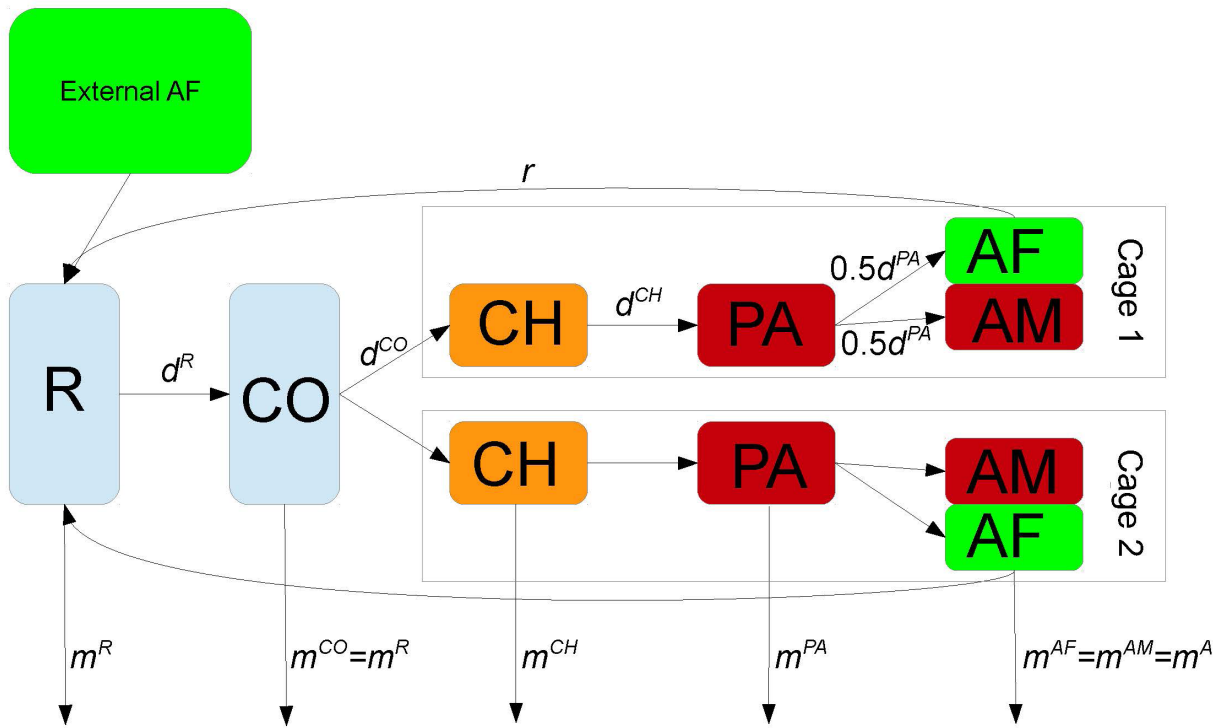


# Videreutvikling av styringsverktøy for kontroll av lakselus i oppdrett



# Faglig sluttrapport, FHF prosjekt 900970: Populasjonsmodell for lakselus på merd og lokalitetsnivå

## Innhold

1. Sammendrag .....	3
English summary .....	4
2. Innledning .....	5
2.1 Faglig bakgrunn .....	5
2.2 Prosjektets omfang .....	6
2.3 Prosjektorganisering .....	6
3. Problemstilling og formål .....	7
4. Prosjektgjennomføring .....	7
4.1. Prognosemodell for smitteutvikling .....	8
4.2. Stadiumstrukturert populasjonsmodell .....	9
5. Oppnådde resultater og diskusjon .....	10
5.1. Prognosemodell for smitteutvikling .....	10
5.2. Stadiumstrukturert populasjonsmodell .....	10
5.3. Scenariosimuleringer gjennomført i prosjektet .....	11
6. Konklusjon .....	13
7. Leveranser .....	13

---

### Forfattere

Randi Nygaard Grøntvedt, Magne Aldrin, Ragnar Bang Huseby, Hildegunn Viljugrein, Audun Stien og Peder A. Jansen

### Oppdragsgiver

Fiskeri og havbruksnæringens forskningsfond FHF

ISSN 1890-3290

© Veterinærinstituttet 2017 / © Norwegian Veterinary Institute 2017

Design omslag: Reine Linjer

Figur forside: Skjematisk oversikt over stadium strukturert populasjonsmodell

## 1. Sammendrag

Utvikling av lus innenfor et område er en kompleks prosess der fisken på oppdrettslokalteter eksponeres for smitte både fra nabolokaliteter og seg selv i varierende grad. For å oppnå en effektiv kontroll av lakselus kreves det god forståelse av denne prosessen og oversikt over utvikling av lus både lokalt og regionalt. Prosjektets formål var å utvikle en demografisk populasjonsmodell for lakselus med basis i data på merdnivå. Modellen skulle gi en større presisjon i estimatet på forekomsten av lus enn de enkelte tellinger, gi en oversikt over alle utviklingsstadier av lus på lokaliteten og være et modellverktøy for populasjonsutviklingen av lakselus på områdenivå som kunne brukes til å evaluere forskjellige område vise kontrollstrategier.

På bakgrunn av opparbeidet merddata fra 32 oppdrettsanlegg med full produksjons syklus i tidsperioden 2011 til 2014, ble det formulert en relativt kompleks stadiumstrukturert populasjonsmodell for lakselus. Denne kombinerer modeller for stadiumstrukturert temperaturavhengig luseutvikling, smitte av lusearver både internt (fra samme lokalitet) og eksternt (fra omliggende anlegg), effekten av benyttede tiltak mot lakselus, og tillater noen grad av tilfeldigheter (uforutsigbarhet) i disse prosessene. Modellen inneholder en rekke parametere der de fleste er biologiske parametere som er felles for alle lokaliteter, og fire parametere som er relatert til lokale forhold og varierer på lokalitetsnivå. Parameterne beregnes ved at modellen tilpasses tilgjengelige lusedata. Modellens estimer på forekomsten av lakselus i oppdrettsanlegg viser godt samsvar med observerte lakselus tall generert i rutinetellinger, men er foreløpig ikke tilrettelagt for implementering i dagens styringssystemer. Modellen gir estimer på effekten av gjennomførte kontrolltiltak mot lakselus, og kan benyttes til prediksjon av lusenivået frem i tid. I perioden 2011 til 2014 var kontrolltiltakene som ble benyttet i hovedsak legemidler og rensefisk. Estimaten for effekten av disse tiltakene bør imidlertid oppdateres med nyere datasett, da resistensutvikling trolig har gitt redusert effekt av de fleste tilgjengelige legemidler og optimalisert bruk av rensefisk kan har gitt økt effekt. I senere tid har det i betydelig økende grad også blitt tatt i bruk andre ikke-medikamentelle metoder mot lakselus. Modellen kan også anvendes som et evalueringsverktøy for disse.

Modellen er tilrettelagt som et verktøy for scenariosimulering slik at en kan evaluere effekten av ulike produksjonsstrategier og kontrolltiltak på nivået av lakselus. Dette gir modellen et stort anvendelsespotensial ettersom ulike hypoteser og muligheter kan testes ut i et matematisk laboratorium, og slik bidra til et informativt beslutningsgrunnlag, før implementering av område vise kontrolltiltak mot lakselus. I prosjektet er det gjennomført en rekke scenariosimuleringer som gir informasjon om enkle justeringer som kan effektivisere eksisterende kontrolltiltak mot lakselus. I tillegg til den komplekse stadiumstrukturerte populasjonsmodellen, er det utviklet en enklere prognosemodell for lakselus. Denne gir prognoser for hvordan luseutviklingen på den enkelte lokalitet og merd er forventet å bli 1-3 uker frem i tid. Denne modellen henter automatisk opp beregning av eksternt smittepress fra Veterinærinstituttets smittepressmodell, og vil bli gjort tilgjengelig som en internettapplikasjon fra mai 2017.

## English summary

The population dynamics of salmon lice in an area is a complex process, where individual salmon farms are exposed to reinfection as well as infection from neighboring farms. Efficient control of salmon lice demands a detailed understanding of this process and knowledge of the state of salmon lice populations both at the local and regional scales.

The aim of the present project was to develop a stage structured population model for salmon lice, fitted to data on a net-pen level. By coupling lice counts over time, the modeling output was intended to increase the precision of estimated lice abundances when compared to single lice counts, keep track of all life-stages of salmon lice on the farms in an area, and be a suitable modelling tool for evaluation of control strategies against salmon lice.

Detailed data on a net-pen level were compiled from 32 salmon farms, covering the full production cycles of farmed salmon over the period 2011 to 2014, and a complex stage structured population model was developed and fitted to these data. The model combines temperature dependent stage development, both internal (from same farm) and external (from surrounding farms) infection of salmon lice copepodids, effects of salmon lice control measures, and allowed for random events in some of these processes. The model contains a number of parameters where most are associated with lice biology, common to all farms, whereas four parameters are related to local conditions and vary between farms. The model estimates the occurrence of all parasitic stages on farms, and model estimates compares well with observed data, but has not yet been adapted for commercial use. The model gives estimates of the efficiency of adopted salmon louse control strategies, and can predict future salmon lice abundances. In the study period from 2011-2014 the control measures in use were predominantly medical treatments or cleaner-fish. It is advisable to update the estimated effects of these control measures since the development of resistance to medical treatments has evolved further and improvements in the use of cleaner-fish may have improved their efficiency. In later years several new control measures have been implemented. The model can also be used to evaluate such new control measures.

The model has been developed as a tool for scenario-simulations, allowing evaluation of salmon lice population effects of different production strategies and control measures for salmon lice. This makes the model useful as a mathematical laboratory that allows hypotheses and options to be evaluated before implementation in the field, and hence provide an informative basis for decision making. Several scenario-simulations have been performed in the project period that suggests simple adjustments that can improve the efficiency of existing control measures.

In addition to the complex stage structured model, a simple prognostic model of salmon lice abundance has been developed. This model provides predictions of lice numbers 1 - 3 weeks ahead. The model make use of the Veterinary Institutes model estimates of external infection pressure and will be available as an open web application from May 2017.

## 2. Innledning

### 2.1 Faglig bakgrunn

God oversikt over lusepopulasjoner i oppdrettsanlegg og hvordan disse vil utvikle seg fremover på bakgrunn av ekstern- og intern-produsert smitte, temperatur og andre påvirkningsfaktorer er viktig for å kunne utarbeide og gjennomføre effektive tiltaksstrategier, både på lokalitets- og områdenivå.

Det er knyttet stor grad av måleusikkerhet til dagens lusetellinger, særlig siden det er ujevn fordeling av lakselus på fisken der noen fisk har mange lus mens de fleste har få lus. Ved rutinetelling av lus på et lite utvalg av fisk vil lusetallene derfor kunne variere stort og gi usikre anslag på forekomsten av lus i hele anlegg. Videre finnes det i dag ingen verktøy som tar hensyn til hvordan lakselus populasjonen i det enkelte anlegget påvirkes av smitte fra omkringliggende anlegg, eller verktøy som holder oversikt over lusepopulasjonen på områdenivå.

En stadium-strukturert populasjonsmodell som følger alle stadier av lus på lokaliteten kan benyttes til å redusere usikkerheten som ligger i enkelttelling. Dette oppnås ved at populasjonsmodellen benytter informasjon fra mange tellinger fra den enkelte lokalitet slik at tilfeldige variasjoner som skyldes måleusikkerheten i enkelttelling, jevnes ut. Populasjonsutvikling på den enkelte lokalitet er påvirket av både internt generert smitte og eksternt smittepress. En populasjonsmodell for lakselus på lokalitets nivå må derfor inkludere beregninger av begge disse kildene til smitte.

Som en start i utviklingen av en populasjonsmodell for lokaliteter ble det i 2012 gjennomført et forprosjekt av Veterinærinstituttet og Norsk Regnesentral i samarbeid med Marin Harvest (finansiert av regionalt forskningsfond), der målsettingen var å utvikle en stadium-strukturert populasjonsmodell for lakselus. Modellen dekket hver merd og hele produksjonsforløpet for ett utsett av fisk på én lokalitet (Aldrin med flere 2013. Notat Norsk Regnesentral, SAMBA/04/13). I det gjennomførte forprosjektet ble det vist at både modelltilpasning til data og simuleringer av luseutviklingen mot slutten av produksjonsforløpet gjenspeilte observerte lusetellinger rimelig godt.

I forprosjektet ble det i modellen inkludert parametere som beregnet hvordan bruk av ulike legemidler hadde effekt på utvikling i lakselus populasjonen ved lokaliteten. Graden av realisme i forhold til populasjonsdynamiske prosesser hos lakselus, og faktiske data på infeksjonsnivå, var i denne prototypen av populasjonsmodell for lakselus, langt større enn noen annen modell som var kjent. Det var imidlertid deler av modellen som burde forbedres, for eksempel ved i større grad å ta hensyn til tilfeldig variasjon i en del prosesser som inngår i lusas populasjonsdynamikk, samt inkludere variasjon i effekten av tiltak mot lus. Ved at lusemodellen ble tilpasset data fra modelllokaliteten var det lusetellingene derfra som lå til grunn for beregningen av alle parameterne i modellen. Dette settet av beregnede parameterverdier kunne derfor sies å være spesifikke for utsett av fisk ved denne lokaliteten. Den generelle gyldigheten av alle parameterne ville en først få innsikt i når modellen ble tilpasset data fra flere utsett av fisk på flere ulike lokaliteter.

## 2.2 Prosjektets omfang

Prosjektet ble omfang er oppsummert i tre arbeidspakker:

A.1 Innsamling og bearbeiding av nye datasett

A.2 Modellforbedring og tilpassing av modell til nye datasett

A.2.1. Forbedring av modell for en enkelt lokalitet

A.2.2. Tilpassing av modell til nye datasett

A.2.3 Beregning av ekstern smitte

A.2.4. Validering og demonstrasjon av bruk av modellen

A.3 Utvikling av pilot områdemodell

Under arbeidspakke A.3 ble det inkludert bruk av den utviklede områdemodellen til scenariosimuleringer. Videre ble det etter ønske fra styringsgruppen utviklet en forenklet modell som på bakgrunn av lusetellinger skulle kunne predikere luseutviklingen på enkeltlokaliteter en kort periode frem i tid (inntil 3 uker).

Datasett som ble bearbeidet i A.1 og som dannet videre grunnlag for hele prosjektet kom fra 32 oppdrettsanlegg (se figur 1) og inkluderte produksjonsdata, lusetellinger, informasjon om rensefiskbruk og legemiddelbruk mot lakselus. Data inkluderte produksjonstid fra vår 2011 til høst 2014.

## 2.3 Prosjektorganisering

Prosjektet ble organisert i en utførende prosjektgruppe samt en styringsgruppe med oppfølging fra FHF.

### Prosjektgruppe:

Magne Aldrin og Ragnar Bang Huseby, Norsk Regnesentral.

Peder Jansen og Hildegunn Viljugrein, Veterinærinstituttet.

Audun Stien, Norsk Institutt for Naturforskning

Ottar Nordal Bjørnstad, The Pennsylvania State University

Arne Guttvik, SalMar

Marit Stormoen, Marine Harvest.

Randi Nygaard Grøntvedt, INAQ AS (tidligere Veterinærinstituttet i prosjektperioden) Prosjektleder.

### Styringsgruppe:

Ketil Rykhus, Sjømat Norge

Marit Stormoen, Marine Harvest

Arne Guttvik, Salmar

### Oppfølging fra FHF:

Kjell Maroni, FHF

### 3. Problemstilling og formål

Hovedmål med prosjektet var å utvikle en demografisk populasjonsmodell for lakselus med basis i data på merdnivå, som med større presisjon enn de enkelte lusetellinger skulle gi en oversikt over alle utviklingsstadier av lus på lokaliteter. Denne skulle videre utvikles til et modellverktøy for populasjonsutvikling av lakselus på områdenivå, der lokaliteter ble knyttet sammen basert på smittekontakt.

Prosjektet hadde tre beskrevne effektmål:

- Bidra til et modell basert verktøy som gir presis oversikt over forekomst av ulike utviklingsstadier i lusas livssyklus og som tallfester lusenivå mer presist enn enkelt tellinger
- Bidra til et verktøy som kan forutsi og beregne utvikling av lusepopulasjonen og smitteproduksjon slik at tiltak kan planlegges og iverksettes tidsnok for kontroll av lusepopulasjonen
- Bidra til et verktøy som kan beregne effekter av ulike tiltak på kort og lengre sikt, slik at integrert lusekontroll kan planlegges og implementeres

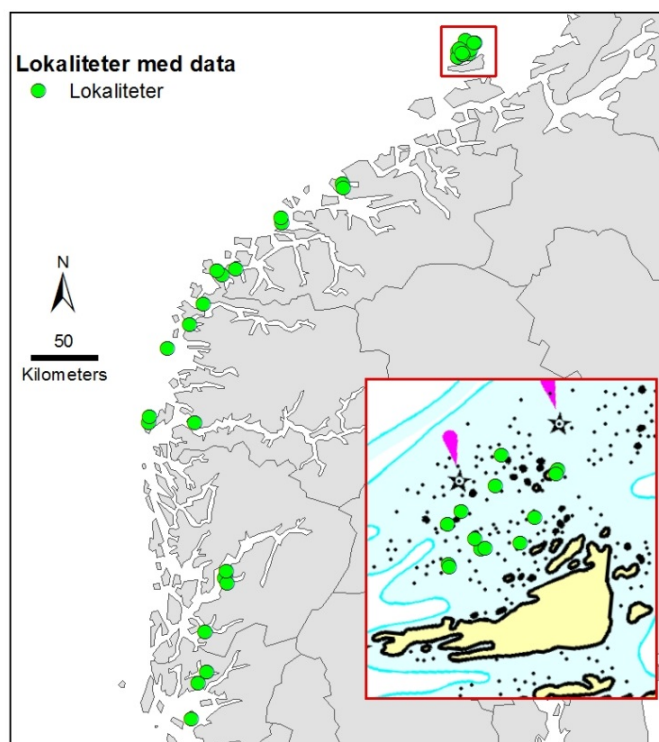
Prosjektets resultatmål var:

- Å utvikle en populasjonsmodell for lakselus som drives av henholdsvis ekstern- og intern-produsert smitte og som dekker hver merd på en gitt lokalitet, og dermed hele lokaliteten som summen av alle merder.
- Å simulere infeksjonsutvikling under ulike tiltaks-scenarier for dermed å kunne optimalisere bruk av tiltak på kort og lang sikt
- Tilgjengeliggjøring av åpen programvare som er tilrettelagt for videre implementering i kommersielle styringssystem på oppdrettslokaliteter og/eller til bruk for beslutningstagere.
- Å utvikle en pilot områdemodell der populasjonsmodeller på lokalitetsnivå er integrert i smittekontakt-nettverk basert, i første omgang, på sjøavstander.

### 4. Prosjektgjennomføring

I løpet av prosjektet har det blitt utviklet to sett av modeller for å beskrive lusepopulasjoner på merd- og lokalitetsnivå. Den enkleste av disse er en regresjonsmodell hvis hovedformål er å kunne gi prognoser for utvikling av lusetall 1-3 uker fram i tid. Den andre modellen er en stadiumstrukturert populasjonsmodell med en mer biologisk motivert oppbygning, og med et større anvendelsesfelt, deriblant prognoser med lengre tidshorisont og scenariosimulering.

Data som er opparbeidet i prosjektet dekker hele utsett (produksjonssyklus) fra årene 2011 - 2014 fra anlegg spredt over mesteparten av Vestlandet, i tillegg til 12 nære naboanlegg fra et område nært Frøya i Sør-Trøndelag (Figur 3).



Figur 1. Lokalteter med opparbeidete lusedata på merdnivå over produksjonssyklar.

#### 4.1. Prognosemodell for smitteutvikling

Etter ønske fra medlemmer av styringsgruppen ble det utviklet en enkel prognosemodell for beregning av smitteutvikling tre uker frem i tid på merdnivå. Prognosemodellen ble parameterisert ved tilpassing til lusedata med en antagelse om en negativ binominal variansstruktur. Lusedataene som ble modellert var summen av antall mobile lus (dvs. kategoriene kjønnsmodne hunnlus og preadulte lus samt adulte hannlus). På grunn av antagelsen om en negativ binominal fordelingen ble data på gjennomsnittlig antall lus per fisk per merd multiplisert med 30 og avrundet til nærmeste heltall. Denne tilnærmingen tar hensyn til at brukere kan taste inn et gjennomsnitt, fremfor antall lus per fisk i et tellesampel, ved bruk av modellen. Kun data som dekket perioden 1. mai til 1. januar ble brukt i modell utviklingen, fordi det er i denne perioden det er størst behov for prognosevektøyet. Totalt var datagrunnlaget i utviklingen av modellen; 4434 unike lusetellinger på merdnivå, fra 25 ulike utsett av laks på 25 lokaliteter.

Forklaringsvariablene som inngår i modellen er gjennomsnittlig antall mobile lus talt i merd ved forrige telling; vekt på fisk i merden; hvorvidt det ble observert fastsittende lus i merden ved forrige telling; estimert smittepress fra alle eksterne oppdrettsanlegg samt intern-produsert smittepress; og hvorvidt beregnet innblanding av rensefisk overstiger 1 % av antall laks i merden, etter å ha tatt hensyn til beregnet dødelighet av rensefisken (jmf stadiumstrukturert modell).

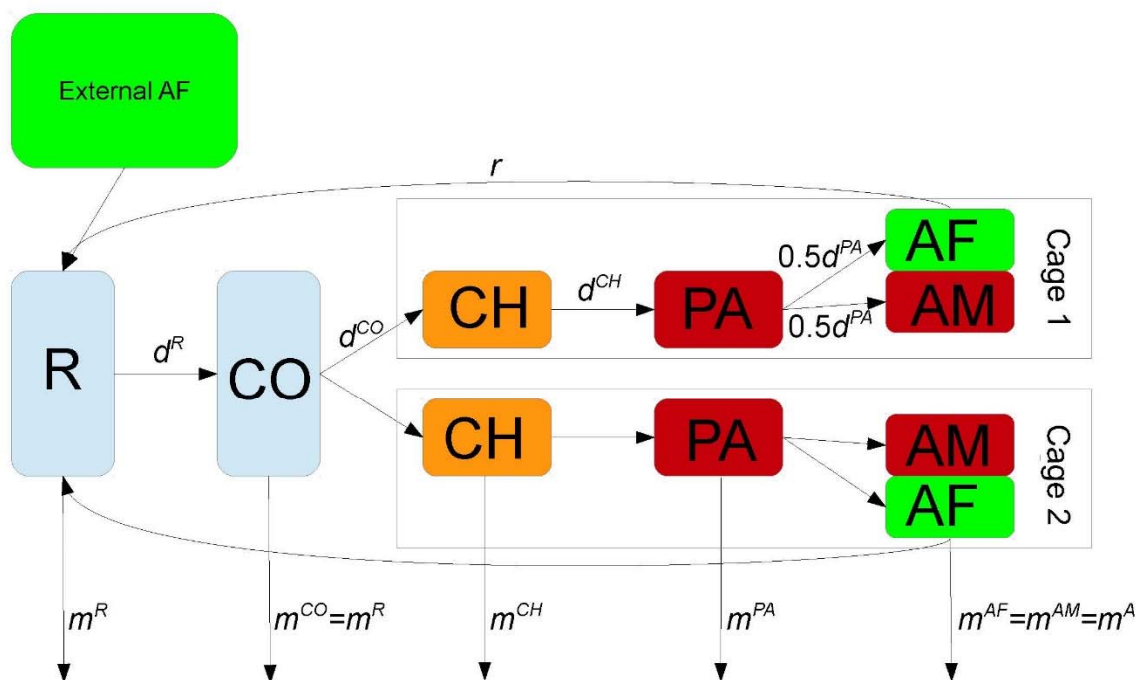
Det ble også skilt mellom to tilnærminger. Den ene tilpasset en behandlingsstrategi som omfatter alle merdene i anlegget (hele anlegget) mens den andre er tilpasset en merdvis strategi. I den første tilnærmingen inngår gjennomsnittlig antall lus på lokaliteten i forrige uke som forklaringsvariabel. Denne variabelen tenderer til å jevne ut prediksjonene for ulike merder frem i tid. For modellen som er tilpasset en merdvis behandlingsstrategi, inngår ikke lusetall på lokalitetsnivå som prediktor.



## 4.2. Stadiumstrukturert populasjonsmodell

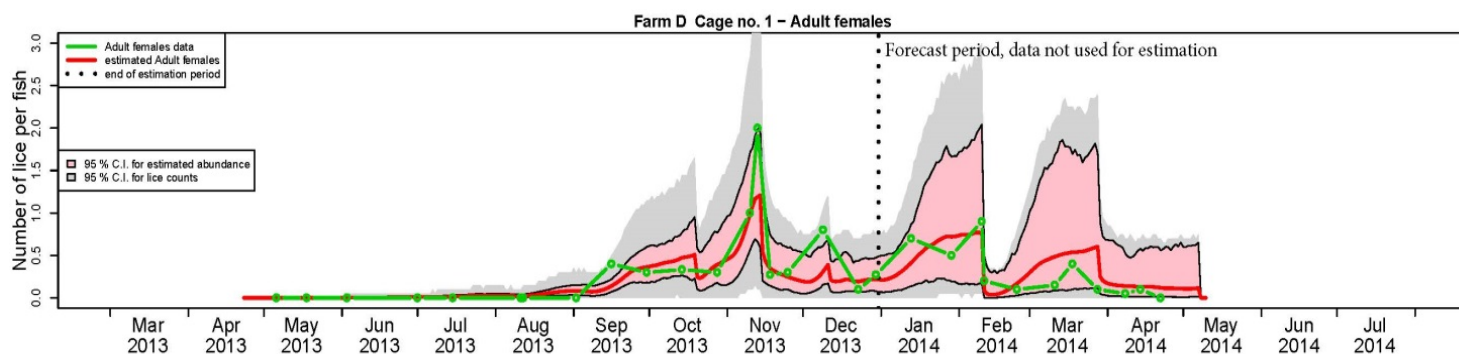
Den stadiumstrukturerte modellen beskriver hele lusas livsløp fra egg via frittlevende larver til lus på fisken, hvor lus på fisken videre deles inn i chalimi (fastsittende), preadulte og voksne hunn- og hannlus (Figur 2). Utviklingstider fra et stadium til neste avhenger av vanntemperatur. Videre vil voksne hunnlus generere nye egg, og i tillegg til smitte knyttet til egengenererte avkom vil det være eksternt påslag av lus som skyldes smitte fra naboanlegg. Dødelighet inkluderer naturlig dødelighet og dødelighet som skyldes ulike typer behandlinger, deriblant bruk av rensefisk. Modellen inneholder en rekke parametere som må tallfestes, og dette er gjort ved tilpasning til detaljerte merddata innhentet og strukturert fra én full produksjonssyklus for hvert av 32 oppdrettsanlegg i perioden 2011-2014. I modellen ligger det kun fire størrelser som vil variere på lokalitetsnivå der en av dem beregnes på forhånd basert på data fra naboanlegg (a) og tre (b, c, og d) beregnes automatisk i modellen basert på data fra lokaliteten:

- Ekstern smitte: tidsvarierende ekstern smitte beregnes basert på antall hunnlus på naboanlegg vektet mot sjøavstand (ekstern smittepressberegning Veterinærinstituttet). Data på antall hunnlus på naboanlegg kommer fra innrapporterte havbruksdata.
- Ett mål på hvor utsatt den enkelte lokalitet er for smitte, beregnet basert på erfaringsdata fra lokaliteten.
- Ett mål på hvor utsatt den enkelte merd er for smitt, beregnet basert på erfaringsdata fra merdene på den enkelte lokalitet
- Tidsvarierende dødelighet for 3 ulike lusestadier som kompenserer for variasjon i dødelig av ukjent årsak



**Figur 2.** Oversikt over stadium strukturert populasjonsmodell for en lokalitet med to merder. I modellen går lusa gjennom fem ulike stadier: Rekrutter (R, egg og ikke-infektive larver), kopepoditter (CO, infektive larver), chalimi (CH), preadulte (PA) og adulte (A) lus, hvor adulte lus deles inn i hunner (Af) og hanner (AM). Pilene merket med «d» betegner utvikling til neste stadium, mens pilene merket med «m» betegner dødelighet.

Et eksempel på modelltilpasning for én enkelt merd fra utsett til slakt vises i figur 3. Grønn kurve er registrerte antall hunnlus per fisk fra lusetellinger på anlegget. Modelltilpasning (rød kurve) gjøres fram til og med desember 2013, mens videre prognoser for 2014 er basert på data til og med 31. desember 2013 (etter stiplet linje). Tilsvarende tilpasninger og videre prognoser ble gjennomført for en rekke merder fra flere lokaliteter. Disse og en detaljert beskrivelse av selve modellen er gitt i innlevert manuskript (Aldrin med flere 2017)



Figur 3. Observasjoner og modellberegninger av gjennomsnittlig forekomst av kjønnsmodne hunnlus per fisk i en merd over en produksjonssyklus (utsett - slakt). Grønn linje er telledata voksne hunnlus, rød linje er modellberegnet antall voksne hunnlus. I perioden etter stiplet vertikal er modellen brukt til å beregne forekomster av lus uten bruk av observasjonsdata fra denne merden.

## 5. Oppnådde resultater og diskusjon

### 5.1. Prognosemodell for smitteutvikling

Den enkle prognosemodellen er utviklet på Veterinærinstituttet. For å gjøre den tilgjengelig for næringen er prognosemodellen programmert som en internettapplikasjon. Modellen bruker eksternt smittepress beregnet av Veterinærinstituttets smittepressmodell og applikasjonen henter automatisk ut disse beregningene for gitte lokaliteter og for den uke man er interessert i. Videre må bruker av applikasjonen taste inn gjennomsnittsansall lus per fisk, gjennomsnittsvekt av fisk, hvorvidt rensefisk anvendes og hvorvidt man observerte fastsittende lus under lusetelling, for hver merd i anlegget man vil lage prognoser for. På bakgrunn av disse opplysningene, beregner applikasjonen forventet utvikling i gjennomsnittsansall lus per fisk tre uker frem i tid, samt usikkerhet rundt beregningene. Ved at man kan hente inn smittepress for uker bakover i tid, er det også mulig å sammenligne faktiske observasjoner i historiske data med prediksjoner fra modellen. Internettapplikasjonen vil være ferdig utviklet til bruk i løpet av mai 2017.

Presisjonen og anvendelighet av prognosemodellen vil fremkomme gjennom omfanget næringens bruk og brukernes tilbakemeldinger etter at den tas i bruk. Bedre beregninger av effekten av ulike ikke-medikamentelle tiltak for bekjempelse av lakselus, er ett aspekt som vil kunne forbedres og kunne øke anvendeligheten av prognosemodellen Dette vil imidlertid kreve en oppdatering av datagrunnlag, med særlig fokus på dokumentasjon av slike effekter.

### 5.2. Stadiumstrukturert populasjonsmodell

Den stadiumstrukturerte modellen har blitt programmert i en kombinasjon av programmeringsspråkene C og R, og er tilrettelagt til bruk for videre forskningsformål, inkludert re-estimering av modellparametre og scenariosimulering (se under). Den er imidlertid så langt ikke tilrettelagt som åpen programvare, og kan per i dag ikke inkluderes i kommersiell programvare. Vi vil i etterkant av prosjektet arbeide for at modellen inkluderes i eksisterende eller nye programsystemer slik at den kan utnyttes fullt ut til prognoser av lusenivå og i planleggingen av tiltak mot lakselus.

Høyre side (fra og med 1. januar 2014) av Figur 2 viser et eksempel på prognoser fra modellen for en enkelt merd, hvor prognosene tar i bruk data til og med 31. desember 2013. I dette tilfellet treffer modellen veldig godt i januar og februar 2014 i og med at prognosen (rød linje) og lusetellingene (grønne punkter) sammenfaller godt. Imidlertid er prognoseusikkerheten relativt stor, noe høyden på det rosa området illustrerer. Det at usikkerheten synliggjøres som her, gir viktig tilleggsinformasjon: Figuren viser at man allerede 31. desember kunne si at det var en mulighet for at det kunne bli mer enn 0,5 voksne hunnlus per fisk én uke ut i januar (se på øvre del av rosa område), hvilket også inntraff i dette tilfellet. Oppdretteren kunne brukt en slik modellprediksjon til å handle i forkant og behandle mot lus i løpet av januar. I virkeligheten ventet oppdretteren til et stykke ut i februar med å behandle, og da var nivået for lokaliteten som helhet (figur ikke vist) langt oversteget 0,5 voksne hunnlus per fisk.

Som nevnt over har parameterne i den stadiumstrukturerte modellen blitt estimert ved bruk av detaljerte data fra 32 oppdrettsanlegg. Dette gir innsikt i lusas livsløp, blant annet relatert til naturlig dødelighet i ulike stadier og temperaturavhengig utviklingshastighet fra ett stadium til neste. Modell estimatene tyder på at en eventuell tetthetsavhengighet i lakselusa sin reproduksjon er av liten betydning for bestandsdynamikken.

Modellen beregnet effektiviteten av ulike legemidler brukt i perioden 2011-2014 som relativt god. Disse estimatene kan være utdaterte allerede på grunn av økende resistensutvikling i lakselus populasjonene. I tillegg har flere nye ikke-medikamentelle behandlingsmetoder blitt tatt i bruk siden 2014. Dette innebærer at det vil være nyttig å oppdatere modellparameterne ved tilpasning til nyere data, og spesielt data fra lokaliteter som har benyttet disse nye ikke-medikamentelle behandlingsmetodene. I et annet avsluttet prosjekt er effektiviteten av en ikke-medikamentell metode evaluert ved hjelp av modellen og fullskala produksjonsdata. I et annet pågående prosjekt skal modellen brukes til å estimere effektiviteten ved bruk av rensefisk. Gode evalueringer av effekten av de ulike ikke-medikamentelle metodene som tas i bruk vil være sentralt for videre kontroll av lakselus. Modellverktøyet utviklet i dette FHF prosjektet vil ved mindre tilpasninger kunne anvendes til slike evalueringer til nytte for hele næringen.

### 5.3 Scenariosimuleringer gjennomført i prosjektet

Den stadiumstrukturerte populasjonsmodellen er tilrettelagt for scenariosimuleringer. Dette innebærer at det kan undersøkes hvilke effekter ulike produksjonsstrategier har på nivået av lakselus i modellen, før det eventuelt iverksettes tiltak. I prosjektet er flere slike scenariosimuleringer gjennomført (Aldrin og Huseby 2017). Effektene er tallfestet som *hvor stor prosentvis reduksjon i antall behandlinger per produksjon som kan oppnås* ved å bytte fra én strategi til en annen. En behandling er her definert som en behandling med umiddelbar effekt på lus i fastsittende og bevegelige stadier, med en dødelighet på 50-95 %. Dette kan være en medikamentell behandling eller en ikke-medikamentell behandling. En effekt er beregnet som en samlet effekt for et geografisk område hvor det antas at alle oppdrettsanlegg i området i følger samme strategi. Resultatene kan oppsummeres slik:

- Såfremt lus telles ofte nok og på nok fisk, er en merdvis behandlings-strategi mer gunstig enn en lokalitetsstrategi. Hvis det brukes en merdvis strategi og det telles lus på 20 fisk i hver merd hver uke kan antall behandlinger reduseres med om lag 25 % i forhold til en lokalitetsstrategi hvor det telles 10 fisk i hver merd annenhver uke (hver uke telles det i halvparten av merdene). Med en merdvis strategi menes her at hver merd overvåkes for seg selv og at lusebehandling kun gjennomføres når det observerte antallet lus per fisk i merden kommer over en viss tiltaksgrense. Med en lokalitetsstrategi menes en tilnærming der alle merder behandles samtidig hvis observert antall lus per fisk i gjennomsnitt over alle talte merder er over en tiltaksgrense.
- Ved å øke antall fisk som telles fra 10 til 20 fisk per merd kan antall behandlinger reduseres med ca. 10 % ved en merdvis strategi og med ca. 5 % ved en lokalitetsstrategi.
- Ved å øke tellefrekvensen per merd fra annenhver uke til ukentlig kan antall behandlinger reduseres med 10 % eller mer ved en merdvis strategi og med ca. 5 % ved en lokalitetsstrategi.

- Hvis tiltaksgrensa baseres på tellinger av alle bevegelige lus (sum av preadulte og voksne) i stedet for kun voksne hunnlus, kan antall behandlinger reduseres med drøye 10 %, både ved en merdvis og ved en lokalitetsstrategi.
- Hvis tiltaksgrensa baserer seg på alle bevegelige lus og det brukes en merdvis strategi hvor det telles lus på 20 fisk i hver merd hver uke kan antall behandlinger reduseres med nær 35 % i forhold til en lokalitetsstrategi hvor det telles 10 fisk i hver merd annenhver uke og tiltaksgrensa er basert på voksne hunnlus. Dette siste kan sies å være minstekravet i luseforskriften.

For de øvrige beregningene (som oppsummeres under) antar vi at det følges en strategi med en tiltaksgrense basert på antall voksne hunnlus, men som ellers er basert på den beste kombinasjonen av de ulike valg angitt over. Det vil si en merdvis strategi med ukentlige tellinger på 20 fisk i hver merd. Dette telleoppsettet er i dag standard for noen oppdrettsselskaper.

- Om en kan produsere smolten i lukket anlegg i én ekstra måned før utsett, og dermed å sette ut fisken én måned seinere enn ved et ordinært utsett, kan antall behandlinger reduseres med 6-8 %. Om en øker produksjonstida i lukket anlegg til 6 måneder kan antall behandlinger reduseres med nær 40 %. Hvis en kan redusere påslaget av nye lus med 50 % i en periode, f.eks. ved å bruke skjørt på hver merd fram til første voksne hunnlus oppdages i merda, kan antall behandlinger reduseres med om lag 15 %.
- Hvis en kan benytte en kontinuerlig avlusningsmetode som gir en ekstra dødelighet på 5 % per dag for lus i de bevegelige stadiene (preadulte og voksne) gjennom hele produksjonssyklusen, f.eks. ved bruk av rensefisk eller optisk avlusning, så kan antall behandlinger reduseres med om lag 60 %.
- Alternativt, hvis en kan benytte en kontinuerlig avlusningsmetode som gir en ekstra dødelighet på 5 % per dag for fastsittende lus (chalimus) gjennom hele produksjonssyklusen, så kan antall behandlinger reduseres med om lag 70 %.
- Bruk av rensefisk med 5 % innblanding (1 rensefisk per 20 laks) kan redusere antall behandlinger med om lag 50 %. Dette estimatet skiller ikke mellom type rensefisk, og baserer seg på den estimerte rensefisk-effektiviteten beregnet fra data fra 2011-2014. Det er godt mulig at en i dag har en bedre effektivitet av rensefisk for samme innblandingsprosent, i og med at oppdretterne har fått mer erfaring med bruk av rensefisk.
- Det ser ikke ut til å lønne seg å ha en ekstra streng lusegrense på høsten, for dermed å gå inn i vinteren med et lavt lusenivå. Helt konkret, hvis grensa for å gjennomføre en behandling reduseres til 1/3 av hva den er resten av året kan det føre til en økning i totalt antall behandlinger på 6-8 %.
- Til slutt har vi undersøkt i hvilken grad 25 % økt produksjon innen ett anlegg vil føre til flere behandlinger. Her fant vi at en slik økning vil kreve omkring 20 % flere behandlinger, og i tillegg vil hver av behandlingene måtte gjennomføres på flere fisk og flere lus, hvilket betyr at hvis det brukes en medikamentell behandling må totaldosen trolig økes og flere lus vil bli utsatt for behandling med påfølgende fare for økt resistens. Dersom en alternativt har tilsvarende produksjonsøkning ved økning i antall anlegg og i stedet for antall fisk per anlegg, vil det totale smittepresset øke som trolig medfører en økning i antall behandlinger per anlegg (er ikke beregnet hvor mye) og økende resistensutvikling

## 6. Konklusjon

Den utviklede populasjonsmodellen kombinerer modeller for lakselusens stadiumstrukturerte utvikling, intern og ekstern smitte av luselarver, modeller for å inkludere påvirkning av ulike tiltak mot lakselus, samt elementer som tillater tilfeldigheter i disse prosessene. Dette gir et unikt verktøy som kan benyttes videre som et matematisk laboratorium med flere anvendelser:

- Studere hvordan den enkelte lokalitet og merder er eksponert for eksternt og internt smitte av luselarver i sitt nærområde. Dette kan være nyttig for å forstå forholdene på egen lokalitet.
- Vurdering av effekt til ulike tiltak som gjennomføres enten for å hindre påslag av lakselus eller for å øke dødeligheten til de parasittiske stadiene på laksen.
- Studere gjennom scenariosimuleringer hvordan ulike strategier mot lakselus gir effekt spesielt innenfor bestemte produksjonsområder
- Sammenstilling av data for evaluering av gjennomførte lakseproduksjoner og tiltak mot lus som grunnlag for videre diskusjoner og optimalisering av lusekontroll

Å bruke modellverktøyet for å utforske hvordan ulike strategier og metoder kan ha effekt mot lakselus vil være et nyttig hjelpemiddel for videre utvikling av strategier mot lakselus med marginal bruk av legemidler. Lakselusens populasjonsdynamikk er særdeles kompleks der smitte av lakselus er sammenknyttet med produksjonsstrukturen. Videre bruk av den utviklede stadiumstrukturerte modellen kan bidra til en større forståelse av hvordan områdevis strategier mot lakselus bør gjennomføres for optimal kontroll med lakselus.

Modellverktøyet estimerer mengden lus i oppdrettsanlegg rimelig godt sammenlignet med observerte lus fra manuelle lusetellinger. I prosjektet er ikke modellen klarlagt som åpen programvare for implementering i styringssystemer, men dette jobbes det videre med etter prosjektslutt. I tillegg til den komplekse stadiumstrukturerte modellen er det i prosjektet utviklet en enklere prognosemodell for luseutvikling. Denne vil være tilgjengelig som en internettapplikasjon våren 2017, og presisjonen vil kunne vurderes etter at den er tatt i bruk. Bruk av modeller for prediksjon av luseutvikling vil kunne bidra som en støtte i beslutninger om tiltak mot lus.

I havbruksnæringen foregår det nå utvikling av automatiske lusetellinger som vil kunne være en ny datakilde på antall lus i oppdrettsanlegg. Automatiske lusetellinger må kunne skille mellom de ulike lusestadiene og vurderes opp mot manuelle lusetellinger. Den utviklede stadiumstrukturerte modellen vil enkelt kunne bruke automatiske lusetellinger som en ny datakilde. Dette vil bidra til en stadiumbasert kalibrering av automatiske lusetellinger og bidra i vurderingen av hvordan automatiske lusetellinger kan forenkle overvåking av lus i oppdrettsanlegg og minimere behovet for manuelle tellinger. FHF prosjektet «Populasjonsmodell for lakselus på merd og lokalitetsnivå - videreutvikling av styringsverktøy for kontroll med lakselus i oppdrett» har bidratt med utvikling av modellverktøy med mange anvendelsesområder.

## 7. Leveranser

### Workshops

Gjennom prosjektperioden er det gjennomført 5 arbeidsmøter med involverte næringsaktører, der resultater og aktiviteter fortløpende har blitt diskutert.

### Tidskriftsartikkel (innsendt)

Aldrin, M., Huseby, R.B., Stien, A., Grøntvedt, R.N., Viljugrein, H., Jansen, P.A. (2017). A stage-structured Bayesian hierarchical model for salmon lice populations at individual salmon farms - Estimated from multiple farm data sets. <http://arxiv.org/pdf/1701.08043>  
Submitted to Ecological Modelling.

**Teknisk rapport**

Aldrin, M. og Huseby, R.B. (2017). Effekter av ulike strategier for bekjempelse av lakselus. Norsk Regnesentral, NR-notat SAMBA/05/17

**Foredrag**

Aldrin, M. (2017). Populasjonsmodell for lakselus i oppdrettsanlegg, Frisk Fisk 2017, Bergen, 1.-2. februar 2017.

Aldrin, M. (2015). Modelling the salmon lice population at a salmon farm. International Biometric Society Channel Conference 2015, Nijmegen, 20.-22. April 2015.

Aldrin, M. (2015). Modelling the salmon lice population at a salmon farm. 5th Nordic-Baltic Biometric Conference, Reykjavik, 8.-10. juni 2015.

Aldrin, M. (2015). Populasjonsmodell for lakselus i et oppdrettsanlegg. Frisk Fisk 2015, Tromsø, 3.-4. mars 2017.

Viljugrein, H. (2015). Salmon lice and infection pressure in Norwegian aquaculture. Lab meeting at Centre for Infectious Diseases (CIDD). Huck Institutes of the Life Sciences, Penn-State University, USA, 14. oktober 2015.

Jansen, P.A. (2017). Enkel prognosemodell for utvikling av luseinfeksjon. Frisk Fisk-konferansen, Bergen.

Jansen, P.A. (2017). Lusevarsel for de neste ukene? Konferansen: Medikamentfri Lakseluskontroll, Trondheim.

Jansen, P.A. (2017). Presentasjon av prognosemodell for Fiskehelseansvarlige i Salmar. Trondheim

**Nettapplikasjon**

Lusekalkulator: <http://35.158.65.144/lusekalkulator/>

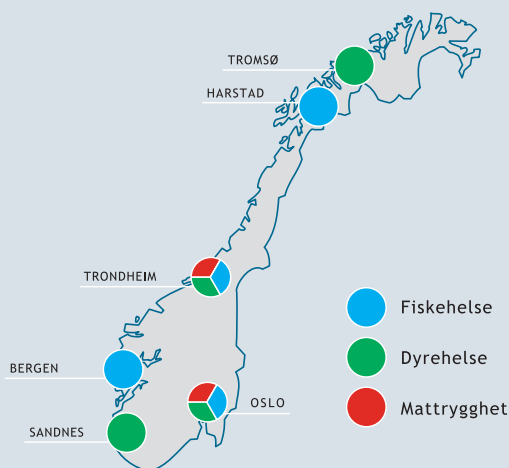
(adressen vil endres til: <http://apps.vetinst.not/lusekalkulator/> innen ferdigstilling mai 2017)

*Faglig ambisjøs, fremtidsrettet og samspillende - for én helse!*

Veterinærinstituttet er et nasjonalt forskningsinstitutt innen dyrehelse, fiskehelse, mattrygghet og fôrhygiene med uavhengig kunnskapsutvikling til myndighetene som primæroppgave.

Beredskap, diagnostikk, overvåking, referansefunksjoner, rådgivning og risikovurderinger er de viktigste virksomhetsområdene. Produkter og tjenester er resultater og rapporter fra forskning, analyser og diagnostikk, og utredninger og råd innen virksomhetsområdene. Veterinærinstituttet samarbeider med en rekke institusjoner i inn- og utland.

Veterinærinstituttet har hovedlaboratorium og administrasjon i Oslo, og regionale laboratorier i Sandnes, Bergen, Trondheim, Harstad og Tromsø.



Fiskehelse



Dyrehelse



Mattrygghet



Oslo  
postmottak@vetinst.no

Trondheim  
vit@vetinst.no

Sandnes  
vis@vetinst.no

Bergen  
post.vib@vetinst.no

Harstad  
vih@vetinst.no

Tromsø  
vitr@vetinst.no

[www.vetinst.no](http://www.vetinst.no)



**Veterinærinstituttet**  
Norwegian Veterinary Institute