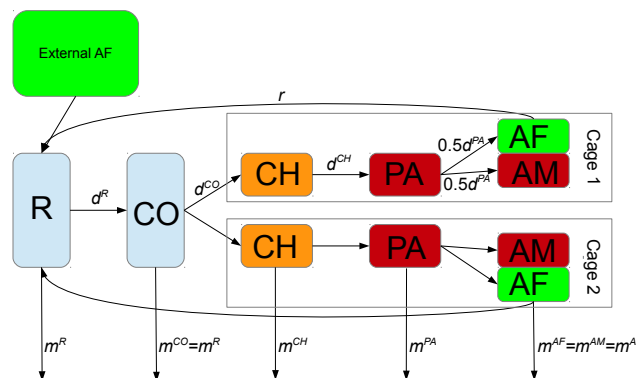


# Re-estimering av populasjonsmodell for lakselus 2018 - Endringer i modellstruktur og oppdaterte modellparametre



Notatnr  
Forfatter

SAMBA/12/18  
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** **Re-estimering av populasjonsmodell for lakselus 2018 - Endringer i modellstruktur og oppdaterte modellparametre**

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

Dato 12. juli 2018

Publikasjonsnummer SAMBA/12/18

### **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 i 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. Denne rapporten beskriver de modellendringer som er gjort etter at modellen blei publisert i 2017, samt oppdaterte modellparametre. Denne rapporten er et tillegg til sluttrapporten fra prosjektet (Aldrin og Huseby, 2018) som gir en oversikt over hovedresultatene.

Emneord

Målgruppe

Tilgjengelighet Åpen

Prosjekt

Prosjektnummer

Satsningsområde Marin og helse

Antall sider 11

© Copyright Norsk Regnesentral

# Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b> . . . . .	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Endringer i modellformulering</b> . . . . .	<b>5</b>
2.1	Rensefisk . . . . .	5
2.2	Nye typer behandlinger . . . . .	6
2.3	Dødelighet avhengig av salinitet og ny parametrisering av dødelighet . . . . .	7
2.4	Temperaturavhengig infeksjonsrate . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Oppdaterte modellparametre.</b> . . . . .	<b>8</b>
	<b>Referanser</b> . . . . .	<b>11</b>

# 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 i Rogaland, Marine Harvest og Bremnes Seashore. Mens sluttrapporten fra prosjektet (Aldrin og Huseby, 2018) gir en oversikt over hovedresultatene, gir denne rapporten en teknisk beskrivelse av endringer siden forrige publiserte versjon av modellen (Aldrin et al., 2017), heretter kalt ALD17, samt at vi gjengir oppdaterte estimater for modellparameterne. Hensikten med rapporten er å dokumentere modellen slik den er i dag og målgruppa for rapporten er de med interesse for detaljene i modellen.

## 2 Endringer i modellformulering

Vi beskriver her de endringer som er gjort i modellen siden forrige publiserte versjon (Aldrin et al., 2017). For øvrige deler av modellen henviser vi til Aldrin et al. (2017).

### 2.1 Rensefisk

Rensefisk er gruppert i rognkjeks (lumpsucker) og leppefisk (wrasse), og deres effekt er videre delt inn i effekt på pre-adulte og på voksne lus. Vi har valgt en annen formulering enn i ALD17, ved dødelighet av rensefisk i merd  $c$ , anlegg  $f$  ved tid  $t$  (likning (18) i ALD17) er erstattet med

$$\begin{aligned} m_{tfc}^{clf} &= m_{tfc}^{clf} = (\lambda^{lump} N_{tfc}^{lump} + \lambda^{wrasse} N_{tfc}^{wrasse}) / N_{tfc}^{lice} \\ &= (\lambda^{lump} x_{tfc}^{lump} + \lambda^{wrasse} x_{tfc}^{wrasse}) / (N_{tfc}^{lice} / N_{tfc}^{SAL}), \end{aligned} \quad (1)$$

hvor  $N_{tfc}^{lump}$  og  $N_{tfc}^{wrasse}$  er henholdsvis antall rognkjeks og rensefisk, mens  $N_{tfc}^{lice}$  er antall lus i enten PA- eller A-stadiet. Parameterne  $\lambda^{lump}$  og  $\lambda^{wrasse}$  fortolkes som midlere antall lus i enten PA- eller A-stadiet som spises per dag av én rensefisk. Dermed er telleren i øverste linje antall lus som spises per dag, slik at brøken angir daglig dødelighet. Deler vi teller og nevner på antall laks eller ørret,  $N_{tfc}^{SAL}$ ,

får vi den nederste linje, hvor  $x_{tfc}^{lump}$  og  $x_{tfc}^{wrasse}$  er innblandingsandel av rognkjeks og leppefisk. I tillegg har vi lagt inn beskrankninga at  $m_{tfac}^{clf} < 0.5$ .

$\lambda$ -parameterne er positive, og ulike for PA og A, og med krav om at parameteren for A er større eller lik den for PA, pga. en antakelse om at renseskisk foretrekker å spise større lus. For rognkjeks er det parametrisert som  $\lambda^{PA+lump}$  og  $\lambda^{A+lump} = \lambda^{PA+lump} + \lambda^{A+lump}$ , hvor både  $\lambda^{PA+lump}$  og  $\lambda^{A+lump}$  er større eller lik 0, og tilsvarende for leppefisk.

Vi har også estimert modeller som er varianter av den opprinnelige formuleringa av ligning (18) i ALD17, men alle disse ga dårligere tilpasning til dataene enn den ovenstående formuleringa. Den forrige formuleringa var basert på en prosentvis effektivitet av renseskisk, og variantene vi testet ut var umiddelbar effekt, effekt fra og med to uker etter utsett, temperaturavhengig effekt og vektavhengig effekt, men alle disse hadde altså dårligere forklaringskraft enn den valgte modellen.

## 2.2 Nye typer behandlinger

Tre nye ikke-medikamentelle behandlinger, termisk (Thermolicer, Optilicer), mekanisk (Hydrolicer) og ferskvann er inkludert i modellen. Dette inkluderer deres effekt på lus, dvs. økt dødelighet av lus, men også potensiell økt dødelighet av renseskisk.

De nye typer behandlinger inngår i modellen på samme måte som medikamentell behandling (ligningene (21)-(23) i ALD17), og er antatt å ha 0 forsinkelse og varighet 1 dag, og effekt på lus i stadiene CH, PA og A (jfr. tabell 1 i ALD17).

Modellen for renseskisk, som i ALD17 kun inkluderte en naturlig dødelighet, er utvidet til å inkludere dødelighet pga. termisk, mekanisk eller ferskvannsbehandling. Ligning (40) i ALD17 er dermed for rognkjeks erstattet med

$$N_{tc}^{lump} = N_{(t-1)c}^{lump}(1 - \kappa^{lump}) + S_{tc}^{lump} \quad (2)$$

i tidspunkt uten ikke-medikamentell behandling og

$$N_{tc}^{lump} = N_{(t-1)c}^{lump}(1 - \kappa^{lump}) \cdot \quad (3)$$

$$(1 - \kappa^{therm} I_{t-1}^{therm})(1 - \kappa^{mech} I_{t-1}^{mech})(1 - \kappa^{freshw} I_{t-1}^{freshw}) + S_{tc}^{lump}, \quad (4)$$

i de tidspunkt det er gjennomført behandling, hvor  $I_{t-1}^{therm}$  er 1 hvis det er gjennomført en termisk behandling ved tid  $t - 1$  med en dødelighet på rognkjeks på  $\kappa^{therm}$ , og tilsvarende for mekanisk og ferskvannsbehandling. En tilsvarende modell brukes også for leppefisk, men dødeligheten pga. behandling er antatt å være den samme for både rognkjeks og leppefisk.

## 2.3 Dødelighet avhengig av salinitet og ny parametrisering av dødelighet

Naturlig dødelighet for lusa er i populasjonsmodellen nå en funksjon av modellert salinitet fra Meteorologisk institutt sin ROMS NorKyst800m-modell. Naturlig dødelighet er for nå alle stadier gitt ved det som var ligning (15) i ALD17:

$$m_{tfac}^{nat} = m_{tf}^{nat} = \exp(z_{tf}^{nat} / (1 + \exp(z_{tf}^{nat}))), \quad (5)$$

(6)

For R og CO er nå

$$z_{tf}^{nat} = \lambda_0^{RCOnat} + \lambda_1^{RCOsal} x_{tf}^{sal}, \quad (7)$$

hvor  $\lambda_0^{nat}$  og  $\lambda^{sal}$  er parametre separate for hvert stadium, bortsett fra at de er like for R og CO. Videre er  $x_{tf}^{sal}$  gitt ved

$$x_{tf}^{sal} = \min(s_{tf}, \theta^{sal}) - \theta^{sal}, \quad (8)$$

hvor  $s_{tf}$  er salinitet angitt i psu, mens  $\theta^{sal}$  er en parameter felles for alle stadier. Det vil si at  $x_{tf}^{sal} = 0$  så lenge  $s_{tf} \geq \theta^{sal}$  og er  $s_{tf} - \theta^{sal}$  ellers, slik at det er ingen effekt av salinitet så lenge saliniteten er større eller lik  $\theta^{sal}$ .

For CH, PA og A er  $z_{tf}^{nat}$  en AR(1)-prosess gitt ved en modifikasjon av ligning (16) i ALD17:

$$(z_{tf}^{nat} - \lambda_0^{nat} - \lambda_1^{sal} x_{tf}^{sal}) = \phi^{nat} \cdot (z_{(t-1)f}^{nat} - \lambda_0^{nat} - \lambda_1^{sal} x_{tf}^{sal}) + \varepsilon_{tf}^{nat}, \quad (9)$$

$$\text{Var}(\varepsilon_{tf}^{nat}) = (\sigma^{nat})^2, \quad (10)$$

hvor parameterne er separate for CH, PA og A.

Med denne formuleringa vil  $\lambda_0^{nat}$  og  $(\sigma^{nat})^2$  være ganske korrelert, og vi har derfor reparametrisert  $\lambda_0^{nat}$  ved

$$\lambda_0^{nat} = \log(\mu) - (\sigma^{nat})^2 / (2(1 - \phi^2)), \quad (11)$$

hvor  $\mu$  er den frie parameteren som estimeres, og denne vil være tilnærmet lik forventninga til til den naturlige dødeligheten  $m_{tf}^{nat}$ .

## 2.4 Temperaturavhengig infeksjonsrate

Infeksjonsraten, eller andelen av kopepoditter som finner en vertsfisk i løpet av et døgn er nå avhengig av sjøtemperatur, og modelleres slik:

$$d_{tfc}^{CO} = \exp(\eta_{tfc}^{CO}) / (1 + \sum_c \exp(\eta_{tfc}^{CO})), \quad (12)$$

hvor

$$\eta_{tfc}^{CO} = \delta_{0fc}^{CO} + \log(N_{tfc}^{SAL}) + \delta_1^{CO}(\log(W_{tfc}) - 0.55) + \quad (13)$$

$$\delta_2^{CO}(\log(T_{tf}) - 9) + \delta_3^{CO}(\log(T_{tf}) - 9). \quad (14)$$

Her er  $N_{tfc}^{SAL}$  og  $W_{tfc}$  henholdsvis antall fisk (i millioner) og gjennomsnittsvekt av fisk (i kg) for fisk i merd  $c$  på anlegg  $f$  og ved tid  $t$ . Videre er  $T_{tf}$  sjøtemperaturen på anlegget på den aktuelle dagen, målt på 3m dyp.

### 3 Oppdaterte modellparametre

Tabellene 1 og 2 angir parameterestimaterne. De viktigste resultatene fortolkes i sluttrapporten (Aldrin og Huseby, 2018). A posteriori fordelingene for parametrene merket med \* i tabellene er svært like a priori fordelingene, hvilket vil si at dataene inneholder svært lite informasjon om disse. Det gjelder naturlig dødelighet for rognkjeks ( $\kappa^{lump}$ ), og det skyldes at rognkjeks er estimert til å ha minimal effekt på lusas dødelighet, slik at denne parameteren blir uidentifiserbar. Det gjelder også dødelighet av rensefisk grunnet mekanisk ( $\kappa^{mech}$ ) eller ferskvannsbehandling ( $\kappa^{freshw}$ ), og årsaken er trolig at det er relativt få tilfeller av disse behandlingene i dataene. Til sist gjelder det dødelighet relatert til lav salinitet for CH, PA og A ( $\lambda_1^{CHsal}$ ,  $\lambda_1^{PAsal}$ ,  $\lambda_1^{Asal}$ ), og årsaken er trolig at det er sjelden at saliniteten er såpass lav at den har særlig betydning. Infeksjonsraten faller med stigende sjøtemperatur, og dette er ikke va vi forventer ut fra kunnskap fra laboratorieforsøk, og vi vi tolig ta bort igjen den effekten i kommende versjoner av modellen.

Parameterne relatert til gjennomsnittlig daglig dødelighet for CH og PA,  $\mu_0^{CHnat}$  og  $\mu_0^{PA nat}$ , har vært satt fast til henholdsvis 0.010 og 0.041 i disse beregningene. Ved seinere oppdateringer av modellen vil også disse bli estimert.



Tabell 1. Posterior means with 95% credible intervals of parameters in the static parts of the model. Parameter estimates and credible intervals marked with \* are close to the prior, and thus the data contain little information on these.

Part of model	Stage	Parameter interpretation	Parameter symbol	Section	Posterior mean	95% C.I. lower	95% C.I. upper
Natural mortality	R,CO	Intercept	$\lambda_0^{RCOnat}$	2.3	0.324	0.321	0.328
Salinity mortality	R,CO	Regression coeff.	$\lambda_1^{RCOsal}$	2.3	-0.395	-0.496	-0.274
Mortality lumpsucker	PA	No. lice per day	$\lambda^{PAlump}$	2.1	0.002	0.000	0.008
Mortality lumpsucker	A	No. lice per day	$\lambda^{Alump}$	2.1	0.005	0.001	0.015
Mortality wrasse	PA	No. lice per day	$\lambda^{PAwrasse}$	2.1	0.135	0.119	0.155
Mortality wrasse	PA	No. lice per day	$\lambda^{Awrasse}$	2.1	0.139	0.123	0.157
Development	Egg	Median at 10°C	$\delta^{Em10}$		4.688	4.552	4.795
Development	Nauplii	Median at 10°C	$\delta^{Nm10}$		2.163	2.017	2.356
Development	R	Shape parameter	$\delta^{Rs}$		18.855	16.550	19.956
Development	R	Power parameter	$\delta^{Rp}$		0.408	0.400	0.420
Development	CH	Median at 10°C	$\delta^{CHm10}$		14.225	13.899	14.608
Development	CH	Shape parameter	$\delta^{CHs}$		4.890	4.166	5.649
Development	CH	Power parameter	$\delta^{CHp}$		0.902	0.850	0.950
Development	PA	Median at 10°C	$\delta^{PAm10}$		14.235	13.645	14.809
Development	PA	Shape parameter	$\delta^{PAs}$		1.967	1.826	2.168
Development	PA	Power parameter	$\delta^{PAp}$		0.673	0.608	0.737
Development	CO	Expectation	$\delta_0^{CO}$		-2.268	-2.459	-2.076
Development	CO	Regression coeff. weighth	$\delta_1^{CO}$		0.220	0.193	0.253
Development	CO	Regr. coeff. seatemp.	$\delta_2^{CO}$		-0.105	-0.116	-0.092
Development	CO	Regr. coeff. seatemp <sup>2</sup>	$\delta_3^{CO}$		-0.011	-0.012	-0.010
Development	CO	Variance within farm	$(\sigma^{COdf})^2$		0.027	0.022	0.033
Development	CO	Variance between farms	$(\sigma^{COd})^2$		0.270	0.169	0.407
Reproduction	AF to R	Basic number of eggs	$\beta_0^r$		172.500	fixed	
Reproduction	AF to R	Age dependence	$\beta_1^r$		0.200	fixed	
Reproduction	AF to R	Density dependence	$\gamma^r$		480	451	497
Lumpsucker model		Mortality rate	$\kappa^{lump}$	2.1	0.038	* 0.016*	0.063*
Wrasse model		Mortality rate	$\kappa^{wrasse}$	2.1	0.017	0.014	0.019
New treatments		Mortality rate	$\kappa^{therm}$	2.2	0.971	0.886	1.000
New treatments		Mortality rate	$\kappa^{mech}$	2.2	0.460*	0.017*	0.953*
New treatments		Mortality rate	$\kappa^{freshw}$	2.2	0.416*	0.032*	0.930*
Data model	CH	Aggregation parameter	$\rho^{CH}$		0.046	0.044	0.049
Data model	OM=PA+AM	Aggregation parameter	$\rho^{OM}$		0.185	0.179	0.194
Data model	AF	Aggregation parameter	$\rho^{AF}$		0.109	0.101	0.117
Data model	CH	Expectation	$\beta_0^{CHcount}$		-1.706	-1.919	-1.487
Data model	CH	Variance	$(\sigma^{CHcount})^2$		0.459	0.303	0.682
Data model	CH	Regression coeff.	$\beta_1^{CHcount}$		-0.081	-0.102	-0.059

Tabell 2. Posterior means with 95% credible intervals of parameters in the time-varying parts of the model. Parameter estimates and credible intervals marked with \* are close to the prior, and thus the data contain little information on these.

Part of model	Stage	Parameter interpretation	Parameter symbol	Section	Posterior mean	95% C.I. lower	95% C.I. upper
Natural mortality	CH	Expectation of exp. AR(1)	$\mu_0^{CHnat}$	2.3	0.010	fixed	
Salinity mortality	CH	Regression coeff.	$\lambda_1^{CHsal}$	2.3	-0.238*	-0.480*	-0.014*
Natural mortality	CH	AR coefficient in AR(1)	$\phi^{CHnat}$	2.3	0.029	0.002	0.063
Natural mortality	CH	Variance in AR(1)	$(\sigma^{CHnat})^2$	2.3	0.025	0.016	0.032
Natural mortality	PA	Expectation of exp. AR(1)	$\mu_0^{PAnat}$	2.3	0.041	fixed	
Salinity mortality	PA	Regression coeff.	$\lambda_1^{PAsal}$	2.3	-0.221*	-0.469*	-0.011*
Natural mortality	PA	AR coefficient in AR(1)	$\phi^{PAnat}$	2.3	0.397	0.367	0.424
Natural mortality	PA	Variance in AR(1)	$(\sigma^{PAnat})^2$	2.3	0.398	0.368	0.430
Natural mortality	A	Expectation of exp. AR(1)	$\mu_0^{Anat}$	2.3	0.174	0.160	0.187
Salinity mortality	A	Regression coeff.	$\lambda_1^{Asal}$	2.3	-0.284*	-0.491*	-0.021*
Natural mortality	A	AR coefficient in AR(1)	$\phi^{Anat}$	2.3	0.671	0.656	0.689
Natural mortality	A	Variance in AR(1)	$(\sigma^{Anat})^2$	2.3	0.674	0.624	0.721
Mortality ch.tr.	CH, PA, A	Expectation, deltamethrin	$\lambda^{DMcht}$		1.368	0.934	1.837
Mortality ch.tr.	CH, PA, A	Variance, deltamethrin	$(\sigma^{DMcht})^2$		9.261	7.206	11.932
Mortality ch.tr.	PA, A	Expectation, azamethiphos	$\lambda^{AZcht}$		-2.053	-2.865	-1.295
Mortality ch.tr.	PA, A	Variance, azamethiphos	$(\sigma^{AZcht})^2$		$(\sigma^{DMcht})^2$		
Mortality ch.tr.	PA, A	Expectation, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	$\lambda^{HPcht}$		-0.574	-1.056	-0.145
Mortality ch.tr.	PA, A	Variance, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	$(\sigma^{HPcht})^2$		$(\sigma^{DMcht})^2$		
Mortality ch.tr.	CH, PA, A	Expectation, emamectin	$\lambda^{EMcht}$		-4.110	-4.404	-3.800
Mortality ch.tr.	CH, PA, A	Variance, emamectin	$(\sigma^{EMcht})^2$		2.189	1.413	3.203
Mortality new tr.	PA, A	Expectation, thermal	$\lambda^{therm}$	2.2	0.152	0.002	0.291
Mortality new tr.	PA, A	Variance, thermal	$(\sigma^{therm})^2$	2.2	2.074	1.618	2.672
Mortality new tr.	PA, A	Expectation, mechanical	$\lambda^{mech}$	2.2	-0.683	-1.848	0.405
Mortality new tr.	PA, A	Variance, mechanical	$(\sigma^{mech})^2$	2.2	$(\sigma^{therm})^2$		
Mortality new tr.	PA, A	Expectation, freshwater	$\lambda^{freshw}$	2.2	-0.184	-1.589	1.074
Mortality new tr.	PA, A	Variance, freshwater	$(\sigma^{freshw})^2$	2.2	$(\sigma^{therm})^2$		
External recr.	AF to R	Expectation in AR(1)	$\mu^{Ext}$		0.334	0.242	0.403
External recr.	AF to R	Coefficient in AR(1)	$\phi^{Ext}$		0.917	0.907	0.927
External recr.	AF to R	Variance in AR(1)	$(\sigma^{Extar})^2$		0.181	0.167	0.195
External recr.	AF to R	Variance	$(\sigma^{Ext})^2$		0.003	0.000	0.018

# Referanser

Aldrin, M. og Huseby, R. (2018). Sluttrapport for prosjekt fhf:901424 "re-estimering av populasjonsmodell for lakselus basert på data fra rogaland". Technical report, Norsk Regnesentral. SAMBA/11/18.

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.