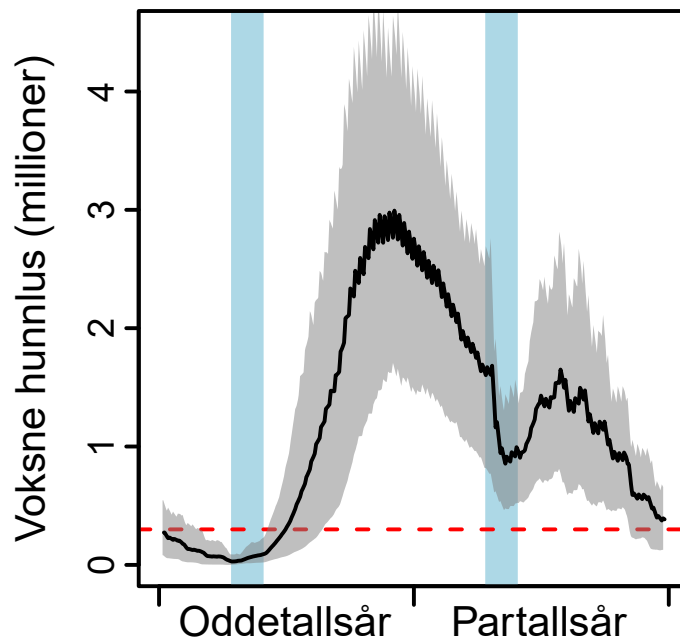




Lusekontroll: Statistisk modellering av kontrollstrategier for lakselus



LuseKontroll: Statistisk modellering av kontrollstrategier for lakselus

Forfattere

Leif Chr. Stige, Magne Aldrin, Ragnar Bang Huseby, Peder Jansen, Lars Qviller, Kari O. Helgesen, Hildegunn Viljugrein.

Forslag til sitering

Stige, L.C., Aldrin, M, Huseby, R.B., Jansen, P, Qviller, L, Helgesen, K.O.
LuseKontroll: Statistisk modellering av kontrollstrategier for lakselus. VI rapport 2/2024. Veterinærinstituttet 2024. © Veterinærinstituttet, kopiering tillatt når kilde gjengis

Publisert

2024 på www.vetinst.no
ISSN 1890-3290 (elektronisk utgave)
© Veterinærinstituttet 2024

Oppdragsgiver

Fiskeri og havbruksnæringens forskningsfinansiering FHF (prosjektnummer 901650)

Kolofon

Design omslag: Reine Linjer
Illustrasjon forside: Eksempel på scenariosimulering av lusedynamikk.
www.vetinst.no

Innhold

Hovedfunn.....	iii
Sammendrag	iv
English summary	vi
1 Innledning.....	8
1.1 Faglig bakgrunn.....	8
1.2 Prosjektets omfang	9
1.3 Prosjektorganisering	10
2 Prosjektets formål.....	11
3 Prosjektgjennomføring	12
3.1 Arbeidspakke 1: Tallfesting av effektene av kontrolltiltak.....	12
3.2 Arbeidspakke 2: Handlingsregler på anleggsnivå	12
3.3 Arbeidspakke 3: Samordning av kontrolltiltak mellom anlegg	13
4 Oppnådde resultater og diskusjon	15
4.1 Tallfesting av effektene av kontrolltiltak.....	15
4.2 Handlingsregler på anleggsnivå	15
4.3 Samordning av kontrolltiltak mellom anlegg	16
5 Konklusjoner	18
6 Leveranser	19

Hovedfunn

- Videreutvikling av en populasjonsmodell for lakselus ga oppdaterte estimater for ti ulike lusebehandlingsmetoder.
- Scenariosimuleringer for enkeltanlegg viste at smittepresset under utvandningsperioden for villfisk kan reduseres ved å optimalisere timingen av en høyeffektiv lusebehandling.
- Timingen har derimot mindre å si for totalt behandlingsbehov og gjennomsnittlig lusenivå under produksjonssyklusen.
- Scenariosimuleringer i et nettverk av anlegg viste at koordinert brakklegging ga lavere lusenivå og færre lusebehandlinger, men høyere lusenivå enn før annethvert år.
- Lusenivå konsistent med lav påvirkning på villfisk i studieområdet ble bare oppnådd i scenarioer med færre fisk i åpne anlegg om våren.

Sammendrag

Prosjektet svarer på tre overgripende spørsmål som er viktige for å utvikle gode strategier for å kontrollere lakselus: Hvor stor er effekten av ulike kontrolltiltak mot lakselus? Hva er gode handlingsregler på anleggsnivå for å bekjempe lakselus? Og hvordan kan oppdrettere i et område best koordinere kontrolltiltak mot lakselus for å begrense smittepresset på oppdrettsfisk så vel som på villfisk?

For å svare på det første spørsmålet, har prosjektet videreutviklet og oppdatert en lakselusmodell med data fra 90 oppdrettsanlegg fra hele norskekysten i perioden 2017-2020. Resultatene tyder på at kjemiske behandlinger mot lakselus har generelt lavere effekt enn det som har blitt estimert utfra data fra tidligere år. Dette funnet er konsistent med at lusa har utviklet resistens mot legemidlene, og bidrar til å talfeste hvordan resistensutviklingen har påvirket effekten av avlusningsoperasjoner i praksis. Det nylig godkjente legemiddelet i Norge Ectosan® Vet blir estimert til å ha en virkning på rundt 98 %. Resultatene gir også sikrere tall for effekten av ikke-medikamentelle avlusninger, som ligger rundt 70-80 %.

For å svare på det andre spørsmålet, er den samme modellen brukt til scenariosimuleringer som gjensker lakselusutviklingen i et oppdrettsanlegg under ulike ytre forhold som temperatur og smittepress og ulike kontrollstrategier. Resultatene viser blant annet at redusert effekt av lusebehandlinger ikke bare fører til at det må behandles hyppigere, men også til at gjennomsnittlig lusenivå blir høyere. Med lavere behandlingseffekt enn 50 % øker risikoen for at lusepopulasjonen kommer helt ut av kontroll, særlig i Sør- og Midt-Norge. Ved å optimalisere timingen av én enkelt høyeffektiv lusebehandling, kan imidlertid smittepresset under utvandningsperioden for villfisk reduseres vesentlig. Timingen har derimot mindre å si for totalt behandlingsbehov og gjennomsnittlig lusenivå under produksjonssyklusen. Oppdrettere kan dermed optimalisere timingen av den høyeffektive lusebehandlingen med tanke på villfiskpåvirkning, uten at dette går på bekostning av det totale behandlingsbehovet eller gjennomsnittlig lusenivå gjennom produksjonssyklusen.

For å formidle kunnskap om lusekontroll og hvilke avveininger dette innebærer, har prosjektet også utviklet et online simuleringsspill. Dette spillet er basert på den samme modellen som er brukt for scenariosimuleringene. Her er det imidlertid spilleren som bestemmer lusekontrolltiltakene i et virtuelt oppdrettsanlegg gjennom en produksjonssyklus, med mål om å holde lave lusetall med minst mulig bruk av lusebehandlinger.

For å svare på det tredje spørsmålet, er lakselusmodellen brukt til å simulere luseutviklingen i et nettverk av anlegg som påvirker hverandre gjensidig. Som case-studie er det undersøkt hva som skal til for å redusere lusenivået i Nordfjord tilstrekkelig til å oppnå lav påvirkning på villaks. Utfra den historiske sammenhengen mellom rapportert totalmengde lus i oppdrettsanlegg om våren og beregnet dødelighet av utvandrende vill laksesmolt, må lusenivået om våren halveres, til under 0,3 millioner voksne hunnlus totalt. Innføring av en foreslått ny sonestruktur med koordinert brakklegging og utsett, vil trolig føre til noe mindre lus og lusebehandlinger, men også større variasjon mellom år. Om våren i partallsår vil situasjonen bli verre enn før, og ytterligere tiltak kreves. Den eneste av de undersøkte kontrolltiltakene som brakte lusenivået ned til under 0,3 millioner hunnlus om våren også i partallsår, var utsett av større fisk (på 1 kg eller mer) som trengte kortere tid i åpne anlegg. Forutsetninger var at produksjonen kunne times sånn at det

var lite fisk i sjøen om våren og at produksjonen ikke ble økt. Et alternativ er produksjon i lukkede eller semi-lukkede anlegg. For å redusere lusenivået til under 0,3 millioner hunn lus om våren med lukking av tilfeldig utvalgte anlegg, måtte mer enn halvparten av anleggene lukkes. Med strategisk lukking av utvalgte anlegg, er imidlertid andelen trolig lavere. Koordinert våravlusning med en høyeffektiv lusebehandling kombinert med lavere terskel for å avluse om våren og sommeren ga også vesentlige reduksjoner i lusenivået. Strategien medførte imidlertid også økt behandlingsfrekvens og det ble ikke undersøkt hvordan koordinert bruk av en høyeffektiv (medikamentell) behandling påvirker resistensutvikling. Å sette til luseskjørt eller andre barrierer som stoppet halvparten av luselarvene fra omkringliggende anlegg var langt fra tilstrekkelig til å redusere lusenivået til under 0,3 millioner hunn lus om våren, men ga vesentlige reduksjoner i behovet for lusebehandlinger.

English summary

The project answers three overarching questions that are important for developing good strategies for controlling salmon lice: What is the effectiveness of various control measures against salmon lice? What are good rules of action at farm level to control salmon lice? And how can farmers in an area best coordinate control measures against salmon lice to limit the infestation pressure on farmed fish as well as on wild fish?

To answer the first question, a salmon lice model with data from 90 farms from the entire Norwegian coast in the period 2017-2020 has been further developed and re-estimated. The results indicate that chemical treatments against salmon lice generally have lower effects than estimates based on data from previous years. This finding is consistent with the fact that lice have developed resistance to the drugs, and helps to quantify how the development of resistance has affected lice removal operations in practice. The recently approved drug in Norway Ectosan® Vet is estimated to have an effect of around 98%. The results also provide more reliable figures for the effect of non-medicinal delousing, which is around 70-80%.

To answer the second question, the same model has been used for scenario simulations that reproduce salmon lice development in a farm under different external conditions such as temperature, infestation pressure and different control strategies. The results show, among other things, that reduced effects of lice treatments not only leads to more frequent treatments, but also to a higher lice abundance. With treatment effects below 50%, the risk of the lice population growing completely out of control increases, especially in southern and central Norway. However, by optimizing the timing of a single highly effective lice treatment, the infestation pressure during the emigration period for wild salmon can be significantly reduced. The timing, on the other hand, has less effect on the total treatment efforts and average lice abundance during the production cycle. Farmers can thus optimize the timing of the highly effective lice treatment with regard to the impact on wild fish, without this being at the expense of the total treatment requirement or the average lice abundance throughout the production cycle.

In order to convey knowledge about lice control and the trade-offs this entails, an online simulation game has been developed. This game is based on the same model used for the scenario simulations. Here, however, it is the player who decides the lice control measures in a virtual farm throughout a production cycle, with the goal of keeping lice numbers low with the least possible use of lice treatments.

To answer the third question, the salmon lice model has been used to simulate the development of lice in a network of farms that mutually influence each other. As a case study, we have investigated what is needed to reduce the salmon lice level in the Nordfjord area sufficiently to achieve a low impact on wild salmon. Based on the historical correlation between the reported total amount of lice in farms in spring and the calculated mortality of migrating wild salmon post-smolts, the abundance of lice in spring must be halved, to less than 0.3 million adult female lice in total. Implementation of a proposed new zone structure with coordinated production and fallowing will probably lead to somewhat less lice and lice treatments, but also greater variation between years. In the spring of even-numbered years, the situation will be worse than before, and additional measures will be required. The only

investigated control measure that brought the abundance of lice down to below 0.3 million females also in even-numbered years, was stocking of large fish (at 1 kg or more), which reduced the time in open systems. Assumptions were that the production was timed so that the number of fish in the sea was low in spring and that the production was not increased. An alternative is to change to closed or semi-closed production systems. To reduce the abundance of lice to under 0.3 million females in spring with the closure of randomly selected farms, more than half of the farms had to be closed. However, with the strategic closure of selected farms, the proportion is probably lower. Coordinated spring delousing with a highly effective lice treatment combined with a lower threshold for lice treatments in spring and summer also produced significant reductions in the abundance of lice. At the same time, this strategy implied increased treatment frequency, and possible consequences of coordinated use of a highly effective (medicinal) treatment for resistance development was not investigated. Addition of lice skirts or other barriers that stopped half of the lice larvae from surrounding farms were far from sufficient to reduce the abundance of lice to under 0.3 million females in spring, but produced significant reductions in the need for lice treatments.

1 Innledning

1.1 Faglig bakgrunn

For å utvikle gode strategier mot lakselus, trengs svar på tre overgripende spørsmål.

Et fundamentalt spørsmål for å utvikle gode strategier mot lakselus, er hvor stor effekten av ulike kontrolltiltak er. Med kontrolltiltak mener vi her både forebyggende tiltak og lusebehandlinger. Forebyggende kontrolltiltak skal hindre lusetallene i å bygge seg opp, og inkluderer blant annet bruk av luseskjørt, snorkelmerder, nedsenket lys og fôr, funksjonelt fôr, rensefisk samt kombinasjoner av disse. Ved risiko for at lusetallene kan overstige grensen på 0,2 voksne hunnlus per fisk om våren eller 0,5 voksne hunnlus ellers på året, må oppdrettere igangsette lusebehandlinger. Hyppig brukte behandlingsmetoder er ulike kjemiske behandlinger, mekanisk behandling, termisk behandling og ferskvannsbehandling. Tallfesting av effektene av disse kontrolltiltakene kompliseres av at effektiviteten varierer med tid og sted. Effekten av luseskjørt avhenger for eksempel trolig av dybdefordelingen til både lakselus og fisk, som igjen avhenger av salinitet og temperatur. Temperaturen kan også påvirke effekten av andre kontrolltiltak, som rensefisk og kjemiske behandlinger. Generelle slutninger om effektene av tiltakene krever derfor data som er samlet inn over et stort geografisk område og til ulike tider på året. Effektiviteten til hyppig brukte behandlinger endres også på grunn av utvikling av resistens hos lakselusa. Tallfestingen går derfor raskt ut på dato, og må oppdateres med nyere data for å være relevant.

Den norske laksenæringen samler inn store mengder detaljerte data som, hvis de blir analysert riktig, kan gi verdifull kunnskap om effektene av kontrolltiltak mot lakselus. Aldrin mfl. publiserte i 2017 en populasjonsmodell for lakselus som tallfestet effektene av rensefisk og fem ulike kjemiske behandlinger (Aldrin mfl. 2017, *Ecological Modelling*, utviklet i FHF prosjekt 900970). Resultatene var basert på 32 oppdrettsanlegg fra Rogaland til Trøndelag i perioden 2011–2014 og tallfestet både gjennomsnittlig effekt av kontrolltiltakene og hvor mye denne effekten varierte mellom oppdrettsanlegg. Modellen ble oppdatert med data fra 35 oppdrettsanlegg i Rogaland i perioden 2013–2018 i prosjektene FHF 901424 og FHF 901414 (Aldrin & Huseby 2019, NR Rapport SAMBA/28/19). Her ble også effektene av mekanisk behandling, termisk behandling og ferskvannsbehandling tallfestet, samt at effektene av to grupper rensefisk (rognkjeks og leppefisk) ble estimert hver for seg. Noen av estimatene var imidlertid usikre pga. lite bruk av enkelte behandlingstyper blant anleggene i studiet, som mekanisk behandling og ferskvannsbehandling. Overføringsverdien av de nyere estimatene til andre områder enn Rogaland var også usikker, blant annet på grunn av geografiske forskjeller i behandlingspraksis. For å tallfeste den generelle effekten av ulike kontrolltiltak mot lakselus, trengtes derfor en oppdatert statistisk analyse basert på data fra hele norskekysten.

Et annet sentralt spørsmål er *hvordan oppdrettere best kan bruke de tilgjengelige kontrolltiltakene for å holde lusetallene nede - dvs. finne gode handlingsregler på anleggsnivå.* Slike handlingsregler omfatter strategier for overvåkning, forebygging og kontroll og må ta utgangspunkt i at oppdretteren har ufullstendig kunnskap om den faktiske lusesituasjonen i anlegget. Populasjonsmodellen til Aldrin mfl. (2017, 2019) gjenspeiler den tilfeldige variasjonen i lusepåslag mellom anlegg og merder og usikkerheten i lusetellingene.

Modellen gjensker dermed også usikkerheten en oppdretter har om den faktiske lusesituasjonen når han eller hun må velge tiltak. Modellen tallfester også betydningen av spredning mellom merder og anlegg. Modellen er derfor svært godt egnet til å simulere hvordan handlingsvalg oppdrettere tar påvirker luseutviklingen i anleggene.

For å finne gode handlingsregler på anleggsnivå, trengs systematiske undersøkelser som tallfester virkningen av ulike forebyggende tiltak og lusebehandlinger i forskjellige områder og til forskjellige tider på året. Vi mangler blant annet kunnskap om hvordan ulike tiltak mest virkningsfullt kan kombineres gjennom produksjonssyklusen, for eksempel med hensyn på rekkefølgen av tiltakene. Dette spørsmålet er aktualisert med introduksjonen av et nytt legemiddel mot lus på det norske markedet, med virkestoffet imidaklopid: Gitt faren for resistensutvikling som gjør at behandlingen ikke bør brukes ofte, gjelder det å finne ut hvor og når i produksjonssyklusen slike behandlinger totalt sett gir best lusekontroll.

Et tredje sentralt spørsmål er *hvordan oppdrettere i et område best kan koordinere kontrolltiltak mot lakselus for å begrense smittepresset på oppdrettsfisk så vel som på villfisk*. Koordinering av tiltak mot lakselus kan potensielt redusere totalproduksjonen av luselarver i et område. Betydningen av koordinering understrekes av at påslaget av nye lakselus i et anlegg i hovedsak kommer fra omkringliggende anlegg (Aldrin mfl. 2017). I dag koordineres brakkleggingen av anleggene mellom produksjonssykluser sonevis i mange områder, samt at avlusinger i noen grad samordnes til bestemte tider på året. Gevinsten av slik koordinering er imidlertid usikker, da koordinert brakklegging i prinsippet er en koordinering av hele generasjoner i et område. Mot slutten av produksjonssyklusen kan en slik koordinering være negativ, fordi biomassen i området er stor, og lusepopulasjonene er godt etablert (Guarracino mfl. 2018, *Diseases of Aquatic Organisms*; Aldrin & Huseby 2019, NR Rapport SAMBA 29/19). Koordinering av tiltak mot lakselus har også betydning for smittepresset på vill laksefisk. Ett koordineringstiltak er lavere tiltaksgrense om våren, noe som gjøres for å redusere smittepresset under utvandringstiden for vill laksesmolt. Andre mulige tiltak er blant annet bruk av luseskjørt i kritiske deler av produksjonssyklusen, storsmolt for å korte ned tiden i åpne merder i sjø, og overgang til lukkede anlegg i spesielt luseutsatte områder. Tallfesting av effektene av ulike handlingsalternativer på områdenivå er viktig for å komme fram til gode strategier for å redusere lakseluspåvirkningen på villfisk til akseptable nivåer.

1.2 Prosjektets omfang

Prosjektet inkluderte tre arbeidspakker:

Arbeidspakke 1: Tallfesting av effektene av kontrolltiltak.

- Dette inkluderte videreutvikling og reestimering av lakselusmodellen (Aldrin mfl. 2017) med data fra 90 oppdrettsanlegg fra hele norskekysten i perioden 2017-2020.

Arbeidspakke 2: Handlingsregler på anleggsnivå.

- Dette inkluderte scenariosimuleringer med lakselusmodellen, der fokus var hvordan en enkeltoppdretter kan finne gode kontrolltiltak.
- Arbeidspakken inneholdt også utviklingen av et online simuleringsspill, der andre interesserte kan forsøke å kontrollere lakselusutviklingen i et virtuelt oppdrettsanlegg.

Arbeidspakke 3: Samordning av kontrolltiltak mellom anlegg.

- Dette inkluderte simuleringer av luseutviklingen i nettverk av anlegg i et område (Nordfjord).

1.3 Prosjektorganisering

Prosjektgruppen var:

Leif Chr. Stige (prosjektleder), Lars Qviller, Kari O. Helgesen og Hildegunn Viljugrein, Veterinærinstituttet.

Magne Aldrin og Ragnar Bang Huseby, Norsk Regnesentral.

Peder Jansen, INAQ.

Lusepillet ble utviklet i samarbeid med EcoFluent AS (versjon 1) og MegaPop AS (versjon 2).

Referansegruppen for prosjektet var:

Geir Magne Knutsen, Bremnes Seashore

Espen Lie Dahl, Salmar

Svein Andorsen, Ellingsen Seafood

Björgolfur Hávardson, The Seafood Innovation Cluster

Solveig M. Nygaard (til april 2022) og Ragna Heggebø (fra april 2022), Grieg Seafood

Oppfølging fra FHF:

Kjell Maroni og Eirik Sigstadstø, FHF

2 Prosjektets formål

Prosjektets hovedmål var å framskaffe kunnskap for bedre empirisk baserte strategier for å kontrollere lakselus.

Prosjektets delmål var:

Delmål 1: Tallfeste effektene av ulike kontrolltiltak mot lakselus.

Delmål 2: Utvikle gode handlingsregler på anleggsnivå for å bekjempe lakselus.

Delmål 3: Undersøke hvordan kontrolltiltak mot lakselus best kan koordineres mellom anlegg for å begrense smittepresset på oppdrettsfisk så vel som på villfisk.

Hvert av delmålene svarte til en av arbeidspakkene.

3 Prosjektgjennomføring

3.1 Arbeidspakke 1: Tallfesting av effektene av kontrolltiltak

Populasjonsmodellen for lus (se kapittel 1.1) er oppdatert i forhold til tidligere versjoner. Det innbefatter bl.a. en mer detaljert og realistisk modellering av hvordan de ulike behandlingstypene virker. Nye behandlingstyper er også inkludert, deriblant badebehandling med imidakloprid (Ectosan® Vet). Modellparametre er tallfestet på oppdaterte detaljerte, daglige, produksjonsdata fra 90 oppdrettsanlegg fra fem ulike oppdrettselskaper, med god geografisk spredning. Modellen er videre et grunnlag for scenariosimuleringer utført i arbeidspakkene 2 og 3. En vitenskapelig artikkel som fokuserer på behandlingseffektene (se Tabell 1) er publisert i tidsskriftet *Aquaculture* (Aldrin mfl. 2023). Artikkelen inneholder også en detaljert og fullstendig beskrivelse av modellen.

Tabell 1. Effekt av ulike behandlingstyper, fordelt på estimert gjennomsnittlig effekt (kolonne «Est.» med 95 % usikkerhetsintervall (95%C.I.). Det er i tillegg en tilfeldig variasjon fra gang til gang av med samme type behandling, synliggjort med en videre 95 % usikkerhetsgrense («95%D.I.»). De ulike stadiene er fastsittende (S), preadulte (PA) og voksne (A). Resultatene for azametifos og imidakloprid er basert på få observasjoner og den reelle usikkerheten kan være større enn intervallene viser.

Treatment type	Effect on stages	This study. Data from 2017–2020		
		Est.	95%C.I.	95%D.I.
Enamectin benzoate	S, PA, A	35	31–39	0–100
Diflubenzuron	PA → A ^a	88	76–96	8–100
Diflubenzuron	S → PA → A ^b	99	94–100	16–100
Teflubenzuron	PA → A ^a	79	63–92	2–100
Teflubenzuron	S → PA → A ^b	96	87–99	3–100
Hydrogen peroxide ^c	PA, A	74	67–80	5–100
Pyrethroid ^c	S, PA, A	50	43–56	0–100
Azamethiphos ^{cd}	PA, A	26	13–43	0–94
Imidakloprid	S	99.9	99.6–100	99.6–100
Imidakloprid	PA, A	98	95–99	79–100
Thermal	S, PA, A	80	78–81	21–100
Mechanical	S, PA, A	69	67–71	11–99
Freshwater	S, PA, A	74	69–78	14–99

3.2 Arbeidspakke 2: Handlingsregler på anleggsnivå

3.2.1 Scenariosimuleringer

I denne arbeidspakken ble lakselusmodellen fra arbeidspakke 1 brukt til å simulere lakselusutviklingen i enkeltanlegg. Vi brukte temperatur og beregnet smittepress fra mer enn 2000 produksjonssykluser fra hele norskekysten. Lakselusutviklingen i hver produksjonssyklus ble simulert utfra antakelser om at oppdretteren talte lus på 20 fisk i hver merd hver uke og gjennomførte en lusebehandling når lusetallet i en merd kom over en terskelverdi. I basis-scenarioet var terskelverdien den samme som lusegrensen, altså 0,2 voksne hunnlus per fisk om våren og 0,5 hunnlus per fisk ellers på året. Vi antok videre at hver lusebehandling fjernet 80 prosent av lusene på fisken. I alternative scenarier endret vi disse antakelsene.

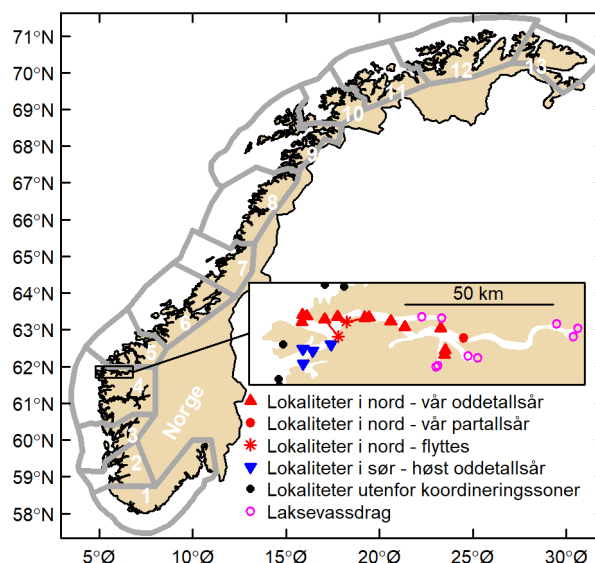
Et vitenskapelig manuskript som presenterer scenariosimuleringer på anleggsnivå er akseptert for publisering i et vitenskapelig tidsskrift (Stige mfl. 2024a). For enkelte behandlingsmetoder kan det være en avveining mellom behandlingseffekt og fiskevelferd, der høyere behandlingseffekt medfører mer stress og dårligere velferd for oppdrettsfisken. Samtidig gjør økt behandlingseffekt at det blir lengre tid før det trengs en behandling igjen. For å kaste lys over denne avveiningen, endret vi i en serie scenariosimuleringer antakelsen om hvor stor andel av lusa hver lusebehandling drepte, fra 0 til 100 %. Vi tallfestet så hvordan behandlingseffektivitet påvirker behandlingsfrekvens og lusemengde.

I artikkelen undersøkte vi videre hvordan oppdrettere best kan kombinere lusebehandlinger med ulik effektivitet i løpet av en produksjonssyklus. Utgangspunktet var at nye kjemiske lusebehandlingsmidler med høy effektivitet bør brukes forsiktig for å begrense resistensutviklingen. Vi antok at de fleste lusebehandlingene drepte 80 % av lusene, men at oppdretteren hadde én høyeffektiv behandling tilgjengelig som drepte 98 % av lusene. Spørsmålet var så når i produksjonssyklusen burde den høyeffektive behandlingen brukes for å føre til størst reduksjon i det totale antall behandlinger, gjennomsnittlig lusenivå og luselarveproduksjon om våren.

3.2.2 Lusestrategispill

I denne arbeidspakken ble lakselusmodellen fra arbeidspakke 1 også implementert i et web-basert simuleringsspill. Simuleringsmodellen i bunnen var den samme som i scenariosimuleringene beskrevet i del 3.2.1. Ved starten av spillet får spilleren et oppdrettsanlegg et sted i Norge. Så simuleres en produksjonssyklus, der valget av kontrolltiltak tas uke for uke av spilleren. Målet for spilleren er å holde lusenivået lavt med minst mulig bruk av kontrolltiltak. Målgruppen er studenter og ansatte i næringen. Hensikten er å formidle forskningsbasert kunnskap om hvordan luseutviklingen påvirkes av en kombinasjon av styrte faktorer og ytre-, til dels tilfeldige påvirkninger, og hvilke valgsituasjoner oppdretteren står i.

3.3 Arbeidspakke 3: Samordning av kontrolltiltak mellom anlegg



Figur 1. Studieområdet i Nordfjord, med forslag til ny sonestruktur.

Vi har brukt Nordfjord som eksempelområde for å undersøke betydningen av koordinering av produksjon og lusekontroll. Her har Fiskeridirektoratet koordinert en plan for ny sonestruktur, som vi har gjenskapt i simuleringer. For å gjennomføre analysene har modellverktøyet fra arbeidspakke 2 blitt utviklet for å kunne simulere luseutviklingen i nettverk av flere anlegg som påvirker hverandre gjensidig.

Scenariosimuleringene er presentert i en vitenskapelig artikkel som vil sendes inn til vitenskapelig tidsskrift med det første (Stige mfl. 2024b). Her spør vi først hvor mye lusenivået må reduseres i Nordfjord for at påvirkningen på villfisk skal bli lav (i henhold til Trafikklyssystemet). Dette gjør vi ved å sammenholde årlig totalantall av voksne hunnlus rapportert i oppdrettsanlegg i Nordfjord i uker 16-21 fra 2012 til 2022 med gjennomsnittlig lakselusindustert dødelighet for utvandrende laksepostsmolt for de lakseførende elvene i området, beregnet med Veterinærinstituttets virtuelle postsmoltmodell (som også brukes i Trafikklyssystemet). Vi bruker denne sammenhengen til å finne ut hvor mange voksne hunnlus som tilsvarer 10 prosent dødelighet, som er skillet mellom lav og moderat påvirkning i Trafikklyssystemet.

Deretter undersøker vi med simuleringer hvordan forslaget til ny sonestruktur påvirker lusenivået, med et særlig fokus på antallet voksne hunnlus om våren. I simuleringene har vi sammenliknet lusenivå og behandlingsbehov i Nordfjord i perioden 2015-2022 med historisk og foreslått sonestruktur.

Vi har også undersøkt ulike scenarioer for koordinert lusekontroll med bruk av luseskjørt, felles våravlusninger også med bruk av én høyeffektiv behandling, lavere tiltaksgrense for avlusning, utsett av større fisk og lukking av produksjonen.

4 Oppnådde resultater og diskusjon

4.1 Tallfesting av effektene av kontrolltiltak

Resultatene tyder på at kjemiske behandlinger mot lakselus har generelt lavere effekt enn det som har blitt estimert utfra data fra tidligere år. Dette funnet er konsistent med at lusa har utviklet resistens mot legemidlene, og bidrar til å tallfeste hvordan resistensutviklingen har påvirket effekten av avlusningsoperasjoner i praksis. Det nylig godkjente legemiddelet Ectosan® Vet blir estimert til å ha en virking på rundt 98 %. Resultatene gir også sikrere tall for effekten av ikke-medikamentelle avlusninger, som ligger rundt 70-80 %.

4.2 Handlingsregler på anleggsnivå

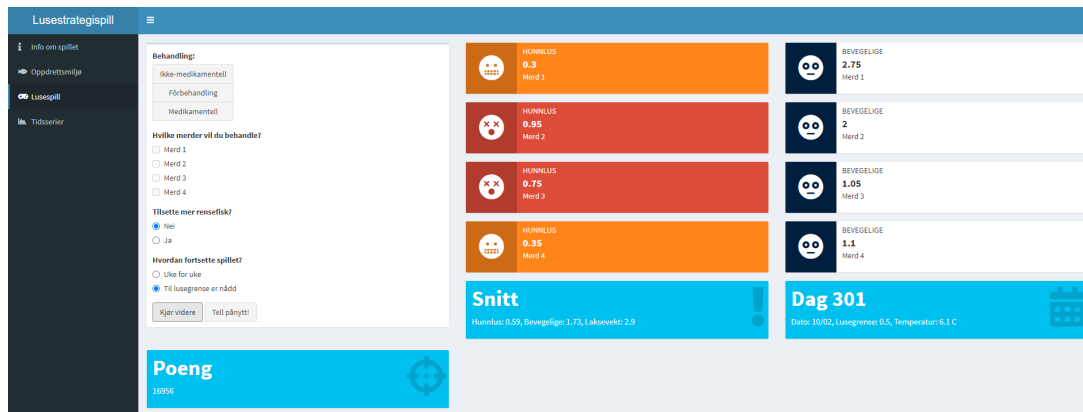
4.2.1 Scenariosimuleringer

I scenariosimuleringer med redusert behandlingseffektivitet, økte behandlingshyppigheten, lusenivået og risikoen for at lusetallene skulle stige ut av kontroll. Disse negative effektene økte særlig hvis behandlingseffekten sank til mindre enn 50 %, dvs. hvis hver behandling fjernet mindre enn halvparten av lusene på fisken.

I scenariosimuleringene som undersøkte timingen av en høyeffektiv lusebehandling, fant vi at timingen hadde relativt liten betydning for totalt behandlingsbehov og gjennomsnittlig lusenivå. Med mindre den høyeffektive behandlingen ble holdt igjen til så langt ut i produksjonssyklusen at det var vesentlig sannsynlighet for at den slett ikke ble brukt, var reduksjonen i totalt behandlingsnivå og gjennomsnittlig lusenivå omtrent den samme om den høyeffektive behandlingen ble brukt tidlig eller seint. Timingen hadde derimot stor betydning for produksjonen av luselarver om våren. Om den høyeffektive behandlingen ble holdt igjen til 1-2 måneder før vårperioden man ønsket et lavere lusenivå, kunne luselarveproduksjonen om våren reduseres med inntil 20 % i Sør- og Midt-Norge og 10 % i Nord-Norge, i forhold til om alle behandlinger hadde 80 % effekt.

4.2.2 Lusestrategispill

Første versjonen av lusespillet ble lansert på FHF's lusekonferanse i 2022. Spillet fungerte teknisk sett godt men det var potensiale for å øke brukeropplevelsen og læringsutbyttet. Derfor har det høsten 2023 blitt utviklet en ny versjon av spillet.



Figur 2. Den første versjonen av lusespillet.

4.3 Samordning av kontrolltiltak mellom anlegg

Studieområdet i Nordfjord omfattet 19 oppdrettsanlegg som i gjennomsnitt over årene 2015-2022 har rapportert 0,55 millioner hunnlus totalt i ukene 16-21 om våren. Det var en tilnærmet lineær sammenheng mellom totalantall voksne hunnlus om våren i Nordfjord og lakselusindusert dødelighet beregnet for elvene i området. For å redusere lakselusindusert dødelighet til under 10 prosent, tyder resultatene på at mengden lakselus må halveres, fra rundt 0,6 til rundt 0,3 millioner voksne hunnlus.

Simulering med ny sonestruktur ga i gjennomsnitt 12 % færre lus og 11 % færre lusebehandlinger enn simuleringer med historisk sonestruktur. Samtidig økte variasjonen mellom år. Om våren i oddetallsår sank lusetallet fra 0,54 til 0,06 millioner voksne hunnlus. Om våren i partallsår økte derimot lusetallet fra 0,73 til 1,06 millioner voksne hunnlus. Det er ikke opplagt hvilket av disse alternativene som har minst påvirkning på villaksen, jevnt moderat eller alternerende mellom høyt og lavt smittepress. De neste scenarioene tok utgangspunkt i den nye soneringen og undersøkte hvilke tilleggstiltak som kunne redusere lusetallet om våren i partallsår.

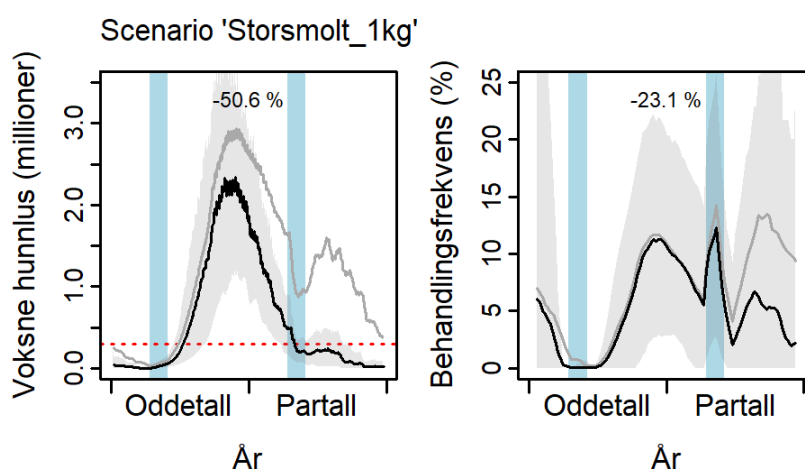
Med luseskjørt eller andre barrierer som stoppet 50 % av luse-larvene fra omkringliggende anlegg, ble antallet voksne hunnlus redusert med 16 % og antallet behandlinger med 19 %. Luseskjørt kun brukt i april-mai-juni i partallsår førte bare til 7 % reduksjon i lusetallet om våren. Luseskjørt var dermed langt fra tilstrekkelig til å nå målet om 0,3 millioner voksne hunnlus om våren i Nordfjord. Luseskjørt og andre barrierer kan likevel være viktig som kontrolltiltak, blant annet for å redusere behovet for lusebehandlinger.

Dersom alle anleggene i området brukte en høyeffektiv lusebehandling med 98 % effekt i uke 15 i partallsår, ble lusenivået om våren redusert med 66 % til 0,37 millioner voksne hunnlus. Effekten var imidlertid kortvarig, og reduksjonen varte ikke lenge utover sommeren. Relativt lavt lusenivå både om våren og sommeren ble derimot oppnådd når en høyeffektiv lusebehandling om våren (i uke 12) ble kombinert med en lavere tiltaksgrense for lusebehandlinger om våren og sommeren (0,1 voksne hunnlus i uker 13-39). Det er samtidig verdt å bemerke at selv om lavere tiltaksgrense førte til lavere lusenivå, økte også det totale

antallet behandlinger. I studieområdet kommer rundt 11 % av luselarvene fra oppdrettsanlegg utenfor området, noe som kan gjøre det vanskelig å holde lave lusetall.

Også koordinering av våravlusningen ga økt totalt behandlingsbehov i forhold til ukoordinerte avlusninger. Koordinering av lusebehandlinger i et område kan også ha konsekvenser for resistensutvikling, som ikke er undersøkt i dette prosjektet.

Med utsett av fisk på 1 kg ble lusenivået om våren i partallsår redusert med 75 %, til 0.27 millioner voksne hunn lus. Lusenivået forble også relativt lavt utover sommeren, også i oddetallsår. Utsett av fisk på 1 kg ga i tillegg en 23 % reduksjon i hyppigheten av lusebehandlinger i tidsperioden i sjøen. En forutsetning for disse beregningene var at produksjonen ikke ble økt. Tidspunktet for lavt lusenivå hang, ikke overraskende, tett sammen med timingen av produksjonen. Vi antok at laksen ble satt ut i sjøen kort tid etter brakkleggingsperioden, altså i april i oddetallsår for de fleste anleggene (som vist i kartfiguren). Resultatene av simuleringen vises her:



Figur 3. Scenariosimuleringer med utsett av fisk på 1 kg. De sorte linjene i figuren til venstre er totalantall lus i oppdrettsanlegg i studieområdet (Nordfjord). De lysegrå feltene bak gjenspeiler tilfeldige påvirkninger på lusedynamikken. De mørkere grå linjene er utviklingen i basisscenarioet med utsett av vanlig smolt. De lyseblå feltene er uker 16-21 på våren, når lusegrensen er lavere for å beskytte utvandrende laksesmolt. Figuren til høyre viser hvor stor andel av fisken som blir lusebehandlet hver uke.

Med lukking av et tilfeldig utvalg av 9 av 17 aktive anlegg (dvs. 53 % av anleggene), ble lusenivået i gjennomsnitt redusert med 63 % til 0,40 millioner hunn lus om våren i partallsår og hyppigheten av lusebehandlinger blant de åpne anleggene med 24 %. I likhet med de andre scenarioene, ble scenarioet simulert 100 ganger med nye tilfeldige effekter. De 100 gjentatte simuleringene viste da betydningen av tilfeldig variasjon i lusedynamikken, og i dette tilfellet i utvalget av oppdrettsanlegg som ble lukket. Det viste seg at scenarioet med lukking hadde spesielt stor variasjon i effekten, mest sannsynlig fordi det hadde stor betydning hvilke anlegg som ble lukket. Dette innebærer at reduksjonen i lus kan bli større enn den estimerte gjennomsnittseffekten, dersom man strategisk lukker anlegg med stor smitteproduksjon, høy grad av smittekontakt med andre anlegg og/eller nærhet til utvandningsrutene til villaks.

Dersom hvert enkelt anlegg reduserer antallet laks i åpne merder med 50 %, reduseres lusenivået med 54 % og hyppigheten av lusebehandlinger med 10 %. Det gir altså større gevinst å redusere andelen åpne anlegg enn å redusere en tilsvarende andel av merdene i hvert anlegg.

5 Konklusjoner

- En oppdatert populasjonsmodell for lakselus viste at ikke-medikamentell avlusning ga rundt 70-80 % reduksjon i lusetall. Kjemiske behandlinger mot lakselus hadde generelt lavere effekt enn det som har blitt estimert utfra data fra tidligere år, sannsynligvis pga. resistensutvikling. Det nylig godkjente legemiddelet Ectosan® Vet hadde høy effekt.
- Scenariosimuleringer for enkeltanlegg viste at redusert effektivitet av lusebehandlinger ikke bare fører til at det må behandles hyppigere, men også til at gjennomsnittlig lusenivå blir høyere. Ved å optimalisere timingen av en høyeffektiv lusebehandling, kan smittepresset under utvandingsperioden for villfisk reduseres. Timingen har mindre å si for totalt behandlingsbehov og gjennomsnittlig lusenivå under produksjonssyklusen.
- Scenariosimuleringer i nettverk av anlegg ble gjort med Nordfjord som eksempelområde. Resultatene fra en virtuell postsmoltmodell tyder på at lusenivået i området må halveres, til under ca. 0,3 millioner voksne hunnlus om våren, for å oppnå lav påvirkning på villaks i henhold til Trafikklyssystemet.
- Simuleringene viste at ny sonestruktur med koordinert brakklegging i større områder av Nordfjord i gjennomsnitt gir lavere lusenivå og færre lusebehandlinger, men uakseptabelt høyt lusenivå om våren i partallsår.
- Det eneste av de undersøkte kontrolltiltakene som ga under 0,3 millioner hunnlus om våren i partallsår, var utsett av fisk på 1 kg eller mer. Forutsetninger var at produksjonen kunne times sånn at påvirkningen på villfisk ble minimert og at produksjonen ikke ble økt.
- Mer enn 50 % av tilfeldig utvalgte anlegg måtte lukkes for å nå målsetningen om under 0,3 millioner hunnlus om våren, men trolig mindre med strategisk lukking av anlegg som bidrar mye til smitteproduksjon og -spredning.
- Koordinert våravlusning med en høyeffektiv lusebehandling i partallsår kombinert med lavere terskel for å avluse om våren og sommeren ga vesentlige reduksjoner i lusenivået. Strategien innebar imidlertid også økt behandlingsfrekvens, og konsekvenser av koordinerte lusebehandlinger for resistensutvikling ble ikke undersøkt.
- Luseskjørt eller andre barrierer som stoppet halvparten av luselarvene fra omkringliggende anlegg ga vesentlig færre behandlinger, men bidro lite til å gi færre lus om våren i partallsår.

6 Leveranser

Vitenskapelige artikler

Aldrin, M, Huseby, RB, Stige, LC, Helgesen, KO. 2023. Estimated effectiveness of treatments against salmon lice in marine salmonid farming. *Aquaculture* 575: 739749.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739749>

Engebretsen S, Aldrin M, Qviller L, Stige LC, Rafoss T, Danielsen OR, Lindhom 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.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738967>

Stige LC, Huseby RB, Helgesen, KO, Aldrin M, Qviller L. 2024a. Consequences of reduced effectiveness of salmon lice treatments for lice control. *Preventive Veterinary Medicine*. Akseptert for publisering.

Stige LC, Jansen P, Helgesen KO 2024b. The effectiveness of regional coordination of parasite control in reducing negative impacts of aquaculture on wild fish populations. *International Journal of Parasitology*. I review.

Noen av artiklene er bidrag til flere prosjekter i tillegg til Lusekontroll.

Populærvitenskapelige artikler

Stige LC, Qviller L, Viljugrein H. 2020. Hvordan kontrollere lakselusa? *Norsk Fiskeoppdrett* (9) 68-69.

Helgesen KO, Stige LC. 2023. Er dagens bruk av emamektinbenzoat mot lakselus riktig? *Norsk Fiskeoppdrett* (9) 58-60.

Foredrag

Leif Christian Stige, Kari O. Helgesen, Hildegunn Viljugrein, Lars Qviller, Magne Aldrin, Ragnar Huseby, Peder Jansen. 2022. LuseKontroll: Statistisk modellering av kontrollstrategier for lakselus. FHF's Lusekonferanse, Trondheim 6-7. april 2022.

Magne Aldrin, Solveig Engebretsen, Lars Qviller, Leif Christian Stige, Trond Rafoss, Ole Roald Danielsen, Andreas Lindhom, Peder A. Jansen. 2022. LuseKontroll: Hvilke faktorer påvirker lusespising hos rognkjeks? FHF's Lusekonferanse, Trondheim 6-7. april 2022.

Leif Christian Stige. 2022. Noen resultater fra Fiskehelsesrapporten og FHF-prosjektet *LuseKontroll*. FoU-møte Havbruksnæringa - lusebekjempelse, Florø, 21. april 2022.

Leif Christian Stige, Magne Aldrin, Ragnar Huseby, Kari O. Helgesen, Peder Jansen, Lars Qviller, Hildegunn Viljugrein. 2022. Location- and time-dependent lice control effects. 13th Sea Lice Conference International 2022, 9-13 May, Faroe Islands.

Magne Aldrin, Solveig Engebretsen og Lauris Boissonnot, 2022. Kondisjonsfaktor hos rognkjeks. Frisk fisk 2022, Bergen 30-31. mai 2022.

Magne Aldrin, 2022. Hvilke faktorer påvirker lusespising hos rognkjeks? Seminar på Havbruksparken, Flatanger, 8. juni 2022.

Peder Jansen. 2022. Prosjekt Lusekontroll. Foredrag sonestruktur i Nordfjord Vestlandet Fylkeskommune Førde 22.11.22.

Lars Qviller. 2023. Lusestrategi - demo av et "spill". Lusekonferansen 2023. FHF, Trondheim, 8-9.2.2023.

Leif Chr. Stige. 2023. Analyser av smittespredning med VI sine modeller. Dialogmøte prosjekt «Fra rød til grønn kyst - Kunnskapsinnhenting for bærekraftig omstilling av havbruksaktiviteten i Vestland». Florø, 27.04.2023.

Leif Chr. Stige. 2023. Analyser av smittespredning med VI sine modeller. Dialogmøte prosjekt «Fra rød til grønn kyst - Kunnskapsinnhenting for bærekraftig omstilling av havbruksaktiviteten i Vestland». Rosendal, 16.05.2023.

Leif Chr. Stige. 2023. Scenariosimuleringer av lusekontroll. Dialogmøte prosjekt «Fra rød til grønn kyst - Kunnskapsinnhenting for bærekraftig omstilling av havbruksaktiviteten i Vestland». Bergen, 14.12.2023.

Lars Qviller. 2024. Lansering av lusestrategispill. Lusekonferansen 2024. FHF, Trondheim, 23-23.1.2024.

Leif Chr. Stige. 2024. Prosjekt Lusekontroll - kan krevende situasjoner forutses? FHF, Trondheim, 23-23.1.2024.

Noen av foredragene er utført som en del av flere prosjekter i tillegg til Lusekontroll.

Nettapplikasjon

Lusestrategispill: <https://www.vetinst.no/lusestrategispill>

Nyhetsoppslag

Veterinærinstituttets nyhetsside, 14.09.2020. *Skal beregne effekter av ulike tiltak mot lus.* <https://www.vetinst.no/nyheter/skal-beregne-effekter-av-ulike-tiltak-mot-lus> (bl.a. videreformidlet på kyst.no)

Veterinærinstituttets nyhetsside, 20.01.2021. *Styrker forskningen på effekten av rensefisk.* <https://www.vetinst.no/nyheter/styrker-forskningen-pa-effekten-av-rensenfisk> (bl.a. videreformidlet på kyst.no)

Frisk fisk



Sunne dyr



Trygg mat



Faglig ambisiøs, fremtidsrettet og samspillende - for én helse!



Veterinærinstituttet
— Norwegian Veterinary Institute

Ås

Trondheim

Sandnes

Bergen

Harstad

Tromsø

postmottak@vetinst.no
www.vetinst.no