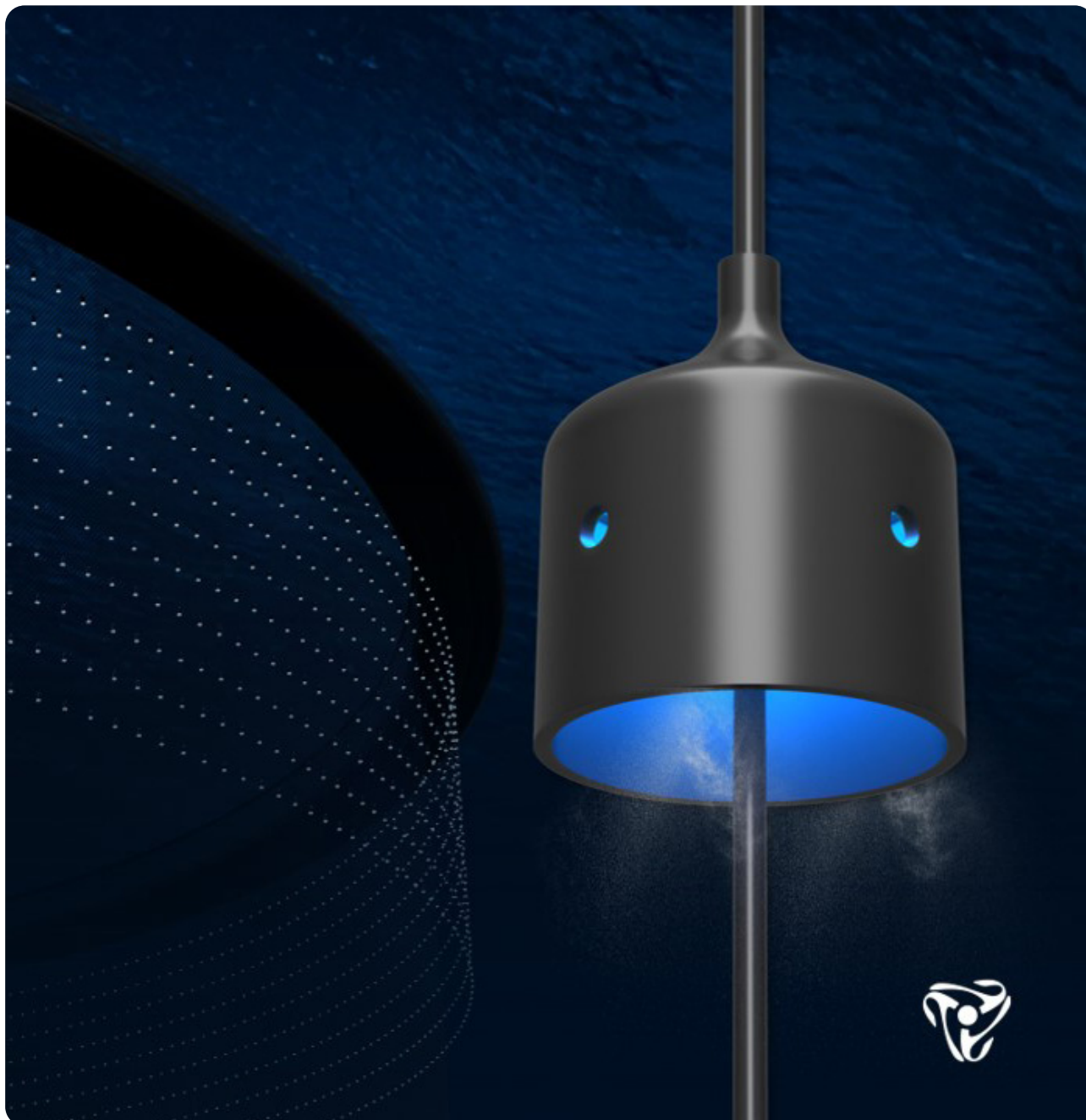




LiceDefence

RAPPORT 44/2026

LiceDefence, et system som tiltrekker seg og dreper pelagiske larver av lakselus

Forfattere

Lars Qviller, Veterinærinstituttet
Kjetil Korsnes NORD universitet

Foreslått referanse

Qviller, L., Korsnes, K. LiceDefence, et system som tiltrekker seg og dreper pelagiske larver av lakselus.
Prosjektrapport. Veterinærinstituttet 2026. ©
Veterinærinstituttet, kopi tillatt med henvisning

Kvalitetssikret av

Arne Holst-Jensen, Avdelingsdirektør, Helsedata

Finansiering

Norges forskningsråd (NFR), prosjektnummer: 309768 – IPNÆRINGSLIV19.
Industripartnere har bidratt med finansiering av egne aktiviteter i prosjektet.

Publisert

2026 på www.vetinst.no
ISSN 1890-3290 (elektronisk utgave)
© Veterinærinstituttet 2026

Kolofon

Forsidebilde: Lice Defence
www.vetinst.no



Innhold

1	Abstract.....	3
2	Sammendrag.....	4
3	Innledning.....	5
4	Metode	7
4.1	Forsøksoppsett og design	7
4.2	Datastruktur.....	8
4.3	Statistikk, lusebelastning	8
4.4	Analyse av blodparametere	10
4.5	Undersøkelse av typer organismer som går i lysfellene.....	12
5	Resultater.....	13
5.1	Rådata.....	13
5.2	Vurdering av lusenivå.....	14
5.3	Blodparametere	15
5.4	Fangstanalysen.....	17
6	Diskusjon.....	19
7	Referanser.....	21

1 Abstract

This report summarises the results from a small-scale field trial of LiceDefence, a technology developed to reduce salmon lice infestation by attracting and inactivating pelagic stages of the parasite in the water column. The experiment was conducted at the GIFAS research facility in Gildeskål, using a controlled design with six cages and alternating treatment, where the system was switched on and off between two groups.

The effect of LiceDefence was analysed using generalized linear mixed-effects models (GLMMs) tailored for count data, accounting for variation between cages, time periods, and temporal dependence in lice infestation. The analyses showed a significant reduction in lice infestation when the system was active. The estimated effect corresponds to an average reduction of approximately 44% compared to periods without active treatment, under the given experimental conditions.

Analyses of blood parameters were also conducted to investigate possible physiological effects on the fish. Neither multivariate analysis (PCA) nor univariate models indicated increased stress or toxic burden in fish exposed to LiceDefence. However, the analytical panel was limited and did not include key stress markers. The results must therefore be interpreted with caution, even though no signs of tissue damage were observed in the parameters analysed.

Overall, the study indicates that LiceDefence has the potential to reduce lice infestation without detectable adverse physiological effects on fish under the tested conditions. However, the results are limited to small-scale trials, and further studies are required to evaluate performance and functionality under commercial farming conditions.

2 Sammendrag

Denne rapporten oppsummerer resultater fra en småskala feltuttesting av LiceDefence, en teknologi utviklet for å redusere lusepåslag ved å tiltrekke og inaktivere pelagiske stadier av lakselus i vannmassene. Forsøket ble gjennomført ved GIFAS' forskningsanlegg i Gildeskål, i et kontrollert oppsett med seks merder og alternerende behandling der systemet ble slått av og på i to grupper.

Effekten av LiceDefence ble analysert ved hjelp av generaliserte lineære mixed-effekt-modeller (GLMM) tilpasset telldata, der det ble kontrollert for variasjon mellom merder, perioder og tidsavhengighet i lusepåslag. Analysene viste en signifikant reduksjon i lusepåslag når systemet var aktivt. Estimert effekt tilsvarer at lusepåslaget i gjennomsnitt var om lag 44 % lavere sammenlignet med perioder uten aktiv behandling, gitt forsøksbetingelsene.

Det ble også gjennomført analyser av blodparametere for å undersøke mulig fysiologisk påvirkning på fisk. Verken multivariat analyse (PCA) eller univariate modeller ga indikasjoner på økt stress eller toksisk belastning hos fisk eksponert for LiceDefence. Analysepanelet var imidlertid begrenset og inkluderte ikke sentrale stressmarkører. Resultatene må derfor tolkes med forsiktighet, selv om det ikke ble observert tegn til vevsskade i de analyserte parameterne.

Samlet sett viser studien at LiceDefence har potensial til å redusere lusepåslag uten påvisbare negative effekter på fiskens fysiologi under de forholdene som ble undersøkt. Resultatene er imidlertid begrenset til småskala forsøk, og videre studier er nødvendige for å evaluere effekt og funksjon under kommersielle driftsforhold.

3 Innledning

Prosjektet «*LiceDefence – Development of new innovative technology and concept to remove salmon lice (Lepeophtheirus salmonis) copepods from seawater*» ble gjennomført som et innovasjonsprosjekt i næringslivet (IPN) finansiert under Havbruk2-programmet i Norges forskningsråd (prosjektnummer 309768). Prosjektet pågikk i perioden 2020–2024 og hadde som overordnet mål å utvikle og dokumentere en ny, skånsom teknologi for reduksjon av lakselus gjennom direkte fjerning av pelagiske larvestadier i vannmassene, uten fysisk håndtering av laks.

Lakselus representerer fortsatt en av de største biologiske utfordringene i norsk lakseoppdrett, både med hensyn til fiskevelferd (Oliveira et al., 2021), produksjonsøkonomi (Walde et al. 2023) og miljøpåvirkning (Kristoffersen et al., 2018). Dagens hovedtiltak for bekjempelse av lus innebærer i stor grad medikamentell, mekanisk eller termisk behandling, som alle forutsetter betydelig håndtering av fisken og er forbundet med økt risiko for stressrelaterte velferdsproblemer og dødelighet (Oliveira et al., 2021). Det har derfor vært et uttalt behov for utvikling av alternative teknologier som kan redusere smittepresset av lus på en mer forebyggende og skånsom måte.

LiceDefence-teknologien er utviklet som et slikt alternativ. Konseptet bygger på aktiv tiltrekning av frittlevende lakseluslarver ved hjelp av lys, kombinert med lokal inaktivering av larvene inne i fangstklokker ved elektrolyse av sjøvann, der små mengder klorgass dannes og raskt brytes ned igjen. Teknologien er utformet for å operere kontinuerlig rundt oppdrettsmerder og dermed redusere smittepresset før luselarvene fester seg på fisken. Utviklingsløpet i prosjektet har vært preget av flere utfordringer. Blant annet medførte et utbrudd av infeksjøs lakseanemi (ILA) på forsøkslokaliteten og tekniske problemer knyttet til biologisk begroing og materialslitasje at deler av tidlige uttestinger ga usikre eller utilstrekkelige resultater. Etter prosjektets formelle avslutning i 2024 ble teknologien videreutviklet og stabilisert, og det ble gjennomført en ny feltuttesting med forbedret teknisk løsning.

Formålet med denne rapporten er å oppsummere og dokumentere resultatene fra denne avsluttende feltuttestingen av LiceDefence-teknologien, med særlig fokus på:

1. effekt på lusepåslag i form av fastsittende lakseluslarver på fisk, og
2. eventuell fysiologisk påvirkning på forsøksfisk vurdert gjennom et bredt sett av blodparametere.

Rapporten er avgrenset til å omfatte småskala feltforsøk gjennomført ved GIFAS' forskningsanlegg i Gildeskål kommune, og tar ikke sikte på å dokumentere effekt i full kommersiell skala. Resultatene må derfor tolkes innenfor rammene av det spesifikke forsøksdesignet, lokaliteten og den romlige og tidsmessige skalaen forsøket er gjennomført på. Vurderinger knyttet til oppskalering, langtidseffekter og operasjonell bruk i kommersielle anlegg ligger utenfor denne rapportens formål.

Rapporten er strukturert slik at forsøksdesign, datagrunnlag og statistiske metoder beskrives grundig for å gi leseren innsyn i de forutsetningene som ligger til grunn for analysene. Resultatene presenteres først deskriptivt og deretter gjennom formelle statistiske analyser, før funnene diskuteres i lys av biologisk plausibilitet, metodiske begrensninger og teknologiens videre utviklingspotensial.

Teknologien

LiceDefence er et nytt konsept for fjerning av pelagiske larver av lakselus direkte fra vannmassene. Konseptet består av fangstklokker som skal lokke til seg luselarvene ved hjelp av lys, mens elektroder spalter vannet, og dermed også saltet til sine respektive kationer og anioner. Det meste av salt i havet inneholder klor, og det dannes dermed klorholdige gasser inne i fangstklokken som dreper luselarvene. Lyset fungerer som tiltrekningsmekanisme, mens elektrodene står for inaktivering av larvene gjennom elektrolyse av sjøvann. Klor løses raskt ut i havvannet igjen, og det skal ikke være fare for skade på fisken. Klokkene skal plasseres rundt merdkanten, og dermed skape en barriere mot smittepress fra luselarver utenfra (Figur 1).

Hvis systemet virker, har det en rekke fordeler i praktisk bruk. Det skader ikke fisken, det skaper ikke barrierer mot oksygen og det kan brukes gjennom hele produksjonssyklus. LiceDefence kan også brukes sammen med andre tiltak mot lakselus.

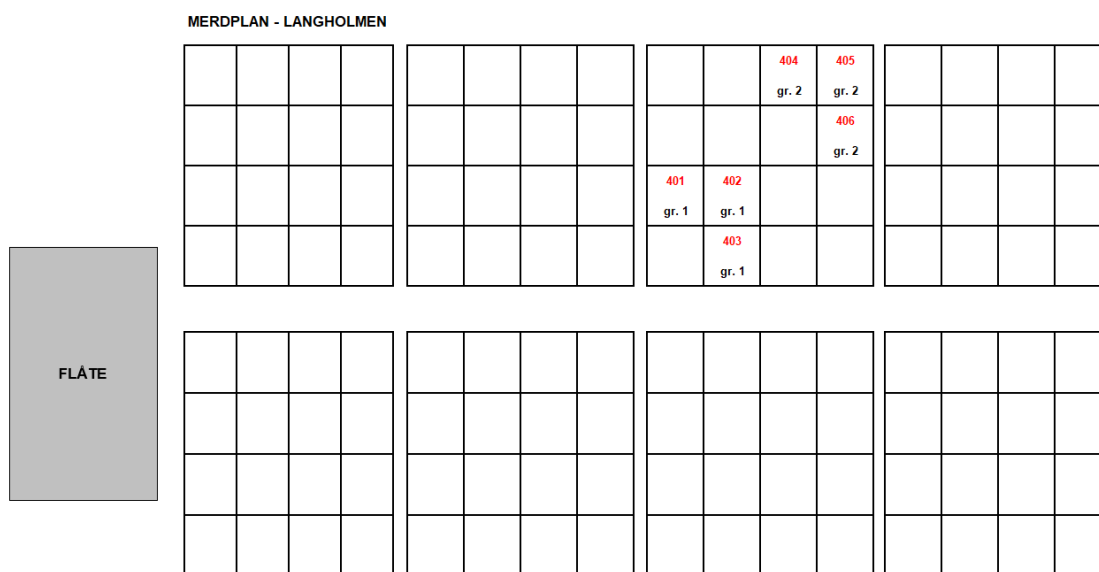


Figur 1. Illustrasjon av LiceDefence teknologi installert langs merdkanten

4 Metode

4.1 Forsøksoppsett og design

Systemet ble testet ut i småskala eksperimenter i GIFAS' forskningsanlegg Langholmen i Gildeskål kommune (lokalitetsnummer 11116). Anlegget består av en rekke små kvadratiske forskningsmerder på 5x5 meter. Forsøket ble gjennomført i 6 slike forsøksmerder. Merdene ble fordelt i to grupper, og gruppene var adskilt for å redusere påvirkning fra nabomerdene (Figur 2). LiceDefence-teknologi ble installert på alle seks merdene, men den ble aktivert og deaktivert med to ukers mellomrom slik at gruppe 1 hadde systemet aktivert (strømmen slått på) i en behandlingsperiode, og den andre gruppen var kontroll. I neste behandlingsperiode var gruppe 1 deaktivert, og gruppe 2 hadde systemet aktivert (Tabell 1).



Figur 2. Forsøksmerdenes plassering i forsøkslokalitetens merdplan (utklipp fra GIFAS' sammenstilling av resultater). Hver rute illustrerer en forsøksmerd på 5x5 meter. Merdene er organisert i enheter på 4x4 merder. Det er 128 forsøksmerder i alt på lokaliteten. LiceDefence var installert i merdene merket med røde nummer. Gruppe (gr.1 og gr. 2) identifiserer merder som hadde teknologien aktiv, eller inaktiv i henhold til forsøksplanen (Tabell 1).

Tabell 1. Forsøksoppsett, gule markeringer indikerer at systemet var slått på. Telling er indikert med dato i kolonne to fra venstre, og hver telling ble utført ved avslutning av en behandlingsperiode (utklipp fra GIFAS' sammenstilling av resultater)

AV/PÅ		Gruppe 1			Gruppe 2		
		401	402	403	404	405	406
Uke 1	23.01 kl 12.00	Behandling	Behandling	Behandling	Kontroll	Kontroll	Kontroll
Uke 2		Behandling	Behandling	Behandling	Kontroll	Kontroll	Kontroll
Uke 3	07.02 kl 14.00	Kontroll	Kontroll	Kontroll	Behandling	Behandling	Behandling
Uke 4		Kontroll	Kontroll	Kontroll	Behandling	Behandling	Behandling
Uke 5	21.02 kl 13.30	Behandling	Behandling	Behandling	Kontroll	Kontroll	Kontroll
Uke 6		Behandling	Behandling	Behandling	Kontroll	Kontroll	Kontroll
Uke 7	07.03 kl 10.45	Kontroll	Kontroll	Kontroll	Behandling	Behandling	Behandling
Uke 8		Kontroll	Kontroll	Kontroll	Behandling	Behandling	Behandling
Uke 9	21.03 kl. 13.30	Behandling	Behandling	Behandling	Kontroll	Kontroll	Kontroll
Uke 10	28.03 kl. 12.30	Kontroll	Kontroll	Kontroll	Behandling	Behandling	Behandling
	04.04. kl. 08.45						

Med dette oppsettet kunne vi sammenligne lusepåslag fra en ubehandlet gruppe, og en behandlet gruppe i et kontrollert oppsett der miljøet var så likt som mulig mellom behandlet og ubehandlet gruppe. I den grad det oppsto forskjeller kunne dette kontrolleres for i de statistiske analysene.

Oppsettet med alternerende behandlingsperioder ga oss såkalt statistisk kontrast mellom merdidentitet og behandling i sanntid. På denne måten kunne vi skille behandlingseffekter fra merdeffekter, for eksempel hvis en gruppe merder lå oppstrøms i den generelle havstrømmen, og dermed først ble eksponert for pelagiske luselarver som introduseres til anlegget.

Antall lus fordelt på ulike stadier, ble talt opp på 40 fisk fra hver merd etter at hver behandlingsperiode var ferdig. Røkting av fisk, daglig stell, telling av lus og registrering av data ble utført av forskningsstasjonen på GIFAS.

4.2 Datastruktur

Forskningsstasjonen på GIFAS leverte oppdaterte rapporter underveis i hele forsøksperioden, og de leverte en omfattende sammenstilling av resultater og data den 10. april 2025. Fra denne sammenstillingen har vi informasjon om merd-id, dato, behandlingsgruppe (som vist i figur 2 og tabell 1), og om systemet var slått av eller på. Excel ble brukt til å sette sammen et større datasett basert på alle ukesrapportene. All videre analyse og databehandling ble utført i R. Under vises strukturen på dataene (Tabell 2).

Tabell 2: Utdrag fra datasettet. Tabellen viser overskrift og de første seks linjene i datasettet

Dato	Merd	Gruppe	Treatment	Fast	Beveg	Kjmod_hunn	Fast forrige	Periode
07.02.2025	401	1	TRUE	0	1	0	0	2025-02-07
07.02.2025	401	1	TRUE	1	2	0	0	2025-02-07
07.02.2025	401	1	TRUE	1	2	0	0	2025-02-07
07.02.2025	401	1	TRUE	1	2	0	0	2025-02-07
07.02.2025	401	1	TRUE	1	0	0	0	2025-02-07
07.02.2025	401	1	TRUE	0	1	0	0	2025-02-07

Datasettet består av 1440 observasjoner av luseregistreringer hos laks fra et feltforsøk med alternerende behandling (systemet slått av og på). Forsøksfisken var fordelt på seks merder (Merd), og fra hver merd ble det plukket ut 40 fisk per observasjonsperiode (Periode), som ble undersøkt for lus, før de ble returnert til merdene. Merdene var delt i to Grupper (Gruppe 1: bur 401-403, Gruppe 2: bur 404-406), og behandlingen ble vekslet mellom gruppene etter hver observasjonsperiode. For hver observasjon ble det registrert antall fastsittende lus (Fast), antall preadulte lus og hanner (Beveg), og antall kjønnsmodne hunnlus (kjmod_hunn). I tillegg ble det laget en variabel vi har kalt Fast forrige, som er en tidsseriekorreksjon. Det ble registrert om LiceDefence-systemet var slått på for hver enkelt observasjon (Treatment), hvilken periode (Periode) observasjonen stammer fra. Dataene gjenspeiler naturlig eksponering for lakselus i felt, og mulig variasjon over tid, og den alternerende behandlingen bryter opp merdeffekter, slik at vi kunne identifisere effekten av behandling. Datasettet har totalt ni kolonner og 1440 rader, der variablene er organisert i kolonner, og observasjoner er organisert som rader.

4.3 Statistikk, lusebelastning

Selv om datasettet er symmetrisk og har et godt studiedesign, så er det flere forhold man må være oppmerksom på, og som kompliserer den statistiske analysen noe. Alle analyser ble utført som generaliserte lineære mixed-effekt-modeller (GLMM), som ga oss mulighet til å ta høyde for identifiserte egenskaper ved datasettet.

For å måle effekten av LiceDefence-systemet må vi vite hvorvidt systemet var slått av eller på når lusene som skal inkluderes i analysen festet seg til fisken. De fire første behandlingsperiodene varte i to uker, og de to siste behandlingsperiodene varte i bare en uke hver. Lakselus bruker 155 døgngrader på å utvikle seg fra påslag til det

bevegelige stadiet (Kristoffersen et al., 2014). Døgngrader er summen av gjennomsnittstemperatur for alle dager som inngår i perioden vi vurderer. Tabell 3 viser antall døgngrader for hver av periodene, og hvor mange dager periodene varte.

Tabell 3: Antall døgngrader (antall døgn ganger gjennomsnittstemperatur) i periodene.

Periode	Sluttdato for perioden	Antall døgngrader	Varighet på perioden (dager)
1	07.02.2025	54,6	15
2	21.02.2025	49,6	14
3	07.03.2025	53,7	14
4	21.03.2025	42,7	14
5	28.03.2025	21,8	7
6	04.04.2025	33,2	8

Vi kan derfor ikke være sikre på at fastsittende lus vi talte i perioden var fastsittende lus som satt seg på i perioden, eller om de satt seg på i en tidligere periode. For å håndtere denne tidsserieavhengigheten, så brukte vi antall fastsittende lakseluslarver i uken før som en ekstra forklaringsvariabel. På den måten vil de andre variablene i analysen være uavhengige av antall luselarver i uken før, og de vil i praksis være en effekt av endringen i antall fastsittende luselarver siden forrige telling. Dette er en vanlig metode for å håndtere tidsavhengighet i observasjonsdata.

Ettersom forsøksoppsettet inkluderer gjentatte målinger innenfor de samme merdene over tid, er det naturlig å anta at variasjonen mellom merder er større enn variasjonen mellom fisk i samme merd. Dette ble håndtert med å inkludere merd som en såkalt tilfeldig effekt (random-effekt, Zuur et al., 2007). Inkludering av en slik tilfeldig effekt-variabel ga rom for ulikt lusepåslag i de ulike merdene, uavhengig av behandling. Siden vi byttet på hvilke merder der LiceDefence-systemet var slått av og på, kunne vi identifisere behandlingseffekten uavhengig av merdeffektene. På denne måten tok analysen vi brukte høyde for at det kan være variasjon i eksponering mellom merder. I tillegg inkluderte vi periode, altså perioden før tellingene, som en fast effekt (fixed-effect) i modellen. Dette ga mulighet til å sammenligne påslag og behandlingseffekt, uavhengig av smittepresset i de ulike periodene.

Dette statistiske designet tok dermed høyde for fenologisk variasjon (sesongutvikling, smittepresset varierer gjennom våren). I tillegg var det indikasjoner på romlig struktur mellom merdgruppe (Gruppe 1 = merd 401–403, Gruppe 2 = merd 404–406), og merdgruppe som uavhengig variabel ble testet i modelltilpasningen. For å håndtere alt dette var det nødvendig å bruke hierarkiske (mixed-effects) modeller. En vanlig lineær modell ville ikke kunne håndtere variasjonsstrukturen som oppstår når flere observasjoner kommer fra samme merd, og ville dermed kunne gi feil i estimering av standardfeil og p-verdier.

Dataene består av tellinger, og vi observerte mild overdispersjon i forhold til en Poisson-modell. Derfor ble en negativ binomialmodell (nbinom1) valgt som familiestruktur (Zuur et al., 2007). Det endelige utgangspunktet for modelltilpasning ble dermed en GLMM med negativ binomialfordelte residualer, hvor antall fastsittende luselarver ble modellert som en funksjon av behandling, periode, gruppe og antall fastsittende luselarver i forrige periode (alle som faste effekter). I tillegg inkluderte vi merd som tilfeldig effekt. Modelltilpasningen ble utført ved å kjøre en såkalt «Forward model selection», der vi valgte ut de ulike parameterene stegvis (Zuur et al., 2007). Alle statistiske analyser ble utført i R (R Development Core Team, 2025), og GLMM-modeller ble utført ved hjelp av pakken glmmTMB (Brooks et al., n.d.). Residualer av endelig modell ble inspisert ved hjelp av pakken DHARMA, som er godt egnet til å vurdere negativ binomialfordelte residualer (Hartig, 2024).

4.4 Analyse av blodparametere

LiceDefence-teknologien er lite invasiv og kan potensielt redusere behandlingsbelastningen for forsøksfisk ved å bidra til færre lusebehandlinger. Teknologien benytter imidlertid en lysfelle der det frigjøres små mengder klorgass (Cl_2) til vannmassene. Klorgassen reagerer raskt i sjøvann, og innledende undersøkelser viser at eksponeringen er svært lokal rundt selve installasjonen, og er derfor forventet å ikke utgjøre en eksponeringsrisiko for fisken. Det var likevel viktig å undersøke om tilstedeværelsen av LiceDefence kan innebære en målbar fysiologisk belastning for fisken. For å vurdere dette analyserte vi et bredt panel av blodparametere knyttet til metabolsk status, immunrespons og vevsbelastning, med mål om å avdekke eventuelle subtile fysiologiske effekter som kunne oppstått som følge av teknologien. Analysepanelet inkluderte blant annet albumin, globuliner, totalprotein, glukose, kolesterol, kalsium, fosfat og en rekke vevsskade-relaterte enzymer (AST, ALT, LDH, CK, GGT, AMY, LPS) (Tabell 3).

Blodprøver ble tatt ut med vacutainer med Li-heparin fra kaudal vene etter overdose med bedøvelsesmiddel (Benozac Vet). Blodprøven ble spunnet ned for å separere ut plasma. Dette ble så fryst ved $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ frem til videre analyse. Analyse av biomarkører ble gjort på et point-of-care-instrument (SMT-120VP, Seamaty Ltd), med analyserotor med et panel på 21 biomarkører (24 Comprehensive Test Plus, Seamaty Ltd). Oversikt over biomarkørene er gitt i Tabell 4. I tillegg til 21 målte biomarkører, ble også Globulin beregnet ut fra Total Protein, og ratioer mellom Albumin/Globulin og bundet Urea Nitrogen/Kreatinin gitt. Analysen ble gjort på $120\text{ }\mu\text{l}$ plasma. Zah et al. (2025) har vist at dette panelet med biomarkører har god presisjon, og gir gode data på laks. Det gjorde våre data egnet til å undersøke effekt mellom kontroll- og behandlede grupper i forsøksoppsettet.

Alle blodparametere ble numerisk harmonisert ved median-imputasjon av totalt tre manglende verdier (én for hver av variablene GLOB, TP og UA). Enzymanalyser med tydelig høyreskjev fordeling (CK, AST, ALT, LDH, LPS, TG og AMY) ble log-transformert med $\log_{1p}$ før videre behandling. Deretter ble alle variabler **z-skalert** for å sikre sammenlignbarhet mellom måleenheter.

Tabell 4. Oversikt over blodparametere som inngikk i analysene. Tabellen viser blodparameter, tilhørende forkortelse og en kort beskrivelse av hva markøren måler samt dens fysiologiske relevans. Markørene dekker et bredt spekter av funksjonelle domener, inkludert proteinstoffskifte, immunaktivitet, energimetabolisme, ionebalanse og vevs- eller leverskade, og ble benyttet for å vurdere om LiceDefence-teknologien kunne påvirke fysiologisk status hos forsøksfisken.

Blodparameter	Forkortelse	Hva måles	Fysiologisk betydning
Albumin	ALB	Hovedplasmaprotein; leverfunksjon; volumstatus	Inflammasjon, stress, hydreringsstatus
Alkalisk fosfatase	ALP	Lever-, bein- og tarmenzym	Metabolsk aktivitet, leverpåvirkning, stress
Alanin aminotransferase	ALT	Lever-/vevsenzym	Vevsskade, toksisitet, inflammasjon
Amylase	AMY	Pankreas-/fordøyelsesenzym	Stress, fordøyelsesaktivitet
Aspartat aminotransferase	AST	Muskel- og leverenzym	Stress, muskulær belastning, vevsskade
Blood Urea Nitrogen	BUN	Ureakonsentrasjon	Proteinmetabolisme, ernæring, stress
Kalsium	CA	Totalt kalsium i plasma	Ionebalanse, syre-base, albuminbinding
Kreatinkinase	CK	Muskel-/vevsskademarkør	Akutt stress, vevsskade, toksisitet
Kreatinin	CREA	Muskelmetabolitt	Muskelaktivitet, volumstatus, nyrefunksjon
Globuliner	GLOB	Immunrelaterte proteiner	Immunrespons, inflammasjon
Glukose	GLU	Blodsukker	Stress, kortisolrespons, energimetabolisme
Gamma-glutamyltransferase	GGT	Lever-/gallesystemenzym	Leverpåvirkning, gallesystemstress
Laktatdehydrogenase	LDH	Vevsenzym (anaerob metabolisme)	Vevsskade, oksidativt stress
Lipase	LPS	Fettfordøyelsesenzym	Pankreasfunksjon, stress
Fosfat	PHOS	Uorganisk fosfat	Energiomsetning (ATP), syre-base
Totale gallesyrer	TBA	Gallesyrer i plasma	Lever-/gallesystemfunksjon
Total bilirubin	TB	Hem-nedbrytning	Leverstatus, hemolyse
Totalkolesterol	TC	Totalt kolesterol	Stress, energimetabolisme
Total CO ₂ / bikarbonat	TCO ₂	Syre-base-bufferkapasitet	Metabolsk eller respiratorisk påvirkning
Triglyserider	TG	Blodfett	Energi-/stressnivå, ernæring
Totalprotein	TP	Albumin + globuliner	Immunaktivitet, inflammasjon, volumstatus
Urinsyre	UA	Oksidant/avfallsstoff	Oksidativt stress, nitrogenmetabolisme

Multivariat analyse (PCA med biplot)

Ulikheter i blodkjemi mellom grupper ble undersøkt for alle blodparametere samlet med en prinsipalkomponentanalyse (PCA) på log-transformerte og standardiserte variabler (Legendre & Legendre, 2012). PCA ble kjørt uten ytterligere rotasjoner. Resultatene ble visualisert i et biplot der:

- grupper vises som punkter farget etter tilhørighet,
- konvekse polygoner viser utstrekningen til hver gruppe,
- piler illustrerer variablenes retning og relative bidrag til separasjon.

For å bedre lesbarhet ble kun de 12 variablene med høyest absolutte lastingsverdier inkludert i biplottet. Formålet med PCA-analysen var å undersøke om gruppene (Kontroll, 2 og 3) viste systematiske forskjeller i fysiologisk profil, og spesielt om de to behandlingsgruppene avvek fra kontroll i samme retning.

Univariate modeller

For å komplementere PCA-resultatene utførte vi enkle lineære regresjonsmodeller for hver blodmarkør:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Behandlet}_i + \varepsilon_i$$

der *Behandlet* = 1 for fisk i gruppene 2 og 3, og 0 for kontroll.

Hensikten med disse modellene var å undersøke retningen (fortegnet) på effekten per markør – altså om behandlet gruppe hadde høyere eller lavere verdier enn kontroll – som en indikator på om behandlingen var assosiert med økt eller redusert fysiologisk belastning.

For log-transformerte enzymmarkører gjenspeiler koeffisienten en tilnærmet relativ (prosentvis) endring. Vi rapporterte både klassiske og robuste (HC3) standardfeil, som er robuste mot heteroskedastisitet. Fokus lå primært på fortegn og konsistens på tvers av markører, da biologiske behandlingseffekter ofte er moderate per variabel, men tydelige når de vurderes samlet.

Gruppestørrelser

Datasettet hadde en helt balansert fordeling: 30 fisk i hver gruppe (Start, Kontroll, 2, 3), som gir et symmetrisk design med lite behov for vekting eller justering.

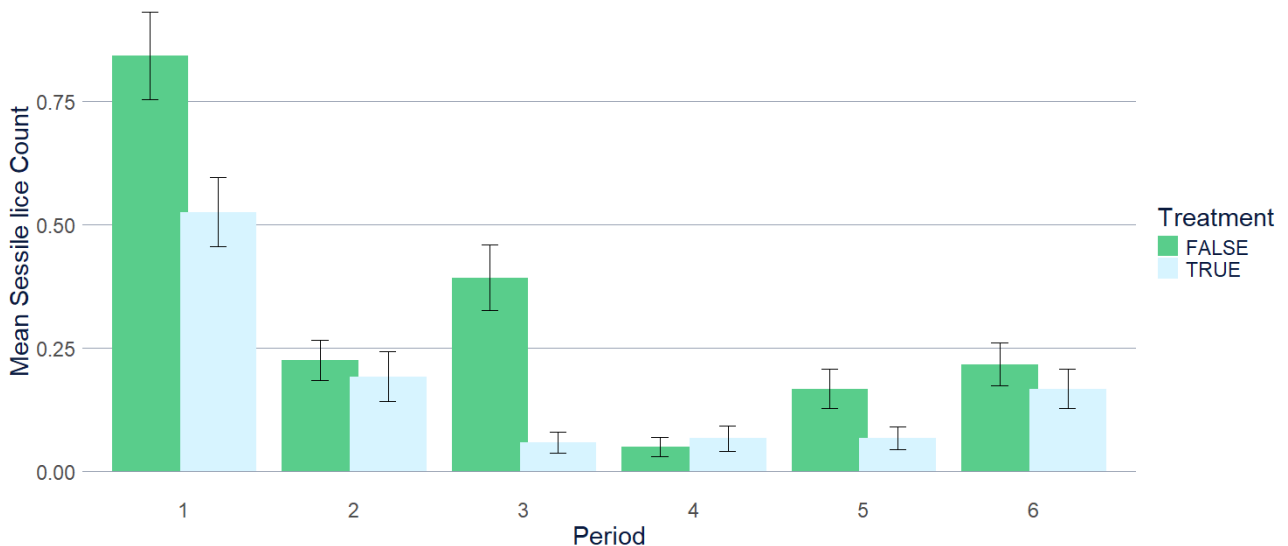
4.5 Undersøkelse av typer organismer som går i lysfellene

Individer av døde organismer på og i femten fangstklokker ble undersøkt og bestemt taksonomisk, for å undersøke om det var mulig å påvise døde pelagiske lakselus direkte i klokkene. Organismer som ble fanget opp i oppsamlingsbeholder under lysfellene ble fiksert på 96% etanol for videre undersøkelser. Det var satt opp oppsamlingsbeholder på ulike dyp, med den hensikt å undersøke hvilke typer organismer som blir tiltrukket lysfellene. Målsetningen var derfor å gi et bilde på en mulig økologisk påvirkning. Organismer fra 24 oppsamlingsbeholdere ble undersøkt under lysmikroskop for å artsbestemme på gruppenivå. Det ble undersøkt 12 oppsamlingsbeholdere fra forsøk gjennomført i sommerhalvår (etter to dager) og 12 fra vinter (etter 5 dager). Resultatet er slått sammen til en oversikt for å vise spredning og fordeling av organismer (Tabell 5).

5 Resultater

5.1 Rådata

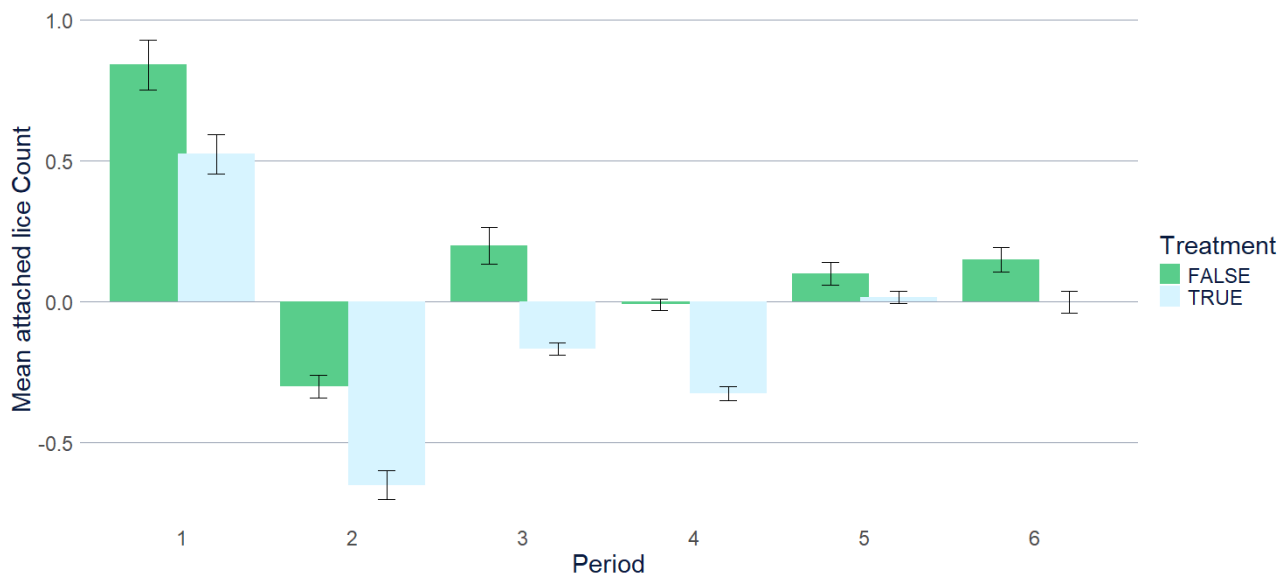
Rådataene viser at det satt flere fastsittende luselarver på fisken etter en periode der systemet var aktivt (Figur 3). Dette er imidlertid ikke tall som utelukkende inkluderer larver som har slått seg på i behandlingsperioden, da larvene bruker lenger tid på å utvikle seg til de preadulte stadiene enn behandlingsperioden.



Figur 3: Antall fastsittende luselarver på hver undersøkt fisk i gjennomsnitt, fordelt på behandlet og ubehandlet gruppe. Vi ser at det er færre luselarver på fisken ved tellinger etter en to-ukers periode med LiceDefence-systemet aktivt. TRUE betyr at LiceDefence-systemet var aktivt i perioden før telling, og FALSE betyr at det ikke var aktivt i perioden før telling.

For å komme forbi denne problemstillingen, så vi på endringen i antall fastsittende luselarver siden forrige periode. I figur 4 ser vi at lusepåslaget i perioden siden siste lusetelling ble mindre når LiceDefence-systemet var slått på. I figuren ser vi også en del negative tall. Dette indikerer at lusepåslaget er mindre enn det som går tapt i systemet, eksempelvis når larver faller av, eller om de utvikler seg til neste stadium.

Alt i alt indikerer rådataene en positiv effekt, fra et oppdretterperspektiv, når LiceDefence-systemet var aktivt. Vi skal nå se om dette inntrykket står seg når vi skal undersøke tallene med statistiske metoder, og om effektene skiller seg fra det man kan forvente av tilfeldig variasjon i lusepåslag som ikke skyldes behandling med LiceDefence-systemet.



Figur 4: Endring i antall luselarver siden forrige periode, som gjennomsnitt antall fastsittende luselarver per fisk, fordelt på behandling. TRUE betyr at LiceDefence-systemet var aktivt i perioden før telling, og FALSE betyr at det ikke var aktivt i perioden før telling.

5.2 Vurdering av lusenivå

Den statistiske modelltilpasningen viste at det var signifikante effekter av behandling med LiceDefence-systemet, antall fastsittende luselarver i behandlingsperioden før, og «behandlingsperiode» som faktorvariabel.

Merdgruppe hadde ikke signifikant effekt i modellen. Merd inngikk likevel som tilfeldig effekt for å ta høyde for variasjon mellom merder.

I tabell 5 ser vi modellsammendraget fra R. Tabellen viser modellens koeffisienter som **kontraster i forhold til en referanseverdi på log-skala**. Referansen (Intercept) representerer forventet respons når:

- Periode = Periode 1
- LiceDefence = FALSE
- Tidsseriekorreksjon = 0

Parameterestimaterne for perioder, LiceDefence (at systemet er slått på) og tidsseriekorreksjonen viser forskjellen fra referansen som representeres av interceptleddet i modellen (Tabell 5).. Siden modellen er spesifisert med log-link er parameterestimaterne additive på log-skala. Etter eksponentiering kan de tolkes som multiplikative effekter på forventningsverdien til responsen, og en slik omregning er nødvendig for å uttrykke effektene i intuitive størrelser.

Effekten av behandling med LiceDefence, estimert til -0.58 i modellen (hentet fra Tabell 5) gir:

$$\exp(-0,58) \approx 0,56$$

Dette betyr at lusepåslaget ved aktivt LiceDefence-system, tilsvarer en multiplikativ effekt på 0,56 på forventningsverdien. Dette innebærer at forventet lusepåslag med aktivt LiceDefence-system var 0,56 ganger nivået uten tiltak (tilsvarende en reduksjon på ca. 44 %)

Effekten av antall fastsittende luselarver forrige uke er i modellen 0,25 (hentet fra Tabell 5) gir etter omregning:

$$\exp(0,25) \approx 1,28$$

Dette betyr at for hver fastsittende luselarve som satt på en fisk ved forrige telling, så øker det forventede antallet av fastsittende luselarver med ca. 28 %, når alle andre variabler holdes konstant. Med andre ord, hvis det er mange fastsittende luselarver i forrige periode, så vil det medføre at vi får flere fastsittende luselarver også denne perioden. Modellens oppbygning vil kontrollere for denne effekten.

Hvis vi lar

$\mu_{\{ij\}}$ = forventet antall parasitter for observasjon i , i gruppe j

og

$b_j \sim N(0, \sigma^2)$ = tilfeldig intercept for gruppe j

Så blir den endelige statistiske formelen

$$\mu_{\{ij\}} = \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Periode2}_{\{ij\}} + \beta_2 \cdot \text{Periode3}_{\{ij\}} + \beta_3 \cdot \text{Periode4}_{\{ij\}} + \beta_4 \cdot \text{Periode5}_{\{ij\}} + \beta_5 \cdot \text{Periode6}_{\{ij\}} + \beta_6 \cdot \text{LiceDefence}_{\{ij\}} + \beta_7 \cdot \text{Tidsseriekorreksjon}_{\{ij\}} + b_j)$$

Forklaring til symbolene:

- $\mu_{\{ij\}}$: forventet antall fastsittende luselarver for observasjon i , i merd j
- β_0 : Intercept (referansen: Periode1, LiceDefence = FALSE, Tidsseriekorreksjon = 0)
- Alle β_k : faste effekter
- $\exp(\cdot)$: fordi modellen bruker en log-link

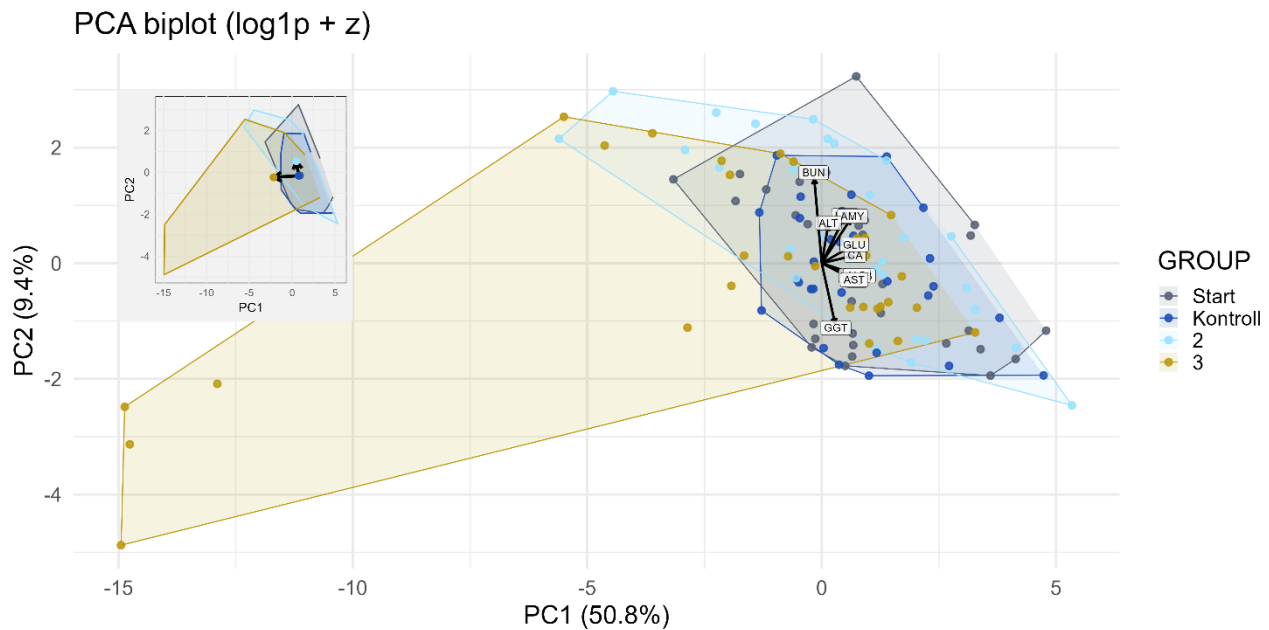
Tabell 5: Modelltabell fra den endelige statistiske modellen av LiceDefence-data. Tabellen viser kun den betingede modellen, og ikke de tilfeldige effektene. Parameteren LiceDefence viser effekten av at LiceDefence-systemet er aktivt, mens parameteren tidsseriekorreksjon indikerer effekten av lusepåslag i perioden før. Alle variablene er faktorvariabler, bortsett fra tidsseriekorreksjonen som er en variabel med heltall.

Modell for betinget forventning			
Parameter	Estimat	Standard feil	P-verdi
Intercept	-0,14	0,11	0,19
Periode 2	-1,36	0,20	< 0,00001
Periode 3	-1,21	0,17	< 0,00001
Periode 4	-2,49	0,29	< 0,00001
Periode 5	-1,77	0,21	< 0,00001
Periode 6	-1,28	0,18	< 0,00001
LiceDefence	-0,58	0,13	< 0,00001
Tidsseriekorreksjon	0,25	0,11	0,03

5.3 Blodparametere

Multivariat mønstergjenkjenning

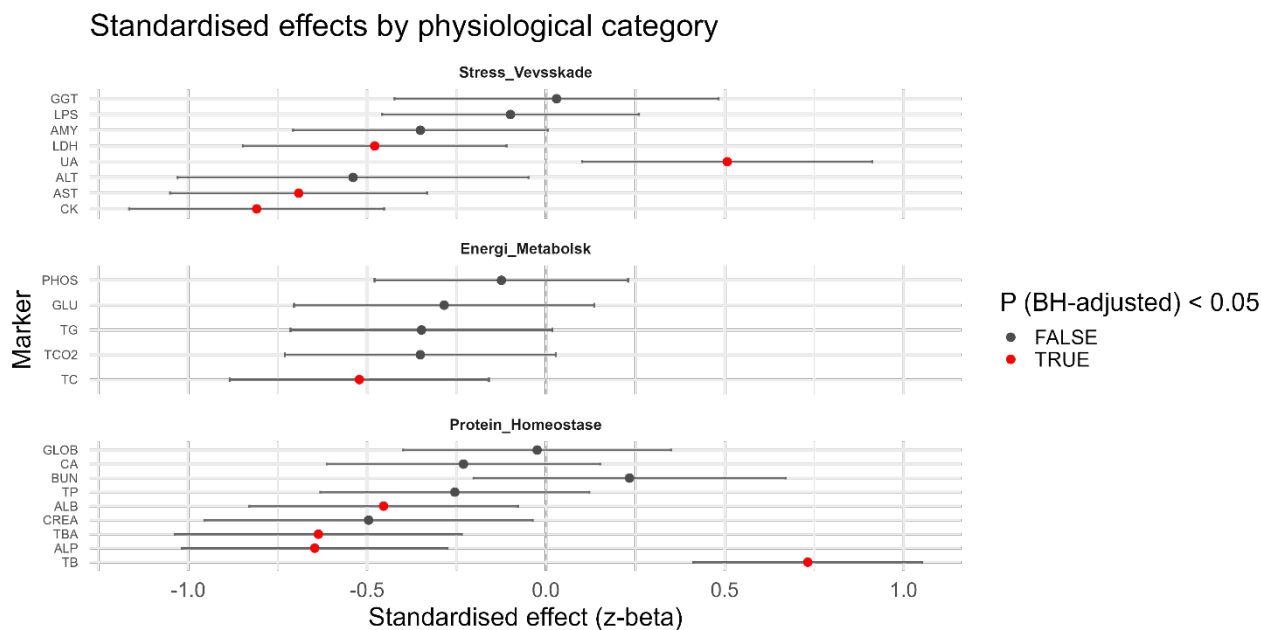
PCA-analysen viste et tydelig og konsistent mønster i blodparameterprofilene mellom gruppene (Figur 5). Kontrollgruppen lå nær sentrum av ordinasjonen, mens begge behandlingsgruppene (2 og 3) var forskjøvet i samme retning i PCA-planet (Figur 5, innfelt panel). Forskyvningen var hovedsakelig knyttet til PC1, som ble dominert av markører for protein- og energimetabolisme (TP, GLOB, ALB, TC, CA, GLU), samt enkelte vevs- og stressrelaterte enzymer. PC2 beskrev i større grad variasjon i enzymmarkører knyttet til vevsskade og metabolsk belastning (CK, AST, ALT, LDH, AMY, LPS). Biplotet viste at behandlingsgruppene hadde en samlet fysiologisk profil som var mer lik hverandre enn kontroll, og at behandlingen ikke introduserte et særskilt mønster av fysiologisk stress, basert på prøvene som ble tatt ut. Polygonene rundt gruppene dokumenterer at kontrollgruppen var mer kompakt, mens gruppe 3 hadde større intern variasjon, uten at dette reflekterte en systematisk stressprofil.



Figur 5. Prinsipalkomponentanalyse (PCA) av blodparametere etter $\log_{10}x$ -transformasjon og z-skalering. PCA ble brukt til å undersøke overordnede mønstre i blodparameterprofilene mellom gruppene. Punktene viser enkeltfisk, fargekodet etter gruppe. Konvekse polygoner illustrerer gruppenes multivariate utstrekning. Piler viser retning og relativ styrke til de 12 variablene med høyest absolutte lastingsverdier på PC1 og PC2. PC1 var hovedsakelig assosiert med proteinstoffskifte og energimetabolisme (f.eks. TP, GLOB, ALB, GLU, TC), mens PC2 var dominert av vevsskade- og stressrelaterte enzymer (f.eks. CK, AST, ALT, LDH). Det innfelte panelet viser at begge behandlingsgruppene (2 og 3) viste samme forskyvning fra kontrollgruppen langs PC1-aksen, uten mønstre som tilsier økt fysiologisk belastning.

Univariate regresjoner

De univariate lineære modellene viste gjennomgående små, men konsistente effekter på tvers av blodparameterne (Figur 6). For de fleste markører var regresjonskoeffisienten negativ, som indikerer lavere nivåer i behandlet fisk sammenlignet med kontroll. Dette gjaldt særlig enzymmarkørene (AST, ALT, LDH, CK) som er sensitive for vevsstress og oksidativ påvirkning, og som ville forventes å øke ved toksisitet eller økt belastning. Metabolsk betingede markører som glukose (GLU), triglyserider (TG), kolesterol (TC) og fosfat (PHOS) viste samme mønster, med lavere nivåer i behandlingsgruppene. Immunrelaterte markører (GLOB, TP) viste små, men konsistente forskjeller i retning av lavere immunaktivering hos behandlet fisk. Ingen biomarkører viste systematiske endringer i retning av økt fysiologisk belastning.



Figur 6. Standardiserte behandlingseffekter for blodparametere, gruppert etter fysiologisk kategori. Figuren viser standardiserte effektestimater (z-beta) for hver blodparameter basert på lineære modeller med robuste HC3-standardfeil. Punkter viser estimert effekt, og horisontale linjer viser 95 % konfidensintervall. Markører er sortert etter absolutt effektstørrelse innen hver kategori. Lilla punkter angir blodparametere som er signifikante etter Benjamini–Hochberg FDR-korreksjon ($p < 0.05$). Øverste panel inkluderer markører for vevsskade og oksidativt stress, midtre panel inkluderer energimetabolske markører, og nederste panel inkluderer protein-, immun- og homeostasemarkører. Kun fortegnet på effekten brukes i den fysiologiske tolkningen; ikke-signifikante resultater kan ikke tolkes som sikre endringer, men inngår i vurderingen av mønsteret på tvers av markører.

5.4 Fangstanalysen

I tillegg til blodparameteranalysene ble det gjennomført en omfattende screening av organiske partikler fra fangstklokkene. Totalt 6786 prøver ble undersøkt fra 24 fangstklokker. Undersøkelsen av planktonfangst viser at teknologien påvirker et bredt spekter av planktoniske organismer (tabell 6). Det ble ikke funnet lakselus i noen av oppsamlingsbeholderne.

Det ble påvist 18 prøver som inneholdt copepoditter eller nauplier fra uspesifiserte arter innen Copepoda. Disse larvestadiene var ikke mulige å artsbestemme videre, men de representerer normale komponenter i det zooplanktoniske samfunnet og er ikke knyttet til lakselus, som har distinkte morfologiske kjennetegn i både nauplius- og copepodittstadiene. Resultatene indikerer at lysfellene i hovedsak tiltrekker tallrike og vanlige organismer med høy naturlig dødelighet, mens forekomsten av nøkkelarter og høyere trofiske nivåer er begrenset.

Tabell 6. Oversikt over funn av organismer som går inn i lysfellene i LiceDefence.

Organismegruppe	Totalantall	Økologisk rolle	Vurdering av påvirkning
Triconia borealis	2285	Liten copepode – viktig føde for fiskelarver	Lav – svært tallrik og robust
Gastropoda-larver	2154	Sneglelarver – del av næringskjeden	Lav – høy naturlig dødelighet
Bivalvia-larver	1709	Muslinglarver – viktig for bunnfauna	Lav
Calanus finmarchicus	260	Nøkkelart – energibærer	Svært lav – få individer
Oithona spp.	141	Små copepoder – stabil energiflyt	Lav
Cirripedia-larver	95	Rur – rekruttering til harde flater	Lav / potensielt positiv
Bryozoa-larver	59	Mosdyr – indikatorart	Lav
Cladocera	16	Filtrerende plankton	Lav
Caprelloidea	13	Del av bunnfauna	Lav
Fiskeegg	10	Høyere trofisk nivå	Lav
Polychaeta-larver	5	Rekruttering til sedimentfauna	Lav

6 Diskusjon

Vi har her undersøkt om LiceDefence-systemet kan redusere lusepåslaget i form av fastsittende luselarver, i et kontrollert forsøk ved GIFAS' forsøksanlegg i Gildeskål kommune. Teknologien ble hengt rundt forsøksmerdene, og er designet til å lokke til seg pelagiske luselarver, og drepe dem før de setter seg på fisken. Forsøksdesignet innebar at systemet ble installert i alle forsøksmerder. Systemet går på strøm slik at det kan slås av og på, og vi kunne dermed veksle behandling mellom merder, slik at det ble mulig å skille effekter av behandling fra merdeeffekter. Vi undersøkte også blodparametere, slik at vi kunne vurdere om LiceDefence-installasjonen hadde noen negative effekter på forsøksfisken, spesielt relatert til fysiologiske effekter som tyder på toksisitet.

En inspeksjon av rådata fra prosjektet ga en klar indikasjon på at lusepåslaget ble lavere i perioder hvor LiceDefence-systemet var aktivt, enn når det ikke var aktivt. Statistisk analyse av variasjoner i smittepress over tid og rom viste en statistisk signifikant reduksjon i lusepåslag i perioder der LiceDefence-systemet var aktivt ($p < 0,0001$). Dersom alle andre variabler var like, ble lusepåslaget beregnet å være ca. 44% lavere med aktivt LiceDefence-system i denne studien.

Analysen av blodparametere ga ingen sterke indikasjoner på at LiceDefence-installasjonen påførte forsøksfisken merkbar fysiologisk belastning. Resultatet fra den multivariate analysen viser at behandlingsgruppene (2 og 3) avvek noe i samme retning fra kontrollgruppen, og at dette avviket ikke var forenlig med en klassisk stress- eller toksisitetsprofil (Figur 5). Tilsvarende viste de univariate regresjonsanalysene gjennomgående små, men konsistente effekter på tvers av markører, (Figur 6), primært i retning av lavere nivåer i behandlet fisk. Vi har imidlertid ingen entydig forklaring på dette mønsteret.

Enzymer som typisk øker ved oksidativt stress, toksisk påvirkning eller vevsskade (AST, ALT, LDH, CK) viste ikke økninger i behandlingsgruppene. Det ble heller ikke observert forskyvninger i ionebalanse (Ca, PHOS) eller syre-base-parametre (tCO_2) som i seg selv kan indikere påvirkning fra klogass. Samlet sett indikerer ikke dette at den svært lokale frigivelsen av klogass fra LiceDefence-enheten påvirket blodparamterprofilene i retning av økt fysiologisk belastning.

Flere markører (GLOB, GLU og TC) viste små men konsistente reduksjoner i behandlet gruppe. Slike endringer kan være forenlige med endringer i metabolsk og immunologisk aktivitet, men kan også reflektere andre forhold som ernæringsstatus, individuell variasjon eller uobserverte miljøfaktorer. Én mulig forklaring er redusert parasitbelastning ved bruk av LiceDefence, men dette kan ikke verifiseres av dataene alene.

Urinsyre (UA) og Billirubin (TB) viser imidlertid forskyvning med høyere verdier i behandlet gruppe. Disse parameterne kan være assosiert med økt nedbryting av celler, men de kan også påvirkes av faktorer som næringsopptak, faste, væskebalanse eller individuell variasjon. Uten tilleggsinformasjon er det derfor ikke mulig å knytte disse endringene til en spesifikk mekanisme.

Samlet gir blodanalysen ingen indikasjoner på vevsskade eller akutt fysiologisk stress, i tråd med hypotesen om at LiceDefence er en lite invasiv metode for reduksjon av lakselus. Samtidig er analysepanelet begrenset, og mangler markører som kortisol eller hematologiske parametere som kunne gitt ytterligere innsikt i stress og fysiologisk status. Det foreligger ikke informasjon om adferd, næringsopptak eller andre forhold som kan forklare variasjonen, særlig i gruppe 3 (Figur 5).

Gitt at det foreligger både systematiske forskyvninger og individuell variasjon i den samlede prøveprofilen uten entydig forklaring, anbefaler vi at de fysiologiske effektene av LiceDefence undersøkes i videre utprøving av teknologien.

Fangstanalysen ble gjennomført for å undersøke om effekten av LiceDefence også kunne observeres som tilstedeværelse av lakseluslarver i oppsamlingsenhetene under fangstklokkene. Totalt 6786 prøver fra 15 fangstklokker ble analysert, og ingen av disse inneholdt lakselus. Dette gir ingen direkte støtte til funnet av redusert lusepåslag, men det er heller ikke nødvendigvis motstridende informasjon. Lakseluslarver har en naturlig positiv oppdrift og holder seg aktivt i vannsøylen, særlig ved eksponering for lys (Szetey et al., 2021). Luselarvene kan derfor ikke forventes å synke ned i en passiv oppsamlingsmekanisme før de transporteres bort av vannbevegelsene. Mekanismen for oppsamling har ikke vært testet for fangst av lakselus. Resultatene fra fangstanalysen bør derfor ikke tillegges særlig vekt, men vi bør søke bedre forståelse gjennom nye studier.

Det er også godt dokumentert at copepoditter svømmer aktivt for å finne verter og responderer på sensoriske stimuli (Fields et al., 2017), og at de unngår lav salinitet (Crosbie et al., 2019). Aktivitet i møte med dødelige doser klorgass, kombinert med positiv oppdrift, reduserer fangbarheten betydelig i sedimentasjonsbaserte oppfangningssystemer, selv om larvene faktisk blir inaktivert av teknologien.

Det er en styrke for dette forsøket at det ble utført i kontrollerte omgivelser, og at sammenligningen ble foretatt i samme lokalitet, der miljøvariabler i stor grad var like. Forsøksdesignet og den statistiske analysen tok høyde for at smittepresset likevel kunne variere over tid, og at innbyrdes plassering kan påvirke lusepåslag. I tillegg tok tidsseriekorreksjonen høyde for at antall fastsittende luselarver ved telling var avhengig av antall fastsittende luselarver ved forrige telling. Det er derfor sannsynlig at det var selve behandlingen med LiceDefence-teknologien som var driveren bak effekten.

Luseregistreringer ble utført av profesjonelle forsøksteknikere ved GIFAS, som ikke hadde noen økonomisk interesse i at teknologien skulle være effektiv. Likevel bør vi trekke fram at forsøket ikke var blindet, og det var teknikerne ved GIFAS som driftet teknologien underveis. Vi kan derfor ikke utelukke at GIFAS' personell som utførte tellingene var påvirket av kunnskapen dette innebærer, selv om vi på ingen måte har indikasjoner på at det skulle være tilfelle.

I dette forsøket har vi undersøkt effekten av teknologien i liten skala. I en liten kvadratisk merd på 5x5 meter vil de infektive luselarvene aldri være lenger unna installasjonen enn 3,5 meter. Larvene vil kunne komme i kontakt med LiceDefence-installasjonen gjentatte ganger når vannet beveger seg i merden, avhengig av turbulens, fiskens påvirkning på vannmassene og andre forhold. I en ringmerd i kommersiell skala med en diameter på 50 meter vil denne avstanden maksimalt være 25 meter, og sannsynligheten for slike gjentatte eksponeringer for installasjonen vil reduseres tilsvarende. Det er derfor uklart om teknologien vil fungere i kommersiell skala.

Effekten av LiceDefence var robust på tvers av alle analyser. Mønsteret var tydelig allerede i rådata, og statistiske modeller med ulike familiestrukturer og random-effekt-formuleringer gav samme konklusjon om redusert påslag. Dette tilsier at funnet er stabilt og ikke avhenger av valg av modell. Manglende fangst av luselarver i fangstklokkene har plausible, men ikke bekreftede biologiske forklaringer. Dette bør undersøkes i senere studier.

Vi konkluderer med at teknologien har vist seg lovende under forholdene den ble testet, i liten skala. Vi finner ingen tegn til negative fysiologiske effekter på forsøksfisken, basert på et begrenset utvalg blodmarkører. Det er fortsatt uklart hvor godt den vil fungere ved oppskalering til kommersiell drift.

7 Referanser

- Brooks, M. E., Kristensen, K., Van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., Skaug, H. J., Mächler, M., & Bolker, B. M. (n.d.). *glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling*.
- 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>
- Fields, D. M., Skiftesvik, A. B., & Browman, H. I. (2018). Behavioural responses of infective-stage copepodids of the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*, Copepoda:Caligidae) to host-related sensory cues. *Journal of Fish Diseases*, 41(6), 875–884. <https://doi.org/10.1111/jfd.12690>
- Hartig, F. (2024). *Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models*. R package version 0.4.7, <https://github.com/florianhartig/dharma>. (R package version 0.4.7).
- Kristoffersen, A. B., Jimenez, D., Viljugrein, H., Grøntvedt, R., Stien, A., & Jansen, P. A. (2014). Large scale modelling of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* infection pressure based on lice monitoring data from Norwegian salmonid farms. *Epidemics*, 9, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2014.09.007>
- Kristoffersen, A. B., Qviller, L., Helgesen, K. O., Vollset, K. W., Viljugrein, H., & Jansen, P. A. (2018). Quantitative risk assessment of salmon louse-induced mortality of seaward-migrating post-smolt Atlantic salmon. *Epidemics*, 23(October), 19–23. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2017.11.001>
- Legendre, P., & Legendre, L. (2012). *Numerical Ecology* (3rd ed., Vol. 24).
- Oliveira, V. H. S., Dean, K. R., Qviller, L., Kirkeby, C., & Bang Jensen, B. (2021). Factors associated with baseline mortality in Norwegian Atlantic salmon farming. *Scientific Reports*, 11(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93874-6>
- R Development Core Team. (2025). R: A language and environment for statistical computing. In *R Foundation for Statistical Computing Vienna Austria* (3.4.3). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.r-project.org/>
- Szetey, A., Wright, D. W., Oppedal, F., & Dempster, T. (2021). Salmon lice nauplii and copepodids display different vertical migration patterns in response to light. *Aquaculture Environment Interactions*, 13, 121–131. <https://doi.org/10.3354/AEI00396>
- Walde, C. S., Bang Jensen, B., Stormoen, M., Asche, F., Misund, B., & Pettersen, J. M. (2023). The economic impact of decreased mortality and increased growth associated with preventing, replacing or improving current methods for delousing farmed Atlantic salmon in Norway. *Preventive Veterinary Medicine*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2023.106062>
- Zah, S., Bendiksen, E., Vatsos, I., Madsen, A., & Korsnes, K. (2025). Comparison of three point-of-care blood testing instrument for rapid on-site health monitoring of Atlantic salmon *Salmo Salar*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 162, 71–83. <https://doi.org/10.3354/dao03851>
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Smith, G. M. (2007). *Analysing ecological data*. Springer. <http://books.google.com/books?id=mmPvf-l7xFEC>

Frisk fisk
Sunne dyr
Trygg mat



Veterinærinstituttet

Ås ▪ Sandnes ▪ Bergen ▪ Trondheim ▪ Harstad ▪ Tromsø

postmottak@vetinst.no

vetinst.no