten av systemet på eventuell forbedring av oksygenforhold. Potensialet i slike systemer er uansett at de kan forbedre vannkvaliteten i deler av året, og forlenge brukstiden på luseskjørt.

5.5.5 Fiskehelse

For alle oppdrettere som investerer i nytt utstyr vil det være av interesse om utstyret påvirker fiskehelsen negativt eller positivt. Tilbakemeldingene fra intervjurunden viser at risikoen for dødelighet ansees som lav. Oppdretterne sitter på mye erfaring med luseskjørt, og dødelighetshendelser i forbindelse med luseskjørt har vært veldig lavt i den perioden skjørtene har vært i bruk. Et godt eksempel på at risiko for dødelighet ansees som lav er at en av deltagerne valgte å gå all-in på luseskjørt uten særlig testforsøk i forkant. Hadde risikoen for fiskehelse blitt ansett som høy hadde det blitt gjennomført flere og mer omfattende testforsøk i forkant for å avdekke ulike risikofaktorer som kan spille en viktig rolle for fiskehelsen. Det har blitt gjort noen studier som har sett på luseskjørtets påvirkning på fiskevelferden. Disse studiene indikerer at bruk av skjørt ikke påvirker velferden negativt (Stien et al., 2018; Trengereid et al., 2020; Bui et al., 2020).

Luseskjørt henger utenfor noten og, ved normale omstendigheter, ikke påvirke fisken direkte. Men luseskjørtene kan påvirke miljøforholdene indirekte. Endring av oksygenforhold i merden betegnes som den største faren for redusert fiskevelferden. Den største faren for fiskevelferden er oksygensvikt. Hvor stor oksygensvikt fisken tåler avhenger av flere faktorer som blant annet: Hvor robust fisken er, hvor fort den oppstår, hvor stor den er og hvor lenge den varer. Nedsatt gjellehelse reduserer oksygenopptaket hos fisken og vanskeliggjør mestring av stress. Flere årsaker kan forårsake nedsatt gjellehelse. Alger kan forårsake oksygensvikt ved stort omfang, mens enkelte algearter kan også være toksiske og dermed skade gjellevevet som igjen fører til dårligere oksygenopptak. Enkelte patogener forårsaker gjellesykdommer, slik som AGD. AGD er en gjellesykdom som først og fremst var aktuell fra Midt-Norge og sørover. Kun én deltager mente at luseskjørt kunne føre til økt forekomst av AGD

i merden. Andre deltagere i samme område så ikke den samme trenden og det er derfor knyttet usikkerhet om luseskjørt endret sannsynligheten for redusert gjellehelse.

Det funnet som gav mest samsvar, var at oksygensvikt i merden kan føre til hendelser hvor fisken fikk nedsatt appetitt. Flere av deltagerne hadde opplevd at i perioder hvor det var økt fare for reduksjon i oksygen, oppsto reduksjonen hyppigere i merder med luseskjørt sammenlignet med merder uten luseskjørt. Dette samsvarer også med studier fra litteraturen, der den direkte effekten av skjørt er koblet til reduksjoner i oksygen (Stien et al., 2012; Frank og Lien, 2015; Jónsdóttir et al., 2021b). For å unngå nedsatt appetitt og tapt tilvekst bør oppdrettere kjenne til hvilke miljøforutsetninger som kan gi oksygensvikt. Det er i tillegg viktig at oppdrettere har gode rutiner og prosedyrer på hvordan de håndterer slike situasjoner slik at slike hendelser blir redusert til et minimum.

En interessant hendelse som en av deltagerne hadde var at de opplevde oksygendropp hos en av sine lokaliteter med luseskjørt. De var overbevist på at dette skyldtes luseskjørtene og fjernet disse fra merden. Oksygenverdiene i merden steg ikke etter at skjørtene var fjernet. I etterkant av hendelsen konkluderte deltageren med at de var ikke luseskjørtet som forårsaket oksygensvikten, men at oksygensvikten skyldes miljøforandringer på hele lokaliteten. Deltageren mente de var for snar med å fjerne skjørtene. En slik hendelse kan oppstå ved flere lokaliteter og det er viktig å gjør en grundig vurdering, aller helst med flere oksygenmålinger i og utenfor merden, før man konkluderer med at det er luseskjørtene som er årsak til oksygensvikten.

Rensefisk kan stille andre miljøkrav enn laks som igjen gjør at bruk av luseskjørt kan ha en annen påvirkning hos rensefisk. Opplevelser fra deltagerne tyder på at luseskjørt har en positiv effekt på rensefisk på eksponerte lokaliteter. Spesielt rognkjeksene ser ut til å dra nytte av luseskjørtet ettersom rognkjeksene ikke er noen utpreget god svømmer. Luseskjørtet bremser havstrømmen og gjør at rognkjeksene ikke trenger å bruke like mye energi på å svømme mot strømmen. Oppbremsing av havstrømmen vil også være gunstig for rensefisk-skjulene som vil holde seg mer i ro.

Rensefisk i kombinasjon med luseskjørt kan være en fordel i lusebekjempelsen. Luseskjørt kan sees på som et førstelinjeforsvar som har hensikt å stoppe luselarvene og kopepoditten før de fester seg på fisken. Rensefisken er andrelinjeforsvaret som spiser lus som kommer seg forbi førstelinjeforsvaret. På mindre eksponerte lokaliteter med dårligere vannutsiftning kan vandringsmønsteret hos laks og rensefisk forandres. Deltagerne opplevde at laksen kunne trekke dypere i vannmassene, mens rensefisken fortsatt ble stående høyere oppe. Dette kan ødelegge interaksjonen mellom laks og rensefisk og dermed lusebeitingen. Hvorvidt dette hadde en negativ effekt på lusebeitingen eller ikke visste ikke deltagerne siden de ikke hadde målt noe på dette. Fra litteraturen er det en studie som viser til at grønngylt fikk færre interaksjoner med laksen på grunn av ulike svømmedyp (Gentry et al., 2020). Ved bruk av leppefisk i kombinasjon med skjørt, må man være sikker på at arten, adferd og system fungerer hensiktsmessig og gir effekt uten å redusere fiskevelferden til leppefisken (Gentry et al., 2020; Trengereid et al., 2020).

5.5.6 Effekt

Vurdering av effekt og dokumentert redusert lusepåslag bør være et sentralt kriterium for valg av luseskjørt. Til tross for at noen av aktørene har utført systematisk uttesting, og det fra enkelte områder og lokaliteter (spesielt i Nordland) har blitt publisert konkrete tall på effekt, må denne informasjonen betraktes som begrenset. Variasjon og usikkerhet rundt dokumentert effekt fra deltakerne samsvarer også med hva litteraturen viser til. Effekstudier er utfordrende i kommersiell skala og det er få fagfelleverderte artikler på tema. Den utstrakte implementerte bruken av luseskjørt kan kanskje være fordi: Teknologien er lett anvendelig, luseskjørt har et godt rykte, lav risiko for redusert fiskevelferd, fungerer som en "føre var strategi" og at det økonomisk lar seg forsvare. Disse momentene virker å være av større betydning enn faktisk dokumentert effekt.

I dagens akvakulturnæring er det et stort fokus på kjønnsmodne holus, da dette må rapporteres inn til myndighetene. Effekstudier legger også mye vekt på reduksjon av kjønnsmodne holus. Men luseskjørt og annen barriereteknologi baserer seg i større grad på å beskytte fisken mot tidligere stadier av lakselus. Litteraturen viser at dersom man måler på tidligere stadier, så er ikke effekten nødvendigvis tydelig (Jevne et al., 2021). Målinger av tidlige lusestadier (planktoniske) vil kanskje kunne gi et mer korrekt bilde på effekten av luseskjørt.

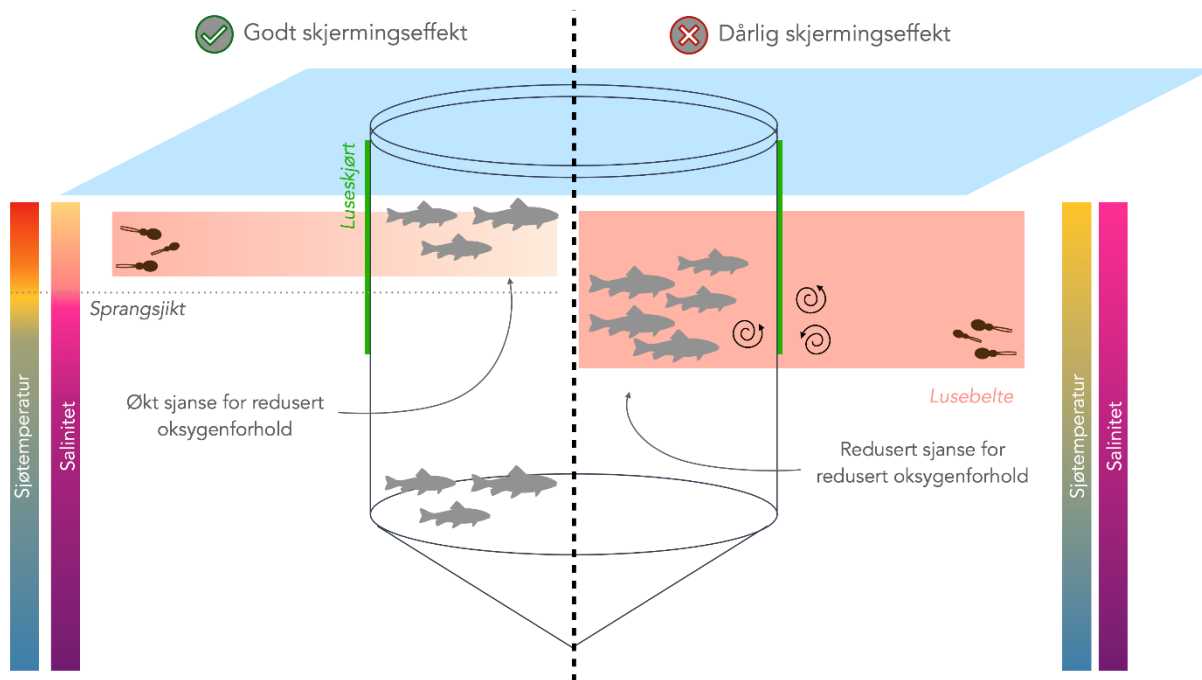
Tilbakemeldingene fra intervjurunden viser til stor variasjon i effekt. Fra de som ikke har observert effekt og gått bort i fra teknologien, til de som har god effekt og velger å utvikle metode og teknologi videre. Dette samsvarer også med litteraturen, som viser til studier der man har dokumentert effekt opp mot 80 % reduksjoner i påslag (Stien et al., 2018), til studier der effekt ikke er observert (Jevne og Reitan, 2019; Jevne et al., 2021). Variasjoner kan skyldes en rekke årsaker, som allerede diskutert under litteraturstudiet.

To ulike oppfatninger verserte blant intervjudeltagerne på hvordan og hvorfor man oppnådde effekt. Den ene gruppen oppfattet teknologien som en barriere mot vannmassene rundt, dette tilsvarer hva som blir beskrevet som skjermingsteknologi i litteraturen. Den andre gruppen viste til at laksen plasserte seg dypere i merder med skjørt, slik at det ble redusert kontakt med lusa i overflatelaget, tilsvarende vert-parasitt "mismatch" i litteraturen. Det er interessant å koble disse observasjonene, og det viser til at det ikke nødvendigvis er en ensbetydende forklaring for hvordan skjørt egentlig fungerer verken i næringen eller i litteraturen.

Det er utfordrende å identifisere enkeltelementer som bør ligge til grunn for at man skal oppnå effekt ved bruk av skjørt. Sentrale tema bør være variasjoner gjennom sesong og produksjonssyklus, variasjon mellom lokaliteter (miljøforhold) og vertikal plassering av lusa og laksen. Ut fra senere studier virker vertikal sjiktning og tilstedeværelse av pyknoklin å være avgjørende for de hydrodynamiske forholdene inne i skjørtvolumet, og eventuelt mulig vertikal transport av partikler (lus) fra overflaten og inn under i skjørtet. Disse studiene har fokusert på oksygenforhold og i mindre grad effekt på lusepåslag, så det er et behov for å undersøke dette ytterligere (Volent et al., 2020; Jónsdóttir et al., 2020). Som et eksempel kan det tenkes at en ideell lokalitet har et sprangsjikt som ligger over skjørtedypet, og dette vil påvirke skjermingseffekten positivt, men kanskje oksygenforholda negativt? Påstanden er naturligvis en forenkling av problemstillingen, da dette ikke hensyntar lusa sin evne til vertikal vandring, fisken sin plassering og et dynamisk sprangsjikt som er

i stadig endring. Dette samspillet er svært komplekst, og vanskelig å forholde seg til i en kommersiell driftssituasjon. Man bør derfor undersøke om det er mulig å utvikle og ta i bruk teknologi som kan overvåke sentrale miljøparametere på den enkelte lokalitet for på denne måten å øke effekten av luseskjørtet. Slike parametere kan innebære målinger av lokalitetens vertikale sjiktning og lusa og laksen sin vertikale plassering over tid. Dette blir som et tillegg til de tradisjonelle miljøloggingene som gjøres i dag, hvor oksygen, temperatur og salinitet måles på enkelte dyp. Økt kunnskap om egen lokalitet vil dermed åpne opp for en mer dynamisk strategi for bruk av luseskjørt.

Ut ifra litteraturgjennomgangen er det forsøkt å fremstille en figur som viser to teoretiske scenarier hvor sjiktningen i vannet kan ha en innvirkning, se Figur 5.



Figur 5: Vertikalsjiktningens påvirkning på skjermingseffekt. Figur: Lauris Boissonnot, Aqua Kompetanse AS

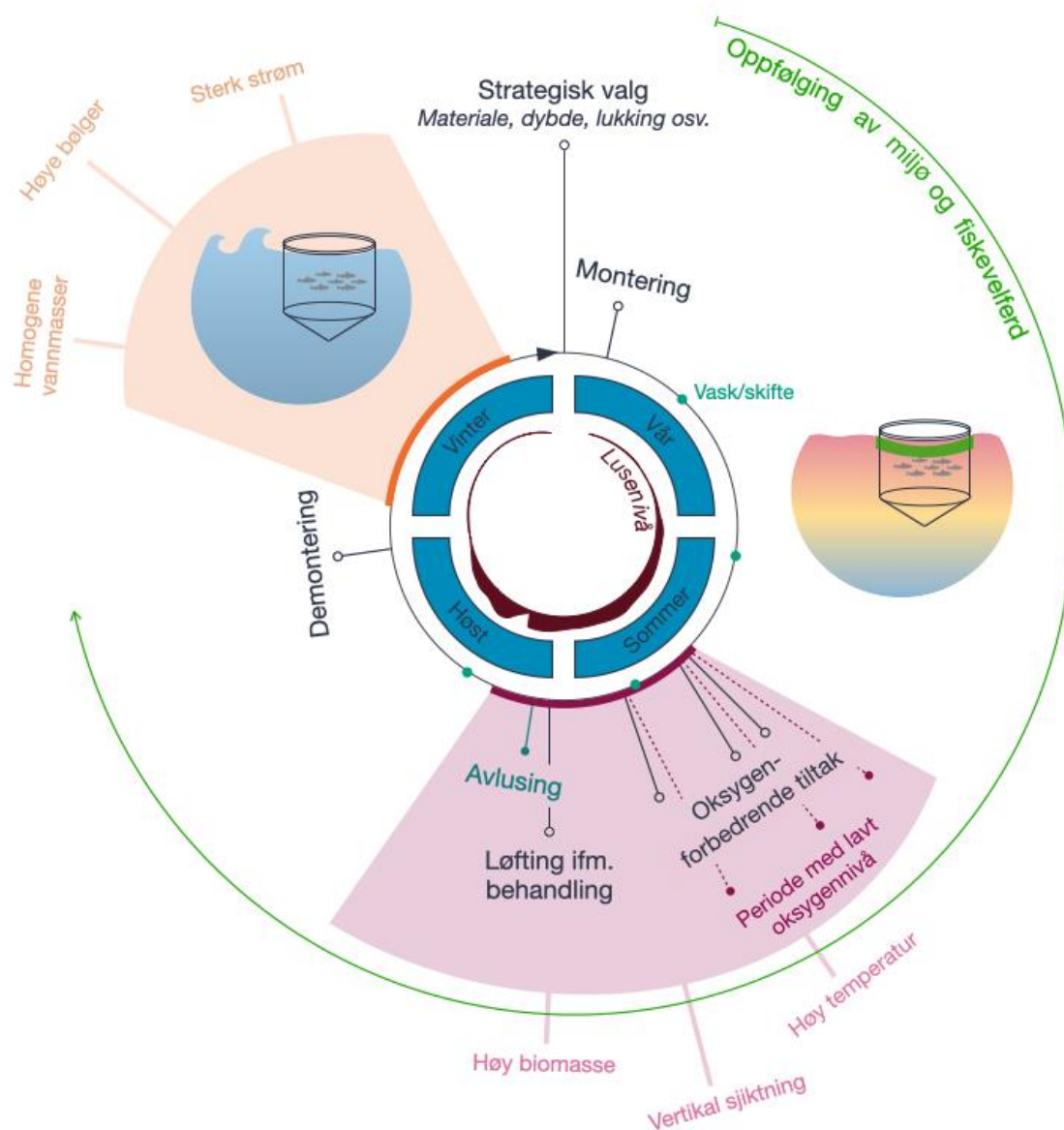
Det er to hypoteser som spiller inn på venstre side av merden. Det ene er skjermingseffekten ved at sprangsjiktet hindrer planktoniske stadier av lusa i overflatelaget å trenge opp under luseskjørtet. Den andre effekten er en vert-parasitt "mismatch" som en konsekvens av at laksen trekker dypere i merden på grunn av skjørtet. Her antar man at fisken vil få god beskyttelse i de øvre vannmassene i nota. Et viktig poeng er at det er risiko for oksygendropp i dette området, på grunn av redusert vannutskiftning. Figuren tar ikke høyde for lusas evne til å vertikalvandre.

På høyre side av figuren finnes det ikke et sprangsjikt og vannmassene er homogene. Her trengs det lite energi å dytte luselarver opp under luseskjørtet. På grunn av dette kan det tenkes at skjermingseffekten er dårligere sammenlignet med eksempelet på venstre side. Fordelen med homogen vannmasse er at risikoen for redusert oksygen minker.

Denne variasjonen kan inntreffe mellom lokaliteter, men endring av sjiktning oppstår også på samme lokalitet. Ved endring av miljøforhold med tiden og etter sesong, vil man få endrede betingelser som påvirker effekten av luseskjørtet.

5.6 Konklusjon

Vårt mål har vært å identifisere den beste praksis for bruk av luseskjørtet for å hente ut mest mulig effekt og å unngå negative forhold. Hovedelementer er presentert i et årshjul for et typisk vårutsett som viser de ulike sesongenes utfordringer og hvilke valg som oppdretteren kan ta (Figur 8). Disse valgene er i figuren beskrevet i sort tekst. Ingen år vil være like, og beslutningene må tas basert på målinger av fysiske parametere og smittepress, samt erfaringer fra egen lokalitet.



Figur 8. Årshjul for bruk av luseskjørt. Figur: Lauris Boissonnot, Aqua Kompetanse AS.

Forberedelser

I forkant av bruk må det gjøres noen strategiske valg, disse bør utføres av en tverrfaglig gruppe og valg må baseres på lokalitetens egenskaper (eksempelvis eksponeringsgrad, strømforhold, vertikalsjiktning, eksternt smittepress og bruk av eventuelt andre forebyggende metoder). Ut ifra dette velger man skjørtedyp, egenskaper på skjørt og tidsperiode for bruk. Elementer som bør ha særlig fokus er:

- I innkjøpsprosessen må både driftspersonell, fiskehelsepersonell, økonomiansvarlige og ledelse involveres.
- Man må kjøpe luseskjørt tilpasset den enkelte lokalitet. Alternative design og dimensjoner må utprøves basert på undersøkelse av lokalitetens miljøparametere.
- Luseskjørtets design må utvikles videre, spesielt med hensyn til lukking og omslutning av nota.
- Korrekt bruk krever god utveksling og formidling av kunnskap, internt i organisasjonene og på tvers av selskapene.

Montering

Med mindre eksponering for bølger, strøm og vind forhindrer det, skal luseskjørt være påmontert før fisken settes i sjøen. Vi ønsker allikevel at det holdes et hovedfokus på:

- Kvalitetssystemet må inneholde risikovurderinger og prosedyrer med tiltak som kan iverksettes om uønskede forhold som kan relateres til luseskjørt inntreffer.
- Produktdokumentasjon i form av brukerhåndbøker må ha et innhold som beskriver korrekt montering og trygg håndtering.
- Alle de ulike variantene av luseskjørt som er anskaffet må være omfattet av selskapets driftsrutiner og prosedyrer for bruk av luseskjørt, for å unngå feil bruk.

Første vår i sjø

Lavt lusenivå, lave temperaturer, lav biomasse og gode oksygenforhold for fisken. God overvåking av miljøparametere (oksygen, temperatur og salinitet) ved ulike dybder/ vertikal sjiktning gir et godt grunnlag for videre strategi. Bruk av rensefisk er gjerne en komplimenterende metode og kan gjerne benyttes i denne perioden. Vær likevel oppmerksom på:

- Luseskjørt kan kombineres med rensefisk, men bruk bør tilpasses rensefisk art og dens preferanser. Interaksjonen mellom rensefisk og laks kan påvirkes som følge av luseskjørt.

Vask og vedlikehold

Gode rutiner for vask av luseskjørt er en forutsetning for opprettholdelse av god vanngjennomstrømming ved bruk av gjennomstrømmingsskjørt. Godt vedlikehold av utstyr reduserer skader på utstyr som dermed forlenger skjermingseffekten.

- Korrekt utført vedlikehold øker luseskjørtets levetid.

Første sommer i sjø

Økende temperaturer, økt lusepress, etablering av vertikal sjiktning og redusert vannutskiftning i skjørtet kan medføre perioder med lavt oksygenivå. Løfting av skjørt eller pumpesystem for økt

vannutskiftning er mulige tiltak. Skjermingseffekten antas å være best i dette tidsrommet. Det må tas spesielle hensyn til:

- Oksygenforhold inne i nota må overvåkes kontinuerlig, spesielt når tetthet og biomasse er tiltagende og i perioder med høy temperatur og sjiktning av vannet. Overvåkning må gjøres i hele anlegget og på ulike dyp, også på utsiden av anlegget som referanse. Overvåkningen må utføres gjennom hele produksjonen.
- Gjellehelse må overvåkes kontinuerlig for å fatte riktige tiltak under bruk av luseskjørt. Denne overvåkningen foretas av fiskehelsepersonell eller opptrent personell fra lokaliteten.

Lusebehandling

Skjørtet løftes og må senkes umiddelbart etter at den enkelte merd er behandlet.

- Selv om det må gjennomføres lusebehandling gjelder det å ikke miste troen på at luseskjørt kan bidra til å holde lusenivået nede. Teknologien bør derfor brukes også etter første lusebehandling.

Høst

Høsten kan være en utfordrende tid. Sjøtemperaturen er fortsatt høy og redusert oksygenivå i merden kan oppstå. Eventuelle tiltak for å bedre oksygenforholdene bør vurderes. Fisken i merden har god tilvekst, men er samtidig utsatt for et stort lusepress. Mot slutten av høsten øker risikoen for uvær og vind og en må vurdere om luseskjørtene skal demonteres før vinteren.

- Sammenpressing av nota kan oppstå som følge av spesielle hydrografiske forhold (timeglassfasong), også i godt vær. Tiltak i form av trykkutjevning må iverksettes dersom nota deformeres.

Vinter

Den stabile sjiktningen som svekkes i løpet av høsten opphører på vinteren. Mer homogene vannmasser antas å redusere skjermingseffekten. Sjøtemperaturen synker, og lusepresset avtar. Høy eksponering med vær og vind kan føre til stor slitasje på luseskjørtene og kan begrense også bruken.

- På strømsterke lokaliteter må skjørt brukes med varsomhet, deformasjon av nota må unngås.
- På bølge- og vind eksponerte lokaliteter skal bruk tilpasses årstid, og eventuelt demonteres inntil forholdene blir bedre.

Andre vår/ sommer

Samme utgangspunkt som første sommer i sjø, men med høy biomasse. Høy risiko for redusert oksygenivå. Løfting av skjørt eller pumpesystem for økt vannutskiftning er nødvendig. Dersom tiltak ikke fungerer, må luseskjørt fjernes. Skjermingseffekten antas å være best i dette tidsrommet. En bør tilstrebe å beholde luseskjørt på så lenge som mulig uten at det går bekostning av produksjon og fiskehelse.

- Luseskjørtene må stå påmontert så lenge som mulig. Beslutning for å ta skjørt av må være velbegrunnet og basert på påviste negative forhold.

Litteraturliste AP3

- Barrett, L.T., Oppedal, F., Robinson, N., Dempster, T., 2020. Prevention not cure: a review of methods to avoid sea lice infestations in salmon aquaculture. *Rev. Aquac.* 12, 2527–2543. <https://doi.org/10.1111/raq.12456>
- Bricknell, I.R., Dalesman, S.J., O’Shea, B., Pert, C.C., Mordue Luntz, A.J., 2006. Effect of environmental salinity on sea lice *Lepeophtheirus salmonis* settlement success. *Dis. Aquat. Org.* 71, 201–212. <https://doi.org/10.3354/dao071201>
- Bui, S., Stien, L., Nilsson, J., Oppedal, F., 2018. Rapport fra Havforskningen prosjekt nr 14597-06. Assessment of long-term implementation of sea lice prevention technologies: efficiency in reducing infestations and impact on fish welfare. <https://imr.brage.unit.no/imr-xmlui/bitstream/handle/11250/2582581/rh45-2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Bui, S., Oppedal, F., Nilsson, J., Oldham, T. M. W., Stien, H.H., 2019. Sluttrapport FHF 901154 fra Havforskningen. Summary and status of deep lights and deep feed use in commercial settings: welfare, behaviour and infestation at three case study sites. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901154/>
- Bui, S., Stien, L.H., Nilsson, J., Trengereid, H., Oppedal, F., 2020. Efficiency and welfare impact of long-term simultaneous in situ management strategies for salmon louse reduction in commercial sea cages. *Aquaculture* 520, 734934. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734934>
- Cerbule, K., Godfroid, J., 2020. Salmon Louse (*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)) Control Methods and Efficacy in Atlantic Salmon (*Salmo salar* (Linnaeus)) Aquaculture: A Literature Review. *Fishes* 5, 11. <https://doi.org/10.3390/fishes5020011>
- Coates, A., Phillips, B.L., Oppedal, F., Bui, S., Overton, K., Dempster, T., 2020. Parasites under pressure: salmon lice have the capacity to adapt to depth-based preventions in aquaculture. *International Journal for Parasitology, Special issue on ‘Fish Parasitology’* 50, 865–872. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2020.05.009>
- Coates, A., Phillips, B.L., Oppedal, F., Bui, S., Overton, K., Dempster, T., 2020. Parasites under pressure: salmon lice have the capacity to adapt to depth-based preventions in aquaculture. *International Journal for Parasitology, Special issue on ‘Fish Parasitology’* 50, 865–872. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2020.05.009>
- Coates, A., Johnsen, I.A., Dempster, T., Phillips, B.L., 2021a. Parasite management in aquaculture exerts selection on salmon louse behaviour. *Evolutionary Applications* 14, 2025–2038. <https://doi.org/10.1111/eva.13255>
- Coates, A., Phillips, B.L., Bui, S., Oppedal, F., Robinson, N.A., Dempster, T., 2021b. Evolution of salmon lice in response to management strategies: a review. *Reviews in Aquaculture* 13, 1397–1422. <https://doi.org/10.1111/raq.12528>
- Crosbie, T., Wright, D.W., Oppedal, F., Johnsen, I.A., Samsing, F., Dempster, T., 2019. Effects of step salinity gradients on salmon lice larvae behaviour and dispersal. *Aquaculture Environment Interactions* 11, 181–190. <https://doi.org/10.3354/aei00303>
- Frank, K., Gansel, L.C., Lien, A.M., Birkevold, J., 2014. Effects of a Shielding Skirt for Prevention of Sea Lice on the Flow Past Stocked Salmon Fish Cages. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* 137. <https://doi.org/10.1115/1.4028260>
- Frank, K., Lien, A.M., 2015. Permaskjørt og merdmiljø - Permaskjørt A4, 23. SINTEF Fiskeri og Havbruk. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2448611>
- Frenzl, B., Stien, L.H., Cockerill, D., Oppedal, F., Richards, R.H., Shinn, A.P., Bron, J.E., Migaud, H., 2014. Manipulation of farmed Atlantic salmon swimming behaviour through the adjustment of lighting and feeding regimes as a tool for salmon lice control. *Aquaculture* 424–425, 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.12.012>
- Gansel, L.C., Plew, D.R., Endresen, P.C., Olsen, A.I., Misimi, E., Guenther, J., Jensen, O., 2015. Drag of Clean and Fouled Net Panels - Measurements and Parameterization of Fouling. *PLoS One* 10, e0131051. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131051>
- Geitung, L., Oppedal, F., Stien, L.H., Dempster, T., Karlsbakk, E., Nola, V., Wright, D.W., 2019. Snorkel sea-cage technology decreases salmon louse infestation by 75% in a full-cycle commercial test. *International Journal for Parasitology* 49, 843–846. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2019.06.003>
- Grøntvedt, R.N., Kristoffersen A.B., 2015. Delrapport Permaskjørt -prosjektet A5. Rapport nr 2. fra Norsk Veterinærinstitutt. Permaskjørt kan redusere påslag av lakselus - analyse av felldata. <https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2015/permaskjort-kan-reducere-p%C3%B8rt-kan-reducere-p%C3%A5slag-av-lakselus>
- Grøntvedt, R.N., Kristoffersen, A.B., Jansen, P.A., 2018. Reduced exposure of farmed salmon to salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* L.) infestation by use of plankton nets: Estimating the shielding effect. *Aquaculture* 495, 865–872. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.069>

- Heuch, P., 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, 681–689. <https://doi.org/10.1139/f95-069>
- Holan, A.B. Roth, B. Breiland, M.S.J., Kolarevic, J., Hansen, Ø.J., Iversen, A. Hermansen, Ø.Gjerde, B. Hatlen, B. Mortensen, A., Lein, I. Johansen, L.-H., Noble, C., Gismervik, K., Espmark, Å. M., 2017. Sluttrapport FHF prosjekt nr.901296. Beste praksis for medikamentfrie metoder for lakseluskontroll (MEDFRI). <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901296/>
- 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, 1573–1586. <https://doi.org/10.1111/jfd.13080>
- Jevne, L.S., Guttu, M., Batnes, A.S., Olsen, Y., Reitan, K.I., 2021. Planktonic and Parasitic Sea Lice Abundance on Three Commercial Salmon Farms in Norway Throughout a Production Cycle. *Front. Mar. Sci.* 8, 615567. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.615567>
- Johansen, B.B., 2014. Sluttrapport FHF prosjekt 900834. Luseskjørt dokumentasjon av praktisk bruk og nytte. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/900834/>
- Johnsen, I., Fiksen, Ø., Sandvik, A., Asplin, L., 2014. Vertical salmon lice behaviour as a response to environmental conditions and its influence on regional dispersion in a fjord system. *Aquaculture Environment Interactions* 5, 127–141. <https://doi.org/10.3354/aei00098>
- Johansson, D., Ruohonen, K., Kiessling, A., Oppedal, F., Stiansen, J.-E., Kelly, M., Juell, J.-E., 2006. Effect of environmental factors on swimming depth preferences of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and temporal and spatial variations in oxygen levels in sea cages at a fjord site. *Aquaculture* 254, 594–605. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.10.029>
- Jónsdóttir, K., Volent, Z., Alfredsen, J.A., 2020. Dynamics of dissolved oxygen inside salmon sea-cages with lice shielding skirts at two hydrographically different sites. *Aquaculture Environment Interactions* 12. <https://doi.org/10.3354/aei00384>
- Jónsdóttir, K.E., Klebert, P., Volent, Z., Alfredsen, J.A., 2021a. Characteristic current flow through a stocked conical sea-cage with permeable lice shielding skirt. *Ocean Eng.* 223, 108639. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108639>
- Jónsdóttir, K.E., Volent, Z., Alfredsen, J.A., 2021b. Current flow and dissolved oxygen in a full-scale stocked fish-cage with and without lice shielding skirts. *Appl. Ocean Res.* 108, 102509. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102509>
- Klebert, P., Su, B., 2020. Turbulence and flow field alterations inside a fish sea cage and its wake. *Appl. Ocean Res.* 98, 102113. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102113>
- Kvale, S., og Brinkmann, S., 2019. Det kvalitative forskningsintervju. 5. utgave. Gyldendal Norsk Forlag.
- Lien, A.M., Sunde, L.M., Bekkevold, A., 2016. Seminar: Luseskjørt og snorkelmerd - Kunnskap, teknologi og metoder for best mulig utnyttelse av skjørt og snorkel for skjerming av oppdrettslaks mot lakselus, 13. SINTEF Fiskeri og Havbruk. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2447404>
- Lien, A.M., Volent, Z., Jensen, O., Lader, P., Sunde, L.M., 2014. Shielding skirt for prevention of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infestation on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in cages - A scaled model experimental study on net and skirt deformation, total mooring load, and currents. *Aquac. Eng.* 58, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2013.11.003>
- Lind, M.B., 2015. Masteroppgave i fiskehelse ved UiT: Fluidpermeabelt luseskjørt (SalGard™) og fiskevelferd i oppdrett av atlantisk laks (*Salmo Salar* L.) i Nord-Norge. <https://munin.uit.no/handle/10037/7749>
- Mathisen, R., 2015. Erfaringer fra fullskala bruk av luseskjørt basert på planktonduk (Salgard) I Øksfjord (Lødingen/Vågan) 2013-2015. Rapport fra Nordlaks.
- Midtlyng, P.M., Velzen, T.v., Aunsmo, A., Førde, H., Stormoen, M., Storsul, T., Munkeby, M., 2019. Faglig sluttrapport for prosjekt 901453: Dokumentasjon av lusebeskyttelse med "Midt-Norskringen". <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901453/>
- Nelson, E.J., Robinson, S.M.C., Feindel, N., Sterling, A., Byrne, A., Pee Ang, K., 2018. Horizontal and vertical distribution of sea lice larvae (*Lepeophtheirus salmonis*) in and around salmon farms in the Bay of Fundy, Canada. *Journal of Fish Diseases* 41, 885–899. <https://doi.org/10.1111/jfd.12692>

- Nilsen, A., Nielsen, K.V., Biering, E., Bergheim, A., 2017. Effective protection against sea lice during the production of Atlantic salmon in floating enclosures. *Aquaculture* 466, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.009>
- Næs, M., Heuch P.M., Mathisen, R., 2012. Rapport fra NCE Aquaculture. Bruk av luseskjørt for å redusere påslag av lakselus *Lepeoptheirus salmonis* (Krøyer) på oppdrettslaks. <https://lusedata.no/wp-content/uploads/2012/09/Bruk-av-luseskj%c3%b8rt-for-%c3%a5-redusere-p%c3%a5slag-av-lakselus-Lepeoptheirus-salmonis-Kr%c3%b8yer-p%c3%a5-oppdrettslaks-2.pdf>
- Næs, M., Grøntvedt, R.N., Kristoffersen, A.B., Johansen, B., 2014. Faglig rapport 4. mars til FHF prosjekt 900834. Feltutprøving av planktonduk som skjerming rundt oppdrettsmerder for å redusere påslag av lakselus (*Lepeoptheirus salmonis*). <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/900834/>
- Oppedal, F., Dempster, T., Stien, L.H., 2011. Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: A review. *Aquaculture* 311, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.11.020>
- Samsing, F., Johnsen, I., Stien, L.H., Oppedal, F., Albretsen, J., Asplin, L., Dempster, T., 2016. Predicting the effectiveness of depth-based technologies to prevent salmon lice infection using a dispersal model. *Prev. Vet. Med.* 129, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.05.010>
- Stien, L.H., Nilsson, J., Hevrøy, E.M., Oppedal, F., Kristiansen, T.S., Lien, A.M., Folkedal, O., 2012. Skirt around a salmon sea cage to reduce infestation of salmon lice resulted in low oxygen levels. *Aquacultural Engineering* 51, 21–25. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.06.002>
- Stien, L.H., Lind, M.B., Oppedal, F., Wright, D.W., Seternes, T., 2018. Skirts on salmon production cages reduced salmon lice infestations without affecting fish welfare. *Aquaculture* 490, 281–287. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.02.045>
- Trengereid, H., Bui, S., Gentry, K., Pittman, K., 2020. Faglig sluttrapport fra Centre for Aquacultur Competence FHF 901243. Test av ulike kombinasjoner tiltak til beskyttelse mot lakselus. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901243/>
- Volent, Z., og Bekkevoll, A., 2017. Rapport del av SKJERMTEK, FHF prosjekt nr 901396: Erfaringsdelingsseminar med demoforsøk (901405). <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901405/>
- Volent, Z, Jónsdóttir, K.E., 2019. Rapport FHF prosjekt nr 901396: Strategi lakselus 2017: Luseskjørt som ikke-medikamentell metode for forebygging og kontroll av lakselus -Utvikling av kunnskap om miljøforhold for økt effekt og redusert risiko (SKJERMTEK) FHF prosjekt nr.: 901396. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901396/>
- Volent, Z, Jónsdóttir, K.E. Misund, A., Steinhovden, K.B., Chauton, M.S., Sunde, L.M., 2020. Sluttrapport FHF prosjekt nr 901396: Strategi lakselus 2017: Luseskjørt som ikke-medikamentell metode for forebygging og kontroll av lakselus -Utvikling av kunnskap om miljøforhold for økt effekt og redusert risiko (SKJERMTEK). <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901396/>
- Wright, D.W., Stien, L.H., Oppedal, F., Sievers, M., Ditria, E., Trengereid, H., 2019. Rapport fra Havforskningen til FHF prosjekt 901469. The Well – Mixing skirt and freshwater lens concepts with smart-lighting and -feeding to enhance lice prevention and safeguard fish welfare. 34. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901469/>

5.7 AP4. Storskala testing av effekt hos rensefisk med og uten CFC (CLOSED FISH CAGE)

Målet med denne arbeidspakken er å vurdere helsen og beiteeffektiviteten til rognkjeks etter at de er overført til full-skala oppdrettsmerder i sjø.

ClosedFishCage AS har utviklet et system for luseskjørt som brukes sammen med en impeller (CFC) som kan aktiveres når det er nødvendig for å løfte sjøvann fra dybden for å få et passende oksygenivå når det er nødvendig. Luseskjørtet fungerer som en fysisk barriere som forhindrer de smittsomme stadiene av lakselus å komme inn i merden. Tidligere studier på kommersielle oppdrettsanlegg har vist gode reduksjoner i infeksjonsnivåer ved hjelp av denne metoden. Hovedformålet med denne studien er å belyse effekten av et CFC-system som brukes med og uten rognkjeks for å kontrollere nivået av lakselus.

Rapporten tilknyttet til AP4 er skrevet på engelsk.

Abstract/Summary AP4

To compare sea lice infestation levels in commercial polar circle cages equipped with the Gifas Closed Fish Cage System (CFC) in the presence or absence of lumpfish and compared growth performance and health of lumpfish fed with feed blocks or pelleted feed, six 90 m polar circle cages containing approximately 150,000 Atlantic salmon with a mean weight of 500 g were equipped with CFC systems. In addition, four of the cages were stocked with lumpfish with two cages fed with feed blocks and two fed with pelleted feed. The mean weight of the lumpfish was 71 g.

There was a clear difference in sea lice infestation levels between the dietary treatments. Cages stocked with lumpfish fed with feed blocks had frequently lower levels of pre-adult and mature female *L. salmonis* compared to cages stocked with lumpfish fed with pelleted feed and cages with no lumpfish present. Using feed blocks as a maintenance feed may enhance lice grazing efficacy of lumpfish and more prolonged studies are required to fully elucidate this potential.

5.7.1 Results

Sea lice infestation levels

CFC cages with lumpfish fed with fed blocks v CFC cages with no lumpfish

Chalimus stages of L. salmonis

Infestation levels were higher during weeks 1, 2 and 4 (between 33% and 67%) in the CFC cages with lumpfish compared to cages with no lumpfish (figure 3A; $P > 0.05$). During weeks 7, 9, 10 and 12, there was a trend for lower infestation levels in the CFC cages stocked with lumpfish compared to the CFC cages with no lumpfish with percentage differences ranging between 13% and 50%. There were no chalimus stages recorded during weeks 5, 6, 8 and 13).

Pre-adult stages of L. salmonis

Levels of pre-adult stages varied within and between treatments (figure 3B). There were lower or comparable infestation levels recorded for the cages stocked with lumpfish compared to the CFC cages with no lumpfish during eight of the thirteen weeks with cages stocked with lumpfish having significantly lower levels at week 2 (0.11 pre-adult stages per fish) compared to cages with no lumpfish (0.29 pre-adults per fish; $P < 0.05$).

Mature female L. salmonis

Levels for mature female stages of *L. salmonis* fluctuated but remained low throughout the study period for both treatments with the highest levels exceeding treatment threshold recorded during weeks 4 and 9 (0.1 mature females per fish: figure 3C). Cages stocked with lumpfish had lower infestation levels on four occasions with no mature female lice recorded during weeks 3 and 9.

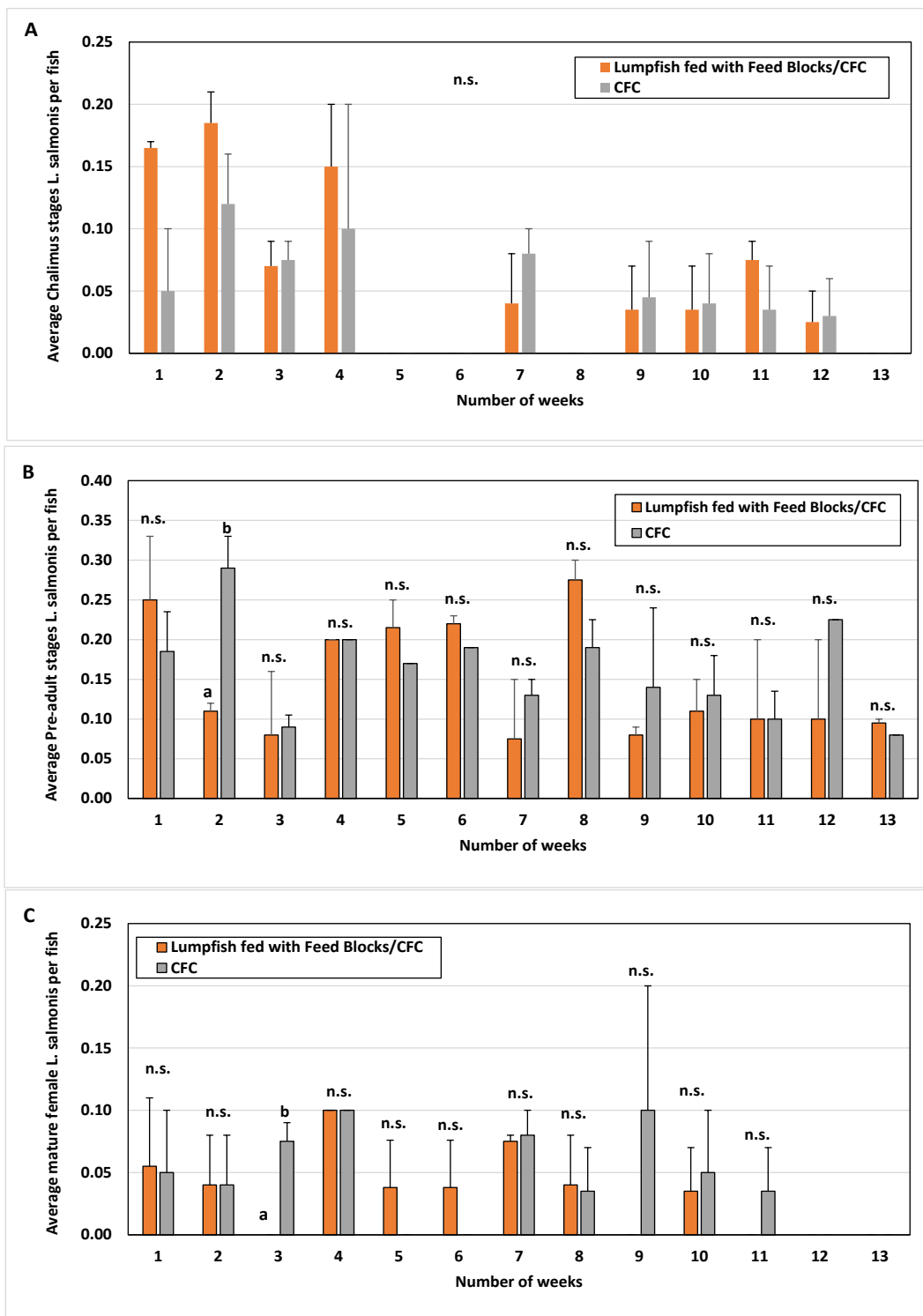


Figure 3 Mean occurrence of the chalimus (A), pre-adult (B), adult female (C) stages of *L. salmonis* per salmon (n = 40) in CFC cages with lumpfish present and fed with feed blocks and without lumpfish.

CFC cages with lumpfish fed with pelleted feeds v CFC cages with no lumpfish
Chalimus stages of *L. salmonis*

Infestation levels were frequently higher in cages stocked with lumpfish which were fed pelleted feed compared to cages with only the CFC system in operation. Infestation levels were higher on 8 out of the 12 weeks when these stages were found to be present (figure 4A). Infestation levels ranged between 0.0 and 0.2 per fish for cages with lumpfish and between 0.0 and 0.12 per fish fitted only with the CFC system.

Pre-adult stages of L. salmonis

For pre-adult stages, a similar trend was observed with cages stocked with lumpfish having comparable or higher infestation levels during 10 of the 12 weeks (figure 4B). The highest infestation level was recorded during week 11 with 0.41 pre-adult stages per fish recorded in cages with lumpfish compared to 0.1 stages per fish with cages with no lumpfish present.

Mature female L. salmonis

There were higher or comparable infestation levels of mature female *L. salmonis* on 11 of the 13 weeks of the study for cages containing lumpfish fed with pelleted feed (figure 4C). Infestation levels surpassed treatment threshold of 0.05 mature females per fish on 10 of the weeks for the lumpfish treat met group whereas, the CFC cages with no lumpfish present exceeded the treatment threshold value on only 4 occasions during the study period. The highest infestation level for cages with lumpfish occurred during week 1 (0.22 per fish) which was 77% higher compared to cages with no lumpfish (0.05 per fish).

Lumpfish fed with feed blocks v lumpfish fed with pelleted feed

Chalimus stages of L. salmonis

Cages with lumpfish fed with feed blocks had predominantly comparable or lower infestation levels of chalimus stages of *L. salmonis* on seven out of the 12 weeks when this stage was present compared to cages with lumpfish fed with pelleted feed (figure 5A). There were significant differences recorded at weeks 5 and 6. The highest levels of infection occurred at week 2 for cages with lumpfish fed with feed blocks (0.19 chalimus stages per fish) whereas, the highest infection level for cages with lumpfish fed with pelleted feed occurred at week 7 with 0.19 chalimus stages per fish.

Pre-adult stages of L. salmonis

A similar trend was observed for pre-adult stages of *L. salmonis* with cages stocked with lumpfish fed with feed blocks having similar or lower infection levels compared to lumpfish fed with pelleted feed on 9 out of 13 weeks during the study period (figure 5B) with percentage differences ranging between 12% and 75%.

The average number of pre-adult stages recorded for the feed block treatment group ranged between 0.08 and 0.28 per fish compared to the pelleted feed group which ranged between 0.07 and 0.41 per fish.

Mature female L. salmonis

There were consistently less mature female *L. salmonis* in the cages where the lumpfish were fed with feed blocks compared to the pelleted feed group (figure 5C). Percentage differences ranged between

28% and 100% lower infestation levels for the feed block group compared to the pelleted feed group. In the feed block group, the treatment threshold was exceeded 3 times during the 13-week period whereas for the pelleted feed group it was exceeded on 10 of the weeks. At weeks 3, 9, 11 and 12 no mature female *L. salmonis* was recorded for the feed block group whereas this occurred only at week 9 for the pelleted feed group.

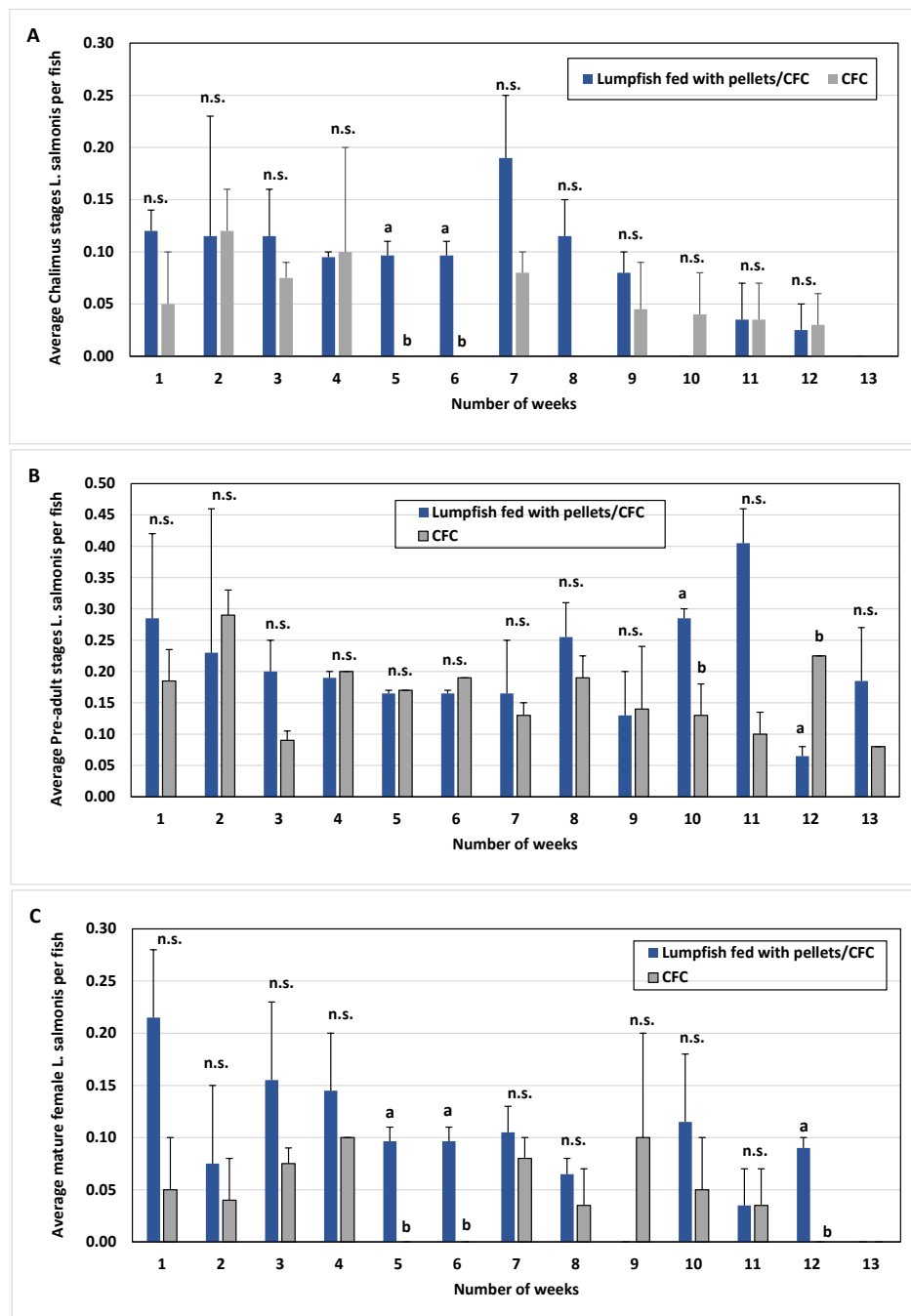


Figure 4 Mean occurrence of the chalimus (A), pre-adult (B), adult female (C) stages of *L. salmonis* per salmon (n = 40) in CFC cages with lumpfish present and fed with pelleted feed and without lumpfish.

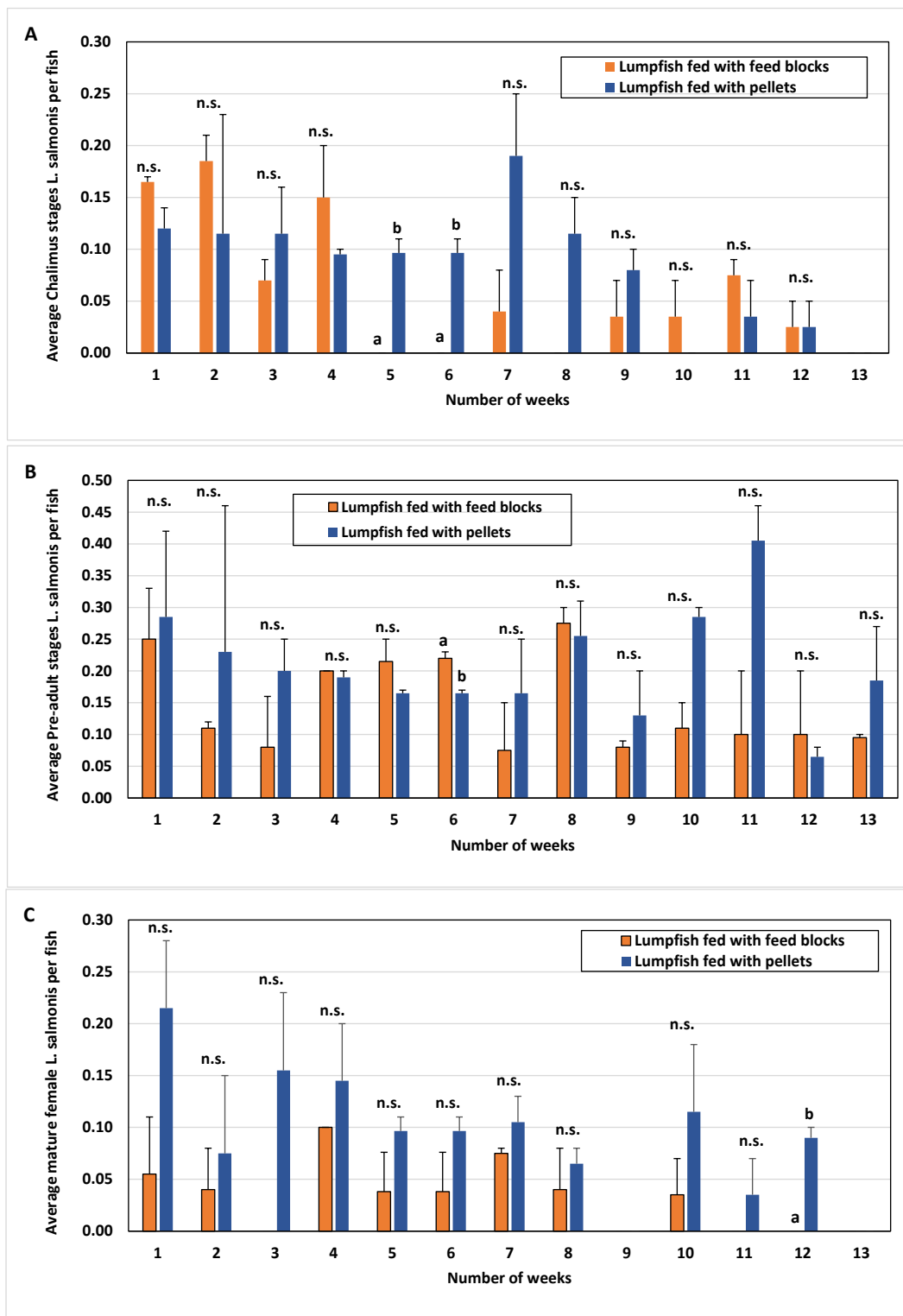


Figure 5 Mean occurrence of the chalimus (A), pre-adult (B), adult female (C) stages of *L. salmonis* per salmon (n = 40) in CFC cages with lumpfish fed with pelleted feed or feed blocks.

Health and mortality of lumpfish.

There were many dead lumpfish pumped from the well boat to the cages. The percentage of dead lumpfish recorded on the day of transfer can be seen in figure 6. The number of dead lumpfish per cage directly associated during transfer were 3902 for cage 302; 1540 for cage 304; 1934 for cage 311 and 3143 for cage 313. Mortality rates decreased after day 1 ranging from 0.2% for cage 311 to 6.1% for cage 313.

At week 12, the total number of dead fish in all four cages was calculated at 14147 (table 1) and the total cumulative percentage mortality was 26.3%. Of the total mortality, cages 302 and 313 had the highest proportion (36.62% and 30.32%). Cages 304 and 311 accounted for 15.06% and 17.99% of total mortality (table 1).

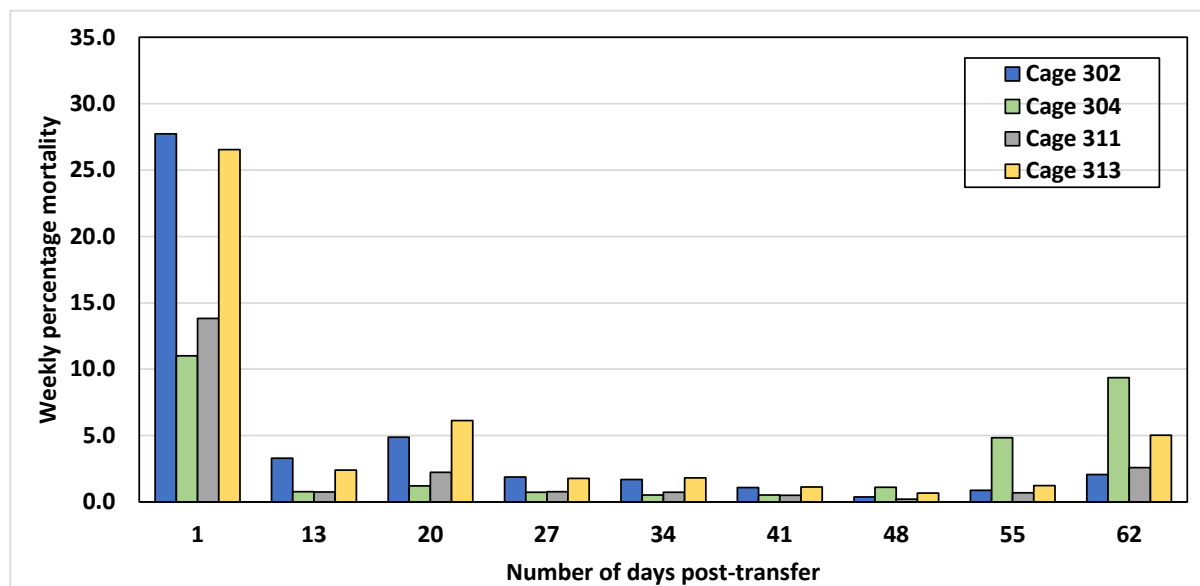


Figure 6 Mean weekly percentage mortality of lumpfish stocked in each of the four polar circle cages.

Table 1 Total mortality per cage and percentage distribution of mortality per cage.

Week 12	Cage 302	Cage 304	Cage 311	Cage 313	Overall
Total dead fish	5181	2131	2545	4290	14147
% Cummulative mortality	36.62	15.06	17.99	30.32	26.3

The calculated percentage stocking density was estimated to be 10% on arrival. After initial mortalities on day 1, the start stocking density for each cage was 6.8% for cage 302, 9.4% for cage 304, 7.9% for cage 311 and 6.5% for cage 313 (figure 7). Stocking densities continued to decrease as mortality persisted in all four cages and at day 41, stocking densities were 6.0% for cage 302, 9.0% for cage 304, 7.6% for cage 311 and 5.7% for cage 313 (figure 7).

Health status was undertaken routinely on all cages stocked with lumpfish. Mean health scores for each dietary treatment can be seen in figure 8. Health status on the remaining fish after transfer was

3.9 and 3.1 for fish fed with feed blocks and fish fed with pelleted feed respectively. Health deteriorated during the period and at day 38 fish fed with feed blocks had a mean health score of 9.4 compared to 8.3 for fish fed with pelleted feed. There were no significant differences between the groups during this period ($P > 0.05$).

Both treatment groups had a high incidence of cataracts at day 1 with 75% of fish fed with feed blocks and 70% of fish fed with pelleted feed recorded with cataracts (figure 9). Prevalence increased through time and at day 38 had increased to 95% for the feed block group and 90% for the pelleted feed group. All cataracts were bilateral.

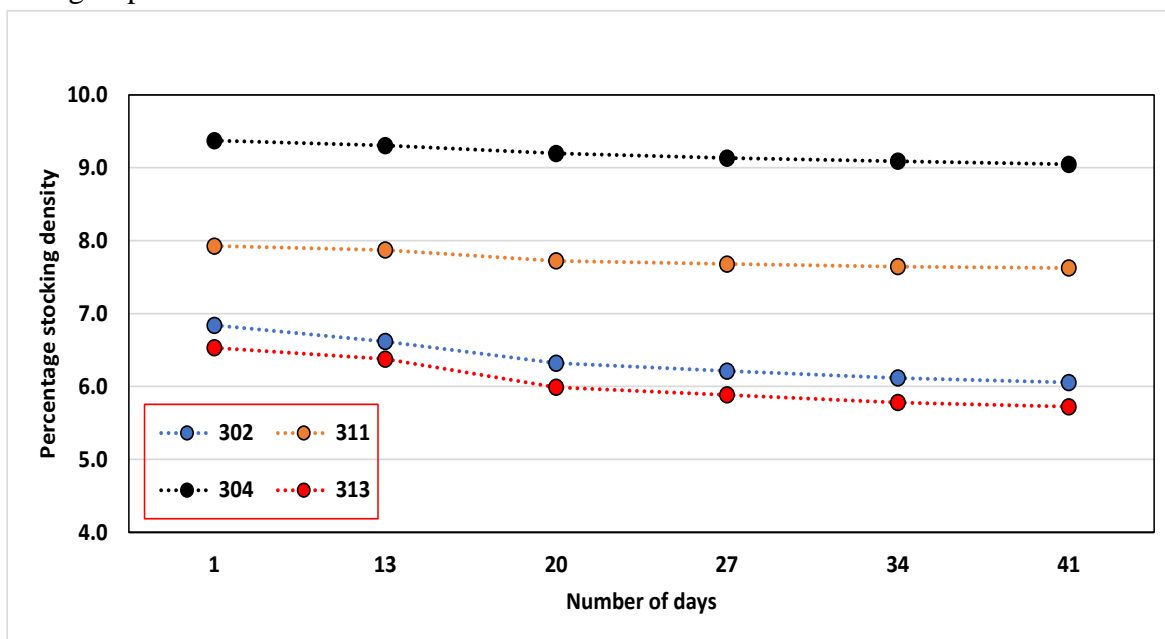


Figure 7 Calculated stocking density of lumpfish in each cage through time.

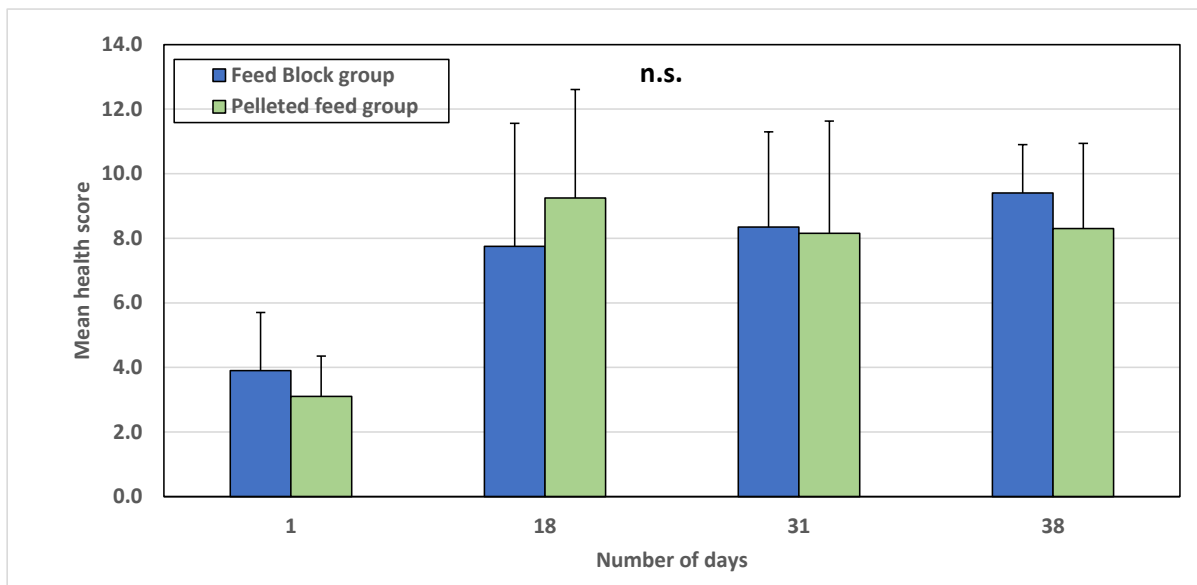


Figure 8 Mean calculated health scores of sampled fish from both dietary treatments. Values represent means \pm SD. Different letters indicate significant differences (SNK test, $P < 0.05$); n.s., not significant.

Due to a higher observed mortality in all four cages at day 62 (figure 6), weekly health screening was undertaken, and samples drawn from each cage for histology and PCR analysis. Results from histology showed high densities of filamentous bacteria, possibly *Tenacibaculum* species. Several individual lumpfish also exhibited symptoms of systemic infection (bacterial sepsis).

PCR analysis supported the histology findings and additionally, *Moritella viscosa* was detected in several individual and some sampled fish exhibited symptoms of emaciation.

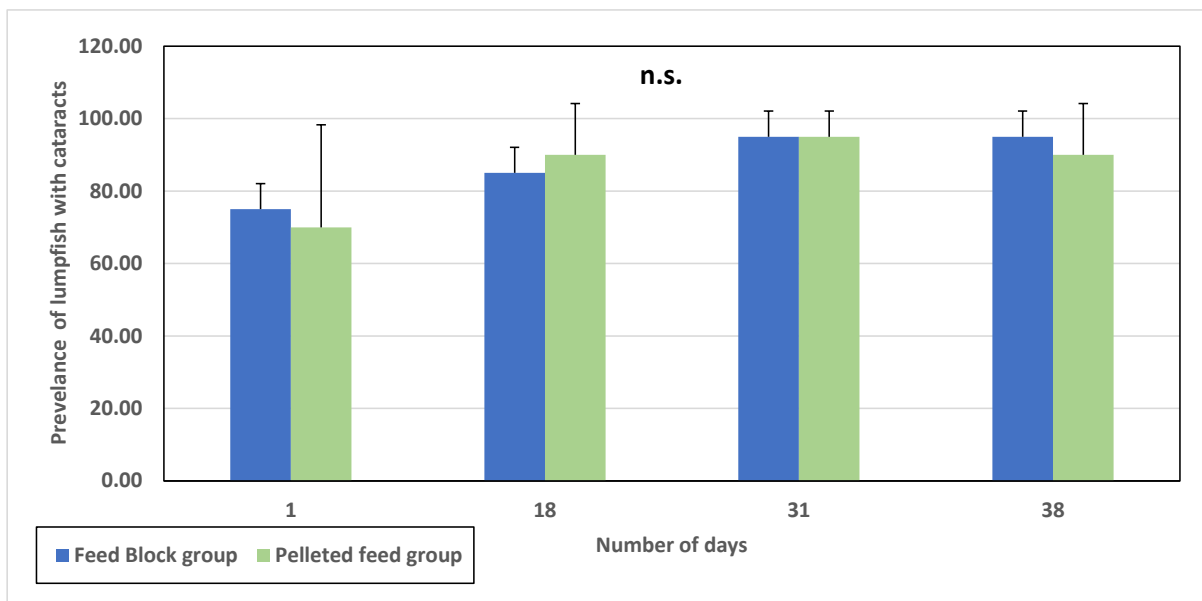


Figure 9 Occurrence of lumpfish with cataracts (% prevalence) calculated for each group. Values represent means \pm SD. Different letters indicate significant differences (SNK test, $P < 0.05$); n.s., not significant.

5.7.2 Discussion

Sea lice infestation levels

There were significant differences in sea lice infestation levels between cages stocked with and without lumpfish and between the two feed treatments. Infestation levels of *Chalimus* stages of *L. salmonis* varied throughout the study period with little significant differences between the treatments (figures 3, 4 and 5). However, there were frequently more chalimus stages observed in the CFC cages not stocked with lumpfish compared to the cages stocked with lumpfish fed with feed blocks. Whereas cages stocked with lumpfish fed with pelleted feed frequently had higher infestation levels compared to the cages with no lumpfish. A similar trend was observed for pre-adult stages of *L. salmonis*. The differences in chalimus and pre-adult stages in the cages with lumpfish fed with feed blocks and to a lesser extent, lumpfish fed with pelleted feed, indicate sea lice grazing which further enhanced the reductions potentially due to the presence of the lice skirts. The differences recorded for mature female stages suggest that lumpfish fed with feed blocks had a much stronger grazing response compared to lumpfish fed with pelleted feed. The treatments threshold of 0.05 mature female lice was only passed on three occasions in the cages with the feed block treatments group compared to nine occasions in the cages stocked with the pelleted feed group (figure 4). When both lumpfish groups were directly compared, it was evident that there was a clearer stronger grazing effect when the lumpfish were fed with feed blocks compared feeding with pelleted feed (figure 5).

High growth is not an aim for lumpfish used as cleaner fish as previous studies undertaken at Gifas have shown that smaller lumpfish tend to consume more sea lice compared to larger lumpfish. Once lumpfish attain a mean weight over 200g then sea lice grazing behaviour generally decreases (Imstrand *et al* 2021). If growth can be controlled the operational window of lumpfish will be extended. Data from a recent study showed that one group of lumpfish fed with feed blocks attained a mean weight of 53.8g at day 93 whilst the other group fed with commercial lumpfish pelleted feed attained a mean weight of 102.5g during the same period. This represents a difference of 48% lower mean weight for the fish fed with feed blocks. Using growth modelling (GIFAS Lumpfish growth model) for each group, the fish with pellets would have attained 200g at day 144 whilst for fish fed with feed blocks, 200g would have been attained at day 182. This represents a difference of 38 days extra when these fish are at their optimal size to graze sea lice. These growth differences allow for end users of lumpfish in commercial cages to alter their stocking strategies and potentially reduce the number of times restocking of lumpfish occurs as well as enhancing sea lice grazing potential.

Sea lice skirt act as a barrier to salmon lice. Lice skirts are widely used, with >900 lice skirts sold by a single company in 2017 (Gentry *et al* 2020), with 2 to 3 skirts used depending upon cage size (Nodland 2017). Previous research has shown that lice skirts can reduce infestation levels by 30% (with a 5 m skirt; Grøntvedt *et al.* 2018) to 80% (10 m skirt; Stien *et al.* 2018). However, lice skirts can reduce dissolved oxygen concentrations in cages (Stien *et al.* 2012, 2018), which can lead to poor welfare and reduced growth of salmon (Oppedal *et al.* 2011). The lice skirts used in this study were 7m deep and dissolved oxygen concentrations were maintained at safe levels. If required dissolved oxygen levels could have been increased by activation of the CFC impeller system which would pump

fresh seawater from depth. Previous studies have shown that dissolved oxygen concentrations can be maintained even during feeding when they are likely to decrease due to biological oxygen demand when the CFC system was activated (Reynolds; unpublished data).

The combined reductions observed in this study show that lumpfish and lice skirt systems can reduce sea lice infestation levels when used in tandem. However, the study period was relatively short and further longer-term studies are required to fully elucidate this potential using combined treatment methods.

Mortality and health of lumpfish

The high level of mortality observed upon arrival was as a result of acute stress during transport initially caused by a malfunctioning oxygenation system on the well-boat. There were further complications as the incidence went unobserved for some time. Further, when lumpfish were being pumped out into the cages, the transfer hose became detached from the pump and as a result large numbers of lumpfish were being ejected onto the deck of the well-boat. The levels of mortality did decrease during the first week post-transfer however, the lumpfish continued to show signs of stress by swimming erratically around the cage and many showing disinterest in offered feed. There was a proportion of the populations in each cage that appear to have adapted and recovered as observed by the differences in sea lice counts in these cages compared to cages with no lumpfish. Due to the concern that welfare had been compromised and given the initially high levels of mortality, sampling regimes were initiated (histology and PCR), the results indicated that as mortality rates started to increase at day 62, results showed high densities of filamentous bacteria, possibly *Tenacibaculum* species and the presence of *Moritella viscosa* with several individual lumpfish also exhibited symptoms of systemic infection (bacterial sepsis). During this time point, mean health scores were increasing and there were clearly drastic reductions in health in all populations. At this point, it was decided to initiate the removal and euthanise all remaining lumpfish from the cages to prevent further suffering.

The cause of the initial mortality which was caused by human and mechanical error indicated that prolonged acute and chronic stress of lumpfish can result in a higher risk of secondary mortality caused by opportunistic bacteria as observed during this study. The high levels of mortality observed in commercial cages over the years was often associated as bacterial being the primary causal agent and this may not be the case as stress events can lead to deterioration in health and compromised immune status which in turn may lead to secondary mortality due to bacterial agents.

5.7.3 Conclusions

There was a clear difference in sea lice infestation levels between the treatments. Cages stocked with lumpfish fed with feed blocks had frequently lower levels of pre-adult and mature female *L. salmonis* compared to cages stocked with lumpfish fed with pelleted feed and cages with no lumpfish present. Using feed blocks as a maintenance feed may enhance lice grazing efficacy of lumpfish and more prolonged studies are required to fully elucidate this potential.

Mortality of lumpfish primarily resulting from human and mechanical failures seriously affected the study which was planned to continue. However, the presence of opportunistic bacteria and the increased mortality observed along with deteriorating welfare resulted in abrupt cessation of the study and the euthanizing of remaining lumpfish to prevent further suffering.

References AP4

- Gentry, K., Bui, S, Oppedal, F and Dempster T. (2020) Sea lice prevention strategies affect cleaner fish delousing efficacy in commercial Atlantic salmon sea cages. *Aquaculture Environment Interactions*. Vol. 12: 67 – 80.
- Grøntvedt RN, Kristoffersen AB, Jansen PA (2018) Reduced exposure of farmed salmon to salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* L.) infestation by use of plankton nets: Estimating the shielding effect. *Aquaculture* 495: 865–872
- Imsland, A.K., Reynolds, P., Eliassen, G., Hangstad, T.A., Foss, A., Vikingstad, E., Elvegård, T.A., 2014a. The use of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) to control sea lice (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer) infestations in intensively farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 425-426, 18–23.
- Imsland, A.K., Reynolds, P., Eliassen, G., Hangstad, T.A., Nytrø, A.V., Foss, A., Vikingstad, E., Elvegård, T.A., 2014b. Notes on behaviour of lumpfish in sea pens with and without Atlantic salmon. *J. Ethol.* 32, 117–122.
- Imsland, A.K., Reynolds, P., Eliassen, G., Hangstad, T.A., Nytrø, A.V., Foss, A., Vikingstad, E., Elvegård, T.A., 2014c. Assessment of growth and sea lice infection levels in Atlantic salmon stocked in small-scale cages with lumpfish. *Aquaculture* 433, 137–142.
- Imsland, A. K., Reynolds, P., Eliassen, G., Hangstad, T. A., Nytrø, A. V., Foss, A., Vikingstad, E. and Elvegård, T. A. (2015). Feeding preferences of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) maintained in open net-pens with Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) *Aquaculture* 436, 47-51.
- Imsland AK, Reynolds P, Eliassen G, Mortensen A, Hansen ØJ, Puvanendran V, Hangstad, T.A, Jónsdóttir ODB, Emaus P.A, Elvegård T.A, Lemmens SCA, Rydland R, Nytrø AV, Jonassen TM (2016) Is cleaning behaviour in lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) parentally controlled? *Aquaculture* 459, 156-165.
- Imsland, A.K.D., Reynolds, P., Hangstad, T.A., Madura, S., Hagen, S., Jónsdóttir, Ó.D.B., Spetland, F., Lindberg, K.S. (2021). Quantification of grazing efficacy, growth and health score of different lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) families: possible size and gender effects. *Aquaculture* 530, 735925.
- Nodland E (2017) Har levert luseskjørt tilsvarende 110 fotballbaner. *iLaks.no*. <https://ilaks.no/har-levert-luseskjort-tilsvarende-110-fotballbaner/>
- Oppedal F, Dempster T, Stien L (2011) Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages:a review. *Aquaculture* 311: 1–18.
- Stien LH, Nilsson J, Hevrøy EM, Oppedal F, Kristiansen TS, Lien AM, Folkedal O (2012) Skirt around a salmon sea cage to reduce infestation of salmon lice resulted in low oxygen levels. *Aquacult Eng* 51: 21–25.
- Stien LH, Lind MB, Oppedal F, Wright DW, Seternes T (2018) Skirts on salmon production cages reduced salmon lice infestations without affecting fish welfare. *Aquaculture* 490: 281–287.

5.8 AP5. Anbefalinger om beste praksis for bruk av rensefisk og skjørt som forbyggende tiltak mot lus, og prioritering av videre FoU-behov

For å knytte de ulike arbeidspakkene best sammen og for å oppnå størst mulig nytteverdi vil arbeidet i AP5 rette seg mot å sammenfatte kunnskapen i de andre arbeidspakkene samt avdekke, vurdere og prioritere videre forsknings og utviklingsbehov. Denne arbeidspakken ledes av Aqua Kompetanse (Dr. Lauris Boissonnot, FoU-koordinator) og HI (Anne-Berit Skiftesvik) i samarbeid med de andre forsknings- og næringsaktørene i prosjektet.

Hele rapporten er vedlagt prosjektet som Leveranse 10.

5.8.1 Kunnskapsstatus og videre FoU behov

5.8.2 Rognkjeks

Kunnskapsstatus

→ Det er godt dokumentert at rognkjeks kan være effektiv til forebygging mot lakselus i merd (Eliassen mfl., 2018; Imsland mfl., 2019a; 2018a; Imsland og Reynolds, 2022; Imsland mfl., 2016b).

→ Det finnes veldig store forskjeller i lusebeite-effektivitet ved ulike lokaliteter og tidspunkter (Boissonnot mfl., 2022b; Eliassen mfl., 2018), og dette tilsier at det er potensiale for forbedring.

→ Velferden hos rognkjeks reduseres jo lengre den står i sjø, og en betydelig andel rognkjeks har tydelig eller alvorlig redusert velferdsstatus etter 6-7 måneder i sjø (Boissonnot mfl., 2022a).

→ Den negative velferdsutviklingen er mest sannsynlig grunnet en kombinasjon av ulike faktorer, og mekanisk avlusing ser ut å være en betydelig negativ faktor (Austad, 2021; Boissonnot mfl., 2022a; Sommerset mfl., 2021).

Beste praksis og tilhørende interaksjoner mot målene om bedre velferd og økt lusebeite-effekt er oppsummert i Fig. 1 og beskrevet mer detaljert under.

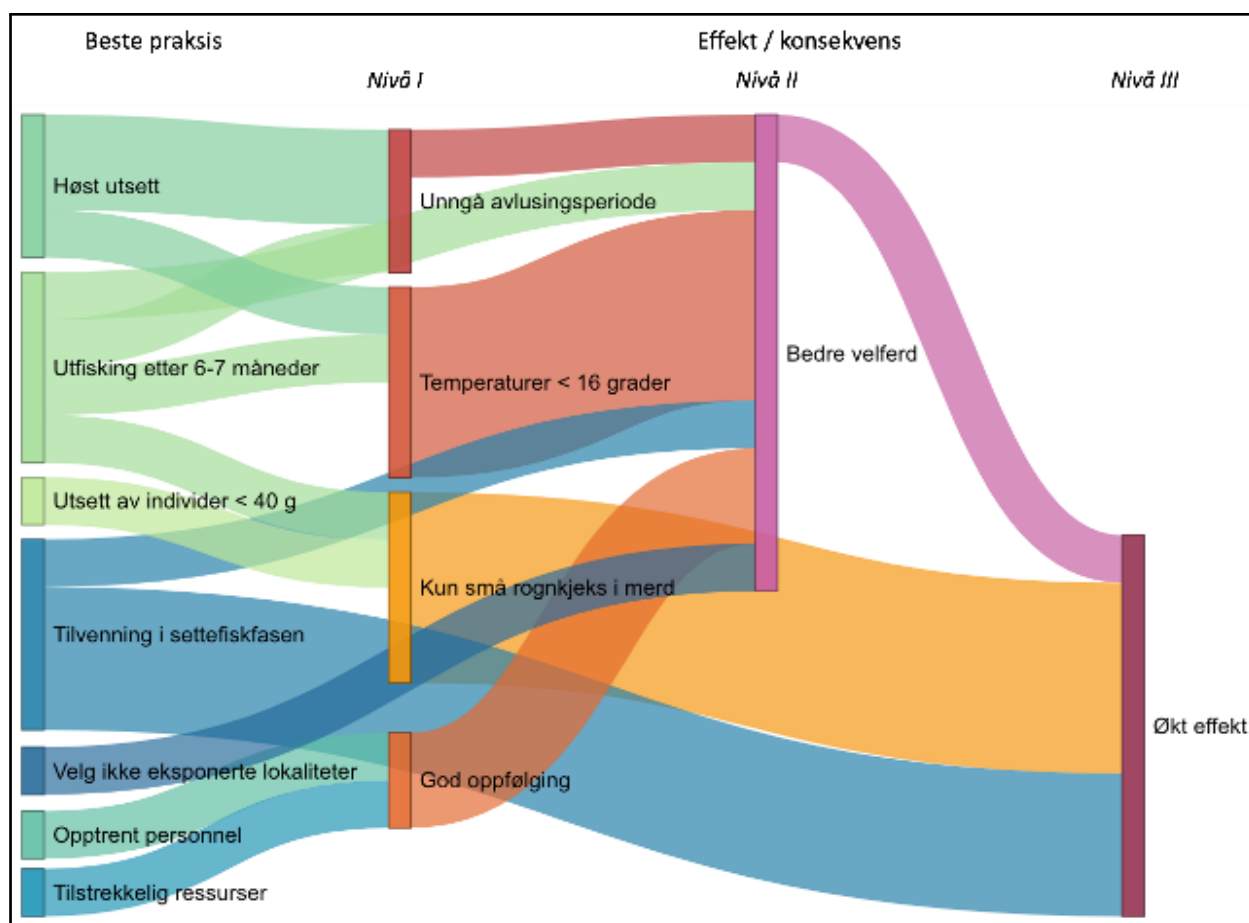
→ Det anbefales å sette ut rognkjeks i merd på høsten (Boissonnot mfl., 2022a; Grøntvedt og Brandshaug, 2021) og å kombinere dette med en redusert periode i sjø (t.o.m 6-7 måneder), (Boissonnot mfl., 2022a). Denne kombinasjonen vil medføre at rognkjeks ikke er i merd under avlusingssesongen og i de perioden sjøtemperaturen er høyest. Både avlusing (Austad, 2021; Boissonnot mfl., 2022a; Sommerset mfl., 2021) og høye temperaturer ($T > 16\text{ }^{\circ}\text{C}$, Hvas mfl., 2018) har en svært negativ effekt på rognkjeksens velferdsstatus, og disse tiltakene vil dermed forbedre statusen i merd.

→ Å redusere periode i sjø bør kombineres med utsett av små individer ($< 40\text{ g}$). Dette vil bidra til å ha en stor andel av små individer i populasjonen ($< 300\text{ g}$). Siden små rognkjeks har høyest luseappetitt vil dette mest sannsynlig øke lusebeite-effektiviteten (Boissonnot mfl., 2022a; b; Eliassen mfl., 2018; Imsland mfl., 2021; 2016b).

→ Rognkjeks bør i settefiskfasen tilvennes laksemodeller (Staven mfl., 2021a; 2019) og levende fôrtyper (Imsland mfl., 2019a) for å øke effektiviteten i den første fasen etter utsett i sjø. I tillegg reduserer tilvenning til laks stress ved utsett, noe som bidrar til å bedre rognkjeksens velferd (Staven mfl., 2021b).

→ Eksponerte lokaliteter kan ha strømregimer som er for sterke for rognkjeksens som har begrenset svømmeevne (Hvas mfl., 2018; Jónsdóttir mfl., 2019). Det er derfor svært sannsynlig at bruk av rognkjeks bør begrenses til mindre eksponerte lokaliteter. Flere oppdrettere med særlig eksponerte lokaliteter har etter flere utsett med dårlig velferd og lite effekt av tiltak besluttet å ikke bruke rognkjeks (Boissonnot mfl., 2022a).

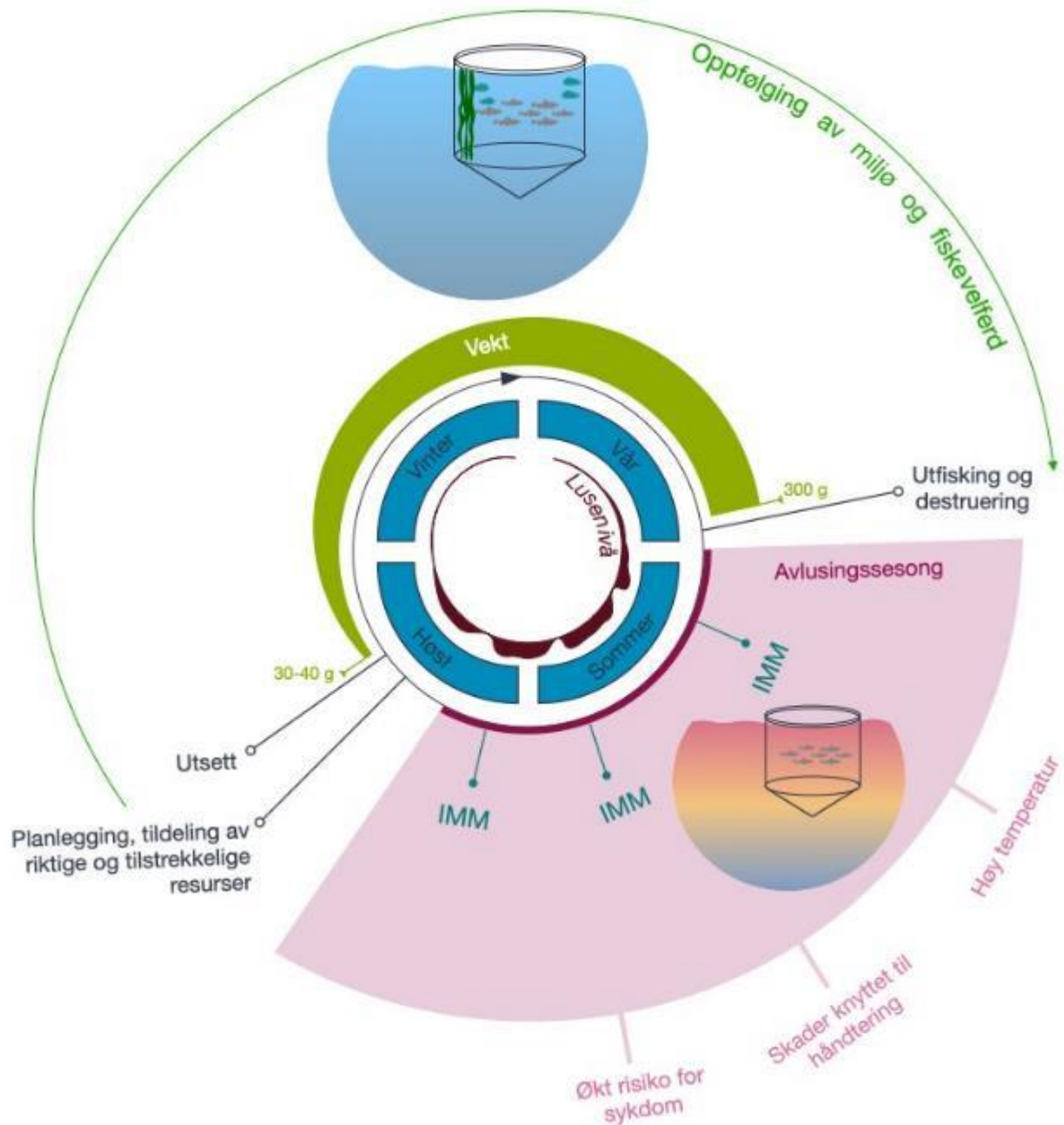
Det bør implementeres gode rutineoppfølginger av rognkjeksens velferd. Disse bør gjennomføres av opplært personell for å kunne identifisere redusert velferd og mulige sykdomsutbrudd tidlig, og dermed iverksette forebyggende tiltak Boissonnot mfl., 2022a; Garcia de Leaniz mfl., 2021; Grøntvedt og Brandshaug, 2021; Gutierrez Rabadan mfl., 2021; Imsland mfl., 2021. Slik kan man også identifisere hvilke prosedyrer og operasjoner som påvirker rognkjeksens helse og velferd for å videre kunne tilpasse og optimalisere disse. Evner til rutineoppfølging vil oppnås ved å sette riktige og tilstrekkelige ressurser til bruk av rognkjeks (Boissonnot mfl., 2022a; Garcia de Leaniz mfl., 2021).



Figur 1: Oppsummering av beste praksis ved bruk av rognkjeks i merd med tilhørende konsekvenser. Interaksjonene er representert ved buer, der bredden er proporsjonal med antallet studier/næringspartnere som har nevnt temaet.

Den foreløpige beste praksisen for bruk av rognkjeks er presentert i et årshjul som viser sesongmessige utfordringer i en typisk produksjon og hvilke valg som oppdretteren kan ta (Fig.

2).



Figur 2: Eksempel på et årshjul som forholder seg til foreløpig beste praksis for bruk av rognkjeks i merd. Den kritiske perioden er markert i mørkerosa, lusenivå er illustrert innerst i sirkelen og den grønne halvmånen visualiserer rognkjeksens forventede vektøkning. Merdvisualiseringene skal illustrere perioder med og uten rognkjeks, samt typiske sjøtemperaturer i merden, der blå farge viser til lave temperaturer og rød til høye temperaturer.

Videre FoU-behov - rognkjeks

Videre forskning- og utviklingsbehov og tilhørende interaksjoner mot målene for bedre velferd og økt lusebeite-effekt er oppsummert i Fig. 3 og beskrevet mer detaljert under.

→ Det er behov for å forstå hvilke lokaliteter som er aktuelle for utsett av rognkjeks med tanke på strømeksposering. Det vil være viktig å estimere hvilke strømhastigheter som gjør en lokalitet uegnet og for eksponert for utsett av rognkjeks. Det er i tillegg ukjent hvilken effekt bølger har på rognkjeksens velferd. Siden rognkjeks ofte befinner seg i de første meterne under havoverflaten kan denne være betydelig, og bør undersøkes nærmere.

→ Selv om det er godt etablert at rognkjeks må føres, er det uklart hvorvidt fôringsstrategiene i merd er tilstrekkelige for å sikre god velferdsstatus (Boissonnot mfl., 2022a; Imsland mfl., 2019b). De fleste næringsaktørene nevner at det må prioriteres å skaffe mer kunnskap om fôring. Flere forskningsprosjekter ser på påvirkning av ulike fôringsstrategier, blant annet FHF-prosjektene STRATEGI (901693) og OPTIfôr (901694). Disse ser blant annet på hvordan ulike fôringsstrategier påvirker ernæringsstatusen hos rognkjeks. Det blir også undersøkt om fôrblokker kan være et bedre alternativ enn tradisjonell fôring med pellets ved å bremse vekst samt sikre bedre helse (Imsland mfl., 2021; 2020).

→ Det er fortsatt uklart om oppblomstringen av dyreplankton på våren er problematisk med hensyn til rognkjeksens lusebeite-effekt siden ulike studier finner motsatte effekter. Eliassen mfl. (2018) fant at dyreplankton hadde negativ effekt på luseappetitt, mens (Boissonnot mfl., 2022a) fant at luseappetitten til rognkjeks ikke var redusert når den spiste dyreplankton. Det er også behov for å undersøke i hvilken grad dyreplankton har en effekt på ernæringsstatusen.

→ Det er behov for tiltak i settefiskfasen som kan bidra til at mer robust rognkjeks blir satt ut i merd (Boissonnot mfl., 2022a; Gutierrez Rabadan mfl., 2021).

→ For å kunne sette ut individer uten finneerosjoner er det viktig å finne tiltak som begrenser aggresjon i settefiskfasen (Boissonnot mfl., 2022a; Gutierrez Rabadan mfl., 2021). Det er også behov for å sortere ut rognkjeks med deformert sugekopp før utsett i merd (Fjellidal mfl., 2021; Gutierrez Rabadan mfl., 2021).

→ Selv om det finnes vaksiner til de vanligste agensene er det fortsatt behov for nye og forbedrede vaksiner og vaksineregimer (Sommerset mfl., 2021).

→ Avlsarbeidet som foregår hos bl.a. Namdal Rensefisk i samarbeid med AquaGen og hos Akvaplan-niva i samarbeid med Lerøy ASA søker også etter å produsere en mer robust og sykdomsbestandig rognkjeks (AquaGen, 2019; Imsland mfl. 2021). Dette arbeidet er svært viktig og må videreutvikles.

→ Næringsaktører fra settefisk- og sjøfasen må samarbeide videre for å sikre en mer skånsom overgang fra settefisk til sjø (jevne temperaturer, bedre transportbetingelser osv.).

→ De fleste næringsaktørene nevner at en av de største utfordringer når det gjelder bruk av rognkjeks er at det ikke finnes gode metoder for å fiske ut rognkjeks ved håndtering eller destruering (Boissonnot mfl., 2022a). Flere gjenfangst metoder er i bruk (Grøntvedt og Brandshaug, 2021) men de er både tidskrevende, ikke velferdsmessige for rognkjeks og tillater ikke å fiske alle individer. Utvikling av bedre metoder må prioriteres, både for etiske og effektivitetsmessige grunner.

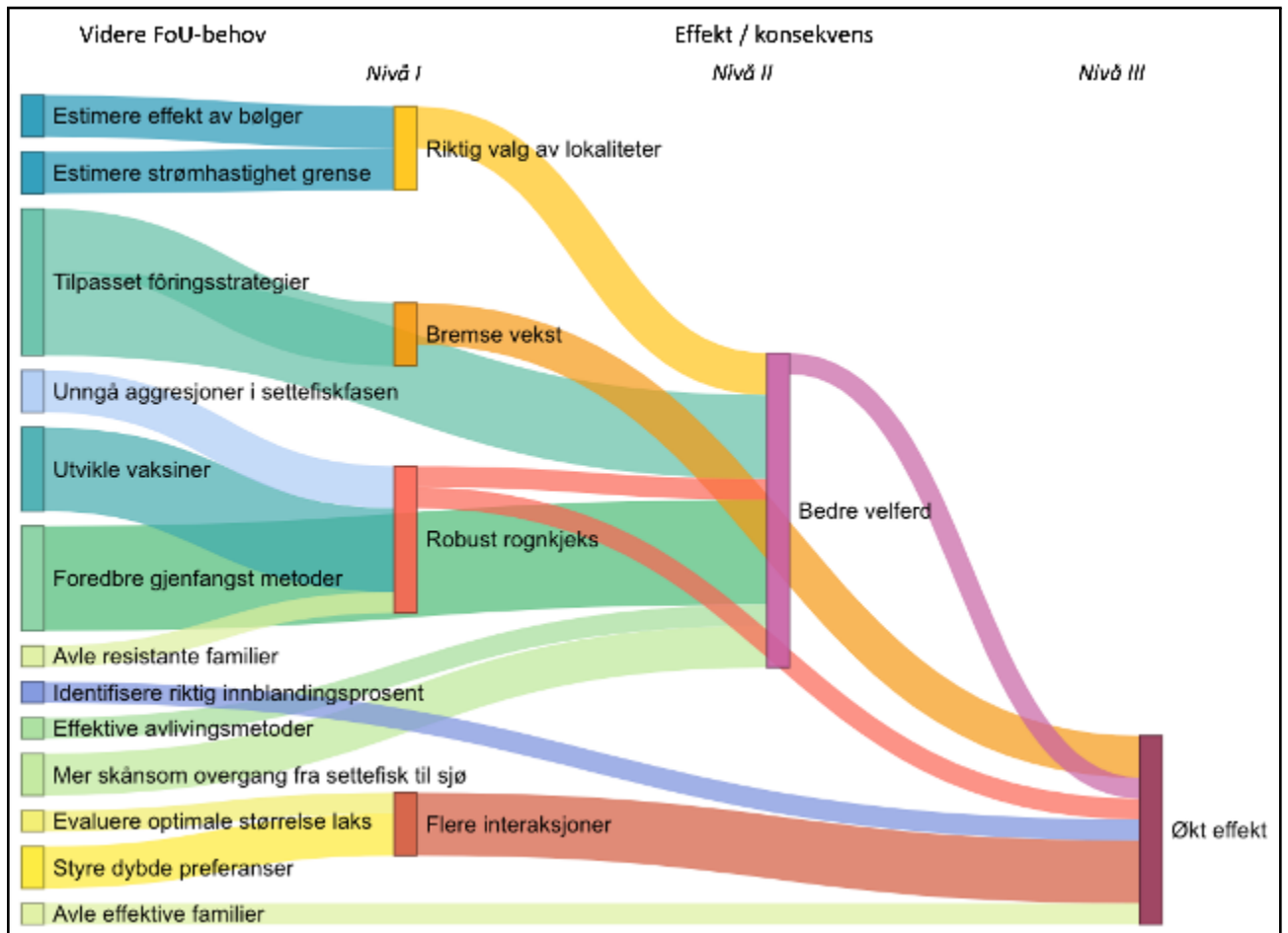
→ Per i dag brukes det en høy dose metakain og benzokain til avliving. Doseringsregimer som opprettholder avliving varierer både mellom midler og fiskearter, samt at det påvirkes av biologiske faktorer som kroppsvekt, alder og kjønn. Det er derfor viktig å utvikle egne protokoller for rognkjeks i tillegg til laks.

→ Innblandingen av rognkjeks varierer fra 4 % til 12-15 %, men det er forstøtt uklart hvorvidt innblandingsprosenten påvirker lusebeite-effektivitet (Imsland mfl., 2018a, M. Aldrin, pers. komm.). Dette må undersøkes videre for at man kan sette ut riktig antall rognkjeks i merdene.

→ Rognkjeks settes ut med både smolt (1. år) og stor laks (2. år), og det finnes fordeler og ulemper med begge strategiene. Små laks er ofte behandlet med Slice, noe som har en ukjent effekt på rognkjeksens velferd (Grøntvedt og Brandshaug, 2021). I tillegg er smolt føret med små laksepellets, som på grunn av størrelsen også er lett tilgjengelige for nyutsatt rognkjeks. Dette er en utfordring siden rognkjeks som spiser laksepellet ofte viser dårlig luseappetitt (Austad mfl., 2021; Eliassen mfl., 2018; Grøntvedt og Brandshaug, 2021). I motsetning er det også ukjent hvordan en nylig utsatt rognkjeks på 40 g opplever å være satt sammen med en stor laks på 5 kg. Videre studier bør derfor teste ut disse to strategiene i parallelle merder.

→ Flere studier viser at det kan være en vertikal mismatch mellom laks og rognkjeks, da laksen svømmer mest på 10-15 m mens rognkjeks oftest befinner seg rett under overflaten (Geitung mfl., 2020, Ulvund unpubl.). Ved å utvikle metoder for å synkronisere dybden til begge arter kan antallet interaksjoner økes og dermed også lusebeite-effektiviteten.

→ Det er dokumentert at ulike rognkjeksfamilier har ulike lusebeite-effektivitet (Imsland mfl., 2016a; 2021). Det er derfor behov for å fortsette identifiseringen av de mest effektive familiene for å inkludere de i avlsprogrammene.



Figur 3: Oppsummering av videre forskning- og utviklingsbehov ved bruk av rognkjeks i merd med tilhørende konsekvenser. Interaksjonene er representert ved buer, der bredden er proporsjonal med antall studier/næringspartnere som har nevnt interaksjonen.

5.8.3 Leppefisk

Kunnskapsstatus

Generelt har det vært mindre forskning på leppefisk, vill og oppdrettet, sammenlignet med rognkjeks. Mye av leppefiskforskningen har vært støttet av FHF og finnes i form av rapporter (f.eks. Jansen mfl., 2022).

- Oppdrettet berggylt er like effektive lusespisere som villfanget berggylt (Skiftesvik mfl., 2013).
- Alle leppefiskartene spiser lus (Skiftesvik mfl., 2016; 2018). Selv om parasitter ikke nødvendigvis er så viktig føde for leppefisk i naturen, er det gjort observasjoner av leppefisk som spiser parasitter av annen fisk (f.eks. Morado mfl., 2019).
- Leppefiskene har kortere aktivitetsperiode enn dagslysperioden (Skiftesvik mfl., 2018).
 - Det er noe forskjeller i fargesynet til de ulike leppefiskartene, men ingen av de ser rødt (Loew mfl., 2016). Berggyltens fargesyn endrer seg gjennom livstadiene (Loew mfl., 2012).
- Leppefiskene endrer atferd gitt ulike lyskvaliteter (farger), (Skiftesvik mfl., 2017).
 - De ulike leppefiskartene har forskjellig kondisjonsutvikling og overlevelse ved synkende temperaturer (Skiftesvik mfl., 2017).
 - Leppefiskene tolererer H₂O₂ behandling og også opphold i tilnærmet ferskvann i 2 timer dersom saltinnholdet i vannet blir gradvis redusert (Skiftesvik mfl., 2018).

Beste praksis og tilhørende interaksjoner mot målene om bedre velferd og økt lusebeite-effekt er oppsummert i Fig. 4 og beskrevet mer detaljert under.

- Grundig planlegging er helt avgjørende for å lykkes med leppefisk som lusespiser. Blant annet bør hvilke arter som skal brukes, not type (maskestørrelser), skjul, fôr og fôringsstrategier vurderes. I tillegg bør det settes av nok tid og ressurser til leppefiskoppfølging og det bør lages en plan for leppefisken ved eventuell håndtering av laksen.
- Leppefisk bør settes ut når temperaturen ikke er for lav, og utsett rett før vinteren bør unngås. Leppefisken trenger ro om vinteren og bør ikke forstyrres i denne tiden. For å unngå predasjon på leppefisken burde den ikke settes ut før laksen er fôret. Leppefisken trenger litt tid til å venne seg til nye omgivelser, og utsett i skjulet eller andre innretninger beregnet på dette er bra (Woll mfl., 2013).
- Risikoen for høyt smittepress av lakselus bør vurderes før utsett. Det er ikke anbefalt å sette ut leppefisk der man forventer høyt smittepress av lakselus og stor risiko for gjentagende avlusinger. Årsaken til dette er risikoen for nedsatt velferd hos rensfisk gjennom lusebehandling (Grøntvedt og Brandshaug, 2021).
- Leppefisk bør ikke settes ut på lokaliteter som ikke har kompetanse om de ulike leppefiskartene. Kompetent personell vil tidligere oppdage problemer og varsle ifra til fiskehelsepersonell. Dette vil føre til at riktige tiltak kan iverksettes raskere (Grøntvedt og Brandshaug, 2021).
- Utilstrekkelig fôring (manglende fôr eller utilpasset fôr) reduserer leppefiskens kondisjon raskt, da lus og groe ikke er tilstrekkelig føde for fisken (Geitung mfl., 2020);

Gentry mfl., 2021; Skiftesvik mfl., 2017; Skiftesvik mfl., 2013). Det er derfor anbefalt å føre tilstrekkelig.

→ Et viktig tiltak for bedre velferd og lavere dødelighet hos leppefisk er å unngå avlusing med tilhørende håndtering av laks og rensefisk (Grøntvedt og Brandshaug, 2021).

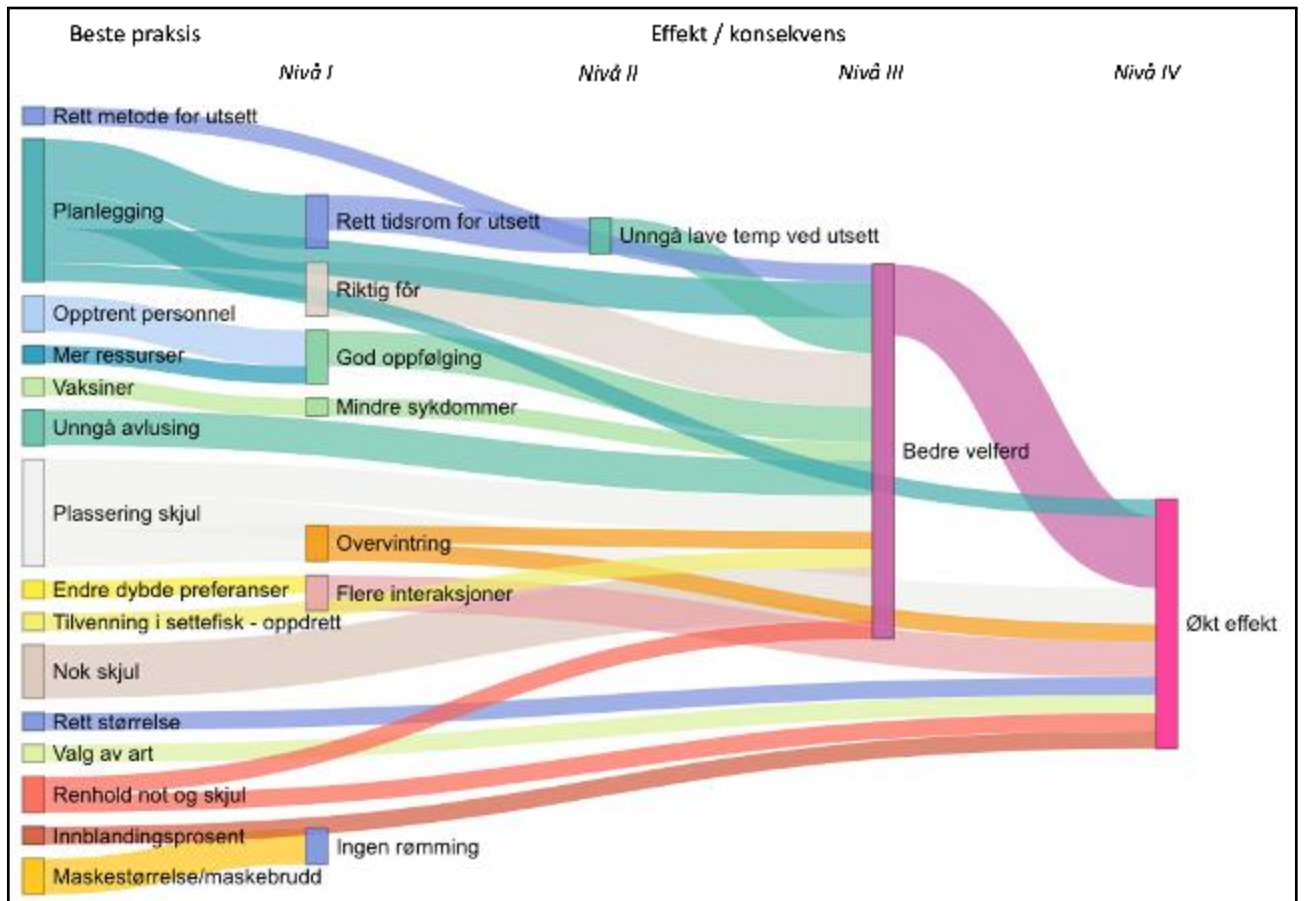
→ Det er viktig at skjul plasseres der leppefisken foretrekker, og dette kan variere ut fra sesong og hvilke arter som brukes. Det er også viktig å ha nok skjul (Grøntvedt og Brandshaug, 2021). For at leppefisk skal være effektiv er det viktig med gode rutiner for renhold av not og skjul. Ved overvintring senkes skjulene lengre ned i merden.

→ De ulike leppefiskartene har forskjellig dybdefordeling i merdene (Skiftesvik mfl., 2018), noe de også har i naturen (Halvorsen mfl., 2020). Bergnebb endrer dybdefordeling i merden og går litt dypere når de går i kombinasjon med grønngyllt (Skiftesvik mfl., 2018). Utføring og plasseringen av skjul bør tilpasses for å endre dybdepreferansene slik at overlappen mellom laks og leppefisk blir best mulig.

→ Oppdrettet berggyllt kan i slutten av settefiskfasen tilvennes føret de skal få i merd og vanlige døgnrytmer, dersom de har gått på kontinuerlig lys (Helland mfl., 2014), for at overgangen til sjø skal bli litt lettere.

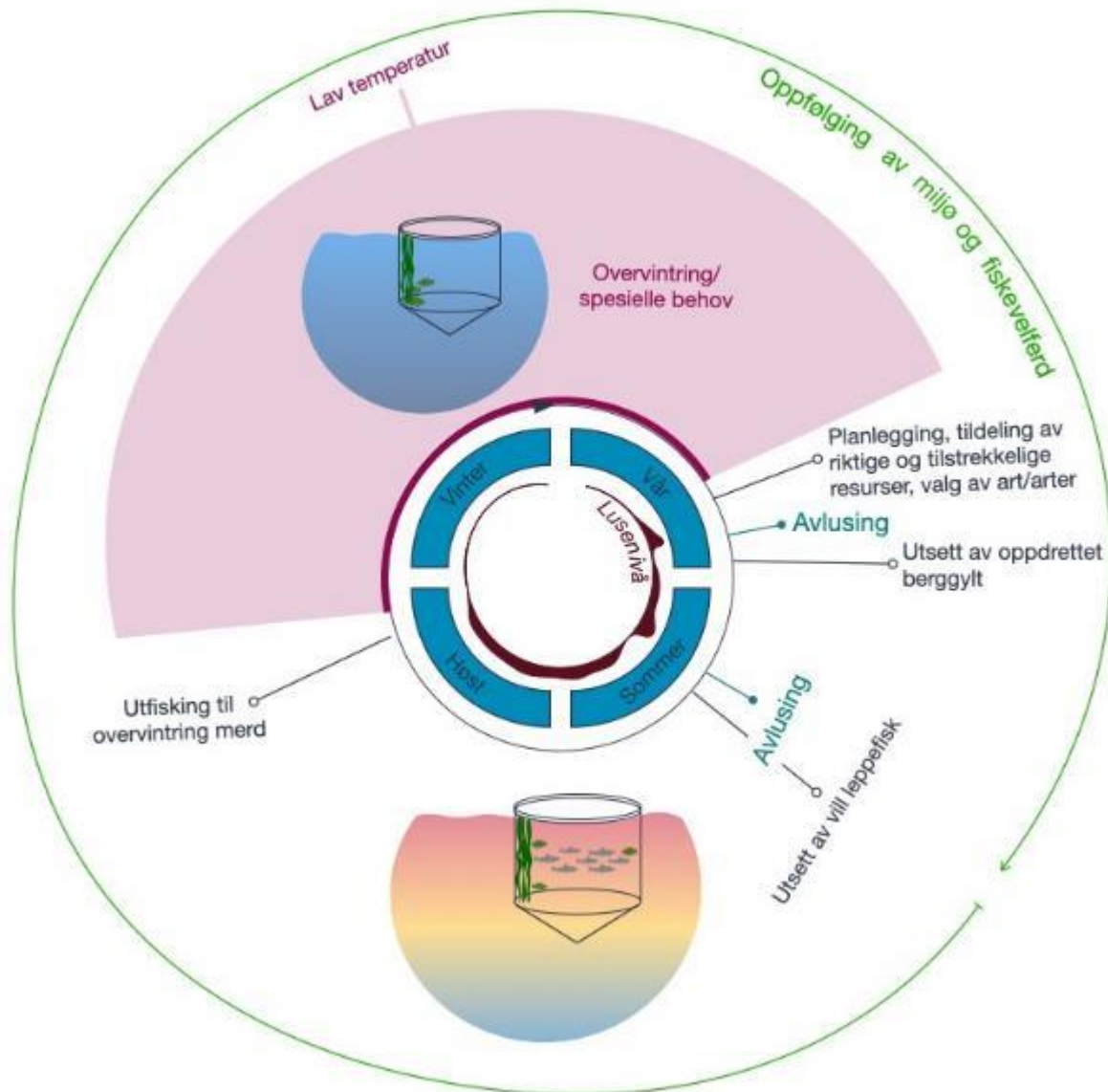
→ Art og størrelse på leppefisken som skal settes ut bør bestemmes ut fra hvor den skal brukes og størrelsen på laksen den skal gå sammen med. Liten leppefisk brukes på liten laks, og her kan alle artene brukes. På større laks bør bare store leppefisk brukes, og da oftest større berggyllt og grønngyllt.

→ Det er svært viktig å ikke ha for stor maskestørrelse når det står leppefisk i merden, og spesielt ikke når leppefisken er liten. For de to mest vanlige maskestørrelsene som brukes av oppdrettsnæringen i Norge, dvs. 30 og 50 mm, vil minste størrelse for leppefisk være ca. 13 cm (30 g) og ca. 21 cm (ca. 120 g) for å unngå rømming (Sistiaga mfl., 2021). Det anbefales å ha gode rutiner for å oppdage maskebrudd i nota. Et maskebrudd fører til at små leppefisk rømmer, og den som rømmer lettest er bergnebb (Woll mfl., 2013).



Figur 4: Oppsummering av beste praksis ved bruk av leppefisk i merd med tilhørende konsekvenser. Interaksjonene er representert ved buer, der bredden er proporsjonal med antallet studier/næringspartnere som har nevnt temaet.

Den foreløpige beste praksisen for bruk av leppefisk er presentert i et årshjul som viser sesongmessige utfordringer i en typisk produksjon og hvilke valg som oppdretteren kan ta (Fig. 5).



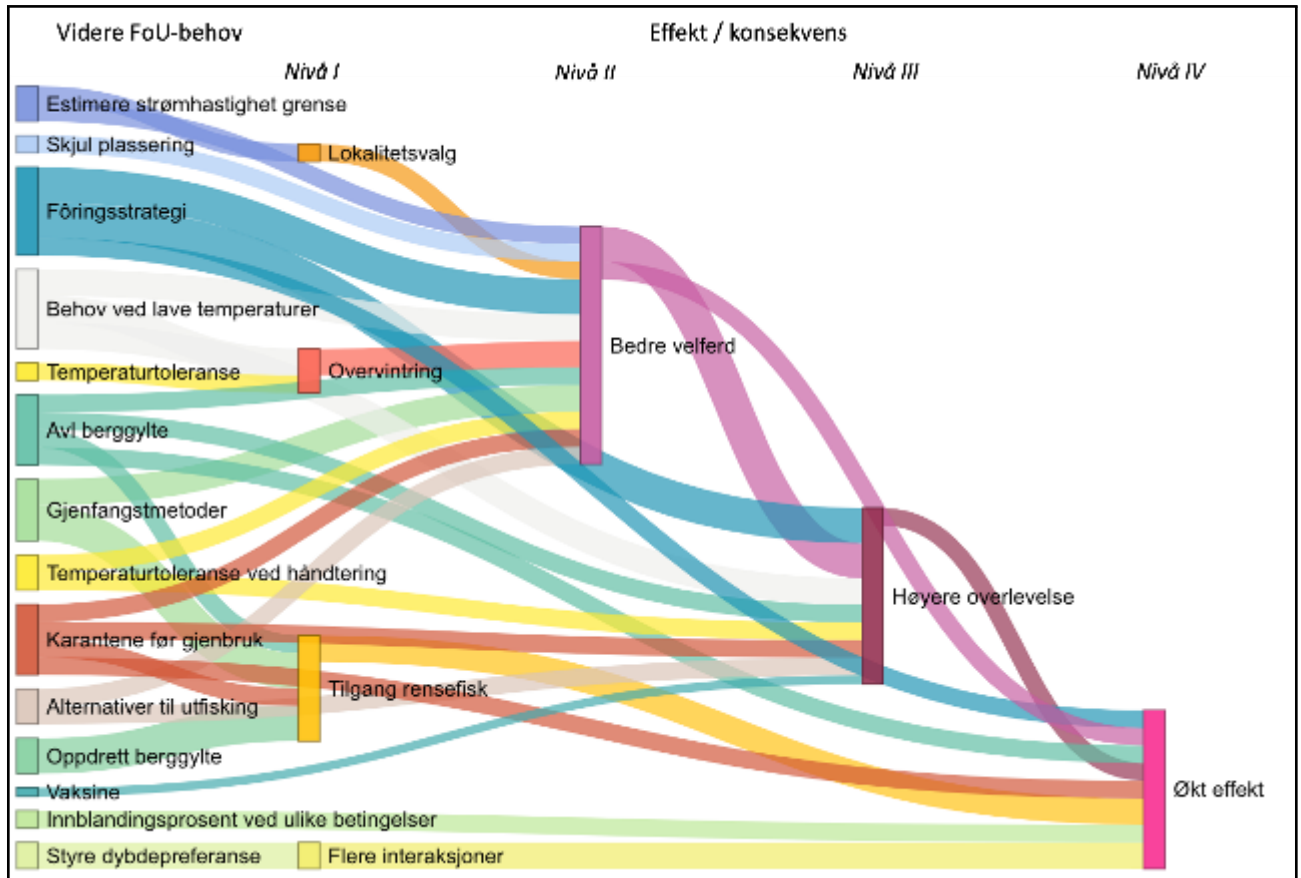
Figur 5: Eksempel på et årshjul som forholder seg til foreløpig beste praksis for bruk av leppefisk i merd. Den kritiske perioden er markert i mørkerosa og lusenivå er illustrert innerst i sirkelen. Merdvisualiseringene skal illustrere perioder med leppefisk i lakse-/overvintringmerder, samt typiske sjøtemperaturer i merden, der blå farge viser til lave temperaturer og rød til høye temperaturer.

Videre FoU-behov - leppefisk

Det finnes et generelt behov for mer forskning på leppefisk, vill og oppdrettet. Det forskes en del på oppdrett av berggyllt, og denne forskningen må prioriteres. Oppdrettet berggyllt kan være tilgjengelig tidligere på sommeren enn villfanget leppefisk og det kan være avgjørende for å unngå en avlusing om sommeren. Økt bruk av oppdrettet berggyllt vil også være fordelaktig da det vil redusere behovet for vill fisk. Videre forskning- og utviklingsbehov og tilhørende interaksjoner mot målene for bedre velferd og økt lusebeite-effekt er oppsummert i Fig. 6 og beskrevet mer detaljert under.

- Det bør utvikles gode metoder for vinterlagring/oppbevaring av leppefisk mellom sesongene.
- Det bør kartlegges når på høsten/tidlig vinteren (ved hvilken temperatur) leppefisken bør få gå over i en hvileperiode.
- Det er behov for å kartlegge om gjenbrukt leppefisk fungerer bedre, har lavere dødelighet og bedre velferd enn nyinnsatt leppefisk.
- Leppefisk som har klart seg gjennom en produksjon er absolutt verdt å ta vare på. Dette er fisk som håndterer et liv i laksemerden, og som etter endt produksjon kan gjøre nytte for seg i nye laksemerden. Det bør derfor testes ut hvordan dette kan gjøres på en best mulig måte, med en sikker karantene før utsett i ny merd. Dette vil også være fordelaktig da det vil redusere behovet for ny fisk.
- Det er fremdeles et stykke igjen før en har en optimal fôringsstrategi for de ulike leppefiskartene. Det bør derfor forskes mer på fôr og fôringsstrategier. Dette innebærer undersøkelse av fôr kvalitet ut fra leppefiskenes behov, optimal fôringsfrekvens og dybde, også med hensyn til årstid og tid på dagen.
- I naturen finner man ofte de største leppefiskene på mer værutsatte steder en mindre fisk, og dette gjelder spesielt for berggyllt og bergnebb (Halvorsen mfl., 2020). Imidlertid finnes det ingen estimat på hvilke strømhastighetsgrenser som gjør en lokalitet uegnet og for eksponert for utsett av leppefisk. Det er viktig å undersøke hva som er akseptable strømhastigheter for de ulike artene, også med hensyn på størrelsen til leppefisken.
- Man bør få mer kunnskap om hvordan skjul skal plasseres med hensyn på lokalitet og leppefiskarter. Bedre skjulplassering kan potensielt forbedre leppefiskens velferd med at rett plassert skjul forbedrer miljøet for leppefisken.
- For oppdrettet berggyllt kan avl trolig være veien å gå for å forbedre tilpasningen til et merdmiljø, og muligens også å effektivisere lusespising. Avlsarbeidet er ikke utviklet ennå, og det er behov for å legge grunnlaget for fremtidig genetisk seleksjon for berggyllt.
- Gjenfangst av leppefisk i forbindelse med håndtering av laks er fremdeles et problem, og man bør også teste ut alternativer til gjenfangst for å se om det kan gi bedre resultat for leppefiskens velferd og overlevelse. Leppefisken tåler lite håndtering ved lave temperaturer og bør ikke forstyres i vintermånedene. Spesielt for denne perioden bør alternativ til utfisking utvikles.
- Det bør utvikles/videreutvikles vaksiner for å sikre bedre helsestatus hos oppdrettet berggyllt etter utsett i merd (Ramirez-Paredes mfl., 2020).
- Innblandingsprosenten vil variere med lokalitet, temperatur, størrelse på laks og lusepress. Det bør forskes mer på hvilken påvirkning innblandingsprosenten har på lusebeiteeffektiviteten og hva som er anbefalt mengde leppefisk i merd.

→ Ved å øke interaksjonen mellom laks og leppefisk er det forventet at lusebeiteeffektiviteten øker. Det bør derfor kartlegges hvor mye dybdepreferansen til leppefisken kan endres ved å justere på blant annet skjulplassering og utfôringssted.



Figur 6: Oppsummering av videre forskning- og utviklingsbehov ved bruk av leppefisk i merd med tilhørende konsekvenser. Interaksjonene er representert ved buer, der bredden er proporsjonal med antall studier/næringspartnere som har nevnt interaksjonen.

5.8.4 Luseskjørt

Kunnskapsstatus

Det er et begrenset antall vitenskapelige studier som har vurdert effekten av skjørt på lusepåslag (Cerbule og Godfroid, 2020), de fleste punkter under er derfor hentet fra kunnskapskartleggingen gjennomført av (Worum mfl., 2022).

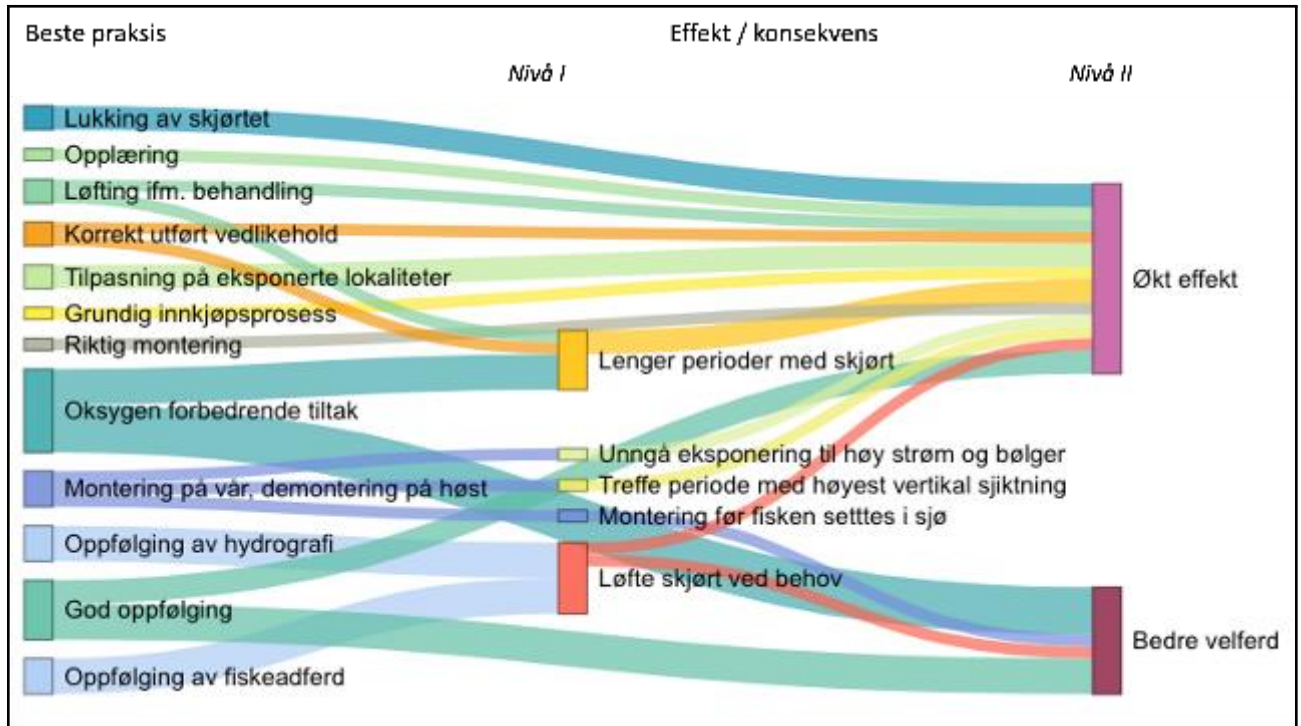
- Luseskjørt har vært brukt som en ikke-medikamentell, forebyggende metode mot lakselus og skottelus siden 2010 (Worum mfl., 2022).
- Luseskjørt kan mest sannsynlig brukes som en kompletterende metode sammen med forebyggende metoder, uten signifikant risiko for negative påvirkning på fiskehelse og fiskevelferd (Bui mfl., 2020; Stien mfl., 2018; Trengereid mfl., 2020).
- Det er store variasjoner i både bruk og effekt av luseskjørt i norske laksemerder (Grøntvedt mfl., 2018; Jevne mfl., 2021; Jevne og Reitan, 2019; Stien mfl., 2018).

Beste praksis og tilhørende interaksjoner mot målene om bedre velferd og økt lusebeite-effekt er oppsummert i Fig. 7 og beskrevet mer detaljert under.

- I innkjøpsprosessen bør både driftspersonell, fiskehelsepersonell, økonomiansvarlige og ledelse involveres. Alternative design og dimensjoner bør utprøves basert på undersøkelse av lokalitetens miljøparameter (Worum mfl., 2022).
- Kvaliteten på produktdokumentasjonen (brukerhåndboken) bør omfatte momenter som beskriver korrekt montering og trygg håndtering (Worum mfl., 2022).
- Betydning av hydrografi og kjennskap til den enkelte lokalitet sin egnethet for bruk av skjørt er spesielt viktig for effektiv bruk av luseskjørt (Bui mfl., 2020; Grøntvedt mfl., 2018; Jónsdóttir mfl., 2020; Stien mfl., 2018).
- Korrekt utført vedlikehold øker luseskjørtets levetid. Man bør se på kasserte materialer som en ressurs og ha fokus på mulighet for resirkulering av materialer (Worum mfl., 2022).
- Man bør ha egne formelle, opplæringsplaner og driftsrutiner for bruk av luseskjørt, tilpasset alle teknologiske varianter som selskapet har (Worum mfl., 2022).
- Med mindre eksponering for bølger, strøm og vind forhindrer det, skal luseskjørt være påmontert før fisken settes i sjøen. Luseskjørtene bør være påmontert så lenge som mulig. Beslutningen om å ta av luseskjørtene bør være velbegrunnet og basert på påviste negative forhold (Worum mfl., 2022).
- Det bør benyttes tiltak som kan forlenge brukstiden, ved bruk av oksygenforbedrende metoder, herunder kortvarig løft av skjørt for å skifte ut vann eller bruk av pumpeløsninger (Frank og Lien, 2015; Jónsdóttir mfl., 2021; Reynolds, 2022; Worum mfl., 2022).
- Ved avlusingsoperasjoner eller annen fortrengeing av fisk skal skjørt løftes suksessivt og slippes ned med en gang behandling av merden er fullført (Worum mfl., 2022).
- På bølgeeksponerte lokaliteter skal bruk av luseskjørt tilpasses årstiden. På vindeksponerte lokaliteter hvor oppblåsing av skjørt inntreffer, bør bruken av skjørt risikovurderes og tilpasses årstiden (Worum mfl., 2022).
- Oksygenforholdene innenfor skjørtet vurderes som en av de største utfordringene ved bruk av skjørt (Holan mfl., 2017; Jónsdóttir mfl., 2020; 2021; Volent mfl., 2020). Oksygenforholdene inne i nota bør overvåkes kontinuerlig, spesielt når tetthet og

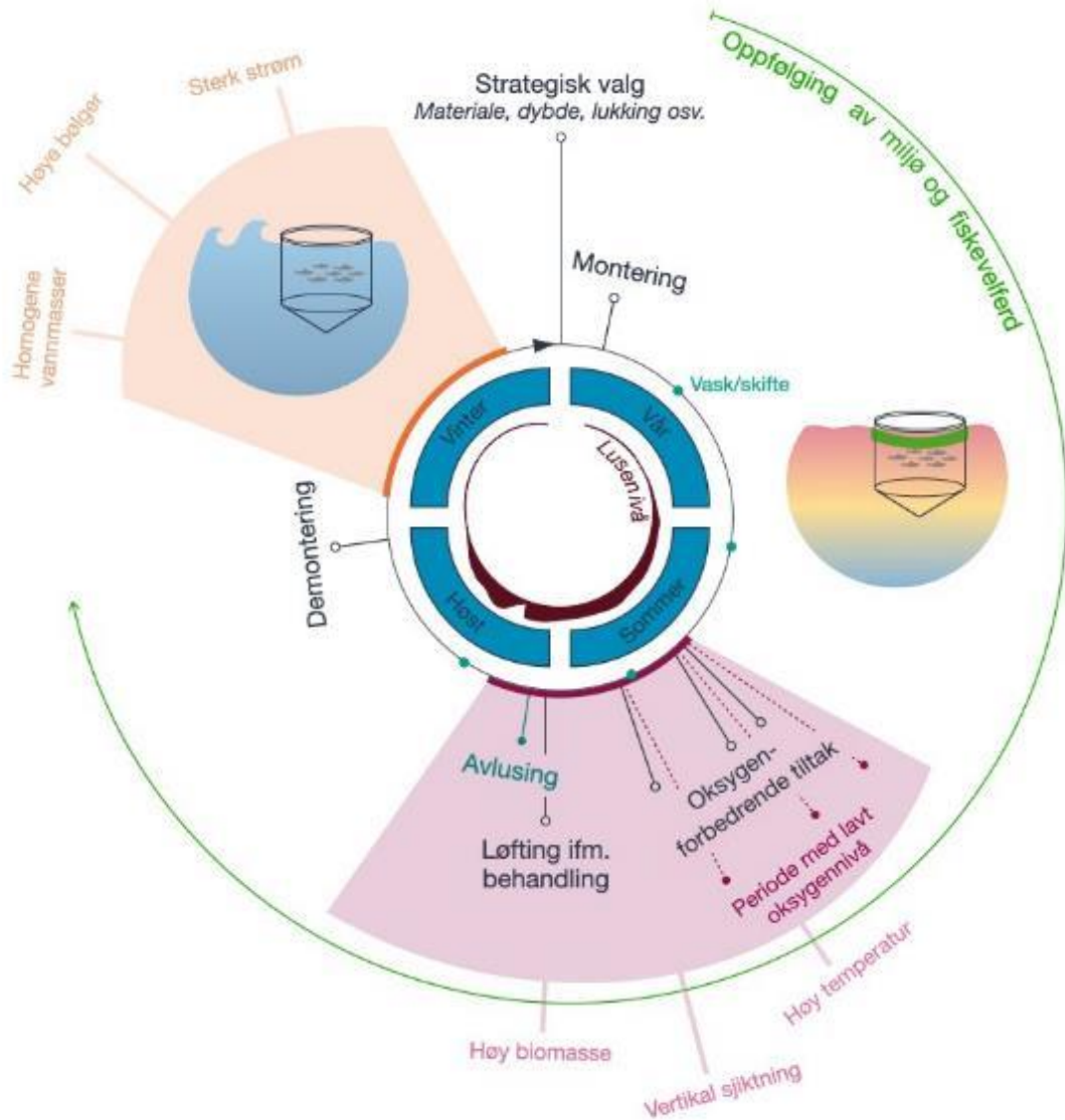
biomasse er tiltagende og i perioder med høy temperatur og sjiktning av vann. Overvåkingen bør gjøres i hele anlegget og på ulike dyp (Worum mfl., 2022).

→ God overvåking av gjellehelse er en forutsetning for å fatte riktige tiltak under bruk av luseskjørt (Worum mfl., 2022).



Figur 7: Oppsummering av beste praksis ved bruk av luseskjørt i merd med tilhørende konsekvenser. Interaksjonene er representert ved buer, der bredden er proporsjonal med antallet studier/næringspartnere som har nevnt temaet.

Den foreløpige beste praksisen for bruk av luseskjørt er presentert i et årshjul som viser sesongmessige utfordringer i en typisk produksjon og hvilke valg som oppdretteren kan ta (Fig. 8).

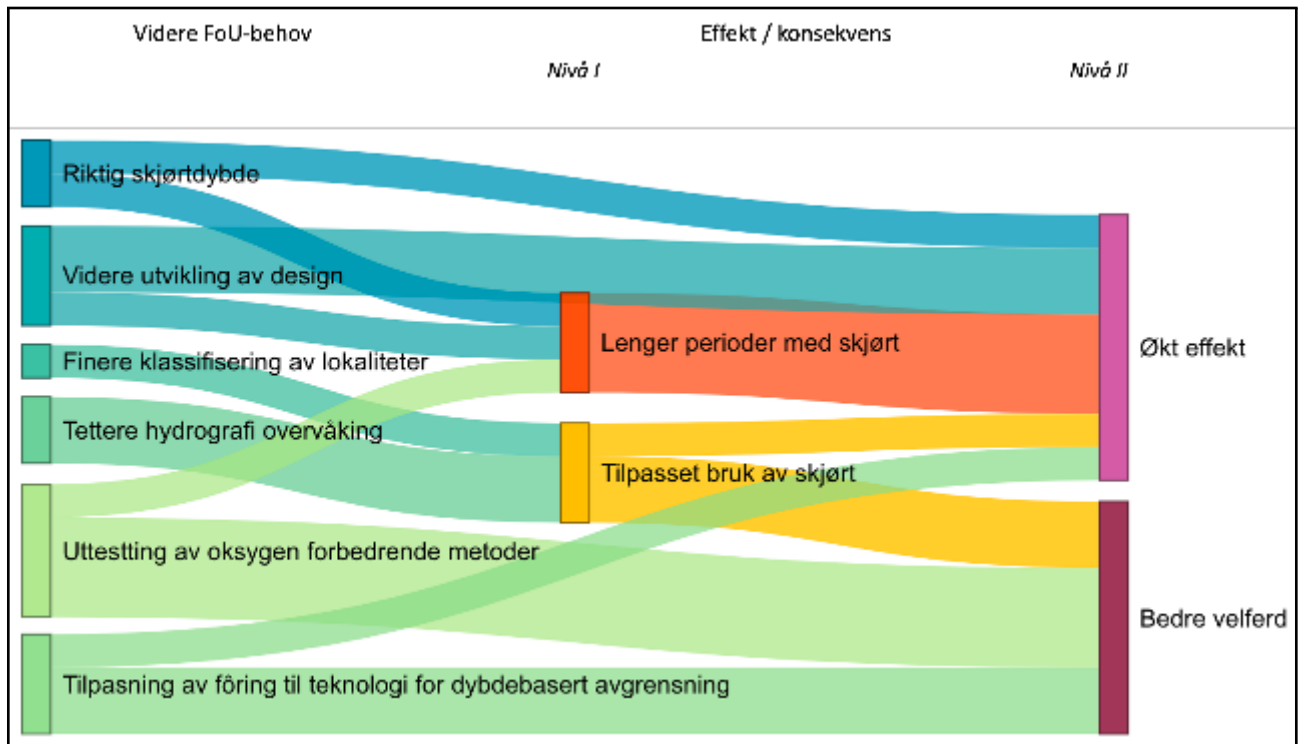


Figur 8: Eksempel på et årshjul som forholder seg til foreløpig beste praksis for bruk av luseskjørt. Den kritiske sommerperioden er markert i mørkerosa mens den kritiske vinterperioden er markert i oransje. Lusenivå er illustrert innerst i sirkelen. Merdvisualiseringene skal illustrere typiske sjøtemperaturer i merden, der blå farge viser til lave temperaturer og rød til høye temperaturer.

Videre FoU-behov - luseskjørt

Videre forskning- og utviklingsbehov og tilhørende interaksjoner mot målene for bedre velferd og økt effekt er oppsummert i Fig. 9 og beskrevet mer detaljert under.

- Det er behov for videre utvikling av luseskjørtets design, spesielt med hensyn til lukking og omslutning av nota (Worum mfl., 2022).
- Selv om skjørtedybde forventes å ha betydning for skjermingseffekten mot lus (Grøntvedt og Kristensen, 2018; Johansen, 2014; Næs mfl., 2014), er det fortsatt behov for å undersøke den ideale dybden for optimal skjermingseffekt. Dette bør tilpasses den enkelte lokalitet (Grøntvedt og Brandshaug, 2021).
- Studier viser til at en mer dynamisk strategi med mulighet for å variere skjørtedypet ifm. lusa og fisken sin vertikale plassering kan være gunstig (Bui mfl., 2020; Crosbie mfl., 2019). For eksempel kan det være ønskelig å senke luseskjørt dypere dersom det er et brakkvannslag i overflaten og fisken står dypt, eller fjerne luseskjørtene helt dersom laksen står grunt i de øvre vannlagene med brakkvann (Bui mfl., 2020). Bedre forståelse av samspillet mellom endringer i miljøet på lokaliteten og fisken og lusa sin vertikale plassering vil trolig øke effekten ved bruk av luseskjørt.
- Det er behov for en bedre klassifisering av lokaliteter ifm. hydrografiegenskaper og eksponering til strøm og bølger slik at man bedre kan tilpasse luseskjørt til den enkelte lokalitet. Dette innebærer å definere riktige måleparametere, samt forstå hvordan disse endrer seg gjennom året og påvirker produksjonen.
- Det er behov for å utvikle og ta i bruk måleteknologi som kan gi bedre forståelse av sjiktning ved den enkelte lokalitet (med f.eks. fullstendig vertikalprofil) utover de målingene som gjøres i dag. Dette vil også kunne bidra til en mer dynamisk og effektiv bruk av luseskjørt (Frank og Lien, 2015; Worum mfl., 2022).
- En adferdsendring som kan skje ved bruk av luseskjørt er at laksen trekker dypere ned i merden. En slik endring kan påvirke hvordan de som fører fisken tolker stoppsignalet, men kan også være fordelaktig ifm. større avstand til lusa (parasitt-vert mismatch). Det bør undersøkes videre om ulike teknologier for dybdebasert avgrensning (f. eks. undervannsføring og bruk av undervannslys) kan ha nytteverdi for å tilrettelegge for at laksen befinner seg på et annet dyp enn lusa (parasitt -vert mismatch) sammen med bruk av skjørt (Bui mfl., 2019; Geitung mfl., 2019; Wright mfl., 2019).



Figur 9: Oppsummering av videre forskning- og utviklingsbehov ved bruk av luseskjørt i merd med tilhørende konsekvenser. Interaksjonene er representert ved buer, der bredden er proporsjonal med antall studier/næringspartnere som har nevnt interaksjonen.

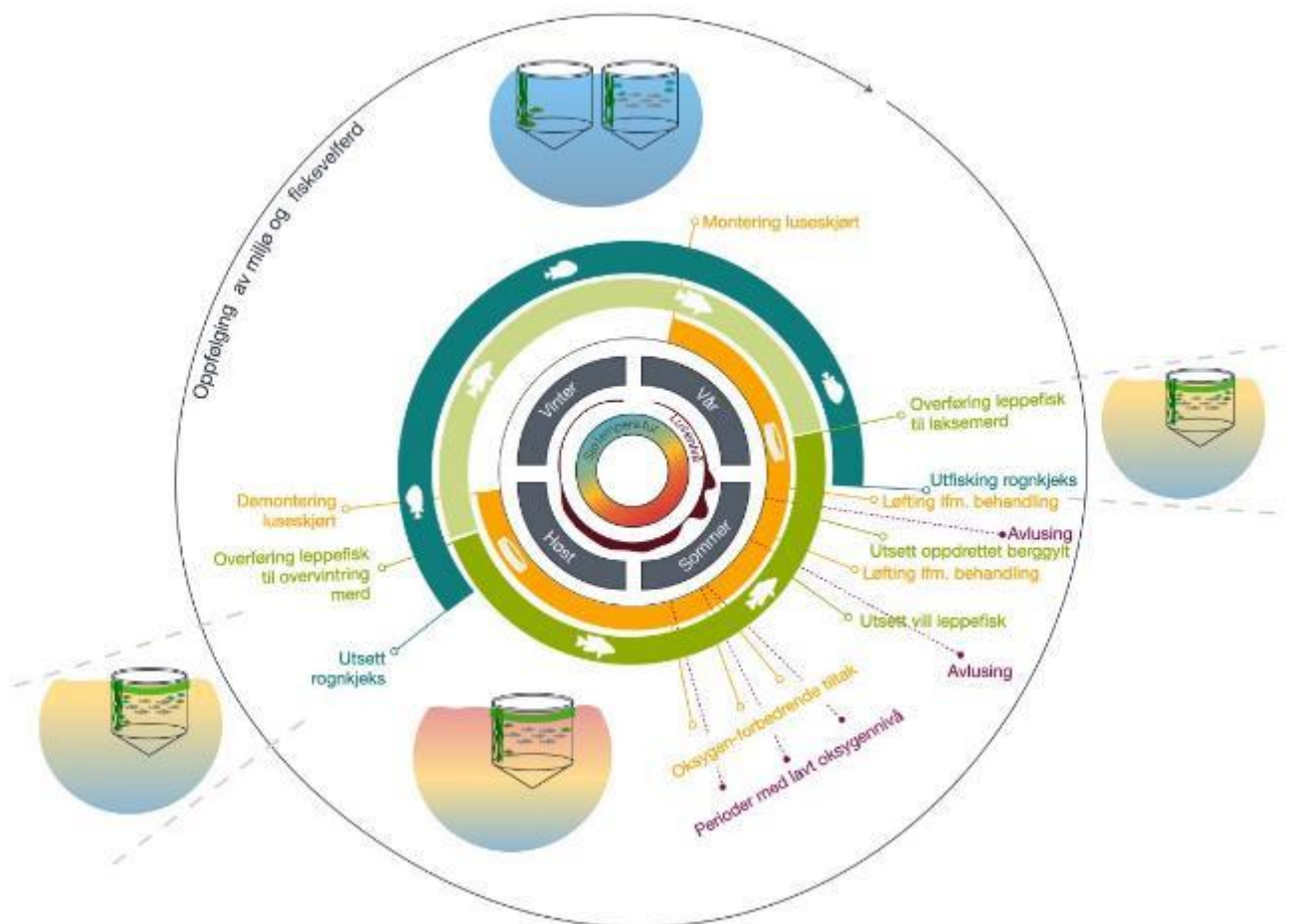
5.8.5 Kombinasjon av luseskjørt og renseskjort

Kunnskapsstatus

Et begrenset antall vitenskapelige studier viser til bruk av leppefisk eller rognkjeks i kombinasjon med luseskjørt (Bui mfl., 2020; Grøntvedt og Kristoffersen, 2015; Jevne og Reitan, 2019; Reynolds, 2022). Det foreligger imidlertid rapporter (Stien mfl., 2020; Størkersen og Amundsen, 2019) som oppsummerer intervjuer med oppdrettere, og som beskriver deres erfaringer og oppfatningantall er om bruk av luseskjørt i kombinasjon med renseskjort.

- Renseskjorten kan bidra med å fjerne lus dersom den først kommer på innsiden av skjørtet (leppefisk: Holan mfl., 2017).
- Bruk av renseskjort i kombinasjon med skjørt kan resultere i forskjellige svømmedyp og færre interaksjoner mellom laks og renseskjort, og derav redusert/fraværende estimert beiteeffektivitet (grønnngylt: Gentry mfl., 2020).
- Erfaringer fra næringsaktørene tilsier at det kan være litt høyere dødelighet på leppefisk ved bruk av luseskjørt, men luseskjørt kan også ha en positiv effekt på renseskjort ved eksponerte lokaliteter (Stien mfl., 2020; Størkersen og Amundsen, 2019). Spesielt rognkjeks ser ut til å dra nytte av luseskjørtet ettersom den ikke er en særskilt god svømmer (Hvas mfl., 2018). Luseskjørtet bremser havstrømmen og gjør at rognkjeks ikke trenger å bruke like mye energi på å svømme mot strømmen. Oppbremsing av havstrømmen vil også være gunstig for renseskjortskjulene som vil holde seg mer i ro (Worum mfl., 2022).

Den foreløpige beste praksisen for bruk av luseskjørt kombinert med rognkjeks og leppefisk er presentert i et årshjul for en typisk produksjon som viser tidsoverlappen av bruk av de ulike forbyggende metodene (Fig. 10).



Figur 10: Eksempel på et årshjul som forholder seg til foreløpig beste praksis for kombinert bruk av luseskjørt, rognkjeks og leppefisk i merd. Sjøtemperatur og lusenivå er illustrert innerst i sirkelen. Perioden når luseskjørt er montert er visualisert i gul. Perioden med leppefisk i merd er visualisert i grønn (lysere grønn ved overvintring, med anbefaling om å overføre fisken til ventemerd). Anbefalt periode med rognkjeks i merd er visualisert i blå. Viktige momenter er illustrerte med piler, med tilhørende fargekode til de enkelte metoder.

Videre FoU-behov – kombinasjon luseskjørt og rensefisk

Det er et generelt behov for kontrollerte forsøk med skjørt og rensefisk, både i liten og stor skala, da det fortsatt er veldig lite kunnskap om kombinert bruk av luseskjørt og rensefisk.

→ Hvorvidt rensefisk trekker ned på samme måte som laks ved lav oksygenverdier er ukjent. Dersom rensefisk ikke trekker ned, men blir igjen i de øvre vannmassene i større grad enn det laksen gjør, kan det tenkes at rensefisken er mer utsatt for oksygensvikt (Worum mfl., 2022). Dette bør undersøkes videre for å sikre god velferd hos rensefisk ved bruk av luseskjørt.

→ Bruk av luseskjørt kan forverre den manglende overlappen mellom rensefiskens og laksens prefererte svømmedyp (Geitung mfl., 2020; Gentry mfl., 2020) knyttet til deres fysiologiske begrensninger i forhold til miljø (Hvas mfl., 2018; Hvas og Oppedal, 2019; Yuen mfl., 2019). For å øke antall interaksjoner og dermed forbedre lusebeiteeffektiviteten er det behov for å teste ut ulike tiltak for å synkronisere dybden til laks og rensefisk.

→ Det bør utføres forsøk som belyser hvordan leppefisk og skjørt fungerer i relasjon til årstid. Er det for eksempel noen årstider hvor leppefisk og skjørt ikke bør kombineres.

→ Det er en oppfatning at bruk av luseskjørt på eksponerte lokaliteter kan være en fordel for rensefisk (Størkersen og Amundsen, 2019). Dette fordi luseskjørt kan bremse strømmen noe og dermed gi rensefisken bedre forhold. Imidlertid mangler det forskning som kan bekrefte eller avkrefte dette. Det bør derfor gjøres forsøk med og uten skjørt på lokaliteter med ulike strømbilder for å kartlegge hvilke type lokaliteter som er gunstige for kombinert bruk av luseskjørt og rensefisk.

Konkluderende kommentarer

Det er et generelt behov for flere case-studier, særlig fra lokaliteter som har god erfaring med rensefisk og/eller luseskjørt som forebyggende metoder. Det er også behov for flere langsiktige studier i storskala, da det er et stort antall parametere som påvirker bruken av rensefisk og luseskjørt. Det kan være komplisert å estimere effekten av forebyggende metoder hvis man ikke kan sammenligne merder med og uten bruk av disse metoder. En mer omfattende rapportering fra oppdretterne med systematisk registrering av bruk av rensefisk og luseskjørt kunne vært en interessant mulighet for å kunne sammenligne lusenivåene ved alle lokalitetene som bruker forebyggende metoder i ulike grad.

Referanser AP5

- Aldrin, M. & Huseby, R. (2019). Re-estimering av populasjonsmodell for lakselus 2019. Delrapport for prosjekt FHF:901414 Enhetlig proaktiv lusestrategi Rogaland".
- Allaire, J., Gandrud, C., Russell, K. & Yetman, C. (2017). *networkD3: D3 JavaScript Network Graphs from R* [R package version 0.4]. <https://CRAN.R-project.org/package=networkD3>
- AquaGen. (2019). Nytt avlssenter sikrer bærekraftig utvikling av rognkjeksoppdrett. Hentet 31. januar 2022, fra <https://aquagen.no/wp-content/uploads/2019/01/01-2019-nyttavlssenter-sikrer-brekraftig-utvikling-av-rognkjeksoppdrett.pdf>
- Austad, M. (2021). Tapsårsaker rensefisk: Er det mulig å oppnå høyere overlevelse? <https://www.fhf.no/arrangementer/arrangementer/lusekonferansen-2021-digital/>
- Austad, M., Boissonnot, L., Stensby-Skjærvik, S. & Sakariassen, T. E. (2021). Hvem er de beste lusespiserne? *Norsk Fiskeoppdrett*, (4), 32–37.
- Barrett, L. T., Overton, K., Stien, L. H., Oppedal, F. & Dempster, T. (2020). 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.
- Boissonnot, L., Karlsen, C., Hjort, K., Remen, M. & Austad, M. (2022a). *EFFEKTIV: Effekt og velferd ved bruk av rensefisk. Sluttrapport: Fiskevelferd hos rognkjeks (AP1)*. FHF901652.
- Boissonnot, L., Kharlova, I., Iversen, N. S., Staven, F. R. & Austad, M. (2022b). Characteristics of lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) with high cleaning efficacy in commercial Atlantic salmon (*Salmo salar*) production [upublisert manuskript] [Status: til review].
- Brooker, A. J., Papadopoulou, A., Gutierrez, C., Rey, S., Davie, A. & Migaud, H. (2018). Sustainable production and use of cleaner fish for the biological control of sea lice: recent advances and current challenges. *Veterinary Record*, 183(12), 383–383. <https://doi.org/10.1136/vr.104966>
- Bui, S., Oppedal, F., Nilsson, J., Oldham, T. M. W. & Stien, L. H. (2019). Summary and status of deep lights and deep feed use in commercial settings: welfare, behaviour and infestation at three case study sites—End report from the FHF projects 901154 “Dypelysogføring”.
- Bui, S., Stien, L. H., Nilsson, J., Trengereid, H. & Oppedal, F. (2020). Efficiency and welfare impact of long-term simultaneous in situ management strategies for salmon louse reduction in commercial sea cages. *Aquaculture*, 520, 734934.
- Cerbule, K. & Godfroid, J. (2020). Salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)) control methods and efficacy in Atlantic salmon (*Salmo salar* (Linnaeus)) aquaculture: a literature review. *Fishes*, 5(2), 11.
- Crosbie, T., Wright, D. W., Oppedal, F., Johnsen, I. A., Samsing, F. & Dempster, T. (2019). Effects of step salinity gradients on salmon lice larvae behaviour and dispersal. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 181–190.
- Eliassen, K., Danielsen, E., Johannesen, Á., Joensen, L. L. & Patursson, E. J. (2018). The cleaning efficacy of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) in Faroese salmon (*Salmo salar* L.) farming pens in relation to lumpfish size and seasonality. *Aquaculture*, 488, 61–65. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.01.026>
- Fiskeridirktoratet. (2021). Akvakulturstatistikk: rensefisk. Hentet 21. januar 2022, fra <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Rensefisk>

- Fjelldal, P. G., Madaro, A., Hvas, M., Stien, L. H., Oppedal, F. & Fraser, T. W. (2021). Skeletal deformities in wild and farmed cleaner fish species used in Atlantic salmon *Salmo salar* aquaculture. *Journal of fish biology*, 98(4), 1049–1058.
- Frank, K. & Lien, A. M. (2015). Permaskjørt og merdmiljø - Permaskjørt A4, 23. SINTEF Fiskeri og Havbruk. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2448611>
- Garcia de Leaniz, C., Gutierrez Rabadan, C., Barrento, S. I., Stringwell, R., Howes, P. N., Whittaker, B. A., Minett, J. F., Smith, R. G., Pooley, C. L., Overland, B. J., Biddiscombe, L., Lloyd, R., Consuegra, S., Maddocks, J. K., Deacon, P. T. J., Jennings, B. T., Rey Planellas, S., Deakin, A., Moore, A. I., ... Pavlidis, M. (2021). Addressing the welfare needs of farmed lumpfish: Knowledge gaps, challenges and solutions. *Reviews in Aquaculture*, raq.12589. <https://doi.org/10.1111/raq.12589>
- Geitung, L., Oppedal, F., Stien, L. H., Dempster, T., Karlsbakk, E., Nola, V. & Wright, D. W. (2019). Snorkel sea-cage technology decreases salmon louse infestation by 75% in a fullcycle commercial test. *International Journal for Parasitology*, 49(11), 843–846.
- Geitung, L., Wright, D. W., Oppedal, F., Stien, L. H., Vågseth, T. & Madaro, A. (2020). Cleaner fish growth, welfare and survival in Atlantic salmon sea cages during an autumn-winter production. *Aquaculture*, 528, 735623. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735623>
- Gentry, K., Bui, S., Oppedal, F., Bjelland, R., Nola, V. & Dempster, T. (2021). Acclimatisation with lice-infested salmon improves cleaner fish lice consumption. *Aquaculture Environment Interactions*, 13, 41–49.
- Gentry, K., Bui, S., Oppedal, F. & Dempster, T. (2020). Sea lice prevention strategies affect cleaner fish delousing efficacy in commercial Atlantic salmon sea cages. *Aquaculture Environment Interactions*, 12, 67–80.
- Grøntvedt, R. & Brandshaug, O. K. (2021). Veileder 3: Beste praksis rensefisk: Strategi, mottak og hold av rensefisk.
- Grøntvedt, R. N. & Kristensen, T. (2018). Dokumentasjon av fiskevelferd ved bruk av FLS avluser.
- Grøntvedt, R. N., Kristoffersen, A. B. & Jansen, P. A. (2018). Reduced exposure of farmed salmon to salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* L.) infestation by use of plankton nets: Estimating the shielding effect. *Aquaculture*, 495, 865–872.
- Grøntvedt, R. & Kristoffersen, A. (2015). Permaskjørt kan redusere påslag av lakselus-analyse av felldata. Delrapport Permaskjørt-prosjektet A5.
- Gutierrez Rabadan, C., Spreadbury, C., Consuegra, S. & Garcia de Leaniz, C. (2021). Development, validation and testing of an Operational Welfare Score Index for farmed lumpfish *Cyclopterus lumpus* L. *Aquaculture*, 531, 735777. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735777>
- Halvorsen, K. T., Sjørdalen, T. K., Larsen, T., Browman, H. I., Rafoss, T., Albreten, J. & Skiftesvik, A. B. (2020). Mind the depth: The vertical dimension of a small-scale coastal fishery shapes selection on species, size, and sex in wrasses. *Marine and Coastal Fisheries*, 12(6), 404–422.
- Helland, S., Grøtan, E. & Noble, C. (2014). Effects of transfer from continuous light to different light regimes on growth, survival, and fin and skin health. I S. Helland, S. Dahle, C. Hough & J. Borthen (Red.), *Production of ballan wrasse - Science and practice* (s. 94–95).
- Holan, A., B., R., Breiland, M., Kolarevic, J., Hansen, Ø., Iversen, A., Hermansen, Ø., Gjerde, B., Hatlen, B., Mortensen, A., Lein, I., Johansen, L.-H., Noble, C., Gismervik, K. & Espmark, Å. M. (2017). Sluttrapport FHF prosjekt nr.901296. Beste praksis for medikamentfrie metoder for lakseluskontroll (MEDFRI). <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901296/>
- Hvas, M., Folkedal, O., Imsland, A. & Oppedal, F. (2018). Metabolic rates, swimming capabilities, thermal niche and stress response of the lumpfish, *Cyclopterus lumpus*. *Biology Open*, bio.036079. <https://doi.org/10.1242/bio.036079>
- Hvas, M. & Oppedal, F. (2019). Physiological responses of farmed Atlantic salmon and two cohabitant species of cleaner fish to progressive hypoxia. *Aquaculture*, 512, 734353. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734353>
- Imsland, A. K. D., Frogg, N., Stefansson, S. O. & Reynolds, P. (2019a). Improving sea lice grazing of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) by feeding live feeds prior to transfer to Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) net-pens. *Aquaculture*, 511, 734224. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734224>
- Imsland, A. K. D., Hanssen, A., Nytrø, A. V., Reynolds, P., Jonassen, T. M., Hangstad, T. A., Elvegård, T. A., Urskog, T. C. & Mikalsen, B. (2018a). It works! Lumpfish can significantly lower sea lice infestation in large-scale salmon farming. *Biology Open*, 7(9), bio036301. <https://doi.org/10.1242/bio.036301>
- Imsland, A. K. D., Jonassen, T. M., Hangstad, T. A., Stefansson, S. O., Elvegård, T. A., Lemmens, S. C., Urskog, T. C., Nytrø, A. V. & Reynolds, P. (2018b). The effect of continuous light and compressed photoperiods on growth and maturation in lumpfish *Cyclopterus lumpus*. *Aquaculture*, 485, 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.11.053>
- Imsland, A. K. D. & Reynolds, P. (2022). EFFEKTIV: Effekt og velferd ved bruk av rensefisk. Sluttrapport: Dokumentasjon av effekt og fiskehelse ved bruk av rognkjeks (AP1). FHF901652.
- Imsland, A. K. D., Reynolds, P., Eliassen, G., Hangstad, T. A., Foss, A., Vikingstad, E. &

- Elvegård, T. A. (2014). The use of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) to control sea lice (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer) infestations in intensively farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) *Aquaculture*, 424-425, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.12.033>
- Imsland, A. K. D., Reynolds, P., Eliassen, G., Mortensen, A., Hansen, Ø. J., Puvanendran, V., Hangstad, T. A., Jónsdóttir, Ó. D., Emaus, P.-A., Elvegård, T. A., Lemmens, S. C., Rydland, R., Nytrø, A. V. & Jonassen, T. M. (2016a). Is cleaning behaviour in lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) parentally controlled? *Aquaculture*, 459, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.03.047>
- Imsland, A. K. D., Reynolds, P., Hangstad, T. A., Kapari, L., Maduna, S. N., Hagen, S. B., Jónsdóttir, Ó. D. B., Spetland, F. & Lindberg, K. S. (2021). Quantification of grazing efficacy, growth and health score of different lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) families: Possible size and gender effects. *Aquaculture*, 530, 735925. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735925>
- Imsland, A. K. D., Reynolds, P., Lorentzen, M., Eilertsen, R. A., Micallef, G. & Tvenning, R. (2020). Improving survival and health of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) by the use of feed blocks and operational welfare indicators (OWIs) in commercial Atlantic salmon cages. *Aquaculture*, 527, 735476. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735476>
- Imsland, A. K. D., Reynolds, P., Nytrø, A. V., Eliassen, G., Hangstad, T. A., Jónsdóttir, Ó. D., Emaus, P.-A., Elvegård, T. A., Lemmens, S. C., Rydland, R. & Jonassen, T. M. (2016b). Effects of lumpfish size on foraging behaviour and co-existence with sea lice infected Atlantic salmon in sea cages. *Aquaculture*, 465, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.015>
- Imsland, A. K. D., Reynolds, P., Jonassen, T. M., Hangstad, T. A., Adron, J., Elvegård, T. A., Urskog, T. C., Hanssen, A. & Mikalsen, B. (2019b). Comparison of diet composition, feeding, growth and health of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) fed either feed blocks or pelleted commercial feed. *Aquaculture Research*, 50(7), 1952–1963.
- Jansen, P., Husseby, R., Engebretsen, S. & Aldrin, M. (2022). EFFEKTIV: Effekt og velferd ved bruk av rensefisk. Sluttrapport: Dokumentasjon av effekt og fiskehelse ved bruk av leppefisk (AP2). FHF-901652.
- Jevne, L. S., Guttu, M., Båtnes, A. S., Olsen, Y. & Reitan, K. I. (2021). Planktonic and Parasitic Sea Lice Abundance on Three Commercial Salmon Farms in Norway Throughout a Production Cycle. *Frontiers in Marine Science*, 2.
- 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.
- Johansen, B. (2014). Sluttrapport FHF prosjekt 900834. Luseskjørt dokumentasjon av praktisk bruk og nytte. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/900834/>
- Jónsdóttir, K. E., Hvas, M., Alfredsen, J. A., Føre, M., Alver, M. O., Bjelland, H. V. & Oppedal, F. (2019). Fish welfare based classification method of ocean current speeds at aquaculture sites. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 249–261.
- Jónsdóttir, K. E., Volent, Z. & Alfredsen, J. A. (2020). Dynamics of dissolved oxygen inside salmon seacages with lice shielding skirts at two hydrographically different sites. *Aquaculture Environment Interactions*, 12, 559–570.
- Jónsdóttir, K. E., Volent, Z. & Alfredsen, J. A. (2021). Current flow and dissolved oxygen in a full-scale stocked fish-cage with and without lice shielding skirts. *Applied Ocean Research*, 108, 102509.
- Jørgensen, E. H., Haatuft, A., Puvanendran, V. & Mortensen, A. (2017). Effects of reduced water exchange rate and oxygen saturation on growth and stress indicators of juvenile lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) in aquaculture. *Aquaculture*, 474, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.03.019>
- Loew, E., Browman, H., Bjelland, R. & Skiftesvik, A. (2012). Kartlegging av hvilke lyskvaliteter berggylt er i stand til å se i fiskens ulike livsstadier.
- Loew, E., Skiftesvik, A., Bjelland, R., Browman, H. & Durif, C. (2016). Spectral sensitivity and contrast potentials for four species of cleaner fish. *Institute of Marine Research*, 39–2016.
- Morado, N., Mota, P. G. & Soares, M. C. (2019). The rock cook wrasse *Centrolabrus exoletus* aims to clean. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 182.
- Næs, M., Grøntvedt, R., Kristoffersen, A. & Johansen, B. (2014). Faglig rapport 4. mars til FHF prosjekt 900834. Feltutprøving av planktonduk som skjerming rundt oppdrettsmerder for å redusere påslag av lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*). <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/900834/>
- R Core Team. (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing. <https://www.R-prosjekt.org/>
- Ramirez-Paredes, J. G., Verner-Jeffreys, D., Papadopoulou, A., Monaghan, S. J., Smith, L., Haydon, D., Wallis, T. S., Davie, A., Adams, A. & Migaud, H. (2020). A commercial autogenous injection vaccine protects ballan wrasse (*Labrus bergylta*, Ascanius) against *Aeromonas salmonicida* vapA type V. *Fish & Shellfish Immunology*, 107, 43–53.

- Reynolds, P. (2022). Comparison of sea lice grazing potential and health of Lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) maintained in 120m polar circle cages with and without CFC systems (closed fish cages). FHF-901652 *EFFEKTIV*.
- Sistiaga, M., Herrmann, B. & Jørgensen, T. (2021). Prediction of goldsinny wrasse (*Ctenolabrus rupestris*) minimum size required to avoid escape through salmon (*Salmo salar*) farm nets. *Aquaculture*, 543, 737024.
- Skiftesvik, A., Bjelland, R., Durif, C., Halvorsen, K., Shema, S., Fields, D. & Browman, H. (2017). Sluttrapport: Program rensefisk: Kunstig lys og rensefisk.
- Skiftesvik, A., Bjelland, R., Durif, C. & Hjellum, R. (2016). Delrapport til FHF-prosjekt 900978: Atferd og artssamspill i laksemerder.
- Skiftesvik, A., Bjelland, R., Durif, C., Moltumyr, L., Hjellum, R. & Halvorsen, K. (2018). Program rensefisk: Adferd og artssamspill i laksemerder.
- Skiftesvik, A. B., Bjelland, R. M., Durif, C. M., Johansen, I. S. & Browman, H. I. (2013). Delousing of Atlantic salmon (*Salmo salar*) by cultured vs. wild ballan wrasse (*Labrus bergylta*). *Aquaculture*, 402, 113–118.
- Sommeret, I., Jensen, B. B., Bornø, B., Haukaas, A. & Brun, E. (2021). *Fiskehelsesrapporten 2020* (tekn. rapp. 41a/2021). Veterinærinstituttet. www.vetinst.no
- Staven, F. R., Nordeide, J. T., Gesto, M., Andersen, P., Patel, D. M. & Kristensen, T. (2021a). Behavioural and physiological responses of lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) exposed to Atlantic salmon (*Salmo salar*) sensory cues. *Aquaculture*, 544, 737066. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737066>
- Staven, F. R., Nordeide, J. T., Gesto, M., Andersen, P., Patel, D. M. & Kristensen, T. (2021b). Behavioural and physiological responses of lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) exposed to Atlantic salmon (*Salmo salar*) sensory cues. *Aquaculture*, 544, 737066.
- Staven, F. R., Nordeide, J. T., Imsland, A. K., Andersen, P., Iversen, N. S. & Kristensen, T. (2019). Is Habituation Measurable in Lumpfish *Cyclopterus lumpus* When Used as Cleaner Fish in Atlantic Salmon *Salmo salar* Aquaculture? *Frontiers in Veterinary Science*, 6, 227. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00227>
- Stien, L. H., Lind, M. B., Oppedal, F., Wright, D. W. & Seternes, T. (2018). Skirts on salmon production cages reduced salmon lice infestations without affecting fish welfare. *Aquaculture*, 490, 281–287.
- Stien, L., Størkersen, K. & Gåsnes, S. (2020). Analyse av dødelighetsdata fra spørreundersøkelse om velferd hos rensefisk.
- Størkersen, K. & Amundsen, V. (2019). Rensefiskens ve og vel i merdene. Resultat av spørreundersøkelse til matfisklokaliteter med rensefisk.
- Treasurer, J. W. & Feledi, T. (2014). The Physical Condition and Welfare of Five Species of Wild-caught Wrasse Stocked under Aquaculture Conditions and when Stocked in Atlantic Salmon, *Salmo salar* Production Cages: Physical condition of cleaner fish stocked in cages. *Journal of the World Aquaculture Society*, 45(2), 213–219. <https://doi.org/10.1111/jwas.12099>
- Trengereid, H., Bui, K., Sand Gentry & Pittman, K. (2020). Faglig sluttrapport fra Centre for Aquaculture Competence FHF 901243. Test av ulike kombinasjoner tiltak til beskyttelse mot lakselus. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901243/>
- Volent, Z., Jónsdóttir, K., Misund, A., Steinhovden, K., Chauton, M. & Sunde, L. (2020). Sluttrapport FHF prosjekt nr 901396: Strategi lakselus 2017: Luseskjørt som ikkemedikamentell metode for forebygging og kontroll av lakselus -Utvikling av kunnskap om miljøforhold for økt effekt og redusert risiko (SKJERMTEK). <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901396/>
- Woll, A., Solevåg, S., Aas, G., Bakke, S., Skiftesvik, A. & Bjelland, R. (2013). Velferd Leppefisk i Merd.
- Worum, B. H., Brandshaug, O. K. & Larsen, S. V. (2022). *EFFEKTIV: Effekt og velferd ved bruk av rensefisk. Sluttrapport: Evaluering av effekt og fiskehelse ved bruk av luseskjørt (AP3). FHF-901652.*
- Wright, D. W., Stien, L. H., Oppedal, F., Sievers, M., Ditria, E. & Trengereid, H. (2019). The Well-Mixing skirt and freshwater lens concepts with smart-lighting and-feeding to enhance lice prevention and safeguard fish welfare. *Rapport fra havforskningen*.
- Yuen, J. W., Dempster, T., Oppedal, F. & Hvas, M. (2019). Physiological performance of ballan wrasse (*Labrus bergylta*) at different temperatures and its implication for cleaner fish usage in salmon aquaculture. *Biological Control*, 135, 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.05.007>

6 Hovedfunn

- Systematisk gjennomgang av tilgjengelige data (publisert, rapporter, pers. medd.) viser tydelig at rognkjeks beiter på lakselus og skottelus og kan redusere lusebyrden betydelig i lakseoppdrett. Dette er bekreftet i stor-skala oppfølgings-studier.
- I gjennomsnitt er funnet 0,19 lakselus per rognkjeks i magen hos 26000 rognkjeks i laksemerder langs norskekysten. Dette tilsvarer at 19 % av lusepopulasjonen dør hvert døgn hvis man antar 10 % innblanding av rognkjeks, at lakselus fordøyes i løpet av ett døgn og 0,1 lus (sum voksne+preadulte) per laks.
- Velferd hos rensefisk har en negativ utvikling over tid i merder. For rognkjeks er mekanisk avlusing en viktig negativ faktor.
- Vellykket bruk av luseskjørt forutsetter en helhetlig strategi fra innkjøp og opplæring til håndtering og vedlikehold. Man må forstå lokalitetens miljøfaktorer som hydrografi, eksponering og årstidsvariasjoner.
- Det er et generelt behov for flere case-studier, særlig fra lokaliteter som har god erfaring med rensefisk og/eller luseskjørt som forebyggende metoder.
- Det er også behov for flere langsiktige studier i storskala, da det er et stort antall parametere som påvirker bruken av rensefisk og luseskjørt.

7 Leveranser

All forskning som utføres i prosjektet skal kunne publiseres, og iht. FHF sin norm for bl.a. sluttrapportering. Følgende konkrete leveranser følger av prosjektet og er blitt levert i prosjektiden.

- 1 Åpent oppstartsmøte med prosjektgruppe, referansegruppe og oppdrettere
- 2 Dokumentasjon av effekt ved bruk av rognkjeks til avlusing
- 3 Vurdering av effekt av leppefisk fra felldata
- 4 Sammenstillende notat fra intervjuer rundt praktisk bruk av luseskjørt
- 5 Vurdering av luseskjørtets effekt basert på geografiske og lokalitetsspesifikke ulikheter
- 6 Beskrivelse av leppefiskens velferd som lusespiser i laksemerder
- 7 Beskrivelse av rognkjeksens velferd som lusespiser i laksemerder
- 8 Stor-skala dokumentasjon, best-praksis rognkjeks
- 9 Stor-skala dokumentasjon, best-praksis leppefisk
- 10 Fremtidig FoU behov
- 11 Faglig og administrativ sluttrapport

8 Vedlegg

Vedlegg 1. Arbeidspakke 1. In lumpfish we trust? The efficacy of lumpfish to control *Lepeophtheirus salmonis* infestations on farmed Atlantic salmon: a review. *Aquaculture* (submitted).

Det understrekes at manuskriptet ikke kan kopieres, refereres, eller på annen måte brukes før etter at dette er publisert som fagfelleevaluert (per-reviewed). Manuskriptet er sendt til *Aquaculture* i februar 2022

Manuskript sendt til Aquaculture

In lumpfish we trust? The efficacy of lumpfish to control *Lepeophtheirus salmonis* infestations on farmed Atlantic salmon: a review

Albert Kjartan Dagbjartarson Imsland^{1,2*}, Patrick Reynolds³

¹*Akvaplan-niva Iceland Office, Akralind 4, 201 Kópavogur, Iceland,*

²*Department of Biological Science, University of Bergen, High Technology Centre, 5020 Bergen, Norway,*

³*GIFAS AS, Gildeskål, 8140 Inndyr, Norway*

Running title: Sea lice grazing of lumpfish

Keywords: Sea lice; *Lepeophtheirus salmonis*; lumpfish; Salmon farming; welfare

* Corresponding author at: Akvaplan-niva Iceland Office, Akralind 4, 201 Kópavogur, Iceland. E-mail address: albert.imsland@akvaplan.niva.no (A.K.D. Imsland).

Abstract

In this review, we have systematized current knowledge about numbers of *Lepeophtheirus salmonis* on farmed Atlantic salmon in relation to use of lumpfish as cleanerfish. The review was prompted by recent reports where the usefulness of lumpfish has been doubted and the urgent need to investigate if common lumpfish can be used to reduce *L. salmonis* numbers on farmed Atlantic salmon by active grazing on this species. Available published data clearly indicates that lumpfish grazes on *L. salmonis* and can significantly lower lice burden in Atlantic salmon farming. It is possible to enhance lice grazing of lumpfish with the assistance of live-feed conditioning prior to sea-pen transfer and with selective breeding. Data indicate that lice grazing of lumpfish is size dependent and grazing effect is low for lumpfish larger than 200-250 g. Observations from large scale rearing of Atlantic salmon in open sea cages in Norway, Iceland, Faroese Islands and Scotland also indicate that lumpfish can be effective in lowering infestations of *L. salmonis* on salmon. Overall, this present review reveals that lumpfish can actively contribute to lower numbers of *L. salmonis* on farmed Atlantic salmon.

1. Introduction

The sea lice *Lepeophtheirus salmonis* and various *Caligus* species, are ectoparasites of marine finfish (Copepoda: Caligidae). They have a major impact on salmonid aquaculture worldwide (Igboeli et al., 2012, 2014) causing losses of over €440 million in Norway annually (Abolofia et al., 2017). The lice live on the mucus, skin and blood of the fish resulting in wounds if not removed. Lice occur naturally on salmon in sea water and were described as early as in the middle of the 18th century (Torrissen et al., 2013). However, the problems have escalated with commercial production of Atlantic salmon (*Salmo salar* L) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) in sea cages. The effectiveness of medicinal treatments as bath or orally may be affected by the development of reduced sensitivity leading to the reduction in treatment efficacy. Therefore, more emphasis is being given to mechanical treatments such as thermolicing or by high pressure wash. Biological control using cleaner fish that pick the sea lice from salmonids (Skiftesvik et al., 2013; Imsland et al., 2014a; Powell et al., 2018) has been effective in reducing lice numbers and is being adopted widely by the salmon farming industry. As a cold-water cleaner-fish alternative, the common lumpfish *Cyclopterus lumpus* L. is currently used to control sea lice infestations (Imsland et al., 2014a-c, 2015a-b).

The parasitic copepod family Caligidae comprises more than 30 genera (Hemmingsen et al., 2020) and more than 450 species (Dojiri and Ho, 2013). Members of two of these genera – *Lepeophtheirus* and *Caligus* - have achieved notoriety by having the greatest economic impact of any group of parasites in salmonid fish mariculture (Costello, 2006, 2009) and have become collectively known as “sea lice”. Although this notoriety is mainly

due to the particularly serious impact of the species *L. salmonis*, members of the genus *Caligus* are also implicated. Johnson et al. (2004) estimated that in marine and brackish water fish cultures, 61% of copepod infestations are caused by members of the family Caligidae, 40% of which are caused by species of *Caligus* and 14% by species of *Lepeophtheirus*. A major difference between *L. salmonis* and *Caligus* spp. lies in their host specificities. *L. salmonis* is essentially a parasite of salmonid fish (Kabata, 1979), whereas many *Caligus* spp. tend to be much less host specific (Kabata, 1979; Pike and Wadsworth 1999) and have been found on >80 fish species (Kabata, 1979).

Lumpfish are now extensively used as cleaner fish in Norway (Imsland et al., 2014a-c; 2018a), Ireland (Bolton-Warberg, 2018), Scotland (Treasurer et al., 2018), Iceland (Steinarson and Árnason, 2018) and the Faroese Island (Eliassen et al., 2018), but there is a need to systematize knowledge, and guiding lines, on the effect of lumpfish on *L. salmonis*. Earlier research has indicated that lumpfish prefer the adult female *L. salmonis* (Imsland et al., 2014a, c; 2016; 2018a), but lumpfish in sea pens can be classified as strongly opportunistic (Imsland et al., 2014c, 2015a; Eliassen et al., 2018) and the fish do not restrict themselves or rely on a single food source if others were present (Imsland et al., 2015a). Lumpfish seemed to switch their preference towards which ever food item that is most readily available to them within their sea cage environment. This is important to bear in mind when looking for methods to optimize and increase the efficacy of lumpfish in sea pens.

A recent study effect of cleaner fish, based on national data from Barentswatch, saw little and varying effect of cleaner fish against lice (Barrett et al., 2020). They pointed out that few studies have demonstrated high efficacy of cleaner fish in sea cages with proper controls and replication, although it can be done (e.g. large cages: Imsland et al., 2018a; small cages: Skiftesvik et al., 2013, Imsland et al., 2014a-c). Knowledge around cleaner fish use has increased considerably in recent years through research and industry trial-and-error, and efficacy may be improving (Brooker et al., 2018; Powell et al., 2018). Evaluation of the effect of the use of cleaner fish is complicated, and there is no good explanation for the divergent results cited above. It is unknown how large the cleaner fish density is always, and it is more challenging to uncover a small but even effect, than a greater and immediate effect, such as in medical treatments (Overton et al., 2019). Furthermore, there may be regional differences in efficiency when using various cleaner fish species because of sea temperature, different modes of operation and other factors. Overall, there is a need for more knowledge about the effect of cleaner fish on sea lice occurrence on Atlantic salmon in aquaculture.

Much of the production biology and health management issues of cleaner fish have been extensively addressed in two previous reviews (Brooker et al., 2018, Powell et al., 2018). Overton et al. (2020) reviewed the evidence base of cleaner fish use in salmon aquaculture and assessed the current evidence base for cleaner fish efficacy. Overall, they concluded there is a mismatch between the current evidence base for the efficacy of cleaner

fish and the extent of their use by the industry. The authors recommended the use of replicated studies with focus in full commercial scale and concluded that more targeted, evidence-based use of cleaner fish should increase their efficacy and help to alleviate economic, environmental, and ethical concerns. In this mini review we aim to summarize findings from replicated small- and large-scale trials with lumpfish where grazing on *L. salmonis* has been reported to give recommendations on the possible use of lumpfish to combat *L. salmonis* on Atlantic salmon in sea pens and to answer some of the concern raised in the review study of Overton et al. (2020). We have tried to summarize industrial findings in the countries where lumpfish is currently used as a biological delouser on an industrial scale.

2. Lumpfish efficacy: small-scale studies

*Different density of lumpfish: effect on occurrence of *L. salmonis* on Atlantic salmon*

Imsland et al. (2014a) investigated the efficacy of lumpfish grazing on attached *L. salmonis* on Atlantic salmon at two different lumpfish densities (10 and 15%). *L. salmonis* were counted every two weeks during the trial period (54 days). Gastric lavage was performed to investigate the stomach content of the lumpfish.

The results showed that on from day 25, onwards significantly lower average numbers of adult male and female lice were found in groups with different densities of lumpfish compared to control. At termination (day 54), there were 58% and 55% less adult male sea lice per Atlantic salmon in the 10% and 15% lumpfish groups compared to the control (Fig. 1A). For adult female lice the trend was even clearer as the 10% and 15% lumpfish treatments had 93% and 97% fewer female lice compared to the control group at termination of the trial (Fig. 1B).

In both lumpfish groups, the presence of eaten sea lice increased throughout the study period, from approximately 10% at start to 28% at termination of the trial (Fig. 2).

*Habituation of lumpfish by feeding live feeds prior to transfer to Atlantic salmon net-pens: effect on occurrence of *L. salmonis**

Imsland et al. (2019a) established two groups of individually tagged lumpfish in land-based tanks. One group received marine pelleted feed (MF group) whilst the other received a mix of pelleted feed, live adult *Artemia* and frozen sea lice (LF group). These two groups were subsequently transferred to small-scale sea pens with 300 Atlantic salmon and occurrence of *L. salmonis* on the salmon was investigated for 62 days. From day 34 throughout the trial period there was significantly less *L. salmonis* in both the LF and MF groups compared to control (SNK post hoc test, $P < 0.05$, Fig. 3). On the final lice count (day 62) lice levels were 23% and significantly lower in the LF group than in the MF group (SNK post hoc test, $P < 0.01$, Fig. 3).

*Lumpfish grazing on *L. salmonis*: possible parental control*

Imsland et al. (2016a) investigated possible parental control in grazing of *L. salmonis* in nine families (half- and full-sibs) of lumpfish distributed in duplicates among nine small sea cages each stocked with 400 Atlantic salmon. During the trial period (78 day duration) gastric lavage was performed every two weeks to assess the feeding preferences of individual lumpfish. Although the *L. salmonis* infestation rate was very low in the study of Imsland et al. (2016a, Fig. 4A), the percentage of lumpfish found to have consumed *L.*

salmonis varied significantly between the families possibly indicating a parental control of *L. salmonis* grazing.

In a follow-up study Imsland et al. (2021) investigated sea lice grazing of 10 lumpfish families (N=480) with a mean (\pm SD) weight of 46.5 ± 4.3 g stocked in small sea cages (5x5x5 m) together with 400 Atlantic salmon with a mean (\pm SD) weight of 387.3 ± 10.3 g. During the trial period (73 days) gastric lavage was performed every two weeks to assess the feeding preferences of individual lumpfish. In this trial the consumption of *L. salmonis* varied (Fig. 4B) between families. Families 5 and 6 (half-siblings, same father) had the highest consumption of *L. salmonis* throughout the study (Fig. 4B). Recently Whittaker et al. (2021) investigated if there were differences in the behavioural profile of those lumpfish that were more predisposed to inspect salmon. They found that personality profiling can be used to predict how lumpfish interact with salmon and, possibly, whether they will make effective cleaner fish. Their results indicate that neophilic lumpfish were more likely to inspect salmon, while the most active and social individuals were more likely to cause salmon to flee. They further found that these behaviours were repeatable, and therefore likely heritable (Whittaker et al., 2021), suggesting that artificial selection could be used to select better cleaner fish through domestication. This is consistent with results that show that delousing behaviour is parentally controlled (Imsland et al., 2016a, 2021) and thus likely inherited.

Effects of lumpfish size on sea lice grazing

Imsland et al. (2016b) investigated the possible size-effect of sea lice grazing efficiency in lumpfish. Three duplicate groups of lumpfish with an initial mean (\pm SD) weight of 22.6 ± 0.7 g (small), 77.4 ± 3.6 g (medium) and 113.5 ± 2.1 g (large) were stocked with Atlantic salmon with a mean (\pm SD) weight of 538 ± 14 g. Two cages without lumpfish acted as controls. To determine the diet preferences of lumpfish in the cages gastric lavage was performed at the same time intervals. The results indicated that small lumpfish (initial size approx. 20 g) have a higher overall preference for natural food items compared to larger conspecifics (Fig. 5A-B). Final lice burden was 40% lower in salmon groups stocked with small lumpfish compared to the control group without lumpfish. Imsland et al. (2014b) found significantly lower sea lice infection levels were seen on Atlantic salmon when reared together with small lumpfish (initial weight 54 g) compared to control group without lumpfish, whereas this trend was not as clear when reared with larger lumpfish (initial weight 360 g) although indications of sea lice grazing were seen.

In the study of Imsland et al. (2021) there was a general trend for sea lice grazing to decrease as the lumpfish grew, but this trend varied between the families possibly indicating a parental control of this effect. In some families very few no lumpfish over grazed grazing sea lice at sizes over 120 g, whereas a more equal size class distribution of sea lice grazing of fish between 40-179 g was seen in the other families.

Overall, published studies strongly indicate a size related sea lice grazing in lumpfish from approx. 20 g to 360 g but that this may vary based on the genetic composition of the lumpfish population.

3. Lumpfish efficacy: large-scale observations

Large-scale trial at Lerøy Aurora, Troms, Norway

Imstrand et al. (2018a) performed a large-scale trial at a commercial Atlantic salmon sea farm at 69.80°N, 19.41°E (Lerøy Aurora, Troms county, Norway) from 6 October 2015 to 17 May 2016. The experiment was conducted in eight large sea cages (130 m circumference, 37688 m³ volume) holding 0+ smolts of Atlantic salmon ($n=193304 \pm 2089$ fish pen⁻¹) with an initial mean (\pm SEM) body weight of 198 ± 20 g. Lumpfish were stocked at 4, 6 and 8% density in duplicate sea cages. At the start of the trial, a lice count was undertaken as the fish were transferred into the trial cages. 30 fish were sedated, individually weighed and any lice present were recorded. After the counting was complete, any lice remaining in the container were also recorded. Lice were registered in four categories: (1) *Lepeophtheirus salmonis*, adult female; (2) *L. salmonis*, pre-adult; (3) *L. salmonis*, chalimus; (4) *Caligus elongatus*.

Numbers of pre-adult *L. salmonis* were low (≤ 0.25 per fish) in all lumpfish groups throughout the experimental period (Fig. 6A). All lumpfish treatment groups had lower levels of pre-adult individuals compared to the control group in February and March (SNK post hoc test, $P < 0.05$, Fig. 6A). Levels of mature female *L. salmonis* remained low during autumn but increased in all groups during January (Fig. 6B). Significantly, lower levels of mature female *L. salmonis* was seen in the lumpfish groups from January to April (Student-Newman-Keuls post hoc test, $P < 0.05$, Fig. 6B). Moreover, there was a relationship between lumpfish density and levels of adult female lice as progressively less adult female lice were seen in the 4% to 8% density groups. Between weeks 4–11, 60–100% less adult female lice were seen in the lumpfish groups compared with the control group.

Large-scale observations at Nordlaks, Nordland, Norway

A large-scale observation was performed at a commercial Atlantic salmon sea farm at 68.40°N, 15.11°E (Nordlaks, Nordland county, Norway) from 1 July 2017 to 2 February 2018. The observation was conducted in 12 large sea cages (160 m circumference, 58900 m³ volume) holding 0+ smolts of Atlantic salmon. Two nearby locations, Finnkjerka and Mollgavlen, in the same seawater basin (10 km between them) were monitored. At location Finnkjerka there were six sea pens holding on average 198250 ± 3200 salmon smolts in each pen with an initial mean (\pm SEM) bodyweight of 75 ± 9 g in October 2016. In July 2017 around 12000 lumpfish pen⁻¹ with mean weight of 32 ± 3 g were added to all the sea

pens at this location. In the nearby location of Mollgavlen there were six sea pens holding on average 164724 ± 8632 salmon smolts in each pen with an initial mean (\pm SEM) bodyweight of 76 ± 12 g in October 2016. Every second week during the observation period thirty salmon from each sea pen were sedated, individually weighed and any lice present were recorded. After counting was complete, any lice remaining in the container were also recorded. Lice were registered in 4 categories: 1) *Lepeophtheirus salmonis*; Adult female; 2) *L. salmonis*: Pre-adult; 3) *L. salmonis*: Chalimus; 4) *Caligus elongatus*.

Overall, less *L. salmonis* were found on the salmon with lumpfish present (Finnkjerka location) compared with the location with no lumpfish (Fig. 7). This effect was most evident in the period from week 28 to 44 (July to October) as the level of mature sea lice remained low at Finnkjerka location despite increasing levels of chalimus and pre-adult lice stages (Fig. 7a). Overall, there were more sea lice challenges, including more mechanical and medical treatments, at the Mollgavlen location (Fig. 7b), and this resulted in an approximately 600 g lower final slaughtering weight of the salmon at this production site despite a similar smolt weight at the onset of the rearing period.

Large-scale observations at Røssøy, Nordland, Norway

A large-scale observation was performed at a commercial Atlantic salmon sea farm at Røssøy, Nordland county, Norway (67.90°N, 14.93°E) from 10 September 2018 to 12 December 2018. The observation was conducted in 4 large sea cages (90 m circumference) holding an average of 150,000 0+ Atlantic salmon smolts in each cage. The mean weight (\pm SEM) of the Atlantic salmon was 505 ± 85 g at the start of the study period. The sea cages in the study were fitted with a surrounding tarpaulin to a depth of 7.5 m and a Closed Fish Cage System (CFC) system with *in-situ* impellers which was activated to lift seawater from depth to provide suitable continual oxygenation (Fig. 8). In two of the cages 14250 juvenile lumpfish (9.5% density) with a mean weight of 71 ± 6 g were reared together with the salmon. The lumpfish were fed with feed blocks (World Feeds UK, Imsland et al., 2019b, 2020). The two cages stocked with lumpfish were fitted with two rows of 10 m artificial curtain kelp (NorseAqua AS, Imsland et al., 2018b) which provided sufficient surface area for each cage population (Fig. 9). The curtain was positioned no more than 4 m from the cage perimeter with another positioned at the opposite side. The feed blocks were suspended horizontally along a transect close to the curtain kelps at a mean depth of 3 m.

Thirty salmon from each sea pen were sedated every second week during the observation period, individually weighed and any lice present were recorded. After counting was complete, any lice remaining in the container were also recorded. Lice were registered in 3 categories: 1) *Lepeophtheirus salmonis*; Adult female; 2) *L. salmonis*: Pre-adult; 3) *L. salmonis*: Chalimus.

Infestation levels of Chalimus stages of *L. salmonis* were higher during weeks 1, 2 and 4 (between 33% and 67%) in the cages with stocked lumpfish compared to cages with no

lumpfish (Fig. 10A, Student-Newman-Keuls (SNK) post hoc test, $P > 0.05$). There were lower infestation levels of pre-adult *L. salmonis* recorded for the cages stocked with lumpfish compared to the sea cages with no lumpfish in weeks 2, 9 and 12 (SNK post hoc test, Fig. 10B, $P < 0.05$). The numbers of mature female stages of *L. salmonis* fluctuated but remained low throughout the study period in both treatments. Cages stocked with lumpfish had lower infestation levels on three occasions (SNK post hoc test, $P < 0.05$, Fig. 10C), with no mature female lice recorded during weeks 3, 9 and 11.

Large-scale observations from the Faroe Islands

Eliassen et al. (2018) investigated the cleaning efficacy of lumpfish in Faroese salmon farming pens in relation to lumpfish size and seasonality. The background to their study is that, although about half of the Faroese salmon farming sites use lumpfish as cleaner fish large variations in the cleaning efficacy are frequently observed, especially seasonally. The authors examined 5511 lumpfish stomachs over a period of two years and found a significantly lower prevalence of sea lice in the lumpfish stomachs during the summer months while the prevalence of zooplankton in the lumpfish stomachs was highest during summer (Fig. 11). Surprisingly, a positive association between the prevalence of organisms associated with biofouling and sea lice was found, indicating, that the occurrence of alternative food opportunities in shape of biofouling organisms, had a positive influence on the cleaning efficacy of lumpfish. It was speculated that biofouling, and the organisms associated, stimulate a more active foraging behaviour which is supported by the data from Imsland et al. (2016b) that live feed habituation stimulates sea lice grazing and efficacy of lumpfish. Data from Norway (Imsland et al., 2015a) has indicated that lumpfish favour zooplankton as prey when it is available, reducing the sea lice grazing efficacy in periods with large natural occurrence of zooplankton in the sea pens i.e., during summer.

Overall, the data from Faroese Islands show that, depending on season, around 5-23% of the lumpfish population in the sea pens has eaten sea lice prior to being sampled, thereby significantly lowering the sea lice burden in the sea pens.

3. Discussion

Small-scale studies

Data from several small-scale sea cage studies with lumpfish indicate a clear grazing effect of *L. salmonis* on Atlantic salmon and that this may lower the lice burden on salmon between 40% (Imsland et al., 2016b) and 97% (Imsland et al., 2014a).

Both visual inspection and gastric lavage indicated the consumption of *L. salmonis* in the Imsland et al. (2014a) trial. The average lice number per fish varied throughout the trial period, although on day 54 both the 10% and 15% stocked cages had 93% and 97% fewer adult female *L. salmonis* lice than the controls strongly indicating that the presence of lumpfish lead to lower infestations of *L. salmonis* on the co-habiting Atlantic salmon. The results from the gastric lavage method used to assess food choices in lumpfish displayed the presence of *L. salmonis* in the stomachs of several fish throughout the study period. The proportion of lumpfish with sea lice (*L. salmonis* and *C. elongatus*) increased from 10% on day 11 to 28% on day 54. The number of lumpfish-eating lice may in fact be much higher as these values were only determined from lavaging fish every 14 days throughout the trial period. The number of days between sample points allowed for lumpfish to consume sea lice and fully digest them, thus only giving a snapshot on lice consumption. However, the relatively large increase in numbers of lumpfish found with ingested sea lice in their stomachs suggests that the level of grazing intensified throughout the study period. This may be indicative of some form of learning or habituation of lumpfish, so this was investigated in a follow-up trial (see below). This may also be indicative of genetic control, and this has also been investigated in separate trials (see below).

Habituation treatment influenced the ability of lumpfish to effectively forage on *L. salmonis* as lumpfish conditioned prior to sea pen rearing were nearly 40% more efficient in grazing *L. salmonis* compared to controls. These results suggest that lumpfish fed live feed (here Artemia and frozen sea lice) prior to transfer to sea pens consumed more sea lice compared to the marine feed group. Imsland et al. (2019a) observed the behaviour of the lumpfish at regular intervals during the study. Significant differences were detected between lumpfish fed only on marine dry feed during the juvenile stage (MF) versus lumpfish fed with combination of dry and live feed (LF). The consistency of the differences in the behaviour shown may indicate that the dietary treatment during the juvenile phase resulted in a persistently altered behaviour. The effect of the dietary treatment resulted in the LF fish displaying behaviour where they rest more and are more prone to utilise the natural resources in the cage while the fish in the MF group hover more and swim at the observer to a larger degree. The types of behaviours seen in the MF group are not beneficial to the fish, as hovering and swimming at the observer does not provide the fish with feed, nor conserve energy. A positive effect of feeding habituation has also

been seen in other cleaner fish species e.g. Ballan wrasse, *Labrus bergylta* (Gentry et al., 2021).

Another way of habituation is to expose the lumpfish to salmon prior to transfer to sea pens and Staven et al. (2019) have shown that previous exposure to salmon may reduce stress and improve cohabitation. They tested effect of habituation by comparing naïve lumpfish (fish not previously reared with Atlantic salmon) with experienced lumpfish (fish from sea pens with Atlantic salmon). They found that naïve lumpfish exposed to Atlantic salmon for the first time showed increased swimming activity, increased inter-species distance, and elevated plasma cortisol concentrations. In comparison, experienced lumpfish showed no change in swimming activity when reintroduced to Atlantic salmon, shorter interspecies distance, and additional desensitized physiological stress responses depicted from significant lower plasma cortisol levels. They concluded that the length of the habituation period should be taken account for when lumpfish are introduced to commercial use to improve welfare for the species.

Another possible way of increasing the understanding of underlying causes of variation in efficacy of lumpfish is to use biological modelling to explore the interaction of lumpfish and mate limitation on sea louse population dynamics under different environmental scenarios. McEwan et al. (2019) used an Agent-Based Model (ABM) to simulate cleaner fish on a salmon farm to explore interactions between sea louse mating behaviour, cleaner fish feeding rate, temperature and external sea louse pressure. They found that sea louse mating has a substantial effect on sea louse infestations under a variety of environmental conditions. Their results suggested that lumpfish can control sea louse infestations most effectively by maintaining the population below critical density thresholds. Further, their data confirmed the effectiveness of lumpfish at controlling sea lice, particularly when lumpfish stocking is combined with low density thresholds for chemical treatments, which can leverage sea lice mate limitation as an additional mechanism for control.

*Is lumpfish consumption of *L. salmonis* a heritable trait?*

Given the differences recorded in consumption *L. salmonis* in published family trials (Imstrand et al., 2016a, 2021) it seems that some lumpfish may be more predisposed in actively seeking out natural food sources, including *L. salmonis*, as compared to eating feed pellets and this behaviour may well have a genetic basis. It is well known that behavioural traits respond to both natural (Taylor, 1991; Oomen and Hutchings, 2015) and sexual selection (e.g. Russell et al., 2004; Lackey and Boughman, 2013). Recent studies have indicated both maternal (Royle et al., 2012) and paternal (McGhee and Bell, 2014) effect on offspring behaviour via epigenetic alterations to the genome. Results from both family trials (Imstrand et al., 2016a, 2021) indicated that consumption of *L. salmonis* can vary between families. The families with the highest consumption of *L. salmonis* (trial 1 – family

2; trial 2 – families 5 and 6) were also those families with highest consumption of *C. elongatus* (and other natural food sources found in the sea pens). Although energy rich salmon pellets were available results show that family 2 in trial 1 and families 5 and 6 in trial 2 preferred natural prey to a larger extent than the other families in those trials. This confirms that the genetic influence of sea lice consumption can be strong (Imsland et al., 2016a, 2021) and could be enhanced through selection and targeted breeding programs. In Norway there are now two ongoing breeding programs on lumpfish with focus on increasing the sea lice grazing and robustness of lumpfish (<https://aquagen.no/en/2016/01/14/starter-avlsprogram-pa-rognkjeks/>; Imsland et al., 2021). The findings from Whittaker et al. (2021) on personality profiling of lumpfish indicate that selecting the most active and boldest lumpfish for breeding could increase the time lumpfish spend inspecting and pursuing salmon 1.4–3.5 times within generation, respectively. Currently, many lumpfish do not engage in cleaning behaviour (Imsland et al., 2014a-c; Eliassen et al., 2018), and selecting for behaviours that make good cleaners (Whittaker et al., 2021) combined with use of targeted breeding (Imsland et al., 2016a, 2021) could drastically reduce the number of lumpfish required on farms, reducing costs, and improving welfare (Garcia de Leaniz et al., 2021; Imsland et al., 2021).

Size related sea lice grazing of lumpfish

Smaller lumpfish (initial size approx. 20–60 g) have a higher overall preference for natural food items, including sea lice, compared to larger conspecifics (Imsland et al., 2014b, 2016b) and later results seem to confirm this (Imsland et al., 2021). At the end of the study of Imsland et al. (2021), the lumpfish from 10 different half- and full-sib families were arranged into size classes and the level of sea lice grazing for each was recorded. Generally, it was found that it was the smallest size classes which exhibited higher sea lice grazing potential compared to the larger size classes. Lumpfish between 40 and 140 g had the greatest grazing effect overall, like that seen in the study of Imsland et al. (2014b, 2016b). These results suggest that smaller lumpfish are more desirable than larger conspecifics and as such smaller fish are potentially more desirable to produce commercially. Further, Imsland et al. (2021) reported that the frequency of repeated lice grazers (investigated by gastric lavage) differed between sibling families. As sea lice grazing efficacy is one trait that is strongly desirable in future breeding programmes, then the frequency of lice grazing by individuals within families should also be used as a selection criterion for such programmes.

Large-scale studies

All reviewed large-scale studies have revealed active sea lice grazing by lumpfish. Moreover, all the reviewed large-scale studies in the present review are based on replicated

studies. Concern with the lack of replication in small- and large-scale effect studies with cleanerfish has appropriately been raised in previous reviews (Overton et al., 2020). In all large-scale trials reviewed here with lumpfish present and absent (control groups) the mean numbers of *L. salmonis* were lower in groups with lumpfish present. In the large-scale trial at Nordlaks in Nordland county the added positive effect of lumpfish at the Nordlaks production sites was around 600 g higher salmon slaughter weight (3.82 kg vs. 3.18 kg) at the location with lumpfish present and this is almost surely linked to less problems with sea lice (both *L. salmonis* and *C. elongatus*) at this location. Available data indicate that the lumpfish is effective in lowering sea lice numbers on Atlantic salmon all year round, but that the effectiveness may be reduced in periods with abundance of natural live feed in the sea pens (Eliassen et al., 2018). Lumpfish seem to tolerate low sea temperatures well with grazing activity seen as low as 2-3°C in Iceland (H. Methúsalemsson, Arnarlax Ltd., Iceland; Imsland et al., 2018). It is necessary to offer the lumpfish reared together with Atlantic salmon in large-scale sea pens additional feed as this reduced mortality and improved the welfare of the fish (Imsland et al., 2020), as continued use of lumpfish must be accompanied with an increased focus of the fish welfare in the sea pens (Overton et al., 2020). The use of feed blocks seems to be a good option for lumpfish with studies indicating lower mortalities and lower operational welfare indicators (OWIs) when used in large-scale rearing with Atlantic salmon (Imsland et al., 2020).

Sea lice skirts on pens act as a barrier to salmon lice. Lice skirts are widely used in Norway, with >900 lice skirts sold by a single company in 2017 (Gentry et al., 2020), with 2 to 3 skirts used depending upon cage size. Previous research has shown that lice skirts can reduce infestation levels by 30% (with a 5 m skirt; Grøntvedt et al., 2018) to 80% (10 m skirt; Stien et al., 2018). However, lice skirts can reduce dissolved oxygen concentrations in cages (Stien et al., 2012, 2018), which can lead to poor welfare and reduced growth of salmon (Oppedal et al., 2011). The combined use of lice skirt and lumpfish was tested in a large-scale trial reviewed here (i.e. Røssøy, Norway). The combined reductions observed in this large-scale study shows that lumpfish and lice skirt systems can reduce sea lice infestation levels when used in tandem. However, the study period was relatively short and further longer-term studies are required to fully elucidate this potential using combined treatment methods.

To summarize the relationship between the use of lumpfish and the occurrence of *L. salmonis* on Atlantic salmon we have compiled current knowledge from the published literature, reports and from interviewing fish health personnel in the Atlantic salmon farming industry in Table 1. Available data clearly indicates that lumpfish grazes on *L. salmonis* and that it is possible to enhance this grazing with the assistance of live-feed conditioning prior to sea-pen transfer and with selective breeding. Grazing is observed in various size classes (25 g to 360 g, Table 1), at temperatures ranging between 2 to 13°C and at in all seasons (Table 1). The majority of published data is from Northern Norway, but there is also published data from the Faroe Islands, and observations from Scotland and

Iceland that clearly indicate that the lumpfish grazes on *L. salmonis*. In the Faroe Islands an investigation into 5511 lumpfish stomachs (Eliassen et al., 2018) showed that *L. salmonis* was found in 13.5% of those and of those around 80% also had *C. elongatus* in their stomach (K. Eliassen, Fiskaaling, Faroe Islands, pers. comm.). The consensus in the salmon farming industry in the Faroe Islands is that lumpfish is effective in reducing the numbers of *L. salmonis*, but the data of Eliassen et al. (2018) show that lumpfish seems to favour zooplankton as prey when it is available. In the Faroes, this has a large influence on the cleaning efficacy of lumpfish, reducing the average effect by a factor of approximately five. Eliassen et al. (2018) concluded that this knowledge should be implemented in the sea lice strategies of farming sites using lumpfish as cleaner fish and where secondary production, i.e. naturally occurring food, can affect the cleaning efficacy negatively.

In Scotland both lumpfish and wrasse are presently being used as cleanerfish. Lumpfish is used a routine practice especially during the winter months when the wrasse are less active and because lumpfish are more active than wrasse at these colder temperatures (L. Bennett, Cleanerfish Manager, Loch Duart). No experimental trials with lumpfish are carried out in Scotland at the moment (J. Treasurer, FAI Aquaculture, Scotland, pers. comm.). The efficacy of lumpfish is judged by investigation of gut content (Fig. 12) and farming data indicate effective lice grazing of the lumpfish stocked (L. Bennett, Cleanerfish Manager, Loch Duart).

In the Westfjords area of Iceland *C. elongatus* infestations are presently considered a more severe problem than the *L. salmonis* and the numbers of *C. elongatus* on each salmon can be high (> 10) in late autumn (October-November) (Eva D. Jóhannesdóttir, Arctic Sea Farm Ltd., pers. comm., Hjörtur Methúsalemsson, Arnarlax Ltd., pers. comm.). In this area large scale trials have shown that lumpfish is very effective in lowering numbers of *L. salmonis* (Eva D. Jóhannesdóttir, Arctic Sea Farm Ltd., pers. comm., Hjörtur Methúsalemsson, Arnarlax Ltd., pers. comm.).

4. Conclusions

Both small- and large-scale studies have clearly indicated that lumpfish actively graze on *L. salmonis* and can significantly lower lice burden in Atlantic salmon farming. It is possible to enhance lice grazing of lumpfish with the assistance of live-feed conditioning prior to sea-pen transfer, with selective breeding and with targeted use of small juvenile lumpfish.

We have reviewed all available large-scale studies from Norway, Iceland, Faroese Islands and Scotland, covering sea temperatures from 2 to 13°C and size range between 13 and 500 g and all-year-round use. The data reveals that lumpfish can actively contribute to lower numbers of *L. salmonis* on farmed Atlantic salmon under industrial scale rearing in open sea pens.

Statement

The data presented here are highly relevant for Aquaculture as the effective use of lumpfish for biological delousing of salmon is very important for commercial aquaculture of Atlantic salmon.

Declaration of Competing Interest

There is no conflict of interest in relation to this study.

Acknowledgements

Financial support was given by the Norwegian Seafood Research Found (EFFEKTIV 901652). Opinions expressed and conclusions arrived at, are those of the authors and are not necessarily to be attributed to the funding bodies.

ORCID

A.K.D. Imsland <http://orcid.org/0000-0003-0077-8077>

References

- Abolofia, J., Asche, F., Wilen, J.E., 2017. The cost of lice: quantifying the impacts of parasitic sea lice on farmed salmon. *Mar. Res. Econm.* 32, 329–349.
- Bolton-Warberg, M., 2018. An overview of cleaner fish use in Ireland. *J. Fish Dis.* 41,935-939.
- Brooker, A.J., Papadopoulou, A., Gutierrez, C., Rey, S., Davie, A., Migaud, H., 2018. Sustainable production and use of cleaner fish for the biological control of sea lice: recent advances and current challenges. *Vet. Rec.* 183, 383.
- Costello, M.J., 2006. Ecology of sea lice parasitic on farmed and wild fish. *Trends Parasitol.* 22, 475-483.
- Costello, M.J., 2009. The global economic cost of sea lice to the salmonid farming industry. *J. Fish Dis.* 32, 115-118.
- Dojiri, M., Ho, J-S., 2013. Systematics of the Caligidae, copepods parasitic on marine fishes. *Crustac. Monogr.* 18, 1-448.
- Eliassen, K., Danielsen, E., Johannesen, Á., Joensen, L.L., Patursson, E.J., 2018. The cleaning efficacy of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) in Faroese salmon (*Salmo salar* L.) farming pens in relation to lumpfish size and season. *Aquaculture* 488, 61-65.
- Garcia de Leaniz, C., Gutierrez Rabadan, C., Barrento, S.I., Stringwell, R., Howes, P.N., Whittaker, B.A., Minett, J.F., Smith, R.G., Pooley, C.L., Overland, B.J., Biddiscombe, L., Lloyd, R., Consuegra, S., Maddocks, J.K., Deacon, P.T.J., Jennings, B.T., Rey Planellas, S., Deakin, A., Moore, A.I., Phillips, D., Bardera, G., Castanheira, M.F., Scolamacchia, M., Clarke, N., Parker, O., Avizienius, J., Johnstone, M., Pavlidis, M., 2021. Addressing the welfare needs of farmed lumpfish: knowledge gaps, challenges and solutions. *Rev. Aquac.* 14, 139-155.
- Gentry, K., Bui, S., Oppedal, F., Dempster, T., 2020. Sea lice prevention strategies affect cleaner fish delousing efficacy in commercial Atlantic salmon sea cages. *Aquac. Env. Int.* 12, 67 – 80.
- Gentry, K., Bui, S., Oppedal, F., Bjelland, R., Nola, V., Dempster, T., 2021. Acclimatisation with lice-infested salmon improves cleaner fish lice consumption. *Aquac. Env. Int.* 13, 41-49.

- Grøntvedt, R.N., Kristoffersen, A.B., Jansen, P.A., 2018. Reduced exposure of farmed salmon to salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* L.) infestation by use of plankton nets: Estimating the shielding effect. *Aquaculture* 495, 865–872.
- Hemmingsen, W., Sagerup, K., Remen, M., Bloch-Hansen, K., Imsland, A.K.D., 2020. *Caligus elongatus* and other sea lice of the genus *Caligus* as parasites of farmed salmonids: a review. *Aquaculture* 522, 735160.
- Igboeli, O.O., Fast, M.D., Heumann, J., Burka, J.F., 2012. Role of P-glycoprotein in emamectin benzoate (SLICE (R)) resistance in sea lice, *Lepeophtheirus salmonis*. *Aquaculture* 344, 40-47.
- Igboeli, O.O., Burka, J.F., Fast, M.D., 2014. *Lepeophtheirus salmonis*: a persisting challenge for salmon aquaculture. *Anim. Front.* 4, 22-32.
- Imsland, A.K., Reynolds, P., Eliassen, G., Hangstad, T.A., Foss, A., Vikingstad, E., Elvegård, T.A., 2014a. The use of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) to control sea lice (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer) infestations in intensively farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 424-425, 18-23.
- Imsland, A.K., Reynolds, P., Eliassen, G., Hangstad, T.A., Foss, A., Vikingstad, E., Elvegård, T.A., 2014b. Notes on the behaviour of lumpfish with and without Atlantic salmon present. *J. Ethol.* 32, 117-122.
- Imsland, A.K., Reynolds, P., Eliassen, G., Hangstad, T.A., Nytrø, A.V., Foss, A., Vikingstad, E., Elvegård, T.A., 2014c. Assessment of growth and sea lice infection levels in Atlantic salmon stocked in small-scale cages with lumpfish. *Aquaculture* 433, 137-142.
- Imsland, A.K., Reynolds, P., Eliassen, G., Hangstad, T.A., Nytrø, A.V., Foss, A., Vikingstad, E., Elvegård, T.A., 2015a. Feeding preferences of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) maintained in open net-pens with Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) *Aquaculture* 436, 47-51.
- Imsland, A.K., Reynolds, P., Eliassen, G., Hangstad, T.A., Nytrø, A.V., Foss, A., Vikingstad, E., Elvegård, T.A., 2015b. Assessment of suitable substrates for lumpfish in sea pens. *Aquac. Int.* 23, 639-645.
- Imsland, A.K., Reynolds, P., Eliassen, G., Mortensen, A., Hansen, Ø.J., Puvanendran, V., Hangstad, T.A., Jónsdóttir, Ó.D.B., Emaus, P.A., Elvegård, T.A., Lemmens, S.C.A., Rydland, R., Nytrø, A.V., Jonassen, T.M., 2016a. Is cleaning behavior in lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) parentally controlled? *Aquaculture* 459, 156-165.
- Imsland, A.K., Reynolds, P., Nytrø, A.V., Eliassen, G., Hangstad, T.A., Jónsdóttir, Ó.D.B., Emaus, P.A., Elvegård, T.A., Lemmens, S.C.A., Rydland, R., Jonassen, T.M. 2016b. Effects of lumpfish size on foraging behaviour and co-existence with sea lice infected Atlantic salmon in sea cages. *Aquaculture* 465, 19-27.
- Imsland, A.K., Hanssen, A., Reynolds, P., Nytrø, A.V., Jonassen, T.M., Hangstad, T.A., Elvegård, T.A., Urskog, T.C., Mikalsen, B., 2018a. It works! Lumpfish can significantly lower sea lice infections in large scale salmon farming. *Biol. Open* 7:bio036301. doi:10.1242/bio.036301
- Imsland, A.K., Reynolds, P., Eliassen, G., Berg-Hansen, L., Hangstad, T.A., Elvegård, T.A., Urskog, T.C., Mikalsen, B., 2018b. Assessment of artificial substrates for lumpfish: effect of material thickness and water current speed. *Aquac. Int.* 26, 1469-1479.
- Imsland, A.K.D., Frogg, N.E., Stefansson, S.O., Reynolds, P., 2019a. Improving sea lice grazing of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) by feeding live feeds prior to transfer to Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) net-pens. *Aquaculture* 511:article no: 734224
- Imsland, A.K., Reynolds, P., Jonassen, T.M., Hangstad, T.A., Noble, T., Wilson, W., Mackie, J.A., Elvegård, T.A., Urskog, T.C., Mikalsen, B., 2019b. Comparison of diet composition, feeding, growth and health of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) fed either feed blocks or pelleted commercial feed. *Aquaculture Research* 50, 1952-1963.
- Imsland, A.K.D., Reynolds, P., Lorentzen, M., Eilertsen, R.A., Micallef, G., Tvenning, R., 2020. Improving survival and health of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) by the use of feed blocks and operational welfare indicators (OWIs) in commercial Atlantic salmon cages. *Aquaculture* 527, 735476.

- Imsland, A.K.D., Reynolds, P., Hangstad, T.A., Madura, S., Hagen, S., Jónsdóttir, Ó.D.B., Spetland, F., Lindberg, K.S., 2021. Quantification of grazing efficacy, growth and health score of different lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) families: possible size and gender effects. *Aquaculture* 530, 735925.
- Johnson, S.C., Treasurer, J.W., Bravo, S., Nagasawa, K., Kabata, Z., 2004. A review of the impact of parasitic copepods on marine aquaculture. *Zool. Stud.* 43, 229-243.
- Kabata, Z., 1979. Parasitic Copepoda of British fishes. The Ray Society, London.
- Lackey, A.C.R., Boughman, J.W., 2013. Divergent sexual selection via male competition: ecology is key. *J. Evol. Biol.* 26, 1611-1624.
- McEwan, G.F., Groner, M.L., Cohen, A., Imsland, A.K., Revie, C.W., 2019. Modelling the use of lumpfish to control of sea lice on Atlantic salmon farms: Interactions with mate limitation, temperature and treatment rules. *Dis. Aquat. Org.* 155, 69-82.
- McGhee, K.E., Bell, A.M., 2014. Paternal care in a fish: epigenetics and fitness enhancing effects on offspring anxiety. *Proc. R. Soc. B* 281, 1146-1151.
- Oomen, R.A., Hutchings, J.A., 2005. Genetic variability in reaction norms in fishes. *Env. Rev.* 23, 353-366.
- Oppedal, F., Dempster, T., Stien, L., 2011. Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: a review. *Aquaculture* 311, 1-18.
- Overton, K., Dempster, T., Oppedal, F., Kristiansen, T.S., Gismervik, K., 2019. Salmon lice treatments and salmon mortality in Norwegian aquaculture: a review. *Rev. Aquac.* 11, 1398-1417
- Overton, K., Barrett, L.T., Oppedal, F., Kristiansen, T.S., 2020. Sea lice removal by cleaner fish in salmon aquaculture: a review of the evidence base. *Aquac. Env. Interact.* 12, 31-44.
- Pike, A.W., Wadsworth, S.L., 1999. Sealice on Salmonids: Their Biology and Control. *Adv. Parasitol.* 44, 233-337.
- Powell, A., Treasurer, J.W., Pooley, C.L., Keay, A.J., Lloyd, R., Imsland, A.K., Garcia de Leaniz, C., 2018. Cleaner fish for sea-lice control in salmon farming: challenges and opportunities using lumpfish. *Rev. Aquac.* 10, 683-702.
- Royle, N.J., Smiseth, P.T., Kolliker, M., Champagne, F.A., Curley, J.M., 2012. Genetics and epigenetics of parental care. In: Royle NJ, Smiseth PT, Kolliker M (Eds.), *The evolution of parental care*. Oxford University Press, Oxford, UK., pp 304-324.
- Russell, S.T., Kelley, J.L., Graves, J.A., Magurran, A.E., 2004. Kin structure and shoal composition dynamics in the guppy, *Poecilia reticulata*. *Oikos* 106, 520-526.
- Skiftesvik, A.B., Bjelland, R.M., Durif, C.M.F., Johansen, I.S., Browman, H.I., 2013. Delousing of Atlantic salmon (*Salmo salar*) by cultured vs. wild ballan wrasse (*Labrus bergylta*). *Aquaculture* 402-403, 113-118
- Staven, F.R., Nordeide, J.T., Imsland, A.K., Andersen, P., Iversen, N.S., Kristensen, T. 2019. Is habituation measurable in lumpfish *Cyclopterus lumpus* when used as cleaner fish in Atlantic salmon *Salmo salar* aquaculture? *Front. Vet. Sci.* 6:227.
- Steinarson, A., Árnason, T., 2018. Rearing of cleaner fish in Iceland. In: Treasurer, J.W. (Ed.), *Cleaner fish biology and aquaculture applications*. 5M Publishing Ltd., Sheffield, UK, pp. 420-435.
- Stien, L.H., Nilsson, J., Hevrøy, E.M., Oppedal, F., Kristiansen, T.S., Lien, A.M., Folkedal, O., 2012. Skirt around a salmon sea cage to reduce infestation of salmon lice resulted in low oxygen levels. *Aquac. Eng.* 51, 21-25.
- Stien, L.H., Lind, M.B., Oppedal, F., Wright, D.W., Seternes, T., 2018. Skirts on salmon production cages reduced salmon lice infestations without affecting fish welfare. *Aquaculture* 490, 281-287.
- Torrissen, O., Jones, S., Asche, F., Guttormsen, A., Skilbrei, O.T., Nilsen, F., Horsberg, T.E., Jackson, D., 2013. Salmon lice – impact on wild salmonids and salmon aquaculture. *J. Fish Dis.* 36:171-194.
- Treasurer, J., Prickett, R., Zietz, M., Hempleman, C., Garcia de Leaniz, C., 2018. Cleaner fish rearing and deployment in the UK. In: Treasurer, J.W. (Ed.), *Cleaner fish biology and aquaculture applications*. 5M Publishing Ltd., Sheffield, UK, pp. 376-391.
- Taylor, E.B., 1991. A review of local adaptation in Salmonidae, with particular reference to pacific and

Atlantic salmon. *Aquaculture* 98, 185-207.

Whittaker, B.A., Consuegra, S., Carcia de Leaniz, C., 2021. Personality profiling may help select better cleaner fish for sea-lice control in salmon farming. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 243, 105459.

Draft - do not copy or cite

Figure legends

Fig. 1. Total average number of mature male (A) and adult female (B) *L. salmonis* on Atlantic salmon reared with two different densities of lumpfish. Control group was not reared with lumpfish. Values are presented as means \pm S.D. Mean values which do not share a letter were found to be significantly different by ANOVA and by Tukey's multiple range test ($P < 0.05$). Figure modified from Imsland et al. (2014a)

Fig. 2. Results from gastric lavage of lumpfish reared in small sea pens with Atlantic salmon. Data shows the percentage of fish from each group with presence of sea lice in their stomachs. Values are presented as means \pm SD. Mean values which do not share a letter were found to be significantly different by ANOVA and by Tukey's multiple range test ($P < 0.05$). Figure modified from Imsland et al. (2014a).

Fig. 3. Total average of all stages of *L. salmonis* per fish recorded for Atlantic salmon in sea pens with lumpfish start-fed with either marine dry feed (MF) or combination of dry and live feed (LF). The control group contained salmon without lumpfish present. Values are presented as means \pm S.D. Mean values which do not share a letter were found to be significantly different by ANOVA and by SNK post hoc test. Figure modified from Imsland et al. (2019).

Fig. 4A-B. Mean percentage values *L. salmonis* found in the stomach of different lumpfish families reared together with Atlantic salmon in small sea cages. The figure is modified from Imsland et al. (2016a, Fig. 4A) and Imsland et al. (2021, Fig. 4B).

Fig. 5. Percentage values of food choices for three sizes of lumpfish reared with Atlantic salmon in small-sea cages. Values are presented as means \pm SD. A: sea lice (all stages of *L. salmonis* and *Caligus elongatus*); B: crustacean species. Figure modified from Imsland et al. (2016b).

Fig. 6. Occurrence of pre-adult (A) and adult female (B) *L. salmonis* on Atlantic salmon in large-scale sea cages at Lerøy Aurora, northern Norway with 0 (control), 4, 6 and 8% density of lumpfish recorded for duplicate treatment during a bi-weekly sampling. Figure modified from Imsland et al. (2018).

Fig. 7. Sea lice development at two production sites of Nordlaks in northern Norway 2017-18 with lumpfish (a) and without lumpfish (b) in the sea pens with Atlantic salmon. Arrows indicate mechanical and chemotherapeutical delouse operations during the observation period. Previously unpublished data.

Fig. 8. Diagrammatic representation of the sea cage rearing applied at large scale trial with and without lumpfish at Røssøy, Nordland county, Norway with sea lice skirt and CFC system.

Fig. 9. Diagrammatic positioning of each curtain kelp (A) and actual deployment (B) in the large-scale sea cage trial at Røssøy, Nordland county, Norway.

Fig. 10. Mean occurrence of the chalimus (A), pre-adult (B), adult female (C) stages of *L. salmonis* per salmon (N = 60) in sea cages with lumpfish present and without lumpfish (Control) at the Røssøy facility. Previously unpublished data.

Fig. 11. Average monthly prevalence of sea lice in lumpfish stomachs in Faroese Islands salmon farms. Vertical bars indicate standard error (SE). Data modified from Eliassen et al. (2018).

Fig. 12. Gut content of stocked lumpfish in Scotland. Samples were taken during a harvest operation, on 16 July 2021. Fish samples were varied but all fish were above 100 g and in good health. They were inputted on 9 February 2021 at an average weight at 30 g at a rate of 9-11% stocking density. All lice seen in the picture are *L. salmonis*. Photos: L. Bennett, Cleanerfish Manager, Loch Duart.

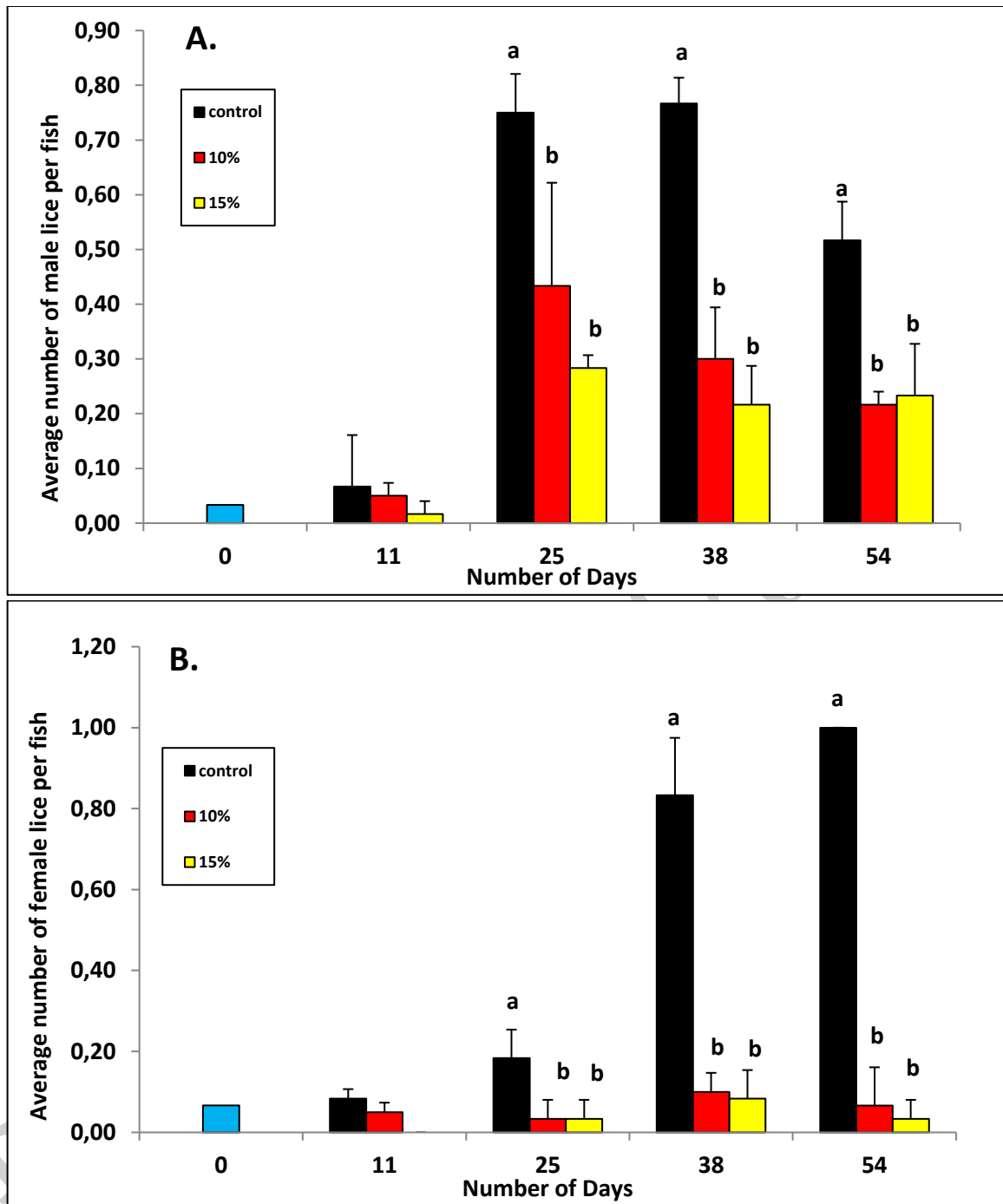


Fig. 1A-B. Imstrand and Reynolds

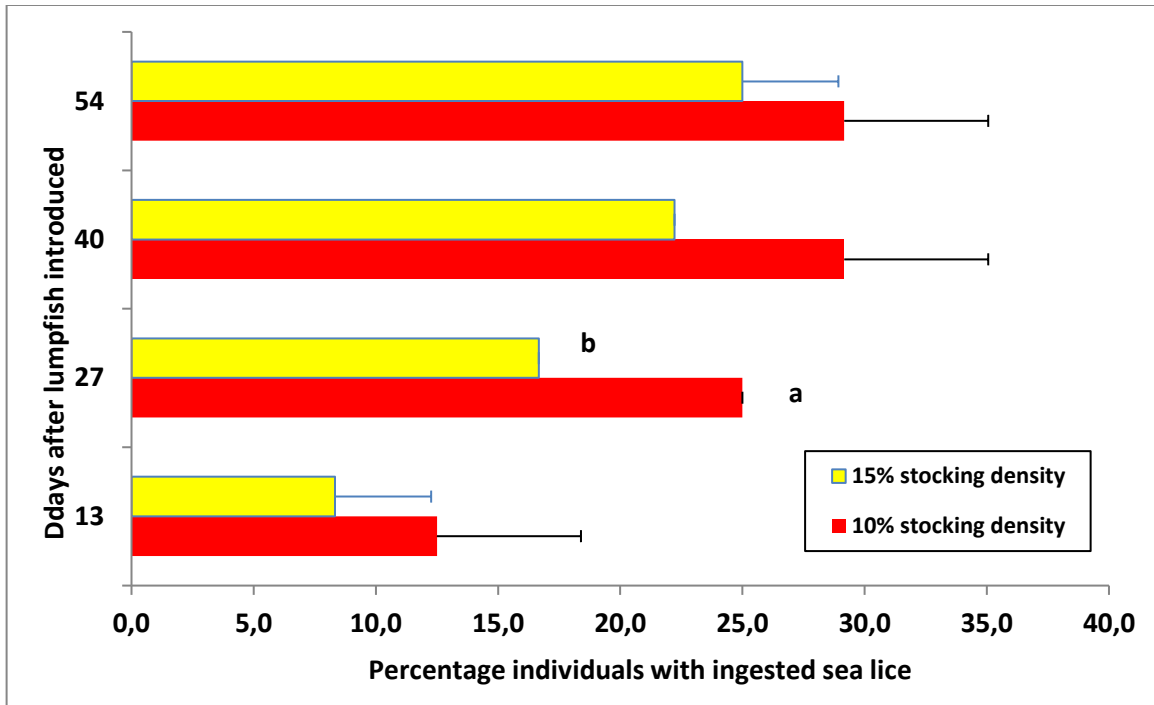


Fig. 2. Imstrand and Reynolds

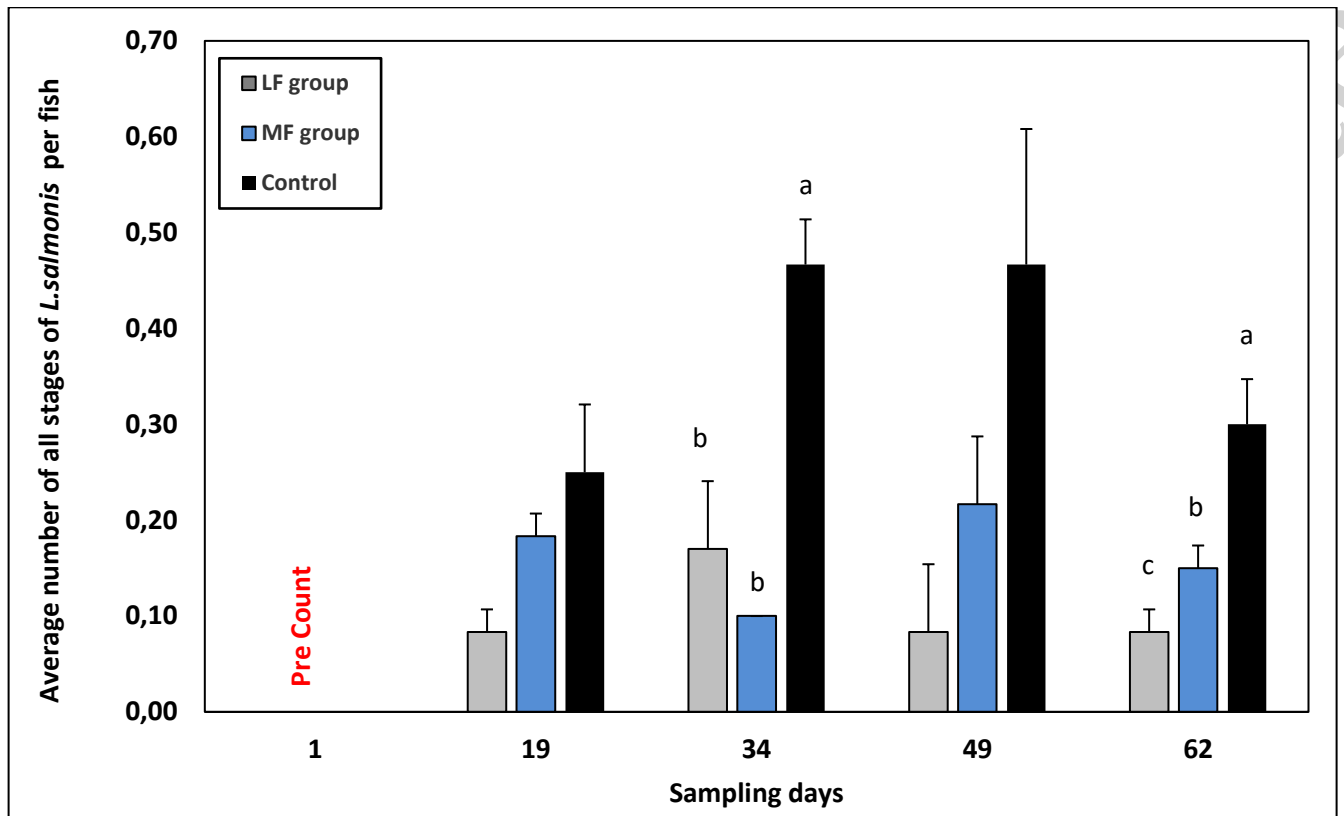


Fig. 3. Imstrand and Reynolds

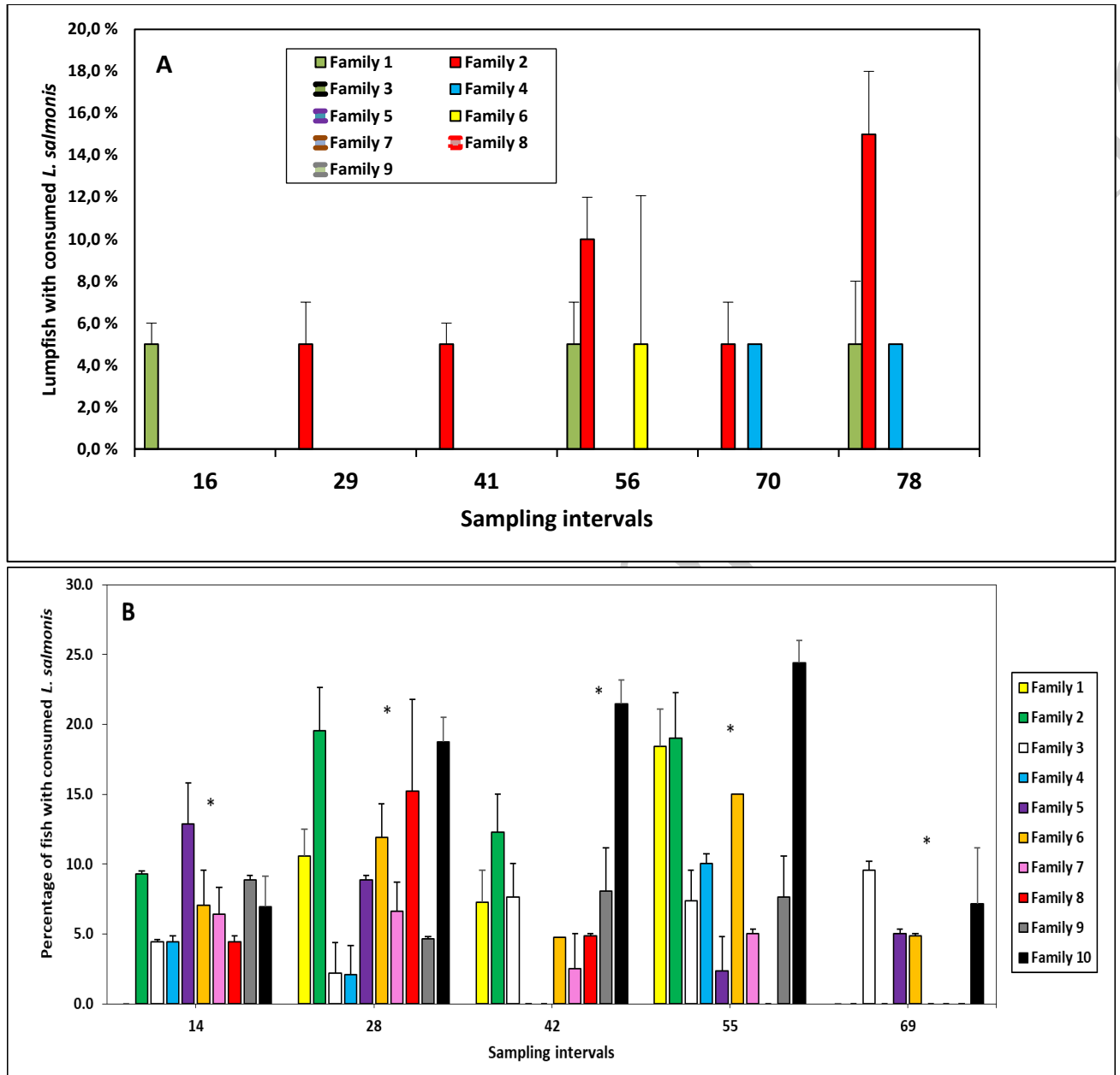


Fig. 4. Imstrand and Reynolds

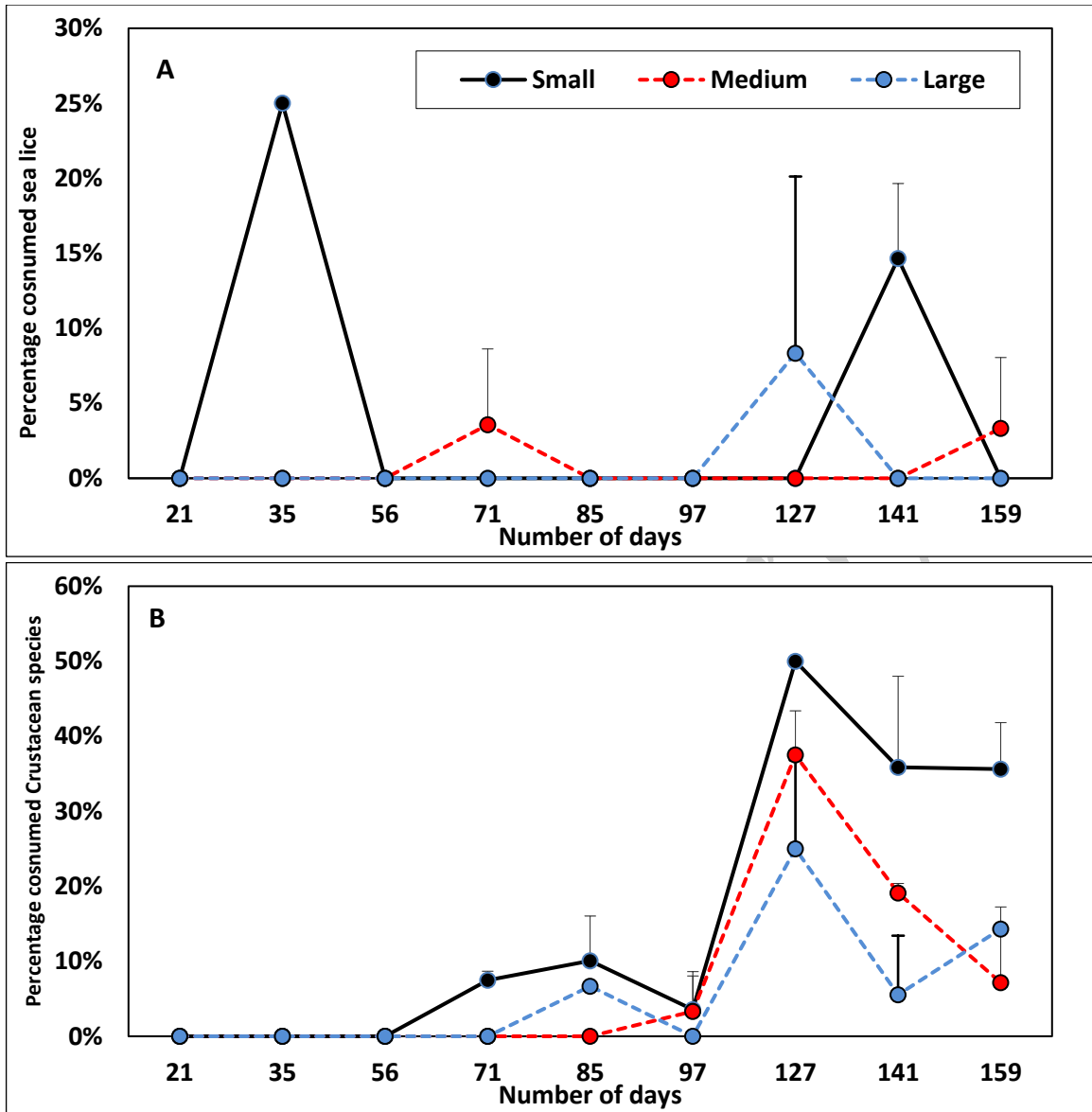


Fig. 5A-B. Imsland and Reynolds.

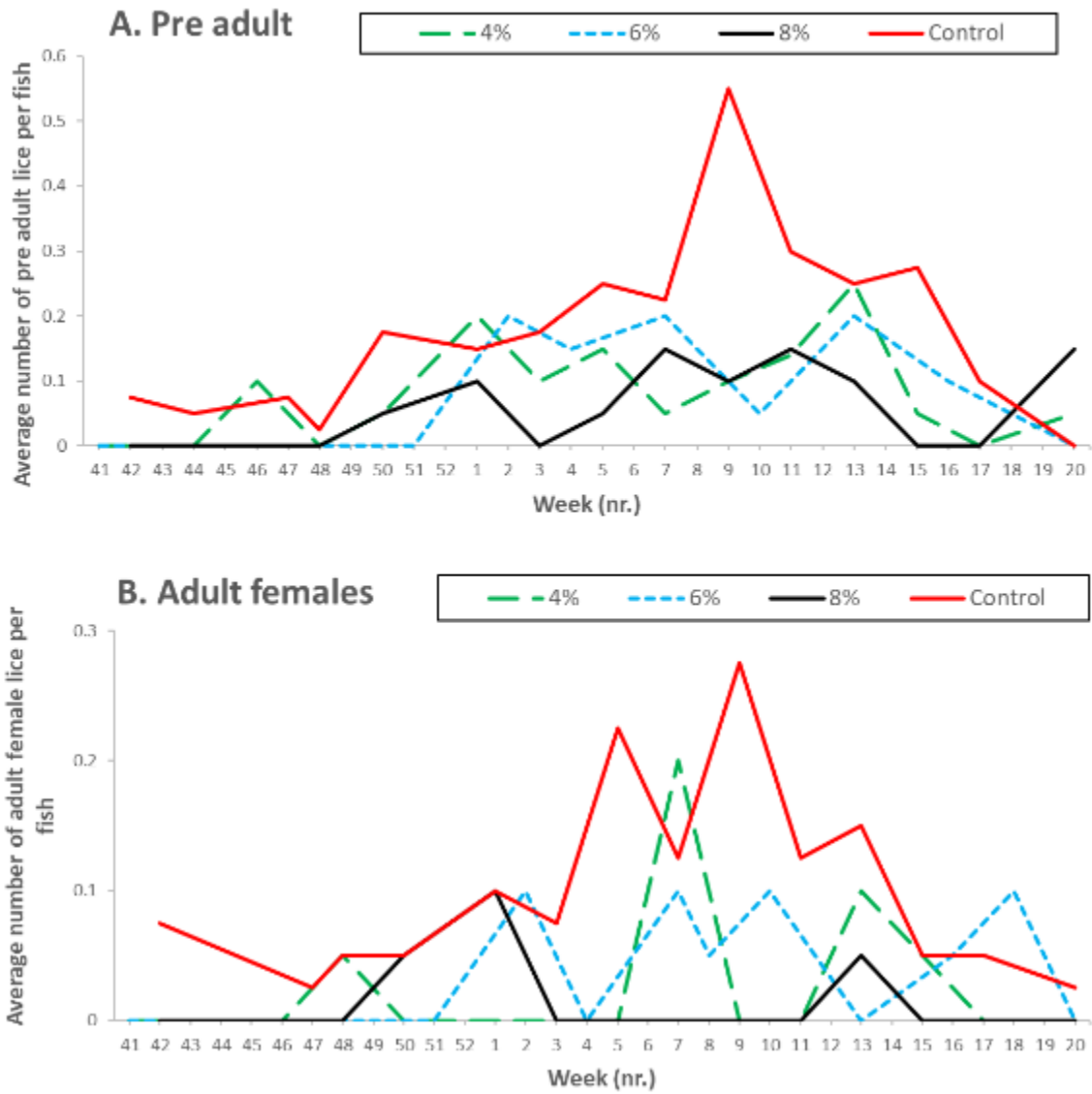


Fig. 6A-B. Insland and Reynolds

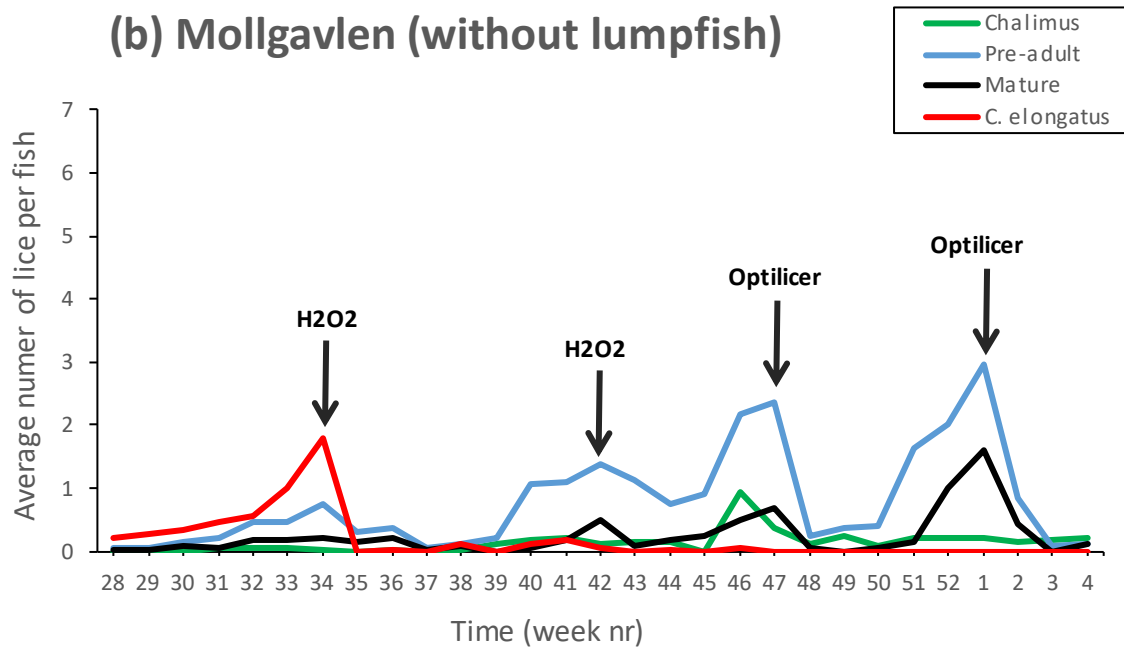
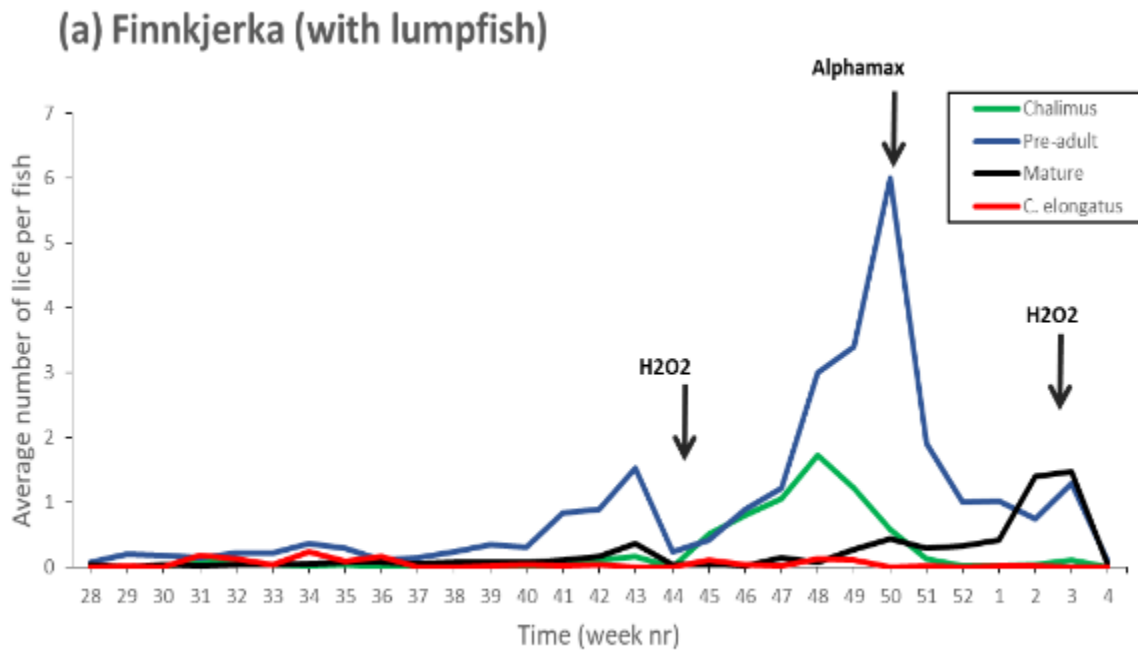


Fig. 7A-B. Insland and Reynolds.

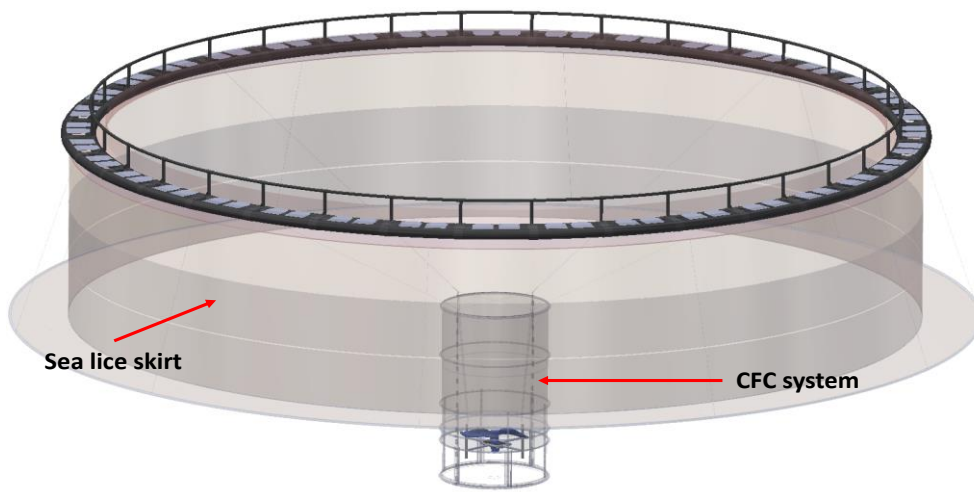


Fig. 8. Imsland and Reynolds

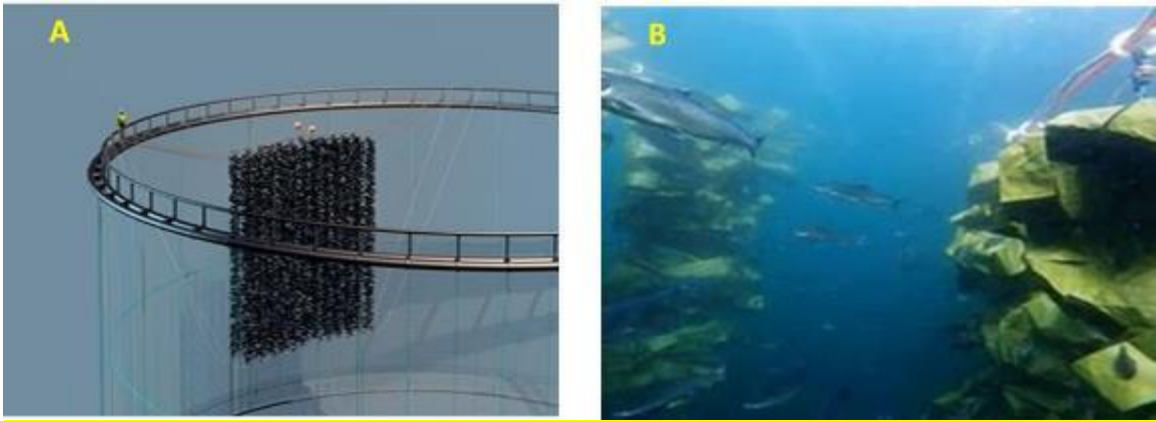


Fig. 9. Imsland and Reynolds

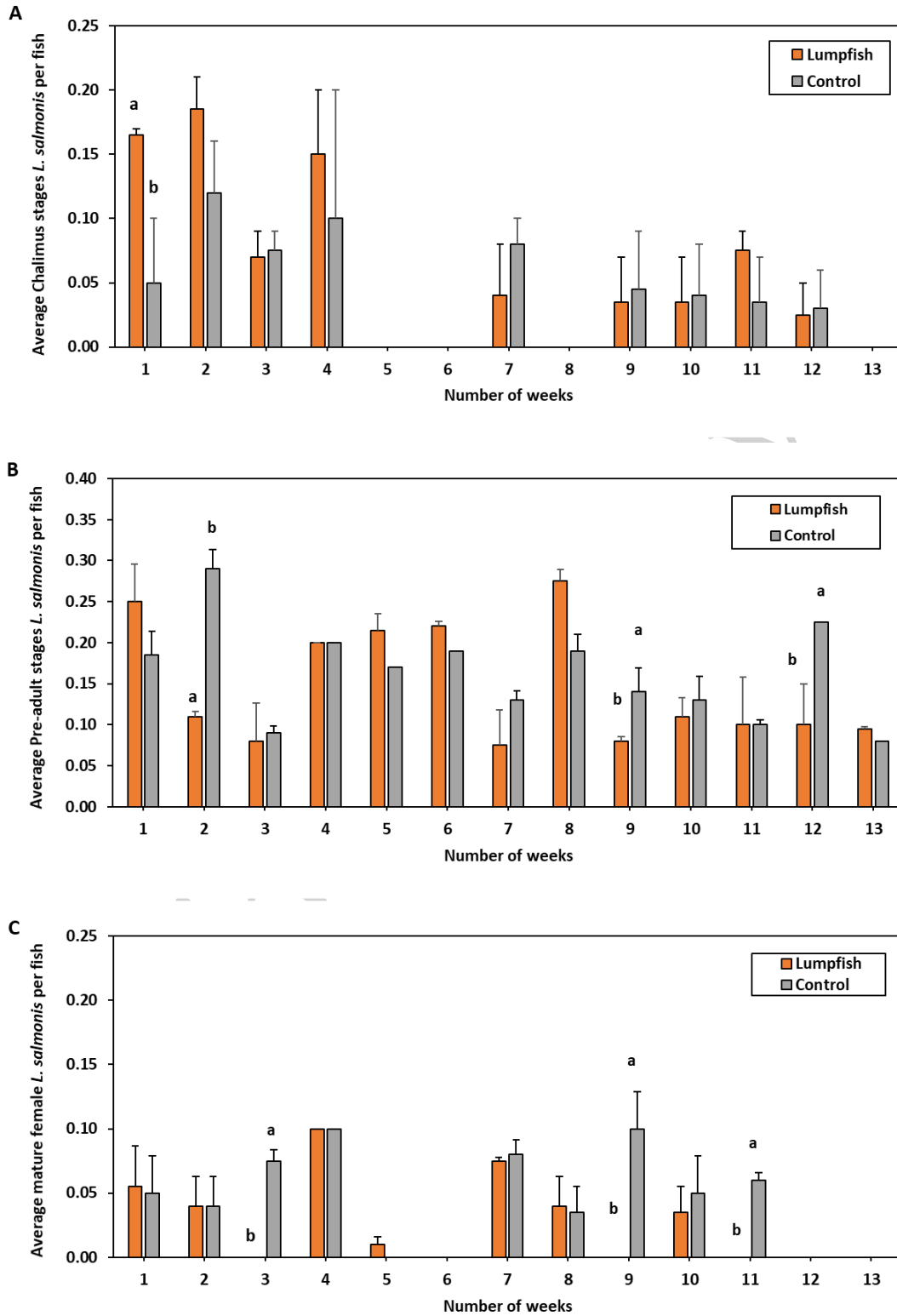


Fig. 10. Imstrand and Reynolds

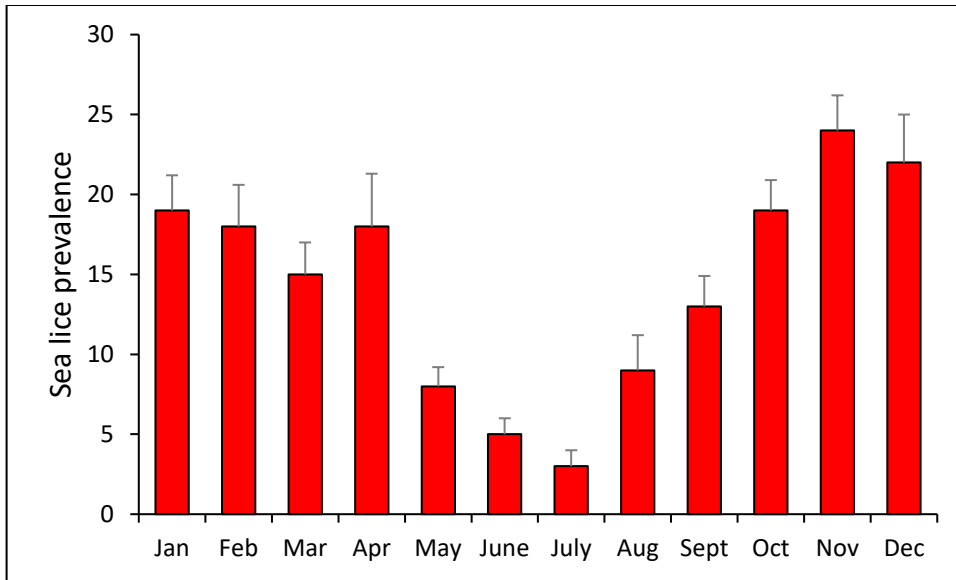


Fig. 11. Imsland and Reynolds



Fig. 12. Imsland and Reynolds

Table 1

A summary of the current literature (peer-reviewed journal articles and scientific reports) and observations (including pers. comm.) on experiments with lumpfish and its effect on *L. salmonis* infestations on farmed Atlantic salmon. Data included: experimental period and temperature, experimental unit, experimental site/country, stocking density of lumpfish, effect investigated and if an effect was found.

Citation	Experimental period and temperature	Experimental unit (number and size)	Experimental site/country	Size and density of lumpfish	Effect investigated	Effect on <i>L. salmonis</i> found?
Small scale studies						
Imsland et al. (2014a)	June – August, 9.0-12.1°C	4 small sea cages 5x5x5 m (125 m ³)	Nordland county, Norway	53-182 g 10% and 15%	Different density of lumpfish	Yes, increased effect at 15% density
Imsland et al. (2019)	May – July, 7.2-13.3°C	4 small sea cages 5x5x5 m (125 m ³)	Nordland county, Norway	114-180 g 10%	Habitation of lumpfish	Yes, and habitation of lumpfish increased the effect
Imsland et al. (2016)	May – August, 7.1-13.2°C	9 small sea cages, 5x5x5 m (125 m ³)	Nordland county, Norway	169-549 g 10%	Different families, parental effect	Yes, and varied between families
Imsland et al. (2021)	Sept. – December, 10.5-6.8°C	10 small sea cages, 5x5x5 m (125 m ³)	Nordland county, Norway	30-123 g, 12%	Different families	Yes, and varied between families
Large scale studies						
Imsland et al. (unpublished data)	September – December, 12.1-8.5°C	4 large sea cages (90 m circumference)	Røssøy, Nordland county, Norway	71-125 g, 9.5%	Large scale evaluation of sea lice grazing in lumpfish	Yes. Increasing effect of lumpfish seen during the trial.
Imsland et al. (unpublished data)	July – January, 12.2-5.5°C	12 large sea cages (160 m circumference, 58900 m ³ volume)	Nordlaks AS, Nordland county, Norway	32-157 g, 6%	Large scale evaluation of sea lice grazing in lumpfish	Yes. Less mechanical treatment, 600 g larger salmon at

						slaughter with lumpfish present.
Imslund et al. (2018)	October – May, 8.3°C in October 3.6°C in March 6.8°C in May	8 large sea cages (130 m circumference, 37688 m ³ volume)	Lerøy Aurora AS, Troms county, Norway	25-115 g, 4, 6 and 8%	Different densities of lumpfish in large scale sea cages	Yes, similar at all densities
Eliassen et al. (2018), Kirsten Eliassen, Fiskaaling, Faroe Islands, pers. comm.)	Year round, 6-11°C	Large sea cages from 9 farming sites	Faroe Islands	13-545 g, Density not given	Cleaning efficacy of lumpfish in relation to size and season	Yes, but seasonal effect seen. Sea lice grazing most effect during Oct.-April
Eva Dögg Jóhannesdóttir, Arctic Fish Ltd. (pers. comm.)	June-December, 10.1-3.2°C	7 sea pens (160 m circumference)	Iceland, Dýrafjörður	20-255 g, 8-10%	Comparison of sea lice at sites with and without lumpfish	Yes, significantly lower <i>L. salmonis</i> with lumpfish present
Hjörtur Methúsalemsson, Arnarlax Ltd. (pers. comm.)	Sept.-September (one year) 1.9°C (February) 11.1°C (early Sept).	12 sea pens (160 m circumference)	Iceland, Arnarfjörður	32-340 g 8-10%	Comparison of sea lice at sites with and without lumpfish	Yes, significantly lower <i>L. salmonis</i> with lumpfish present

Vedlegg 2. Arbeidspakke 1. Salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in the stomach contents of lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) sampled from Norwegian fish farms. *Aquaculture* (submitted).

Det understrekes at manuskriptet ikke kan kopieres, refereres, eller på annen måte brukes før etter at dette er publisert som fagfelleevaluert (per-reviewed). Manuskriptet er sendt til *Aquaculture* i mars 2022

Salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in the stomach contents of lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) sampled from Norwegian fish farms

Solveig Engebretsen^a, Magne Aldrin^a, Lars Qviller^b, Leif Christian Stige^{b,*}, Trond Rafoss^c, Ole Roald Danielsen^d, Andreas Lindhom^d, Peder A. Jansen^e

^aSAMBA, Norwegian Computing Center, Gaustadalleen 23A, Oslo, 0373, Norway

^bNorwegian Veterinary Institute, Arboretveien 57, Ås, 1433, Norway

^cDepartment of Natural Sciences, University of Agder, Post box 422, Kristiansand, 4604, Norway

^dNorsk Oppdrettservice AS, Abelnæs 60, Flekkefjord, 4404, Norway

^eINAQ AS, Post box 1223 Torgard, Trondheim, 7462, Norway

Abstract

Cleaner fish are commonly used as a preventive control measure against salmon lice infestations in salmonid farms. Lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) is the most common cleaner fish species used in Norwegian farms. However, little is known about how different operational and environmental conditions affect the grazing efficacy by lumpfish. In this paper, we analyse salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in the stomach contents of a large sample of more than 20 000 lumpfish from 80 different Norwegian farms. We investigate the proportion of lumpfish with salmon lice and the mean number of salmon lice in the stomach contents of the lumpfish. We further explore how the salmon lice contents vary with different factors like lumpfish weight, weight of salmonids, salmon lice abundance in the cage, cloud cover, and sea temperature. We find that 3.1% of the lumpfish contained salmon lice, with an

*Corresponding author: Leif.Christian.Stige@vetinst.no. Phone: +47 93698406

average of 0.19 salmon lice per lumpfish. The distribution is highly skewed, implying that most lumpfish had no or few salmon lice in their stomach contents, while a few lumpfish contained many salmon lice. We find more salmon lice in the stomach contents with increasing abundance of salmon lice in the sea cage, lower weight of the salmonids, and in clear weather. Interestingly, we find a nonmonotone relationship between lumpfish weight and salmon lice in the stomach contents, with an optimal weight of ca. 40 g for salmon lice grazing. Hence, we find fewer salmon lice per lumpfish for weights lower and higher than 40 g. Surprisingly, we find no relationship between sea temperature and salmon lice per lumpfish. We find more salmon lice in the stomach contents of the lumpfish with comparatively high condition. By studying the factors associated with most efficient salmon lice grazing, our paper contributes to understanding how different operational factors affect salmon lice grazing by lumpfish. For controllable factors, the results thus contribute to guiding the best practice for use of lumpfish as a preventive salmon lice control measure.

Keywords: Salmon lice, Lumpfish, Cleaner fish, Stomach contents, Biological delousing

1. Introduction

Salmon lice infestation is a problem for the fish farming industry in terms of great economic costs, fish health burden both on farmed and wild fish, and is damaging for the public perception of farmed fish (Costello, 2009; Brooker et al., 2018a,b; Torrissen et al., 2013).

The use of cleaner fish is a popular preventive control measure against