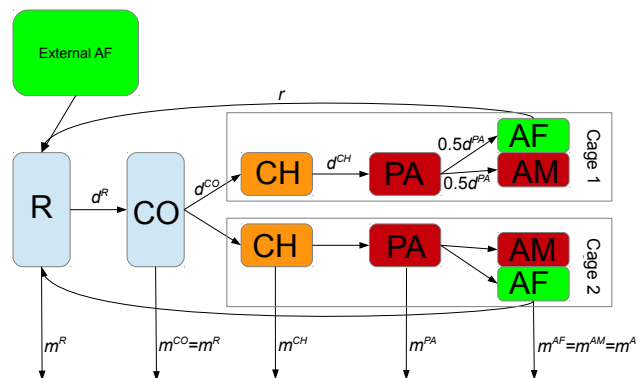


Sluttrapport for prosjekt FHF:901424

“Re-estimering av populasjonsmodell for lakselus basert på data fra Rogaland”



Notatnr
Forfatter

SAMBA/11/18
Magne Aldrin
Ragnar Bang Huseby

Dato

12. juli 2018

Forfatteren

Magne Aldrin og Ragnar Bang Huseby er ansatt ved Norsk Regnesentral.

Norsk Regnesentral

Norsk Regnesentral (NR) er en privat, uavhengig stiftelse som utfører oppdragsforskning for bedrifter og det offentlige i det norske og internasjonale markedet. NR ble etablert i 1952 og har kontorer i Kristen Nygaards hus ved Universitetet i Oslo. NR er et av Europas største miljøer innen anvendt statistisk-matematisk modellering og har et senter for forskningsdrevet innovasjon, Big Insight, med finansiering fra Norges forskningsråd, bedrifter og offentlige partnere. Innen statistikk jobbes det med et bredt spekter av problemstillinger, for eksempel finansiell risiko, jordobservasjon, estimering av fiskebestander, helse og beskrivelse av geologien i petroleumsreservoarer. NR er ledende i Norge innen utvalgte deler av informasjons- og kommunikasjonsteknologi. Innen IKT-området har NR innsatsområdene e-inkludering, informasjonssikkerhet og smarte informasjonssystemer.

NRs visjon er forskningsresultater som brukes og synes.

Tittel **Sluttrapport for prosjekt FHF:901424
“Re-estimering av populasjonsmodell for
lakselus basert på data fra Rogaland”**

Forfatter **Magne Aldrin** <magne.aldrin@nr.no>
Ragnar Bang Huseby <ragnar.huseby@nr.no>

Dato 12. juli 2018

Publikasjonsnummer SAMBA/11/18

Sammendrag

En populasjonsmodell for lakselus er utviklet i et tidligere prosjekt finansiert av FHF, og estimert på data fra perioden 2011-2014 for oppdrettsanlegg på Vestlandet og Trøndelag. I det nåværende prosjektet er modellen reestimert på nyere data, dvs. fra perioden 2012-2017, for en del oppdrettsanlegg i Rogaland. Videre er modellen utvidet med en del nye elementer, deriblant effekt av nye typer behandlinger og av salinitet, samt at rensefisk er delt inn i rognkjeks og leppefisk. En hovedhensikt med prosjektet er å tilrettelegge for at modellen skal kunne brukes til scenariosimulering i det pågående prosjektet FHF:901414 “Enhetlig proaktiv lusestrategi Rogaland”, hvor det i tillegg vil inkluderes data fra enda flere oppdrettsanlegg i Rogalandsregionen. Når det gjelder de nye typer behandlinger estimerer modellen at termisk, mekanisk og ferskvannsbehandling gir omkring 55-70% dødelighet av lus i pre-adulte og voksne stadier. Utover det vil modellen i andre sammenhenger kunne brukes til scenariosimulering, til estimering av effekt av ulike tiltak og til å lage merdvide prognoser for lakselus en del uker fram i tid.

English summary: In this project, an existing population model for salmon lice has been extended and re-estimated on new data from Rogaland from the period 2012-2017. The model extensions consist of i) including new, non-medical treatments, ii) letting mortality depend on salinity and iii) to separate the effect of cleaner fish into the effects of lumpsucker and wrasse. A main goal for the project has been to make the model ready to be used as a tool for scenario simulations in the ongoing project FHF:901414 “Enhetlig proaktiv lusestrategi Rogaland”. Regarding the new types of non-medical treatments, we estimate that thermal, mechanical and freshwater treatments yield a mortality of about 55-70% on pre-adult and adult lice.

Emneord	
Målgruppe	
Tilgjengelighet	Åpen
Prosjekt	
Prosjektnummer	
Satsningsområde	Marin og helse
Antall sider	19
© Copyright	Norsk Regnesentral

Innhold

1	Innledning	6
2	Problemstilling og formål	6
3	Prosjektgjennomføring	7
4	Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon	11
	4.1 Hovedresultater	11
	4.2 Sammenligning med resultater fra andre studier	16
5	Hovedfunn	18
6	Leveranser	18
	Referanser	18

1 Innledning

Norsk Regnesentral, i samarbeid med Veterinærinstituttet og Norsk institutt for naturforskning, har tidligere utviklet en populasjonsmodell for lakselus, hovedsakelig finansiert av FHF. Denne modellen skal brukes til scenariosimulering i prosjektet FHF:901414 "Enhetlig proaktiv lusestrategi Rogaland" som startet høsten 2017.

I det nåværende prosjektet FHF:901424 "Re-estimering av populasjonsmodell for lakselus basert på data fra Rogaland", som denne rapporten beskriver, har populasjonsmodellen blitt utvidet og re-estimert på nye data fra to av oppdrettselskapene Rogaland, Marine Harvest og Bremnes Seashore. Hovedhensikten har vært å få modellen mest mulig oppdatert til bruk i det større prosjektet "Strategi lakselus 2017-2018", hvor modellen forøvrig skal oppdateres nok en gang med data de fleste av de øvrige oppdrettsselskapene i Rogaland.

Prosjektets omfang har vært kr. 450.000. Opprinnelig var det planlagt at Veterinærinstituttet skulle delta aktivt i prosjektet og at deres arbeid skulle vært finansiert gjennom en mindre, men ikke nærmere spesifisert, andel av totalrammen. Dette har ikke skjedd. Årsaken er i hovedsak at Norsk Regnesentral gjorde jobben med datahåndtering aleine, samt at bistand i form av råd og diskusjoner har foregått gjennom øvrig kontakt med Veterinærinstituttet.

Sjefsforsker Magne Aldrin har vært prosjektleder hos Norsk Regnesentral mens seniorforsker Ragnar Bang Huseby har utført en betydelig del av arbeidet. Selv om Veterinærinstituttet som nevnt ikke har vært finansert av prosjektet, har Peder Jansen hos Veterinærinstituttet bidratt med råd underveis. Kjell Maroni har vært hovedkontaktperson hos FHF, mens Randi Grøntvedt Nygård fra INAQ har bidratt som kompetanseperson på vegne av FHF.

2 Problemstilling og formål

Lakselus er i dag et problem både for oppdrettsnæringa og for villaks og sjørret, og det arbeides på mange ulike felter for å redusere problemet. Dette inkluderer arbeid for å oppnå økt biologisk forståelse av lusa og utvikling av nye behandlingsmetoder og av preventive kontrollstrategier. I dette prosjektet videreutvikles og oppdateres en populasjonsmodell for lakselus som kan nyttiggjøres i denne sammenhengen.

Hovedhensikten med prosjektet er å tilrettelegge for at modellen kan brukes til scenariosimulering i et større prosjekt i Rogaland, for på den måten kunne tall-

feste effekten av ulike kontrollstrategier i Rogaland spesielt, men også generelt i den grad resultatene kan generaliseres. I tillegg estimeres fullskala-effekten (dvs. dødelighet på lus) av en del nye ikke-medikamentelle behandlinger. Videre estimeres temperaturavhengige utviklingstider for lusas utvikling et stadium til det neste, basert på fullskala data, og disse resultatene er et nyttig supplement til tilsvarende beregninger basert på laboratorieforsøk. Tilsvarende beregnes det en økt lusedødelighet ved lavere salinitet, igjen basert på fullskala data.

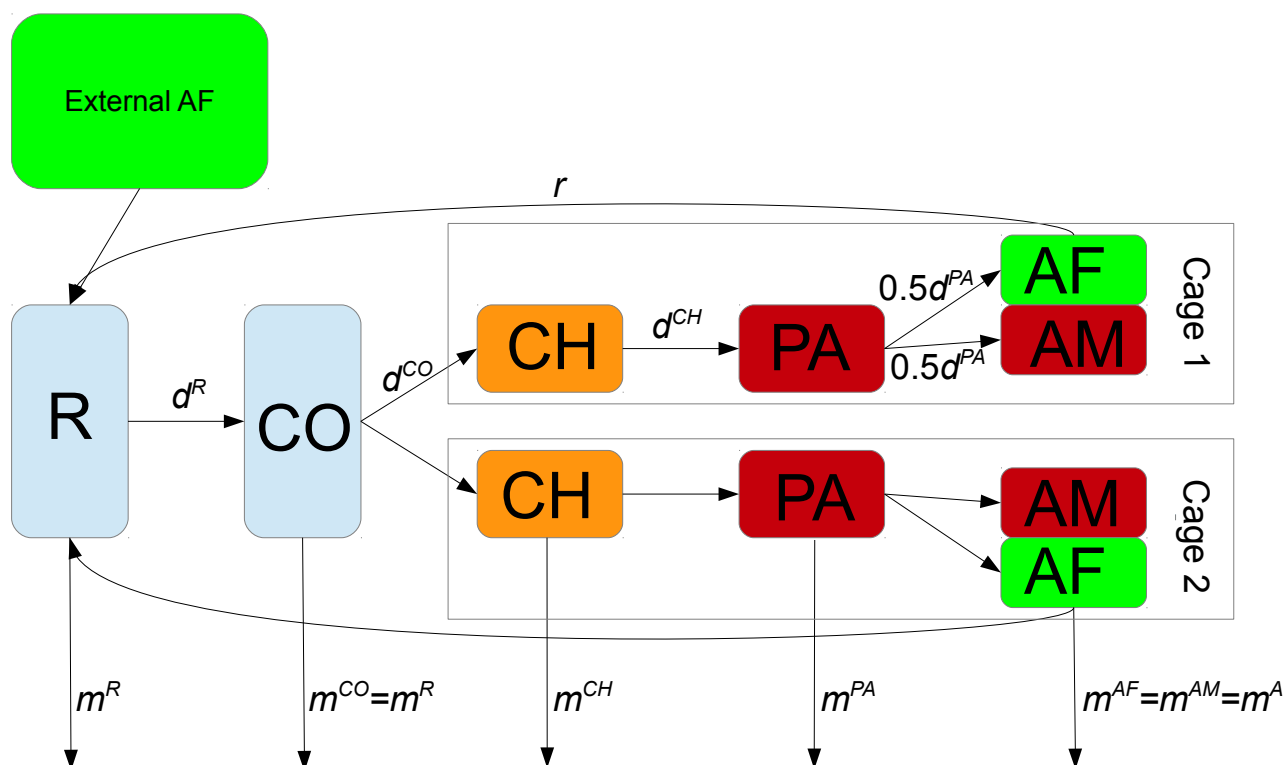
Prosjektets viktigste resultatmål har vært å få i stand en oppdatert versjon av modellen slik at den kan brukes til scenariosimulering i det større prosjektet i Rogaland. Et sekundært resultatmål har vært å estimere eller tallfeste ulike størrelser av interesse og publisere resultatene, deriblant i denne rapporten.

3 Prosjektgjennomføring

Under beskriver vi hovedtrekkene i populasjonsmodellen. En full beskrivelse av modellen i den versjon den forelå sommeren 2017 finnes i artikkelen “A stage-structured Bayesian hierarchical model for salmon lice populations at individual salmon farms - Estimated from multiple farm data sets” publisert i tidsskriftet *Ecological Modelling* (Aldrin et al., 2017).

Populasjonsmodellen er en stadiestrukturert modell for hvordan lusa utvikler seg gjennom ulike stadier fra egg til voksne hunnlus, og hvordan de er tilknyttet et oppdrettsanlegg og de enkelte merdene i anlegget. Den er videre stokastisk, slik at hvis en simulerer fra modellen gjentatte ganger under samme forutsetninger vil en få variasjon i resultatene, og dette er ment å gjenspeile usikkerhet og tilfeldig variasjon. Figur 1 viser en oversikt over modellen. I modellen er lusas livsløp delt inn i fem stadier, dvs. at i modellen er noen av de virkelige biologiske stadiene slått sammen. Rekruttstadiet (R) består av egg og larver i nauplii-stadiet. Kopepoditt-stadiet (CO) består av av infektive larver som ennå ikke har funnet en vertsfisk. (Vi ignorerer den korte tida hvor kopepodittene har funnet en vertsfisk, men ennå ikke har utviklet seg til chalimus-stadiet.) Chalimus-stadiet (CH) består av fastsittende lus på fisken, deretter kommer det pre-adulte (PA, bevegelige) og til sist det adulte eller voksne stadiet (A, også bevegelige). De voksne deles videre inn i voksne hunnlus (AF) og voksne hannlus (AM). I de to første stadiene (R og CO) er lusa ennå ikke tilordnet en merd, mens for de tre påfølgende stadiene, hvor lusa sitter på fisken, er lusepopulasjonen fordelt på merder. I hvert stadium kan lusa i løpet av et døgn enten dø, utvikle seg til neste stadium eller forbli i stadiet ett døgn til. I tillegg kan voksne hunnlus produsere nye rekrutter som forblir i anlegget (internsmitte) eller spres til naboanlegg, og rekrutter kan

også tilføres fra naboanlegg (eksternsmitte). Lus i de siste tre stadiene telles på et utvalg av fisk, typisk hver eller annenhver uke i hver merd.



Figur 1. Oversikt over populasjonmodellen for lakselus som er brukt i scenariosimuleringene. Lus i stadier markert med oransje, rødt og grønt blir talt, mens lus i de blå stadiene ikke blir talt. Lus er assosiert med en merd fra de er fastsittende på en fisk (dvs. i chalimus-stadiet), her illustrert på et anlegg med to merder. Bokstavene d, m og r symboliserer henholdsvis utvikling til neste stadium, dødelighet og rekruttering av nye lus (d for development, m for mortality og r for recruitment).

Det som først og fremst skiller denne modellen fra lignende modeller, er at alle modellparametre er estimert ut fra reelle, fullskala produksjonsdata, selv om resultater basert på laboratoriereksperimenter er brukt som tilleggsmateriale. Modellparameterne i populasjonsmodeller for lakselus som er presentert i litteraturen tidligere, har hovedsakelig vært basert på data fra laboratorieeksperimenter eller småskala-eksperimenter. Vi estimerer modellparameterne fra fullskala data, men bruker også i noen grad resultater fra laboratoriedata og generell biologisk kunnskap for å sikre at resultatene er biologisk plausible.

Den versjon av modellen som forelå sommeren 2017 var estimert på grunnlag

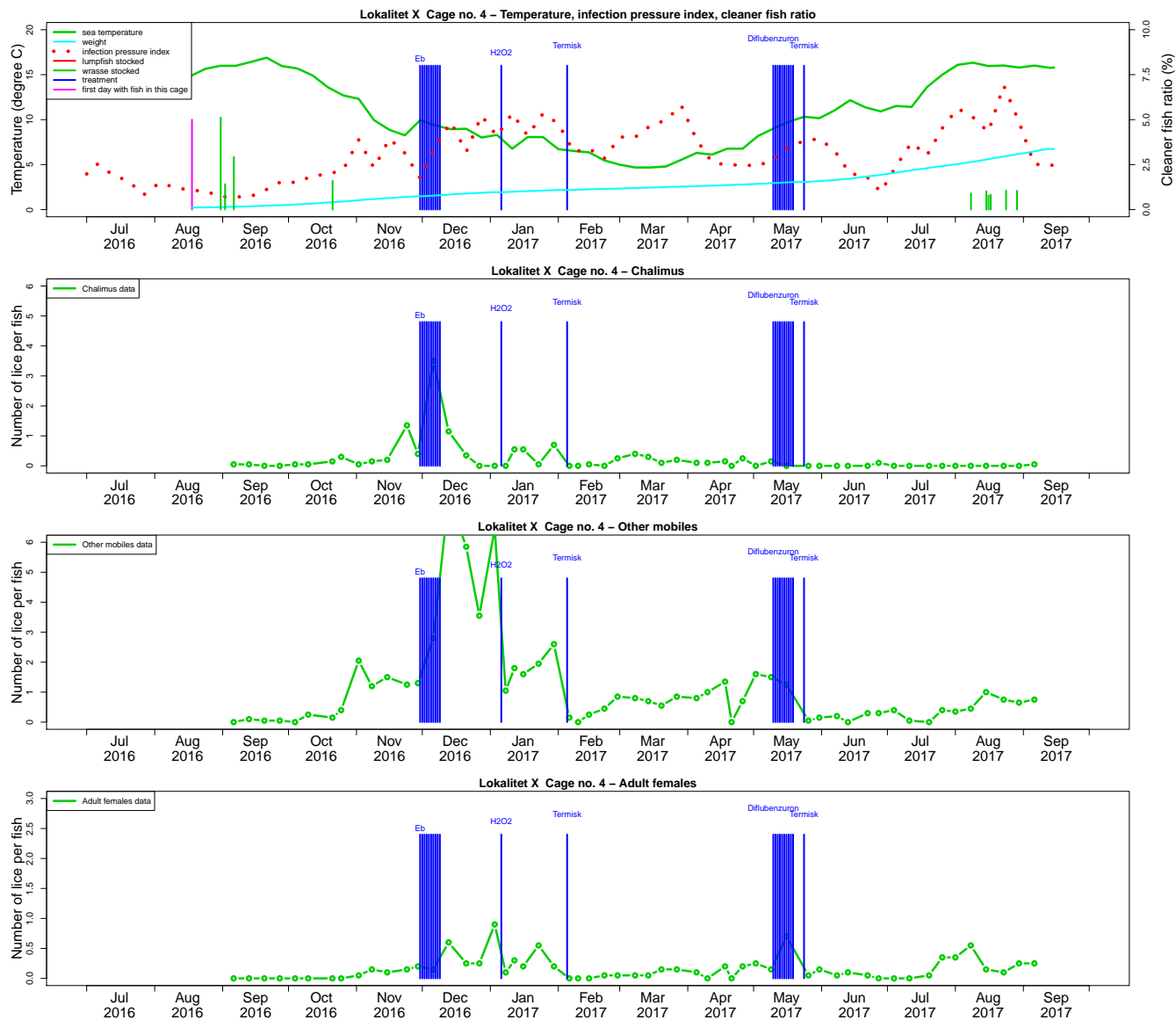
av data fra èn full produksjonssyklus for hvert av 32 oppdrettsanlegg tilhørende Marine Harvest, Salmar og Måsøval, i perioden 2011-2014. I dette prosjektet har vi re-estimert modellen på data fra 28 fullførte og 11 påbegynte produksjonssykluser fra til sammen 19 oppdrettsanlegg tilhørende Marine Harvest og Bremnes Seashore i Rogaland. Fisken har vært satt ut mellom juni 2012 og august 2017, og data er tilgjengelig til og med 15. september 2017.

Følgende elementer er nye i dette prosjektet:

- Tre nye ikke-medikamentelle behandlinger, termisk (Thermolicer, Optilicer), mekanisk (Hydrolicer) og ferskvann.
- Naturlig dødelighet for lusa er avhengig av *modellert* salinitet. fra Meteorologisk institutt sin ROMS NorKyst800m-modellen.
- Rensefisk er gruppert i rognkjeks og leppefisk, og deres effekt er videre delt inn i effekt på pre-adulte og på voksne lus.

Prosjektet var opprinnelig planlagt ferdig 31/12-2017, men har blitt forsinket. Det skyldes delvis at det tok noe lenger tid enn antatt å få de nødvendige data, men hovedårsaken har vært at vi ikke fikk de resultatene vi forventet når det gjaldt effekt av rensefisk. Dette førte til mye ekstra arbeid med kvalitetssikring av programkode og utprøving av ulike måter å inkludere rensefisk i modellen på.

Utover det har prosjektet forløpt som planlagt og med de forventede resultater. Steinsvik AS sto for levering av data fra lokalitetene til Bremnes Seashore og Marine Harvest, og det gikk smertefritt



Figur 2. Eksempel på data for én enkelt merd. Øverste panel viser følgende bakgrunnsdata: Tidspunkt for utsett (rosa vertikal strek i august 2016), utsett av leppefisk (grønne vertikale streker), behandlinger (blå vertikale streker), vekt på laks i merda (blå kurve), sjøtemperatur (grønn kurve) og smittepress fra naboanlegg (rød, prikket kurve). De tre nederste panelene viser tellinger av henholdsvis fastsittende lus (chalimus), bevegelige lus utenom voksne hunnlus pre-adulte lus og voksne hannlus) og voksne hunnlus.

4 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

4.1 Hovedresultater

Prosjektets hovedresultat er at populasjonsmodellen er oppdatert og tilrettelagt for å kunne brukes til scenariosimulering i det pågående prosjektet FHF:901414 “Enhetlig proaktiv lusestrategi Rogaland”.

Samtidig er endel av de estimerte størrelsene av generell interesse, og disse gjen- gis under, og i kapittel 4.2 sammenlignes disse med resultater fra andre studier. Merk at modellen vil oppdateres nok en gang i prosjektet FHF:901414 “Enhetlig proaktiv lusestrategi Rogaland” med data fra enda flere oppdrettsanlegg i Ro- galandsregionen. Vi forventer derfor å kunne presentere oppdaterte resultater omkring årsskiftet 2018/2019.

Vi har ikke data for egg, nauplier eller kopepoditter. Derfor bør modellestima- ter for disse stadiene fortolkes med varsomhet og være mer usikre enn angitt og være konfundert eller sammenblandet med hverandre. F.eks. vil en for høy reproduksjon (antall egg per døgn) kunne kompenseres med økt dødelighet av egg, nauplier eller kopepoditter.

Tabell 1 viser estimerte median utviklingstid fra et stadium til det neste ved sjø- temperaturer på henholdsvis, 5, 10 og 15°C. Dette er altså den tid det tar til halv- partene av lusa i et stadium har utviklet seg til neste stadium. I tillegg kommer den tid det tar for en kopepoditt å finne en vertsfisk.

Tabell 2 viser estimerte daglig naturlig dødelighet for lus i ulike stadier, for nor- mal salinitet og salinitet 20 psu. Vi har modellert lusas dødelighet i ulike stadier som en funksjon av *modellert* salinitet ved 3m dyp, og tallfestet hvor mye døde- ligheten øker ved synkende salinitet. Vi har brukt modellert salinitet fra ROMS NorKyst800m-modellen til Meteorologisk institutt, fordi denne er tilgjengelig for hele landet og dermed kan brukes i andre sammenhenger også. Resultatene kan ikke nødvendigvis sammenlignes med resultater fra laboratorieeksperimenter, både fordi vi bruker modellert, og ikke reell salinitet, men også fordi salinitet kan variere betydelig med dyp, og mesteparten av fisken, og dermed også lusa på fisken, oppholder seg dypere enn 3m. Videre er modellen utformet slik at det som fortolkes som dødelighet i larvestadiene i tillegg til reell dødelighet inklu- derer luselarver som driver vekk fra oppdrettsanleggene. Men resultatet er klart i den forstand at dødeligheten for lus i larvestadier øker med synkende salini- tet. Med modellens fortolkning av dødelighet inkluderer det muligheten for at luselarvene responderer på lav salinitet på en slik måte at de driver vekk fra an-

Tabell 1. Estimater med 95% usikkerhetsintervall (95% C.I.) for median utviklingstid (i dager) fra ett stadium til det neste for ulike sjøtemperaturer. CO=kopepoditter, CH=chalmus, PA=pre-adulte, A=adulte=voksne.

Stadium	Temperatur (°C)	Estimat	95% C.I.
Egg	5	6.2	5.9-6.3
Nauplier	5	2.8	2.7-3.1
CH	5	26.4	25-27
PA	5	22.5	21-24
Egg	10	4.8	4.6-4.9
Nauplier	10	2.2	2.1-2.4
CH	10	14.0	14-14
PA	10	14.0	13-15
Egg	15	4.1	4.0-4.2
Nauplier	15	1.9	1.8-2.0
CH	15	9.9	9-10
PA	15	10.6	10-11

legg med lav salinitet. For lus på fisken er det en tendens til det samme, men for disse stadiene er usikkerheten svært stor, og det er uklart om dette er en viktig effekt ved de saliniteter en lokalitet kan oppleve i praksis. I disse beregningene har gjennomsnittlig daglig dødelighet for chalmus og pre-adulte lus ved normal salinitet vært satt til faste verdier, basert på noen foreløpige beregninger basert på de samme dataene. Ved seinere oppdateringer av modellen vil også disse bli estimert.

Tabell 2. Estimater med 95% usikkerhetsintervall (95% C.I.) av lusas dødelighet i ulike stadier for normal (større enn 30 psu) og lav (20 psu) salinitet. R=rekrutter=egg og nauplier, CO=kopepoditter, CH=chalmus, PA=pre-adulte, A=adulte=voksne.

Stadium	Salinitet (psu)	Estimat	95% C.I.
R og CO	≥30	0.32	0.32-0.33
CH	≥30	0.010	
PA	≥30	0.038	
A	≥30	0.12	0.11-0.13
R og CO	20	0.83	0.72-0.90
CH	20	0.054	0.011-0.159
PA	20	0.150	0.040-0.369
A	20	0.38	0.14-0.61

Tabell 3 viser estimert effekt av noen medikamentelle behandlingsmetoder og av de nye ikke-medikamentelle metodene som vi deler inn i termisk, mekanisk og ferskvannsbehandling. Fordi noen av metodene ikke nødvendigvis fører til

umiddelbar dødelighet av lusa, har vi angitt andel lus som har dødd som følge av behandlingen 10 dager etter gjennomført behandling. For de medikamentelle metodene har vi også oppgitt estimatene fra forrige versjon av modellen, basert på data fra 2011 til 2014. Vi ser at effekten av de medikamentelle metodene har blitt betydelig dårligere, og i 2017 og 2018 er de nok enda lavere enn angitt her, siden dataene som er brukt er fra perioden 2012-2017, og økende resistens har ført til synkende effekt.

Tabell 3. Estimater med 95% usikkerhetsintervall (95% C.I.) av effekt av ulike behandlingsmetoder i denne studien og i Aldrin et al. (2017), hvor effekt her er definert som andel (i %) lus drept innen 10 dager etter behandling ved en sjøtemperatur på 10°C. CH=chalmus, PA=pre-adulte, A=adulte=voksne.

Type behandling	Antatt å virke på følgende stadier	Aldrin et al. (2017)		Denne studien	
		Data fra 2011-2014		Data fra 2012-2017	
		Estimat	95% C.I.	Estimat	95% C.I.
Hydrogenperoksid	PA, A	99	97-100	73	63-81
Pyretroider	CH, PA, A	94	89-98	89	82-94
Azametifos	PA, A	75	64-86	50	38-62
Termisk	CH, PA, A			71	64-76
Mekanisk	CH, PA, A			55	32-76
Ferskvann	CH, PA, A			64	37-84

Tabell 4 viser estimert daglig dødelighet av pre-adulte og voksne lus grunnet rensefisk ved en rensefiskinnblanding på 10%. Vi vil påpeke at vi ikke har pålitelige data for rensefiskinnblanding, kun for antall og tidspunkt for rensefisk satt inn i den enkelte merd, samt at vi også kjenner antall laks (eller ørret) i merda. Vi bruker derfor en estimert rensefiskinnblanding som framkommer ved at det samtidig estimeres en daglig dødelighet av rensefisken. Dette, sammen med at rensefisk har en langsiktig, og ikke umiddelbar, effekt, gjør at det er vanskelig å estimere effekten av rensefisk. I forrige versjon av modellen antok vi at en viss rensefiskinnblanding gir en gitt prosentvis dødelighet av lusa. I den nye modellformuleringa antar vi at hver rensefisk er i stand til å spise en viss mengde lus per dag, slik at det ved lavere lusetall blir en større prosentvis lusedødelighet for en gitt rensefiskinnblanding. Denne formuleringa ga en bedre tilpasning til dataene enn en variant med prosentvis effekt som før. I forrige versjon av modellen antok vi dessuten lik effekt av alle rensefisktyper, og lik effekt på pre-adulte som på voksne lus.

Leppefisk gir en daglig dødelighet på omkring 1.3-1.4% på preadulte og voksne lus ved et nivå på 1 lus (av hvert stadium) per fisk, og dette øker til omkring 12% ved et lavt lusenivå på 0.1 lus per fisk. Vi har imidlertid ikke funnet noen nevneverdig effekt av bruk av rognkjeks i disse dataene (Tabell 4). Vi får tilsva-

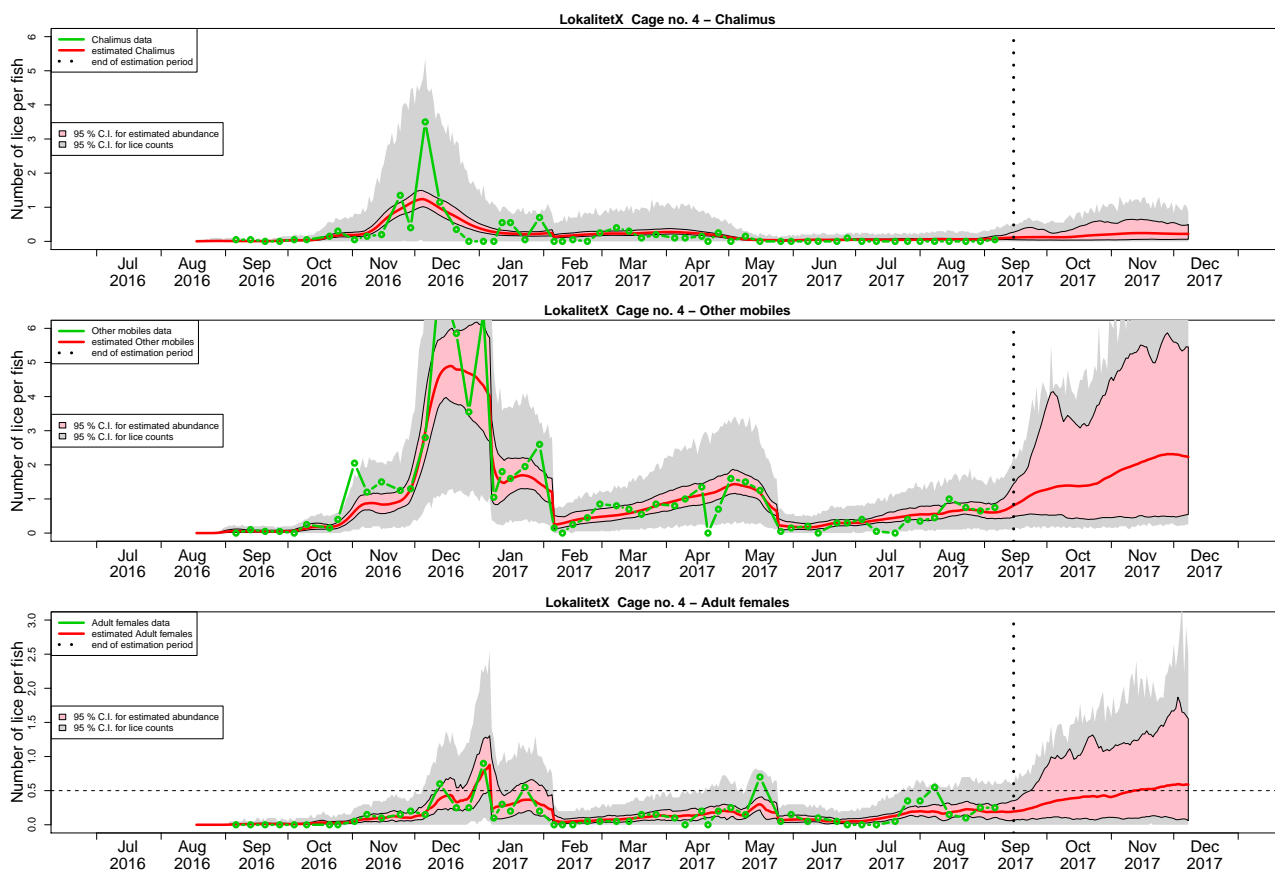
rende resultater om vi i stedet antar en prosentvis effekt av rensefisk slik som i forrige modellversjon, ved at vi estimerer at 10% innblanding av rognkjeks gir daglig 0.1% dødelighet på pre-adulte lus og 0.4% på voksne hunnlus, mens den tilsvarende estimerte effekten av leppefisk er 2.4 og 2.6%. Disse resultatene endres lite ved andre modellformuleringer, deriblant hvis effekten er temperaturavhengig eller er avhengig av vekt på laksen, eller hvis det er en viss forsinkelse før rensefisken starter å spise lus.

Vi har så langt ingen plausibel forklaring på at den estimerte effekten av rognkjeks blir så liten. Dette er ikke i samsvar med generell kunnskap, og vi har ikke noen plausibel forklaring på vårt resultat, disse resultatene kan således virke lite troverdige. Disse resultatene må imidlertid fortolkes med større varsomhet enn øvrige resultater fra modellen, fordi det er ukjent hvor stor rensefiskinnblanding det er til enhver tid og fordi det er mye vanskeligere å avdekke en liten, men jevn, effekt enn en større og umiddelbar effekt slik som ved medikamentelle og ikke-medikamentelle lusebehandlinger. Videre kan det være regionale forskjeller mellom hvor effektive de ulike rensefiskartene er, i tillegg til at sjøtemperatur og andre faktorer spiller en rolle. Det er generelt behov for mer forskning på effekt av rensefisk. For egen del vil vi arbeide videre med dette basert på det samme rammeverket i to pågående prosjekter; det ene med data fra lokaliteter i Trøndelag og det andre med data fra flere lokaliteter og nyere utsett i Rogaland i prosjektet "Enhetlig proaktiv lusestrategi Rogaland".

Tabell 4. Estimer med 95% usikkerhetsintervall (95% C.I.) av effekt av rensefisk i denne studien og i Aldrin et al. (2017), hvor effekt her er definert som andel (i%) lus drept per dag ved 10% rensefiskinnblanding. PA=pre-adulte, A=adulte=voksne.

Art	Stadium	Aldrin et al. (2017) Data fra 2011-2014		Denne studien Data fra 2012-2017 1 lus per fisk		Denne studien Data fra 2012-2017 0.1 lus per fisk	
		Estimat	95% C.I.	Estimat	95% C.I.	Estimat	95% C.I.
Rognkjeks	PA	7.9	6.0-9.9	0.0	0.0-0.1	0.2	0.0-0.8
Rognkjeks	A	"-	—"—	0.1	0.0-0.1	0.5	0.1-1.5
Leppefisk	PA	"-	—"—	1.3	1.2-1.6	13.5	11.9-15.5
Leppefisk	A	"-	—"—	1.4	1.2-1.6	13.9	12.3-15.7

Vi har nevnt at resultatene for rensefisk er spesielt usikre. De øvrige resultatene virker troverdige, også sett i lys av andre studier, se kapittel 4.2.



Figur 3. Eksempel på data, modelltilpasning og prognoser for én enkelt merd. De tre panelene gjelder henholdsvis fastsittende lus, bevegelige lus(utenom voksne hunner) og voksne hunnlus. 15. september 2017 (prikket, svart, vertikal linje) er siste dag med data, slik at kurvene til høyre for det er prognoser fram i tid. Hvert panel inneholder lusetellinger (grønne sirkler med streker i mellom), beste estimat/prognose (rød kurve), 95% usikkerhetsintervall for reelt lusenivå i merda (rosa intervall), 95% usikkerhetsintervall for hvor vi kan forvente observerte lusetellinger basert på telling på 10 fisk (grått intervall).

4.2 Sammenligning med resultater fra andre studier

Tabell 5 viser estimert median utviklingstid fra ett stadium til det neste for en sjøtemperatur på 10°C i denne studien. Tabellen viser også delvis sammenlignbare resultater fra andre studier. I forrige versjon av modellen (Aldrin et al., 2017) var estimert utviklingstid fra CH til PA høyere enn i andre studier, mens utviklingstid fra PÅ til A var tilsvarende lavere enn flere andre studier. Resultatene fra den nåværende analysen samsvarer derimot relativt godt med resultatene fra andre studier.

Tabell 5. Estimer med 95% usikkerhetsintervall (95% C.I.) for median utviklingstid (i dager) fra ett stadium til det neste for en sjøtemperatur på 10°C, sammen med punktestimer eller intervaller fra andre studier. CO=kopepoditter, CH=chalmus, PA=pre-adulte, A=adulte=voksne.

Stadium	Punkt estimat eller intervall	95% C.I.	Estimat av hva	Kjønn	Kommentar	Referanse
Egg	4.8	4.6-4.9	median			denne studien
	5.0	4.5-5.8	median			Aldrin et al. (2017)
	8.8		minimum		fra deres ligning (8) og tabell 3	Stien et al. (2005)
	4.6		gj.snitt			Samsing et al. (2016)
Nauplier	2.2	2.1-2.4	median			denne studien
	4.0	3.2-4.5	median			Aldrin et al. (2017)
	3.6		minimum		fra deres ligning (8) og tabell 3	Stien et al. (2005)
	3.8		gj.snitt			Samsing et al. (2016)
CH	14.0	14.0-14.0	median			denne studien
	18.8	18.0-19.0	median			Aldrin et al. (2017)
	15.4		minimum	hanner	fra deres ligning (8) og tabell 3	Stien et al. (2005)
	16.5		minimum	hunner	fra deres ligning (8) og tabell 3	Stien et al. (2005)
	11-13		intervall	hanner		Eichner et al. (2015)
	13-15		intervall	hunner		Eichner et al. (2015)
	11-14		minimum		5 forsøk med "juvenile Pacific salmon" ved 9-11°C	Krkošek et al. (2009)
PA	14.0	13.0-15.0	median			denne studien
	10.5	10.0-11.0	median			Aldrin et al. (2017)
	10.4		minimum	hanner	beregnet som forskjell mellom tid fra CH til A og fra CH til PA	Stien et al. (2005)
	15.4		minimum	hunner	beregnet som forskjell mellom tid fra CH til A og fra CH til PA	Stien et al. (2005)

Tabell 6. Estimater med 95% usikkerhetsintervall (95% C.I.) av lusas dødelighet i ulike stadier for normal (større enn 30 psu) salinitet sammen med punktestimater eller intervaller fra andre studier. R=rekrutter=egg og nauplier, CO=kopepoditter, CH=chalimus, PA=pre-adulte, A=adulte=voksne. Estimater for dødelighet for CH og PA er i denne studien satt fast og ikke estimert.

Stage	Punkt estimat eller intervall	95% C.I.	Kjønn	Kommentar	Referanse
Nauplier	0.32	0.32-0.33		for R=egg+nauplier, inkludert drift vekk	denne studien
	0.30	0.29-0.32		for R=egg+nauplier, inkludert drift vekk	Aldrin et al. (2017)
	0.17			"plausible verdier"	Stien et al. (2005)
CO	0.32	0.32-0.33		=dødelighet for R	denne studien
	0.30	0.29-0.32		=dødelighet for R	Aldrin et al. (2017)
	0.22			"plausible verdier"	Stien et al. (2005)
CH	0.010				denne studien
	0.0010	0.0008-0.0011			Aldrin et al. (2017)
	0.002-0.01			"plausible verdier"	Stien et al. (2005)
	0.0006-0.020			ytre grenser fra 4 rapporterte studier	--
PA	0.0002-0.026			intervall over 7 forsøk med "juvenile Pacific salmon"	Krkošek et al. (2009)
	0.038				denne studien
	0.0071	0.0055-0.0095			Aldrin et al. (2017)
	0.02-0.18		hanner	"plausible verdier"	Stien et al. (2005)
	0.002-0.21		hanner	ytre grenser fra 4 rapporterte studier	--
	0.03-0.07		hunner	"plausible verdier"	--
	0.011-0.102		hunner	ytre grenser fra 4 rapporterte studier	--
0.14-0.34			PA+A kombinert, intervall over 7 forsøk med "juvenile Pacific salmon"	Krkošek et al. (2009)	
A	0.12	0.12-0.13			denne studien
	0.12	0.11-0.13			Aldrin et al. (2017)
	0.03-0.06		hanner	"plausible verdier"	Stien et al. (2005)
	0.008-0.26		hanner	ytre grenser fra 4 rapporterte studier	--
	0.02-0.04		hunner	"plausible verdier"	--
	0.003-0.70		hunner	ytre grenser fra 3 rapporterte studier	--
	0.14-0.34			PA+A kombinert, intervall over 7 forsøk med "juvenile Pacific salmon"	Krkošek et al. (2009)

5 Hovedfunn

- Termisk behandling gir i gjennomsnitt en dødelighet på 71% for pre-adulte og adulte lus (95% usikkerhetsintervall 64-76%).
- Mekanisk behandling (spyling og børsting) gir i gjennomsnitt en dødelighet på 55% for pre-adulte og adulte lus (95% usikkerhetsintervall 32-76%).
- Ferskvannsbehandling gir i gjennomsnitt en dødelighet på 64% for pre-adulte og adulte lus (95% usikkerhetsintervall 37-84%).
- Medikamentelle behandlinger har fortsatt effekt, men den er lavere enn før.
- Vi har estimert at ved en sjøtemperatur på 10°C er median utviklingstid fra chalimus til pre-adult så vel som fra pre-adult til adult omkring 14 dager. Dette er i samsvar med andre undersøkelser.
- Lavere salinitet gir lavere smittepress, som i vårt modellrammeverk er håndtert som at lavere salinitet gir økt dødeligheten for lus i larvestadiene.
- Leppefisk gir økt dødelighet av lus på fisken, særlig ved relativt lave luse-nivåer. Vi har imidlertid ikke funnet noen nevneverdig effekt av bruk av rognkjeks i disse dataene fra Rogaland. Dette er ikke i samsvar med generell kunnskap, og i kapittel 4.1 diskuterer vi mulige årsaker til dette resultatet og behovet for mer forskning på effekt av rensefisk.

6 Leveranser

- En oppdatert modell som kan brukes bl.a. til scenariosimulering
- Denne rapporten
- En teknisk rapport (Aldrin og Huseby, 2018) som i detalj beskriver endringene i modellen i forhold til foregående versjon, samt angir oppdaterte parameterestimater.

Referanser

Aldrin, M. og Huseby, R. (2018). Re-estimering av populasjonsmodell for lakselus 2018 - endringer i modellstruktur og oppdaterte modellparametre. Technical report, Norsk Regnesentral. SAMBA/12/18.

- Aldrin, M., Huseby, R., Stien, A., Grøntvedt, R., Viljugrein, H. og Jansen, P. (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.
- Eichner, C., Hamre, L. og Nilsen, F. (2015). Instar growth and molt increments in *Lepeophtheirus salmonis* (copepoda: Caligidae) chalimus larvae. *Parasitology International*, 64:86–96.
- Krkošek, M., Morton, A., Volpe, J. og Lewis, M. (2009). Sea lice and salmon population dynamics: effects of exposure time for migratory fish. *Proc R Soc BScience*, 276:2819–2828.
- Samsing, F., Oppedal, F., Dalvin, S., Johnsen, I., Vågseth, T. og Dempster, T. (2016). Salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) development times, body size, and reproductive outputs follow universal models of temperature dependence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 73:1841–1851.
- Stien, A., Bjørn, P., Heuch, P. og Elston, D. (2005). Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on atlantic salmon and sea trout. *Mar Ecol Prog Ser*, 290:263–275.