



Sluttrapport for Helhetlig lusekontroll (FHF 901877)

RAPPORT 49/2026

Sluttrapport for Helhetlig lusekontroll (FHF 901877)

Forfattere

Kari Olli Helgesen, Leif Christian Stige, Annika Krutto og Joël Marcel Durant, Veterinærinstituttet, Magne Aldrin, Ragnar Bang Huseby og Solveig Engebretsen, Norsk Regnesentral, Peder Jansen, Aqualife R&D, Tor Einar Horsberg, NMBU, Christer Wiik-Nielsen, PHARMAQ

Foreslått referanse

Helgesen K.O., Stige L.C., Krutto A., Durant J.M., Aldrin M., Huseby R.B., Engebretsen S., Jansen P., Horsberg T.E., Wiik-Nielsen C. Sluttrapport for Helhetlig lusekontroll (FHF 901877). VI rapport 49/2026. Veterinærinstituttet 2026. © Veterinærinstituttet, kopi tillatt med henvisning

Kvalitetssikret av

Arne Holst-Jensen, seksjonsleder, Seksjon for epidemiologi

Oppdragsgiver

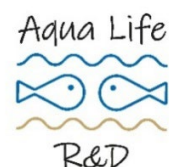
Fiskeri og Havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF)

Publisert

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

Kolofon

Forsidebilde: Jannicke Wiik-Nielsen
www.vetinst.no



Innhold

Sammendrag.....	3
Summary.....	3
Innledning.....	4
Faglig bakgrunn.....	4
Prosjektets omfang.....	4
Prosjektorganisering.....	5
Problemstilling og formål.....	5
Effektmål.....	5
Resultatmål.....	5
Prosjektgjennomføring.....	6
Metodikk.....	6
Gjennomføring.....	9
Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon.....	9
Resultater.....	9
Vurdering av funnene.....	17
Vurdering av muligheten for anvendelse av resultatene fra prosjektet i næringen.....	19
Vurdering av i hvilken grad og på hvilken måte resultatene vil bidra til styrket bærekraft.....	19
Hovedfunn.....	20
Referanser.....	20
Leveranser.....	21
Populærvitenskapelig skriftlig formidling.....	21
Vitenskapelige artikler.....	22
Muntlig formidling.....	22
Medieoppslag.....	23
Datasett.....	23
Nettspill.....	23

Sammendrag

Prosjektet hadde som mål å utvikle og deretter bruke et modellverktøy for å vurdere effekter av ulike strategier for kontroll av lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) i norsk lakseoppdrett. Prosjektet ble gjennomført i perioden 2023–2026 av Veterinærinstituttet, Norsk Regnesentral, Aqualife R&D, NMBU og PHARMAQ.

Prosjektet dokumenterte at resistens mot azametifos hos lakselus er nært knyttet til både geografi og tidligere legemiddelbruk. Produksjonsområde var den viktigste forklaringsfaktoren for resistensnivå, mens behandlinger på både eget og nærliggende anlegg bidro til økt sannsynlighet for resistens. Det ble ikke funnet tegn til resistensutvikling mot imidakloprid i det tilgjengelige datamaterialet. Simuleringer viste at kombinasjonsbehandling er den mest effektive strategien for å forsinke resistensutvikling sammenlignet med andre strategier.

Prosjektet kvantifiserte sammenhengen mellom lakseluspåvirkning på utvandrende laksesmolt og tilbakevandring av voksen laks til norske elver. Resultatene viste sammenheng mellom økt lusepåvirkning på utvandrende smolt og redusert tilbakevandring av ensjøvinterlaks, mens det ble funnet et motsatt mønster for tresjøvinterlaks. Resultatene styrker kunnskapsgrunnlaget for vurdering av lakselusas påvirkning på villaks.

Den videreutviklede lakselusmodellen inkluderte nye moduler for resistensutvikling, rensefisk, produksjon, dødelighet og smitte til villfisk. Dette gjorde det mulig å gjennomføre scenariosimuleringer av ulike kontrollstrategier på anleggs- og områdenivå. Simuleringene viste at både rognkjeks og leppefisk kan redusere lusepresset og dermed behovet for avlusinger. Fem prosent leppefisk ga omtrent samme effekt som ti prosent rognkjeks og reduserte antall lusebehandlinger med rundt ti prosent. Dette ga økt lakseproduksjon, reduserte utslipp av luselarver og forbedret velferd for oppdrettslaksen. Samtidig viste en samlet velferdsvurdering, der også dødelighet hos rensefisk ble inkludert, at bruk av rensefisk innebærer en avveining mellom bedre velferd for laks og belastning på rensefisken.

Områdevis simulering av nedsenket drift i Nordfjord og Fensfjorden viste at tiltaket kan redusere både lusenivå, behandlingsbehov og lusepåslag på utvandrende villaks. Effekten var imidlertid avhengig av lokalitetenes plassering i forhold til naboanlegg og smoltens utvandningsruter. Resultatene understreker betydningen av å vurdere tiltak på områdenivå, der hensynet til både oppdretts- og villfisk inngår.

Samlet sett har prosjektet utviklet et nytt modellrammeverk som gjør det mulig å evaluere effekter av lusekontrollstrategier på tvers av biologiske, produksjonsmessige og velferdsmessige hensyn. Resultatene gir et bedre beslutningsgrunnlag for næring og forvaltning, og kan bidra til mer bærekraftig lakseproduksjon gjennom redusert smittepress, mindre resistensutvikling, bedre fiskevelferd og mindre påvirkning på vill laksefisk.

Summary

The project aimed to develop and subsequently apply a modelling framework to evaluate the effects of different salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) control strategies in Norwegian salmon aquaculture. The project was carried out between 2023 and 2026 by the Norwegian Veterinary Institute, the Norwegian Computing Center, Aqualife R&D, the Norwegian University of Life Sciences and PHARMAQ.

The project documented that resistance to azamethiphos in salmon lice is closely linked to both geography and previous medicinal treatments. Production area was the most important explanatory factor for resistance levels, while treatments carried out both at the farm itself and at neighbouring farms increased the probability of resistance. No evidence of development of imidakloprid resistance was seen in the available data. Simulations showed that combination treatment is the most effective strategy for delaying resistance development compared with alternative treatment strategies.

The project also quantified the relationship between salmon lice exposure of out-migrating Atlantic salmon post-smolts and the return of adult salmon to Norwegian rivers. The results showed that increased lice exposure in the post-smolt phase reduced the return of one-sea-winter salmon, while an opposite pattern was observed for three-sea-winter salmon. These findings strengthen the scientific basis for assessing the effects of salmon lice on wild salmon populations.

The enhanced salmon lice model included new modules describing resistance development, cleaner fish, fish production, mortality, and transmission of lice to wild fish. This made it possible to conduct scenario simulations of different control strategies at farm and regional scales. The simulations demonstrated that both lumpfish and wrasse can reduce infestation pressure and thereby the need for delousing treatments. The use of wrasse at 5% of the number of salmon gave approximately the same effect as the use of lumpfish at 10%, reducing the number of treatments by around 10%. This resulted in increased salmon production, reduced release of salmon lice larvae, and improved welfare of farmed salmon. At the same time, an overall welfare assessment including also cleaner fish mortality, showed that the use of cleaner fish involves a trade-off between improved welfare for salmon and welfare costs for the cleaner fish.

Regional simulations of submerged cages in Nordfjord and Fensfjorden showed that this production strategy can reduce lice levels, treatment requirements, and lice exposure of out-migrating wild salmon post-smolts. However, the magnitude of the effect depended on the location of farms in relation to neighbouring farms and smolt migration routes. The results highlight the importance of evaluating control measures at a regional scale, taking into account both farmed and wild fish populations.

Overall, the project developed a new modelling framework that enables comprehensive evaluation of salmon lice control strategies across biological, production, and welfare dimensions. The results provide an improved basis for decision-making by both industry and authorities and may contribute to more sustainable salmon production through reduced infestation pressure, slower resistance development, improved fish welfare, and reduced impacts on wild salmonid populations.

Innledning

Faglig bakgrunn

Ulike kontrollstrategier mot lakselus vil ha forskjellig effekt på lusenivå og antall lusebehandlinger. Samtidig vil de ha varierende konsekvenser for fiskevelferd inkludert dødelighet, resistensutvikling mot behandlingsmidler og produksjon av smittsomme luselarver i sårbare perioder som er relevante for utvandrende laksesmolt og bestander av sjøørret. For å bedre kunne forstå den totale effekten av lusekontroll ville vi i dette prosjektet utvikle og anvende et simuleringsverktøy som tok hensyn til alle disse faktorene samtidig. Simuleringsverktøyet skulle baseres på en populasjonsmodell for lakselus som vi har utviklet over tid. Oppdatert estimering av parameterne i modellen ble gjort i prosjekt Lusekontroll (FHF 901650). Prosjektet Rensefiskbetingelser (FHF 901766) skulle bidra med rensefiskparametere til populasjonsmodellen.

Prosjektets omfang

Prosjektperioden var tre år (01.09.2023 - 31.08.2026). Totalbudsjettet var på 9,178 millioner NOK. Prosjektet hadde 5 partnere: Veterinærinstituttet (VI), Norsk regnesentral (NR), Aqualife R&D AS, NMBU og PHARMAQ. Det besto av 6 arbeidspakker.

Prosjektorganisering

Roller/ansvar

Prosjektgruppe

Kari Olli Helgesen fra VI ledet prosjektet (arbeidspakke (AP) 0). Hun ledet også AP 1. Øvrige deltagere fra VI var Leif Christian Stige, som ledet AP 4, Joël Marcel Durant og Annika Krutto. Fra NR deltok Magne Aldrin, som ledet AP 3 og AP 5, Ragnar Bang Huseby og Solveig Engebretsen. Fra Aqualife deltok Peder Jansen, som ledet AP 2, og Henning Urke. Fra NMBU deltok Tor Einar Horsberg, Marit Bakke og Elena Myhre Jensen. Fra PHARMAQ deltok Christer Wiik-Nielsen, Marit Rode og Ane Sandtrø Lunheim.

Referansegruppe

Referansegruppen besto av Ragna Heggebø fra Grieg og INAQ (fra 2025), Harriet Romstad fra Aqua Kompetanse, Michael Nieser fra Sulefisk og Geir-Magne Knutsen fra Bremnes Seashore.

Problemstilling og formål

Effektmål

Hovedmålet i dette prosjektet var å vurdere hvilke kontrollstrategier mot lakselus i oppdrettsanlegg som gir god lusekontroll samtidig som de bidrar til å minimere smittepresset mot villfisk, utsetter utvikling av resistens mot effektive behandlingsmidler, hensyntar fiskevelferd målt som f.eks. dødelighet av oppdrettsfisk og rensefisk og dermed bidrar til verdiskapning ved at produksjonen opprettholdes eller kan øke.

Resultatmål

Delmålene for prosjektet før oppstart var som følger:

- 1. Resistens:* Vi skulle beskrive fordelingen av resistens i tid og rom og risikofaktorer for resistensutvikling. Vi skulle videre oppsummere kunnskap om resistensmekanismer hos lus for å deretter bygge en modellmodul for resistens.
- 2. Villfisk:* Vi skulle oppsummere observerte utvandringstider og -ruter for postsmolt av laks og sjøørret i kystområder der produksjonen er redusert som følge av rødt trafikklys med mål om å bygge en modellmodul som kunne beregne tidsvarierende byrde av skadelige stadier av lakselus på postsmolt av laks og smittepress på sjøørret.
- 3. Simuleringsmodell:* Vi skulle oppdatere eksisterende simuleringsmodell for lakselus ved å oppdatere eksisterende moduler (behandlingseffektivitet, avlusningseffekt av rensefisk, dødelighet av rensefisk inkludert død pga. lusebehandlinger) og legge inn nye moduler (resistensutvikling, dødelighet av oppdrettsfisk pga. lusebehandling, vekst av oppdrettsfisk med redusert vekst pga. sulting, smitte på villfisk). Denne videreutviklingen ville gi mulighet til å optimalisere for disse forholdene i modellsimuleringer.
- 4. Simulering på anleggsnivå:* Vi skulle bruke scenariosimulering til å undersøke hvordan kombinasjoner av kontrolltiltak, som rensefisk, luseskjørt, storsmolt og lavere tiltaksgrense for avlusing, påvirker utslipp av luselarver, dødelighet av oppdrettsfisk og rensefisk, og hvordan effektene varierer geografisk og med utsettmåned.
- 5. Simulering på områdenivå:* Vi skulle bruke scenariosimulering til å undersøke totaleffekt av utvalgte kontrollstrategier i bestemte områder, hvor vi i totaleffekt skulle inkludere produsert mengde oppdrettsfisk, fare for resistensutvikling, dødelighet av oppdrettsfisk pga. lusebehandlinger, all dødelighet av rensefisk og smitte på villfisk.

Prosjektgjennomføring

Metodikk

AP 1 – Resistens

I den første delen av AP 1 analyserte vi utviklingen av resistens mot azametifos hos lakselus. Som datagrunnlag benyttet vi resultater fra PatoGens molekylære resistensanalyser fra perioden 2014–2022. Disse dataene ble valgt fordi metoden som var brukt er den best dokumenterte resistenstesten og resultatene representerer den mest geografisk og tidsmessig detaljerte oversikt over azametifosresistens som er tilgjengelig i Norge (Kaur mfl. 2015, Kaur mfl. 2016, Helgesen mfl. 2019). For å beskrive behandlingshistorikken på lokalitetsnivå benyttet vi data fra Mattilsynets Veterinært legemiddelregister (VetReg), som inneholder registrerte legemiddelbehandlinger av matproduserende dyr i Norge. Registeret ble vurdert som mer komplett enn tilsvarende opplysninger rapportert gjennom den ukentlige luserapporteringen til Mattilsynet og deretter publisert på BarentsWatch. Dataene ble først undersøkt deskriptivt. Deretter analyserte vi sammenhengen mellom resistensstatus, behandlingshistorikk, tid og geografi ved hjelp av en regresjonsanalyse. Vi analyserte effekt av behandlinger utført på både eget anlegg og naboanlegg og undersøkte også om behandlinger utført etter 2019 hadde en tilleggseffekt på resistensstatus. En slik tilleggseffekt anså vi som mulig da behandlingspraksis endret seg omtrent på dette tidspunktet.

I den andre delen av AP 1 analyserte vi resistens mot imidakloprid basert på resultater fra Mattilsynets resistensovervåkningsprogram i 2022 og 2023. Formålet var å etablere et referansegrunnlag for framtiden, dersom legemiddelet igjen blir tilgjengelig, basert på resistensnivåene ett og to år etter at virkestoffet ble tatt i bruk i norsk oppdrett. Sammenhengene mellom testresultater, behandlingshistorikk, tid og geografi ble analysert ved hjelp av en regresjonsanalyse.

AP 2 – Villfisk

For å undersøke effekten av lakselusindusert dødelighet på tilbakevandring av voksen laks til norske elver brukte vi dødelighetsestimater som inngår i Trafikklyssystemet. Data for tilbakevandring av laks med ulike sjøalder (små ensjøvinter, mellomstore tosjøvinter og store tresjøvinter) ble hentet fra bestand.nina.no og fangstdata fra Statistisk sentralbyrå. Sammenhengene mellom tilbakevandring i elver fra hele Norge i årene 2019 til 2025, estimert lakselusindusert dødelighet og andre forklaringsvariabler ble analysert ved hjelp av regresjonsmodeller.

I tillegg utviklet vi en modul til lusemodellen for beregning av lusesmitte fra oppdrettsanlegg til utvandrende villaks. Utvandringsruter ble definert som korteste sjøvei fra vassdragenes munning til havet. Postsmolt ble antatt å vandre langs disse rutene med en hastighet på 11 km per dag. Lusepåslag ble beregnet to ganger daglig langs migrasjonsruten. Smittepresset i hvert punkt ble beregnet som en tidsjustert sum av forekomsten av voksne hunnlus ved alle oppdrettslokaliteter innenfor 100 km sjøavstand. Forholdet mellom beregnet smittepress og lusepåslag ble estimert ved hjelp av en smittemodell basert på observerte lusetall hos trålfanget postsmolt med genetisk bestemt opphavslev. Tråldataene ble hentet fra Norsk marint datasenter, og median posisjon for hvert trålhal ble brukt som fangstlokasjon.

I simuleringsstudiene av dypdrift ble smoltutvandringen modellert både etter den etablerte framgangsmåten som brukes i Trafikklyssystemet og ved hjelp av en temperatur- og vannføringsavhengig modell utviklet av Bjerck mfl. (under arbeid).

AP 3 – Videreutvikling av lakselusmodellen

Som grunnlag for scenariosimuleringene videreutviklet vi den eksisterende populasjonsmodellen for lakselus (Aldrin mfl. 2017, 2023). Det ble utviklet en resistensmodul som gjør det mulig å simulere resistensutvikling mot én eller to behandlingsmetoder. Modulen kan representere ulike genetiske mekanismer, inkludert diploid og haploid nedarving, med eller uten fitnesskostnader.

Videre ble modellen utvidet med moduler for bruk av rognkjeks og leppefisk som rensefisk (Stige mfl. 2026; Durant mfl. 2026a), samt moduler som beskriver laksens vekst, overlevelse og velferd (Durant mfl. 2026b). Utviklingen skjedde i samarbeid med flere komplementære FHF-prosjekter. Rensefiskmodulene bygger på analyser av mageinnhold fra rensefisk i kommersielle oppdrettsanlegg kombinert med fordøyelseseksperimenter (Engebretsen mfl. 2023, 2025; Jansen mfl. 2025). Dette muliggjorde beregning av hvor mange lakselus hver rensefisk spiser per dag under ulike miljø- og produksjonsforhold. På grunn av mangelfulle data ble rensefiskens dødelighet ikke implementert i modellen. For å beskrive effekten av avlusingsoperasjoner på laksens vekst og overlevelse ble det lagt inn en forutsetning om at hver behandling stopper tilveksten i én uke og gir en tilleggssdødelighet på 1,11 % av den fisken som blir behandlet, basert på tilgjengelig litteratur (Walde mfl. 2022; Tvete mfl. 2023).

AP 4 – Scenarioanalyser med rensefisk

For å evaluere konsekvensene av ulike lusekontrollstrategier ble det gjennomført scenariosimuleringer der utviklingen av lakseluspopulasjonen ble beregnet daglig gjennom en produksjonssyklus. Simuleringene inkluderte biologiske prosesser, ulike strategier for bruk av rensefisk og andre kontrolltiltak, samt variasjon i temperatur og eksternt smittepress. Ytre betingelser ble hentet fra beregninger for faktiske produksjonssykluser langs norskekysten i perioden 2012–2021 (Stige mfl. 2024). Effekten av ulike nivåer av behandlingsrelatert dødelighet ble også undersøkt basert på ytterpunktene rapportert i Tvete mfl. 2023. Vi oppsummerte effekter som tidspunkt for første avlusing, antall avlusinger, antall av og vekt på slaktefisk og lusemengde, samt ved bruk av en velferdsindeks.

Velferdsindeksen sammenfatter relevante modellresultater til ett samlet mål på fiskevelferd. Indeksen for laks inkluderer dødelighet, eksponering for avlusingsoperasjoner og eksponering for bevegelige stadier av lakselus. Det ble også utviklet en utvidet indeks som i tillegg inkluderer bruk av rensefisk, der hver rensefisk vektlegges likt med hver laks som dør. Andre forhold knyttet til rensefiskens velferd ble ikke inkludert i indeksen.

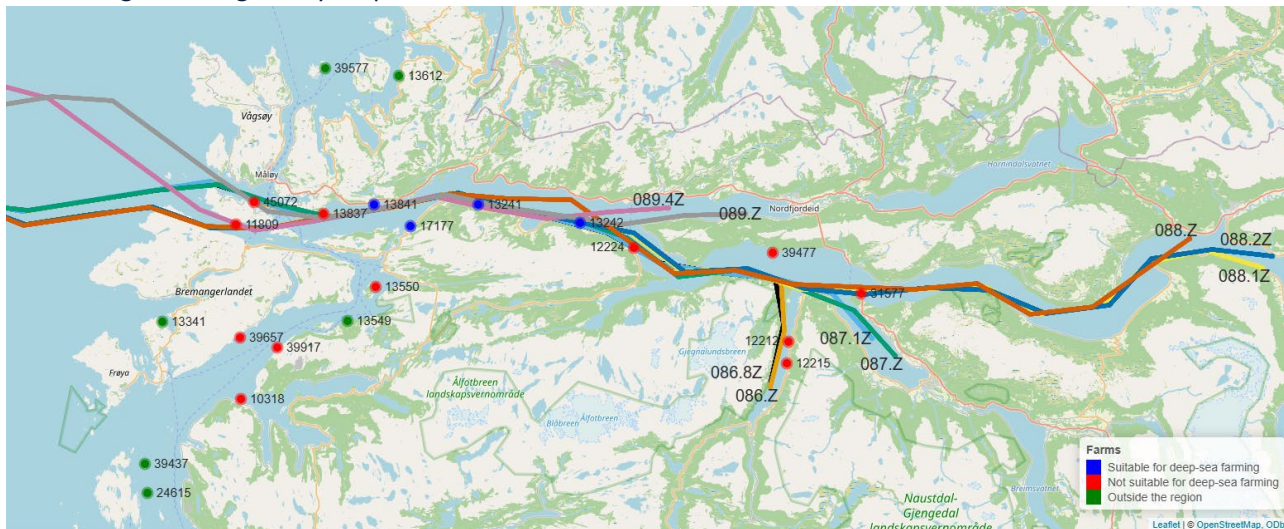
AP 5 – Områdevises scenariosimuleringer

I AP 5 ble det gjennomført to simuleringsstudier på områdenivå.

Den første studien undersøkte resistensutvikling ved de 16 oppdrettsanleggene som var aktive i Nordfjord i 2022–2023. Simuleringene dekket perioden 2019–2038 og sammenlignet ulike strategier for bruk av behandlingsmetoder: sekvensielt (alle lokalitetene brukte først kun den ene metoden til den mistet effekt på grunn av resistens og så kun den andre metoden til også den mistet effekt på grunn av resistens), mosaikk (noen lokaliteter brukte den ene metoden og noen den andre metoden i den samme tidsperioden), alternerende bruk (metodene ble brukt annenhver gang på hver lokalitet) og kombinasjonsbehandling (begge metodene ble brukt samtidig ved hver behandling). Alle disse strategiene ble simulert for et scenario der vi hadde to metoder det ble utviklet resistens mot og som ble brukt maksimalt én gang per produksjonssyklus. I tillegg var det én metode tilgjengelig, der behandlingseffekten holdt seg konstant, som ble brukt ved alle andre behandlinger. Dette var tenkt å representere en situasjon med to initialt virksomme legemidler og én medikamentfri metode, der vi så bort fra eventuell resistensutvikling mot sistnevnte. Vi simulerte også de samme fire strategiene for et tenkt scenario med én behandling det ble utviklet resistens mot og én der behandlingseffekten holdt seg konstant. Dette var tenkt å representere behandling med ferskvann og én annen medikamentfri metode, der vi så bort fra eventuell resistensutvikling mot sistnevnte. Resultatene ble oppsummert som tid til resistensutvikling, behandlingseffekt, lusenivå, behandlingsfrekvens og antall voksne hunnlus om våren.

Den andre studien undersøkte effektene av dyppdrift i Fensfjorden og Nordfjord i perioden 2025–2044. Lokalitetene der dyppdrift ble simulert var identifisert som egnet for dyppdrift ved hjelp av opplysninger i rapporten “Fra rødt til grønt 2.0” (Skår mfl. 2025) og med hjelp fra ScaleAQ. Vi tok kun hensyn til dyp og ikke strømforhold eller andre momenter. Vi vil presisere at dette er vår tolkning av de opplysninger vi har fått om egnethet for

dypdrift, og at våre antakelser ikke nødvendigvis gir et presist bilde av egnethet. Vi antok videre at nedsenket drift gir 95 % mindre påslag av lus. Vi identifiserte også antatte utvandringsruter for hver av elvene i fjordene. Dette er illustrert i Figur 1 og 2. Det var henholdsvis 7 lokaliteter i Fensfjorden og 4 i Nordfjord som ble identifisert egnet for dypdrift. Simuleringene evaluerte både effekten av at enkeltlokaliteter tok i bruk dypdrift og effekten av koordinert innføring på alle aktuelle lokaliteter. Resultatene ble oppsummert som lusenivå, behandlingsbehov og lusebyrde på vill laksefisk.



Figur 1. Oppdrettsanlegg i og ved Nordfjord med markering av hvilke som vi antar egner seg for dypdrift (blå prikker), hvilke som er uegnet, men inkludert i studien (røde prikker) og hvilke som ikke er inkludert (grønne prikker), samt antatte utvandringsruter (fargede linjer) for laksesmolt fra elvene (gitt med vassdragsnummer) i fjorden. Kilde: Aldrin mfl. manuskript.



Figur 2. Oppdrettsanlegg i og ved Fensfjord med markering av hvilke som vi her antar egner seg for dypdrift (blå prikker), hvilke som er uegnet, men inkludert i studien (røde prikker) og hvilke som ikke er inkludert (grønne prikker), samt antatte utvandringsruter (fargede linjer) for laksesmolt fra elvene (gitt med vassdragsnummer) i fjorden. Kilde: Aldrin mfl. manuskript.

Gjennomføring

Hver arbeidspakke hadde ansvar for å oppnå ett delmål, slik de er beskrevet i avsnittet Resultatmål.

AP 1

AP 1 analyserte empiriske data om resistens mot azametifos og imidakloprid hos lakselus. Arbeidspakken dokumenterte mønstre i resistensutvikling over tid, mellom geografiske områder og basert på tidligere legemiddelbruk mot azametifos, og etablerte et referansegrunnlag for framtidig overvåking av resistens mot imidakloprid. I tillegg ble det utført en kunnskapsoppsummering over resistensmekanismer hos lakselus som ble brukt til modellutvikling i AP 3. Modellen ble så brukt til simulering av resistensutvikling i AP 5.

AP 2

AP 2 undersøkte hvordan lakselusindusert dødelighet hos utvandrende smolt påvirker tilbakevandringen av voksen laks til norske elver. Arbeidspakken utviklet også en ny modellmodul, i samarbeid med AP 3, som beregner lusesmitte fra oppdrettsanlegg til utvandrende villaks. Modulen ble integrert i lakselusmodellen og brukt i simuleringene av dypdrift i AP 5.

AP 3

AP 3 videreutviklet lakselusmodellen gjennom utvikling og integrering av nye moduler for resistens, rensefisk, vekst, dødelighet og smittespredning til villfisk. Arbeidet ble gjennomført i nært samarbeid med AP 1, AP 2 og AP 4, samt flere andre FHF-prosjekter. Den oppdaterte modellen utgjorde grunnlaget for simuleringene i AP 4 og AP 5.

AP 4

AP 4 evaluerte hvordan ulik bruk av rensefisk påvirket lusenivå, behandlingsbehov, produksjonsparametere og fiskevelferd. Til sistnevnte formål ble det utviklet en velferdsindeks for laks og rensefisk. Arbeidspakken bidro også til videre utvikling av lakselusmodellen i samarbeid med AP 3 og videreutvikling av den nettbaserte applikasjonen Lakselusspillet.

AP 5

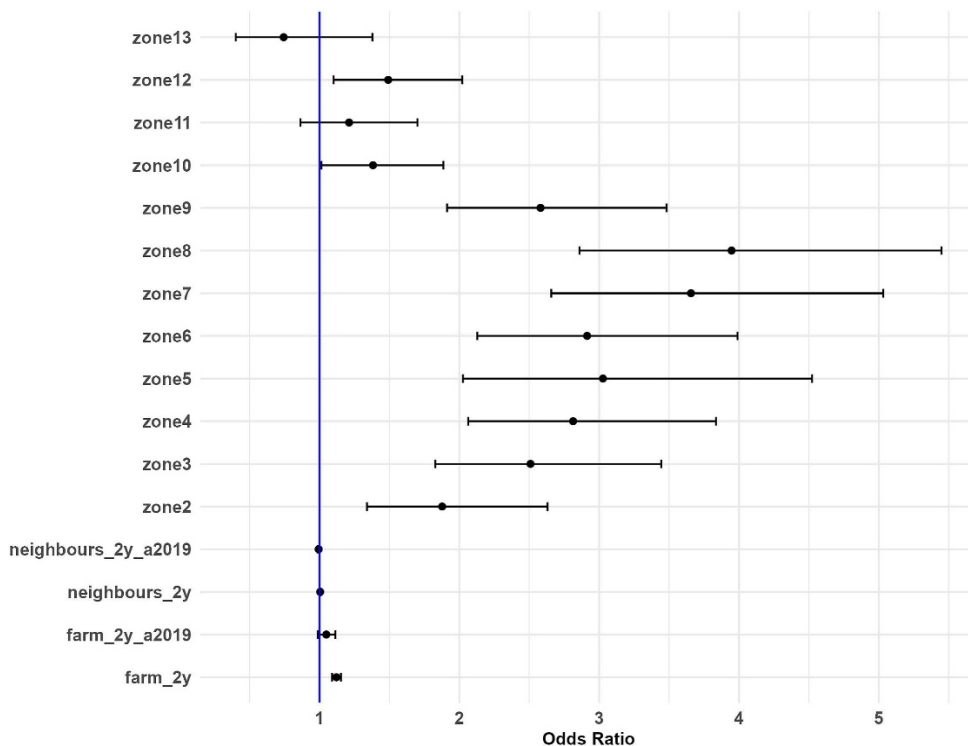
AP 5 gjennomførte to områdevises scenariosimuleringer ved bruk av den videreutviklede lakselusmodellen. Begge vurderte effektene av ulike strategier for lusekontroll. Den første analyserte hvordan alternative behandlingsstrategier påvirker resistensutviklingen i Nordfjord. Den andre undersøkte hvordan innføring av dypdrift i Nordfjord og Fensfjorden påvirker lusenivå, behandlingsbehov og luseeksponering hos vill laksefisk.

Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

Resultater

Resistens

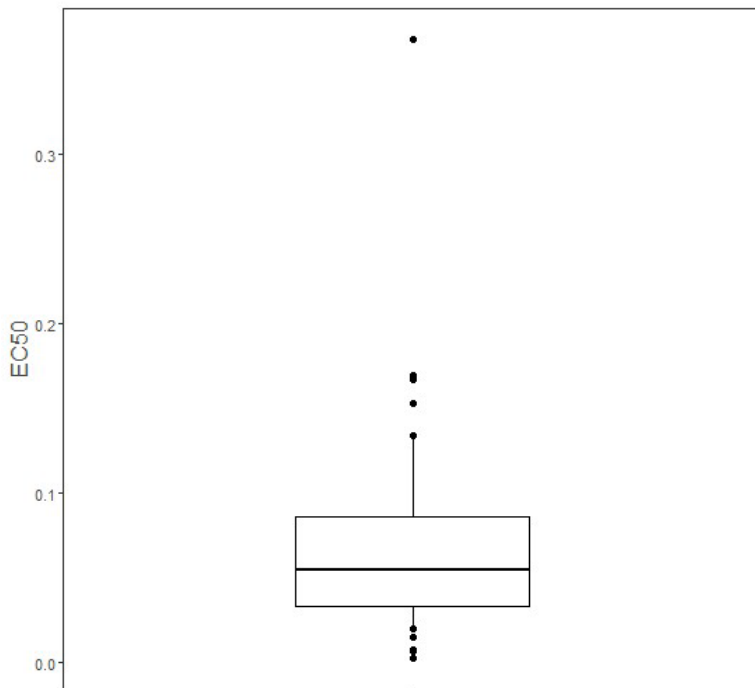
Vi kvantifiserte sammenhengen mellom produksjonssonetilhørighet, tid og legemiddelbehandlinger på eget og naboers anlegg og forekomst av azametifosresistens hos lakselus på anleggsnivå (Figur 3). Produksjonsområde, behandlinger på eget anlegg siste to år og behandlinger på naboanlegg siste to årene hadde signifikant ($p < 0,05$) forklaringseffekt på resistensresultatene. Både egne og naboers behandlinger økte sannsynligheten for resistens på lokaliteten. Det ble ikke vist en signifikant ekstraeffekt av om behandlingene ble utført etter 2019.



Figur 3: Figuren viser de estimerte oddsforholdene (Odds Ratio) med tilhørende 95 % konfidensintervaller for variablene som er inkludert som faste effekter i modellen. Modellen omfatter behandlinger i hele studieperioden (2014–2022) og særskilt i perioden etter 2019 (2019–2022), hvor sistnevnte periode også inngår i den samlede studieperioden. Hvert oddsforhold beskriver effekten av den aktuelle variabelen på sannsynligheten for utfallet. Effektene av produksjonssonene er presentert relativt til produksjonsområde (zone) 1. Kilde: Helgesen mfl. 2026.

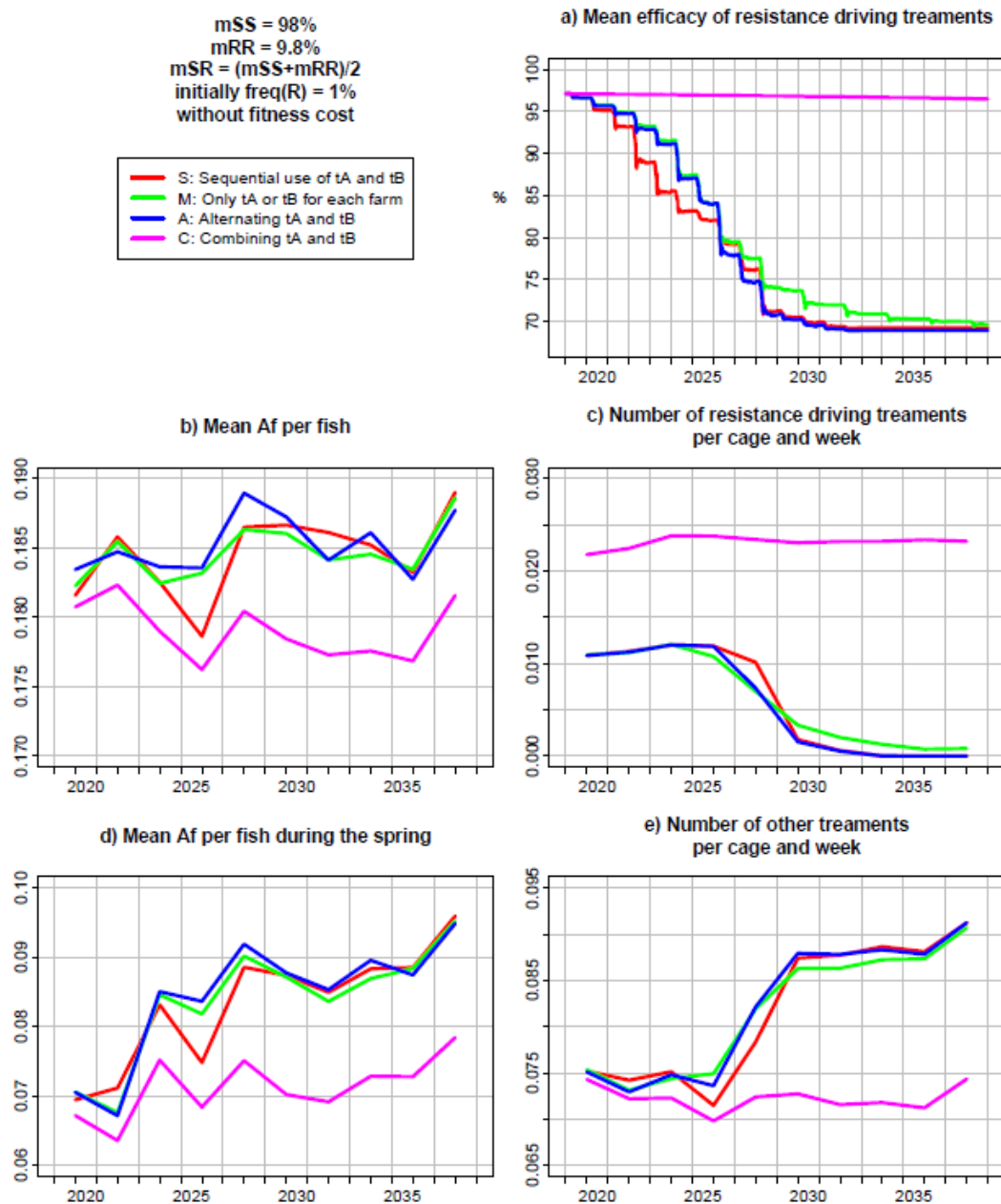
Modellen forklarte 82 % av de totale modellavvikene. Produksjonsområdene var den viktigste forklaringsfaktoren i modellen og stod for omtrent 23 % av den totale variasjonen som modellen kunne forklare. I tillegg forklarte samspillet mellom år og produksjonsområde omtrent 25 %. Tilsvarende tall for behandlinger på enkeltlokaliteter og nabolokaliteter var henholdsvis 4 og 0,7 %.

Det var også en signifikant ($p < 0,05$) sammenheng mellom antall behandlinger utført på lokaliteten siste to årene og resultatet fra resistentestene mot imidakloprid, men i motsatt retning av det en ville ventet ved resistensutvikling og det vi så i azametifosstudiet: Flere behandlinger økte sannsynligheten for at lus var immobilisert i resistentesten. Medianverdien med imidakloprid som immobiliserte 50 % av lakselusene i resistentestene var 0,05 mg/l. 10. og 90. persentilen for dette tallet var henholdsvis 0,02 og 0,13 mg/l (Figur 4). Lokaliteten med den mest ekstreme EC50-verdien ble undersøkt ekstra nøye: Den var ikke behandlet med imidakloprid og var fra et område med få behandlinger. EC50 ble derfor antatt å ikke skyldes resistens, selv om det ikke kan avklares fullt ut ved hjelp av testresultatet alene.



Figur 4: Boksplott av beregnet median konsentrasjon som immobiliserte 50 % av lakselusene (EC50) i biologiske resistanstester med imidakloprid på feltinnsamlede lakselus fra 2022 og 2023 (N = 49). Kilde: Jensen mfl., manuskript.

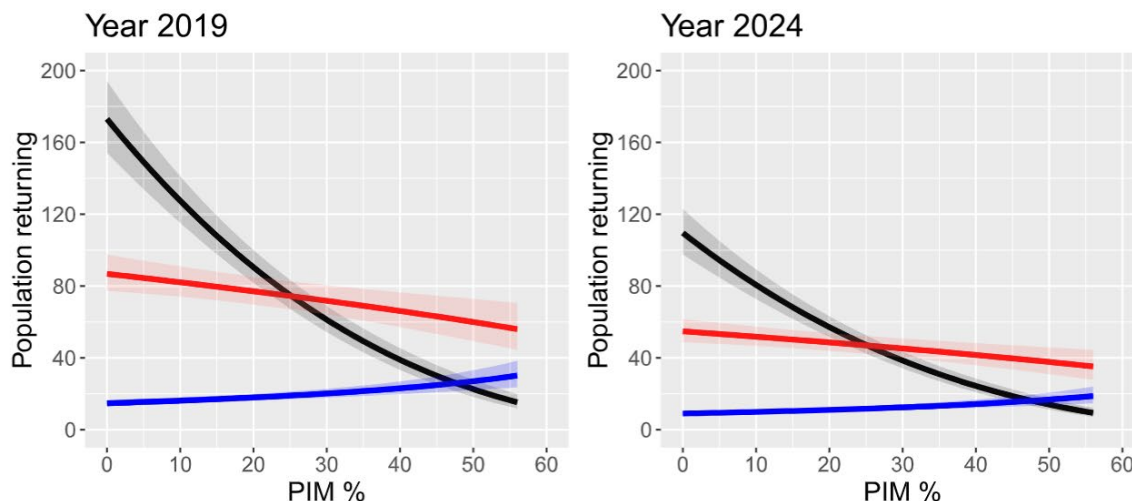
Det var ingen vesentlig forskjell mellom resultatene fra resistenssimuleringene om behandlingene ble utført sekvensielt, i mosaikk eller ved alternerende bruk. Den eneste behandlingsstrategien som utsatte resistensutvikling vesentlig lenger enn de andre var kombinasjonsbehandling. Denne strategien hadde også positiv effekt på lusetall og fiskevelferden, dersom en antar at behandlingene med én metode der vi så bort fra resistensutvikling var mer belastende for fisken enn den eller de to det ble utviklet resistens mot. Figur 5 viser dette for scenarioer der det er to behandlinger det utvikles resistens mot og én behandling der behandlingseffekten ble holdt konstant. Resultatene pekte i samme retning for scenarioene der det var én behandling det ble utviklet resistens mot og én der behandlingseffekten ble holdt konstant. Resultatene var ikke vesentlig følsomme for hvilken underliggende resistensmekanisme som var innbakt i modellen.



Figur 5. Resultater for et scenario med tre behandlinger (to resistensdrivende og én der behandlingseffekten ble holdt konstant) og fire måter å kombinere disse behandlingene på, simulert over 20 år (x-aksen). Resultatene er oppsummert på y-aksen, som: a) Gjennomsnittlig effekt av de resistensdrivende behandlingene, b) Gjennomsnittlig antall voksne hunnlus per fisk, c) Antallet resistensdrivende behandlinger per merd og uke (behandlinger med tA og tB ble talt hver for seg), d) Gjennomsnittlig antall voksne hunnlus per fisk på våren og e) Antall behandlinger med konstant effekt per merd og uke. Hver linje representerer én behandlingsstrategi: Sekvensiell (rød), mosaikk (grønn) alternerende bruk (blå) og kombinasjonsbehandling (magenta). Kilde: Huseby mfl., manuskript.

Villfisk

Det viktigste utfallet av analysene var kvantifisering av sammenhengen mellom lakselus på utvandrende laksesmolt og antallet og årsklassen på tilbakevandrende gytefisk i norske elver. I den første studien av data fra 2019 til 2024 fant vi en signifikant ($p < 0,05$) forklaringseffekt av lusepåkjenning på tilbakevandring av ensjøvinterlaks og tresjøvinterlaks, men i hver sin retning: Økt lusepåkjenning på den utvandrende postsmolten ga redusert tilbakevandring av ensjøvinterlaks mens det ga noe økt tilbakevandring av tresjøvinterlaks (Figur 6).



Figur 6. Modellprediksjoner med 95 % konfidensbånd (skyggelagte områder) fra den statistiske modellen for bestander av tilbakevendende liten (ensjøvinter; svart linje), mellomstor (tosjøvinter; rød linje) og stor (tresjøvinter; blå linje) kjønnsmoden laks som funksjon av estimert dødelighet etter smoltutvandring (PIM). Panelet til venstre viser prediksjoner for året 2019, mens panelet til høyre viser prediksjoner for 2024. Kilde: Jansen mfl. 2025.

Da vi i etterkant av publiseringen av Jansen mfl. (2025) utførte en tilleggssanalyse med data også for tilbakevandring i 2025 så vi det samme mønsteret: Effekten på ensjø- og tresjøvinterlaks holdt seg signifikant. Nå var det også en signifikant forklaringseffekt på tosjøvinterlaks, der økt lusepåkjenning på postsmolten ga redusert tilbakevandring. Disse resultatene fikk vi på tross av at 2025 var det beste året for tilbakevandring av ensjøvinterlaks i studieperioden. Det tyder på at metoden er egnet til å vurdere effekten av lakselus på tilbakevandring, på tross av mellomårsvariasjoner for livsbetingelser i sjø. En mulig forklaring på at resultatet for tresjøvinterlaks går i motsatt retning av de andre årsklassene er forsinket kjønnsmodning ved økende lusebelastning på grunn av effekter på tilvekst.

Helhetlig effekt av rensefisk

Resultatene for rognkjeks er beskrevet i sluttrapporten for FHF-prosjekt 901766 Rensefiskbetingelser (Jansen mfl. 2024).

Resultatene for leppefisk tyder på at en oppnår omtrent samme reduksjon i lusenivået ved å bruke fem prosent leppefisk som ti prosent rognkjeks. Tabell 1 oppsummerer resultatene fra simuleringer med ulike mengder leppefisk, angitt som prosent i forhold til mengden laks på en lokalitet (Durant mfl. 2026a). Med fem prosent leppefisk kunne første lusebehandling etter utsett av leppefisk i gjennomsnitt utsettes med 37 dager. Antall lusebehandlinger gjennom hele produksjonssyklusen ble redusert med 10 prosent, fra 5,0 til 4,5. Resultatene er basert på simuleringer av 1744 produksjonssykluser på 18 måneder med temperatur og smittepress representativt for produksjon av laks i Sør- og Midt-Norge (produksjonsområder 1 til 8). I simuleringene ble leppefisk brukt i perioden juni-november i det første produksjonsåret.

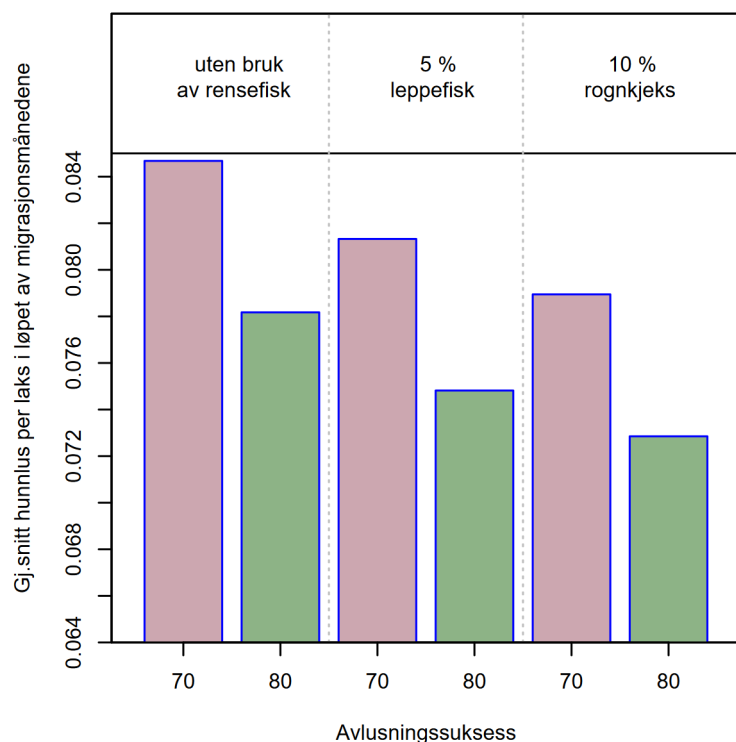
Tabell 1. Scenariosimuleringer med leppefisk. Prosent rensefisk er gitt i forhold til antallet laksefisk på lokaliteten.

Scenario	Gjennomsnittlig antall dager til første lusebehandling etter utsett av leppefisk*	Gjennomsnittlig antall lusebehandlinger
Ingen leppefisk	153	5,0
5 % leppefisk	190 (+24 %)	4,5 (- 10 %)
10 % leppefisk	225 (+ 47 %)	3,9 (- 21 %)
15 % leppefisk	254 (+ 66 %)	3,4 (- 31 %)

*For "Ingen leppefisk"-scenarioet ble dato for når leppefisk skulle vært satt ut benyttet.

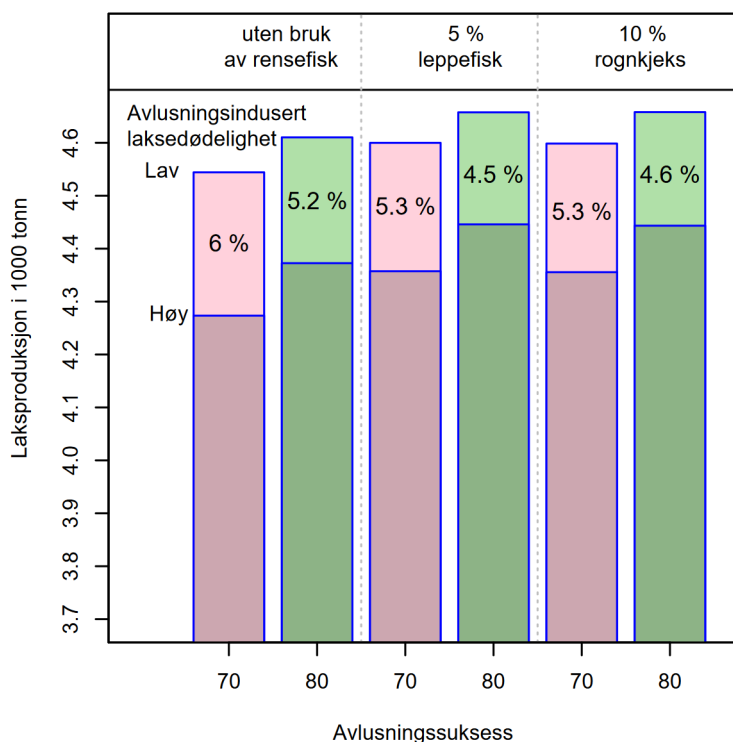
Noen av de simulerte produksjonssyklusene startet om våren, og leppefisk ble satt ut i juni samme år. Andre simulerte produksjonssykluser startet om høsten, og leppefisk ble først satt ut juni året etter. Effekten av leppefisk på reduksjonen i totalantall lusebehandlinger viste seg å være størst for produksjonssyklusene som startet om våren. Årsaken til dette er trolig at når produksjonssyklusene startet om høsten, hadde lusebestanden i oppdrettsanlegget og området rundt rukket å bygge seg opp for mye til at rensefisken satt ut året etter greide å kontrollere lusenivået i anlegget i samme grad.

Bruken av rognkjeks (antallet utsatt var 10 % av antall laks på lokaliteten) eller leppefisk (5 % av antallet laks) reduserte begge antallet avlusningsbehandlinger med omtrent 10 %. Hver avlusningsbehandling reduserer laksens overlevelse og vekst i modellen. Reduksjonen i lusebehandlinger med bruk av rensefisk (10 % rognkjeks eller 5 % leppefisk) ble beregnet å øke produksjonen av laks med mellom 1 og 2 prosent, avhengig av hvilke forutsetninger vi gjorde for hvor effektive behandlingene var til å fjerne lus og hvor stor dødelighet de påførte laksen (Durant mfl. 2026b). I tillegg reduserte bruken av rensefisk luseutslippet fra anlegget med omtrent 6 %, og påvirker dermed velferden til villaks positivt (Figur 7).



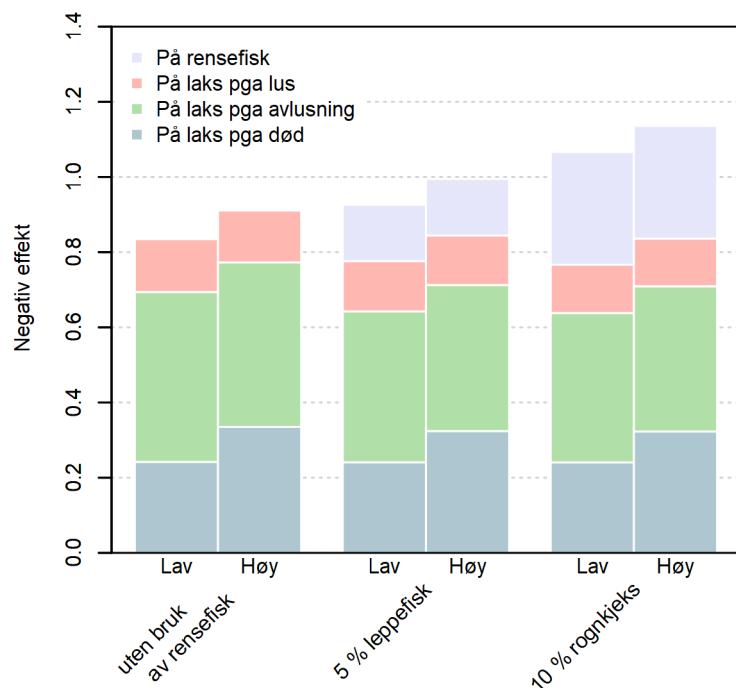
Figur 7: Gjennomsnittlig antall voksne hunnlus per laks i løpet av omtrent den perioden villaksen utvandrer til havet (april-mai for produksjonsområdene 1–7 og mai-juni for produksjonsområde 8) for produksjonsområdene 1 til 8 for scenarier med eller uten bruk av rensefisk og med forskjellig avlusningseffektivitet per behandling (70 % (rosa) eller 80 % (grønn)). Merk at y-aksen er avkortet for å bedre vise forskjellene. Kilde: Durant mfl. 2026b.

Hovedeffekten av bruk av rensefisk på lakseproduksjon er reduksjonen i antall avlusinger. Styrken av effekten avhenger av hvor stor ekstra dødelighet hver behandling påfører både laks og lus, som igjen avhenger av typen behandling som brukes (ferskvann, termisk osv.). I simuleringene undersøkte vi scenarier med høy (1,51 %) eller lav (0,15 %) avlusingsindusert dødelighet for laks og høy (80 %) eller lav (70 %) effekt på lus. Disse verdiene reflekterer spennet i publiserte estimater for ulike behandlinger. Forskjellene mellom scenarier med høy og lav avlusingsindusert dødelighet for laks tilsvarte omtrent fem prosent forskjell i lakseproduksjon (Figur 8). Scenariet med behandlinger med lav effekt på lus og lav dødelighet for laks ga vesentlig høyere produksjon enn scenariet med høy effekt på lus og høy dødelighet for laks. Dette innebærer at det kan være bedre å velge behandlinger som er skånsomme for laksen, selv om de er noe mindre effektive til å fjerne lus og en dermed vil måtte utføre noen flere behandlinger i løpet av en produksjonssyklus.



Figur 8: Gjennomsnittlig lakseproduksjon (i 1000 tonn) per oppdrettsanlegg under tre scenarier med og uten bruk av rensefisk og med ulik avlusningssuksess per behandling (70 % vist i rosa og 80 % vist i grønt). For hvert scenario er intervallet av produksjon angitt, for lav til høy dødelighet hos laks som følge av avlusing. Scenariene med høy avlusingsindusert dødelighet er vist i mørkere nyanser, og de med lav i lysere nyanser. De innfelte prosentene tilsvarer forskjellene i produksjon mellom scenarier med høy og lav avlusingsindusert dødelighet. Merk at y-aksen er avkortet for bedre å vise forskjellene. Kilde: Durant mfl. 2026b.

Avlusinger påvirker laksens velferd negativt ved å øke dødeligheten og redusere veksten. Bruk av rensefisk, ved å redusere lusesmitten og antallet avlusingsbehandlinger, er positivt for laksens velferd, men skjer på bekostning av rensefiskenes velferd. For å tallfeste denne avveiningen utviklet vi en velferdsindeks som tar hensyn til velferden for både laks og rensefisk. Utfra de forutsetningene som ble gjort for denne beregningen, er den samlede velferden bedre med bruk av leppefisk enn rognkjeks, men enda bedre uten bruk av rensefisk (Figur 9).



Figur 9. Negativ effekt på fiskevelsferd (relativ skala) ved lakseproduksjon med bruk av rensefisk (to scenarier) eller uten bruk av rensefisk for to nivåer av avlusingsindusert dødelighet hos laks (lav og høy) og en avlusningseffektivitet på 80 %. Negativ effekt er beregnet for laks på grunn av dødelighet (grå), på laks på grunn av avlusning (grønn), på laks på grunn av lusesmitte (rød) og på rensefisk på grunn av dødelighet (lys lilla). Kilde: Durant mfl. 2026b.

Helhetlig effekt av nedsenket drift

Vi har undersøkt en helhetlig effekt av nedsenket drift i to utvalgte områder, Fensjord og Nordfjord, begge i Produksjonsområde 4 (Aldrin mfl. Manuskript). Med helhetlig effekt mener vi her at vi både ser på området som helhet, og effekt på både oppdrettslaks og utvandrende laksesmolt.

Vi simulerte fiskeproduksjon med tilhørende luseutvikling på alle oppdrettsanleggene i områdene i 20 år, hvor vi enten har antatt at ingen anlegg bruker dypdrift, at kun ett av de egnede anleggene bruker dypdrift og til slutt at alle egnede anlegg bruker dypdrift. Effekt ble målt i reduksjon av antall behandlinger, lus på oppdrettsfisk og lusepåslag på utvandrende laksesmolt sammenliknet med å ikke bruke dypdrift. Effekten avhenger naturlig nok både av størrelsen og beliggenheten til anlegg med dypdrift. Men det kan være en motsetning mellom hva som gir best effekt for villfisk og hva som gir best effekt for oppdrettsfisk. I Nordfjord ligger alle anleggene som egner seg for dypdrift langs utvandningsrutene fra de ulike elvene, så det har stor positiv effekt for utvandrende post-smolt at disse senkes. I Fensjord derimot ligger de fleste anlegg som egner seg for dypdrift lenger inn i fjorden enn utvandningsrutene til laksesmolten. Når det gjelder villaksen er derfor gevinsten av nedsenket drift mindre her enn i Nordfjord. Dette er et eksempel på at en bør ta hensyn til gevinst både for eget anlegg, for øvrige oppdrettsanlegg i området og for villaksen når en vurderer å gå over til dypdrift. Dette gjelder også om en vurderer å investere i andre luseforebyggende tiltak, og metodikken som er brukt her kan også brukes for å vurdere mulig effekt i andre områder og for andre typer kontrolltiltak.

Vurdering av funnene

Resistens

Azametifosdataene representerer analyseresultater fra nesten alle lakselus (94 % av innsendingene) sendt inn til PatoGen for analyse av azametifosresistens i tidsperioden 2014-2022. De 6 % som ikke er inkludert i datasettet stammer fra små oppdrettselskaper, som ble prioritert nederst da tillatelser til bruk av data ble innhentet. Vi tror ikke resistens varierer vesentlig med selskapets størrelse og at resultatene derfor er gyldige for alle anlegg som har sendt inn lakselus i tidsperioden. Når det gjelder om resultatene er gyldige for alle anlegg som fantes i Norge i perioden, antar vi at hovedgrunnen til innsending av lus er at det vurderes avlusing for en lokalitet. Dermed kan det være grunn til å tro at lusa i dette materialet er noe mer sensitiv enn "gjennomsnittslusa" i Norge i samme periode, da en kan anta at de som har forventning om mer sensitiv lus i større grad vil vurdere behandling enn de som forventer resistent lus. Det er også en viss problemstilling med gjentatte målinger fra enkeltanlegg, som gjør at ikke alle resultatene er helt uavhengig av hverandre.

VetReg er ikke helt komplett, og noen av rapportene inneholdt ikke lokalitetsnummer (2 %). Det er ingen grunn til å tro at komplettethet i VetReg varierer avhengig av om anlegg har resistensresultater eller ikke. Dermed kan en anta at den relative betydningen av behandling på enkeltanlegg og behandling på naboanlegg for resistensnivået er gyldig. Det er trolig at sonetilhørighet ville blitt funnet å ha dominerende betydning for resistenssituasjonen på anlegget også med helt komplette legemiddelforbruksdata. Det er grunn til å anta at komplette behandlingsdata med dato for behandling hadde vært en mer presis forklaring for resistensnivået og at endring i resistens i en gitt tidsperiode hadde vært et bedre utfall å måle effekt på. Det var imidlertid ikke tilgjengelig data for endring i resistens og behandlingsdata (Barentswatchdata) hadde ikke god nok kvalitet for en slik bruk.

Når det gjelder om resultatene er gyldige for andre tidsperioder og for resistens mot andre legemidler, så vil vi tro at de nøyaktige estimatene vil avhenge av blant annet resistensmekanisme og hvor sterk resistenseleksjonen er av en behandling. Vi antar at hovedfunnene er gyldige også for resistens mot andre legemidler: At produksjonsområde betyr mest for resistensnivået og at behandlinger på eget anlegg betyr mer for resistensnivået enn behandlinger på naboanlegg.

Imidaklopridresultatene vil være et godt sammenlikningsgrunnlag å vurdere framtidige resultater opp mot, gitt at en bruker samme protokoll for resistenstesting. Svakheten med studien er at det ikke er knyttet behandlingsresultater til resistenstestresultatene. Dermed kan noen av de høyeste verdiene være feiltolket av oss som biologisk variasjon hos sensitive lus, mens de reelt viser nedsatt følsomhet.

Kombinasjonsmetoden er best egnet til å utsette resistensutvikling sammenliknet med de andre strategiene som vi inkluderte i simuleringene. Dette er i overensstemmelse med tidligere modelleringsresultater fra både lakselus og andre parasittarter (Smith 1990; McEwan mfl. 2016). Det er derfor grunn til å tro at dette er gyldige resultater uavhengig av bakenforliggende resistensmekanismer, så langt det ikke er snakk om kryssresistens (at resistens mot den ene metoden gir resistens mot den andre metoden).

Villfisk

Resultatene representerer norske elver over et så stort spekter av andre relevante variabler (lusesmitte på utvandrende smolt, populasjonsstørrelse, geografi og tid) at hovedkonklusjonene fra studien trolig er gyldig for hele landet og også for tiden utenfor studieperioden. Det har så langt vist seg å være tilfelle ved inkludering av ett år ekstra med data (ikke publisert). Den nøyaktige kvantifiseringen av betydningen lusesmitte på smolt har på tilbakevandring vil imidlertid trolig variere noe over tid og være avhengig av hvilke elver det finnes data for. Det må også tas i betraktning at studien undersøker sammenhenger, og at årsakssammenhengene derfor er åpne for alternative tolkninger.

Helhetlig effekt av rensefisk

Resultatene våre kvantifiserer effekten av å bruke rognkjeks eller leppefisk for å kontrollere lakselus. Rensefisk kan begrense utviklingen av luseinfestasjon i merder og dermed utsette behovet for avlusinger og redusere utslipp av luselarver. Effekten blir imidlertid begrenset når det eksterne smittepresset blir for høyt. Disse resultatene avhenger av flere forutsetninger.

Analysene for rognkjeks er basert på et stort antall mageprøver som trolig er representative for bruken av rognkjeks i oppdrettsanlegg langs norskekysten. Den største usikkerhetsfaktoren i beregningene er imidlertid fordøyelseshastigheten, som er avgjørende for å regne om fra andel rognkjeks med lus i magen til lus spist per dag. Nyere fordøyelsesforsøk enn de som ble brukt i modellen tilsier langsommere fordøyelse av lakselus, og dermed lavere antall lus spist per dag enn simulert (Stige mfl. 2026). Videre er det viktig å ta i betraktning at det som modelleres er en gjennomsnittseffekt, og at enkeltanlegg kan oppleve både høyere og lavere effekt av rognkjeks enn det vi beregner.

Mange av de samme forutsetningene beskrevet for rognkjeks gjelder også for leppefisk. Også disse beregningene er basert på et stort antall mageprøver, men likevel ikke mange nok til å gi robuste estimater for forskjeller mellom leppefiskarter. Fordøyelsesraten er også her en kilde til usikkerhet. Forskjeller i tellemetodikk mellom fordøyelsesforsøkene og mageprøvedatabasen gjør at antall lus spist per dag kan være høyere enn simulert. Resultatene tilsier at leppefisk er omtrent dobbelt så effektive lusespisere som rognkjeks når temperaturen er optimal. Denne forskjellen kan derfor i realiteten være høyere. Det er usikkert i hvilken grad disse resultatene er representative for alle leppefiskarter som blir brukt som rensefisk, eller om effekten varierer mellom arter.

Bruken av rensefisk, ved å redusere behovet for å benytte mekaniske eller kjemiske avlusingsbehandlinger, har en positiv effekt på tilvekst hos laksen og avlusingsindusert dødelighet. Valget av avlusinger og forebyggende eller kontinuerlig avlusingstiltak (f.eks. rensefisk) er en avveining mellom kostnad og nytte for fiskeoppdretteren og påvirker dyrevelferden. For å få en idé om velferdseffekten av bruk av rensefisk på laks og på rensefisk selv, har vi utviklet en tilpasset indeks. Denne indeksen ser bort fra endringer i respirasjon, osmotisk balanse, ernæring, god helse, temperaturregulering og atferd og gir dermed kun et delvis bilde av velferden.

Flere av forutsetningene som er lagt til grunn i modellen kan diskuteres. Reduksjonen i vekst ved lusebehandlinger kan være mindre enn beregnet dersom laksen greier å kompensere for tapt tilvekst seinere i produksjonssyklusen. På den andre siden kan de samlede effektene av flere påfølgende behandlinger på laksens helse, vekst og dødelighet være større enn summen av enkelteffektene, noe vi ikke har tatt hensyn til.

Helhetlig effekt av nedsenket drift

Resultatene for nedsenket drift var basert på scenariosimuleringer fra en lusemodell. Modellen er velprøvd, og fungerer i hovedsak godt. Men resultatene kan være følsomme for noen av antakelsene vi har gjort. I den nåværende versjonen bruker vi sjøavstand som et avstandsmål mellom oppdrettsanlegg og mellom oppdrettsanlegg og utvandringsruter. Det fungerer generelt godt, men tar ikke hensyn til lokale strømforhold, og dermed bør en fortolke resultatene som veiledende og ikke som en absolutt sannhet. Vi planlegger å inkludere strømkontakt beregnet fra en hydrodynamisk modell i kommende prosjekter. Vi antok at nedsenket drift reduserte inngående lusesmitte med 95%. Dette er basert på beregninger fra Oceanbox for ni spesifikke lokaliteter i PO6 (Engebretsen mfl. 2025), samt samtaler med personer som har erfaring med dypdrift. I virkeligheten vil det være lokale variasjoner avhengig av beliggenheten til et anlegg.

Vurdering av muligheten for anvendelse av resultatene fra prosjektet i næringen

Kunnskapen om at resistensnivå i størst grad bestemmes av regionen anlegget ligger i og at naboanleggenes behandlinger også påvirker resistensnivået på en lokalitet illustrerer fordelene med samhandling og deling av data. Dersom resistensdata og behandlingseffektdata deles innen en region vil det være en nyttig del av beslutningsgrunnlaget når anlegget skal velge behandlingsmetode.

Kunnskapen om imidaklopridsensitivitet vil gjøre det enklere å oppdage eventuell resistensutvikling tidlig, dersom medikamentet kommer tilbake på det norske markedet.

Simuleringene om strategier for å forsinke resistensutvikling antyder at kombinasjonsbehandling kan være gunstig, under forutsetning av at de to behandlingstypene som benyttes har helt uavhengige virkningsmekanismer og det ikke er kryssresistens mot dem. Dette tyder på at dagens bruk av ferskvannsbehandling i kombinasjon med andre behandlinger kan utsette eventuell resistensutvikling sammenliknet med å bruke metoden alene. Det peker også på at det ved utvikling av nye medikamentelle behandlinger kan være fordelaktig for produktets levetid å utvikle kombinasjonspreparater med to helt ulike virkningsmekanismer.

Kvantifisering av effekten av rensefisk og velferdseffekten kan inngå i beslutningsgrunnlaget for næringens lusestrategi. Ved å tallfeste effekten av rognkjeks og leppefisk på produksjonen av laks, kan de økonomiske kostnadene og gevinstene veies mot hverandre. Ved også å tallfeste indekser for velferd og lusesmitte til villfisk (målt som antallet voksne hunnlus i villaksens utvandningsperiode), kan disse hensynene også veies inn.

Vi har simulert totaleffekten av å innføre nedsenket drift på utvalgte anlegg i et område, hvor effekt beregnes både for oppdrettsfisken og for utvandrende laksesmolt. Metodikken som er brukt kan også brukes i andre geografiske områder og for helt andre lusereduserende tiltak. Det kan være gunstig å gjøre slike beregninger i forkant av dyre investeringer eller før områdevis restrukturering av driften.

Vurdering av i hvilken grad og på hvilken måte resultatene vil bidra til styrket bærekraft

Kvantifisering av lakselus sin effekt på tilbakevandring av gytefisk av laks, inkludert alderssammensetningen av gytefisk, gjør det mulig å hensynte tilbakevandring og dermed naturmangfold mer presist i forvaltningen av norsk oppdrettsnæring.

Når villfiskpåkjenning er inkludert i modellrammeverket som er videreutviklet i dette prosjektet er det mulig for næringen (gjennom nye prosjekter) å få testet ut virtuelt hvilke strategier som kan brukes for å nå egne eller pålagte krav knyttet til villfiskpåkjenning. Det går også an å teste hvilken effekt gitte strategier vil ha på villfiskpåkjenning. Det er sentralt at modellrammeverket gjør at strategier og effekter kan vurderes på områdenivå, da laks på smoltutvandring normalt påvirkes av lus fra flere anlegg.

Næringens bærekraft vil øke ved lavere dødelighet, fordi lavere dødelighet innebærer færre ressurser investert i fisk som aldri når middagsbordet. Prosjektet bidrar til beslutningsgrunnlaget for næringens lusestrategi, og kan dermed bidra til å redusere produksjonstap fra dødelighet etter avlusing.

Kunnskapen om hva som påvirker resistensutvikling hos lus og hvilken type behandlingsstrategi som utsetter resistensutvikling lengst vil, dersom den blir brukt til å ta strategivalg, kunne forlenge tiden der både eksisterende og ennå ikke utviklete behandlingsmetoder mot lus bevarer sin effektivitet. Tilgang til mest mulig effektive behandlingsmetoder med lavest mulig behandlingsdødelighet bidrar til at en større andel av sjø satt smolt når

fram til slakt og at den har forholdsvis høyere slaktevekt på grunn av færre sulteperioder. Dette er god ressursutnyttelse og dermed en mer bærekraftig produksjon.

Hovedfunn

- Resistens mot azametifos var sterkt knyttet til geografi og behandlingshistorikk
- Kombinasjonsbehandling var den mest effektive strategien for å forsinke resistensutvikling
- Økt lusepåvirkning på utvandrende smolt ga redusert tilbakevandring av ensjøvinterlaks
- Rensefisk og nedsenket drift ga lavere lusepress og reduserte behovet for avlusing
- Modellrammeverket er egnet for å vurdere regionvis effekt av ulike lusereduserende tiltak

Referanser

Aldrin M, Huseby RB, Kristensen T, Jansen PA. Simulation-based evaluation of submerged farming as a measure to reduce regional salmon lice transmission. Manuskript.

Aldrin M, Huseby RB, Stien A, Grøntvedt RN, 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. doi:10.1016/j.ecolmodel.2017.05.019

Aldrin M, Huseby R B, Stige LC, Helgesen KO, 2023. Effectiveness of treatments against salmon lice in marine salmonid farming. *Aquaculture* 575: 739749. doi: 10.1016/j.aquaculture.2023.739749

Durant JM, Aldrin M, Engebretsen S, Rafoss T, Helgesen KO, Stige LC, 2026a. Wrasses as cleaner fish for controlling salmon lice in fish farms. Manuskript. Tilgjengelig som preprint på doi: 10.2139/ssrn.6749398

Durant JM, Stige LC, Engebretsen S, Jansen PA, Helgesen KO, 2026b. Quantification of cleaner fish effects on salmon production and welfare consequences. Manuskript. Tilgjengelig som preprint på doi: 10.2139/ssrn.6957149

Engebretsen S, Aldrin M, Iversen NS, Staven AR, Staven FR, 2025. Towards a better understanding of the evacuation time of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in lumpfish (*Cyclopterus lumpus*). *Aquaculture Reports*, 42, 102787. doi:10.1016/j.aqrep.2025.102787

Engebretsen S, Aldrin M, Klakegg B, Grøntvedt RN, Jensen SR, Nøst OA, Selnæs J, 2025. Pilotprosjekt PO6: Scenariosimulering av lakselus i Midt-Norge. Norsk Regnesentral, SAMBA/01/25/, <https://nva.sikt.no/registration/0198cc7ff2ec-cc680005-236b-4dc8-a12a-6195b4d58f0a>.

Engebretsen S, Aldrin M, Qviller L, Stige LC, Rafoss T, Danielsen OR, Lindholm A, Jansen PA, 2023. Salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in the stomach contents of lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) sampled from Norwegian fish farms: Relationship between lice grazing and operational conditions. *Aquaculture* 563: 738967. doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.738967

Helgesen KO, Aaen SM, Stige LC, Horsberg TE, Krutto A, 2026. Azamethiphos resistance in salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in Norway 2014-2022: A study of farm level resistance and treatment intensity, *Aquaculture* 612, 743273. doi: 10.1016/j.aquaculture.2025.743273.

Helgesen KO, Røyset K, Aspehaug V, Jansen PA, 2019. The protective effect of the Phe362Tyr mutation in salmon lice' (*Lepeophtheirus salmonis*) AChE when exposed to full-scale azamethiphos bath treatments. *Aquaculture* 505: 517-522. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.03.016

Huseby RB, Aldrin M, Horsberg TE, Helgesen KO. Comparison of treatment strategies for delaying resistance evolution in salmon lice at the regional scale. Manuskript.

Jansen PA, Engebretsen S, Ghinassi N, Giskegjerde S, Rafoss T, Aldrin M, 2025. Gastric evacuation of salmon lice in ballan wrasse, *Labrus bergylta*, with estimates of predation rates. *Aquaculture International*, 34, 4. doi: 10.1007/s10499-025-02402-0

Jansen PA, Lindhom A, Danielsen OR, Rafoss T, Engebretsen S, Aldrin M, Stige LC, 2024. Rensefiskbetingelser: Betingelser som fremmer lusespising hos rensefisk. Norsk regnesentral rapport SAMBA/22/24.
<https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901766/>

Jansen PA, Urke H, Engebretsen S, Aldrin M, Helgesen KO, 2026. Effects of salmon lice on numbers and size distributions of Atlantic salmon populations returning to spawn in Norwegian rivers. Journal of Applied Ecology 63: e70212. doi: 10.1111/1365-2664.70212.

Jensen EM, Horsberg TE, Stige LC, Bakke M, Helgesen KO. Sensitivity range of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) to the novel antiparasitic bath treatment imidacloprid in Norwegian salmon farms. Manuskript.

Kaur K, Helgesen KO, Bakke MJ, Horsberg TE, 2015. Mechanism behind Resistance against the Organophosphate Azamethiphos in Salmon Lice (*Lepeophtheirus salmonis*). PLoS ONE 10(4): e0124220. doi: 10.1371/journal.pone.0124220

Kaur K, Jansen PA, Aspehaug VT, Horsberg TE, 2016. Phe362Tyr in AChE: A Major Factor Responsible for Azamethiphos Resistance in *Lepeophtheirus salmonis* in Norway. PLoS ONE 11(2): e0149264. doi: 10.1371/journal.pone.0149264

McEwan G, Groner M, Burnett D, Fast M, Revie CW, 2016. Managing aquatic parasites for reduced drug resistance: lessons from the land. Journal of the Royal Society Interface 671 13: 20160830. doi: 10.1098/rsif.2016.0830

Skår K, Frøysa HG, Jensen MF, Lona E, Misund B, Næss BG, Sandvik AD, Sunde LM, Taranger GL, Tveterås R, 2025. Fra rødt til grønt 2.0 - Bærekraftig omstilling av sjømatproduksjon i Vestland, med region Nordhordland som eksempel. Rapport 48 – 2025. Veterinærinstituttet.

Smith G, 1990. A mathematical model for the evolution of anthelmintic resistance in a direct life cycle nematode parasite. International Journal of Parasitology 20: 913–921. doi: 10.1016/0020-7519(90)90030-q

Stige LC, Aldrin M, Engebretsen S, Rafoss T, Jansen PA, 2026. The efficacy of lumpfish in controlling salmon lice in fish farms. Aquaculture 612: 743137. doi: 10.1016/j.aquaculture.2025.743137

Stige LC, Huseby RB, Helgesen KO, Aldrin M, Qviller L, 2024. Consequences of reduced effectiveness of salmon lice treatments for lice control. Preventive Veterinary Medicine 224: 106134. doi: 10.1016/j.prevetmed.2024.106134

Tvete IF, Aldrin M, Jensen BB, 2023. Towards better survival: Modeling drivers for daily mortality in Norwegian Atlantic salmon farming. Preventive Veterinary Medicine 210: 105798. doi: 10.1016/j.prevetmed.2022.105798

Walde CS, Stormoen M, Pettersen JM, Persson D, Røsæg MV, Jensen BB, 2022. How delousing affects the short-term growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 561: 738720. doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.738720

Leveranser

Populærvitenskapelig skriftlig formidling

Pressemelding om vitenskapelig artikkel: <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/18734196/lakselus-pavirker-antall-og-alder-pa-villaks-som-gyter?publisherId=17848243&lang=no>

Nettsak hos NR om vitenskapelig artikkel: <https://nr.no/artikler/ny-studie-viser-tydelig-sammenheng-lakselus-pavirker-livet-til-villaks/>

Nettsak hos VI om vitenskapelig artikkel: <https://www.vetinst.no/nyheter/lakselus-paverkar-talet-pa-og-alder-pa-villaks-som-gyter>

Populærvitenskapelig artikkel: Helgesen KO, Jansen PA, Urke H, Engebretsen S, Aldrin M, 2025. Lakselus påvirker antall og alder på villaks som gyter. Norsk Fiskeoppdrett 2025/12.

Tilsvar på debattinnlegg og bloggpost: Helgesen KO, Jansen PA, Urke H, Engebretsen S, Aldrin M, 2026. Slår tilbake mot Jaffa og Gjøvik. IntraFish 04.02.2026. <https://www.intrafish.no/debatt/slar-tilbake-mot-jaffa-og-gjovik/2-1-1937490>

Vitenskapelige artikler

Aldrin M, Huseby RB, Kristensen T, Jansen PA. Simulation-based evaluation of submerged farming as a measure to reduce regional salmon lice transmission. Manuskript.

Durant JM, Aldrin M, Engebretsen S, Rafoss T, Helgesen KO, Stige LC, 2026A. Wrasses as cleaner fish for controlling salmon lice in fish farms. Innsendt manuskript. Tilgjengelig som preprint på <https://doi.org/10.2139/ssrn.6749398>. Studien som presenteres i artikkelen er også finansiert via FHF-prosjektet «Agderstrategi».

Durant JM, Stige LC, Engebretsen S, Jansen PA, Helgesen KO, 2026B. Quantification of cleaner fish effects on salmon production and welfare consequences. Innsendt manuskript. Tilgjengelig som preprint på <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.6957149>. Studien som presenteres i artikkelen er også finansiert via FHF-prosjektet «Agderstrategi».

Helgesen KO, Aaen SM, Stige LC, Horsberg TE, Krutto A, 2026. Azamethiphos resistance in salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in Norway 2014-2022: A study of farm level resistance and treatment intensity, Aquaculture 612, 743273. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.743273>.

Huseby RB, Aldrin M, Horsberg TE, Helgesen KO. Comparison of treatment strategies for delaying resistance evolution in salmon lice at the regional scale. Innsendt manuskript.

Jansen PA, Urke H, Engebretsen S, Aldrin M, Helgesen KO, 2026. Effects of salmon lice on numbers and size distributions of Atlantic salmon populations returning to spawn in Norwegian rivers. Journal of Applied Ecology 63: e70212. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.70212>. Studien som presenteres i artikkelen er også finansiert av Vestland Fylkeskommune og PO3 /4 Kunnskapsinkubator.

Jensen EM, Horsberg TE, Stige LC, Bakke M, Helgesen KO. Sensitivity range of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) to the novel antiparasitic bath treatment imidacloprid in Norwegian salmon farms. Manuskript.

Stige LC, Aldrin M, Engebretsen S, Rafoss T, Jansen PA, 2026. The efficacy of lumpfish in controlling salmon lice in fish farms. Aquaculture 612, 743137. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.743137>. Studien som presenteres i artikkelen er også finansiert via FHF-prosjektene «Rensefiskbetingelser» og «Agderstrategi».

Muntlig formidling

Aldrin M, 2025. Datadrevet overvåkning av toleranseutvikling mot ferskvann. Workshop arrangert av FHF: Ferskvann og kombinasjonsbehandling mot lus, Værnes.

Helgesen KO, 2024. Hellus: Helhetlig lusekontroll (FHF 901877). FHF Lakseluskonferansen 2024, Trondheim.

Helgesen K, 2025. Azametifosbehandlinger mot lakselus og resistens 2014-2022. Frisk Fisk, Tromsø.

Helgesen KO, 2025. Resistant salmon lice. Mechanisms, Monitoring, and Management. Vitan til varandi aling, Færøyene.

Huseby R, 2024. Simulation of salmon louse resistance to control medicines in aquaculture. Det 21. norske statistikermøtet, Tønsberg.

Huseby R, 2024. Simulation-based evaluation of treatment strategies to fight parasites in salmon farming with respect to resistance development. Royal Statistical Society International Conference 2024, Brighton, UK.

Huseby R, 2024. Evaluering av ulike kontrollstrategier mot lakselus med hensyn til resistens ved hjelp av simulering, Havbruk 2024, Tromsø.

Huseby R, 2025. Combining different treatments to delay resistance in controlling salmon lice in fish farms. 10th Nordic-Baltic Biometric Conference, Oslo.

Huseby R, 2025. Combining different treatments to delay resistance in controlling salmon lice in fish farms. Møte med PHARMAQ, online.

Jansen P, 2025. Har beregnede lusepåslag på vill post-smolt under utvandring betydning for antall laks som vender tilbake til elvene i Vestland for å gyte? Frisk Fisk, Tromsø.

Jansen P, 2026. Effekter av lakselus på antall og størrelsessammensetning av bestander av gytelaks i norske vassdrag. Fagseminar arrangert av ekspertgruppa til Trafikklyssystemet: Ny kunnskap om lakselusas påvirkning på vill laksefisk til bruk i dagens Trafikklyssystem, Bergen

Jansen P, Urke HA, 2026. Effekter av lakselus på antall og størrelsessammensetning av bestander av gytelaks i norske vassdrag. Muntlig presentasjon på Kultiveringsmøte 2026, Trondheim.

Krutto A, 2025. Navigating Biosecurity Risks in Aquaculture: Implications for Food Security, Actuarial, Finance, Risk and Insurance Congress 2 (AFRIC 2), Kenya.

Medieoppslag

Kyst, 06.11.2023: <https://www.kyst.no/lus-lusebehandling-lusekonferansen/ingen-fasit-pa-hvilken-behandling-som-er-best/1588382>

Fiskeavisen, 01.12.2025: <https://www.fiskeavisen.no/lakselus-pavirker-antall-og-alder-pa-villaks-som-gyter/>

Oppstrøms, 01.12.2025: <https://opstrms.com/starter-overvaking-av-kjent-norsk-laksevassdrag/>

Datasett

Datasettet brukt til å gjøre beregninger presentert i artikkelen «Effects of salmon lice on numbers and size distributions of Atlantic salmon populations returning to spawn in Norwegian rivers» er lagt ut med samme navn på <https://datadryad.org/dataset/doi:10.5061/dryad.m0cfxpphh>

Nettspill

Oppdatert lusestrategispill (https://www.vetinst.no/static/lakselus_spill/), en fritt tilgjengelig online applikasjon, for å synliggjøre bedre effekter av lusekontroll på fiskevelferd og smitteproduksjon i perioder relevante for villfisk.

Frisk fisk
Sunne dyr
Trygg mat



Veterinærinstituttet

Ås ▪ Sandnes ▪ Bergen ▪ Trondheim ▪ Harstad ▪ Tromsø

postmottak@vetinst.no

vetinst.no