

Simuleringsmodell som beslutningsstøtte for valg av tiltak mot lakselus på lokalitetsnivå

Erik Andreas Næstvold

Marin teknikk

Innlevert: juni 2017

Hovedveileder: Bjørn Egil Asbjørnslett, IMT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for marin teknikk

Forord

Denne masteroppgaven representerer slutten på min sivilingeniør utdanning innen marin teknikk med fordypningsretning innen marine ressurser og havbruk fra Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Masteroppgaven teller som 30 studiepoeng, tilsvarende fire ordinære emner ved NTNU.

Idéen til masteroppgavens problemstilling oppsto igjennom modul-emnet TMR4575 og videreutviklet i prosjektoppgaven samme høst 2016. Prosjektoppgaven viste til betydelig potensial til utviklet modell, og tilsvarende forbedringspotensial. Masteroppgaven er derfor en videreutvikling av prosjektoppgaven, men masteroppgaven kan fint benyttes uten supplering fra prosjektoppgaven.

Muliggjøring av masteroppgavens formål beror stort på innsamlet informasjon fra oppdrettsnæringen og jeg vil derfor takke Lars Asplin og Anne Dagrund Sandvik fra Havforskningsinstituttet for tilsendt data og omfattende besvarelse på spørsmål angående deres Smittepressmodell for lakselus. I tillegg vil jeg takke Bjørn Ådlandsvik og Jon Albretsen fra Havforskningsinstituttet for tilsendt data fra havstrømmmodellen NorKyst800 og utdypende forklaring av bruksområde. Kari Olli Helgesen fra Veterinærinstituttet vil jeg takke for svar og utdypende forklaring av Fiskehelse rapporten hun var delforfatter i som ble flittig anvendt. Gunn Dalhaug var behjelpelig med data og informasjon om Ewos sine medisiner. Til slutt vil jeg takke min veileder Bjørn Egil Asbjørnslett for å ha lagt mye tid og arbeid i veiledning underveis i arbeidet med denne masteroppgaven.



Erik Andreas Næstvold
Trondheim, 18. juni 2017

Summary

Salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) lives as an ectoparasite on salmonids, and is a significant source of monetary losses for salmon farms. Due to their economic importance, control of sea lice on salmon farms has been named one of the top priorities in aquaculture research by both scientists and the industry in Norway.

Adequate control of salmon lice is thought to be achieved on the ability to predict future lice levels from environmental trends and observed populations, as well as predicting the effectiveness of different treatment regimes. These two needs can be expressed through mathematical models. These models can further be utilized to aid personell whom are responsible for decisions of treatment strategies of salmon lice.

Accordingly, a simulation model has been established based on the Simulink program, which is an “ad-on” to MATLAB. The five main segments of the model are environment, biomass, infection pressure, salmon lice and measures. The model takes into account the development rates of salmon lice through the five stages on a host. The measures modeled include cleaner fish, hydrogen peroxide, pyrethroids, Thermolicer, Chitin synthesis inhibitors and Hydrolicer. Four types of cleaner fish were evaluated. Biomass has been modeled based on number of salmon and size.

The simulation model has been tested for three selected locations, Bondøya in Nord-Trøndelag, Gisløy Nø in Troms north of Stokmarknes and Hella, located in Sogn og Fjordane at Askvoll. Location, utilized measures and proposed measures are modeled while the infection pressure is calibrated. When modeling, temperature, number of fish cages and production capacity are obtained. The calibration of the infection pressure has been carried out by modeling the infection pressure until the modeled lice levels match the reported lice levels. Temperature and size dependent growth model for Atlantic salmon has been taken into account, in addition to the estimated effect and limitations of five active measures against salmon lice and four types of cleaner fish. The different treatment strategies were cost/benefit estimated based on biomass produced and costs related to the measures taken.

Calibration of infection pressure indicated that western/southwest locations in Norway are exposed to a much greater and temperature independent infection pressure than other locations further north. As a result, more frequent and more extensive use of measures against salmon lice is necessary to keep salmon lice levels below required limits.

The simulation model indicates that the use of cleaner fish is only cost effective for locations with consistent high lice levels and stable high sea temperatures.

Required production time to achieve the desired slaughter weight of salmon has been shown to be highly dependent on temperature. This results in shorter production cycles, but greater need for measures against salmon lice than for sites with lower average temperatures.

The model shows that timing of measures is most important if sea lice are to be effectively controlled, and more important than the number of measures. The model further shows that increased use of measures results in increased potential for significant loss of biomass, which according to the model is the most crucial factor for determining optimal treatment strategy.

The value of using a simulation model as a decision support tool for optimizing treatment measures against salmon lice to avoid loss of biomass is substantiated by the results described in this thesis.

Sammendrag

Lakselus (*Lepeptheirus salmonis*) er en ektoparasitt som lever på laksefisk. Den er en betydelig kilde til monetære tap for oppdrettere og kontroll av lakselus på oppdrettsanlegg er for tiden et av de viktigste fokusområdene innen havbruksnæringen i Norge.

Denne masteroppgaven tar utgangspunkt i antagelsen om at bekjemping av lakselus på en gitt lokasjon vil kunne forbedres ved å benytte en matematisk simuleringmodell basert på miljøtrender, observerte lakselus populasjoner og prediksjon av effektivitet av ulike behandlingsregimer.

En simuleringmodell er følgelig blitt etablert basert på programmet Simulink som er en «ad-on» til Matlab. Modellens fem hovedsegmenter er miljø, biomasse, smittepress, lakselus og tiltak. Modellen tar hensyn til utviklingshastigheter for lakselus gjennom dens fem livsstadier på vert. Tiltakene som er modellert omfatter rensefisk, hydrogenperoksid, pyretroider, Thermolicer, kitinsyntesehemmere og Hydrolicer. Fire typer rensefisk ble vurdert. Biomassen har blitt modellert på bakgrunn av antall laks og størrelse.

Simuleringmodellen har blitt testet for tre valgte lokaliteter, Bondøya i Nord Trøndelag, Gisløy Nø i Troms nord for Stokmarknes og Hella som ligger i Sogn og Fjordane ved Askvoll. Lokalitet, benyttede tiltak og foreslåtte tiltak er modellert og smittepress er kalibrert. Ved modelleringen er temperatur, antall merder og produksjonskapasitet innhentet. Kalibreringen av smittepresset er utført ved at modellert smittepress er endret helt til modellerte luseverdier samsvarer med innmeldte luseverdier. Temperatur- og størrelsesavhengig vekstmodell for Atlantisk laks er lagt til grunn, det samme er estimert effekt og begrensninger for fem aktive tiltak mot lakselus og fire typer rensefisk. De ulike behandlingsstrategiene ble kost/nytte estimert på bakgrunn av produsert biomasse og kostnader relatert til benyttede tiltak.

Kalibrering av smittepress indikerte at lokaliteter vest/sørvest i Norge er utsatt for et mye større og temperatur uavhengig smittepress enn øvrige lokaliteter lenger nord. Dette resulterer i at hyppigere og mer omfattende bruk av tiltak mot lakselus er nødvendig for å holde lakselus nivåer under tillat grense.

Modellen indikerer at bruken av rensefisk kun er kostnadseffektivt for lokaliteter med gjennomgående høye lusenivåer og stabilt høye sjø temperaturer.

Nødvendig produksjonstid for å oppnå ønsket slaktevekt har vist seg å være sterkt avhengig av temperatur. Dette resulterer i kortere produksjonssyklus, men større behov for tiltak mot lakselus enn for lokaliteter med lavere gjennomsnittlige temperaturer.

Resultater fra simuleringsmodellen viser at tidspunkt for benyttelse av tiltak er viktigere enn antallet tiltak for å oppnå ønsket kontroll over lakselus. Modellen viser videre at økt benyttelse av tiltak resulterer i økt mulighet for betydelig tap av biomasse, som i følge modellen er den mest avgjørende faktoren for bestemmelse av optimal kontrollstrategi med tilhørende tiltak.

Verdien av å benytte en simuleringsmodell som beslutningsstøtte verktøy for optimalisering av tiltak mot lakselus for å unngå tap av biomasse underbygges av resultatene beskrevet i denne utredningen.

Innhold

	Side
Tabeller	ix
Figurer	xi
Formelliste	xiv
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	3
1.3 Oppgavebeskrivelse	4
1.4 Struktur	5
2 Litteraturstudie	6
2.1 Bakgrunn	6
2.2 Lignende arbeid	7
2.3 Lakselus biologi og tiltak	9
2.3.1 Lakselus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>)	9
2.3.2 Lakselustiltak	10
2.3.3 Aktive tiltak, ikke-medikamentelle	10
2.3.4 Aktive tiltak, medikamentelle	11
2.3.5 Preventive tiltak, rensefisk	12
2.3.6 Preventive tiltak, luseskjørt	12
2.4 Estimering av lakselus-nivåer	13
2.4.1 Registrerte reelle lusenivåer	13
2.4.2 Smittepress	14
2.4.3 Modellering av lakselus	16
2.5 Kostestimering av tiltak mot lakselus	19
3 Systembeskrivelse av etablert simuleringsmodell	20
4 Estimering av lusenivåer	21
4.1 Estimering av lusenivåer på bakgrunn av modellert smittepress	21
4.1.1 Lusepress mot lusenivå	22
4.1.2 Lusepress mot lusenivå med hensyn til temperatur	23
4.2 Estimering av lusenivåer på bakgrunn av historiske verdier	25
4.2.1 Prediksjon av lusenivåer for etablert simuleringsmodell	30

5	Grunnlag for kostnad- og nyttevirkning ved anvendelse av etablert simuleringsmodell	31
5.1	Nytteverdien av å benytte simuleringsmodell som beslutningsstøtte for valg av tiltak mot lakselus på lokalitetsnivå	33
5.2	Kostnadsestimering av tiltak mot lakselus	34
5.2.1	Operasjonelle kostnader	34
5.2.2	Direkte kostnader, virkestoff kostnader, medikamentelle tiltak	38
5.2.3	Effekt av tiltak, ikke-medikamentelle tiltak	41
5.2.4	Effekt av tiltak mot lakselus, medikamentelle tiltak	43
5.2.5	Fiskehelse, ikke-medikamentelle og medikamentelle lusetiltak	44
5.2.6	Tapt potensiell biomasse, sultetap relatert til tiltak	47
5.2.7	Fôrbehandling	50
5.3	Kostnadsestimering av forebyggende tiltak	52
5.3.1	Luseskjørt	52
5.3.2	Rensefisk	53
6	Etablert simuleringsmodell	57
6.1	Modellert miljø	59
6.2	Modellert oppdrettsfisk	60
6.3	Modellert smittepress	64
6.4	Modellert lakselus	66
6.5	Modellerte tiltak	70
6.5.1	Rensefisk	70
6.5.2	Medikamentelle og ikke-medikamentelle tiltak	71
7	Test av etablert simuleringsmodell	77
7.1	Bondøya	79
7.1.1	Kontrollstrategi benyttet på lokalitet Bondøya	79
7.1.2	Simulerte resultater ved bruk av oppdretters kontrollstrategi	80
7.1.3	Foreslått kontrollstrategi for lokaliteten Bondøya	80
7.1.4	Simulerte resultater ved bruk av foreslått kontrollstrategi .	81
7.1.5	Sammenligning av resultater for lokalitet Bondøya	81
7.2	Gisløy Nø	82
7.2.1	Kontrollstrategi benyttet på lokalitet Gisløy Nø	82
7.2.2	Simulerte resultater ved bruk av oppdretters kontrollstrategi	83
7.2.3	Foreslått kontrollstrategi for lokalitet Gisløy Nø	84
7.2.4	Simulerte resultater ved bruk av foreslått kontrollstrategi .	84
7.2.5	Sammenligning av resultater for lokalitet Gisløy Nø	85
7.3	Hella	86

7.3.1	Kontrollstrategi benyttet på lokalitet Hella	86
7.3.2	Simulerte resultater ved bruk av oppdretters kontrollstrategi	87
7.3.3	Foreslått kontrollstrategi for lokalitet Hella	88
7.3.4	Simulerte resultater ved bruk av foreslått kontrollstrategi .	89
7.3.5	Sammenligning av resultater for lokalitet Hella	90
8	Diskusjon	92
8.1	Estimering av lusenivåer	92
8.1.1	Estimering på bakgrunn av modellert Smittepress	92
8.1.2	Estimering av lusenivåer på bakgrunn av historiske verdier	92
8.1.3	Validitet av resultater	93
8.2	Kostnadsestimering	93
8.2.1	Datagrunnlag	94
8.3	Simuleringsmodell	95
8.3.1	Modellering av smittepress	95
8.3.2	Modellering av lakselus	95
8.3.3	Modellering av tiltak	96
8.3.4	Modellering av rensefisk	98
8.3.5	Modellering av oppdrettsfisk	99
8.3.6	Sensitivitetsanalyse	99
8.3.7	Validitet av resultater	100
9	Konklusjon	102
10	Videre arbeid	103
11	Referanser	104
	Liste over vedlegg	I

Tabeller

1	Kategorisering av relevante lakselustiltak	10
2	Medikamenter benyttet i bad og förbehandling	11
3	Utvikling av <i>Lepeptheirus salmonis</i> gjennom dens åtte stadier. Observert antall timer tilbragt i gitt stadie ved gitt temperatur (Næstvold, 2016).	18
4	Utstyrskrav for aktive tiltak mot lakselus	35
5	Utstyrskostnad	36
6	Behandlingskapasitet for et utvalg ikke-medikamentelle tiltak . . .	37
7	Operasjonelle kostnader ved avlusningstiltak	38
8	Operasjonelle kostnader ved behandling per merd	38
9	Nofima estimering av medikamentelle kostnader for behandling av en lokalitet med kapasitet på 4 000 tonn	39
10	Skalerte stoffkostnader for behandling av en 160-metring	40
11	Akutt dødelighet etter behandling. Prosent behandlinger med mer enn 1, 2,5, 5, 10, 25 og 50 prosentpoeng økning i dødelighet etter lusebehandling 2012–2015. n er antall gyldige observasjoner i databasen. Mer enn 50% dødelighet etter en behandling karakteriserer vi som katastrofal dødelighet.(Svåsand mfl., 2016)	45
12	Forsinket dødelighet etter behandling. Prosent behandlinger med mer enn 1, 2,5, 5, 10, 25 og 50 prosentpoeng økning i dødelighet 1 måned etter lusebehandling 2012–2015. n er antall gyldige observasjoner i databasen. Mer enn 50% dødelighet etter en behandling karakteriserer vi som katastrofal dødelighet. (Svåsand mfl., 2016) .	45
13	Total utsett av rensefisk i merd, (Fiskeridirektoratet, 2015)	54
14	Innkjøpspris rensefisk i løpet av én syklus, med påfyll	54
15	Nødvendig skjul avhengig av antall og størrelse på rensefisk	55
16	Kostnadskomponenter til implementering/drift av rensefisk skjul .	55
17	Samlede kostnader for innkjøp og vedlikehold av rensefiskskjul iløpet av en produksjonssyklus a 18 mnd	55
18	Kostnader for vask av not ved bruk av rensefisk for en merd iløpet av en syklus	56
19	Totale kostnader relatert til bruk av rensefisk for en 160-metring igjennom en produksjonssyklus	56
20	Verdier for TGC og FCR som presentert i (Thorarensen & Farrel, 2011)	62
21	Verdier for utvikling og dødelighets-rate	68
22	β -verdier benyttet for de to stadiene (A. Stien, Bjørn & Elston, 2005)	68

23	Akutt og forsinket dødelighet for laks etter behandling med hydrogenperoksid. Prosent behandlinger med mer enn 1, 2,5, 5, 10, 25 og 50 prosentpoeng økning i dødelighet etter lusebehandling 2012–2015. n er antall gyldige observasjoner i databasen. (Svåsand mfl., 2016)	74
24	Akutt og forsinket dødelighet for laks etter behandling med Thermolicer(temperert vann). Prosent behandlinger med mer enn 1, 2,5, 5, 10, 25 og 50 prosentpoeng økning i dødelighet etter lusebehandling 2012–2015. n er antall gyldige observasjoner i databasen. Mer enn 50% dødelighet etter en behandling karakteriserer vi som katastrofal dødelighet.(Svåsand mfl., 2016)	75
25	Akutt og forsinket dødelighet for lakse etter behandling med Hydrolicer. Prosent behandlinger med mer enn 1, 2,5, 5, 10, 25 og 50 prosentpoeng økning i dødelighet etter lusebehandling 2012–2015. n er antall gyldige observasjoner i databasen. Mer enn 50% dødelighet etter en behandling karakteriserer vi som katastrofal dødelighet.(Svåsand mfl., 2016)	75
26	Akutt og forsinket dødelighet for laks etter behandling med pyretroider. Prosent behandlinger med mer enn 1, 2,5, 5, 10, 25 og 50 prosentpoeng økning i dødelighet etter lusebehandling 2012–2015. n er antall gyldige observasjoner i databasen. Mer enn 50% dødelighet etter en behandling karakteriserer vi som katastrofal dødelighet.(Svåsand mfl., 2016)	76
27	Lokaliteten Bondøyas benyttede kontrollstrategi	79
28	Resultater fra simulering av benyttet kontrollstrategi	80
29	Foreslått kontrollstrategi for lokaliteten Bondøya	80
30	Resultater fra simulering av foreslått kontrollstrategi	81
31	Resultater fra benyttet og foreslått kontrollstrategier	81
32	Lokaliteten Gisløy Nøs benyttede kontrollstrategi	82
33	Resultater fra simulering av benyttet kontrollstrategi	83
34	Foreslått kontrollstrategi for lokaliteten Gisløy Nø	84
35	Resultater fra simulering av foreslåtte tiltak	84
36	Resultater fra benyttet og foreslått kontrollstrategier	85
37	Lokaliteten Hella's benyttede kontrollstrategi	86
38	Resultater fra simulering av benyttet kontrollstrategi	87
39	Foreslått kontrollstrategi for lokaliteten Hella	89
40	Resultater fra simulering av foreslått kontrollstrategi	89
41	Resultater fra foreslått- og benyttet kontrollstrategi, for henholdsvis tre ulike størrelser på settefisk for lokalitet Hella	91
42	β -verdier som presentert i (A. Stien, Bjørn & Elston, 2005)	96

Figurer

1	Livssyklusen til <i>Lepeptheirus salmonis</i> med sine åtte livsstadier. (Næstvold, 2016)	9
2	Skjerm bilde av smittepressmodellen på havforskninginstituttets hjemmeside. Kartene viser totalt antall smittsomme lakselus per kvadratmeter (kopepoditter), summert over en periode på 10 dager. Hvert kvadrat er av størrelsesorden $800*800 m^2$	15
3	Illustrasjons bilde av kategorier som danner grunnlag for valg av tiltak mot lakselus	20
4	Ved å ha verdier for smittepresset på en lokalitet er det tenkt å kunne estimere lokalitetens fremtidige lusenivåer.	21
5	Innmeldte lusenivåer sammen med smittepress for lokaliteten Fusavika.	23
6	Samlet innmeldte lusenivåer sammen med smittepres for Sogn og Fjordane.	24
7	Voksne hunn lus mot temperatur og benyttede tiltak for nevnte fylker i 2016. (Vedlegg U)	25
8	Voksne hunn lus mot temperatur og benyttede tiltak for nevnte fylker i 2016. (Vedlegg T)	26
9	Medikamentelle tiltak benyttet for bekjempelse av lakselus kategorisert etter virkestoff tabell fra (Svåsand mfl., 2016)	27
10	Benyttede tiltak i Norge for 2016. Venstre akse beskriver hvor mange ganger tiltak har blitt benyttet for gitt uke. (Vedlegg V)	28
11	Predikert lusepress som funksjon av temperatur og tiltak benyttet for lokasjon Austneståa	30
12	Fiskehelepersonel sin kjennskap til de ulike tiltak mot lakselus. (Walde, Haukaas, Jansen, Bornø & Hjeltnes, 2017a)	32
13	Hydrogenperoksid konsentrasjon som funksjon av sjøtemperatur . .	40
14	Hydrogenperoksid stoffkostnader som funksjon av merd-størrelse og sjøtemperatur	41
15	Anslått gjennomsnittlig antall uker fra mekanisk avlusning til luse-tall i snitt var på samme nivå som før avlusning. Data hentet inn fra spørreundersøkelse (Gismervik, Nilsen, Nielsen & Mejdell, 2017)	42
16	Effekt av ikke-medikamentelle tiltak mot bevegelige stadier (Gismervik, Nilsen, Nielsen & Mejdell, 2017)	42
17	Effekt av ikke-medikamentelle tiltak mot ikke-bevegelige stadier (Gismervik, Nilsen, Nielsen & Mejdell, 2017)	42

18	Dødelighet av lus i forenklede bioassay med emamektin benzoat, deltametrin, azametifos og hydrogenperoksid. Mørk farge representerer lavere dødelighet ved eksponering for en viss konsentrasjon av gitt virkestoff. (Walde, Haukaas, Jansen, Bornø & Hjeltnes, 2017b)	44
19	Avlusninger klassifisert etter virkestoff benyttet, tabell fra (Svåsand mfl., 2016)	46
20	Rapportert inntrykk av fiskevelferdsmessige konsekvenser ved mekanisk avlusning versus tradisjonell medikamentell badebehandling. Y-aksen er prosentvis av antall spurte (N=47), (Gismervik, Nilsen, Nielsen & Mejdell, 2017)	46
21	(Mørkøre, 2008) sin tolkning av (Einen, 1998) sin formel for sultetap presentert i regi av «HUNGRING AV LAKSI, Nofima»	47
22	Case scenario presentert av (Ewos, 2017b), ved bruk av Olai Einen sin formel til å beregne sultetap.	48
23	Estimert vekt for laks i lokalitet med fire avlusninger med fem dager med sulting (hel linje) mot samme lokalitet uten sulting (stiplet linje). Estimert på bakgrunn av temperatur for lokalitet: Valøyen, og Skretting AS sin fortabell	50
24	Estimert førkostnad for 170 000 fisk i en merd med varierende snittvekt	52
25	De fem segmentene som danner simuleringsmodellen. Interaksjon mellom segmentene er illustrert med piler	57
26	Miljøsegmentets hensikt og innvirkning på øvrige segmenter. (Grafer vist er ment som beskrivende og representerer ikke reelle verdier)	59
27	Bestemmelse av vekstrate for modellert fisk. Størrelse og sjøtemperatur blir identifisert, tilhørende vekstrate hentet ut, og fisken vokser deretter et døgn før prosessen gjentas	63
28	Gjennomsnittlig vekt av oppdrettsfisk gjennom en produksjonssyklus ved bruk av RGI-tabellen til Skretting AS og observert temperatur for en produksjonssyklus ved lokaliteten Bondøya. Høyre akse viser forkostnaden ved å produsere gitt vekt for 200 000 fisk med en jevn produksjonsdødelighet på 15%	64
29	Kalibrert smittepress for lokaliteten Bondøya i Nord-Trøndelag for produksjonssyklusen fra 2015 til 2016.	65
30	Modellert livssyklus til lakselusen. Heltrukne linjer beskriver livshendelser påvirket hovedsakelig av temperatur.	67
31	Innvirkning av tiltak på segmentene: lusepress, lakselus og oppdrettsfisk	70
32	Rensefiskenes evne til å fjerne lakselus tilhørende de tre modellerte stadier som funksjon av temperatur	71

33	Sannsynlighetsfordeling av avlusningseffekt for de ulike aktive tiltakene mot de tre modellerte stadier gitt i prosent av total dødelighet for populasjon i behandlet merd.	72
34	Lusenivåer, størrelse av oppdrettsfisk, temperatur svingning samt lusepress for Gisløy Nø iløpet av simulert produksjonssyklus med oppdretters kontrollstrategi	83
35	Lusenivåer, størrelse av oppdrettsfisk, temperatur svingning samt lusepress for Gisløy Nø iløpet av simulert produksjonssyklus med foreslått kontrollstrategi	85
36	Lusenivåer, størrelses utvikling av oppdrettsfisk, Temperatur svingning samt lusepress for Hella iløpet av simulert produksjonssyklus med benyttet kontrollstrategi	88
37	Lusenivåer, størrelses utvikling av oppdrettsfisk, Temperatur svingning samt lusepress for Hella iløpet av simulert produksjonssyklus med foreslåtte tiltak	90
38	Lusenivåer og antall fisk igjennom produksjonssyklus ved fem simuleringer med identisk kontrollstrategi	100

Formelliste

1	Virkestoff kostnader, Alpha Max	39
2	Virkestoff kostnader real, Alpha Max	39
3	Einens formel	47
4	Ewos førkost 1	48
5	Ewos førkost 2	48
6	Ewos Release	51
7	Ewos Release2	51
8	SGR	60
9	Benyttelse av SGR	60
10	Temperatur inkludert i SGR	61
11	TGC	61
12	TGC2	61
17	Dødelighet renseskisk	71
18	Utregning av avlusningseffekt	72

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Sjømat er en svært viktig næring for Norge med en estimert eksport verdi på NOK 91.6 milliarder i 2016 og oppdrettsnæringen sto for 71.5% av dette beløpet (Fiskeri og Kystdepartementet). På verdensbasis er Norge den største produsenten av Atlantisk laks og i 2016 eksporterte Norge rundt 1 million tonn med Atlantisk laks og ørret, til en verdi av NOK 65.5 milliarder. Næringen ønsker å vokse videre og et uttalt mål er fem ganger produsert biomasse i 2050 i forhold til 2015. Miljøbelastningene fra havbruk er imidlertid en utfordring og nye konsesjoner blir ikke utstedt før miljøbelastningene relatert til oppdrett er tilstrekkelig håndtert. Dette miljøproblemet er hovedsakelig knyttet til lakselusen, *Lepeophtheirus salmonis*, og dens innvirkning på både vill og oppdrettet laksefisk.

Lakselusen er estimert til å ha kostet næringen 2.5 milliarder NOK i 2015 (Iversen mfl., 2015) til avlusningstiltak, samt samlede direkte kostnader og tapt fortjeneste til en estimert sum på 8 milliarder NOK (Rødseth, 2016). Tapt biomasse og økt førfaktor er de største kostnadsdriverne.

Lakselusen er et krepsdyr som lever som en ektoparasitt på laks i saltvann. Festet til laks påfører lakselus skinnen skader med påfølgende osmoregulatoriske problemer og gjør laksen mer utsatt for sekundære infeksjoner. Store mengder lakselus på enkelte steder er også en alvorlig trussel mot villaksen, da det genererer et smittepress av kopepoditter som spesielt smolt er utsatt for. Det er igangsatt flere tiltak for å kontrollere og fjerne lakselus. Man kan kategorisere tiltakene som forebyggende og aktive. Forebyggende tiltak er vedvarende tiltak slik som lukkede merder, on-shore anlegg og bruk av luseskjørt. Aktive tiltak er tiltak som har til hensikt å fjerne lakselus fra en merd over en kortere periode. Disse aktive tiltakene kan skilles i tre kategorier: fôrbehandling, badebehandling og mekaniske avlusningstiltak.

Det har vært en reduksjon i følsomhet overfor medikamentelle badebehandlingstiltak i områder langs kysten de senere årene. Fôrbehandling har fortsatt god effekt og mekaniske tiltak har mer og mer tatt over for medikamentelle. Det er imidlertid viktig for oppdrettsnæringen å ha mange midler i kampen mot lakselus, og å utelukke medikamentelle tiltak kan bli fatalt for videre vekst. Dette understrekes spesielt ved at mekanisk avlusning viser til resultater med endel ugunstige helsemessige bivirkninger for behandlet laks. For å hindre videre resistensutvikling er det nødvendig at ansvarlig personell for lusehåndtering har god innsikt i lusesituasjonen i sitt ansvarsområde. Oppdrettere som går til innkjøp av avlus-

ningsteknologi som begrenser seg til en eller to lusefjernende mekanismer risikerer å overbruke disse mekanismene og indusere toleranse i sitt område.

Lusesituasjonen for Norge i dag tilsier at det er behov for regulering og prosedyrer for lusehåndtering. Mye forskning har blitt gjort for å kartlegge lakselusens spredning og utvikling igjennom dens livssyklus. Lakselusnivåer innmeldt av oppdrettere har blitt gjort tilgjengelig for verden med rapporter datert tilbake til 2012. Fôrprodusenter har utviklet vekstmodeller for oppdrettsfisk og Veterinærinstituttet har sammenstilt konsekvenser ved anvendelse av en rekke tiltak mot lakselus. Ved å sammenstille etablert kunnskap i en simuleringsmodell, vil en kunne simulere konsekvenser av valgte tiltak mot lakselus iløpet av en produksjonssyklus. Produksjonsplaner med tilhørende kontrollstrategier mot lakselus kan dermed bli vurdert ved hjelp av en slik simuleringsmodell før de blir realisert.

1.2 Problemstilling

Mange oppdrettsanlegg erfarer betydelige økonomiske tap grunnet lakselusen. Et utvalg av metoder har blitt utviklet for å få kontroll på lusenivåer på oppdrettsanlegg. Disse metodene inkluderer område baserte kontrollstrategier, definert av satte produksjonsområder, som brakklegges for å bryte smittesykluser mellom anlegg. Satte behandlingsregimer har også tredd ikraft som våravlusningen der produksjonsområder samkjører behandling for å møte sommeren med et samlet lavt lusenivå innad i produksjonsområdet. I tillegg til disse rutinene er benyttelsen av ikke-medikamentelle og medikamentelle tiltak nødvendig for å redusere eksisterende populasjoner av lakselus. Disse metodene har potensialet til å være svært effektive i fjerning av fastsittende og mobile stadier av lakselus. Effekten av disse tiltakene har vist seg å være varierende, og ofte må flere tiltak benyttes for å oppnå ønsket reduksjon i populasjon. Det er en risiko ved å benytte tiltak mot lakselus da det har blitt observert massiv død av behandlet fisk under og etter behandling.

De ulike tiltakene tilsikter å redusere ulike stadier av lakselus, og har ofte en restriksjon forbundet ved anvendelse. Viktigheten av å benytte riktig tiltak til riktig tid har vist seg å være essensielt for å redusere antall tiltak nødvendig i løpet av en produksjonssyklus. Modellering av oppdrettslokaliteter med oppdrettsfisk, lusepopulasjoner, samt samvirket mellom de to oppmot et utvalg tiltak, vil muliggjøre simulering av tiltenkte kontroll og produksjonsstrategier. Dermed kan oppdretter estimere konsekvensene av å benytte ulike kontrollstrategier og identifisere tiltak med tidspunkt for anvendelse som vil være mest gunstig for gitt lokalitet.

1.3 Oppgavebeskrivelse

Formålet med denne masteroppgaven er å utvikle og teste en generisk modell av en merd innbefattende oppdrettsfisk, lusepress, lusenivåer, tiltak mot lakselus og deres samvirke. Modellen skal muliggjøre simulering av forskjellige produksjon og kontrollstrategier igjennom en produksjonssyklus for valgt lokalitet. Resultatene fra simulering skal danne estimer av konsekvensene ved benyttelse av tiltak. En vil dermed kunne identifisere tiltak og tidspunkt for anvendelse som vil være mest gunstig for en gitt lokalitet.

For å få brukbare resultater må systemet inneha og gjennomføre følgende aktiviteter

1. Et utvalg av tiltak relatert til bekjemping av lakselus skal undersøkes med fokus på virkemåte, effekt, restriksjoner ved bruk samt kostnad for benyttelse.
2. Lusepåslag og nivåer i merd skal bli modellert på bakgrunn av historisk innmeldte nivåer, hydrografiske smittepressmodeller samt biologiske utviklingsmodeller for lakselus.
3. Vekst og utvikling av Atlantisk laks skal modelleres på bakgrunn av temperatur og størrelse. Modellert antall og størrelse skal danne basis for å simulere biomasseproduksjon igjennom en produksjonssyklus.
4. Benytte ovennevnte informasjon til å sammenstille en generisk simuleringsmodell. Generisk i den form at den enkelt skal kunne beskrive en tilfeldig valgt lokalitet i Norge. Simuleringsmodell siden endel av parametrene er stokastiske.
5. Velge to til tre lokaliteter og kjøre simulering av en produksjonssyklus for lokalitet ved å benytte den etablerte modellen. Sammenligning av konsekvensene fra historisk gjennomført kontrollstrategi mot foreslått strategi skal deretter utføres.

1.4 Struktur

Dette avsnittet tar for seg utredningens oppbygning, med en forklaring av hvert kapittel. Utredningen er inndelt i 11 kapitler. Kapittel 1 tar for seg bakgrunn og utredningens problemstilling. I kapittel 2 presenteres det litterære rammeverket utredningen baserer seg på. Kapittel 3 inneholder en forklaring av etablert simuleringsmodell. I kapittel 4 har ulike metoder blitt benyttet for å estimere fremtidige lusenivåer. I kapittel 5 drøftes nytteverdien av å benytte simuleringsmodell som beslutningsstøtte for valg av tiltak mot lakselus på lokalitetsnivå. I tillegg er det utført kostnadsestimering av tiltak mot lakselus og kostnadsestimering av forebyggende tiltak. I kapittel 6 er simuleringsmodellens oppbygning forklart med detaljert beskrivelse av hvert segment som utgjør modellen. I Kapittel 7 blir modellen testet på tre forskjellige lokaliteter. Kapittel 8 tar for seg diskusjon av utredningens innhold. Avslutningsvis blir det konkludert i kapittel 9 og foreslått videre arbeid blir presentert i kapittel 10. Referanseliste blir presentert i kapittel 11.

2 Litteraturstudie

2.1 Bakgrunn

Denne masteroppgaven er en videreføring og utvikling av et system etablert i prosjektoppgaven (Næstvold, 2016). I prosjektoppgaven ble det forsøkt å etablere et beslutningsstøtte system for oppdrettere til valg av tiltak mot lakselus ved å kartlegge og forklare alle viktige aspekter som avgjør hvilke tiltak en oppdretter bør iverksette, og når. Aspekter som lusebiologi, tilgjengelige tiltak mot lakselus og deres samvirke ble beskrevet. Lusebiologien ble videre utdypet med å forklare livssyklus, spredningsmønster og adferd. Tiltakene ble kategorisert og forklart med virkemåte og begrensninger. Videre ble en simuleringsmodell etablert som modellerte samvirket mellom lakselus og tiltak. Modellen manglet en god del informasjon for å kunne gi resultater av ønsket kvalitet. Modellens oppbygning var ikke tilpasset implementering av nye momenter så en ny har blitt etablert.

Utenom idéen om modellering av oppdretssmerde har følgende momenter blitt hentet og benyttet fra prosjektoppgaven:

- Lakselusen, *Lepeophtheirus salmonis*, sin livssyklus med tilhørende livsstadier
- Tiltak mot lakselus, virkemåte og begrensninger.

Benyttet litteratur fra prosjektoppgaven er presentert kortfattet med de viktigste momentene i kapittel 2.3.1-2.3.6. Momenter som ikke ble tilstrekkelig dekket i prosjektoppgaven som er essensielle er:

- Modellering av lakselusens utvikling igjennom de ulike livsstadier
- Estimering av lakselusnivåer ved lokalitet
- Kostestimering av et utvalg tiltak mot lakselus

Videre i dette kapitlet presenteres det litterære rammeverket som ligger til grunn for ovennevnte momenter.

2.2 Lignende arbeid

Salmodis var et prosjekt som pågikk fra 2011 til 2014 i regi av SINTEF og Norges forskningsråd (SINTEF, 2013). Prosjektets målsetning var: Å forbedre beslutningsgrunnlaget for regulerings- og intervensjonsstrategier for sykdomskontroll i lakseoppdrett. Dette ble forsøkt oppnådd ved å utvikle kunnskap og metoder for å sammenligne strategier for sykdomskontroll, først og fremst lakselus og Pan-kreassykdom. De forskjellige strategiene skulle sammenlignes på kost-nytte, men også i ett samfunnsøkonomisk perspektiv med tanke på bærekraft og andre utenforstående interesser. Videre var det også ambisjoner om å utvikle verktøy for å integrere tverrfaglig kunnskap for å assistere beslutningstakere.

Målsetningen for Salmodis er svært lik det denne oppgaven forsøker å oppnå. Salmodis var i større grad et forskningsprosjekt med fokus på å skape kunnskap og verktøy som skulle gi grobunn for videre prosjekter uten å forsøke å sy disse enkeltstående verktøyene sammen til en komplett simuleringspakke.

Ved prosjektets ende i 2014 ble det publisert en sluttrapport, kort oppsummert angikk resultatene tre hovedområder:

- 1) Kunnskap og verktøy for å forstå, forutsi og vurdere lokal sykdomsutvikling, med vekt på lakselus. Ulike modeller er utviklet for å simulere og studere effekter av leppefisk, resistens, temperatur, ekstern infeksjon til anlegg med mer.
- 2) Kunnskap og verktøy for å forstå, forutsi og vurdere regional sykdomsutvikling mellom anlegg, og mellom anlegg og vill fisk. Her er det utviklet modeller for å simulere og studere spredningsmønster og effekter av regionale tiltak, slik som sonering, endring av samlet biomasse med mer. En modell av utvandrende smolt er brukt for å studere effekten av ulike scenario på vill fisk.
- 3) Kunnskap om muligheter og begrensninger for beslutningstakere og verktøy for å støtte dem. Økonomiske modeller er utviklet for å vurdere effekter av ulike kontrolltiltak. Modellene som har vært benyttet er i første rekke forskningsverktøy.

Prosjektet, som både har hatt en grunnleggende og tverrfaglig karakter, har vært finansiert gjennom Norges forskningsråd med delfinansiering fra Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF). Førstnevnte har hatt ansvaret for å kvalitetssikre prosjektet faglig og administrativt. Prosjektet har egen prosjektside hos Forskningsrådet (prosjektnr. 207570) med supplerende informasjon og publikasjoner.

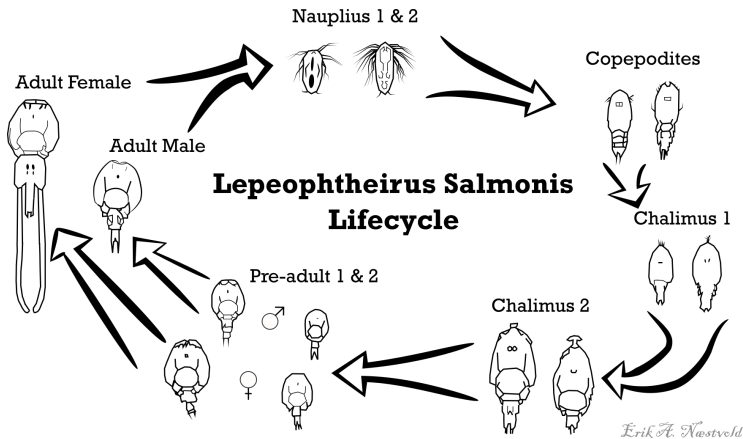
For å få en oversikt over hva prosjektet har ført til i senere tid ble Hans Vanhauwaert Bjelland hos SINTEF kontaktet. Han kunne informere om følgende: En rekke av verktøyene utviklet under prosjektet har blitt videreutviklet og er benyttet i andre prosjekter i dag: Prosjektet resulterte blant annet i en strømningsmodell som har blitt mye benyttet for å simulere lusepress og annen smittespredning, da også i kombinasjon med vandring av smolt og smittens effekt på disse. Innenfor dette pågår det fortsatt utvikling (Samtale Bjelland 09/06-17). Ett verktøy for å modellere lusepopulasjon innad i merd har også blitt utviklet.

Flere av de komponentene prosjektet resulterte i er viktige komponenter av denne oppgavens simulering, men Salmolis prosjektet gjorde altså ingen forsøk på å kombinere disse sammen til en omfattende modell ut ifra hva man kan finne av informasjon om prosjektet.

2.3 Lakselus biologi og tiltak

2.3.1 Lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*)

Lakselusen, *Lepeophtheirus salmonis*, er et krepsdyr som lever ektoparasittisk på laksefisk i saltvann. Festet til laksefisk påfører lakselusen skinnen skader med påfølgende osmoregulatoriske problemer og gjør laksen mer utsatt for sekundære infeksjoner. Livssyklusen til lakselusen består av åtte stadier, der hvert stadie er separert med et skallskifte. Lakselusen har ikke et indre skjelett, men et eksoskjelett. Det vil si at den har sitt skjelett på utsiden av kroppen og dette gir den god beskyttelse, men vanskeligheter for å vokse. For å vokse må lakselusen gjennomgå et skallskifte. Et nytt skall dannes under det gamle og når det nye skallet er ferdig brytes det gamle ned og vrenses av. Det nydannede skallet er elastisk og kan også være foldet slik at det kan bli større enn det gamle. Når lakselusen har skiftet skall, begynner det et nytt livsstadium. I de første stadiene flyter den med vannmassene og kan spres over store områder. Det er de første stadiene som danner smittepresset forbundet med lakselus. Ved det tredje stadiet er lakselusen infektiv og søker aktivt etter vert. Når lakselusen fester seg på verten, vokser den videre igjennom fem stadier til den er voksen og kan formere seg. Hunnen oppbevarer eggene i to lange eggstrenger som så klekkes direkte i sjøen. I figur 1 beskrives livssyklusen til lakselusen igjennom dens åtte stadier. De tre første stadiene er: Nauplius 1 & 2 samt Kopepoditt. I disse tre stadiene befinner lakselusen seg i vannmassene. Under de resterende stadiene befinner lakselusen seg på en vert.



Figur 1: Livssyklusen til *Lepeophtheirus salmonis* med sine åtte livsstadier. (Næstved, 2016)

2.3.2 Lakselustiltak

Lakselustiltak er tiltak som har til hensikt å hindre lakselus i å infisere laksefisk eller å fjerne lakselus fra infisert laksefisk. Det er mange tiltak tilgjengelig, kategorisert etter bruk. Hovedkategoriene av lakselustiltak kan beskrives som aktive eller passive tiltak.

Aktive tiltak er tiltak som gjennomføres over en kort periode for å fjerne lakselus fra infisert laksefisk. Aktive tiltak kan videre bli delt opp i tre kategorier: ikke-medikamentelle, medikamentelle samt fôrbaserte tiltak. Fôrbaserte tiltak benytter medikament til behandling av lakselus men fraviker stort i behandlingsform fra øvrige aktive tiltak.

Passive tiltak innbefatter tiltak som har til hensikt å hindre lakselus i å infisere laksefisk, samt tiltak som kontinuerlig fjerner lakselus på laksefisk over en lengre periode. Tabell 1 viser kategorisering og tiltak som ligger til grunn for simuleringsmodellen som er etablert i denne utredningen.

Tabell 1: Kategorisering av relevante lakselustiltak

Passive tiltak	Ikke-medikamentelle tiltak	Medikamentelle tiltak	Fôrbaserte tiltak
Rensefisk	Temperert vann	Pyretroider	Kitinsyntesehemmere
Luseskjørt	Trykksatt vann	Hydrogenperoksid	

2.3.3 Aktive tiltak, ikke-medikamentelle

Flere medikamentelle tiltak har hatt en synkende effekt de siste årene (Walde, Haukaas, Jansen, Bornø & Hjeltnes, 2017a) samt et økende negativt renommé grunnet deres innvirkning på miljøet. Det har derav blitt utviklet mange teknikker og tiltak som tilsikter å behandle lakselus uten å benytte seg av medikamenter. Disse ikke-medikamentelle tiltakene har vokst veldig i popularitet og var den mest anvendte behandlingsformen i 2016, (Gismervik, Nilsen, Nielsen & Mejdell, 2017).

De ikke-medikamentelle tiltakene benytter seg av ferskvann, temperert vann, børster og trykksatt vann til å fjerne lakselus. Noen av de mest anvendte og kjente tiltakene er Thermolicer som benytter seg av temperert vann, Skamik som benytter børster og spyling samt Hydrolicer som benytter vakuum kombinert med spyling.

2.3.4 Aktive tiltak, medikamentelle

Medikamentelle tiltak blir brukt til å fjerne lakselus ved å benytte medikamenter som har dødelig eller paralyserende effekt på lakselus. Behandling av lakselus med medikamenter blir gjort enten topologisk eller oralt avhengig av medikament som benyttes. Topologisk behandling tilsikter å utsette parasitt direkte for medikament. Topologisk behandling av lakselus er mest benyttet gjennom badebehandling der medikament blir tilsatt vannmasser som lakselusen befinner seg i. Badebehandling gjøres på to måter. Enten ved å pumpe all fisk i merd over i en brønnbåt for å behandling i tanken, eller ved å trekke en tett duk rundt merden før behandling. Medikamenter benyttet til avlusning i Norge er listet i tabell 2

Førbaserte tiltak tilsikter å bekjempe lakselus oralt framfor topologisk. Medikament er innblandet i føret der det suges opp fra laksens tarm, og fordeles ut til blod og vev, samt skinnets slimlag. Lakselus som beiter på behandlet fisk kommer derav i kontakt med medikament. Oral behandling har mange fiskehelsemessige fordeler framfor topologisk da det ikke krever håndtering av fisken. Dette gjør tiltaket skånsomt med lave operasjonelle kostnader i forhold til topologiske tiltak. Orale tiltak er mindre væravhengig enn andre aktive tiltak og kan gjennomføres store deler av året. Negative aspekter ved orale tiltak er at den forutsetter at all fisk spiser føret med tilsatt medikament. Dette vil føre til en dårlig utnyttelsesgrad av medikament hvis fisken generelt har lav appetitt i behandlingsperioden.

Tabell 2: Medikamenter benyttet i bad og förbehandling

Metode	Klasse	Aktiv substas	Legemiddel
Badebehandling	Pyretroider	Low-cis cypermetrin	Excis vet®
		High-cis cypermetrin	Betamax®
		Deltametrin	Alpha Max®
	Organiske fosforforbindelser	Azamethiphos	Salmosan®
	Antiseptisk	Hydrogen peroksid	Paramove®
Förbehandling	Avermectins	Emamectin benzoate	Slice vet®.
	Kitinsyntesehemmere	Diflubenzuron	Lepsidon vet®
		Teflubenzuron	Ektobann®

2.3.5 Preventive tiltak, rensefisk

Rensefisk er fisk som fjerner ektoparasitter på andre fisk og er en utbredt metode til fjerning av lakselus i Norge (Skiftesvik, Mortensen & Bjelland, 2015). Det finnes ulike typer rensefisk, Leppefisk og rognkjeks er de mest brukte. Rensefisk er en biologisk samt kontinuerlig metode for fjerning av lus, noe som betyr at avlusningen skjer uten bruk av medikamenter. Det er derfor lite til ingen utvikling av resistens ovenfor bruken av rensefisk.

Rensefisken blir plassert sammen med oppdrettsfisken innad i merd og fjerner fortløpende lus fra fisken. De negative effektene ved bruk av rensefisk er marginale men napping av laksens øyne og finner har blitt observert. Det er også en høy dødelighets rate av rensefisk ved bruk i merd (Svåsand mfl., 2016). De forskjellige typene rensefisk har varierende egenskaper når det kommer til effektivitet, dødelighet, kost samt tilgang. Forskjellige typer rensefisk er berggylt, rognkjeks, bergnebb, grønngylt og andre arter av leppefisk. Oppdret av rensefisk fra leppefiskfamilien har vist seg krevende, blant annet fordi larvene til leppefisk er sårbare. Rognkjeks tilhører en helt annen familie og har vist seg mye lettere å oppdrette. Andre forskjeller mellom rensefiskene er at leppefisken er mest aktiv i varmt vann og nærmest inaktiv i kjølige perioder. Rognkjeks er effektiv ved kjølige perioder men sliter med økende temperatur. Rognkjeks har den høyeste dødelighets-raten av rensefiskene på 48% iløpet av en produksjonssyklus som er relativt høyt i forhold til for eksempel berggyltens dødelighets-rate på 18% (Nilsen, Viljugrein, Røsæg & Colquhoun, 2014).

2.3.6 Preventive tiltak, luseskjørt

Luseskjørt er brukt for å skjerme oppdrettsfisk fra lusepress ved å montere en fin-masket not rundt merd. Lusenivåene ved bruk av luseskjørt er rapportert til å være omkring 30% i forhold til samme merd uten luseskjørt (Kvistad, 2016). Effekten ved bruk av luseskjørt er varierende, og varierer med faktorer som lokalt strømningsbilde og bølgemønster (Lien, Sunde & Bekkevoll, 2015). Luseskjørt benytter seg av at kopepoditter hovedsakelig befinner seg nær overflaten, og dekker derfor ikke hele noten, men fra dybder på 6-9 meter til overflaten. Maskestørrelsen til luseskjørt må være såpass liten at kopepoditter ikke kommer igjennom, dette fører til redusert gjennomstrømning i merd samt økte hydrodynamiske krefter. En annen effekt ved bruk av luseskjørt er at begroing skjer på skjørt framfor merd, vedlikehold av skjørt er mindre krevende enn vask av not slik at en vil spare kostnader relatert til notvask.

2.4 Estimering av lakselus-nivåer

Mye forskning er utført for å avklare lakselusens utvikling og spredning. Lusens spredning og utvikling er tett knyttet og mye litteratur beskriver modeller som innebærer begge. I denne utredningen har smittepress og utvikling blitt skilt ved at videre spredning av lakselus fra modellert bestand har blitt utelatt. Smittepresset er definert som kun eksternt smittepress, og muligheten for re-infestasjon på anlegg har blitt utelukket. Forenklingen begrunnes med benyttelse av kalibrert eksternt smittepress på bakgrunn av innmeldte lusnivåer på undersøkte lokaliteter.

2.4.1 Registrerte reelle lusnivåer

Lusnivåene for de forskjellige oppdrettsanleggene i Norge benyttet i denne masteroppgaven er hentet fra Barenswatch.no/fiskehelse der en kan laste ned følgende informasjon:

- Antall lakselus pr fisk (voksne hunnlus, lus i bevegelige stadier, fastsittende lus). Antallet lakselus skal telles minst hver 7. dag ved temperaturer lik eller over 4 °C, og minst hver 14. dag ved temperaturer under 4 °C.
- Målt sjøtemperatur, der temperaturen er målt på 3 meters dyp.
- Tiltak mot lakselus (medikamentelle behandlinger, mekanisk fjerning og utsett av rensesk)
- Oversikt over lokaliteter hvor det er mistanke eller påvist fiskeesykdømmene pankreassykdom (PD) og infeksiøs lakseanemi (ILA).

Barenswatch.no/fiskehelse henter sine presenterte data fra henholdsvis Altinn for lusnivåer og fra Veterinærinstituttet for fiskeesykdømmmer. Oppdrettere med fisk i sitt/sine anlegg sender hver uke inn en rapport til Mattilsynet via Altinn. Informasjon om anlegg påvirket eller mistenkt for å ha fisk smittet av en type fiskeesykdom blir innmeldt til Veterinærinstituttet.

2.4.2 Smittepress

Lakselus spres ved at lakseluslarver klekkes direkte i vannmassene og utvikler seg gjennom flere stadier før de blir smittsomme og kan feste seg på en laksefisk. I denne perioden kan de bevege seg vertikalt i vannet (Heuch, Parsons & Boxaspen, 1995), men ellers driver de fritt med vannstrømmene til de finner en vert. Dette muliggjør etablering av smittepressmodeller som på bakgrunn av innrapporterte nivåer med reproduserende hunn lus og etablerte havstrømsmodeller estimerer hvor mange og hvordan lakseluslarver drifter med havstrømmer.

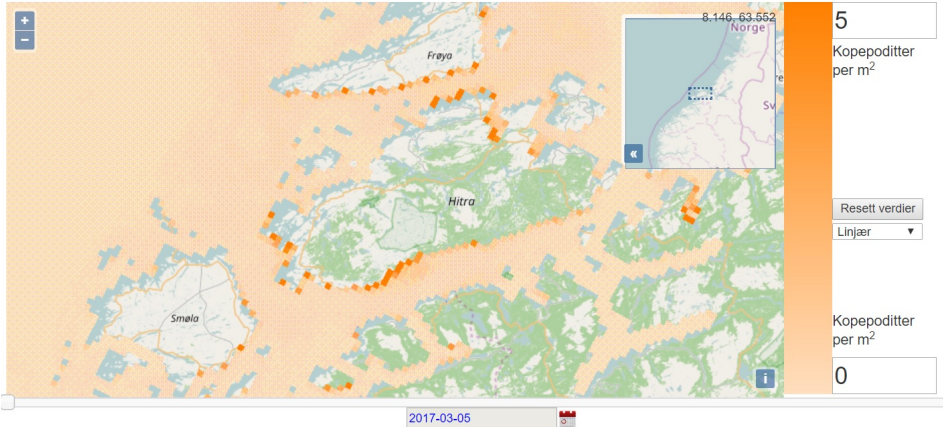
To smittepressmodeller som er undersøkt er Veterinærinstituttet sin avstandsbaserte modell og Havforskningsinstituttet sin hydrografiske modell. Hovedforskjellen mellom modellene ligger i modellering av lakseluslarvenes spredning. Avstandsbaserte modeller beregner smittepress per anlegg og representerer lokalt smittepress som fortynnes med økende avstand fra kildeanlegget. For et gitt sted på kysten vil smittepresset beregnes på bakgrunn av å legge sammen avstandsjusterte smittepress fra alle anlegg med lus i nabolaget. Begge modellene baserer seg på ukentlige rapporteringer på lokalitetsnivå av antall reproduserende hunn lus og temperatur. Sammen med kunnskap om lakselus biologiske brukes lokalitetsinformasjon til å beregne reproduksjon, utviklingstider og overlevelse frem til mobile stadier av lus på fisk. Den enklere avstandsbaserte spredningsmodellen har vist til bedre prediksjon enn den hydrografiske smittepressmodellen for fjorder og skjermede farvann (Samsing mfl., 2016).

Modellen som er blitt benyttet i denne utredningen er Havforskningsinstituttets hydrografiske smittepressmodell. Modellen benytter rapporter fra oppdrettere om hvor mye lakselus de har på oppdrettsfisken og vanntemperatur hver uke. I tillegg leverer de månedlige rapporter på antall fisk. Disse opplysningene brukes til å estimere hvor mange luselarver som klekkes i timen på hvert anlegg i hele landet. Disse opplysningene mates inn i en spredningsmodell som beregner lakselusens sin posisjon. Strømmen er beregnet med hjelp av kystmodellen NorKyst800 som kjøres operasjonelt av Meteorologisk institutt hver dag. NorKyst800 er et modellsystem utviklet på Havforskningsinstituttet i samarbeid med Norsk institutt for vannforskning og Meteorologisk institutt. NorKyst800 benytter seg av ROMS (Regional Ocean Modeling System) med et 800 m horisontalt romlig gitter og 35 vertikale terrengfølgende nivåer med høyest antall nær overflaten (Karlsen, 2016).

Smittepressmodellen simulerer totalt antall smittsomme lakselus langs hele norskekysten og lusepress nivåene er vist i $800 \times 800 \text{ m}^2$ kvadrater. Mange av disse kvadratene befinner seg på lokasjoner hvor det også befinner seg oppdrettsanlegg.

Smittepress lakselus

(28.2.2017 - 10.3.2017)



Figur 2: Skjermbilde av smittepressmodellen på havforskningsinstituttets hjemmeside. Kartene viser totalt antall smittsomme lakselus per kvadratmeter (kopepoditter), summert over en periode på 10 dager. Hvert kvadrat er av størrelsesorden $800 \times 800 \text{ m}^2$

På forespørsel er nitti dager med simuleringresultater for smittepress tilsendt undertegnede fra Havforskningsinstituttet. Data som har blitt benyttet er resultater fra en simulering som dekker hele Norge i perioden 01.04.2016 og 90 dager frem i tid. De 30 første dagene av resultatene var oppspinningstid og ble dermed ikke benyttet. Data-en innebefatter $2411 \times 811 \times 90$ datapunkter der det er 2411×811 kvadrater med kopepodittnivåer over 90 dager. Hvert av kvadratene har en tilhørende lengde og breddegrad. Ved uthenting av smittepress ved lokalitet blir lokaliteten sammenlignet med lengde og breddegrads matrisene for å finne det kvadratet lokasjonen ligger i. På denne måten kan smittepresset for de 90 simulerte dagene bli hentet ut for alle lokaliteter i Norge. I figur 2 kan en se hvordan Norskekysten er stykket opp i kvadrater og hvordan smittepresset kan variere mellom kvadratene.

Validiteten til smittepressmodellen beror på kunnskapen som ligger til grunn for de ulike leddene i modellen (Karlsen, 2016). Disse leddene er: kildeleddet, biologisk kunnskap om lakselus som inngår i smittepressmodellen, samt sammenhengen mellom predikert og observert tetthet av lakselus i sjøen og mellom predikert tetthet av lakselus i sjøen og observert lakselus på laksefisk. For å beskrive forflytningen av lakseluslarver er det nødvendig med modellerte havstrømmer. Strømmodellene benyttet anses som særs god, og er ikke betegnet som en flaskehals for smittepressmodellens validitet. Modellopløsningen på 800 meter gir gode resultater for åpne kystfarvann, men blir tidvis for grovt for smale fjorder og tett ved kysten.

Det har derfor blitt stadfestet som et videre utviklingspotensiale å oppnå finere nøyaktighet i disse regionene. Kildeleddet beror på innmeldte nivåer fra lusetellinger og finere nøyaktighet av telling vil resultere i mer korrekt beskrivelse av kilden. Modellen blir stadig forbedret og lakselus larvenses mulighet for endring i horisontal migrasjon grunnet vertikal migrasjon skal/vil bli inkludert i smittepressmodellen (Samsing mfl., 2016).

Det har blitt gjort forsøk som viser til at høye smittepresseestimer gir høye infeksjonsnivåer på burfisk. Ved lavere smittepresseestimer er prediksjonen betydelig dårligere. En enklere metode som er avstandsbasert har vist til bedre prediksjon enn den hydrografiske smittepressmodellen. Dette tyder på at det er betydelig forbedringspotensiale knyttet til smittepressmodellen (Karlsen, 2016).

At det er et betydelig forbedringspotensiale knyttet til smittepressmodellen overskygger ikke det faktum at kun 60 dager med valide resultater har blitt innhentet. Det manglende data-grunlaget gjør det derfor ikke hensiktsmessig å etablere simulert smittepress i utredningen på bakgrunn av resultater fra Havforskningsinstituttets smittepressmodell.

2.4.3 Modellering av lakselus

Livssyklusen til *Lepeophtheirus salmonis* består av åtte livsstadier separert med skallskifte. Hvert stadie har en varighet beskrevet av tid, temperatur og salinitet. Modellering av lakselusens utvikling igjennom stadiene er nyttig da forskjellige egenskaper er knyttet til de forskjellige stadiene. Egenskaper som reproduksjon, mottakelighet for medikamentell og ikke-medikamentelle tiltak, størrelse som muliggjør benyttelse av rensefisk med mer.

Et utvalg av deterministiske ((Revie, Robbins, Gettinby, Kelly & Treasurer, 2005);(Groner, Gettinby, Stormoen, Revie & Cox, 2014);(Kristoffersen mfl., 2014)) og stokastiske (Groner mfl., 2014) modeller har blitt utviklet for å predikere lakselusens dynamikk.

(Revie mfl., 2005) modellerte lakselus med intensjon om å analysere viktigheten av tidspunkt og antall benyttelser av hydrogenperoksid og cypermethrin for å kontrollere lusenivåer på lokalitetsnivå. Lakselus ble i modellen delt opp i fem stadier: Chalimus, Preadult, Adult, Gravide hunnlus og egg og planktoniske stadier. Smittepresset var modellert på bakgrunn av gjensmitte fra modellert lakselus med eksternt lusepress. Sensitivitetsanalysen gjort for modellen tilsa at den minst påvirkende faktoren var det eksterne presset. Som vil si at for denne modellen var

hovedkomponenten av smittepresset kom fra gjensmitte fra eksisterende lusepopulasjoner. Den tilhørende viktigste parameteren var overlevelse fra ett stadie til det neste. Utviklingen fra et stadie til det neste er satt av to parametere: tiden brukt i gitt stadie, og dødelighets-raten per dag i gitt stadie. Disse verdiene ble satt konstante i (Revie mfl., 2005) sin modell, og er dermed den *enkleste* av de undersøkte modellene.

(A. Stien, Bjørn & Elston, 2005) tilsiktet å etablere matematiske ligninger som inkluderer temperatur for å tilstrekkelig nøyaktig kunne modellere livssyklusen til lakselus. Dette ble gjort på bakgrunn av observerte verdier for utviklingshastighet og uttrykt ved hjelp av Belehradek's funksjon. Disse gjorde mulig å uttrykke reduksjon i minste trengte utviklingstid for de ulike stadiene som en funksjon av temperatur. Videre ble tidsforsinkede partiellderiverte differensiallikninger benyttet for å beskrive hvor mange lus som befant seg i de ulike stadiene ved tid t og temperatur T . Dødelighets-ratene for de ulike stadiene ble uttrykt som en konstant valgt fra observerte verdier ved fire ulike temperaturer.

(Groner mfl., 2014) modellerte lakselus med vekt på å inkludere lakselusens temperaturavhengighet. Siden lakselus har vist seg å være sterkt påvirket av temperatur utviklingsmessig. Varme sjøtemperaturer fører til høyere utviklingshastighet og lavere temperaturer fører til lavere utviklingshastigheter. Dette ble gjort ved å uttrykke skiftet fra ett stadie til det neste som en funksjon av døgngader fremfor kun tid som i (Revie mfl., 2005). Verdiene for minste trengte døgngader benyttet ble hentet fra (A. Stien mfl., 2005). Modellen forøvrig ligner veldig på (A. Stien mfl., 2005) i beskrivelse av utvikling mellom stadiene men benytter seg av matrise representasjon av lusebestander, og modellerer ni stadier der det adulte stadiet har blitt oppstykket for å bedre representere forskjell i fekunditet.

(Rittenhouse, Revie & Hurford, 2016) tilsiktet å inkludere at lakselusens dødelighets-rater er avhengig av salinitet. Dermed kunne de etablere en deterministisk modell som både inkluderer effekten av sesongvarierende temperaturer med tilhørende utviklings-rater, samt sesongvarierende salinitet-nivåer med tilhørende dødelighets-rater. Modellen viser at salinitet spiller en vesentlig rolle for lakselus-nivåer på lokalitet. Høy salinitet (>20 psu) og høye temperaturer ($>8^{\circ}\text{C}$) er gode forutsetninger for vekst av lusebestander på lokalitet. Salinitet over 15 psu viste seg å være kritisk for at populasjoner i det hele tatt kunne utvikles, temperaturen bestemmer mer hastigheten på dannelsen av populasjoner.

I prosjektoppgaven (Næstvold, 2016), ble en enkel temperaturavhengig utviklingsmodell etablert. Larvestadiene ble her ekskludert og fastsittende, bevegelig og adulte stadier ble modellert for å representere de fem stadiene lusen befinner seg på

vert. Utviklingshastigheten fra et stadie til det neste ble bestemt på bakgrunn av døgngader. Antall døgngader ble satt konstant på bakgrunn av verdiene vist i tabell 3. Det ble ikke differensiert mellom han og hunnlus, og dødelighets-rater ble ikke inkludert.

Stadie	Temperatur for varighet [°C]	Varighet [timer]	Infektiv	Toleranse for redusert salinitet
Nauplius 1	[5,10,15]	[52,19,9]	Nei	Lav
Nauplius 2	[5,10,15]	[170,68,36]	Nei	Lav
Kopepoditt	[5,10,15]	[240,192,48]	Ja	Lav
Chalimus 1	[10]	[360]	Immobil	
Chalimus 2	[10]	[240]	Immobil	
Preadult 1 female	[10]	[240]	Bevegelig	God
Preadult 1 male	[10]	[192]	Bevegelig	God
Preadult 2 female	[10]	[288]	Bevegelig	God
Preadult 2 male	[10]	[192]	Bevegelig	God
Adult female	[NaN]	15.5 måneder	Bevegelig	God
Adult male	[NaN]	[NaN]	Bevegelig	God
Befruktede egg	[5,10,15]	[419,207,130]	Nei	Veldig lav,

Tabell 3: Utvikling av *Lepetheirus salmonis* gjennom dens åtte stadier. Observert antall timer tilbragt i gitt stadie ved gitt temperatur (Næstvold, 2016).

2.5 Kostestimering av tiltak mot lakselus

Nofima og Kontali fikk i 2015 oppdrag fra Fiskeri-og havbruksnæringens forskningsfond (FHF) om å kartlegge kostnadsdrivere i oppdrett (Iversen mfl., 2015). Blant annet ble utgiftsposten *andre kostnader* identifisert som en av kostnadene som økte mest fra 2013 til 2014. Denne økningen var i stor grad grunnet økte kostnader til forebygging og behandling av luseplager. Rapporten beskriver kostnadene knyttet til benyttelse av de fleste tiltak mot lakselus fra notvask for anvendelse av rensefisk, til badebehandling med hydrogenperoksid.

(Rødseth, 2016) Skrev et innlegg som en respons på Nofima og Kontali sin analyse av totale lakseluskostnader. De poengterer at effekten av sultetap og tapt tilvekst ikke er tilstrekkelig inkludert i deres rapport. Effekten av økt forfaktor, sultetap og tapt tilvekst i tilknytning til lusebehandling blir estimert og tallfestet.

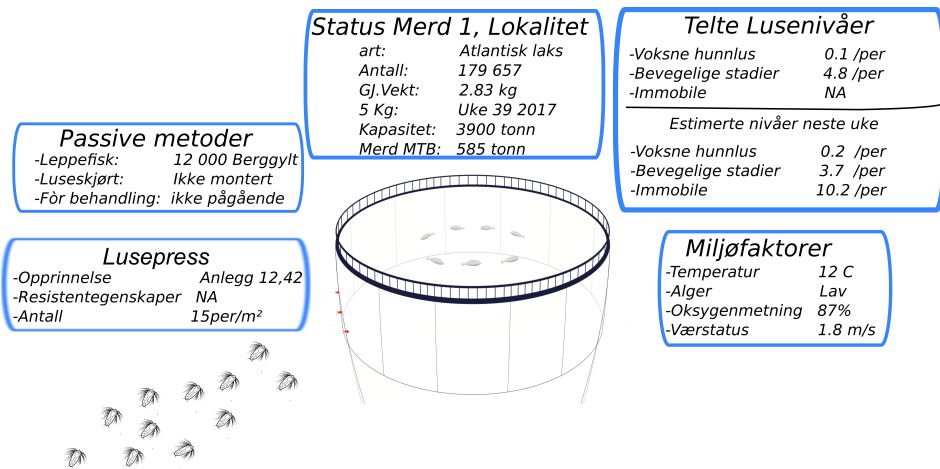
(Astrid Buran mfl., 2016) Nofima fikk i 2017 oppdrag fra FHF om å kartlegge beste praksis for anvendelse av ikke-medikamentelle tiltak mot lakselus. Tiltakene undersøkt er blant annet aktive ikke-medikamentelle tiltak som Termisk, mekanisk og ferskvanns-avlusning. Passive tiltak omfattet rensefisk og laser. Forebyggende tiltak omfattet luseskjørt, ultralyd og lukkede merder. Hvert av tiltakene presentert i rapporten har blitt kostestimert.

(Bing Orkland & Aronsveen, 2014) gjorde en lønnsomhetsvurdering av rensefisk og badebehandling med hydrogenperoksid i sin masteroppgave. I den relasjon ble kostnader knyttet til begge tiltakene estimert. I kostestimeringen av rensefisk ble innkjøpskostnad, rensefisk skjul, ekstra vask av not og ekstra trengt arbeidskraft identifisert som kostnadskomponenter med varierende verdi. Behandling med hydrogenperoksid ble differensiert mellom behandling i brønnbåt og presenning, der presenning viste seg å være den mest kosteffektive metoden.

3 Systembeskrivelse av etablert simuleringsmodell

En simuleringsmodell har blitt utviklet i denne masteroppgaven. Modellen tilsikter å simulere en merd ved gitt lokalitet igjennom produksjonssyklus ved å benytte forskjellige produksjon og kontrollstrategier. Hensikten er å kunne estimere konsekvenser av strategiene før de blir satt til verks. Produksjonsstrategi inkluderer dato for utsett av settefisk og slaktedato samt størrelse på settefisk. Kontrollstrategi innebærer valg av tiltak mot lakselus og tidspunkt for gjennomføring. Dette er oppnådd ved å modellere samvirket mellom lakseluspopulasjoner, oppdrettsfisk samt et utvalg aktive tiltak og arter rensfisk. Temperatur er hentet for lokalitet og implementert i modellen for å gi en nøyaktig representasjon av miljøet til modellert merd.

Lakseluspopulasjoner er modellert med tre stadier på bakgrunn av etablerte utviklingsmodeller samt kalibrert smittepress som resulterer i historiske lusepopulasjoner for gitt lokalitet. Oppdrettsfisk er modellert med størrelse og antall regulert av vekstfunksjoner og tap igjennom anvendte tiltak mot lakselus. Tiltakene mot lakselus er modellert til å ha en stokastisk effekt mot de tre stadier av lakseluspopulasjon samt fiskehelsekonsekvenser iform av økt akutt og forsinket dødelighet for oppdrettsfisk. Rensfisk er modellert til å bestå av fire forskjellige arter med stokastisk temperatur avhengig effekt mot de tre stadiene av lakselus samt en dødelighets-rate som funksjon av alder.



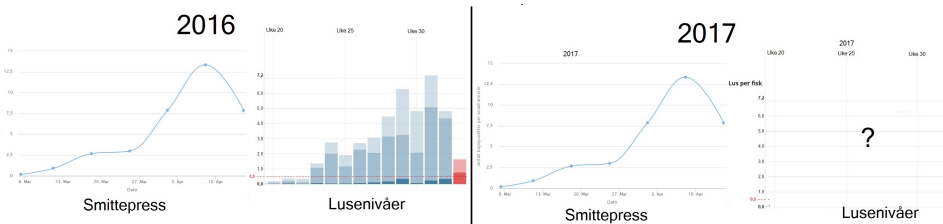
Figur 3: Illustrasjonsbilde av kategorier som danner grunnlag for valg av tiltak mot lakselus

4 Estimering av lusenivåer

Estimering av fremtidige lusenivåer for en lokalitet vil gi oppdretter bedre tid til planlegging av valg og gjennomføring av tiltak. Hvis en lokalitet uforutsett får lusenivåer over tillat grense, vil handlingsfriheten til valg av tiltak begrenses og sub-optimale tiltak vil kunne måtte benyttes.

Estimeringen er forsøkt gjennomført på to måter:

- På bakgrunn av modellert smittepress på lokalitet
- På bakgrunn av historiske lusenivåer for lokalitet



Figur 4: Ved å ha verdier for smittepresset på en lokalitet er det tenkt å kunne estimere lokalitetens fremtidige lusenivåer.

4.1 Estimering av lusenivåer på bakgrunn av modellert smittepress

Smittetrykksmodellen til Havforskningsinstituttet simulerer totalt antall smittsomme lakselus langs hele norskekysten. Norskekysten er delt opp i kvadrater på $800 \times 800 \text{ m}^2$, der resultatene fra modellen blir presentert i kopepoditter/ m^2 for hvert kvadrat. Et høyt antall kopepoditter per m^2 vil indikere at laks i området er mer utsatt for smitte enn laks som befinner seg i et område med et lavt antall kopepoditter. Et oppdrettsanlegg som befinner seg i et kvadrat med et stort lusepress vil derfor ha en større sannsynlighet for å få lakselus enn oppdrettsanlegg som befinner seg i et kvadrat med et lite lusepress. Det som derimot ikke er like lett å se er hvor mange av kopepodittene i området som vil feste seg på oppdrettsfisk og utvikle seg til voksne lus. Kopepodittene kan drive forbi anlegget uten å feste seg på en vert eller feste seg og dø før den når det voksne stadiet. Denne usikkerheten har blitt forsøkt kompensert ved å identifisere en korrelasjon mellom registrert smittetrykk og innmeldte lusenivåer.

Et skript har blitt laget i MATLAB for å kombinere lokalitetsinformasjon fra Barenswatch.no/fiskehelse med smittepress fra Havforskningsinstituttet for den aktuelle perioden. Skript-et sammenligner koordinatene til hver enkelt lokalitet med tilhørende smittepress kvadrat og fjerner anlegg uten oppdrettsfisk i merd ved gitt periode. Data-en bearbeidet av skript-et har videre blitt brukt til å sammenligne ulike parametere for å identifisere en mulig korrelasjon mellom smittepress og lusenivåer.

Parametrene som har blitt benyttet i forsøket på å identifisere korrelasjonen er lusepress, lusenivåer samt temperatur. De tre parametrene er sammenstilt for samtlige oppdrettsanlegg i Norge med oppdrettsfisk stående i sjø i perioden 1.04.16 - 1.08.16. Skript-et benyttet er inkludert i vedlegg P.

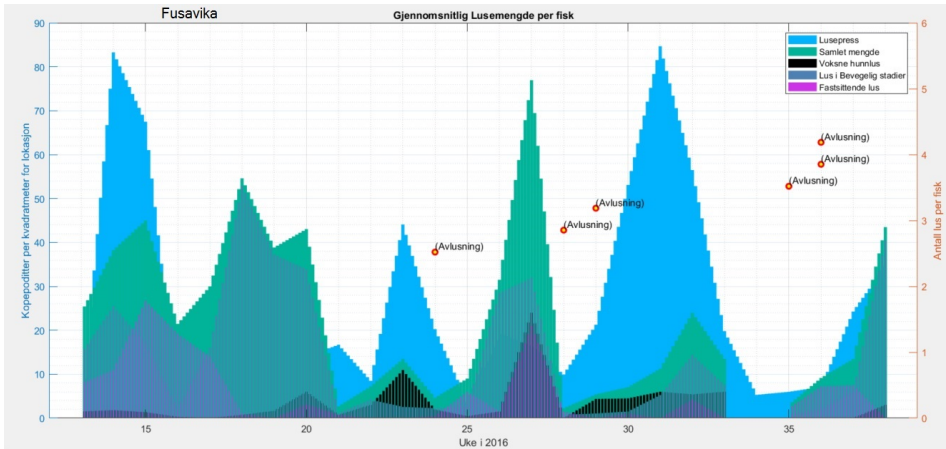
To kombinasjoner av parametrene har blitt forsøkt brukt til å beskrive en eventuell korrelasjon.

- Lusepress mot lusenivå
- Lusepress mot lusenivå med hensyn til temperatur

4.1.1 Lusepress mot lusenivå

Det ble først forsøkt å se om det var noen direkte korrelasjon på lokalitetsnivå. På lokalitetsnivå var det stor variasjon i korrelasjon fra anlegg til anlegg. Fusavika, figur 5, hadde en av de mest tydelige korrelasjonene med topper i lusenivåer etter 4-5 uker med en topp i smittepress. Dette samsvarer bra med lusebiologien som tilsier at en kopepoditt bruker mellom 4 og 6 uker, avhengig av temperatur, på å utvikle seg fra den har festet seg på en vert, til den blir adult.

Anleggene benytter tiltak fortløpende for å redusere lusenivåer som vil redusere muligheten til å se en direkte korrelasjon mellom lusenivåer og lusepress. I figur 5 kan en se det har blitt gjennomført seks avlusninger på hele eller deler av anlegget. Dette hindrer en i å se konsekvensene av et stort lusepress da de kan ha blitt fjernet av tiltakene før de blir tellbare. Det blir heller ikke tatt hensyn til temperatur som vil ha innvirkning på tiden mellom lusepresset har potensielt utviklet seg til tellbare lus. Det har heller ikke blitt funnet noen direkte sammenheng mellom størrelsen på registrert lusepress og tilhørende lusenivåer. Lokalteter med lusepress opptil fem ganger større i antall kopepoditter enn andre lokaliteter har blitt funnet til å ha lavere registrerte lusenivåer enn lokaliteter med relativt lavt lusepress. Generelt var det ikke mulig å bestemme noen korrelasjon ved kun å se på lusepress mot lusenivå.

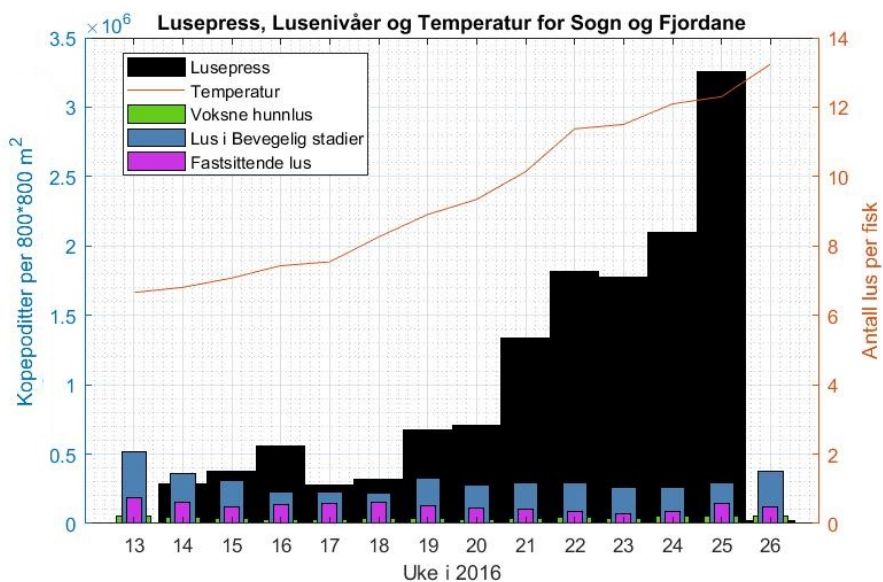


Figur 5: Innmeldte lusenivåer sammen med smittepress for lokaliteten Fusavika.

4.1.2 Lusepress mot lusenivå med hensyn til temperatur

Ved å ta hensyn til temperatur i tillegg til lusepress og lusenivåer har det blitt forsøkt å identifisere en korrelasjon mellom nevnte parametere. Grunnet den store variasjonen på lokalitetsnivå ble det her fokusert mer på fylkesnivå, da anlegg innad i samme fylke er antatt å oppleve lignende forhold vedrørende temperatur i sjøen og lusepress. I figur 6 er gjennomsnittet av lusenivåer, lusepress og temperatur for Sogn og Fjordane presentert. En begrensende faktor er igjen bruken av avlusningstiltak og grensen for tillat lusenivå. Som en kan se i figur 6 ligger lusenivåene stabilt igjennom hele perioden på tross av økende temperatur og lusepress.

I figur 6 er gjennomsnittlig lusepress og lusenivåer for alle aktive anlegg i Sogn og Fjordane blitt samlet. Den eneste trenden en kan enkelt se ved denne sammenligningen er økningen i lusepress med økende temperatur. Lusenivåene ligger noenlunde stabilt på samme nivå gjennom hele perioden. Dette er å forvente da alle anlegg kreves å ligge under lusegrensen på 0.5 hunn lus per fisk og vil gjennomføre tiltak for å sørge for at nivåene ligger under.



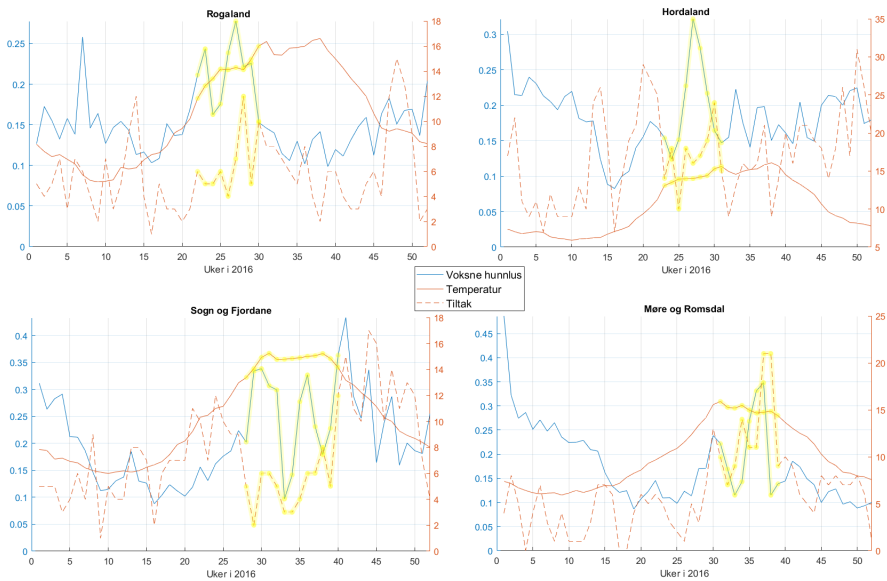
Figur 6: Samlet innmeldte lusenivåer sammen med smittepress for Sogn og Fjordane.

På tross av stabile lusenivåer, øker lusepresset drastisk i takt med økende temperatur. Det skal nevnes at lusepresset er generert på bakgrunn av innrapporterte lusenivåer, slik at en forklaring av lusepresset på bakgrunn av lusenivåer kan virke søkt. På den annen side vil ikke lusenivåene vist i figur 6 danne hele grunnlaget for smittepresset. I perioden fra uke 19 til 25 var det en voldsom økning i induisert lusepress, påvirket av oppdrettslokaliteter i Hordaland da havstrømmene langs norskekysten går fra sør til nord, og lusepresset flytter seg med havstrømmene.

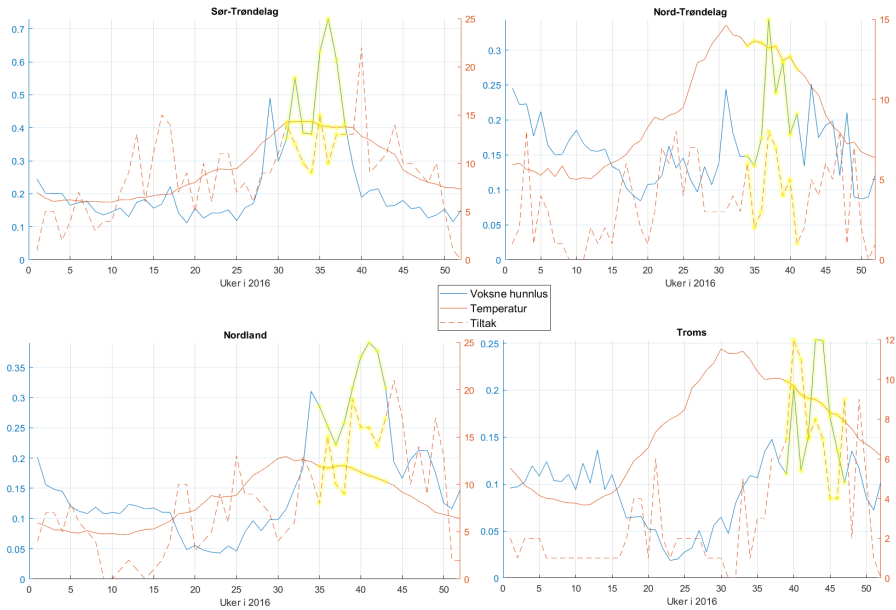
Generelt ligger lusenivåene noenlunde stabilt med økende lusepress ved økende temperaturer. Tenkt handlingsmønster ville vært en økning i benyttede tiltak som respons til det økende lusepresset uten at dette har blitt observert. 60 dager med resultater for smittepresset er alt for snevert til å kunne dra noen konklusjon. Å benytte lusepress som drivende faktor i prediksjon av lusenivåer vil derfor ikke være hensiktsmessig i beslutningsstøtte systemet.

4.2 Estimering av lusenivåer på bakgrunn av historiske verdier

En annen tilnærming til estimering av lusenivåer er å identifisere gjentakende trender. Sammenstillingen av lusenivåer, temperatur og benyttede tiltak på fylkesnivå ved hjelp av MATLAB viser at det er en trend med forhøyede lusenivåer i perioden fra uke 20 og ut året. I figur 7 og 8 er toppene markert i gult som kan tyde på et spredningsmønster fra sør til nord, et fylke om gangen med en forsinkelse på henholdsvis 4-6 uker. Dette spredningsmønsteret kan virke uavhengig av temperatur for fylkene nord for Sør-Trøndelag da de har sin topp ved synkende temperaturer. Det som er antatt er at de høye temperaturene i sommerhalvåret fasiliterer for effektiv spredning mellom fylkene med eksisterende høye lusenivåer. Temperaturen er videre antatt som igangsetteren for «bølgen» som stammer fra det sørligste fylket analysert, Rogaland. I Rogaland kan en se at de har relativt høye nivåer jevnt igjennom året med en dupp ved våravlusningen rundt uke 15. Figur 7 og 8 er også lagt ved i vedlegg T og U sammen med tilhørende MATLAB skript i vedlegg V.



Figur 7: Voksne hunnlus mot temperatur og benyttede tiltak for nevnte fylker i 2016. (Vedlegg U)



Figur 8: Voksne hunnlus mot temperatur og benyttede tiltak for nevnte fylker i 2016. (Vedlegg T)

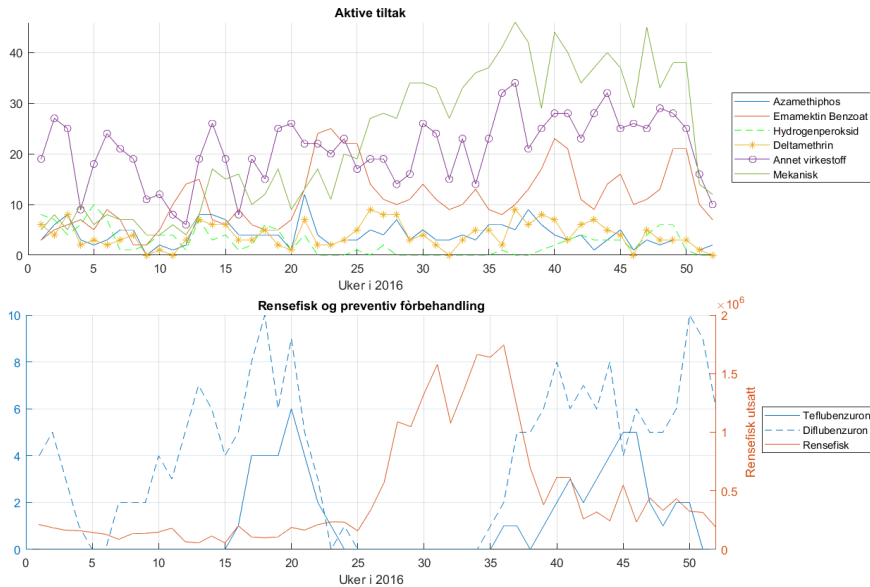
I figur 7 og 8 er blå linje gjennomsnittlig mengde voksne hunnlus per fisk. Stiplet rød er antall benyttede aktive tiltak for gitt uke. Heltrukket rød linje er gjennomsnittlig temperatur ved anlegg for fylket. Hvert plott er sammenstilt av data fra alle lokaliteter med fisk i sjø for hvert respektive fylke. Finnmark er ikke inkludert blant plottene men hadde sin topp på begynnelsen av året. Dette er bemerkelsesverdig da fylket hadde svært lave temperaturer i denne perioden. Se vedlegg S for plottet til Finnmark. Tiltakene inkludert i plottene består av medikamentelle og mekaniske tiltak, utsett av leppefisk er ekskludert da effekten ikke gir et øyeblikkelig utslag på lusenivåene. Antall tiltak benevnt i plottene kan variere i omfang. Data innhentet fra Barenswatch.no/fiskehelse innbefatter avlusning for både hele og deler av anlegg. Dette vil si at en lokalitet som avluser hele anlegget i tre runder vil resultere i tre benyttede tiltak i plottene. Tilsvarende vil en lokalitet som avluser hele anlegget på en gang bare bli representert med ett benyttet tiltak. Dette kan gjenspeiles i den varierende effekten økende nivåer med tiltak har på lusenivåene der et lavt antall benyttede tiltak kan ha en tilhørende større reduksjon i lusenivåer enn mange benyttede tiltak.

Videre kan en se en direkte trend mellom benyttede tiltak og reduserte lusenivåer samt en økning i tiltak ved økende lusenivåer. Dette blir bekreftet hvis en ser på medikamentelle tiltak benyttet i 2016 figur 9. Flubenzuroner ble kun benyttet 173 ganger mot det totale antallet medikamentelle tiltak på 3115. Flubenzuroner omfatter en serie medikamenter som er effektive mot lus som ikke har nådd det adulte stadiet da de hindrer skallskifte. Dette indikerer at brorparten av medikamentelle tiltak benyttet i 2016, var for å redusere eksisterende nivåer av lakselus framfor å forebygge.

Virkestoff kategori	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Azametifos	409	691	480	749	616	257
Pyretroider	456	1155	1123	1043	660	275
Emamektin benzoat	288	164	162	481	522	607
Flubenzuroner	23	129	170	195	201	173
Hydrogenperoksid	172	110	250	1009	1270	629
Sum legemidler	1348	2249	2185	3477	3269	1941
Ikke-medikamentelle behandlinger		136	110	176	185	1174
Sum alle behandlinger	1348	2385	2295	3653	3454	3115

Figur 9: Medikamentelle tiltak benyttet for bekjempelse av lakselus kategorisert etter virkestoff tabell fra (Svåsand mfl., 2016)

Alle tiltak benyttet i Norge for 2016 har blitt sammenstilt og presenteres i figur 10. Her kan en se endringen av valgte tiltak iløpet av året. 90 % av totalt utsatt rensefisk skjedde i perioden fra uke 27 til uke 38. Dette sammenfaller med perioden for det største lusestrykket iløpet av året. Hvorvidt dato for utsett såpass sent i året er hensiktsmessig er diskutert. Utsatt rensefisk er ofte sårbare og det er knyttet stor usikkerhet til effekt og overlevelse. I noen tilfeller dør alt av utsatt rensefisk de første dagene og ukene etter utsett (Nilsen mfl., 2014). Det kan derfor, om mulig, være fordelaktig å ha utsett av rensefisk en god tid i forkant av forventet topp i lusenivåer for å forsikre seg om at en har aktivt beitende rensefisk i perioden. Det er også forbundet en økning i dødelighet for rensefisk ved håndtering slik som bytte av not eller aktive avlusnings tiltak. Det er derfor interessant å se at majoriteten av rensefisk blir utsatt i forkant av perioden med høyest omfang av tiltak.



Figur 10: Benyttede tiltak i Norge for 2016. Venstre akse beskriver hvor mange ganger tiltak har blitt benyttet for gitt uke. (Vedlegg V)

Majoriteten av rensefisk blir utsatt i en periode der det ikke blir brukt kitinsyntesehemmere. Om dette er for å skåne rensefisken er lite tenkelig da kitinsyntesehemmere er inntatt oralt og skal ikke påvirke rensefisk. Det ville vært mer naturlig å se en økning i forbehandling sammen med rensefisk grunnet dens skånsomme behandlingsmetode. Kitinsyntesehemmere bør brukes restriktivt i perioden juni til august av hensyn til toksisitet overfor andre krepsdyr. Det skal være minimum 12 uker mellom to behandlinger grunnet sen nedbrytning i miljøet (Rykhuis et al, 2012). Videre er det ikke anbefalt å benytte kitinsyntese hemmere ved temperaturer under 9 grader celsius på grunn av begrenset dokumentasjon av effekt (Ewos, udatert). Å sette øvre grense på bakgrunn av måned og ikke temperatur er uheldig, især for de nordlige fylkene som kun opplever varende perioder med temperaturer over 9 grader celsius nettopp i juni-august.

Om det totale fraværet av kitinsyntesehemmere i perioden fra uke 24 til 34 kan ha en innvirkning på de forhøyde lusenivåene fra uke 25 til 40 er trolig. Kitinsyntesehemmere er en effektiv måte å forhindre akkumulering av lusenivåer ved å hindre smittepress i å utvikle seg. Data-en er verifisert oppimot Barenswatch.no/fiskehelse sin egen presentasjon av data-en. Det er videre antatt at den store posten med

«Annet virkestoff» i figur 10 innebefatter kitinsyntesehemmere. Dette har blitt delvis avkreftet da majoriteten faller innunder badbehandling, samt presentert antall kitinsyntesehemmere (flubenzuroner) benyttet er på 260 ganger i plottene og 173 i figur 9.

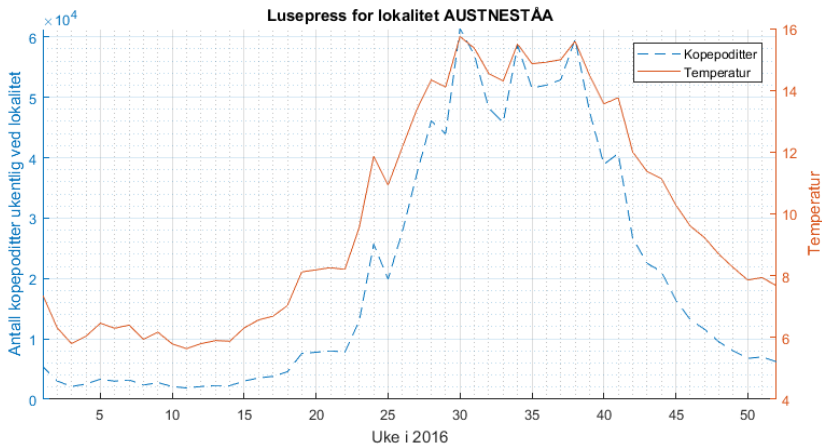
Generelt sammenfaller hyppigheten i benyttelse av tiltak overens med lusenivåene de forskjellige fylkene opplever slik en kan se i figur 7 og 8. Initielt var det tenkt at en økning i benyttelse av tiltak ville være en god indikator på forhøyede lusenivåer, noe som har vist seg å være to sider av samme sak. Dog bekreftes det at tiltak i stor grad blir benyttet som «brannslukking» framfor preventivt.

4.2.1 Prediksjon av lusenivåer for etablert simuleringsmodell

Smittepress er et uttrykk for hvor mange kopepoditter som befinner seg på et gitt sted. Antallet kopepoditter avhenger av antall reproduserende lakselus og reproduksjonshastigheten. Antall reproduserende lakselus er avhengig av antall voksne hunnlus. Reproduksjonshastigheten er avhengig av temperatur. Smittepress er derfor antatt til å være en funksjon av antall voksne hunnlus og temperatur.

Denne funksjonen kan videre bli benyttet til å predikere smittepresset ved en lokalitet. Ved å se på lusenivåer og temperatur for lokaliteter som kan være kilden til opplevd lusepress vil en kunne predikere fremtidige lusepress. Dette er tanken bak smittepressmodeller for lakselus. Grunnet manglende data fra etablerte smittepressmodeller har en egen prediksjon blitt etablert.

Ved å velge en lokalitet som skal simuleres, for eksempel en lokalitet i Sogn og Fjordane, vil grunnlaget for predikert smittepress komme fra lusenivåer og temperatur observert i Hordaland. Det er antatt at en del av kopepoditter indusert i Hordaland fraktes nordover til Sogn og Fjordane med havstrømmer. I figur 11 er smittepresset ved lokaliteten Austneståa i Sogn og Fjordane estimert på bakgrunn av gjennomsnittlige lusenivåer og temperaturer for Hordaland.



Figur 11: Predikert lusepress som funksjon av temperatur og tiltak benyttet for lokasjon Austneståa

Videre er lusenivåene modellert på bakgrunn av størrelsen på smittepress og temperatur ved modellert lokaliteten.

5 Grunnlag for kostnad- og nyttevirkning ved anvendelse av etablert simuleringsmodell

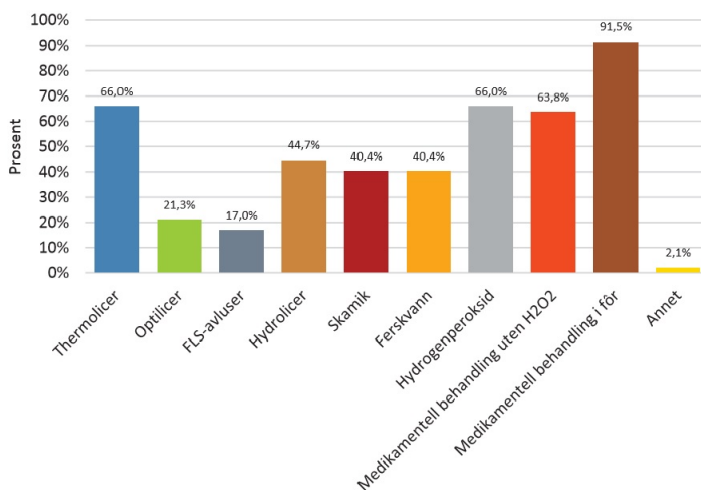
De siste årene har produksjonskostnadene av atlantisk laks gått opp, hovedsakelig grunnet lakselusen. De estimerte utgiftene relatert til lakselus rangerer fra 2.5 milliarder til 8-9 milliarder for 2015. Kontali Analyse og Nofima har beregnet at kostnader relatert til lusebehandling ligger rundt 5 milliarder NOK i 2015 der selve lusebehandlingene ligger på 2.5 milliarder, 0.6 milliarder til notvask, 0.7 til rensefisk og 0.2 milliarder til kontroll. De resterende 0.9 milliardene er til henholdsvis tap av biomasse og økt forfaktor. De mer indirekte kostnadene som følge av tapt biomasse og økt forfaktor er ifølge Rødseth (2016) kraftig underestimert. Rødseth (2016) har ved å se på endrede förfaktorer fra 2012 til 2015 og nasjonalt förforbuk i 2015 estimert at næringen gikk glipp av et slaktekvantum på 100 000 tonn i 2015. Dette tilsvarer 10% av total norsk produksjon av atlantisk laks i 2015.

I 2015 var gjennomsnittsprisen for sløyd laks på 41.15 kr/kg («Nasdaq: Salmon Prices», 2017), fratrukket 3 kr/kg i brønnbåt-/slakte-/pakkekostnader får en pris på 38.14 kr/kg “sløyd i not”. Dette tilvarer 3.8 milliarder i tapt fortjeneste for næringen i 2015, ved 100 000 tonn, salgspris på 38.14 kr/kg uten andre kostnader inkludert. Hvis en opplevde lignende mengder tapt slaktekvantum i 2016, vil næringen med en gjennomsnittspris på 62.67 kr/kg («Nasdaq: Salmon Prices», 2017) hatt 5.97 milliarder i tapt fortjeneste i 2016. Totale luserelaterte kostnader er da estimert til 8.1 milliarder i 2015 ved Rødseth (2016) sin tilnærming. Samt totale luserelaterte kostnader på over 10 milliarder i 2016, der det kun er gjennomsnittsprisen for sløyd laks som har blitt endret fra 2015 til 2016 estimatet.

Det er her hovedsakelig antatt at det er lakselustiltak som er den dominerende faktor for økte förfaktorer, tapt biomasse/tilvekst og den tapte fortjenesten. Dette på bakgrunn av at det er rimelig å anta at kvaliteten på föret og at genetikken er like bra som för. Dette gjør at den økte förfaktoren må skyldes mer sykdom eller mer negative konsekvenser relatert til lus. I (Walde mfl., 2017a) kan en se at sykdomsbildet i Norge har vært mer eller mindre stabilt i de siste årene, noe som gjør at sykdom alene lite trolig står for den økte förfaktoren. Det skal nevnes at för sammensetningen jevnt over har endret seg mot økt vegetabilsk innhold, og ifølge (Norgessjømatråd, 2016) er forholdet 30 prosent marine- og 70 prosent vegetabilske råvarer. EPA og DHA nivåene har minket sammen med den økte bruken av vegetabilske råvarer, og en må nå spise dobbel mengde laks for å nå samme ønsket nivå av EPA og DHA i fohold til i 2006 (Tocher, Dick & Sprague, 2016). Noen av fullörene benyttet i dag har vist at de er lave på sum EPA og DHA

og ned mot dagens antatte behovsgrense hos laks(Sanden mfl., 2015). Om dette påvirker förfaktoren tilstrekkelig til å påvirke Rødseth (2016) kostestimering av nevneverdig grad krever mer omgående utredelse og vil ikke bli videre undersøkt i denne oppgaven da det fraviker tilsiktet hensikt med oppgaven.

Fiskehelse rapporten fra Veterinærinstituttet gis ut for en årlig status og risikovurdering for fiskehelsesituasjonen i Norge. I denne rapporten beskrives det et takttskifte i tiltak benyttet mot lakselus. Det vises i rapporten til en stor reduksjon i bruk av medikamentelle tiltak til fordel for ikke-medikamentelle. Disse ikke-medikamentelle tiltakene er forholdsvis Thermolicer, Optilicer, FLS-avluser, Hydrolicer, ferskvann samt Skamik. Dette skiftet kommer hovedsakelig fra to faktorer: medikamentell avlusning har fått mye kritikk til påvirkningen den har til nærmiljøet, og at effekten ved bruk av medikamentell behandling har sunket betraktelig grunnet økt resistens. Den økte bruken av ikke-medikamentelle metoder er relativt ny og voldsom, noe som fører til uante effekter relatert til bruken. Veterinærinstituttet har i den relasjon laget en spørreundersøkelse for å samle inn erfaringer relatert til avlusninger i 2016 der de har spurt 47 fiskehelsepersonell som har svart for 952 sjølokaliteter. Fiskeridirektoratet melder at det har vært 794 aktive matfisklokaliteter i virksomhet i 2016, så det har vært endel overlapp i svarene. I undersøkelsen var det spesielt vektlagt erfaring relatert til bruk av ikke-medikamentelle tiltak. I figur 12 kan en se hva de spurte i undersøkelsen hadde erfaring med av tiltak.



Figur 12: Fiskehelepersonel sin kjennskap til de ulike tiltak mot lakselus. (Walde, Haukaas, Jansen, Bornø & Hjeltnes, 2017a)

De aller fleste har erfaring med medikamentell behandling i fôr som også er den medikamentelle behandlingsformen som har rapportert høyest effekt og minst negative konsekvenser. Bruk av thermolicer og andre ikke-medikamentelle behandlinger er ikke like godt dokumentert som de medikamentelle. Dette er hovedsakelig grunnet at det er relativt ny teknologi, og at de ikke benytter legemidler og derfor ikke må igjennom samme lovpålagte dokumentasjon og søknadsprosess krevd av legemiddelverket.

5.1 Nytteverdien av å benytte simuleringsmodell som beslutningsstøtte for valg av tiltak mot lakselus på lokalitetsnivå

Nytteverdien ved å benytte simulering av kontrollstrategier ligger i at oppdretter kan identifisere optimal kontrollstrategi på en gitt lokalitet. Optimal kontrollstrategi anses å være den strategien som gir høyest bidrag til bunnlinjen for oppdretter. På bakgrunn av kostestimaterne for de ulike tiltakene beskrevet i kapittel 5.2 er det mulig å estimere totale kostnader for en gitt kontrollstrategi. En kan dermed kost- nytte estimere forskjellige kontrollstrategier.

For å visualisere nytteverdien kan en tenke seg en lokalitet X. Lokalitet X hadde utsett i april 2015 og slaktet ut i oktober 2016. I løpet av denne syklusen benyttet lokalitet X seg av en rekke tiltak for å holde seg under tillatt gjennomsnittlig nivå av voksne hunnlus. Disse tiltakene hadde en samlet kostnad Y. Ved å simulere en rekke forskjellige kontrollstrategier for lokalitet X igjennom samme syklus, med samme lusepress, temperatur med mer, kan en se estimere kostnaden til alternative kontrollstrategier. Den kontrollstrategien som overholder lusegrensen og resulterer i lavest kostnad kan anses som optimal kontrollstrategi. Optimal kontrollstrategi har en samlet kostnad E. Nytteverdien av å anvende simuleringsmodellen som beslutningsstøtte blir så den samlede kostnaden Y minus samlet kostnad E. I kapittel 7 blir endel sammenlignings caser presentert for å videre poengtere nytteverdien av å benytte simuleringsmodellen som beslutningsstøtte.

5.2 Kostnadsestimering av tiltak mot lakselus

Tiltak mot lakselus er tiltak som har til hensikt å fjerne eller hindre lakselus fra oppdrettsfisk. Det er hovedsakelig tre komponenter som danner kostnadsbildet ved å implementere et tiltak.

- Operasjonell kostnad knyttet til gjennomføring av tiltak
- Tapt reell biomasse, akutt og forsinket dødelighet ved gjennomført tiltak
- Tapt potensiell biomasse, sulting før og etter tiltak, samt endret appetitt

Operasjonell kostnad innbefatter kostnaden av brukt medikament/metode, trengt arbeidskraft samt nødvendig utstyr. Tapt potensiell biomasse er knyttet til sulting før og etter operasjon samt endret appetitt. Tap av reell biomasse er knyttet til akutt og forsinket dødelighet knyttet til gjennomført tiltak. Det er kostnadsbildet for hvert enkelt tiltak som avgjør om tiltaket er et godt et for en lokalitet, eller ikke. Tapt potensiell biomasse kan knyttes opp mot avlusningseffekt, har tiltaket høy effekt, er det potensielt lengre tid til neste trenge avlusning. Derav vil antall sultedøgn være færre enn ved tiltak som kreves gjennomført flere ganger i en syklus. Avlusningseffekt kan måles gjennom tenkt periode til lusenivåene er på samme nivå som før avlusning. Tapt reell biomasse kan måles på økt akutt samt forsinket dødelighet knyttet til gjennomføring av gitt tiltak. Bruken av renseskjort, medisinfør samt luseskjørt faller ikke like naturlig inn i ovennevnte kategorisering og vil bli gjennomgått individuelt.

5.2.1 Operasjonelle kostnader

Tiltak mot lakselus er ikke bare kostbare i form av medikamentene/metodene benyttet, men er også betydelig arbeidsintensive og utstyrskrevene når ser en bort ifra forbehandling. Operasjon og derav operasjonelle kostnader varierer mellom de forskjellige tiltakene. Medikamentelle behandlinger i bad likner i operasjon, og skiller seg fra de ikke-medikamentelle tiltakene som også er like i operasjon. De operasjonelle kostnader kan derfor grupperes i badebehandling og ikke-medikamentelle tiltak. Badebehandling er behandling av lakselus der en benytter seg av et medikament som blandes inn i et behandlingsvolum ofte skapt ved å omslutte en trengt merd med presenning. En kan også benytte seg av brønnbåter som behandlingsvolum, bruk av brønnbåt til badebehandling er særs lik enkeltfiskhånderings metoder og vil inngå i denne gruppens estimering av operasjonelle kostnader. Ikke medikamentelle metoder er like når det kommer til gjennomføring av avlusningstiltak, og fraviker hovedsaklig i behandlingsfartøy. Operasjonen gjennomføres ved

å trenge fisken og frakte den ut av merd ved hjelp av vakuumpumper, behandle ombord behandlingsfartøy, for så å slippe fisken tilbake i merd. Se Næstvold (2016) for inngående detaljer relatert til selve gjennomføringen av hvert tiltak. Kategoriseringen vil innbefatte følgende tiltak:

Badebehandling presenning:

- Pyretroider (Alpha Max[®], Betamax[®], Excis vet[®])
- Organiske fosforforbindelser (Salmosan[®])
- Hydrogenperoksid (Paramove[®])

Ikke-medikamentelle tiltak, enkeltfisk håndtering:

- Skamik
- Thermolicer
- Ferskvannsbehandling
- Hydrolicer
- Brønnbåt

Badebehandling utenom hydrogenperoksid benytter seg av fire arbeidsbåter til å montere behandlingspresenning. Hydrogenperoksid benytter seg av tre arbeidsbåter samt et doseringsfartøy til å montere behandlingspresenning. Ikke-medikamentelle tiltak har tre arbeidsbåter til å trenge fisk i merd, samt et behandlingsfartøy til selve behandlingen. I tabell 4 kan en se estimert nødvendig utstyr og personell til gjennomføring av en avlusnings operasjon. Utstyrskravene for badebehandling er hentet hovedsakelig fra (Rykhus et al, 2012). Utstyrskravene for de ulike ikke-medikamentelle tiltakene er hentet fra deres respektive hjemmesider samt kartlagt gjennom videoer.

Tabell 4: Utstyrskrav for aktive tiltak mot lakselus

Tiltak	Arbeidsbåter	Dosering/ behandlings fartøy	Presenning	Oksygen- batteri	Personell
Hydrogenperoksid	3	1	1	1	[11-13]
Badebehandling	4	0	1	1	[6-8]
Ikke-medikamentelle	3	1	0	0	[11-13]

Estimert tid for gjennomføring av en avlusning er tilnærmet lik for de medikamentelle tiltakene, der påmontering og klargjøring av behandling er mest tidkrevende.

Behandlingstid med innblandet medikament er omtrent 30 minutter for samtlige medikamentelle tiltak. Iløpet av denne perioden vil all fisk i merd bli behandlet og en kan avslutte avlusningsoperasjonen. Opp/ned montering av presenning med behandling av en merd er omtrent 5 timer for medikamentelle tiltak. Relatert til badebehandling i presenning vil operasjonskostnadene bestå av presenning, servicebåter, oksygenbatterier samt arbeidskraft. Det er rimelig å anta at en får gjennomført 1-2 merd behandlinger per dag à 10 timer ved medikamentelle tiltak. Siden det benyttes doseringsfartøy med eget mannskap ved bruk av hydrogenperoksid vil nødvendig arbeidskraft ved hydrogenperoksid behandling være høyere enn ved anvendelse av andre medikamenter. Doseringfartøyet til hydrogenperoksid har typisk en kaptein, en kokk, fire matroser, samt 2-3 mann ansvarlige for operasjon av ROV og dosering av medikament. Dette mannskapet kommer da i tillegg til mannskap ved de tre arbeidsbåtene. Mannskapet ombord doseringsfartøyet vil gjøre arbeidsoppgaver som ellers ville vært påkrevd av annet personell. Hydrogenperoksidbehandling vil dermed kreve omlag 11-13 mann. I tabell 5 er kostnaden relatert til utstyr for badebehandling listet, med referanser til hvor data-en er hentet.

Tabell 5: Utstyrskostnad

	Presenning	Timeslønn	oksygenbatteri	Arbeidsbåt	Doseringfartøy
[NOK]	3 000 ¹	300 ²	6 000 ³	30 000 ⁴	70 000 ⁴

¹ For en 160-metring vil en presenning koste opp mot 300 000 NOK og er beregnet for å brukes 100 ganger før de må inn til reparasjon/utskiftning. De mindre presenningene beregnet for 60-metring er kostnaden rundt 210 000kr. Kostnader for bruk av presenning vil derfor være på 3000 NOK per avlusning. Tall hentet fra e-mail med representant fra Botngaard AS som er leverandør av blandt annet behandlingspresenninger.

² Det er antatt en månedslønn på 48 000 NOK «Lønn for ansatte i fiskeoppdrett, 1. oktober 2014» hentet fra ssb.no, tilsvarende en timeslønn på 300 [NOK/timen].

³ Ved badebehandling må en tilsette oksygen for å opprettholde tilstrekkelig oksygenmetning. Kostnad av et oksygenbatteri er estimert til 6000 NOK, inklusive transportkostnad, dagleie og for selve oksygenet.

⁴ Nofima bruker nevnte tall som dagrater for henholdsvis arbeidsbåter og doseringsfartøy i deres estimat i 2015 *Kostnadsdrivere i lakseoppdrett, Nofima 2015*.

Operasjonelle kostnader relatert til de ikke-medikamentelle tiltakene er veldig lik de operasjonelle kostnadene ved å bruke hydrogenperoksid. Hovedforskjellen ligger

i at de ikke benytter seg av behandlingsmiddel og derav tilhørende duk og oksygenbatterier. Det trengs typisk tre arbeidsbåter til å trenge og gjøre klar nota til utsug av laks, samt et behandlingsfartøy til å behandle fisken. Behandlingshastigheten varierer fra de forskjellige ikke-medikamentelle tiltakene da de har forskjellige behandlings kapasitet. Tallene i tabell 6 er hentet fra de respektive produsentenes hjemmesider, og ikke fra oppdretteres erfaring med produkt. Tallene fra hydrolicer er per linje, et behandlingsfartøy kan ha opptil åtte slike linjer med et potensielt behandlingsvolum på 280-320 tonn/time

Behandlingskapasiteten er tonn per time, det vil si at en merd med utsett av 200 000 fisk med en dødelighet på 15% vil tilsvare 170 000 fisk ved slaktevekt på 5 kg vil ha inneha en biomasse på 850 tonn for behandling. Biomassen til en merd varierer naturlig nok gjennom en syklus, og det er da antatt at det vil ta kortere tid å behandle mindre fisk enn større utifra kapasitets benevningen. Behandlingstid i tabell 6 er tatt som utgangspunkt i merd inneholdende 850 tonn biomasse.

Tabell 6: Behandlingskapasitet for et utvalg ikke-medikamentelle tiltak

	Skamik	Optilicer	Thermolicer	Hydrolicer
[tonn/time]	270	100	80	300
Behandlingstid [timer]	3	8	10	3

Hoveddriveren på operasjonelle kostnader er dagraten på arbeidsbåter samt behandling/doseringsfartøy. Det er derfor relevant med hvilke metoder som kan antas å kunne gjennomføre to merdbehandling per dag, og hvilke som er begrenset til en. Dette bestemmes av tiden fra oppstart av behandling til ferdig behandlet merd. Tiden avhenger av klargjøring og nedrigging av merd samt behandlingstid. Opp og demontering av presenning kan estimeres til fire timer for badebehandling i presenning. Behandlingstid for medikamentene ligger på 30 minutter (Rykhus et al, 2012). Total behandlingstid for badebehandling blir derfor estimert til fem timer, noe som muliggjør to badebehandlinger per dag gitt at forholdene er optimale og behandling går som planlagt. Opp og nedrigg av trengt merd for de ikke-medikamentelle tiltakene tar kortere tid en opp og demontering av presenning, men behandlingstiden er vesentlig lengre. Ved å se på estimert behandlingstid i tabell 6 vil Skamik og Hydrolicer ved gitte kapasiteter ha mulighet til å gjennomføre to behandlinger per dag. Optilicer og Thermolicer har vesentlig lengre behandlingstid og vil ikke bli estimert til å kunne gjennomføre to behandlinger per dag. Det skal nevnes at alle fire ikke-medikamentelle tiltak er modulbaserte, som vil si at behandlingskapasitet vil variere utifra de enkelte behandlingsfartøyers modifikasjoner. Et fartøy som har fire Optilicer linjer vil ha halvparten av behandlingskapasiteten til en med

åtte behandlingslinjer, dog lavere capex. Grunnet de store variasjonene vil tallene estimatene er basert på være den enkelte produsents utnevnte kapasitet.

Ved å benytte seg av nødvendig utstyr, samt oppnevnt utstyr blir de estimerte operasjonelle kostnadene for gjennomføring av en eller to avlusninger per dag som listet i tabell 7. Se vedlegg M for Excel ark benyttet til å estimere verdiene gitt i tabell 7 og tabell 8.

Tabell 7: Operasjonelle kostnader ved avlusningstiltak

	Hydrogenperoksid	Andre medikamentelle	Ikke-medikamentelle
En behandling per dag [NOK]	150 000 - 152 800	65 000 - 67 400	142 000 - 143 800
To behandlinger per dag [NOK]	203 000 - 206 800	118 000 - 122 400	187 000 - 188 800

Det er i tabell 7 antatt at arbeidsbåtene med tilhørende mannskap kan forlate merd etter endt avlusning, men behandling/doserings fartøy med tilhørende personell blir dagen ut. Arbeidsbåter med personell som har andre gjøremål på anlegget stilles som oftest av oppdretter ved behandling. Behandlings/doserings fartøy er som oftest innleid og vil være ved anlegget til tenkt antall merder er behandlet. Det er helt klart mest gunstig å få gjennomført to avlusninger per dag da de største operasjonelle kostnadene er dagratene for arbeidsbåtene samt behandling/doseringsfartøy med tilhørende mannskap. Det er derfor hensiktsmessig å sette estimert laveste kostnad ved å behandle en merd, som om to merder ble behandlet ila samme dag. Operasjonelle kostnader med minste og høyeste estimerte kostnad vil dermed se ut slik det fremgår av tabell 8.

Tabell 8: Operasjonelle kostnader ved behandling per merd

	Hydrogenperoksid	Andre medikamentelle	Ikke-medikamentelle
Operasjonell kostnad [NOK]	102 450 - 151 400	60 100 - 66 200	93 950 - 142 900

5.2.2 Direkte kostnader, virkestoff kostnader, medikamentelle tiltak

Nofima sitt estimat av kostnaden ved brukt virkestoff er presentert i tabell 9 *Kostnadsdrivere i lakseoppdrett, Nofima 2015*. Dette er estimert på kostnaden ved brukt virkestoff for behandling av en lokalitet med produksjon på 4 000 tonn.

Tabell 9: Nofima estimering av medikamentelle kostnader for behandling av en lokalitet med kapasitet på 4 000 tonn

Stoff	Hydrogenperoksid	Alphamax	Salmosan	Betamax
Kostnad lokalitet [NOK]	1 950 000	300 000	400 000	489 000
Kostnad per merd [NOK]	414 894	63 830	85 106	104 043

I følge leverandøren av Alpha Max, Pharmaq AS, ligger listepriisen på 250 [ml] og 1000 [ml] på henholdsvis 3 043 og 12 172 NOK. Samt opptil 25% rabatt for større kunder. Hydrogenperoksid ligger på rundt 6 til 7 NOK pr kg ifølge Aqua Pharma AS. Salmosan og Betamax har en ikke fått tall på fra produsentene og må derfor nøye seg med tallene brukt i Nofimas estimat. For å verifiserer validiteten til tallene listet opp fra Nofima, kan en estimere kostnaden ved bruk av Alpha Max ved gitte kostnader. En 160-metring skal tilføres Alpha max som gir en konsentrasjon tilsvarende 0.2 [ml/m³], behandlingsvolumet er merdoverflate ganger 4[m] dybde (Pharmaq, udatert).

$$\text{Kostnad virkestoff Alpha Max} = \frac{\text{Behandlingsvolum} * \text{Konsentrasjon} * \text{Pris250ml}}{250[\text{ml}]} \quad (1)$$

$$\text{Kostnad virkestoffAlpha Max} = \frac{4\pi\left(\frac{160}{2*\pi}\right)^2[m^3] * 0.2\left[\frac{\text{ml}}{\text{m}^3}\right] * 3043[\text{NOK}]}{250[\text{ml}]} = 19\,837[\text{NOK}] \quad (2)$$

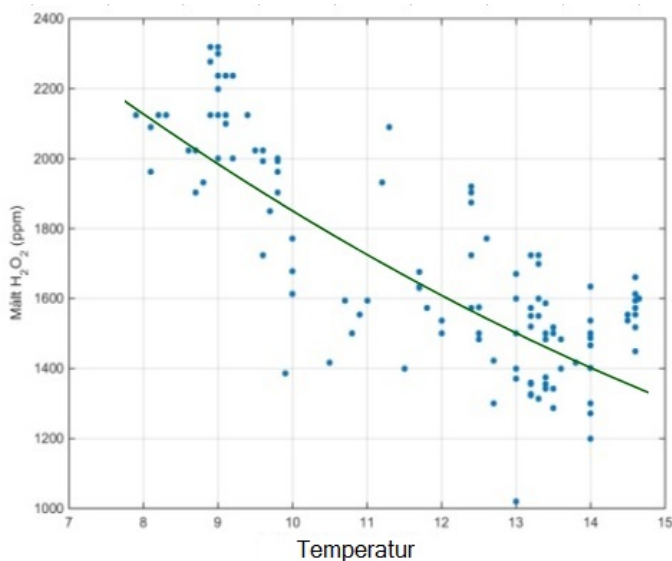
Nødvendig mengde virkestoff tar ikke hensyn til størrelse på fisk i merd, styrende faktor er merd volum da det skal oppnås en terapeutisk konsentrasjon i behandlingsbad. Kostnadsestimatene til Nofima baserer seg på behandling av en hel lokalitet med gitt stoff med en lokalitetsproduksjon på 4 000 tonn. Tar en utgangspunkt i deres kostnader mot estimert kostnad av en behandlet merd med alpha max, er det snakk om en lokalitet med 15 merder. En lokalitet med maksimalt tillat biomasse (MTB) på 4 000 tonn tilsvarende i overkant av fem konsesjoner benytter seg sannsynligvis ikke av femten 160-metring, da det ikke skal mer enn fem 160-metring til å overstige MTB ved slaktevekt selv med høy produksjonsdødelighet. Lokalteter rundt Frøya har blitt undersøkt med tanke på kapasitet/tillatelser mot antall merder og gjennomsnittet opererte med en kapasitet merd forhold på 585 tonn per merd. Selv med mindre merder vil tilhørende krevd alpha max bli redusert derav stoff kostnadene knyttet til behandling av en merd.

Det som kan benyttes er forholdstallene mellom de ulike stoffkostnadene, og skalere disse etter de estimerte alpha max kostnadene. Kostnadene ved brukt medikament blir da som i tabell 10

Tabell 10: Skalerte stoffkostnader for behandling av en 160-metring

Stoff	Hydrogenperoksid	Alphamax	Salmosan	Betamax
Kostnad per merd [NOK]	130 000	19 837	26 666	32 600

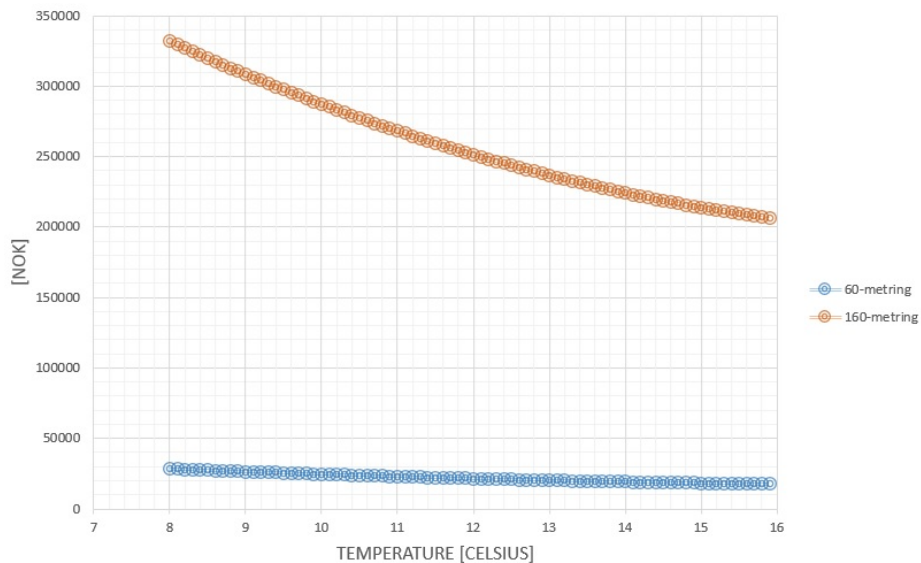
Stoffkostnader relatert til hydrogenperoksid er ikke like lett å beregne iforhold til de andre medikamentene da mengden tilført stoff er mye større og avhenger av merdvolum samt vanntemperatur. Grunnen til denne variasjonen er at toksisiteten til hydrogenperoksid øker i takt med temperaturen. Vanlig behandlingskonsentrasjon ligger i spekteret 1300-2400 ppm avhengig av sjøtemperatur. AQS AS drifter doseringsbåter som behandler med hydrogenperoksid og deres brukte behandlingskonsentrasjon mot sjøtemperatur kan sees i figur 13.



Figur 13: Hydrogenperoksid konsentrasjon som funksjon av sjøtemperatur

Stoffkostnaden for hydrogenperoksid er estimert utifra en literspris på 7 kr for hydrogenperoksid med en styrke på 50%. Et behandlingsvolum estimert utifra både med og uten bunnring fra Aqua Kompetanses Volumberegning av helpresenning program. Samt estimert behandlingskonsentrasjon som funksjon av temperatur vist i figur 13. Den estimerte stoffkostnaden for behandling av en 160-metring

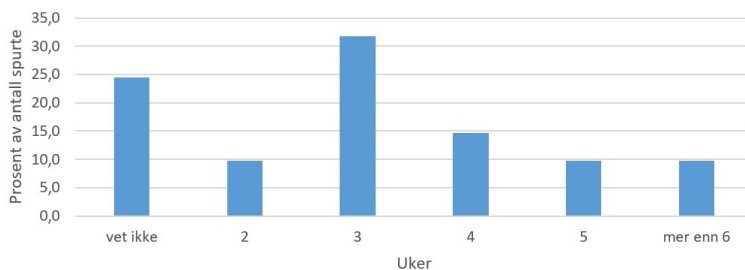
med hydrogenperoksid er som i figur 14. Volumberegningen er vedlagt i vedlegg N, kostestimeringen er vedlagt i vedlegg O Dette estimatet for stoffkostnader knyttet til hydrogenperoksid fraviker estimatet fra skaleringen, og stoffkostnadene relatert til hydrogenperoksid vil derfor bli oppjustert for endelig estimat av stoffkostnad. Stoffkostnaden vil ikke være satt i simuleringsmodellen men en funksjon av sjøtemperatur. Stoff kostnadene til Alpha Max, Salmosan og Betamax vil variere med merd størrelse der Salmosan og Betamax er skalert etter Alpha max kostnad.



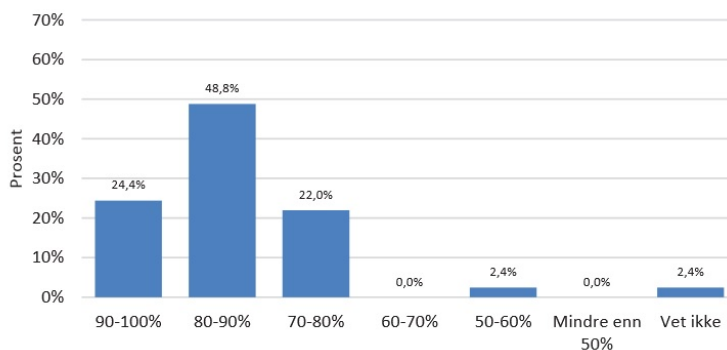
Figur 14: Hydrogenperoksid stoffkostnader som funksjon av merd-størrelse og sjøtemperatur

5.2.3 Effekt av tiltak, ikke-medikamentelle tiltak

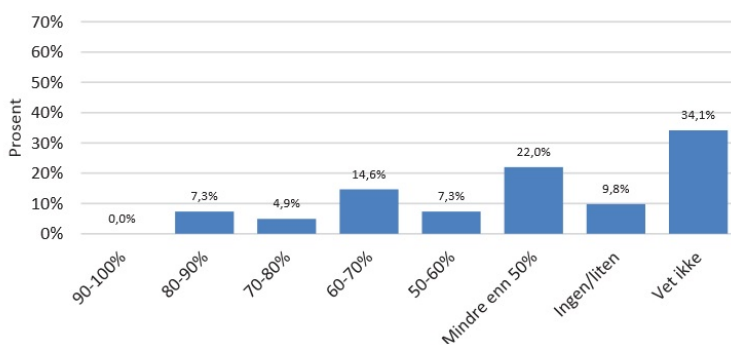
For de ikke-medikamentelle tiltakene kan en se at forventet tid til lusenivåer er tilbake til nivået før gjennomført tiltak er i overkant av 3 uker (Gismervik mfl., 2017). De ikke-medikamentelle tiltakene er Thermolicer, Optilicer, FLSavluser, Hydrolicer, Skamik. Sammenligner en estimert tid til gjentakende avlusning, figur 15, opp mot avlusningseffekten, figur 16, ser en at på tross av gode effekter er perioden til neste avlusning liten. Dette kan ha en sammenheng med den lave effekten ikke-medisinske tiltak har mot ikke-bevegelige stadier, figur17.



Figur 15: Anslått gjennomsnittlig antall uker fra mekanisk avlusning til lusetall i snitt var på samme nivå som før avlusning. Data hentet inn fra spørreundersøkelse (Gismervik, Nilsen, Nielsen & Mejdell, 2017)



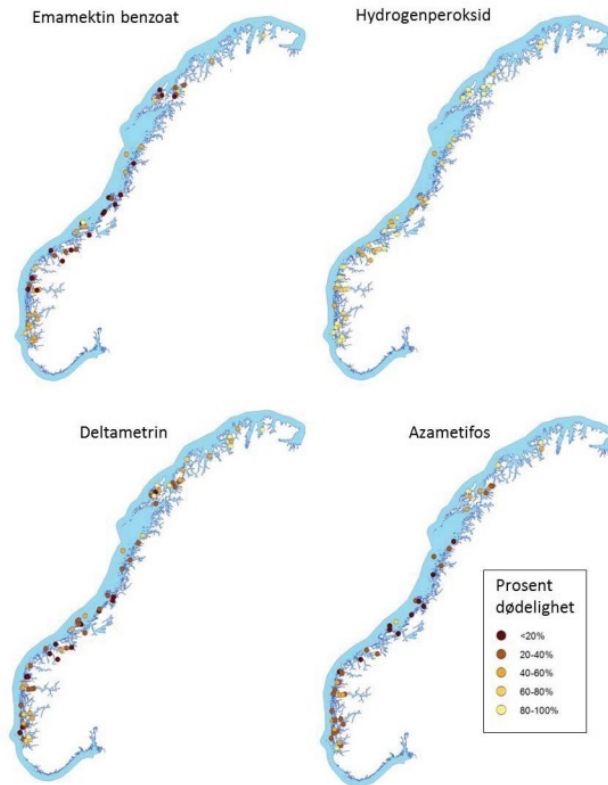
Figur 16: Effekt av ikke-medikamentelle tiltak mot bevegelige stadier (Gismervik, Nilsen, Nielsen & Mejdell, 2017)



Figur 17: Effekt av ikke-medikamentelle tiltak mot ikke-bevegelige stadier (Gismervik, Nilsen, Nielsen & Mejdell, 2017)

5.2.4 Effekt av tiltak mot lakselus, medikamentelle tiltak

I de siste årene har det blitt rapportert om lavere effekter ved bruk av medikamentelle tiltak mot lakselus. Det vil si at der en tidligere klarte å fjerne 80-90% av mobile lus klarer en nå med samme metode bare å fjerne 40-50%. Effektene varierer stort langs kysten, og kan oppfattes som regionalt. Dette kan skyldes at resistente lusestammer sprer seg til omkringliggende anlegg slik at disse også vil oppleve lav effekt. Rent kostnadmessig vil det å avluse med lav effekt resultere i økt antall nødvendige tiltak for å holde kontroll på lusenivåene. Grunnet den regionalt varierende effekten erfart ved bruk av medikamentelle tiltak vil forventet effekt bli modellert i simuleringsmodellen utifra hvilken region lokaliteten befinner seg i. I figur 18 kan en se variasjonen i erfart effekt utifra medikament og lokalitet. Deltametrin er virkestoffet brukt i Alpha Max, Azametifos er virkestoffet brukt i Salmosan. Betamax er ikke listet i figur 18, Betamax benytter seg av en annen type pyreteroid enn Alpha Max og det har blitt rapportert lignende effekter. Emamektin benzoat tilhører gruppen avermectiner og blir brukt i fôrbehandling. Kitinsyntesehemmere er ikke nevnt i figur 18 da de fortfarende har god effekt uten tegn til redusert effekt i motsetning til øvrige medikamenter.



Figur 18: Dødelighet av lus i forenklede bioassay med emamektin benzoat, deltametrin, azametifos og hydrogenperoksid. Mørk farge representerer lavere dødelighet ved eksponering for en viss konsentrasjon av gitt virkestoff. (Walde, Haukaas, Jansen, Bornø & Hjeltnes, 2017b)

5.2.5 Fiskehelse, ikke-medikamentelle og medikamentelle lusetiltak

Svåsand mfl. (2016) har gått igjennom avlusninger innrapportert til fiskeridektoratet og sammenstilt med innrapportert dødelighet og beregnet dødelighet forårsaket av avlusning i perioden 2012–2015. Disse estimatene er beregnet som økning i prosentpoeng dødelighet innrapportert måneden med avlusning i tabell 11 og måneden etter avlusning i tabell 12. Dødeligheten er basert på relativ økning i forhold til foregående måned og det er derfor ikke sikkert at all dødelighet kommer fra avlusning. Det er naturlig med en viss volatilitet i dødelighet. Derfor må dataene i 11 og 12 ses på som indekser for å rangere tiltakene opp mot hverand-

re og ikke som absolutte tall, sikkerheten til estimatene øker med antall gyldige observasjoner (Svåsand mfl., 2016).

Tabell 11: Akutt dødelighet etter behandling. Prosent behandlinger med mer enn 1, 2,5, 5, 10, 25 og 50 prosentpoeng økning i dødelighet etter lusebehandling 2012–2015. n er antall gyldige observasjoner i databasen. Mer enn 50% dødelighet etter en behandling karakteriserer vi som katastrofal dødelighet. (Svåsand mfl., 2016)

	≥ 1	$\geq 2,5$	≥ 5	≥ 10	≥ 25	≥ 50	n
Termisk	32,0	20,4	8,7	5,8	2,9	0,0	103
Bad H2O2	17,2	9,6	5,6	3,3	1,5	1,0	1166
Brønnebåt H2O2	21,6	7,8	2,0	1,0	1,0	0,0	102
Brønnebåt	23,1	11,0	3,3	1,1	0,0	0,0	91
Bad	10,6	5,2	2,5	1,1	0,5	0,1	14447
Mekanisk	7,5	2,8	2,3	0,9	0,0	0,0	213
Fôr	5,5	2,2	1,2	0,3	0,1	0,0	8163

Tabell 12: Forsinket dødelighet etter behandling. Prosent behandlinger med mer enn 1, 2,5, 5, 10, 25 og 50 prosentpoeng økning i dødelighet 1 måned etter lusebehandling 2012–2015. n er antall gyldige observasjoner i databasen. Mer enn 50% dødelighet etter en behandling karakteriserer vi som katastrofal dødelighet. (Svåsand mfl., 2016)

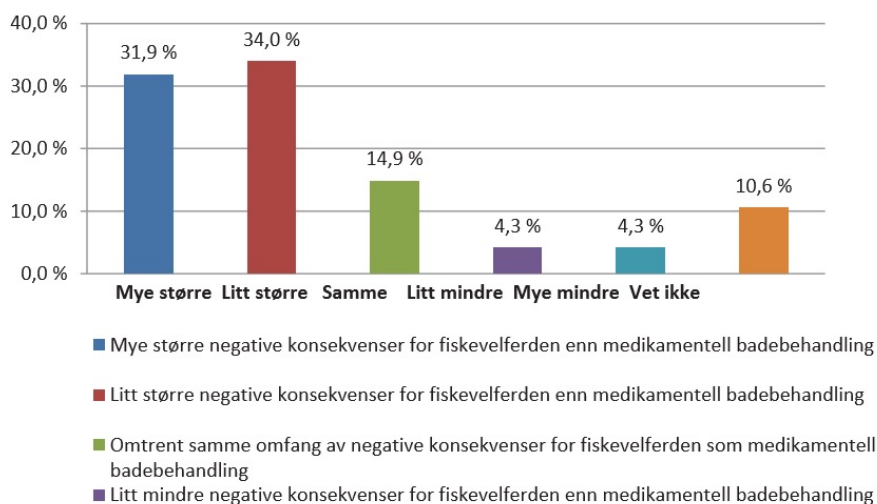
	≥ 1	$\geq 2,5$	≥ 5	≥ 10	≥ 25	≥ 50	n
Brønnebåt H2O2	25,8	18,2	12,1	3,0	3,0	0,0	66
Termisk	23,2	12,2	4,9	1,2	0,0	0,0	82
Bad H2O2	17,5	8,5	3,4	0,8	0,2	0,2	531
Bad	14,7	6,3	3,2	1,1	0,6	0,1	2389
Mekanisk	10,8	1,5	1,5	1,5	1,5	0,0	65
Brønnebåt	10,2	4,1	4,1	0,0	0,0	0,0	49
Fôr	6,9	2,9	1,8	0,6	0,2	0,1	2495

Tallene angående mekanisk akutt- og forsinket dødelighet samsvarer ikke med erfaringsrapporten i figur 20. Dette kan komme av at data-en presentert i tabell 11 og tabell 12 daterer til 2012-2015. Erfaringsrapporten ble laget i 2016 da ikke-medikamentelle tiltak ble benyttet 1174 ganger mot 185 i 2015, se figur 19. Tallene for mekaniske tiltak for akutt og forsinket dødelighet vil derfor mest sannsynlig være høyere enn presentert i tabell 11 og 12.

I figur 19 kan en se at det har vært en voldsom vekst i bruk av ikke-medikamentelle behandlinger fra 2015 til 2016. Hovedgrunnen til at oppdrettere går bort i fra medikamentelle og heller benytter ikke medikamentelle er en kombinasjon av medikamentelles innvirkning på miljøet og synkende effekter. Ser en på innrapporterte konsekvenser relatert til bruk av ikke-medikamentelle tiltak i figur 20 er det en klar indikator på at de ikke-medikamentelle har større innvirkning på fiskevelferden enn de medikamentelle. Kombinert med den voldsomme veksten i bruk av ikke-medikamentelle vil dette indikere at fiskevelferden vil bli redusert det kommende året med tilhørende tap av biomasse.

Virkestoff kategori	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Azametifos	409	691	480	749	616	257
Pyretroider	456	1155	1123	1043	660	275
Emamektin benzoat	288	164	162	481	522	607
Flubenzuroner	23	129	170	195	201	173
Hydrogenperoksid	172	110	250	1009	1270	629
Sum legemidler	1348	2249	2185	3477	3269	1941
Ikke-medikamentelle behandlinger		136	110	176	185	1174
Sum alle behandlinger	1348	2385	2295	3653	3454	3115

Figur 19: Avlusninger klassifisert etter virkestoff benyttet, tabell fra (Svåsand mfl., 2016)



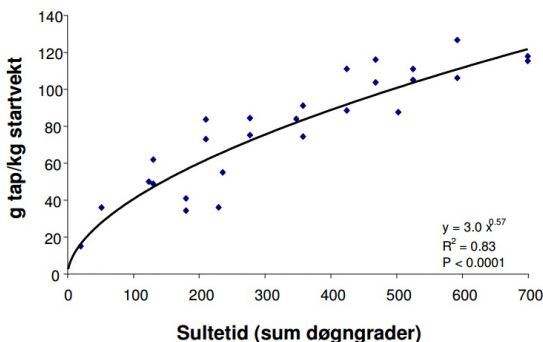
Figur 20: Rapportert inntrykk av fiskevelferdsmessige konsekvenser ved mekanisk avlusning versus tradisjonell medikamentell badebehandling. Y-aksen er prosentvis av antall spurte (N=47), (Gismervik, Nilsen, Nielsen & Mejdell, 2017)

5.2.6 Tapt potensiell biomasse, sultetap relatert til tiltak

I forbindelse med håndtering blir fisken sultet. Dette er for å redusere negative påvirkninger håndtering har for fiskevelferden, da fisken har høyere forbruk av oksygen ved fordøyelse og ved håndtering vil tilgangen til oksygen være lavere enn normalt. Ved sulting vil fisken ikke øke i biomasse og hvor mye biomasse en potensielt har tapt, har blitt uttrykt av (Einen, 1998) som målte effekten av langtidssulting presentert i figur 21 av (Mørkøre, 2008)

Vekttap ved sulting av laks

Vekttap (g/kg opprinnelig vekt) av Atlantisk laks (2-7 kg) i forhold til døgngader sulting.



Resultatene er basert på sulting av laks med tom tarm (Einen, 1998)

T. Mørkøre Aliråstevna, Havbúnabarfelagið, Hotel Føroyar, Tórshavn, Føroyar 29/2-2008



Figur 21: (Mørkøre, 2008) sin tolkning av (Einen, 1998) sin formel for sultetap presentert i regi av «HUNGRING AV LAKSI, Nofima»

Formelen beskrevet i figur 21 er som følger:

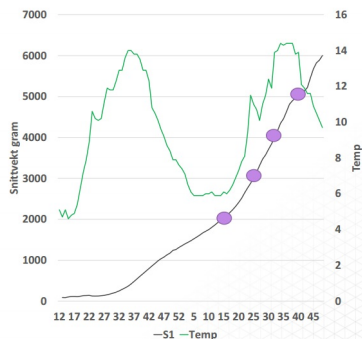
$$\frac{\text{g tap}}{\text{kg startvekt}} = 3.0 * (\text{Antall sultedøgn} * \text{Sjøtemperatur})^{0.57} \quad (3)$$

(Ewos, 2017b) benyttet seg av Mørkøre (2008) sin formel til å estimere sultetap knyttet til en laks igjennom en syklus utsatt for fire avlusninger. Resultatet ser en i figur 22 der de har estimert et sultetap på til sammen 439 gram per fisk iløpet av en syklus. Sultetap er en funksjon av sjøtemperatur sammen med fiskestørrelse som bestemmer vekstraten, samt antall sultedøgn. Derfor vil 439 gram hovedsakelig kun representere scenarioet skissert i figur 22.

Sulting

EWOS®

- Sultetap i forbindelse med avlusning 5 dager
 - 2 kilo ved 6 grader
 - 47 gram
 - 3 kilo ved 10 grader
 - 89 gram
 - 4 kilo ved 12 grader
 - 129 gram
 - 5 kilo ved 14 grader
 - 174 gram
- Til sammen blir dette 439 gram som på produseres på nytt, og som vil medføre økt fôrfaktor



Figur 22: Case scenario presentert av (Ewos, 2017b), ved bruk av Olai Einen sin formel til å beregne sultetap.

I figur 22 skrives det at sultetapet relatert til de fire avlusningene vil medføre økt fôrfaktor. Fôrfaktor er forholdet mellom brukt fôr og resulterende biomasse. Det man kan tolke utifra denne uttalelsen er at en tar igjen den tapte biomassen med å jevnt over øke fôr-tilførselen, og dette vil gi høyere prosentvis vektøkning, men lavere utnyttelsesgrad av fôret. Dermed kan en formulere kostnaden knyttet til sulting som kostnaden for ekstra tillført fôr. Kostnaden knyttet til sulting vil ved denne tilnærmingen lyde som vist i formel:

$$\begin{aligned} \text{Ønsket slaktevekt} &= \text{Mengde fôr trengt for å oppnå slaktevekt uten sulting} \\ &+ \text{Mengde trengt fôr for å kompensere for sulting} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Kostnad knyttet til sulting} &= \text{Mengde fôr trengt for å kompensere for sulting} \\ &* \text{Pris per kg fôr} \end{aligned} \quad (5)$$

(Rødseth, 2016) i Stingray Marine Solutions AS har en annen tilnærming til sultetap: “Tapt biomasse relatert til sulting kan tas igjen ved økt appetitt samt spesialfôr, uavhengig har en gått glipp av fem dager med potensiell vekst. Det er videre antatt at spart fôrkostnader ved sulting forsvinner ved bruk av spesialfôr for å kompensere for tapt tilvekst.” Hvis tapt biomasse relatert til sulting kan tas igjen ved økt appetitt samt spesialfôr, vil tapt fortjeneste være i form av prisforskjellen mellom “vanlig” fôr og spesialfôr. Hvis ikke beror antagelsen på at spesialfôret kan be-

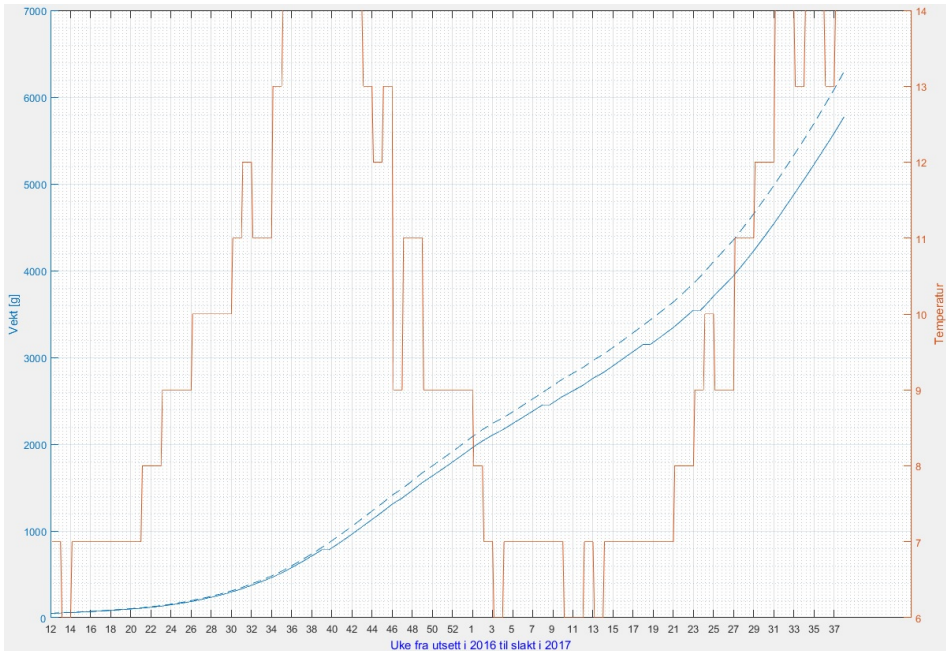
nyttes uavhengig av sulting, i så måte ville en benyttet spesialfôret igjennom hele syklusen framfor “vanlig” fôr.

Det en kan anta på bakgrunn av overnevnte uttalelser er at reelt vil kostnaden knyttet til sulting bestå av en kombinasjon av to komponenter. Fôrkostnad i form av spesialfôr eller økt mengde fôr for å ta igjen tapt biomasse, samt resterende tapt potensiell biomasse. Av henholdsvis 5 dager tapt tilvekst vil derfor kostnadsbilde i dårligste utfall være som skissert i figur 23, der sultetap er beregnet som tapt potensiell tilvekst uten noen effekt av økt appetitt eller spesialfôr/økt fôring. Det beste tilfellet vil være der hele den tapte tilveksten blir tatt igjen som følge av endret fôring. Realiteten vil mest sannsynlig være en kombinasjon.

I simuleringsmodellen vil sultedagene hovedsakelig resultere i lavere snittvekt ved slakt som skissert i figur 23, der bruk av spesialfôr vil bli estimert opp i mot kostnad og potensielt økt biomasse ved benyttelse av spesialfôr.

Snittvekten på laksen i lokalitet vist i figur 23 er beregnet ut ifra Skretting AS sin fortabell, utsettvekt samt sjøtemperatur. Ved sulting vil vekstraten være satt til null, slik at snittvekten ikke øker gjennom sulteperioden. Denne metodikken tar ikke hensyn til økt appetitt eller andre faktorer som kan påvirke vekst under sulteperioden. I figur 23 er effekten av fire avlusninger med fem sultedøgn per avlusning, blitt sammenliknet med resultatet av ingen sultedøgn. Temperaturen er hentet inn fra lokaliteten Valøyen som hadde utsett i uke 12 i 2015 og ut-slakt uke 37 i 2016. Resultatet viser en forskjell i snittvekt på 507 gram som stemmer høvelig godt overens med (Ewos, 2017b) sitt estimat. Eventuelle konsekvenser min tilnærming har for resultatet vil bli videre diskutert i Kapittel 15.

Antall dager oppdretterne velger å sulte fisken, varierer med temperaturer og erfaringer de har fra tidligere behandlinger. Vanlig regime på antall sultedager varierer fra 2-5 dager. Forskjellig antall sultedager vil derfor ha noen variasjon mellom de ulike tiltakene der tiltak som regnes som spesielt belastende vil kunne ha flere sultedøgn enn normalen. Det er uavhengig av metode unødvendig å sulte laksen forbi punktet der den ikke har noe mer fôr i systemet da dette er hensikten med sultingen. Dager med sulting vil derfor bli satt til mellom 3-5 dager, men antall dager kan variere med størrelse og temperatur. Gitt at sulteperioden er lik for alle aktive tiltak, vil sultetapet være viktig for å kunne sammenligne aktive-tiltak mot de passive i simuleringsmodellen.



Figur 23: Estimert vekt for laks i lokalitet med fire avlusninger med fem dager med sulting (hel linje) mot samme lokalitet uten sulting (stiplet linje). Estimert på bakgrunn av temperatur for lokalitet: Valøyen, og Skretting AS sin fortabell

5.2.7 Fôrbehandling

Ved fôrbehandling er den største kostnaden relatert til benyttet virkningsstoff. Fôrbehandling tilsikter å oppnå en effektiv konsentrasjon i laksen ofte målt i virkestoff per kilo fisk. Dette vil medføre at det kreves større mengder fôr med medikament for å behandle stor laks i forhold til liten. De mest kjente medikamentene benyttet i fôrbehandling er Diflubenzuron kjent under sitt varemerke Releeze vet[®], Teflubenzuron som Ektobann vet[®] samt Emamektin benzoat som Slice vet[®]. I figur 18 kan en se at det har blitt observert nedsatt effekt ved bruk av emamektin benzoat. Kitinsyntesehemmerene Diflubenzuron og teflubenzuron har fortfarande høy registrert effekt. Kitinsyntesehemmere vil derfor være alternativene for fôrbehandling i simuleringsmodellen.

Doseringen for teflubenzuron (Ektobann vet[®]) er 10 mg/kg daglig i syv dager («Ektobann vet - 2 g/ kg», 2017). Diflubenzuron (Releeze vet[®]) doseres med 3 mg/kg daglig i 14 dager (Statenslegemiddelkontroll(SLK), 2000). Ektobann vet[®] blir levert i 500kg pakninger med en styrke på 2 g/kg. Releeze vet[®] blir også

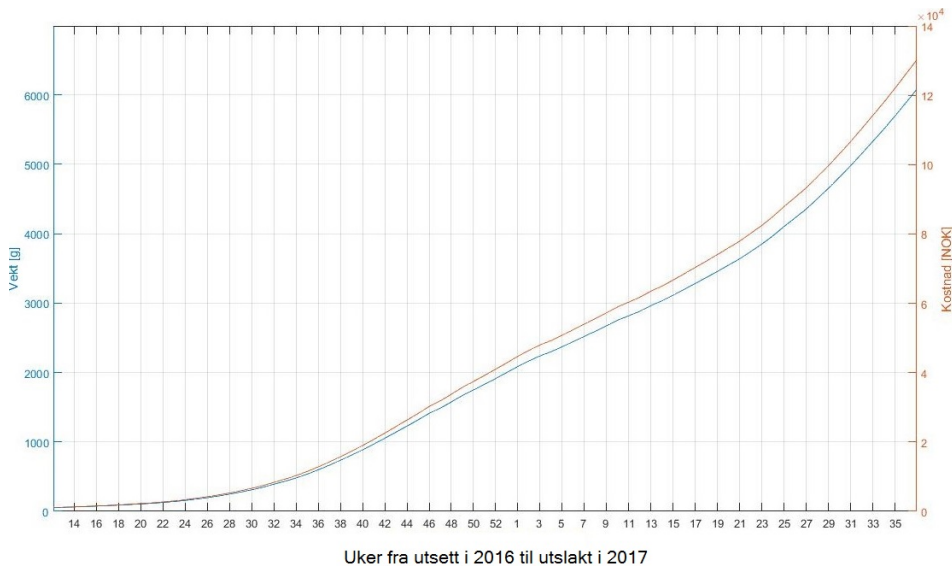
levert i 500 kg pakninger men med en styrke på 0.6 g/kg. Releeze vet® har en tilbakeholdelsestid på 105 døgngader, Ektobann vet® har tilbakeholdelsestid på 96 døgngader. Tilbakeholdelsestid vil si periode før en kan slakte behandlet fisk. Alle larvestadiene og de preadulte lusene påvirkes (opptil 90 % dødelighet), men midlene har ikke effekt på de voksne lusene, siden disse ikke gjennomgår flere skallskifter. En kan på bakgrunn av biomasse som skal behandles estimere antall kg en trenger av hvert medikament, og utifra kg prisen estimere kostnaden av en behandling.

Releeze vet® med pelletstørrelse 1000 har en estimert pris på 17 kr/kg (Ewos, 2017a). Denne prisen må videre korrigeres for pris per kg for normalt fôr. Ifølge (Iversen mfl., 2015) lå fôrprisen på underkant av 11 kr/kg i første kvartal 2015. Eventuell variasjon i tilvekst grunnet ulikt fôr neglisjeres og kostnaden på fôrbehandling estimeres med en enhetspris på differansen, 6 kr/kg. Kostnaden relatert til en behandling med Releeze vet® vil være avhengig av biomassen som skal behandles i følgende forhold:

$$\text{Kostnad en fôrbehandling} = \frac{\text{Ønsket konsentrasjon} * \text{Biomasse} * \text{Dager behandling} * \text{Kg pris fôr}}{\text{Fôr konsentrasjon}} \quad (6)$$

$$\text{Kostnad [NOK]} = \frac{3[\frac{mg}{kg \text{ dager}}] * \text{Biomasse}[kg] * 14 [\text{dager}] * 6[\frac{NOK}{kg}]}{2[\frac{g}{kg}]} \quad (7)$$

Hvis en plotter fôrbehandlingskostnaden oppimot biomasse som vist i figur 24, ser en at fôrbehandling av en én merd med 170 000 fisk har en kostnad fra 10 000 til 120 000 NOK.



Figur 24: Estimert førkostnad for 170 000 fisk i en merd med varierende snittvekt

5.3 Kostnadsestimering av forebyggende tiltak

Der aktive tiltak tilsikter å fjerne eksisterende mengder med lakselus innad i en merd, sikter forebyggende tiltak på å hindre lakselus i å infisere laks samt kontinuerlig fjerne eksisterende lakselus. De mest kjente forebyggende tiltakene anvendt i oppdrettsnæringen i dag er luseskjørt, lukkede merder, leppefisk samt optisk fjerning av lakselus. Luseskjørt og lukkede merder sikter på å hindre eksterne kopepoditter i å feste seg på laksefisk ved å danne en barriere mellom eksterne vannmasser og vannmassene i merd. Rensefisk spiser kontinuerlig lakselus, da især mobile stadier. Lukkede merder varierer stort i utforming og kostnader knyttet til implementering og drift fraviker stort fra regulære merder med not, og vil derfor ikke inngå i simuleringsmodellen.

5.3.1 Luseskjørt

Luseskjørt har vist flere lovende resultater (Kvistad, 2016), (Lien mfl., 2015), (Næs, Heuch & Mathisen, 2012), der påslag av kopepoditter har blitt redusert med 40-70%. Problemet med luseskjørt er at det er stor variasjon i resultater fra en lokasjon til den neste. En lokasjon kan ha 70% effekt, en annen kan oppleve ingen effekt. Lav oksygenmetning forekommer også i merd ved bruk av luseskjørt og dette er kritisk

for laksens metabolisme, især ved høye sjøtemperaturer (L. Stien mfl., 2012).

Det har blitt forsøkt å ta kontakt med leverandører av luseskjørt samt permaskjørt for en kostnadsestimering, uten hell. Uten kostnader relatert til drift eller innkjøp kan tiltaket ikke sammenlignes med andre tiltak, og vil derfor ikke inngå i simuleringmodellen.

5.3.2 Rensefisk

Rensefisk har blitt mer og mer utbredt som bruk til bekjempelse av lakselus. I 2015 ble 26 millioner leppefisk satt ut til en innkjøpspris på 370 millioner NOK (Fiskeridirektoratet, 2015). Kostnadene relatert til rensefisk kan stykkes opp i innkjøpskostnad, notvask, arbeidskraft samt rensefiskskjul. Veilederen til bruk av leppefisk benytter seg av en innblandingsprosent på 4% (Luseprosjektet, 2014), men generelt er bruk av rensefisk preget av erfaringsbasert utøvelse. Dette medfører stor variasjon i antall, art, skjul, notvask med mer fra lokalitet til lokalitet. I denne kostnadsestimeringen vil veilederen til (Luseprosjektet, 2014) bli brukt som standard for videre kostestimering av rensefisk kostnader for en merd.

Med en innblandingsprosent på 4% vil dette tilsvare 8 000 rensefisk for en merd med 200 000 fisk. Erfaringsmessig varierer effekten rensefisken har utifra art. Berggylt er mest effektiv som lusespiser på store laks, og den plukker også lus ved lavere temperaturer enn de andre artene. Rognkjeksen er aktiv hele året og viser fortsatt god appetitt ved temperaturer helt ned mot 3 °C. (Luseprosjektet, 2014). Konkrete data på effekten knyttet til de forskjellige artene er vanskelig å oppdrive, og er som beskrevet erfaringsbasert. Det vil si at det er antatt at en innblandingsprosent på 8% med Bergnebb vil ha samme avlusningseffekt som en innblandingsprosent på 4% med Berggylt (se tabell 13 for pris per art). Problemet med denne antagelsen er at berggylt er populær grunnet dens effekt ved lave temperatur, noe en ikke kan kompensere for ved å øke antallet med andre arter. 3000 og 6000 ineffektive rensefisk vil ha samme effekt ved lav temperatur.

Tabell 13: Total utsett av rensefisk i merd, (Fiskeridirektoratet, 2015)

Art	Antall i 1000	Verdi [kNOK]	Gj.snitt pris per [NOK]
Rognkjeks/Lumpfish	10 325	177 076	17,15
Berggylt/Ballan wrasse	869	19 098	21,97
Bergnebb/Gold-sinny wrasse	2 078	21 112	10,16
Grønngylt/Corkwing wrasse	2 768	32 046	11,58
Uspesifisert/Non spesified	10 369	121 372	11,7
Totalt/Total	26 409	370 704	14,04

Det er knyttet en høy dødelighet til rensefisk, noe som vil si at det vil være behov for påfyll igjennom en syklus for å opprettholde ønsket innblandingsprosent. Veterinærinstituttet gjorde et forskningsprosjekt over en periode på 6 måneder der det ble satt ut 934 935 rensefisk på 18 ulike lokaliteter fra Rogaland til Norland. I løpet av perioden ble det registrert 310 043 (33 %) dødfisk. Registrert dødelighet var lavest hos berggylt (18%). De andre artene ga registrert dødelighet fra 32 - 48 %, høyest hos rognkjeks(Nilsen mfl., 2014). Med variasjonen i dødelighet vil tidligere estimat av antall for å kompensere effekt favorisere berggylt ytterligere. Det vil derfor være mer hensiktsmessig å benytte seg av en innblandingsprosent på 4% uavhengig art, men gi hver art en estimert avlusningseffekt skalert opp imot hverandre på bakgrunn av innmeldt erfaring fra oppdretter. Dette vil ta hensyn til forskjell i pris, effekt samt antall satt ut på et mer hensiktsmessig vis. I tillegg vil det kunne poengtere nytteverdien av en eventuell kombinasjon av arter samt dato for de forskjellige arter og antall ut-satt. Det er videre antatt at utsatt rensefisk kun vil være effektive for en syklus, og at gjenbruk ikke er mulig. Innkjøpspris for rensefisk spesifisert etter art med inkludert påfyll etter estimert svinn iløpet av én syklus er presentert i tabell 14

Tabell 14: Innkjøpspris rensefisk i løpet av én syklus, med påfyll

	Dødelighet [%]	Samlet utsett [Antall]	Snittpris per [NOK]	Innkjøpspris, rensefisk [NOK]
Rognkjeks	48	11 840	17,15	203 056
Berggylt	18	9 440	21,97	207 396
Bergnebb	32	10 560	10,16	107 289
Grønngylt	35	10 800	11,58	125 064
Uspesifisert	43	11 440	11,7	133 848

For å redusere dødeligheten til rensefisk har det blitt utviklet skjul for å imitere dens naturlige habitat. Uavhengige forsøk gjort i regi av SalMar/Lerøy og Marine

Harvest har kommet frem til at det er nødvendig med en meter skjul pr. 30 stykk små leppefisk eller 15 stykk store leppefisk (Luseprosjektet, 2014). OKmarine AS leverer renseskjulkjøl. Skjul for en 160-metring med 200 000 fisk har fra deres hjemmesider en estimert innkjøpskostnad på 20 000 NOK. I terapiveilederen for bruk av renseskjøl (Luseprosjektet, 2014), anbefales det å sette ut nytt skjul før en tar ut gammelt slik at fisken kan rømme dit. Det vil derfor være hensiktsmessig med to sett med renseskjulkjøl per merd. Skjulene krever vedlikehold og må skiftes rundt en gang i uken. Utskift av skjul for en 160-metring er estimert til to timer for to mann. Renseskjulen er sårbar ved lave temperaturer da den går inn i en slags dvale (Luseprosjektet, 2014). Det vil derfor ikke være utskift av skjul i perioder med temperaturer under 7 grader. I tabell 15 er estimert behov av meter med kunstig skjul utifra renseskjøl størrelse og antall presentert. I tabell 16 er estimerte arbeid og innkjøpskostnader presentert regulert for høst og vårutsett i tabell 17

Tabell 15: Nødvendig skjul avhengig av antall og størrelse på renseskjøl

Mengde laks	# Leppefisk	Behov skjul [m]	
		Liten leppefisk	Stor leppefisk
70 000	3000	100	200
100 000	4 000	133	267
125 000	5 000	167	333
150 000	6 000	200	400
200 000	8 000	267	533

Tabell 16: Kostnadskomponenter til implementering/drift av renseskjøl

Antall sett skjul	Innkjøpspris ett sett skjul	Timeslønn	Arbeidstimer per skjulskift	Skjulskift i uken
2	20 000 [NOK]	300 [NOK/time]	4 [Timer]	1

Det er knyttet begroing til utstyr som står i sjø. Nøter er utsatt for begroing noe som fører med seg mange negative konsekvenser som deformasjon og redusert vannutskiftning. Ved bruk av renseskjøl reduseres deres avlusningseffekt ved begroing

Tabell 17: Samlede kostnader for innkjøp og vedlikehold av renseskjulkjøl iløpet av en produksjonssyklus a 18 mnd

	Uker med skift ila syklus	Capex [NOK]	Opex [NOK]	Totalt [NOK]
Høstutsett	40	40 000	48 000	88 000
Vårutsett	56	40 000	67 200	107 200

nøter da de foretrekker å beite på artene som begror nøtene framfor lakselus. For å vedlikeholde effekten til rensefisk må en derfor påse rene nøter, derav hyppigere vask av nøter. Nøter bør derfor vaskes med intervaller på maks 7–14 dager ved forhold som gir mye begroing (Luseprosjektet, 2014). Det er estimert at oppdrettere vasker nøter én ekstra gang i måneden ved bruk av rensefisk, samt ingen ekstra notvask i vintermånedene. Serviceselskaper som vasker not operer med en pris på 20 - 30 000 NOK/not, avhengig av avtale mellom kunde og leverandør (Iversen mfl., 2015). Det har vært en stor teknologisk utvikling av notvaskere og flere aktører noe som gjør at anslagsvis 20 000 NOK vil bli brukt som videre estimert kostnad for vask av en merd. Det er antatt at ekstra notvask ikke blir gjennomført ved temperaturer under 7 grader grunnet redusert begroing. Kostnad for vask av not ved bruk av rensefisk blir som presentert i tabell 18.

Tabell 18: Kostnader for vask av not ved bruk av rensefisk for én merd iløpet av én syklus

	Antall ganger vask	Kostnad vask av én merd [NOK]	Kostnad ilt til én syklus [NOK]
Høstutsett	10	20 000	200 000
Vårutsett	14	20 000	280 000

Ved å kombinere innkjøpskostnad av rensefisk med kostnadene knyttet til skjul og notvask vil en kunne estimere årlig kostnad relatert til bruken av rensefisk. I tabell 19 kan en se de estimerte kostnadene for implementering og drift av 160-metring med rensefisk igjennom én produksjonssyklus.

Tabell 19: Totale kostnader relatert til bruk av rensefisk for en 160-metring igjennom én produksjonssyklus

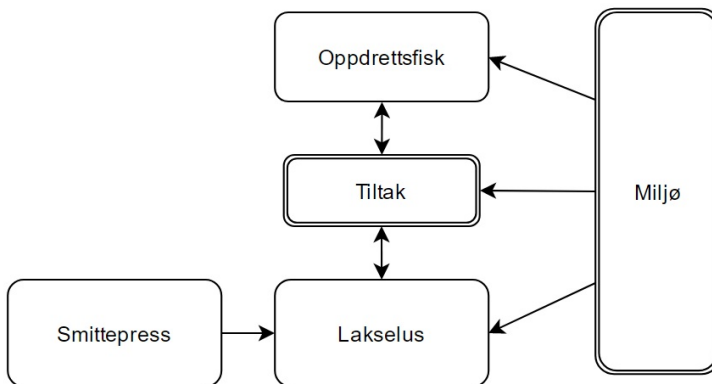
	Rensefisk [NOK]	Høstutsett			Vårutsett		
		Notvask [NOK]	Skjul [NOK]	Totalt [NOK]	Notvask [NOK]	Skjul [NOK]	Totalt [NOK]
Rognkjeks	203 056	200 000	88 000	491 056	280 000	107 200	590 256
Berggylt	207 396			495 397			594 596
Bergnebb	107 289			395 289			494 489
Grønnngylt	125 064			413 064			512 264
Uspesifisert	133 848			421 848			521 048

6 Etablert simuleringsmodell

En simuleringsmodell er en matematisk modell som beregner virkningen av usikre parametere og beslutninger vi gjør på utfall som vi bryr oss om, for eksempel konsekvenser ved valg av tiltak mot lakselus. Modellen etablert tilsikter å etterligne en merde med de elementer som ønskes undersøkt. Simuleringsmodeller der tilfeldigheter spiller inn, bygger ofte på kjennskap eller antagelser om foreteelsens sannsynlighetsfordeling. (Store Norske Leksikon, 2015).

Simuleringsmodellen etablert innbefatter en modellert merd med essensielle komponenter for å estimere konsekvenser av å benytte seg av avlusningstiltak. Programmet modellen er laget i heter Simulink[®] og er en ad-on til MATLAB. I Figur 25 er hovedsegmentene i simuleringsmodellen presentert med deres roller ovenfor hverandre. Modellens fem hovedsegmenter er:

Miljø	Bestemmer temperatur og dato.
Oppdrettsfisk	Stående biomasse som funksjon av antall og størrelse på oppdrettsfisk. Blir påvirket av tiltak og miljø.
Smittepress	Generer lakselus på bakgrunn av estimert smittepress ved gitt merd
Lakselus	Lakselus utvikler seg gjennom tre stadier og blir påvirket av Tiltak og Miljø
Tiltak	Effekt og konsekvenser for lakselus og oppdrettsfisk ved gjennomføring av gitt tiltak

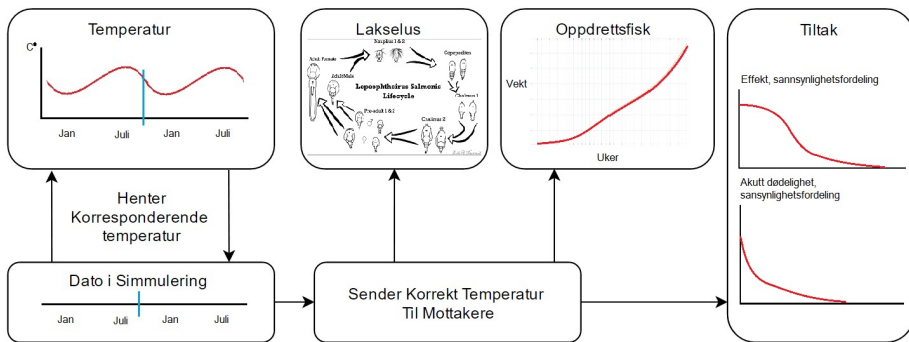


Figur 25: De fem segmentene som danner simuleringsmodellen. Interaksjon mellom segmentene er illustrert med piler

Simuleringsmodellen slik den ser ut i simulink er for stor til å kunne ha noen presentasjonsverdi. Et bilde av modellen er lagt ved i vedlegg B, med detaljbilder av hvert segment i vedlegg C, E, G og I. Videre vil hvert segment bli presentert med dens rolle og oppbygning. Oppbygningen av hvert segment er den drivende faktoren for validiteten av resultatene fra simuleringsmodellen.

6.1 Modellert miljø

Akvatiske organismer styres mye mer av temperatur enn terrestriske organismer. En produksjonssyklus av laks varer som oftest fra 16-18 måneder. Som fører til en naturlig sesongvarierende temperatur på oppdrettslokalitet. Vekst for både lakselus og oppdrettsfisk er knyttet til temperatur ved at høy temperature fører til høyere vekst enn ved lavere temperatur. For å ta denne faktoren med i simuleringsmodellen har sjøtemperaturen blitt modellert på bakgrunn av historiske verdier. Simuleringsmodellen tar inn dato for utsett for så å starte simuleringen ved denne datoen. Videre henter modellen temperatur tilsvarende lokalitetens innmeldte temperatur den uken. Ved å følge dato nøye får en tilsvarende nøyaktig sjøtemperatur for lokalitet. I simuleringsmodellen påvirker miljøet segmentene lakselus, oppdrettsfisk samt tiltak som vist i figur 26.



Figur 26: Miljøsegmentets hensikt og innvirkning på øvrige segmenter. (Grafer vist er ment som beskrivende og representerer ikke reelle verdier)

Innehentede historiske verdier av temperatur har en tendens til å ha uker som har blitt utelatt fra innmelding. Dette resulterer i hull med uvisst temperatur for gitte uker. Dette har blitt kompensert for ved å bestemme manglende temperatur som gjennomsnittet av innmeldt temperatur for uken før og etter. De tre lokalitetene som har blitt analysert i kapittel 7 har alle fullstendig rapportering av temperatur.

6.2 Modellert oppdrettsfisk

Oppdrettsfisken i simuleringsmodellen er modellert med størrelse i gram og antall. Syklusen starter med å sette størrelse og antall for settefisk. Størrelsen vil igjennom syklusen vokse på bakgrunn av hvilken størrelse den har og temperatur på vannet den befinner seg i. Antallet vil reduseres i løpet av syklusen på bakgrunn av en naturlig svinn prosent samt ved håndtering/avlusning. Det naturlige svinnet settes i spekteret 10-15% av utsatt antall, med et høyere relativt svinn ved liten størrelse <1kg iforhold til stor fisk >1kg.

Ved å simulere gjennomsnittlig størrelse og antall igjennom en syklus kan oppdretter tilrettelegge for innkjøp av fôr, estimere slakte dato og størrelse ved slakt samt ha kontroll på stående biomasse for å holde seg under MTB. Oppdrettsfisk blir fôret med forskjellig fôr utifra størrelsen på fisken, og ved å estimere fortype og biomasse kan en estimere førkostnaden for produksjonssyklusen samt planlegge innkjøp og lagring av fôr under hele produksjonssyklusen.

Vekstraten til oppdrettsfisk er størrelses-avhengig og sterkt påvirket av faktorer som temperatur, fôr-tilgjengelighet, daglengde og andre miljømessige forhold (Thorarensen & Farrel, 2011). To metoder for å estimere salmonoid vekst er bruken av SGR og TGC. Den mest benyttede metoden er bruken av SGR som er: "Specific growth rate". SGR er en verdi basert på forholdet mellom vektendiferansen mellom to tidpunkt. Formelen for utregning av SGR er:

$$\text{SGR} = 1000 * (\ln(w_2) - \ln(w_1)) / (t_2 * t_1) \quad (8)$$

Der w_2 og w_1 er vekten til fisken ved tidspunkt t_2 og t_1 . Ved etablerte SGR verdier kan en derfor predikere vekst utifra formelen:

$$w_2 = w_1 * e^{\text{SGR} * (t_2 - t_1) / 100} \quad (9)$$

Verdien for SGR synker med økende fiske vekt og er sterkt påvirket av vann temperatur. Det er derfor vanskelig å benytte seg av SGR til prediksjon av fiskevekst for varierende lokaliteter med varierende temperaturer med mindre disse lokalitetene har SGR verdier for sin respektive lokalitet. Det kan utledes SGR verdier på bakgrunn av temperatur ved formel:

$$\text{SGR} = 0.97 * T^{0.97} * w^{-0.34} \quad (10)$$

Der T er temperatur. Denne formelen er dog begrenset til å brukes på atlantisk laks med vekt mellom 50 gram og 3000 gram, og temperaturer mellom 4 og 14 °C.

Den andre metoden nevnt, TGC, tilsikter å beskrive vekstraten uavhengig av temperatur og størrelse. TGC står for: "Thermal growth coefficient". TGC blir ansett som mer fleksibel og lettere å anvende i produksjonsplanlegging grunnet dens uavhengighet til varierende faktorer. Antagelsene TGC beror på er at vekstraten er lineært økende med temperatur, lengde vekt forholdet til fisken er konstant samt at fisken vokser konstant i lengde uavhengig av temperatur. Formelen for utregning av TGC er:

$$\text{TGC} = 1000 * (w_2^{1/3} - w_1^{1/3}) / (T * t) \quad (11)$$

Der w_2 er størrelse i gram etter periode t, w_1 er størrelse ved start av periode t, T er temperatur i grader °C og t er tiden i dager. Utifra formel 6.2 kan en beregne størrelsen etter periode t ved formel:

$$w_2 = ((w_1^{1/3} + \text{TGC} * T * t) / 1000)^{1/3} \quad (12)$$

TGC er på lik linje med SGR tilsiktet brukt innenfor rammene av temperaturer mellom 4 og 14 °C samt størrelser mellom 50 til 3000 gram da det er et stort sprik i TGC verdier ved temperaturer og fiske størrelser over gitte restriksjoner. Det har blitt rapportert inn en stor variasjon av TGC verdier fra -0.2 til 4.8 (Thorarensen & Farrel, 2011). Denne variasjonen stammer fra sesongavhengige variasjoner i temperatur og daglengder sammen med størrelsen til fisken gjort ved de ulike studiene. I tabell 20 er et utvalg av TGC og FCR verdier presentert med tilhørende kilde.

FCR, (Feed conversion ratio), er et forhold som måler effektiviteten fisk/dyr har på å konvertere fôr til ønsket formål (Linnaeus, 2015). Enkelt sagt er FCR et tall som indikerer hvor mange kg fôr man må gi fisken for å få en kg fisk. Generelt får en lavere FCR verdier ved høyere TGC verdier som en kan se i tabell 20. Dette tilsier at fisk tar til seg mer av tilført fôr ved optimale forhold. Disse optimale forholdene er vanskelig å oppnå i merder til sjøs med naturlige variasjoner i miljø, men er et mål for landbasert oppdrett som har større kontroll på miljøet fisken befinner seg i.

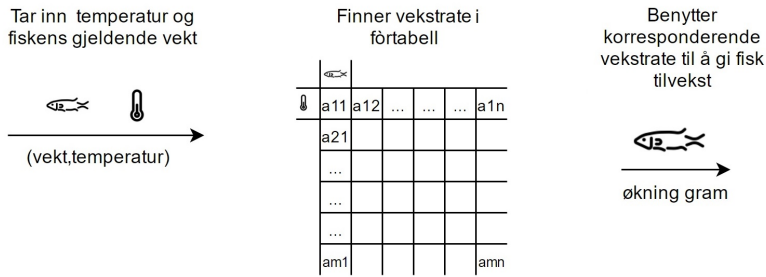
Tabell 20: Verdier for TGC og FCR som presentert i (Thorarensen & Farrel, 2011)

TGC	Vekt [g]	FCR	Kilde
2.69	35-107	NaN	(Jobling, Solberg & Lysfjord, 2004)
4.76	1168-1784	0.85	(Bendiksen, Dick, Bell & Karalazos, 2007)
2.68	1250	1-1.3	(Crampton, Alanara & Bailey, 2003)
2.5	2000	1	(Ytrestøyl, Struksnæs, Rørvik, Koppe & Bjerkgeng, 2006)
2.77	3600	NaN	(Morris mfl., 2003)
1.2-4.9	90-5100	1	(Rørvik & Mørkore, 2001)
2.6-3.1	57-5363	0.9	(Johnston mfl., 2002)
2.1-3.6	273-3807	NaN	(Johnston mfl., 2007)

(Thorarensen & Farrel, 2011) konkluderer med at en TGC på 2.7 - 3 er å forvente for post-smolt atlantisk laks. Med naturlige variasjoner ned mot null avhengig av miljøet fisken erfarer.

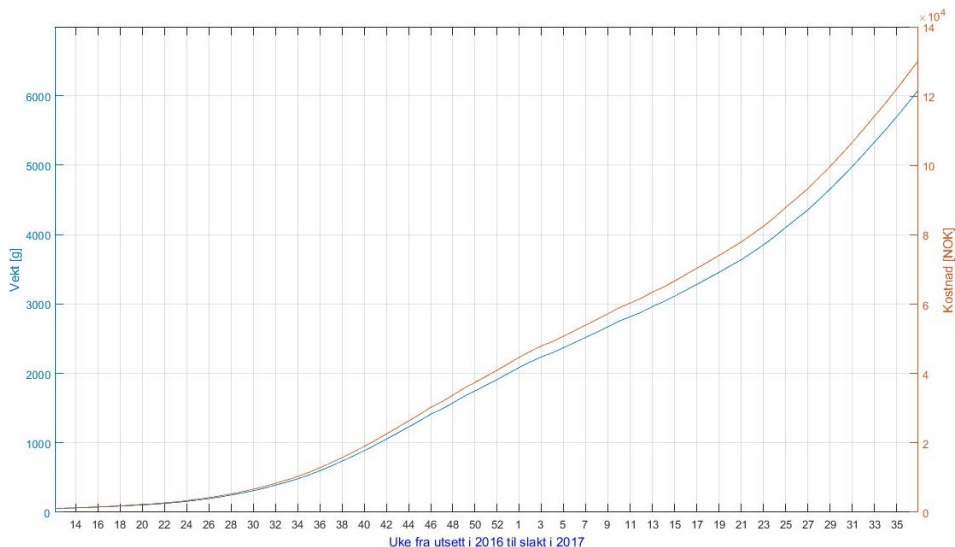
RGI, (Relative Growth Index), benytter seg av historiske SGR verdier til å estimere daglig prosentvis tilvekst for fisk på bakgrunn av temperatur og størrelse. Ved å benytte seg av RGI har en mulighet til å bruke SGR verdier som til enhver tid best beskriver vekstrate ved gitt temperatur og størrelse, forbeholdt at SGR verdien er dekket for gitt kombinasjon. Skretting AS har en RGI tabell basert på sin Rmax-database med lagrede observerte SGR verdier. RGI-tabellen ble funnet i masteroppgaven (Bing Orkland & Aronsveen, 2014), og daterer til 2014. Rmax-databasen har mest sannsynlig blitt endret siden 2014, men nyere RGI tabeller har ikke blitt funnet og RGI tabellen fra Skretting AS vil være utgangspunktet for estimering av vekst i simuleringsmodellen. TGC verdier som har blitt innhentet har blitt vurdert til å levere mindre nøyaktige vekstrater iforhold til funnet RGI-tabell. Datagrunnlaget for RGI tabellen er uvisst og forfatter vet ikke nøyaktigheten den måtte representere utenfor egen oppfatning av verdiene som leverer sannsynlige resultater ved simulering. RGI-tabellen er lagt ved i vedlegg Q og i vedlegg R er skript-et som benytter RGI-tabellen lagt ved.

RGI-tabellen er en matrise med verdier for daglig vekstrate utifra størrelse og temperatur. Simuleringsmodellen beregner daglig tilvekst på bakgrunn av gitt temperatur og størrelse som illustrert i figur 27.



Figur 27: Bestemmelse av vekstrate for modellert fisk. Størrelse og sjøtemperatur blir identifisert, tilhørende vekstrate hentet ut, og fisken vokser deretter et døgn før prosessen gjentas

Et viktig moment simuleringsmodellen får med ved å estimere vekt og antall iløpet av produksjonssyklusen nøyaktig, er tapt potensiell biomasse ved fiskedød og sulting. Det er forbundet en sannsynlighet for fiskedød i relasjon til håndtering av fisk som ved flytting og avlusning. Det er også vanlig rutine å sulte fisken i forkant av håndtering for å redusere oksygenbehovet og derav redusere potensielt tap av fisk. Denne sultingen vil kunne føre til at en har lavere snittvekt ved en gitt dato for ut-slakt enn ved at fisken ikke ble sultet. Tapt potensiell biomasse vil være differansen mellom optimal biomasse uten tiltak benyttet, og med. Ingen avlusningstiltak benyttet vil føre til ingen sulting eller fiskedød, utover normalt produksjonssvinn. Tiltak vil føre til sulting og muliggjør ekstra fiskedød. I figur 28 kan en se et eksempel på snittvekten for modellet oppdrettsfisk igjennom en produksjonssyklus med og uten benyttede tiltak. Blå kurve i figur 28 viser snittvekt hvor fire tiltak har blitt benyttet gjenspeilet i en utflating av kurve som representerer sulting i forkant av tiltak. Branngult plot viser da optimal gjennomsnittlig størrelse for oppdrettsfisken ved modellert lokalitet.



Figur 28: Gjennomsnittlig vekt av oppdrettsfisk gjennom en produksjonssyklus ved bruk av RGI-tabellen til Skretting AS og observert temperatur for en produksjonssyklus ved lokaliteten Bondøya. Høyre akse viser forkostnaden ved å produsere gitt vekt for 200 000 fisk med en jevn produksjonsdødelighet på 15%

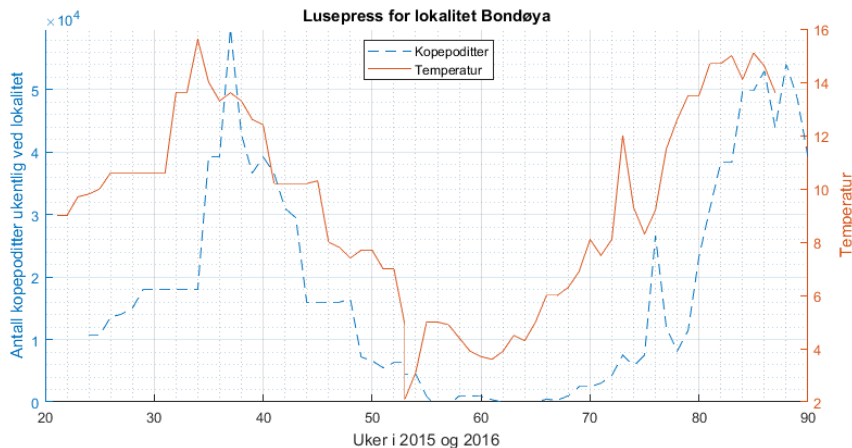
6.3 Modellert smittepress

Smittepress er et uttrykk for hvor mange kopepoditter som befinner seg i et område, og derav antall potensielle lus som kan feste seg på laksefisk. I kapittel 3 ble det forsøkt å etablere en korrelasjon mellom havforskningsinstituttets estimerte smittepress og innmeldte lakselusnivåer for alle lokaliteter i Norge. Manglende data og for mange ukjente parametre sørget for at denne korrelasjonen ikke ble funnet. En trend ble identifisert der økte lusemengder i Rogaland så ut til å spre seg som en bølge oppover langs kysten helt til Finnmark. Denne trenden kan benyttes til å danne et smittepressbilde av fylket gitt lokalitet befinner seg.

Smittepresset benevnt i simuleringsmodellen angir hvor mange lakselus som fester seg til oppdrettsfisk ved en gitt uke. Smittepresset fra Havforskningsinstituttet er tenkt å ha en smittegrad på omkring 30-50 %, men det kvantitative er nokså usikkert (Lars, 2017). En smittegrad på 30% betyr at 30% av kopepodittene ved merd infiserer laksefisk. I modellen har ikke smittegrad noen effekt da smittepresset er modellert for å oppnå lusenivåer, og stammer ikke fra noen bakenforliggende simulering eller estimat. Smittepresset vil dermed gi modellert oppdrettsfisk et gitt antall lakselus i det laveste stadiet hver uke. Som så i lakselus modellen utvikler

seg med tid og temperatur igjennom de ulike stadiene til de er voksne og tellbare.

I kapittel 7 ble tre lokaliteter modellert og testet i simuleringmodellen. Smittepresset benyttet her var ikke generert på bakgrunn av trender, men en kalibreringsprosess. Kalibrering ble utført som endring av smittetrykk for å oppnå de samme lusnivåene for lokalitet som innmeldt. Dette ble gjort for å danne like forutsetninger for de ulike simuleringene. Kalibreringen av smittetrykk skjer ved at en sender et temperatur avhengig smittetrykk for lokalitet til simulering. De resulterende lusnivåene blir analysert opp imot faktisk innmeldte lusnivåer. Smittetrykket blir endret ved å endre antall kopepoditter per uke, helt til simulerte lusnivåer resulterer i nivåer som er samsvarende med innmeldte lusnivåer. Innmeldte lusnivåer er faktiske innmeldte lusnivåer fra lokaliteten. I kapittel 7 er kalibrert smittetrykk for to lokaliteter Hella og Gisløy NØ kalibrert og presentert. Det er interessant å bemerke er at smittetrykket ved Gisløy NØ følger temperatur svingninger. Topper i temperatur har en påfølgende topp i smittetrykk noen uker senere, samt bunn i smittetrykk ved lave temperaturer. For lokaliteten Hella er det tilsynelatende ingen temperatur avhengighet, heller et jevnt høyt smittetrykk igjennom hele produksjonssyklusen. Det at Hella opplever et smittetrykk gjennomsnittlig fem ganger høyere enn Gisløy NØ, kan være en indikator på effekten av relativt høye temperaturer igjennom hele året. Et annet kalibrert smittetrykk er for lokaliteten Bondøya, figur 29, som er den første lokaliteten analysert i kapittel 7. Temperaturavhengigheten til smittetrykket for Bondøya er gjennomgående. Kalibrert smittetrykk trengte kun å være en lineær funksjon av temperatur forskjøvet med fire uker for at resulterende lusnivåer skulle samsvare med innmeldte nivåer.



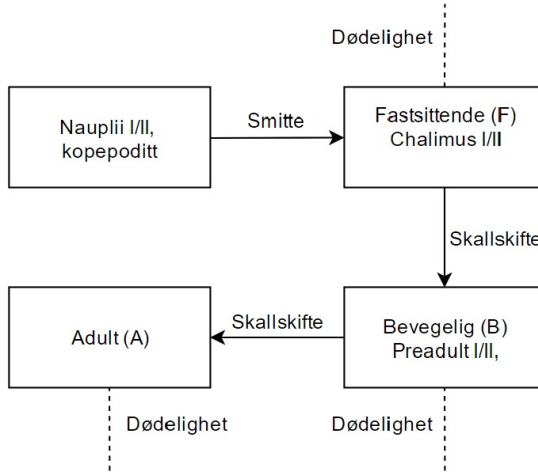
Figur 29: Kalibrert smittetrykk for lokaliteten Bondøya i Nord-Trøndelag for produksjonssyklusen fra 2015 til 2016.

6.4 Modellert lakselus

Lakselus i simuleringsmodellen har blitt modellert med antall og stadie. Der antallet blir gitt fra smittepresset og regulert ved anvendelse av tiltak. Ved generering av lakselus på bakgrunn av smittepresset blir stadiet satt til chalimus 1, eller fastsittende stadie. Lakselusen vil deretter endre stadie til bevegelig og til slutt voksen. Utviklingen fra et stadie til det neste har blitt modellert som en funksjon av tid og temperatur, videre benevnt som døgngader. Døgngader er produktet av temperatur observert over et døgn og benevnes som (døgn°C). Stadie endring skjer ved at lakselus har erfart et gitt antall døgngader, som vil si at lakselus skifter stadier fortere ved høye enn lave temperaturer. Hver lakselus har blitt modellert med en alder iform av døgngader, og lakselusens alder avgjør stadiet den befinner seg i.

Som beskrevet i kapittel 2.3.3 har det blitt utviklet flere modeller for utvikling av lakselus igjennom de ulike stadiene. (Rittenhouse mfl., 2016) sin forlengelse av (A. Stien mfl., 2005) har blitt valgt som utgangspunkt for videre modellering. (Rittenhouse mfl., 2016) modellerer hele livssyklusen inklusive egg dannelse og de ikke-infektive og infektive larve stadiene. I denne modellen har egg dannelse og de fritt svømmende larvestadiene blitt modellert som et simpelt smittepress. (A. Stien mfl., 2005) har modellert livssyklusen som fem hovedstadier der (Rittenhouse mfl., 2016) har snevret inn til fire. (A. Stien mfl., 2005) har to stadier for henholdsvis pre-adult og chalimus som er blitt valgt benyttet i denne oppgaven. Oppdelingen av stadier i livssyklusen benyttet i simuleringsmodellen (fig 30) består av fire stadier. I lakselussegmentet blir fastsittende-, bevegelig- og adult lakselus modellert.

(Rittenhouse mfl., 2016) beskriver dødelighet for de ulike stadiene som en funksjon av salinitet. Selv om funksjonen er forenklet ved å beskrive salinitet nivået på bakgrunn av tid ved analysert anlegg, er den laget på bakgrunn av to valgte lokasjoner i British Columbia og Southern Newfoundland. Det har vært mulig å oppdrive historisk salinitet variasjoner for analyserte anlegg i kapittel 7. I tillegg ville det å implementere en salinitet funksjon benyttet av (Rittenhouse mfl., 2016), være å anta at analyserte anlegg i kapittel 7 har samme salinitet endring igjennom året som erfart i British Columbia og Southern Newfoundland. Dødeligheten for de ulike stadiene har derfor blitt redusert til å kun representere en akutt dødelighetsrate for de ulike stadiene på lik linje som (A. Stien mfl., 2005) benyttet. Begge modellene skiller mellom hann og hunn lus. Da smittepresset ikke inkluderer kjønnnet på lusen som smitter anlegget har lusen blitt modellert til kun å gjelde hunnlus, da det er antall hunnlus som er avgjørende for satt lusegrense.



Figur 30: Modellert livssyklus til lakselusen. Heltrukne linjer beskriver livshendelser påvirket hovedsakelig av temperatur.

Basert på litteraturstudie i 2.4.3 er lakselusen modellert med utvikling igjennom tre stadier som funksjon av tid og temperatur med konstant dødelighets-rate for hvert stadiet. Formelverket som blir benyttet i simuleringsmodellen er som følger:

$$N_F(t) = \begin{cases} N_F(0)e^{-(\mu_F+\nu_F)(t-\tau_F)} & \text{for } t \geq \tau_F \end{cases}$$

$$N_B(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } t < \tau_F \\ N_F(0)a_2(e^{-(\mu_F+\nu_F)(t-\tau_F)} - e^{-\mu_B(t-\tau_F)}) & \text{for } \tau_B > t \geq \tau_F \\ N_F(0)a_1(e^{-(\mu_F+\nu_F)(t-\tau_B)} - e^{-(\mu_B+\nu_B)(t-\tau_B)} + a_3e^{-(\mu_B+\nu_B)(t-\tau_B)}) & \text{for } t \geq \tau_F \end{cases}$$

$$N_A(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } t < \tau_B \\ N_F(0)\frac{a_1\nu_B}{\mu_A-\mu_F-\nu_F}(e^{-(\mu_F+\nu_F)(t-\tau_B)} - e^{-\mu_N(t-\tau_B)}) + \frac{(a_3-a_1)\nu_A}{\mu_A-\mu_B-\nu_A}(e^{-(\mu_B+\nu_B)(t-\tau_B)} - e^{-\mu_N(t-\tau_B)}) & \text{for } t \geq \tau_B \end{cases}$$

$$a_1 = \frac{\nu_J e^{-\mu_F \tau_F} e^{-(\mu_F+\nu_F)(\tau_B-\tau_F)}}{\mu_B + \nu_B - \mu_F - \nu_F} \quad (13)$$

$$a_2 = \frac{\nu_F e^{-\mu_F \tau_F}}{\mu_B - \mu_F - \nu_F} \quad (14)$$

$$a_3 = a_2(e^{-(\mu_F+\nu_F)(\tau_B-\tau_F)} - e^{-\mu_B(\tau_B-\tau_F)}) \quad (15)$$

Der tid t er tiden etter at et antall lus $N_F(0)$ har festet seg på laks ved tiden $t = 0$. Hver uke starter et nytt *utsett* av lakselus med varierende antall lakselus $N_F(0)$, bestemt av smittepresset for gitt uke. De andre parametrene benyttet i modellen er:

$N_F(t)$	Forventet antall lakselus i fastsittende stadie ved tid t
$N_B(t)$	Forventet antall lakselus i bevegelig stadie ved tid t
$N_A(t)$	Forventet antall lakselus i Adult stadie ved tid t
ν_F	Akutt vekstrate benevnt i $\frac{\text{antall}}{\text{dag}}$ for fastsittende stadie
ν_B	Akutt vekstrate benevnt i $\frac{\text{antall}}{\text{dag}}$ for bevegelig stadie
μ_F	Akutt dødelighets-rate benevnt i $\frac{\text{antall}}{\text{dag}}$ for fastsittende stadie
μ_B	Akutt dødelighets-rate benevnt i $\frac{\text{antall}}{\text{dag}}$ for bevegelig stadie
τ_F	Minste utviklingsperiode i døgndager for fastsittende stadie
τ_B	Minste utviklingsperiode i døgndager for bevegelig stadie

Vekst(ν) og dødelighets-ratene(μ) samt minste utviklingsperiode(τ) for de ulike stadiene er satt konstante på bakgrunn av gitte verdier fra (A. Stien mfl., 2005) sin behandling av (Grimnes & Jakoseb, 1996) sine verdier:

Tabell 21: Verdier for utvikling og dødelighets-rate

Parameter	(Grimnes & Jakoseb, 1996) (10.4 °C)
μ_F	0.005
μ_B	0.0047
ν_F	0.82
ν_B	0.63

Minste utviklingsperiode for fastsittende og bevegelig stadie blir bestemt på bakgrunn av sjøtemperatur og regnes ut ved formel:

$$\tau(T) = [\beta_1 / (T - 10 + \beta_1 \beta_2)]^2 \quad (16)$$

Der β_1 og β_2 er gitt utifra stadie. Valgte verdier for β_1 og β_2 for de ulike stadiene er vist i tabell 22

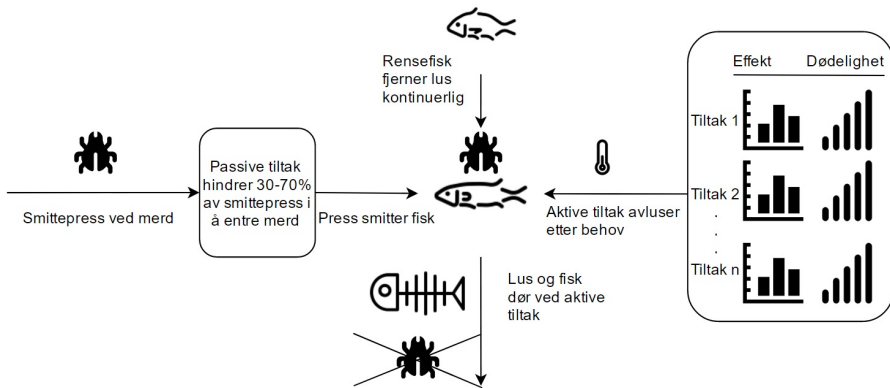
Tabell 22: β -verdier benyttet for de to stadiene (A. Stien, Bjørn & Elston, 2005)

	β_1	β_2
Fastsittende stadie (F)	74.7	0.246
Bevegelig stadie (B)	67.47	0.177

Formlene for antall fastsittende, bevegelige og adulte lus har blitt implementert i simuleringsmodellen som hvert simulerte døgn estimerer nye verdier for stadiene. Utviklingen og antallet for hvert stadie avhenger av temperatur og smittepress i simuleringsmodellen.

6.5 Modellerte tiltak

Tiltak segmentet innebefatter modellert rensefisk, förbehandling med kitinsyntesehemmere, to ikke-medikamentelle og to medikamentelle tiltak. Tiltakene har til hensikt å redusere eller hindre lakselus segmentet i å vokse over tillatt grense. Tiltakene påvirker også oppdrettsfisk segmentet da det er knyttet ugunstige helsemessige implikasjoner for fisken ved benyttede tiltak. Hvert av de aktive tiltakene har en sannsynlighetsfordeling for avlusningseffekt samt akutt og forsinket dødelighet. I figur 31 er innvirkningen av tiltak slik modellert i simuleringmodellen illustrert.



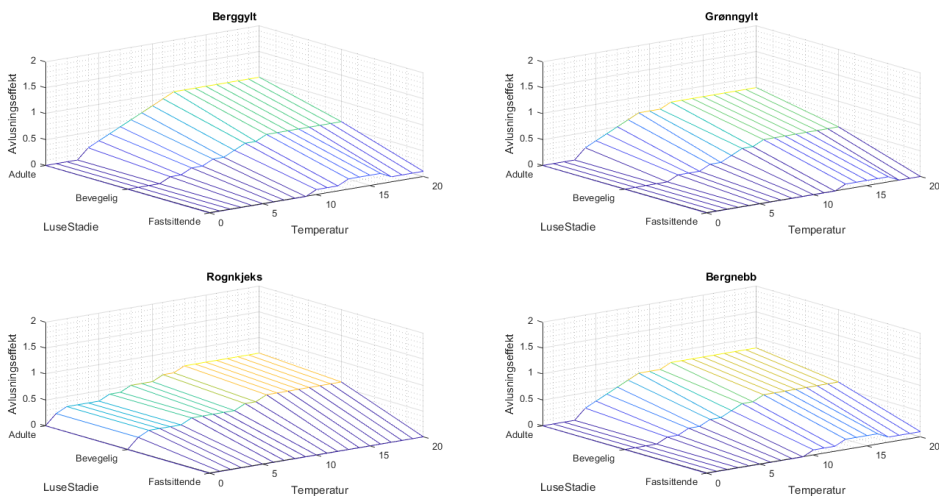
Figur 31: Innvirkning av tiltak på segmentene: lusepress, lakselus og oppdrettsfisk

6.5.1 Rensefisk

Rensefisk har blitt modellert til å kunne inkludere fire forskjellige arter med sine respektive egenskaper. Hver art kan bli utsatt en rekke ganger iløpet av simuleringen med varierende antall. En kan dermed se resultatet av en rekke kombinasjoner av art, antall, samt dato for hvert utsett.

Avlusningseffekten til rensefisken avhenger av art, temperatur, lusestadie og antall. Avlusningseffekt til de forskjellige artene har blitt modellert som gjennomsnittlig mengde lus en rensefisk fjerner per døgn. I figur 32 er avlusningseffekten per fisk for de forskjellige artene vist som en funksjon av lusestadie samt temperatur. Rensefisk har generelt høyest effekt mot voksne lus ved temperaturer over 7 grader. Kun rognkjeksene viser til god effekt ved lave temperaturer. Data-en som ligger bak effektivitetene er hentet fra : (Nilsen mfl., 2014), (Svåsand mfl., 2016), (Skiftesvik

mfl., 2015) og (Luseprosjektet, 2014). Manglende data på effekt har blitt erstattet med skalert effekt utifra innkjøpspris vist i tabell 13 som er en indikator på artenes popularitet og derav effekt. Artenes modellerte avlusningseffekt som funksjon av lusestadie og temperatur er vist i figur 32.



Figur 32: Rensefiskenes evne til å fjerne lakselus tilhørende de tre modellerte stadier som funksjon av temperatur

Det er forbundet en dødelighet til hver art som en funksjon av rensefiskens alder, art samt temperatur. Dødeligheten for rensefisk er basert på data fra tabell 14 og har blitt modellert som en konstant dødelighet som funksjon av alder. Formelen benyttet for å utregne antall døde rensefisk av en gitt art er gitt som:

$$\text{Døde rensefisk av art n ved tid T} = \frac{\% \text{ døde av art n, iløpet av syklus}}{\text{Uker i syklus}} * (\text{Tid T} - \text{Uke utsatt}) \quad (17)$$

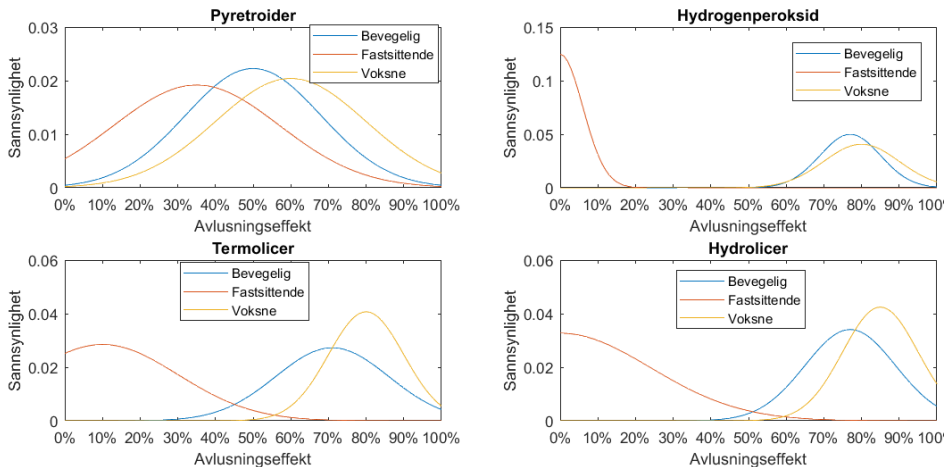
6.5.2 Medikamentelle og ikke-medikamentelle tiltak

De fem aktive avlusningstiltakene som er modellert innebefatter hydrogenperoksid, pyrethroider, fôrbehandling, Thermolicer og Hydrolicer. Hvert av tiltakene har variasjon i avlusningseffekt mot de tre modellerte lakselusstadiene samt varierende effekt på fiskehelsen til behandlet fisk. Ved simulert avlusning med et av de fem

aktive tiltakene vil all modellert fisk og lus gjennomgå en avlusning og få endret egenskaper utifra gitt tiltaks egenskaper.

Ved avlusning blir første tiltak lastet inn med sine respektive sannsynlighetsfordelinger. Det blir beregnet en avlusningseffekt for de ulike lakselus stadiene på bakgrunn av gitt sannsynlighetsfordeling som så fjerner antall lakselus tilsvarende avlusningseffekten valgt. Avlusningseffekten vil variere fra en avlusning til den neste da effekten uthentet kommer fra tilfeldige tall som henter ut avlusningseffekt basert på sannsynlighetsfordelingen til gitt tiltak. De forskjellige tiltakenes sannsynlighetsfordeling for avlusningseffekt kan sees i figur 33. Forventningsverdien (μ) og standardavviket (σ) til hver tiltak har blitt etablert etter innmeldte effekter (Walde mfl., 2017a) (Walde, Haukaas, Jansen, Bornø & Hjeltnes, 2017b). Bestemmelsen av effekt i modellen skjer ved at sannsynlighetsfordelingen til gitt tiltak blir lastet inn og et tilfeldig tall(t) mellom 0 og 1 blir trukket. Forventningsverdien (μ) og standardavviket (σ) til sannsynlighetsfordelingen blir lastet inn avhengig av valgt tiltak og avlusningseffekten blir beregnet ved følgende formel:

$$\text{Avlusningseffekt til valgt tiltak} = \mu * t + \sigma \quad (18)$$



Figur 33: Sannsynlighetsfordeling av avlusningseffekt for de ulike aktive tiltakene mot de tre modellerte stadiene gitt i prosent av total dødelighet for populasjon i behandlet merd.

Fiskevelferden blir påvirket av de aktive tiltakene ved at et gitt antall fisk dør, avhengig av tiltakets sannsynlighetsfordeling for laksedød. Antall fisk som dør ved gjennomført tiltak blir bestemt på lik måte som avlusningseffekten men med andre forventningsverdier og standardavvik. Alle sannsynlighetsfordelinger er normalfordelte og maksimalt satt avlusningseffekt er 100% da formel 18 kan gi tall over 100% fra de modellerte fordelingene.

Fôrbehandling

Fôrbehandling er modellert til å fjerne all lakselus i merd som ikke har nådd det adulte stadiet. Lakselusen blir fjernet det øyeblikket den går fra ett stadie til det neste. Det vil si at fôrbehandling vil ha ingen effekt på eksisterende nivåer av voksne hunnlus. Fôrbehandling er videre modellert til ikke å kunne anvendes ved temperaturer over 15 grader, da de har en forhøyet innvirkning på miljøet og er forbudt å anvende. Fôrbehandling er videre satt til å ikke ha noen sannsynlighet for laksedød ved anvendelse.

Hydrogenperoksid

Hydrogenperoksid er i 2017 det medikamentet brukt i badebehandling med høyest avlusningseffekt (Walde mfl., 2017a). Hydrogenperoksid har en observert lav effekt mot fastsittende stadier, samt høy effekt mot bevegelige og adulte lus. Effekten mot bevegelige og adulte er varierende og har derfor et standardavvik på 10% (Hodneland, Nylund, Nilsen, Midttun mfl., 1993);(Grant & Andrew, 2002).

Anvendelsen av Hydrogenperoksid er begrenset av vanntemperatur (Arff, Forbord & Steinhovden, 2016). (Thomassen, 1993) gjennomførte tester med varierende sjøtemperatur og styrke av hydrogenperoksid til avlusning av laks. Det ble observert 100% dødelighet ved temperatur på 16°C og en hydrogenperoksid konsentrasjon på 2580 mg^{-L}. Dødeligheten var ellers neglisjerbar ved temperaturer mellom 10 og 14 grader uavhengig av testet styrke. De konkluderte med at hydrogenperoksid ikke skulle benyttes ved temperaturer over 14 grader noe som er øvre temperaturgrense i modellen. (Arff mfl., 2016) undersøkte sammenhengen mellom økt laksedødelighet og bruken av hydrogenperoksid ved å se på parametere som sjøtemperatur, behandlingskonsentrasjon, alger og urenheter i sjøen fra 600 gjennomførte avlusninger. Grunnet manglende data på ønskede parametre kunne de ikke konkludere med noen direkte sammenhenger. I modellen så vil ikke dødeligheten være avhengig av temperatur, men tiltaket vil ikke kunne gjennomføres ved temperaturer over 14°C. Modellert sannsynlighetsfordeling for dødelighet ved bruk av hydrogenperoksid er vist i tabell 23

Tabell 23: Akutt og forsinket dødelighet for laks etter behandling med hydrogenperoksid. Prosent behandlinger med mer enn 1, 2,5, 5, 10, 25 og 50 prosentpoeng økning i dødelighet etter lusebehandling 2012–2015. n er antall gyldige observasjoner i databasen. (Svåsand mfl., 2016)

	Hydrogenperoksid dødelighet						n
	≥ 1	$\geq 2,5$	≥ 5	≥ 10	≥ 25	≥ 50	
Akutt H2O2	17,2	9,6	5,6	3,3	1,5	1,0	1166
Forsinket H2O2	17,5	8,5	3,4	0,8	0,2	0,2	531

Thermolicer

Thermolicer benytter seg av temperert vann til å fjerne lakselus. Laks med lakselus blir ført inn i et bad som holder en høyere temperatur enn vannet de opprinnelig befant seg i. Effekten ved tiltak relateres til denne relative forskjellen i temperatur, ΔT . Høyere ΔT vil resultere i høyere avlusningseffekt og vice versa. Laks har en makstemperatur den tåler før den dør og dette begrenser størrelsen til ΔT . Høye sjøtemperaturer vil derfor begrense muligheten for høye avlusningseffekter uten risiko for store tap. Den maksimale temperaturen laksen tåler er satt til 30 grader °C. ΔT for maksimum effekt er satt til 18°C. Det vil si at ved sjøtemperaturer på 15°C vil en måtte velge mellom å redusere estimerte avlusningseffekt eller øke risikoen for høy laksedød. Dette er et valg en bestemmer før en setter i gang simulering, der man har muligheten til å sette høy, medium eller lav risiko. Høy risiko iverksetter tiltak for å maksimere avlusningseffekt uten hensyn til begrensninger. Medium risiko iverksetter tiltak slik at en holder seg akkurat innenfor satte kritiske nivåer. Lav risiko iverksetter tiltak slik at en tilsetter å prioritere laksehelse framfor avlusningseffekt og vil derfor benytte seg av en ΔT som har en maks behandlingstemperatur på 25°C. Se (Næstvold, 2016) for heksagonale plot for terskelverdier til laks utsatt for temperaturendringer.

Effekten til termolicer har blitt modellert til å variere med valgt ΔT som vil variere innenfor sannsynlighetsfordelingen i figur 33. Laksedødeligheten vil også variere med valgt ΔT og satt terskelnivå på 30°C utifra gitt temperatur og varierer med sannsynlighetsfordelingen vist i tabell 24.

Tabell 24: Akutt og forsinket dødelighet for laks etter behandling med Thermolicer (temperert vann). Prosent behandlinger med mer enn 1, 2,5, 5, 10, 25 og 50 prosentpoeng økning i dødelighet etter lusebehandling 2012–2015. n er antall gyldige observasjoner i databasen. Mer enn 50% dødelighet etter en behandling karakteriserer vi som katastrofal dødelighet. (Svåsand mfl., 2016)

	Termisk dødelighet						n
	≥ 1	$\geq 2,5$	≥ 5	≥ 10	≥ 25	≥ 50	
Høy risiko	Akutt	32,0	20,4	8,7	5,8	2,9	103
Høy risiko	Forsinket	23,2	12,2	4,9	1,2	0,0	82
Medium risiko	Akutt	24,0	17,4	5,7	2,8	1,9	0,0
Medium risiko	Forsinket	17,2	9,2	3,9	0,6	0,0	0,0
Lav risiko	Akutt	15,20	10,4	5,7	3,8	1,9	0,0
Lav risiko	Forsinket	12,2	4,9	1,2	0,0	0,0	0,0

Hydrolicer

Hydrolicer benytter vakuum kombinert med trykksatt vann til å fjerne lakselus. Det er tenkt at jo løsere lusen sitter på fisken, jo høyere effekt har hydroliceren. Dette blir modellert ved at hydroliceren har lavere avlusningseffekt på de fastsittende stadiene kontra de bevegelige og adulte. Hydrolicer har ingen restriksjoner i bruk utenom allmen fiskehelse som også gjelder de øvrige tiltakene slik som sykdommer og andre helse reduserende tilfeller. Hydrolicer vil derfor kunne benyttes for alle temperaturer, men ikke under 4°C som er satt som nederste grense for bruk av aktive tiltak (Rykhus et al, 2012).

Tabell 25: Akutt og forsinket dødelighet for lakse etter behandling med Hydrolicer. Prosent behandlinger med mer enn 1, 2,5, 5, 10, 25 og 50 prosentpoeng økning i dødelighet etter lusebehandling 2012–2015. n er antall gyldige observasjoner i databasen. Mer enn 50% dødelighet etter en behandling karakteriserer vi som katastrofal dødelighet. (Svåsand mfl., 2016)

	Hydrolicer						n
	≥ 1	$\geq 2,5$	≥ 5	≥ 10	≥ 25	≥ 50	
Akutt	7,5	2,8	2,3	0,9	0,0	0,0	213
Forsinket	10,8	1,5	1,5	1,5	1,5	0,0	65

Pyretroider

Pyretroider er en gruppe kjemiske insektmidler. Pyretroider er vannløselige og blir benyttet i badebehandling av lakselus. Pyretroider har en registrert effekt på 95-99% mot voksne og bevegelige stadier og rundt 85% mot fastsittende («Pyrethroid», 2016). Disse effektene er fra tester utført på 90-tallet og tar ikke hensyn til den økende resistensen observert de siste årene (Walde mfl., 2017b). Derfor vil forventningsverdien til pyretroider bli regulert etter hvor simulert anlegg befinner seg i henhold til viste effekter i figur 18. Lus med resistensfremmende gen typer mot pyretroiden deltametrin blir tilnærmet ikke påvirket av medikamentet (Sevatdal, 2014). Dette har blitt modellert ved å gi avlusningseffekten et høyt standardavvik som sett i figur 33 da en ikke vet gentyperne til lusen som befinner seg i merd.

Pyretroider har ingen temperatur begrensning og kan generelt bli brukt hele året, men ikke under 4°C (Rykhus et al, 2012). Laksedødeligheten knyttet til bruk av pyretroider bunner hovedsakelig i stressindusert død som følge av trenghing ved badebehandling. Pyretroider påvirker ikke laks som en kan se i dødelighetsfordelingen presentert i tabell 26 som er den lavest observerte akutt- og forsinket dødelighet ved badebehandling. Tabell 26 viser til akutt- og forsinket dødelighet, dette stammer da fra håndtering av laks ved badebehandling.

Tabell 26: Akutt og forsinket dødelighet for laks etter behandling med pyretroider. Prosent behandlinger med mer enn 1, 2,5, 5, 10, 25 og 50 prosentpoeng økning i dødelighet etter lusebehandling 2012–2015. n er antall gyldige observasjoner i databasen. Mer enn 50% dødelighet etter en behandling karakteriserer vi som katastrofal dødelighet. (Svåsand mfl., 2016)

	Pyretroider						n
	≥1	≥2,5	≥5	≥10	≥25	≥50	
Akutt	10,6	5,2	2,5	1,1	0,5	0,1	14447
Forsinket	14,7	6,3	3,2	1,1	0,6	0,1	2389

7 Test av etablert simuleringsmodell

For å verifisere nytten av den etablerte modellen er den blitt testet for tre valgte lokaliteter. Lokalitetene er plukket ut fra tre ulike deler av norskekysten for å få et representativt utvalg samt for å teste ut modellens validitet og nytteverdi for de ulike delene av kysten. Modellen er testet for en produksjonssyklus per lokalitet.

Hver test besto av fem stadier:

- Modellering av lokalitet
- Kalibrering av smittepress
- Simulering av kontrollstrategi benyttet på lokalitet
- Analyse for å identifisere alternativ kontrollstrategi
- Simulering av foreslått kontrollstrategi

Ved modellering av lokalitet ble temperatur, antall merder benyttet og produksjonskapasitet innhentet for valgt lokalitet. Temperaturen innhentet ble definert som gjeldende temperatur igjennom produksjonssyklus. Antall merder lokaliteten benyttet var av betydning på fordelingen av rensefisk da antall rensefisk utsatt på lokalitet har blitt innmeldt på lokalitet og ikke merd nivå. Totalt utsatt rensefisk ble jevnt fordelt på lokalitetens merder. Produksjonskapasiteten ble benyttet til å estimere antall fisk og merder lokaliteten benytter.

Smittepresset ble kalibrert ved at modellert smittepress ble korrigert helt til modellerte lusenivåer samsvarte med innmeldte lusenivåer. Denne kalibreringen ble gjort på bakgrunn av modellert smittepress, temperatur samt benyttede tiltak. Smittepresset ble definert som identisk både for simulering av oppdretters benyttede kontrollstrategi og ved foreslått alternativ kontrollstrategi.

Ved simulering av ulike kontrollstrategier ble smittepress, temperatur samt produksjonsstrategi satt som konstant for hver modellerte lokalitet og valgt produksjonssyklus. (Produksjonsstrategi innebærer valg av antall og størrelse på settefisk, dato for utsett og dato for ut-slakt.)

Etter å ha etablert modell og smittepress ble oppdretters benyttede kontrollstrategi mot lakselus simulert. (Kontrollstrategien innebærer benyttede aktive tiltak mot lakselus og utsett av rensefisk.) Hensikten med simuleringen av oppdretters benyttede kontrollstrategi var at den skulle resultere i lusenivåer som samsvarte med de som har blitt innmeldt, med tilhørende konsekvenser. Estimert produsert biomasse og kostnader ved benyttet kontrollstrategi ble hentet ut av modellen og

presentert for sammenligning. Benyttet kontrollstrategi er innhentet fra Barenwatch.no/fiskehelse.

Etter at benyttet kontrollstrategi var blitt simulert ble en rekke alternative kontrollstrategier utprøvd. Kontrollstrategien som resulterte i best resultat innenfor satte begrensninger, er i det følgende presentert med resultater og foreslåtte tiltak. Produsert biomasse og kostnader ved det optimale settet med tiltak i henhold til modellen er blitt hentet ut og presentert for sammenligning. Resultatene og tiltakene benyttet i dette stadiet blir benevnt som resultater fra foreslått kontrollstrategi og foreslåtte tiltak.

Til slutt er resultatene fra benyttet- og foreslått kontrollstrategi sammenlignet med hensyn til resulterende produsert biomasse, verdi av produsert biomasse og totale kostnader.

7.1 Bondøya

Bondøya er en lokalitet som ligger i Nord Trøndelag vest for Rørvik. Bondøya har blitt valgt som lokalitet da den har gjennomgående god innrapportering av lusenivåer, tiltak og temperatur. Lokaliteten har en produksjonskapasitet på 4680 tonn og det er dermed antatt at lokaliteten benytter seg av fem 160-metringer med 200 000 laks satt ut i hver merd. Denne antagelsen beror på en slaktevekt på omkring 5kg og produksjonsdødelighet på 13%. Det kan diskuteres om dette er sannsynlig hvis en ser på rullerende MTB og lav MTB utnyttelse når utsatt fisk har lav snittvekt. Hovedargumentet for antagelsen er kravet om brakklegging og innrapportert data som tilsvarer én syklus. Ergo er det antatt ett utsett i samtlige 5 merder med 200 000 fisk samt samlet ut-slakt 69 uker senere. Rensefisken er videre antatt til å bli jevnt spredt mellom de fem merdene. Produksjonssyklusen ved Bondøya begynte uke 13 2015 og ble avsluttet uke 35 2016. Det har blitt benyttet settefisk med en gjennomsnittsvikt på 50 gram i gjennomførte simuleringer, dette er en relativt lav vekt som gjenspeiles i den lave slaktevekten fra simuleringene.

7.1.1 Kontrollstrategi benyttet på lokalitet Bondøya

Det har blitt gjennomført fire aktive tiltak av hele lokaliteten med en kombinasjon av Azamethiphos og Deltametrin samt én behandling med hydrogenperoksid. Det ble utsatt 140 000 Bergnebb over en periode fra uke 31 til 43 2015 som tilsvarer 28 000 Bergnebb per merd. I tabell 27 er tiltakene som danner benyttet kontrollstrategi iløpet av gitt produksjonsstrategi beskrevet.

Tabell 27: Lokaliteten Bondøyas benyttede kontrollstrategi

Kapasitet	Dato utsett	Slaktedato
4680 [tonn]	Uke 13 2015	Uke 35 2016
Rensefisk utsatt	Dato aktivt tiltak benyttet	Virkestoff
28 000 Bergnebb	uke 47 2015	Deltametrin(Pyretroid)
	uke 6 2016	Deltametrin(Pyretroid)
	uke 15 2016	Hydrogenperoksid
	uke 24 2016	Deltametrin(Pyretroid)

7.1.2 Simulerte resultater ved bruk av oppdretters kontrollstrategi

Resultatet av simulering av oppdretters kontrollstrategi er presentert i tabell 28. Det er verdt å merke seg den relativt lave gjennomsnittlige slaktevekten på 4322 [g] per fisk. Dette kan stamme fra førtabellen benyttet til å simulere laksens vekst. Den kan være litt utdatert eller representere vekst i varmere regioner da Bondøya befinner seg i Nord-Trøndelag og generelt har lavere temperaturer igjennom en syklus enn for eksempel lokaliteter i Hordaland. Det som er mest sannsynlig er at oppdretter har benyttet en settefisk med høyere gjennomsnittsvekt enn simulert vekt på 50[g]. Dette reduserer nødvendig tid i sjø, men øker innkjøpskostnaden.

Tabell 28: Resultater fra simulering av benyttet kontrollstrategi

Gj.vekt [gram]	Gj.antall fisk	Kostnad aktive tiltak [NOK]	Kostnad rensefisk [NOK]	Totale Kostnader [NOK]
4322	187 847	639 000	584 480	1 223 480

7.1.3 Foreslått kontrollstrategi for lokaliteten Bondøya

Det ble gjennomført simulering av et stort utvalg kontrollstrategier og strategien som ga de beste resultatene er presentert i tabell 29. Rensefisk har blitt byttet ut med forbehandling og pyretroider med hydrolicer. Benyttelse av hydrolicer fremfor pyretroider vil kunne resultere i høyere effekt med reduisering av lusenivår, men har større sannsynlighet for å resultere tap av fisk. Lokaliteten erfarte ikke et tilstrekkelig høyt lusepress til at rensefisk skulle kunne bli kosteffektivt. Periodevis økning i lusepress håndteres mer kosteffektivt med introduksjon av forbehandling i gitt periode.

Tabell 29: Foreslått kontrollstrategi for lokaliteten Bondøya

Kapasitet	Dato utsett	Slaktedato
4680 [tonn]	Uke 13 2015	Uke 35 2016
Rensefisk utsatt	Dato aktivt tiltak benyttet	Virkestoff
0	uke 33 2015	Førbehandling(Kitinsyntesehemmere)
	uke 40 2015	Hydrolicer
	uke 18 2016	Førbehandling(Kitinsyntesehemmere)
	uke 22 2016	Hydrolicer

7.1.4 Simulerte resultater ved bruk av foreslått kontrollstrategi

Simulerte resultater for foreslått kontrollstrategi er presentert i tabell 30. Snittvekten ved slakt er på 4152 gram som er lavere enn ved oppdretters strategi samt såpass lav at det kan virke u-lønsomt å slakte ut så liten fisk. Antall fisk slaktet er dog høyere samt kostnadene vesentlig lavere enn ved oppdretters strategi. Resultatene er noe overraskende da reduksjon fra fire til to aktive tiltak fører til færre tiltrenge sultedøgn og derav høyere snittvekt ved ut-slakt. Kombinasjon av redusert vekstrate ved forbehandling og sultedøgn som sammenfalt med perioder for optimale vekstvilkår vil kunne være forklaring på den reduserte størrelsen.

Tabell 30: Resultater fra simulering av foreslått kontrollstrategi

Gj.vekt [gram]	Gj.antall fisk	Kostnad tiltak [NOK]	Kostnad rensefisk [NOK]	Totale Kostnader [NOK]
4152	193 660	318 891	0	318 891

7.1.5 Sammenligning av resultater for lokalitet Bondøya

De tre viktigste parametrene for sammenligning av kontrollstrategier er kostnader ved benyttede tiltak, antall fisk og gjennomsnittlig vekt en har ved slaktedato. Foreslått kontrollstrategi resulterte i en lavere snittvekt enn ved benyttet strategi. Dette blir delvis kompensert for ved at foreslått strategi resulterte i flere fisk til ut-slakt, men oppdretters benyttet strategi resulterte i høyere ut-slaktet biomasse. Kostnadene til foreslått kontrollstrategi er vesentlig lavere enn ved benyttet strategi. Totalt er det en differanse på omtrent en halv million (NOK) mellom foreslått og benyttet strategi på bunnlinjen. I dette tilfellet hadde det følgelig lønt seg å benytte foreslått kontrollstrategi framfor benyttet strategi. Tabell 31 viser resultatene på bunnlinjen for de to kontrollstrategiene.

Tabell 31: Resultater fra benyttet og foreslått kontrollstrategier

	Salgspris 4-4.5[kg]	Salgsverdi	Overskudd
Benyttede tiltak	55 [NOK/kg]	44 660 [kNOK]	43 436 [kNOK]
Foreslåtte tiltak	55 [NOK/kg]	44 232 [kNOK]	43 923 [kNOK]

7.2 Gisløy Nø

Gisløy Nø er en lokalitet som ligger i Troms nord for Stokmarknes. Lokaliteten har en produksjonskapasitet på 3120 tonn og det er dermed antatt at lokaliteten benytter seg av fire 160-metringer med 200 000 laks satt ut i hver merd. Denne antagelsen beror på en antatt slaktevekt på 5 kg og en antatt produksjonsdødelighet på 13%. Produksjonsdødeligheten er forøvrig satt til 0% for alle simuleringer da resultatene hovedsakelig har sammenligningsverdi. Det er antatt ett utsett i samtlige av de fire merdene med 200 000 fisk i hver. Videre er det antatt et samlet ut-slakt 91 uker senere. Rensefisken er videre antatt til å bli jevnt spredt mellom de fire merdene. Produksjonssyklusen ved Gisløy Nø begynte uke 23 i 2015 og ble avsluttet uke 10 i 2017. Vekten til fisken ved utsett samt slakt er uvisst. Det har blitt benyttet settefisk med varierende gjennomsnittsvekt på henholdsvis 50, 100 og 200 gram i gjennomførte simuleringer. De varierende utsettene er etablert for å estimere fram realistisk settefisk størrelse på bakgrunn av simulert slaktevekt for de tre utsettene. Varierende settefisk størrelse muliggjør også å se eventuelle forskjeller i resultater ved benyttelse av samme kontrollstrategi.

7.2.1 Kontrollstrategi benyttet på lokalitet Gisløy Nø

Det har blitt gjennomført tre aktive tiltak av hele lokaliteten med en kombinasjon av Azamethiphos og Deltametrin samt to førbehandlinger. Det har ikke blitt utsatt noen rensefisk iløpet av produksjonssyklusen. I tabell 32 er parametre benyttet i simuleringsmodellen for å simulere konsekvensene av benyttet kontrollstrategi ved Gisløy Nø.

Tabell 32: Lokaliteten Gisløy Nøs benyttede kontrollstrategi

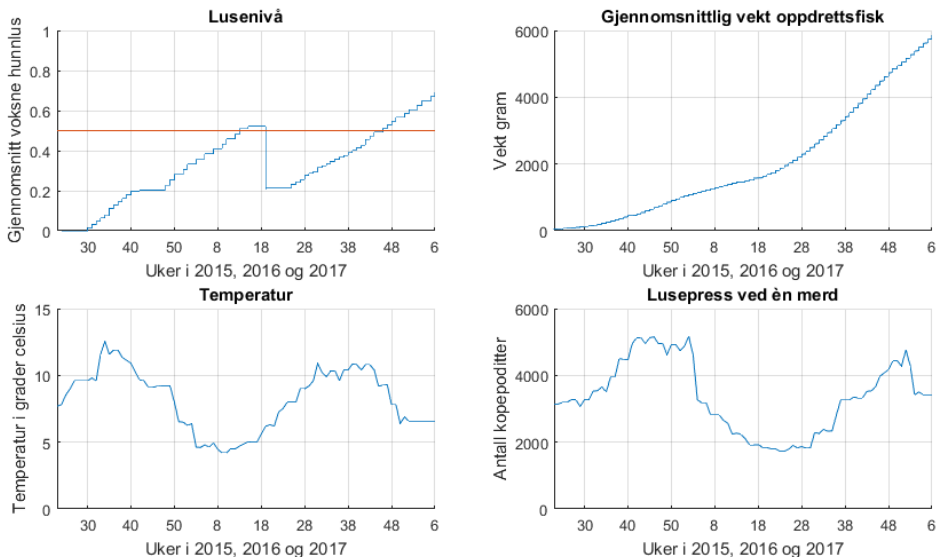
Kapasitet	Dato utsett	Slaktedato
3120 [tonn]	Uke 23 2015	Uke 10 2017
Rensefisk utsatt	Dato aktivt tiltak benyttet	Virkestoff
	uke 41 2015	Førbehandling
	uke 37 2016	Førbehandling
	uke 41 2016	Deltametrin(Pyretroid)

7.2.2 Simulerte resultater ved bruk av oppdretters kontrollstrategi

Gisløy Nø hadde en relativt lang produksjonssyklus på 91 uker, noe som gjenspeiles i den store størrelsen på ut-slaktet fisk. Lokaliteten ligger i Troms med relativt lave temperaturer som antas å være årsaken til den lange produksjonssyklusen. Kostnaden forbundet ved benyttede tiltak er lave og en kan se i figur 34 at lokaliteten har holdt seg en periode på 12-13 uker over tillat lusenivå. Ved lusenivåer over tillat grense såpass nært ut-slakt vil det virke naturlig for oppdretter å ikke igangsette tiltak for å redusere potensielt tap av stor fisk. Det kan imidlertid virke som om ut-slakt har blitt drøyd noen uker. Ellers er timingen og benyttelsen av tiltak opp mot perfekt. Det høye antallet gjenstående fisk ved ut-slakt signaliserer et skånsomt tiltaksregime med minimalt tap av fisk. Simulerte resultater for benyttet kontrollstrategi er presentert i tabell 33.

Tabell 33: Resultater fra simulering av benyttet kontrollstrategi

Gj.vekt [gram]	Gj.antall fisk	Kostnad aktive tiltak [NOK]	Kostnad rensefisk [NOK]	Totale Kostnader [NOK]
5851	195 463	135 090	0	135 090



Figur 34: Lusenivåer, størrelse av oppdrettsfisk, temperatur svingning samt lusepress for Gisløy Nø iløpet av simulert produksjonssyklus med oppdretters kontrollstrategi

7.2.3 Foreslått kontrollstrategi for lokalitet Gisløy Nø

Det ble gjennomført simulering av et stort utvalg kontrollstrategier og strategien som ga de beste resultatene er presentert i tabell 34. Benyttet kontrollstrategi innebar mange uker med lusenivåer over tillatt grense. Foreslått kontrollstrategi vil imidlertid alltid tilsikte å ligge under tillatt grense, noe som vil kunne resultere i mer omfattende benyttelse av tiltak. Lusepresset forøvrig var særdeles lavt uten nevnerverdige hopp i lusepress. Dette gjør anvendelse av rensefisk ugunstig og timing av forbehandling vanskelig.

Tabell 34: Foreslått kontrollstrategi for lokaliteten Gisløy Nø

Kapasitet	Dato utsett	Slaktedato
4680 [tonn]	Uke 13 2015	Uke 35 2016
Rensefisk utsatt	Dato aktivt tiltak benyttet	Virkestoff
0	uke 46 2015 uke 21 2016	Førbehandling(Kitinsyntesehemmere) Hydrolicer

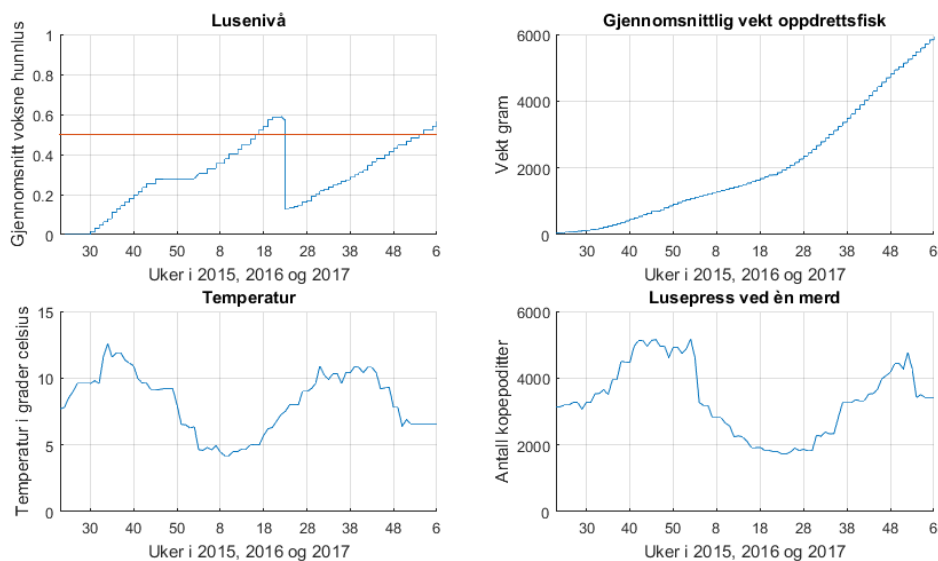
7.2.4 Simulerte resultater ved bruk av foreslått kontrollstrategi

Simulerte resultater for foreslått kontrollstrategi er presentert i tabell 35. Snittvekten ved slakt er på 5824 gram som er marginalt lavere enn ved oppdretters tiltak. Foreslåtte tiltak resulterte i to tusen færre fisk til ut-slakt enn ved benyttede tiltak. Ved en så høy slaktevekt vil dette merkes på verdien av ut-slaktet biomasse. I tillegg til å drepe mer fisk var også kostnadene ved tiltakene høyere enn ved benyttede tiltak.

Tabell 35: Resultater fra simulering av foreslåtte tiltak

Gj.vekt	Gj.antall fisk	Kostnad aktive tiltak	Kostnad rensefisk	Totale Kostnader
5824	193 036	142 173	0	142 173

Resultatene av simulert produksjonssyklus ved foreslått kontrollstrategi er vist i figur 35. Her fremgår det at foreslått kontrollstrategi resulterer i lusenivåer som samsvarer med nivåene ved benyttet strategi, men med færre uker over tillatt lusegrense.



Figur 35: Lusenivåer, størrelse av oppdrettsfisk, temperatur svingning samt lusepress for Gisløy Nø iløpet av simulert produksjonssyklus med foreslått kontrollstrategi

7.2.5 Sammenligning av resultater for lokalitet Gisløy Nø

I tabell 36 kan en se hovedresultatene fra benyttet og foreslått kontrollstrategi. Foreslåtte tiltak resulterte i lavere snittvekt, lavere antall fisk til slakt, samt høyere kostnader ved anvendte tiltak enn faktisk benyttet strategi. Det eneste foreslått strategi får til bedre enn benyttet er å holde seg under tillat grense for voksne hunnlus. Timingen ved benyttelse av forbehandling ved benyttet strategi er særs god. Valget av pyretroider fremfor andre mer effektive metoder kan være et bevisst valg for å redusere muligheten for tap av stor fisk på bekostning av forhøyede lusenivåer nær utslakt. Generelt kan en si at oppdretter ved Gisløy Nø har gjort gode valg av tiltak mot lakselus iløpet av produksjonssyklusen analysert. De mange ukene med forhøyde lusenivåer med tilhørende generert smittepress er dog ikke optimalt for regionen.

Tabell 36: Resultater fra benyttet og foreslått kontrollstrategier

	Salgspris 4.5-5[kg]	Salgsverdi	Overskudd
Benytte strategi	57 [NOK/kg]	65 188 [kNOK]	65 053 [kNOK]
Foreslått strategi	57 [NOK/kg]	64 081 [kNOK]	63 940 [kNOK]

7.3 Hella

Hella er en lokalitet som ligger i Sogn og Fjordane ved Askvoll. Lokaliteten har en produksjonskapasitet på 3120 tonn og da er det antatt at lokaliteten benytter seg av fire 160-metringer med 200 000 laks satt ut i hver merd. Produksjonssyklusen ved Hella begynte uke 20 i 2015 og ble avsluttet uke 29 i 2016. Hella fikk påvist pankreassykdom (PD) uke 25 i 2016, dermed er det sannsynlig at lokaliteten ble slaktet ut tidligere enn tenkt. For å inkludere verdien av planlagt settefisk størrelse har lokaliteten blitt analysert med tre forskjellige settefisk størrelser. Størrelsene simulert er 50, 100 og 200 gram.

Lokaliteten har vært utsatt for et relativt stort lusepress igjennom produksjonssyklusen. Kalibrert smittepress er vist til å være gjennomsnittlig fem ganger større enn kalibrert smittepress på lokaliteten Gisløy NØ. Dette gjenspeiles i de gjennomgående høye lusenivåene på tross av hyppig bruk av aktive tiltak og stort utsett av rensefisk. Videre er det verdt å merke seg at smittepresset ikke avtar og er mye mindre avhengig av temperatur. Det største presset inntraff ved nyttår, med tilhørende lave temperaturer. Videre skal det nevnes at temperaturen ved Hella er i gjennomsnitt 3-4 grader celsius høyere enn observert ved Gisløy NØ.

7.3.1 Kontrollstrategi benyttet på lokalitet Hella

Det har blitt gjennomført fem aktive tiltak av hele lokaliteten der hydrogenperoksid, mekanisk fjerning, forbehandling samt en kombinasjon av Azamethiphos og Deltametrin har blitt benyttet. Det har blitt satt ut 122 000 rensefisk i slutten av 2015, med en kombinasjon av bergnebb, berggylt, grønngylt og rognkjeks. Antallet rensefisk har blitt skalert til å gjelde én merd og er sammen med lusetiltak benyttet iløpet av simulert produksjonssyklus presentert i tabell 37.

Tabell 37: Lokaliteten Hella's benyttede kontrollstrategi

Kapasitet 3120 [tonn]	Dato utsett Uke 23 2015	Slaktedato Uke 10 2017
Rensefisk utsatt	Dato aktivt tiltak benyttet	Virkestoff
20 000 Rognkjeks	uke 24 2015	Førbehandling
10 105 Grønngylt	uke 52 2015	Hydrogenperoksid
331 Berggylt	uke 8 2016	Hydrolicer(mekanisk)
411 Bergnebb	uke 15 2016	Deltametrin(Pyretroid)
	uke 24 2016	Hydrolicer(mekanisk)

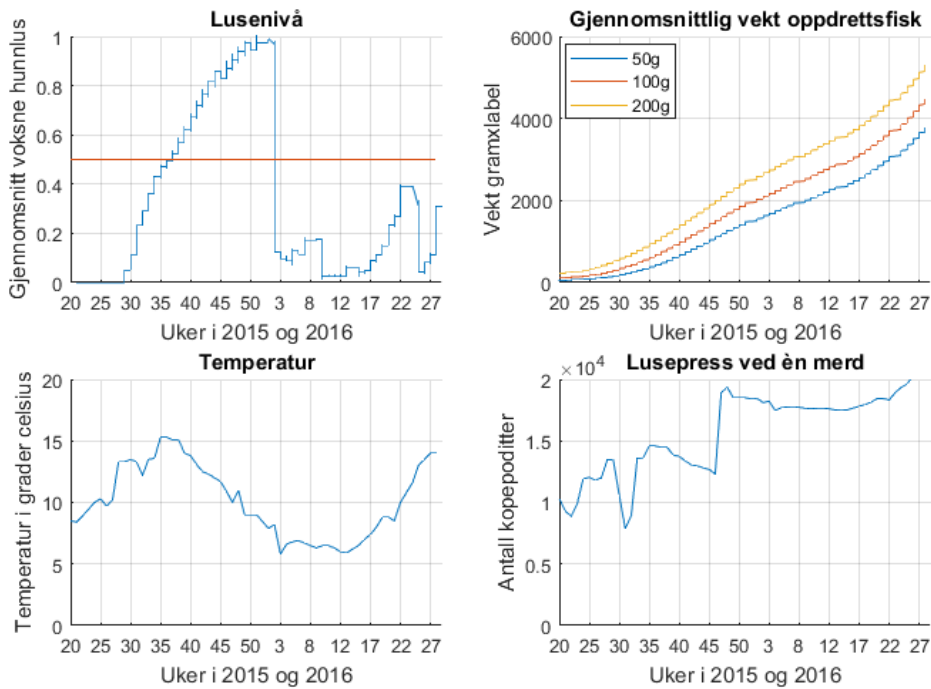
7.3.2 Simulerte resultater ved bruk av oppdretters kontrollstrategi

Simulerte resultater for oppdretters kontrollstrategi er presentert i tabell 38. Antall ut-slaktet fisk varierer mellom de tre variasjonene av størrelse på utsatt fisk. Selv om rammene er så og si de samme for alle tre størrelsene er det forbundet endel usikkerhet til effekt og konsekvenser ved avlusning. Denne usikkerheten ser man her øker med antall benyttede tiltak. Videre er kostnaden til de aktive tiltakene omtrent like stor som kostnaden ved anvendt rensesk. Differansen i totale kostnader for de tre ut-settene stammer fra bruken av fôrbehandling som varierer med størrelsen på behandlet fisk. Derav er den totale kostnaden ved lusetiltak høyere for ut-settet på 200 gram enn for ut-settet på 50 gram.

Tabell 38: Resultater fra simulering av benyttet kontrollstrategi

Utsett [gram]	Gj.vekt [gram]	Gj.antall fisk	Kostnad tiltak [NOK]	Kostnad rensesk [NOK]	Totale Kostnader [NOK]
50	3801	189 600	714 770	771 980	1 486 750
100	4489	191 670	716 500	771 980	1 488 480
200	5230	188 360	719 790	771 980	1 491 770

Hella har innmeldt relativt høye lusenivåer iløpet av hele produksjonssyklusen. En ser i figur 36 at det er en periode på 25 uker der lusenivåene overstiger tillat mengde voksne hunnlus. De faktisk innmeldte lusenivåene har kun 8 uker med lusenivåer over grensen, men det plutselige hoppet i faktisk innmeldt lusenivå var vanskelig å modellere. Da tilhørende modellert smittepress ville ha resultert i et hopp på 100 000 kopepoditter på en uke. Dette ville gjort presentasjonen av lusepresset i figur 36 uleselig. Det skal derfor nevnes at perioden fra uke 35 til 50 ikke er representativt for faktiske lusenivåer observert i perioden.



Figur 36: Lusenivåer, størrelses utvikling av oppdrettsfisk, Temperatur svingning samt lusepress for Hella iløpet av simulert produksjonssyklus med benyttet kontrollstrategi

7.3.3 Foreslått kontrollstrategi for lokalitet Hella

Kontrollstrategien som ga best resultater fra simuleringmodellen er presentert i tabell 39. En kan se her at grønngylt og rognkjeks har blitt byttet ut med berggylt. Dette stammer fra rensefiskenes modellerte effekt der berggylten scorer høyest av artene. Smittepresset og de relativt høye temperaturene igjennom produksjonssyklusen fasiliterer for bruk av berggylt. Gjenganger for bruk av rensefisk er at de blir utlatt for lokaliteter med perioder med lave temperaturer og inkludert ved høye lusenivåer og temperaturer. Videre har hydrolicer blitt byttet ut med bruk av pyretroider, samt ett mindre tiltak har blitt benyttet enn benyttet kontrollstrategi.

Tabell 39: Foreslått kontrollstrategi for lokaliteten Hella

Kapasitet	Dato utsett	Slaktedato
4680 [tonn]	Uke 13 2015	Uke 35 2016
Rensefisk utsatt	Dato aktivt tiltak benyttet	Virkestoff
20 000 Berggylt	uke 28 2015	Førbehandling(Kitinsyntesehemmere)
	uke 36 2015	Førbehandling(Kitinsyntesehemmere)
	uke 49 2015	Deltametrin(Pyretroid)
	uke 11 2016	Deltametrin(Pyretroid)
	uke 22 2016	Hydrogenperoksid

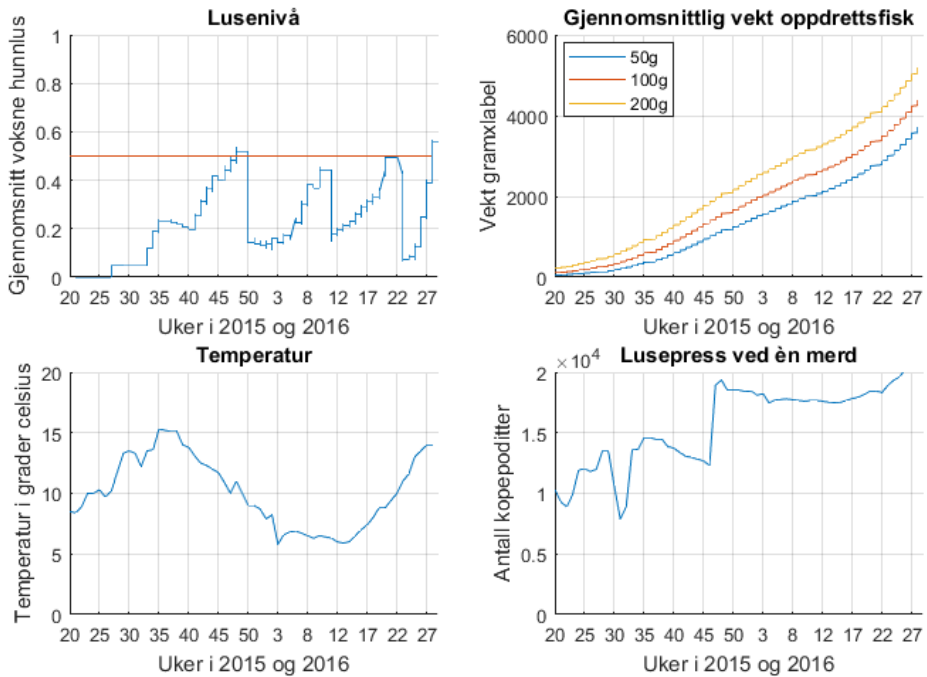
7.3.4 Simulerte resultater ved bruk av foreslått kontrollstrategi

Simulerte resultater for foreslått kontrollstrategi er presentert i tabell 40. Snittvekten ved slakt varierer stort mellom de ulike utsettene. Ved å benytte settefisk på over hundre gram vil oppdretter ha muligheten til å få solgt ut-slaktet fisk i en ønsket størrelse selv ved hasteslakt. Ved å benytte en gjennomsnittlig størrelse på femti gram risikerer oppdretter å få svært ugunstige priser for slaktet laks. Det at oppdretter mest sannsynlig må nødslakte er vanskelig for oppdretter å forutse. Uansett kan en se at ved å benytte større smolt ved utsett så reduserer en risiko ved eventuelt uforutsette hendelser.

Tabell 40: Resultater fra simulering av foreslått kontrollstrategi

Utsett [gram]	Gj.vekt [gram]	Gj.antall fisk	Kostnad tiltak [NOK]	Kostnad rensefisk [NOK]	Totale Kostnader [NOK]
50	3913	189 960	563 620	740 000	1 303 620
100	4592	191 836	572 490	740 000	1 312 490
200	5197	187 000	585 280	740 000	1 325 280

I figur 37 kan en se nytten av korrekt bruk av førbehandling. Konsekvensene av et høyt lusepress med tilhørende høye temperaturer blir kraftig redusert ved å anvende førbehandling som foreslått. En kan også se at effekten av rensefisk utsatt i perioden med førbehandling er at lusenivåene avtar.



Figur 37: Lusenivåer, størrelses utvikling av oppdrettsfisk, Temperatur svingning samt lusepress for Hella iløpet av simulert produksjonssyklus med foreslåtte tiltak

7.3.5 Sammenligning av resultater for lokalitet Hella

Resultatene for benyttet og foreslått kontrollstrategi er beskrevet i tabell 41 for tre ulike settefisk størrelser. For utsettene på femti og hundre gram ville oppdretter ha tjent rundt to millioner NOK på å benytte foreslått kontrollstrategi framfor benyttet strategi. Ved utsett på 200 gram resulterte oppdretters benyttede kontrollstrategi i både høyere slaktevekt samt antall enn ved foreslått strategi. Oppdretter ville her ha tapt fem hundre tusen NOK på å benytte foreslått strategi framfor benyttet strategi. Det er store variasjoner i utfall og som en ser i tabell 41 vil ikke optimal kontrollstrategi for en størrelse på utsatt smolt nødvendigvis være optimalt for en annen størrelse. I snitt ville foreslått kontrollstrategi vært fordelaktig å benytte framfor benyttet strategi da den potensielle gevinsten er større enn det potensielle tapet for lokaliteten Hella.

Tabell 41: Resultater fra foreslått- og benyttet kontrollstrategi, for henholdsvis tre ulike størrelser på settefisk for lokalitet Hella

	Utsatt [gram]	Salgspris		Salgspris		Overskudd [1000 NOK]
		3.5-4 [kg] 50 [NOK/kg]	4-5 [kg] 56 [NOK/kg]	5-5.5 [kg] 58 [NOK/kg]	Salgsverdi [1000 NOK]	
Foreslått strategi	50	X	-	-	37 166	36 602
Benyttet strategi	50	X	-	-	36 033	34 546
Foreslått strategi	100	-	X	-	49 330	48 758
Benyttet strategi	100	-	X	-	48 183	46 695
Foreslått strategi	200	-	-	X	56 370	55 044
Benyttet strategi	200	-	-	X	57 137	55 645

8 Diskusjon

8.1 Estimering av lusenivåer

I denne utredningen ble det forsøkt å identifisere en korrelasjon mellom modellert smittepress fra Havforskningsinstituttets hydrografiske modell og faktisk innmeldte lusenivåer. Ved å identifisere en korrelasjon for lokalitet er det tenkt mulig å predikere fremtidige lusenivåer på bakgrunn av estimert smittepress. En fortløpende prediksjon på lusenivåer 4-6 uker frem i tid siden lakselus bruker 4-6 uker på å utvikle seg fra kopepoditter til voksne hunnlus. Korrelasjon ble ikke funnet, hovedsaklig grunnet manglende data og for lite data analysert. Etablert smittepress for simulerte lokaliteter i kapittel 7 ble dermed dannet igjennom en kalibreringsprosess der smittepresset ble funnet til å resultere i innmeldte lusenivåer for lokalitet. Smittepresset etablert har derved ingen evne til å predikere fremtidige lusenivåer, derimot muligheten til å teste scenarier med ulike satte smittepress.

8.1.1 Estimering på bakgrunn av modellert Smittepress

Det ble motatt 60 dager med valide resultater fra Havforskningsinstituttet sin hydrografiske smittepress modell. Resultatene representerte 60 dager fra 1.mai 2016 til og med 29. juni. Selv om alle 476 aktive anlegg som var aktive denne perioden ble analysert for korrelasjon ble 60 dager med smittepressdata for snevert til å kunne etablere noen korrelasjon. Det ble ikke etterspurt mer data fra Havforskningsinstituttet da behovet for mer data ikke oppsto før kort tid før innlevering av masteroppgaven. Det ble lagt merke til en påfallende trend mellom økende antall kopepoditter og økende temperaturer for fylkene: Hordaland, Sogn og Fjordane, Rogaland og Møre og Romsdal. Med det snevre data-grunnet vil trendene ikke kunne benyttes til noe annet enn idé for videre analyse med utvidet data for flere år.

8.1.2 Estimering av lusenivåer på bakgrunn av historiske verdier

Lusepresset benyttet i simuleringsmodellen ble modellert ved kalibrering av historisk innmeldte nivåer. Denne kalibreringsprosessen gir ingen mulighet for prediksjon av fremtidige lusenivåer. Simuleringsmodellen vil fungere som en test av forskjellige fremtidige scenarier, der scenarioene består av forskjellige smittepress, og kan gi verdifull informasjon om hvilke tiltak som vil lønne seg i de ulike scenarier.

Det kalibrerte smittepresset vil kunne være av interesse da det viser omfanget av kopepoditter som resulterer i gitte lusenivåer for gitt lokalitet. En kan dermed bruke dette smittepresset til å sammenligne med innmeldt smittepress for å se hvor stor andel av smittepresset som faktisk etablerte seg på gitt lokalitet. På bakgrunn av dette kan det etableres modeller som benytter smittepressmodellen til å predikere fremtidige lusenivåer.

8.1.3 Validitet av resultater

Smittepresset benyttet i de tre anleggene testet resulterte i samme lusenivåer som faktisk innmeldt for lokalitet. Dette vil tilsi at grunnlaget for smittepress og derav fremtidige lusenivåer muliggjør realistiske sammenligninger av kontrollstrategier. Disse sammenligningene kan til en viss grad anses som etterpåklokskap, men vil belyse viktigheten av gjennomtenkte valg av tiltak og tidspunkt for gjennomføring.

8.2 Kostnadsestimering

Kostnaden relatert til tapt potensiell og reell biomasse har blitt estimert på bakgrunn av simulert produsert biomasse fra etablert modell. Hver simulering resulterer i et gitt antall og gjennomsnittlig størrelse på ut-slaktet oppdrettsfisk som danner produsert biomasse. Den produserte biomassen blir deretter prissatt på bakgrunn av gitt salgpris for ut-slaktet størrelse. Salgspris for de ulike størrelsene er hentet fra («Nasdaq: Salmon Prices», 2017). Til forskjell fra (Rødseth, 2016) sin estimering av tapt fortjeneste igjennom økt förfaktor muliggjør den etablerte simuleringmodellen konkret identifisering av faktorer for redusert produsert biomasse. Faktorer i form av antall dødfisk som følge av håndtering, eller tapt potensiell vekt som følge av sulting. Ved inkludering av fortløpende benyttet för med tilhørende förpris vil produksjonskostnaden i modellen bli ytterligere detaljert beskrevet, og kostnaden knyttet til stor dødfisk ytterligere spille inn på kostestimering av tapt reell biomasse. Estimering av kostnaden ved tapt potensiell og reell biomasse ved bruk av simuleringmodellen anses som en veldig nøyaktig metode. Metoder som estimerer denne kostnaden med høyere nøyaktighet er ikke forfatter kjent med.

Oppdelingen av kostnader ved benyttelse av tiltak mot lakselus følger Nofima sin oppdeling i operasjonelle og stoffrelaterte kostnader. Nøyaktigheten til kostestimeringen av de ulike tiltakene varierer på bakgrunn av hvilke data som har vært mulig å oppdrive fra leverandører eller oppdretter. De mest nøyaktige kostestimerte tiltakene er de medikamentelle tiltakene som har blitt benyttet over flere år.

Pris på medikament brukt og operasjonelle kostestimater per behandling har blitt innhentet. De ikke-medikamentelle metodene har vært vanskelig å kostestimere da de ikke benytter seg av medikamenter, og kan dermed ikke kostestimeres på lik linje som de medikamentelle tiltakene. Operasjonelle kostnader ved benyttelse av ikke-medikamentelle tiltak har blitt antatt til å likne benyttelse av hydrogenperoksid da alle de estimerte tiltakene benytter seg av behandlingsfartøy på lik linje med hydrogenperoksid som benytter seg av doseringsfartøy. Behandling og doseringsfartøyene er antatt til å kreve samme antall mengde personell og tilhørende kostnader ved gjennomføring av tiltak. Estimert kostnad relatert til bruk av Hydrolicer er mest sannsynlig det minst nøyaktige. Innkjøpspris av 8-linjet hydrolicer er estimert til NOK 20-30 millioner. Tenkt nedbetalingstid kunne vært fem år med 20-25 gjennomførte behandlinger til NOK 200 000, som ville vært et kostestimat av benyttelse av hydrolicer på lik linje som stoff-kostnad for hydrogenperoksid. Dette estimatet var for usikkert og ble erstattet med et kostestimat for Thermolicer. At kostnaden ved benyttelse av Hydrolicer er omtrent den samme som Thermolicer er ansett som reelt da de har lik gjennomføring av behandling og identiske behov for fartøy etc. Forskjellen i kostnader mellom de to ligger i hvert tiltaks avlusningsmetode, en kostnad som er antatt marginal sammenliknet med de andre kostnadene.

8.2.1 Datagrunnlag

Datagrunnlaget har vært svært varierende. Kostestimater ved benyttelse av kitinsyntesehemmere (medisinfôr) er ansett som svært troverdig da nødvendig fôrmengde er en funksjon av biomasse og pris per kg medisinfôr. Biomassen er estimert til å være så nøyaktig som mulig ved modellering med RGI-tabeller, som i simuleringmodellen blir oppdatert hvert døgn. Pris per kg medisinfôr inneholdende kitinsyntesehemmere ble motatt per mail fra produsent og danner et reelt bilde av kostnaden for behandling av varierende biomasse med kitinsyntesehemmere. Det som har blitt antatt er at fraktkostnaden av medisinfôret er den samme som for vanlig fôr ved at samme fôrprodusent blir benyttet. Dette er en reell antagelse da to av de store fôrprodusentene EWOS AS og Skretting AS begge leverer medisinfôr, Releeze og Ektobann.

Datagrunnlaget for kostestimering av rensefisk var svært godt med en omfattende rapport fra Fiskeridirektoratet (Fiskeridirektoratet, 2015), med innkjøp og driftkostnader ved bruk av rensefisk. Supplert av: (Luseprosjektet, 2014);(Nilsen mfl., 2014);(Skiftesvik mfl., 2015), som videre utdypet nødvendigheten av vask av not, rensefisk skjul og dødelighet.

Datagrunnlaget for kostnadsestimering av Hydrolicer var snevert. Video-er av gjennomført avlusning med Hydrolicer ble analysert der antall personer på anlegget ble antatt til å representere personell nødvendig for gjennomføring. Denne antagelsen kan være feil da det kan ha vært en presentasjon for interessenter av tiltaket. Tre forskjellige video-er for gjennomføring viste til samme antall hver gang og dermed blitt antatt til å være representativ gjengivelse av nødvendig.

8.3 Simuleringsmodell

Kvaliteten av resultatene til simuleringsmodellen beror på nøyaktigheten av hvert av de modellerte segmentene. Et par av segmentene er ansett til å representere virkeligheten godt, andre segmenter er det knyttet større usikkerhet til. Det er essensielt at segmentene er godt modellert for at simuleringsmodellens resultater skal kunne ha noen troverdighet.

8.3.1 Modellering av smittepress

Det er interessant å bemerke at smittepresset ved Gisløy Nø følger temperatur svingninger. Topper i temperatur har en påfølgende topp i smittepress noen uker senere, samt bunn i smittepress ved lave temperaturer. For lokaliteten Hella er det tilsynelatende ingen temperatur avhengighet, heller et jevnt høyt smittepress igjennom hele produksjonssyklusen. Det at Hella opplever et smittepress gjennomsnittlig fem ganger høyere enn Gisløy Nø, kan være en indikator på effekten av relativt høye temperaturer igjennom hele året. Dette viser hvor store forskjeller det er i smittepress ut ifra lokalitetens geografiske posisjon.

8.3.2 Modellering av lakselus

Modelleringen av lakselus ble en forenkling av (A. Stien mfl., 2005) sin modell. Lakselusen ble modellert med kun tre stadier og kun hunnlus. Forenklingsprosessen kan ha resultert i at viktige faktorer ble utelatt, men utifra resulterende observerte lusenivåer fra kjøringene av modellen, tilsikter at modellen skal fungere tilstrekkelig for sin hensikt. Simulering viste sterk korrelasjon mellom modellert smittepress, temperatur og lusenivåer.

Ved utregning av minste utviklingsperiode for fastsittende og bevegelig stadie ble to forenklede verdier av parametrene β_1 og β_2 benyttet. Forenklet i den form av

at verdiene ikke er modellert til å innbefatte tiltenkt standardavvik. Korrekt verdi som presentert i (A. Stien mfl., 2005) for β -verdiene er presentert i tabell 42.

Tabell 42: β -verdier som presentert i (A. Stien, Bjørn & Elston, 2005)

	β_1	β_2
Fastsittende stadie (F)	74.7 (± 33.64)	0.246 (± 0.007)
Bevegelig stadie (B)	67.47 (± 20.36)	0.177 (± 0.006)

Denne forenklingen kan resultere i en lavere nøyaktighet på bestemmelse av stadie for modellert lakselus.

8.3.3 Modellering av tiltak

Tiltakene ble modellert til å ha effekt mot lakselus og konsekvenser for behandlet oppdrettsfisk.

Effekten til de medikamentelle tiltakene ble modellert på bakgrunn av innmeldte effekter fra (Walde mfl., 2017b). Forenklete bioassay er benyttet til å vise den reduserte effekten observert ved benyttelse av et utvalg medikamentelle tiltak. I modellen ble kun hydrogenperoksid og pyretroider(deltametrin) modellert. Mange oppdrettere benytter i dag en kombinasjonsbehandling av deltametrin og andre syntetiske pyretroider. Data på effekten til disse kombinasjonsmetodene ble ikke funnet og det lot seg dermed ikke å modellere denne typen behandling. Effekten til hydrogen peroksid er videre blitt modellert som en sannsynlighetsfordeling der observert effekt av (Walde mfl., 2017b) er satt som forventet verdi, og standardavviketer satt til å dekke hele spekteret av rapportert effekt. Dette har blitt gjort for å inkludere usikkerheten om lus i modellert merd innbefatter resistente egenskaper.

Modellert medisinfôr innbefatter kun bruk av kitinsyntesehemmere. Effekten har blitt satt til å fjerne all lus som finnes på oppdrettsfisk som ikke har nådd det adulte stadiet. Effekten er modellert til kun å representere én uke. Det har derfor ikke blitt tatt hensyn til eventuelt medisinfôr som ikke har blitt utskilt av oppdrettsfisk etter endt behandling. Varigheten av effekten ved benyttelse av medisinfôr er dermed litt usikkert.

Hydrolicer og Thermolicer er relativt nye tiltak og har dermed ikke det samme statistiske grunnlaget for effekt estimering som de medikamentelle tiltakene. Leve- randørene av de to tiltakene reklamerer med effekter opp mot 95-100 % avlusningseffekt. Disse effektene er ikke like troverdige som effekter fra en uavhen-

gig kilde, og har dermed ikke blitt benyttet. Effektene har blitt estimert utifra en spørreundersøkelse gjennomført og presentert av (Gismervik mfl., 2017). Spørreundersøkelsen har blitt sendt til personell som er ansvarlige for gjennomføring av tiltak mot lakselus på oppdrettslokalteter. Spørsmålene dekket en rekke ikke-medikamentelle tiltak inkludert Thermolicer og Hydrolicer. To av spørsmålene var angående estimert effekt ved benyttelse av ikke-medikamentelle tiltak mot mobile og fastsittende lus. Effekten endte på en normalfordeling rundt 80-90% effekt mot bevegelige lus, samt uviss til lav effekt mot fastsittende lus. Det problematiske med denne spørreundersøkelsen er at den ikke differensierer mellom de ulike tiltakene slik at modellert effekt for Hydrolicer og Thermolicer ble identisk.

Konsekvenser ved benyttelse av de ulike tiltakene har blitt gjort på bakgrunn av observert akutt og forsinket dødelighet ved benyttelse av gitt tiltak presentert av (Svåsand mfl., 2016). Konsekvenser ved benyttelse av badbehandling med hydrogenperoksid er grundig utredet med over 1166 innmeldte konsekvenser. Badbehandling generelt har enda flere innmeldte konsekvenser men differensierer ikke mellom de ulike benyttede medikamentene. Ved å se på de ulike medikamentene benyttet ved badbehandling og de lave innmeldte nivåene av akutt og forsinket dødelighet har det blitt antatt at dødeligheten ikke skyldes benyttet medikament men håndtering i prosessen. Håndtering ved badbehandling er mye mindre krevende enn ved de ikke-medikamentelle men merden blir presset og volumet oppdrettsfisken befinner seg i redusert. Dette vil kunne indusere stress og påfølgende økt dødelighet. Akutt og forsinket dødelighet ved badbehandling med pyretroider har derfor blitt satt til samme nivåer som for badbehandling generelt.

Konsekvenser ved benyttelse av medisinfôr er antatt til å være minimale, innrapportert dødelighet vil derfor være en god representasjon av standard produksjonsdødelighet.

Konsekvenser ved benyttelse av Hydrolicer er gjort på bakgrunn av korrigererte verdier av innrapportert akutt og forsinket dødelighet ved bruk av mekaniske tiltak. I (Svåsand mfl., 2016) har mekaniske tiltak den klart laveste forventede akutte og forsinkede dødeligheten av alle analyserte tiltak utenom bruk av medisinfôr. Dette sammenfaller dårlig med den økte håndteringen av oppdrettsfisk påkrevd for mekanisk behandling. Spørreundersøkelsen presentert ved (Gismervik mfl., 2017) inkluderte et spørsmål om økt laksedødelighet ved mekaniske tiltak i forhold til tradisjonell badbehandling. 66% svarte at mekaniske tiltak førte til mye større eller litt større negative konsekvenser for fiskevelferden enn medikamentell behandling. 9% svarte at mekanisk behandling fører til litt eller mye mindre konsekvenser (figur 20). På bakgrunn av spørreundersøkelsen ble akutt- og forsinket dødelighet opp-

justert til å ha generelt 10% høyere sannsynlighet for hver av dødelighets postene sammenlignet med sannsynlighetsfordelingen til pyretroider. Valget av 10% er diskuterbart, forventet dødelighet er fortsatt betydelig lavere enn benyttelse av hydrogenperoksid, som forøvrig er inkludert som badebehandling i spørreundersøkelsen.

8.3.4 Modellering av rensefisk

Rensefisk har blitt modellert med art, antall, dødelighets-rate og avlusningseffekt. Grunnet den store variasjonen i innkjøpskostnad og popularitet ble det ansett som hensiktsmessig å inkludere de fire mest benyttede artene i Norge. Antall og dødelighets-rate anses som korrekt modellert utifra benyttede innblandingsprosenter og innrapportert erfart dødelighet presentert av Veterinærinstituttet (Nilsen mfl., 2014). Dødelighets-raten er modellert etter en syklus, noe som vil si at like mange rensefisk vil dø iløpet av en syklus som varer 2 uker som en som varer 90 uker. Dette kan enkelt re-modelleres ved å definere en standard lengde på én produksjonssyklus, og modellere dødelighet som en funksjon av tid.

Den store usikkerheten knyttet til modellert rensefisk ligger i avlusningseffekten. Rensefisken ble modellert med et gjennomsnittlig antall lus hver rensefisk ville fjerne per døgn. Den høyeste effekten ble satt til én lus per rensefisk per døgn. Dette viste seg å være svært effektivt og ble deretter nedskalert til 0.7 lus per rensefisk per dag. Denne effekten er tenkt til å kompensere for at det er stor variasjon i effekt blant utsatt rensefisk. Noen beiter aktivt på laksefisk og andre trives bedre med alger på not. Grunnet berggyltens popularitet og høye innkjøpspris, ble berggylden satt som mest effektive fjerner av lakselus som vist i figur 32. Effekten til de øvrige artene ble skalert etter tilhørende innkjøpspris iforhold til berggyltens.

Ved benyttelse av rensefisk ble det igjennom kostestimering og simulering vist til at det lønnet seg utelukkende å benytte seg av berggylt. På tross av at den hadde den dyreste innkjøpsprisen tilsvarer innkjøpet av berggylt til gitt innblandingsprosent kun 15% av totale kostnader ved benyttelse av rensefisk igjennom en produksjonssyklus. De andre kostnadene er konstante uavhengig av art, og tilsier dermed at den dyreste og mest effektive arten bør velges. Grunnet den store investeringskostnaden ved å benytte rensefisk viste simuleringsmodellen at benyttelse ikke var optimalt for de nordlige fylkene. For at rensefisk skulle være kosteffektivt måtte lokalitet ha jevnt høye temperaturer og et kontinuerlig smittepress. Rensefisken er ikke kapabel til å håndtere plutselige hopp i lusenivåer, men er kapabel til å fjerne lus jevnt over tid.

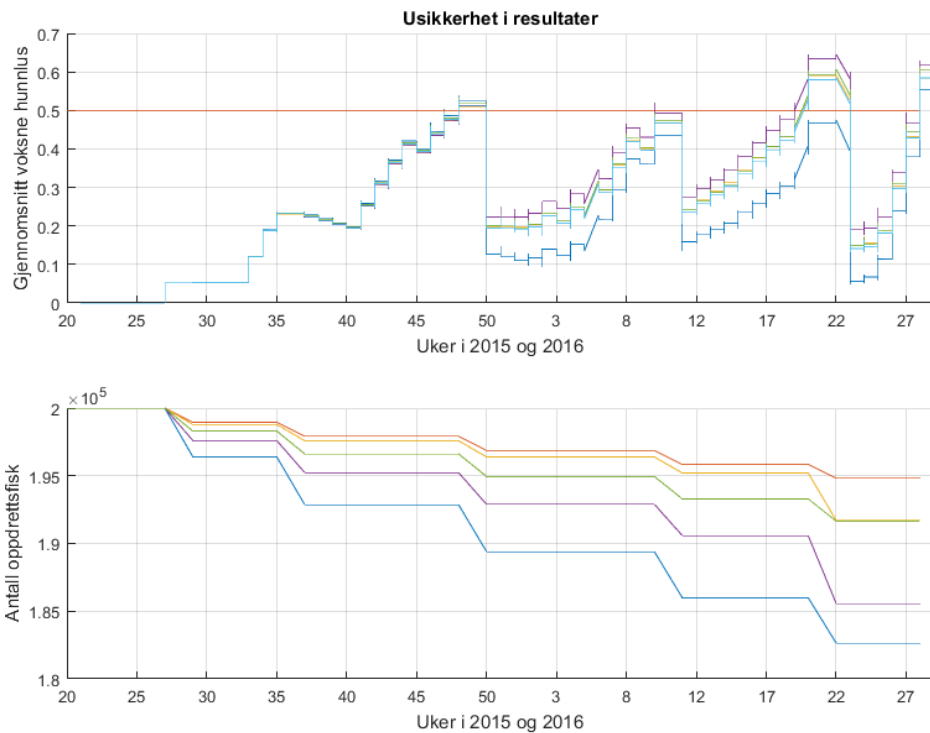
8.3.5 Modellering av oppdrettsfisk

Ved modellering av oppdrettsfisk ble en RGI-tabell fra Skretting AS benyttet. Opprinnelsen til SGR-verdiene RGI-tabellen er bygd opp av er uvisst. Dette gjør det usikkert om hvilken generasjon oppdrettsfisk SGR-verdiene baserer seg på, eller om de er tilsiktet et spesielt område. Etablering av egen RGI-tabell på bakgrunn av innhenting av SGR verdier ble ansett som for tidkrevende og unødvendig da Skretting AS sin RGI-tabell var tilgjengelig. RGI-tabellen er detaljert med beskrivelse av veksthastighet for samtlige størrelser og temperaturer observert ved simulerte anlegg.

8.3.6 Sensitivitetsanalyse

Endel av variablene benyttet i simuleringsmodellen er stokastiske. Tiltakene er modellert med en normalfordelt effekt, og akutt- og forsinket dødelighet. Effektene blir bestemt på bakgrunn av et tilfeldig valgt tall og forventningsverdi og standardavvik for gitt fordeling. Det tilfeldige tallet er modellert slik at det vil være tilfeldig for hver eneste simulering. Dette har blitt oppnådd ved å generere seed for MATLAB funksjonen som generer tilfeldige tall på bakgrunn av gitt seed som funksjon av tiden. Det vil si at i løpet av ett døgn vil ingen tilfeldige tall bli generert av samme seed.

De stokastiske variablene fører til forskjellige resultater fra en simulering til den neste. Variablene med størst standardavvik, slik som avlusningseffekten ved anvendelse av pyretroider, vil kunne gi størst variasjon i resultater fra simuleringer med identisk kontrollstrategi. I figur 38 har en produksjonssyklus blitt simulert fem ganger med den samme kontrollstrategien. Kontrollstrategien benyttet i figur 38 består av to førbehandlinger og tre pyretroid behandlinger. Lusenivåene har generelt jevne nivåer for de fem simuleringene, men antallet ut-slaktet oppdrettsfisk varierer på det meste med 10 000 oppdrettsfisk. Utarbeidelse av kontrollstrategi på bakgrunn av simuleringsmodellen bør derfor innebefatte flere simuleringer av tenkt kontrollstrategi for å identifisere mulige utfall. Dette har blitt gjort i de tre lokalitetene modellert i kapittel 7, der simuleringen som hadde resultater nærmest gjennomsnittet ble presentert.



Figur 38: Lusenivåer og antall fisk igjennom produksjonssyklus ved fem simuleringer med identisk kontrollstrategi

8.3.7 Validitet av resultater

Validiteten til resultatene fra simuleringsmodellen beror på innflytelsen segmentene har på resultatet, og segmentenes validitet. Selv om renseskisk segmentet har endel usikkerhet knyttet til avlusningseffekten til modellert renseskisk, vil dette ikke gå ut over validiteten til resultatene hvis renseskisk ikke benyttes ved simulering.

Segmentene som benyttes uavhengig av valgt tiltak er oppdrettsfisk, smittepress, lakselus og miljø. Miljøet er modellert på bakgrunn av historisk innrapporterte nivåer av temperatur og er ansett som troverdig. Lakselusen og smittepresset har endel usikkerhet knyttet til seg, men ved å regulere smittepress kan en enkelt justere fremtidige lusenivåer. Dette muliggjør skreddersydde smittepress og lusenivåer for uttesting av forskjellige produksjon og kontrollstrategier. Kalibreringsprosessen har også resultert i lusenivåer som stemmer svært godt overens med innmeldte lusenivåer på testede lokaliteter. Oppdrettsfisken er modellert på bakgrunn

av vekstmodeller som er ansett troverdige.

Modellens flaskehals for testing av produksjon og kontrollstrategier ved observerte smittepress og lusenivåer ligger i modelleringen av tiltakene. Hydrogenperoksid, pyretroider og Thermolicer har mye data til å støtte oppunder modelleringen. Hydrolicer og renseskum har ikke samme datagrunnlaget og er dermed ansett som mer usikkert.

Modellens flaskehals for testing av fremtidige produksjon og kontrollstrategier ligger i modellering av smittepress og lusenivåer. Det er ikke mulig per nå å benytte modellen til å predikere fremtidige smittepress og lusenivåer, annet enn å anta at smittepress blir likt i fremtiden som samme tid året/årene før.

Modellen som helhet fungerer bra til å teste produksjon og kontrollstrategier for en gitt lokalitet på bakgrunn av historiske nivåer. Modellen vil kunne fungere bra til testing av fremtidige scenarier med varierende smittepress. God prediksjon av smittepress har ikke blitt oppnådd og opprinnelsen til smittepress ved lokalitet har ikke blitt modellert med mulighet for gjensmitte.

9 Konklusjon

Bruk av simuleringsmodellen til å undersøke effekten av timing og antall behandlinger var lærerikt og viste seg nyttig ved vurdering av kontrollstrategier. Antall behandlinger er viktig, og et utilstrekkelig antall behandlinger vil uunngåelig føre til høye lusenivåer i produksjonsperioden. Resultatene fremhever imidlertid at effektiv lusekontroll avhenger mest av tidspunkt for behandling. Hvis antallet behandlinger/tiltak skal holdes så lavt som mulig, er tidspunkt for anvendelse avgjørende for effektiv kontroll.

Den etablerte simuleringsmodellen har potensiale til å avklare hvilke produksjon og kontrollstrategier som er optimale og kostnadseffektive for en lokalitet. Ved å simulere de mange mulige kombinasjoner av behandlinger, tidspunkt for gjennomføring og tiltak. En slik undersøkelse med eksperimentelle midler vil være sterkt forebyggende med minimale kostnader for gjennomføring. Litteraturstudiet viser imidlertid at en modell som med relativt god sikkerhet kan beskrive fremtidige endringer i smittepress med tilhørende lusenivåer på lokalitetsnivå, ikke er nært forestående.

Forbedret datagrunnlag for renseskisk og nye mekaniske tiltak vil ytterligere forbedre nøyaktigheten til resultatene ved anvendelse av disse tiltakene. Resultatene viser videre anvendelsesområder for de ulike tiltakene. Renseskisk er ikke kosteffektivt utenom ved gjennomgående høyt lusepress og stabilt høye temperaturer. Pyretroider er på tross av sin reduserte effekt et nyttig tiltak grunnet dens lave sannsynlighet for akutt og forsinket dødelighet ved behandling. Medisinfør og benyttelse av kitinsyntesehemmere har vist seg å være en billig og svært effektiv metode for kontroll av lusenivåer, især ved forhøyede nivåer av smittepress.

Videreutvikling av simuleringsmodellen med inkludering av predikert smittepress vil kunne danne et svært nyttig verktøy for oppdretter. Tiltent modell vil muliggjøre planlegging av fremtidige kontrollstrategier med optimale tidspunkt for benyttelse av gitt tiltak. Derav redusere antall benyttede tiltak med tilhørende kostnader og hindre tap av potensiell og reell biomasse.

10 Videre arbeid

Endel forslag til forbedringer har allerede blitt presentert i kapittel 8, der datagrunnlaget for modellert renseskog og mekaniske tiltak er manglende i forhold til øvrige tiltak. Videre er det hensiktsmessig å implementere andre tiltak som luse-skjørt, permaskjørt, laserfjerning, samt andre medikamentelle og ikke-medikamentelle tiltak for å utvide anvendelsesområdet for simuleringmodellen.

Modelleringen av lakselus bør endres til (Rittenhouse mfl., 2016) sin lakselusmodell som inkluderer effekten av svingninger i salinitet. Dette forbeholder at salinitetsnivåer blir målt og innrapportert ved lokaliteter på lik linje som temperatur blir i dag.

Videreutvikling av hydrografiske og avstandsbaserte smittepressmodeller inkludert med etablerte lakselusmodeller som inkluderer reinfestasjon på lokalitet, sammenlignet oppmot kalibrert smittepress i denne modellen vil kunne gi gode prediksjoner av fremtids lakselusnivåer på lokalitetsnivå. Hver lokalitet kan dermed analysere økning i lakselusnivåer opp mot hvorvidt majoriteten skyldes reinfestasjon eller eksternt smittepress. På sikt vil man dermed kunne etablere gode prediksjoner av fremtidige lakselusnivåer på bakgrunn av observerte lusenivåer og beregnet eksternt smittepress.

Videre kan simuleringmodellen testes for flere lokaliteter for å identifisere potensialet gitte lokaliteter har ved anvendelse av modellen. Lokaliteter benytter seg av forskjellige tiltak og som en så i kapittel 7 er potensialet sterkt varierende mellom de ulike undersøkte lokalitetene.

11 Referanser

- Arff, J., Forbord, S. & Steinhovden, K. B. (2016). *Avlusing med hydrogenperoksid og miljøfaktorer*.
- Astrid Buran, H., Bjørn, R., Mette S, B., Jelena, K., Øyvind J, H., Audun, I., ... Åsa Maria, E. (2016). *Beste praksis for medikamentfrie metoder for lakseluskontroll (MEDFRI)*. Nofima.
- Bendiksen, E., Dick, J., Bell, J. & Karalazos, V. (2007). Effects of dietary protein, and fat level and rapeseed oil on growth and tissue fatty acid composition and metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared at low water temperatures. *Aquacult.Nutr.*
- Bing Orkland, A. & Aronsveen, L. (2014). *En lønnsomhetsvurdering av tiltak mot lakselus* (Masteroppgave, Norges Handelshøyskole).
- Crampton, V., Alanara, A. & Bailey, J. (2003). Do delivery rate and pellet size affect growth rate in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) raised under semi-commercial farming conditions? *Aquaculture*, 224, 79–88.
- Ektobann vet - 2 g/ kg. (2017, 8. mai). Hentet fra <https://www.legemiddelsok.no/sider/Legemiddelvisning.aspx?pakningId=66c4cd28-c34e-4771-8de4-290c1d82f7ba&f=Han;Mar;par;gen&searchquery=Ektobann+vet>
- Ewos. (2017a, 11. mai). *E-mail korrespondanse med Ewos angående førkostnad for Releeze vet*.
- Ewos. (2017b, 8. mai). EWOS integrated sea lice programme - Feed as a tool in the management of sea lice. Hentet fra https://www.ewos.com/wps/wcm/connect/0e96b464-b11a-4753-964b-b956eb5a2abf/Spotlight+1+2009.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=0e96b464-b11a-4753-964b-b956eb5a2abf
- Ewos. (udatert). Releeze vet.
- Fiskeridirektoratet. (2015). Total utsett av rensefisk i merd. Hentet fra <http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Rensefisk>
- Gismervik, K., Nilsen, A., Nielsen, K. & Mejdell, C. (2017). *Fiskehelse rapporten 2016*. Veterinærinstituttet.
- Grant & Andrew, N. (2002). Medicines for sea lice. *Pest Management Science*, 58(6), 521–527. doi:10.1002/ps.481
- Grimnes, A. & Jakoseb, P. J. (1996). The physiological effects of salmon lice infection on post-smolt of Atlantic salmon. *J Fish Biol*, 48, 1179–1194.
- Groner, M. L., Gettinby, G., Stormoen, M., Revie, C. & Cox, R. (2014). Modelling the impact of temperature-induced life history plasticity and mate limitation on the epidemic potential of a marine ectoparasite. *PLOS ONE*.

- Heuch, P., Parsons, A. & Boxaspen, K. (1995). Diel vertical migration—a possible host-finding mechanism in salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) copepods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52(4), 681–689.
- Hodneland, K., Nylund, A., Nilsen, F., Midttun, B. mfl. (1993). *The effect of Nuwan, azamethiphos and hydrogen peroxide on salmon lice (Lepeophtheirus salmonis)*.
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Andreassen, O., Brandvik, R. K., Marthinussen, A. & Nystøyl, R. (2015). *Kostnadsdrivere i lakseoppdrett, Nofima 2015*.
- Jobling, M., Solberg, C. & Lysfjord, G. (2004). Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolt production strategy affects body composition and early seawater growth. *Aquaculture* 237, 237, 191–205.
- Johnston, I., Bickerdike, R., Xuejun, L., Dingwall, A., Nickell, D., Alderson, R. & Campbell, P. (2007). Fast growth was not associated with an increased incidence of soft flesh and gaping in two strains of Atlantic salmon (*Salmo salar*) grown under different environmental conditions. *Aquaculture*, 265, 148–155.
- Johnston, I., Manthri, S., Alderson, R., Campbell, P., abd D Whyte, D. M., Dingwall, A., . . . Robertson, B. (2002). Effects of dietary protein level on muscle cellularity and flesh quality in Atlantic salmon with particular reference to gaping. *Aquaculture*, 210, 259–283.
- Karlsen, Ø. (2016). *Kunnskapsstatus som grunnlag for kapasitetsjustering innen produksjons-områder basert på lakselus som indikator*. Havforskningsinstituttet.
- Kristoffersen, A. B., Jimenez, D., Hildegunn, V., Grøntvedt, R., Stien, A. & Janse, P. A. (2014). Large scale modelling of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infection pressure based on lice monitoring data from Norwegian salmonid farms. *Epidemics*.
- Kvistad, A. (2016, 2. november). Louse skirts - operation and test results. Hentet fra <http://lusedata.no/fou/luseskjort-virkemate-og-testresultater/>
- Lars, A. (2017, 27. april). *E-mail korrespondanse angående data fra Havforskningsinstituttets smittepress mmodel*.
- Lønn for ansatte i fiskeoppdrett, 1. oktober 2014. (2017). Hentet fra <https://www.ssb.no/arbeid-og-lonn/statistikker/lonnfisko/aar/2015-02-13>
- Lien, A. M., Sunde, L. M. & Bekkevold, A. (2015). *Seminar: Louse skirts and snorkel cages*.
- Linnaeus. (2015). FAO Cultured Aquatic Species Information Programme: *Salmo salar* (Linnaeus, 1758). Hentet fra http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Salmo_salar/en

- Luseprosjektet. (2014). *Bruk og hold av leppefisk*. Hentet fra <http://lusedata.no/wp-content/uploads/2012/05/2004-02-25-Veileder-for-bruk-og-hold-av-leppefisk.pdf>
- Mørkøre, T. (2008). HUNGRING AV LAKSI, Nofima. Hentet fra file:///C:/Users/Bruker/Downloads/Hungring_av_laksi-_Turi%EF%BF%BD.M%EF%BF%BDrk%EF%BF%BDre.pdf
- Morris, P., Beattieand, C., Elderand, B., Finlay, J., Gallimore, P., Jewison, W., ... Weir, M. (2003). Effects of the timing of the introduction of feeds containing different protein and lipid levels on the performance and quality of Atlantic salmon, *Salmo salar*, over the entire seawater phase of growth. *Aquaculture*, 225, 41–65.
- Nasdaq: Salmon Prices. (2017). Hentet fra <https://salmonprice.nasdaqomxtrader.com/public/home;jsessionid=B29E4456A163A6F52EB97677B6E92561?0>
- Næs, M., Heuch, P. A. & Mathisen, R. (2012). Use of “Sea lice Skirt” to Reduce Infestation of Salmon Lice on Farmed Salmon. *NCE Aquaculture*.
- Næstvold, E. (2016). *Simulation-based decision support system for delousing of *Lepeophtheirus salmonis** (hovedoppg., Institute of marine technology, NTNU).
- Nilsen, A., Viljugrein, H., Røsæg, M. & Colquhoun, D. (2014). *Rensefiskhelse - kartlegging av dødelighet og dødelighetsårsaker*. Oslo: Veterinærinstituttet:
- Norgessjømatråd. (2016, 9. mai). Hva er i føret til laksen? Hentet fra <https://laksefakta.no/hva-spiser-laksen/hva-er-i-foret-til-laksen/>
- Pharmaq. (udatert). ALPHA MAX vet.
- Pyrethroid. (2016). Hentet fra <https://en.wikipedia.org/wiki/Pyrethroid>
- Revie, C. W., Robbins, C., Gettinby, G., Kelly, L. & Treasurer, J. W. (2005). A mathematical model of the growth of sea lice, *Lepeophtheirus salmonis*, populations on farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L, in Scotland and its use in the assessment of treatment strategies. *Dish Dis*. 28, 603–613.
- Rødseth, G. I. (2016, 28. april). Behandling mot lakselus kan ha kostet oppdrettsnæringen 7-8 milliarder kroner i 2015. Hentet fra <https://www.linkedin.com/pulse/behandling-mot-lakselus-kan-ha-kostet-7-8-milliarder-kroner-r%C3%B8dseth?trk=mp-reader-card>
- Rørvik, K. & Mørkøre, T. (2001). Seasonal variations in growth, feed utilisation and product quality of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) transferred to sea water as 0 year old smolts or 1 year old smolts. *Aquaculture*, 199, 145–158.
- Rittenhouse, M. A., Revie, C. W. & Hurford, A. (2016). A model for sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) dynamics in a seasonal changing environment. *Epidemics*, 8–16.
- Rykhus et al, A. (2012). *Terapiveileder, Medikamentell behandling mot lakselus*.

- Samsing, F., Johnsen, I., Stien, L. H., Oppedal, F., Albretsen, J., Asplin, L. & Dempster, T. (2016). Predicting the effectiveness of depth-based technologies to prevent salmon lice infection using a dispersal model. *Preventive Veterinary Medicine*, 129, 48-57.
- Sanden, M., Hemre, G., Måge, A., Lunestad, B., Espe, M., Lundebye, A., ... Ørnsrud, R. (2015). *Program for overvåking av fiskefôr Årsrapport for prøver innsamlet i 2014*. Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforskning (NIFES).
- Sevatdal, S. (2014). *Selection of resistance of sea lice (Lepeophtheirus salmonis) to organophosphate and pyrethroid by combined treatment methods*.
- SINTEF. (2013). SINTEF and Norges forskningsråd. Sustainable disease control strategies in salmon farming: Decision support integrating economic, environmental and social dimensions (SALMODIS). Hentet fra <http://www.fhf.no/prosjektdetaljer/?projectNumber=900590>
- Skiftesvik, A. B., Mortensen, S. & Bjelland, R. (2015). *Use of cleaner fish - possibilities and limitations*.
- Statenslegemiddelkontroll(SLK). (2000). Behandling mot lakselus i oppdrettsanlegg. *Terapianbefaling*.
- Stien, A., Bjørn, P. A., Pål Arne an Heuch & Elston, D. A. (2005). Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon and sea trout. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*, 290, 263–275.
- Stien, L., Nilsson, J., Hevrøy, E., Oppedal, F., Kistiansen, T., Lien, A. & Folkedal, O. (2012). Skirt around a salmon sea cage to reduce infestation of salmon lice resulted in low oxygen levels. *Aquacultural Engineering*. Volume 51,
- Svåsand, T., Karlsen, Ø., Kvamme, B., Stien, L., Taranger, G. & Boxaspen, K. (2016). *Risikovurdering av norsk fiskeoppdrett 2016*. Fisken og havet, særnr. 2-2016.
- Thomassen, J. M. (1993). A new method for control of salmon lice., 233–236.
- Thorarensen, H. & Farrel, P. (2011). The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture*, 312, 1–14.
- Tocher, D. R., Dick, J. R. & Sprague, M. (2016). *Impact of sustainable feeds on omega-3 long-chain fatty acid levels in farmed Atlantic salmon, 2006–201*. Scientific Reports 6, Article number: 21892.
- Walde, C., Haukaas, A., Jansen, M., Bornø, G. & Hjeltnes, B. (2017a). *Fiskehelse-rapporten 2016, Fiskehelse kapittel*. Veterinærinstituttet.
- Walde, C., Haukaas, A., Jansen, M., Bornø, G. & Hjeltnes, B. (2017b). *Fiskehelse-rapporten 2016, Lakselus kapittel*. Veterinærinstituttet.

Ytrestøyl, T., Struksnæs, G., Rørvik, K., Koppe, W. & Bjerkeng, B. (2006). Astaxanthin digestibility as affected by ration levels for Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, *261*, 215-224.

Vedlegg

Vedlegg A - Oppgavebeskrivelse	II
Vedlegg B - Simuleringsmodell	V
Vedlegg C - Modellering av miljø	VI
Vedlegg D - Modellering av valgt tiltak mot avlusning, miljø	VII
Vedlegg E - Modellering av tiltak	VIII
Vedlegg F - Skript for dødelighet ved tiltak	IX
Vedlegg G - Modellering av lakselus, renseskisk og smittepress	XI
Vedlegg H - Skript for å modellere renseskisk med effekt i simulink	XII
Vedlegg I - Modellering av oppdrettsfisk	XIII
Vedlegg J - Skript for å modellere vekstrate for oppdrettsfisk	XIV
Vedlegg K - Modellering av renseskisk effekt	XV
Vedlegg L - Skript for simulering av modell	XVI
Vedlegg M - Beregning av operasjonelle kostnader	XXII
Vedlegg N - Volum beregning av 160-metring	XXIII
Vedlegg O - Kostestimering hydrogenperoksid 160-metring	XXIV
Vedlegg P - Skript for korrelasjon mellom luse- press og nivåer	XXV
Vedlegg Q - Skretting AS fôrtabell, Atlantisk laks	XXXII
Vedlegg R - Modellert vekst av Atlantisk laks	XXXIII
Vedlegg S - Trend for lusenivåer Finnmark	XXXVIII
Vedlegg T - Trend for lusenivåer Nord-Norge	XXXIX
Vedlegg U - Trend for lusenivåer Sør-Norge	XL
Vedlegg V - Skript benyttet for plotting av tiltak	XLI

A Oppgavebeskrivelse



NTNU Trondheim
Norwegian University of Science and Technology
Department of Marine Technology

Master Oppgave I Marin Teknikk

Våren 2017

For stud.techn.

Erik Andreas Næstvold

Master Oppgave: Simuleringsmodell som beslutningsstøtte for valg av tiltak mot lakselus på lokalitetsnivå

Bakgrunn

Sjømat er en svært viktig næring for Norge og sto for en estimert eksport verdi på NOK 91.6 milliarder i 2016, der oppdrett utgjorde 71.5% av dette beløpet (Fiskeri og Kystdepartementet). På verdensbasis er Norge den største produsenten av Atlantisk laks. I 2016 eksporterte Norge rundt 1 million tonn med Atlantisk laks og ørret, til en verdi av NOK 65.5 milliarder. Næringen ønsker ytterligere vekst med et uttalt mål på fem ganger produsert biomasse i 2050 i forhold til 2015. For å kunne oppnå dette målet er næringen svært avhengig av hvilke tiltak som blir utviklet for å redusere miljøbelastningene som havbruk forårsaker i dag. Siden ingen nye ordinære konsesjoner blir utstedt før miljøbelastningene relatert til oppdrett er tilstrekkelig håndtert. Dette miljøproblemet er hovedsakelig knyttet til lakselusen, *Lepeophtheirus salmonis*, og dens innvirkning på vill og oppdrettet laksefisk.

Lakselusen, *lepephtheirus salmonis*, er nevnt som det største hinderet for videre vekst i norsk oppdrett. Lakselusen er estimert til å ha kostet næringen NOK 2.5 milliarder i 2015 til avlusningstiltak. De samlede direkte kostnader og tapt fortjeneste i 2015 er estimert til NOK 8 milliarder. Tapt biomasse og økt förfaktor er de største kostnadsdriverne. Det er igangsatt et stort antall tiltak for å kontrollere og fjerne lakselusa og disse kan kategoriseres i preventive, medikamentelle og ikke-medikamentelle tiltak. Tiltakene har varierende avlusningseffekt, kostnad og negative effekter på fiskehelsen til behandlet fisk. Benyttelse av tiltak for behandling av lakselus har til nå vært preget av brannslukking fremfor preventiv benyttelse for håndtering av fremtidige lusenivåer.

Lusesituasjonen for Norge i dag tilsier at det er behov for regulering og prosedyrer for lusehåndtering. Mye forskning har blitt gjort for å kartlegge lakselusens spredning og utvikling igjennom dens livssyklus. Lakselusnivåer innmeldt av oppdrettere har blitt gjort tilgjengelig for verden med rapporter datert tilbake til 2012. Förprodusenter har utviklet vekstmodeller for oppdrettsfisk og Veterinærinstituttet har sammenstilt konsekvenser ved anvendelse av en rekke tiltak mot lakselus. Ved å sammenstille etablert kunnskap i en modell, vil en kunne simulere konsekvenser av valg oppdretter må ta igjennom en produksjonssyklus. Produksjonsplaner inklusive valg av tiltak mot lakselus kan dermed bli vurdert ved hjelp av en slik modell før de blir realisert.



Formål

Formålet med denne masteroppgaven er å utvikle og teste en generisk modell av en merd innbefattende oppdrettsfisk, lusepress, lusenivåer, tiltak mot lakselus og deres samvirke. Modellen skal muliggjøre simulering av forskjellige produksjon og kontrollstrategier igjennom en produksjonssyklus for valgt lokalitet. Resultatene fra simulering skal danne estimer av konsekvensene ved benyttelse av tiltak. En vil dermed kunne identifisere tiltak og tidspunkt for anvendelse som vil være mest gunstig for en gitt lokalitet.

Oppgaver

Kandidaten skal/anbefales å dekke følgende oppgaver i Master-oppgaven.

- a. Et utvalg av tiltak relatert til bekjemping av lakselus skal undersøkes med fokus på virkemåte, effekt, restriksjoner ved bruk samt kostnad for benyttelse.
- b. Lusepåslag og nivåer i merd skal bli modellert på bakgrunn av historisk innmeldte nivåer, hydrografiske smittepressmodeller samt biologiske utviklingsmodeller for lakselus .
- c. Vekst og utvikling av Atlantisk laks skal modelleres på bakgrunn av temperatur og størrelse. Modellert antall og størrelse skal danne basis for å simulere biomasseproduksjon igjennom en produksjonssyklus
- d. Benytte ovennevnte informasjon til å sammenstille en generisk simuleringsmodell. Generisk i den form at den enkelt skal kunne beskrive en tilfeldig valgt lokalitet i Norge. Simuleringsmodell siden endel av parametrene er stokastiske.
- e. Velge to til tre lokaliteter og kjøre simulering av en produksjonssyklus for lokalitet ved å benytte den etablerte modellen. Sammenligning av konsekvensene fra historisk gjennomført kontrollstrategi mot foreslått strategi skal deretter utføres.



General

In the thesis the candidate shall present his personal contribution to the resolution of a problem within the scope of the thesis work.

Theories and conclusions should be based on a relevant methodological foundation that through mathematical derivations and/or logical reasoning identify the various steps in the deduction.

The candidate should utilize the existing possibilities for obtaining relevant literature.

The thesis should be organized in a rational manner to give a clear statement of assumptions, data, results, assessments, and conclusions. The text should be brief and to the point, with a clear language. Telegraphic language should be avoided.

The thesis shall contain the following elements: A text defining the scope, preface, list of contents, summary, main body of thesis, conclusions with recommendations for further work, list of symbols and acronyms, reference and (optional) appendices. All figures, tables and equations shall be numerated.

The supervisor may require that the candidate, in an early stage of the work, present a written plan for the completion of the work.

The original contribution of the candidate and material taken from other sources shall be clearly defined. Work from other sources shall be properly referenced using an acknowledged referencing system.

Deliverable

- The thesis shall be submitted in two (2) copies:
- Signed by the candidate
- The text defining the scope included
- In bound volume(s)
- Drawings and/or computer prints that cannot be bound should be organized in a separate folder.
- The bound volume shall be accompanied by a CD or DVD containing the written thesis in Word or PDF format. In case computer programs have been made as part of the thesis work, the source code shall be included. In case of experimental work, the experimental results shall be included in a suitable electronic format.

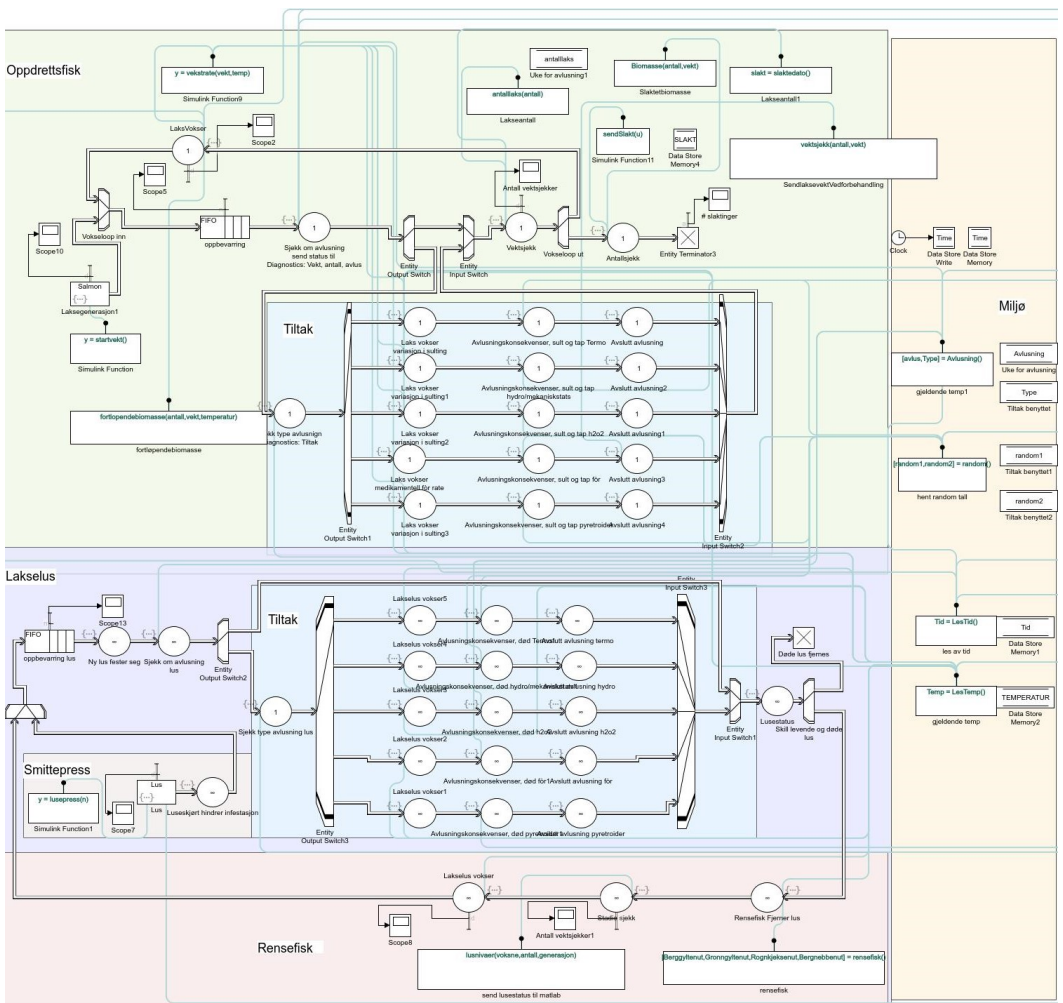
Supervision:

Main supervisor: Bjørn Egil Asbjørnslett.

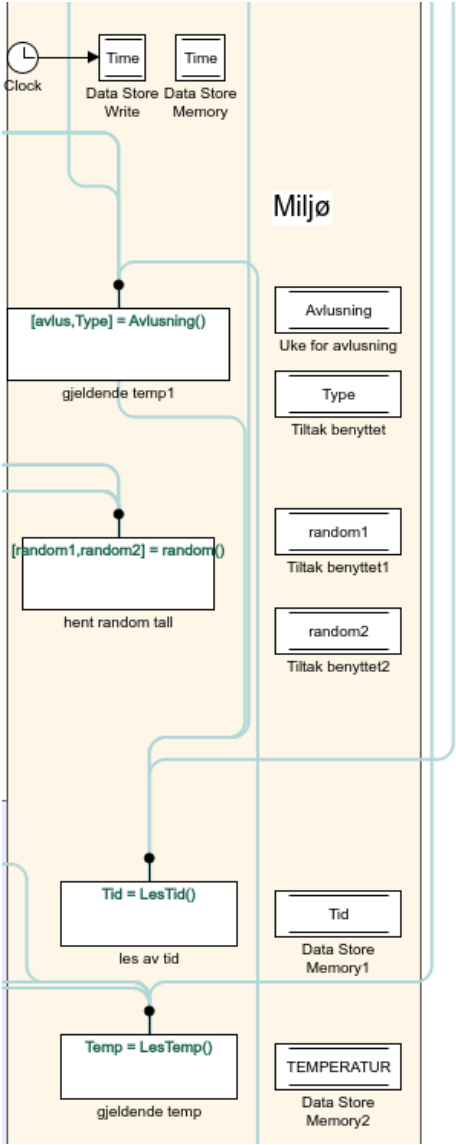
Company contact:

Deadline: 18.06.2017

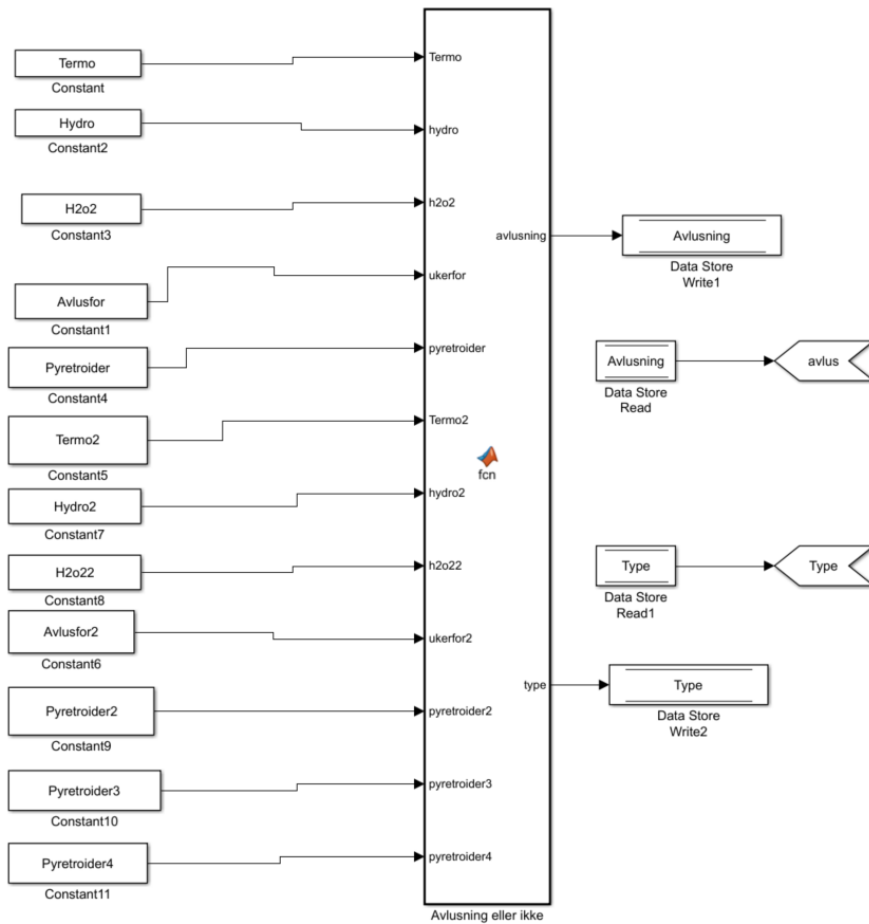
B Simuleringsmodell



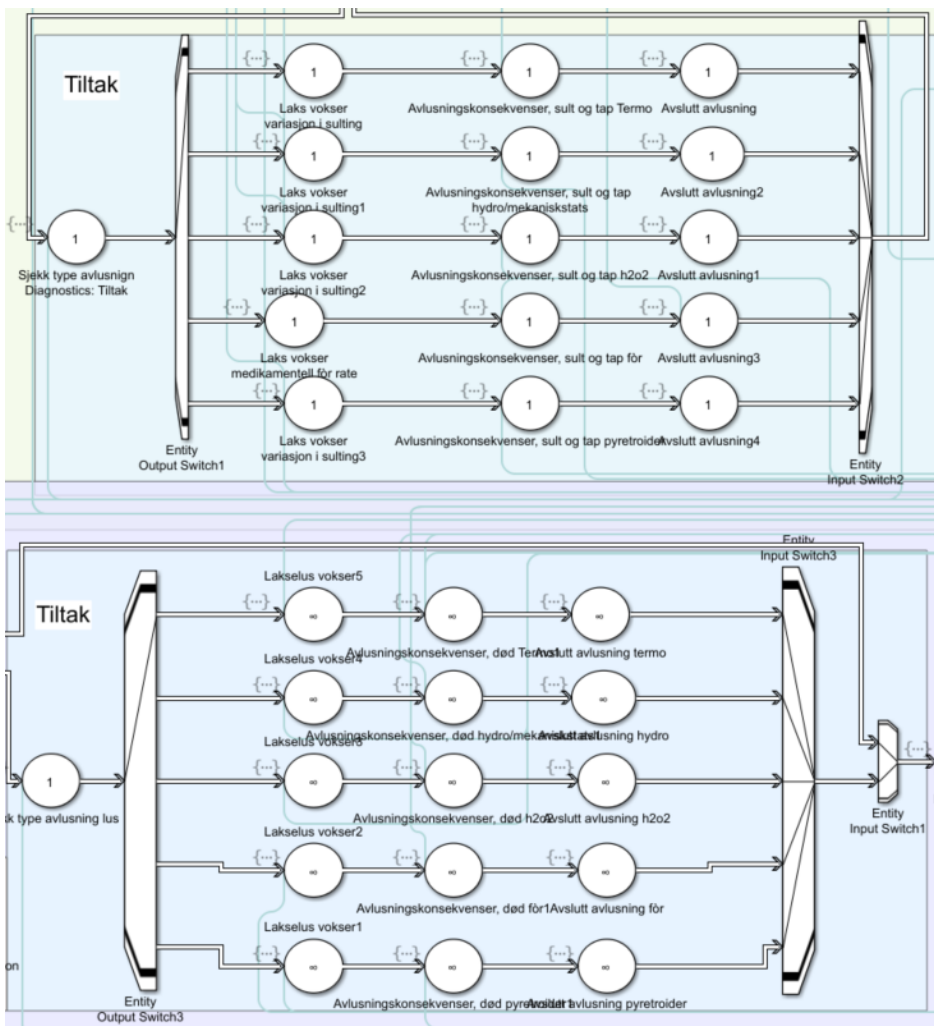
C Modellering av miljø



D Modellering av valgt tiltak mot avlusning, miljø



E Modellering av tiltak



F Skript benyttet for å beregne akutt- og forsinket dødelighet ved anvendelse av tiltak

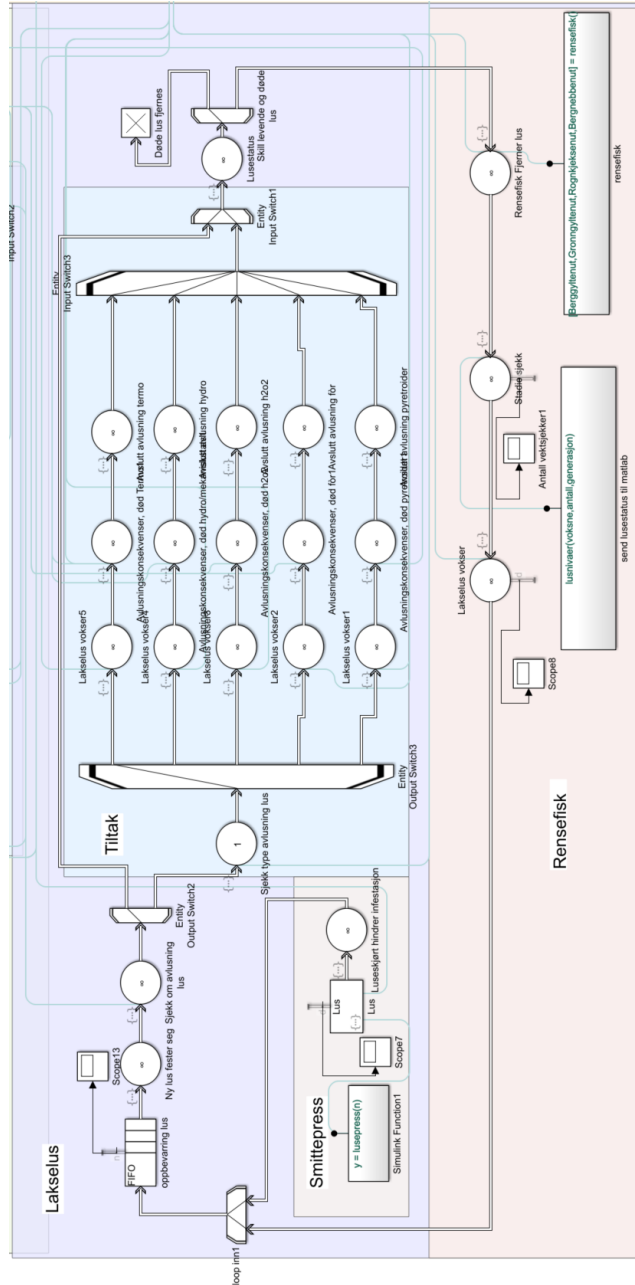
17.06.17 13:47 Untitled 1 of 1

```
% Beregning av Akutt- og forsinket dødelighet ved Førbehandling
[a1,a2]=random();
%generer random tall for dødelighet
%b=a(1,1); % antall sekunder i minuttet SJEKK IOM RIKTIG TALL
%a1=b/60; % Hvilken dødelighet en oppnår akutt
% hvor innenfor prosenten en er
a5=(a1+a2)/2; % Lager random tall akutt
% forsinket
% forsinket
a6=(a1*5+a2*2)/7; %Lager random tall forsinket

if a1>= 0.055 % Akutt dødelighet utregning
    entity.Antall=entity.Antall-entity.Antall*(0.01*a2)
elseif a1>=0.022 && a1<0.055
    entity.Antall=entity.Antall-entity.Antall*(0.01+0.015*a2)
elseif a1>=0.012 && a1<0.022
    entity.Antall=entity.Antall-entity.Antall*(0.025+0.025*a2)
elseif a1>=0.003 && a1<0.012
    entity.Antall=entity.Antall-entity.Antall*(0.05+0.05*a2)
elseif a1>=0.001 && a1<0.003
    entity.Antall=entity.Antall-entity.Antall*(0.01+0.15*a2)
elseif a1>=0 && a1<0.001
    entity.Antall=entity.Antall-entity.Antall*(0.25+0.25*a2)
end

if a5>= 0.069 % Forsinket dødelighet utregning
    entity.Antall=entity.Antall-entity.Antall*(0.01*a6)
elseif a5>=0.029 && a5<0.069
    entity.Antall=entity.Antall-entity.Antall*(0.01+0.015*a6)
elseif a5>=0.018 && a5<0.029
    entity.Antall=entity.Antall-entity.Antall*(0.025+0.025*a6)
elseif a5>=0.006 && a5<0.018
    entity.Antall=entity.Antall-entity.Antall*(0.05+0.05*a6)
elseif a5>=0.002 && a5<0.006
    entity.Antall=entity.Antall-entity.Antall*(0.1+0.15*a6)
elseif a5>=0.001 && a5<0.002
    entity.Antall=entity.Antall-entity.Antall*(0.25+0.25*a6)
elseif a5>=0 && a5<0.001
    entity.Antall=entity.Antall-entity.Antall*(0.5+0.25*a6)
end
```


G Modellering av lakselus, rensefisk og smittepress



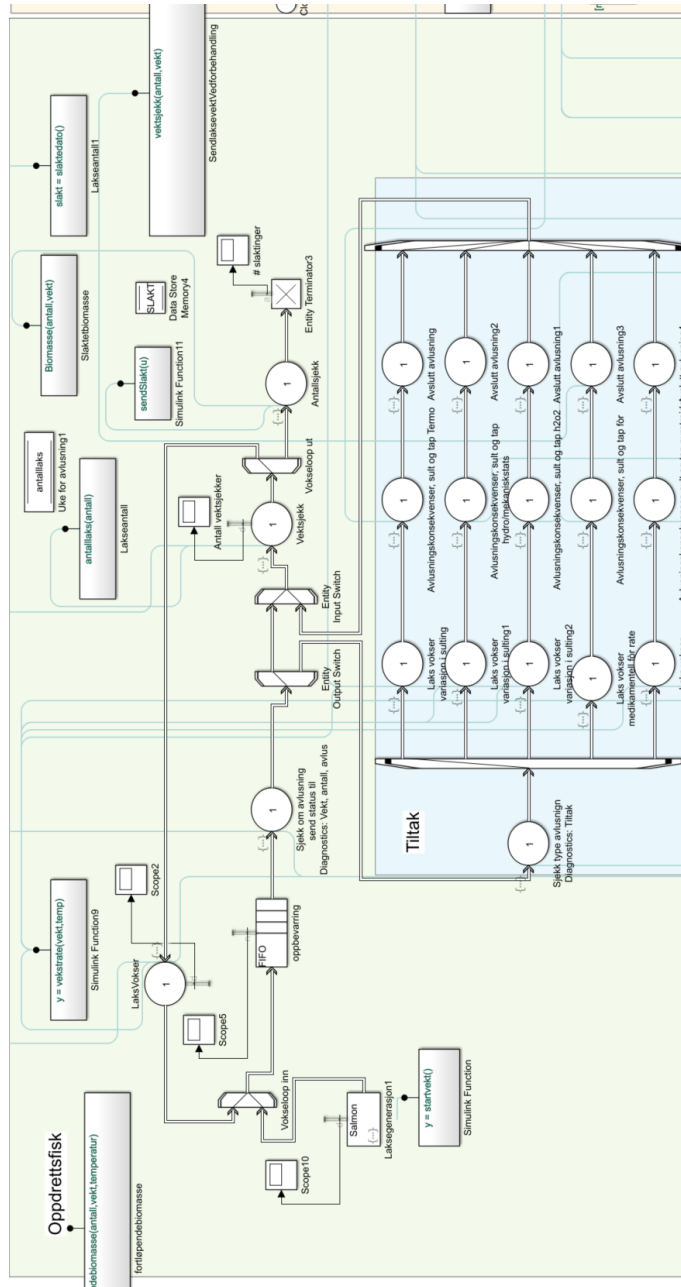
H Skript benyttet for å modellere renseskisk og

17.06 dens:effekt i simulink

1 of 1

```
% Beregning og gjennomføring av avlusning ved renseskisk
persistent effekt Berggylt Gronngylt Rognkjeks Bergnebb temp tuner
if isempty(effekt)
    effekt=0.005;
end
if isempty(Berggylt)
    [Berggylt,Gronngylt,Rognkjeks,Bergnebb]=renseskisk();
    Berggylt=Berggylt;
    Gronngylt=Gronngylt;
    Rognkjeks=Rognkjeks;
    Bergnebb=Bergnebb;
    temp=0;
    tuner=0;
end
tuner=300;
temp=LesTemp();
[Berggylt,Gronngylt,Rognkjeks,Bergnebb]=renseskisk();
entity.Antall;
if temp>=10
if entity.Bevegelige==1
    entity.Antall=entity.Antall - ((Berggylt+Gronngylt*0.6+Bergnebb*0.5+Rognkjeks*0.
8))/tuner;
elseif entity.voksne==1
    entity.Antall=entity.Antall - ((Berggylt*1.3+Gronngylt*0.7+Bergnebb*0.
65+Rognkjeks*1.1))/tuner;
end
elseif temp<10 && temp>=4
    if entity.Bevegelige==1
        entity.Antall=entity.Antall - ((Berggylt+Gronngylt*0.6+Bergnebb*0.5)*(temp/10)
+Rognkjeks*0.8)/tuner;
    elseif entity.voksne==1
        entity.Antall=entity.Antall - ((Berggylt*1.3+Gronngylt*0.7+Bergnebb*0.65)*
(temp/10)+Rognkjeks*1.1)/tuner;
    end
end
elseif temp<4
    if entity.Bevegelige==1
        entity.Antall=entity.Antall - ((Rognkjeks*0.8)/2)/tuner;
    elseif entity.voksne==1
        entity.Antall=entity.Antall - ((Rognkjeks*1.1)/2)/tuner;
    end
end
end
```

I Modellering av oppdrettsfisk



J Skript benyttet for å modellere vekstrate for

17.0 oppdrettsfisk: Simulation m.../MATLAB Function 1 of 1

```
% Bestemmelse av vekstrate på bakgrunn av opplevd temperatur og størrelse,
function vekstrate = fcn(vekt,temp)

persistent fortab numb%fleet
%global D

coder.extrinsic('xlsread')

if isempty(fortab)
    %meeting=1;
    fortab=zeros(35,21);
    numb=xlsread('skrettingfortabell');
    fortab=numb(1:35,1:21);
    %for i=1:35
    %fortab(i,:)=num(i,1:20);
    %end
    % for
end

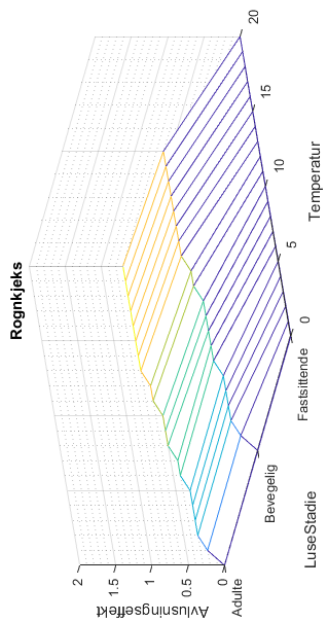
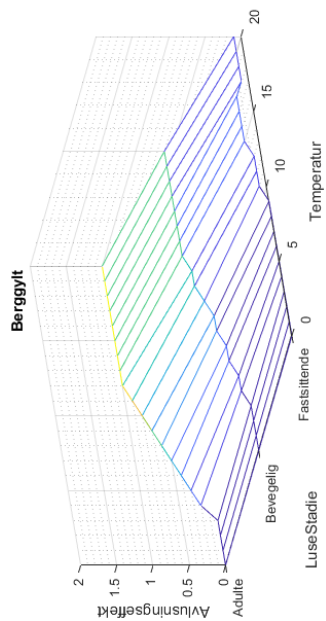
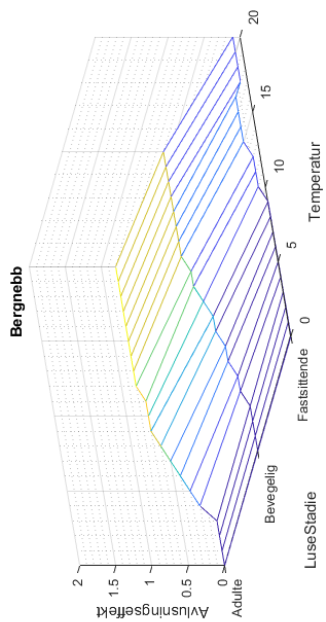
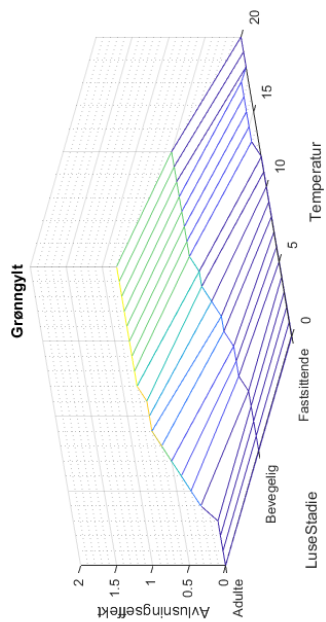
temperatur=round(temp);

% finner tilhørende temperatur i fortab
%A= temperatur==fortab(1,:);
%colnum= find(A==1)
disttemp = abs(fortab(1,:)-temperatur);
[~, min_loctemp] = min(disttemp);
% -----
% finne tilhørende vekt i fortab.
dist = abs(fortab(:,1)-vekt); % Find distance to numbers in list
[~, min_loc] = min(dist); % Find minimum value
if fortab(min_loc)> vekt
    e=min_loc-1;
elseif vekt<=30
    e=2;
else
    e=min_loc;
end
%-----

vekstrate=fortab(e,min_loctemp);

end
```

K Modellering av rensefisk effekt



L Skript benyttet for å kjøre simulering med ønsket kontrollstrategi, for så å plote resultater

17.06.17 14:41 C:\Users\Bjorker\Documents\M... \System.m 4 of 6

```
% LASTER INNN DATA PÅ ANLEGG ØNSKET Å BENYTTJE
%in=''; % ønsket fylke
%-----Finner lokalitets koordinater med tilhørende
lusepress-----
[numl,txt2,rawl] = xlsread('Hella2.xlsx');%('fishhealth.xlsx'); % importerer hele
excel dokumentet
%numl=0;
txtl=0;
p = strcmpi('Nei',rawl(:,8));% Compare user input string with entries in the Excel
sheet
rowNuml = find(p==1);%Get row number
Hordaland=rawl(rowNuml,:);

Temp(:,1)=cell2mat(Hordaland(:,1));
Temp(:,2)=cell2mat(Hordaland(:,16));
Temp(:,3)=cell2mat(Hordaland(:,2));
uke=cell2mat(Hordaland(:,1));

% Kalibrerer smittepress

Spenn= (250*((0.2*Temp(:,2).^2+Temp(:,2) -5))+29500)/3;
Lusepress(:,2)=Spenn;
Lusepress(:,1)=Temp(:,1); % UKer
%-----Husk at det er forskjøvet med 23
uker-----
%for i=1:33
%Lusepress(i,2)=Lusepress(i,2)+1200;
%end
%Lusepress(40,1)=Lusepress(40,1)+1000;
%Lusepress(41,2)=Lusepress(41,2)+3000;
%Lusepress(42,2)=Lusepress(42,2)+ 3900;
Lusepress(50,2)=Lusepress(50,2)- 4000;
Lusepress(51,2)=Lusepress(51,2)- 5600;
Lusepress(52,2)=Lusepress(52,2)- 3000;
Lusepress(59,2)=Lusepress(59,2)- 2000;
Lusepress(60,2)=Lusepress(60,2)- 2600;
Lusepress(61,2)=Lusepress(61,2)- 2000;
Lusepress(62,2)=Lusepress(62,2)- 1000;
for i=1:35
    Lusepress(i,2)=Lusepress(i,2)+7000;
    %Lusepress(i,2)=Lusepress(10+i,2)+4000;
end
%Lusepress(70,2)=Lusepress(70,2)+100;
%Lusepress(71,2)=Lusepress(71,2)+100;
%Lusepress(72,2)=Lusepress(72,2)+100;
%Lusepress(73,2)=Lusepress(73,2)+100;
%Lusepress(74,2)=Lusepress(74,2)+100;
%Lusepress(75,2)=Lusepress(75,2)+100;

%OPEN SIMULATION MODEL
presset=size(Lusepress(:,2));
Lusepressstorrelse=presset(1,1);
```



```
open_system('Simulation_model')

%TURN OFF WARNINGS:
%w=warning('off','all');

% RUN SIMULATION MODEL:

%simplify model name
model = 'Simulation_model';

%Set simulation time
set_param(model, 'StopTime','20000')

% Sender inn random tall
random1=rand(1);
ran=clock;
random2=ran(1,6)/60;
%-----
startvekt=50; % er dette som blir variablene
utsettsdato=datetime(2015,05,10); % sett inn utsettsdato
utsettsuke=week(utsettsdato);
slaktdato=82; % utsettsuke + antall uker oppdrett

%   for Term=13:86
%       for Hyd=13:86
%           for H2=13:86

%.....Avlusnings tiltak og uke for gjennomføring.....
Pyretroider=[49] %67] %67];%;
Pyretroider2=[63];
Pyretroider3=[0];%;
Pyretroider4=[0];%;
Termo=[0];
Termo2=[0];
Hydro=[0] %60] %60];
Hydro2=[0] %76] %76];
Avlusfor=[28] %23]; %23;
Avlusfor2=[36];%;
H2o2=[74] %52]; %52];
H2o22=[0];

%.....

% Data for rensefisk
Berggylt1=16000 %1327/4;
Gronngylt1=0 %40515/4;
Rognkjeks1=0 %22000/4;
Bergnebb1=0 %1647/4;
utsett1=35; %Utsettsuke

% Påfyll 1 av rensefisk
Berggylt2=4000;
```

```

Gronngylt2=0;
Rognkjeks2=0%58000/4;
Bergnebb2=0;
utsett2=55; %Utsettsuke 2

% Påfyll 2 av rensfisk
Berggylt3=0;
Gronngylt3=0;
Rognkjeks3=0;
Bergnebb3=0;
utsett3=60; %Utsettuke 3

% alle konstanter lastet inn, kjør simulering
sim(model)
%.....Beregner kostnader ved implementerte tiltak.....
[Pyrbrukt,Termobrukt,Hydrobrukt,H2o2brukt]=antallavlus(Pyretroider,Pyretroider2,
Pyretroider3,Pyretroider4, Termo,Termo2,Hydro,Hydro2,H2o2,H2o22);

%Stoff kostnader
StoffPyr=Pyrbrukt*25000;
StoffH2o2=H2o2brukt*250000;

%Operasjonskostnader
OpPyr=Pyrbrukt*63000;
OpH2o2=H2o2brukt*125000;
OpTermo=Termobrukt*125000;
OpHydro=Hydrobrukt*125000;

H2o2kostnader=StoffH2o2+OpH2o2;
Pyrkostnader=StoffPyr+OpPyr;
Hydrokostnader=OpHydro;
Termokostnader=OpTermo;

%.....Forkostnader.....
if Avlusfor >0
    Avlusforbrukt=1;
    forkost1=3*14*6*biomassel(1,1)/(1000000*2);
else
    Avlusforbrukt=0;
    forkost1=0;
end
if Avlusfor2>0
    Avlusforbrukt=Avlusforbrukt+1;
    forkost2=3*14*6*biomasse2(2,1)/(1000000*2);
else
    Avlusforbrukt=0;
    forkost2=0;
end

forkost=forkost1+forkost2;

```

```
Avlusningskostnader=forkost+Termokostnader+Hydrokostnader+Pyrkostnader+H2o2kostnade
r;
```

```
%.....
%-----
%-----Rensefisk kostnader-----
%-----
```

```
% Data for rensefisk
Berggyltkost=Berggylt1*22;
Gronngyltkost=Gronngylt1*11.6;
Rognkjekskost=Rognkjeks1*17.15;
Bergnebbkost=Bergnebb1*10.16;
```

```
% Påfyll 1 av rensefisk
Berggyltkost=Berggyltkost+Berggylt2*22;
Gronngyltkost=Gronngyltkost+Gronngylt2*11.6;
Rognkjekskost=Rognkjekskost+Rognkjeks2*17.15;
Bergnebbkost=Bergnebbkost+Bergnebb2*10.16;
```

```
% Påfyll 2 av rensefisk
Berggyltkost=Berggyltkost+Berggylt3*22;
Gronngyltkost=Gronngyltkost+Gronngylt3*11.6;
Rognkjekskost=Rognkjekskost+Rognkjeks3*17.15;
Bergnebbkost=Bergnebbkost+Bergnebb3*10.16;
```

```
Rensefiskinnkjop=Berggyltkost+Gronngyltkost+Rognkjekskost+Bergnebbkost;
AntallRensefisk1=(Berggylt1+Gronngylt1+Rognkjeks1+Bergnebb1);
AntallRensefisk2=(Berggylt2+Gronngylt2+Rognkjeks2+Bergnebb2);
AntallRensefisk3=(Berggylt3+Gronngylt3+Rognkjeks3+Bergnebb3);
if max([AntallRensefisk1,AntallRensefisk2,AntallRensefisk3])>=400
Skjulogrenskost=300000;
elseif max([AntallRensefisk1,AntallRensefisk2,AntallRensefisk3])>=200
Skjulogrenskost=200000;
elseif max([AntallRensefisk1,AntallRensefisk2,AntallRensefisk3])==0
Skjulogrenskost=0;
else
Skjulogrenskost=100000;
end
```

```
Rensefiskkostnad=Skjulogrenskost+Rensefiskinnkjop;
%-----Rensefisk kostnader slutt-----
%-----
```

```
%-----Totale kostnader-----
%-----
Totalekostnader=Rensefiskkostnad+Avlusningskostnader
Salglaks=biomasseslutt*55
```

```
Overskudd=Salglaks-Totalekostnader
clear grense;
grensen=size(fortlopendeantall);
grense(1:grensen(1,1),1)=0.5;
```

```

% plottting-----
figure

subplot(2,2,1);
grid on
axis([20 82 0 0.7])
hold on
plot(Uke,lusniva,fortlopendeuke,grense);title('Usikkerhet i resultater');ylabel(
('Gjennomsnitt voksne hunnplus');xlabel('Uker i 2015 og 2016');xticks([20 25 30 35
40 45 50 55 60 65 70 75 80])
xticklabels({'20','25','30','35','40','45','50','3','8','12','17','22','27'})
hold off
%,Ukel,lusnival,Uke2,lusniva2,Uke3,lusniva3,Uke4,lusniva4

subplot(2,2,2);
grid on
axis([20 82 0 6000])
hold on
plot(fortlopendeuke,fortlopendevekt);title('Gjennomsnittlig vekt oppdrettsfisk');
ylabel('Vekt gramxlabel');xlabel('Uker i 2015 og 2016');xticks([20 25 30 35 40 45
50 55 60 65 70 75 80])
xticklabels({'20','25','30','35','40','45','50','3','8','12','17','22','27'});
legend('50g','100g','200g')
hold off

%fortlopendeuke,fortlopendevekt1,fortlopendeuke,fortlopendevekt2,fortlopendeuke,
fortlopendevekt3
%subplot(2,1,2);
%grid on
%axis([20 82 180000 200000])
%hold on
%plot(fortlopendeuke,fortlopendeantall,fortlopendeuke1,fortlopendeantall1,
fortlopendeuke2,fortlopendeantall2,fortlopendeuke3,fortlopendeantall3,
fortlopendeuke4,fortlopendeantall4);title(' ');ylabel('Antall oppdrettsfisk');
xlabel('Uker i 2015 og 2016');xticks([20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80])
%xticklabels({'20','25','30','35','40','45','50','3','8','12','17','22','27'})%;
legend('50g','100g','200g')
%hold off
%fortlopendeuke,erik50,fortlopendeuke,erik100
%forlopendevekt

subplot(2,2,3);
grid on
axis([20 82 0 20])
hold on
plot(fortlopendeuke,fortlopendetemperatur);title('Temperatur');ylabel('Temperatur i
grader celsius');xlabel('Uker i 2015 og 2016');xticks([20 25 30 35 40 45 50 55 60
65 70 75 80 ])
xticklabels({'20','25','30','35','40','45','50','3','8','12','17','22','27'})

```

```
hold off
```

```
ant=size(Lusepress(:,2));
```

```
ant1=flip(Lusepress);
```

```
subplot(2,2,4);
```

```
grid on
```

```
axis([20 82 0 20000])
```

```
hold on
```

```
plot(20:Lusepressstorrelse+19,ant1(:,2));title('Lusepress ved én merd');ylabel('Antall kopepoditter');xlabel('Uker i 2015 og 2016');xticks([20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 ])
```

```
xticklabels({'20','25','30','35','40','45','50','3','8','12','17','22','27'})
```

```
hold off
```

M Beregning av operasjonelle kostnader

	Arbeidsbåt	Behandlingsbåt	timer per avlusning	min	maks
per dag	kr	70 000,00	oksygen per	kr	5 000,00
Mannskap	kr	300,00	presenning per	kr	3 000,00
timeslønn	kr	300,00		kr	3 000,00

mannskap trengt ved hver behandlingsform

	H202	Brønnbåt	ikke-med
Maks	8,00	13,00	10,00
min	6,00	11,00	8,00

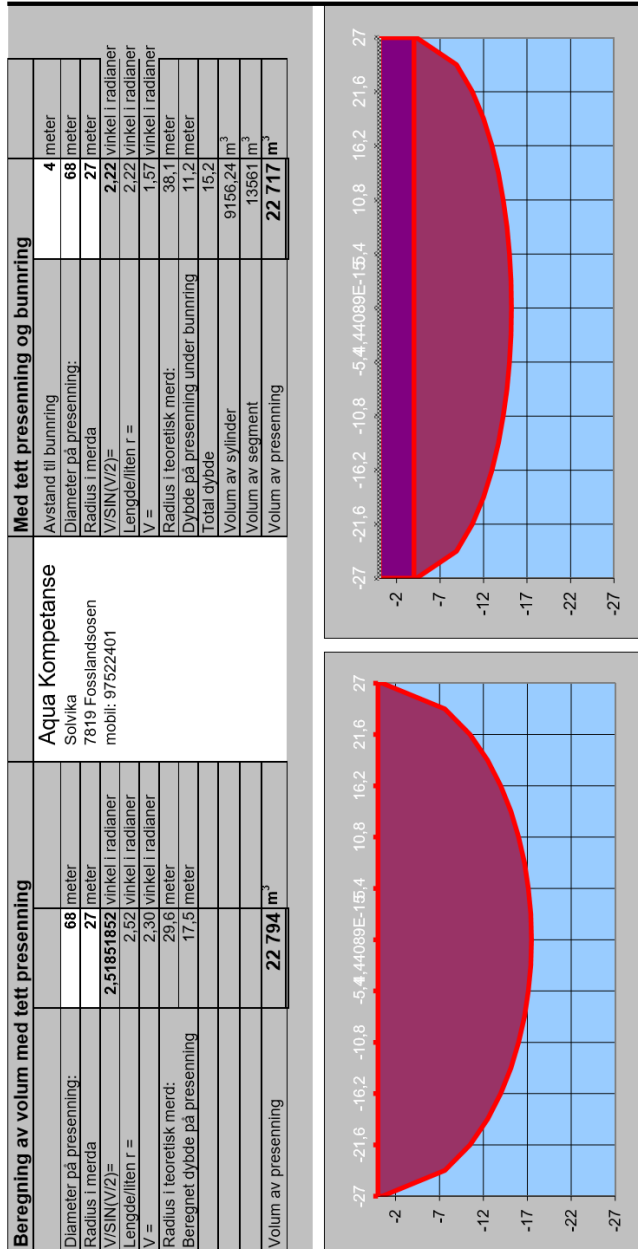
operasjonelle kostnader

	min	maks	min	maks
En behandling	kr	152 800,00	kr	67 400,00
To behandlinger p	kr	206 800,00	kr	122 400,00
per merd	kr	103 400,00	kr	61 200,00

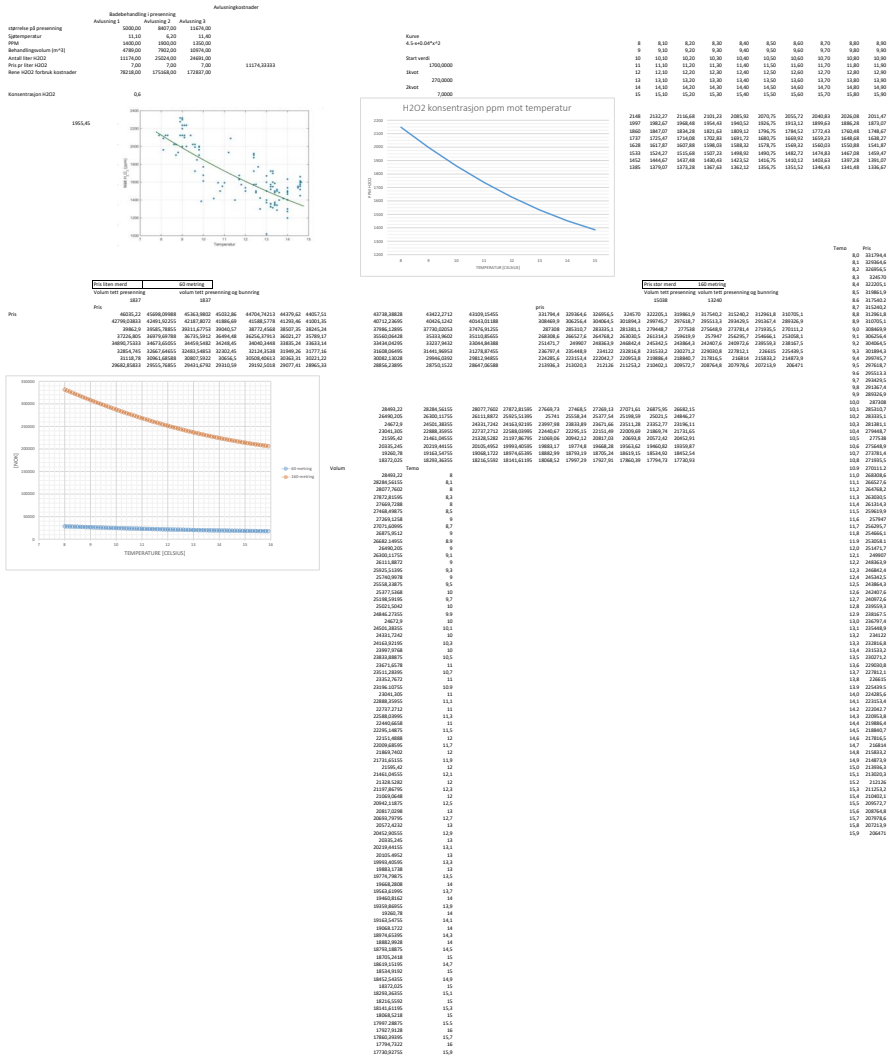
Operasjonell kostnad per behandling [NOK]

hydrogenperoksid	andre medikamentelle	ikke-medikamentelle tiltak
kr 102 450,00	kr 60 100,00	kr 93 950,00
	kr 66 200,00	kr 142 900,00

N Volum Beregning 160-metring for hydrogenperoksid kost estimering



O Kostestimering brukt hydrogenperoksid en av-lusning 160-metring



P Skript benyttet for korrelasjonsberegninger mellom lusepress og lusenivåer

```
copfile=['Cop_2016_P1.nc'];
% filen inneholder Kopepoditter for alle kvadrater

ladim_start = ncreadatt(copfile,'time','units') % Finner tidspunktet
da vi startet ladim

%LASTER INN VARIABLE
conc=ncread(copfile,'conc'); %conc er antall smittsomme luselarver som
har vært innom gridruten i løpet av et døgn
lon=ncread(copfile,'lon'); % lengdegrad
lat=ncread(copfile,'lat'); % breddegrad

% REGNER OM
%conc_1=sum(conc(:,:,01:90),3); % summerer over den aktuelle
perioden 1:90 altså alle dager
%conc_2=conc_1./(800*800*24); % rekner om til per m2 per døgn

in='Nordland'; % ønsket fylke
%-----Finner lokalitets koordinater med tilhørende
lusepress-----
[num1,txt2,raw1] = xlsread('lakselushele2016');%('fishhealth.xlsx'); %
importerer hele excel dokumentet
%num1=0;
txt1=0;
p = strcmpi(in,raw1(:,11));% Compare user input string with entries in
the Excel sheet
rowNum1 = find(p==1);%Get row number
Hordaland=raw1(rowNum1,:);

%Fjerner brakklagte anlegg
p2 = strcmpi('Nei',Hordaland(:,8));% Compare user input string with
entries in the Excel sheet
rowNum2 = find(p2==1);%Get row number
Hordalandaktiv=Hordaland(rowNum2,:);

% Etablerer start for sjekk om informasjon er tilgjengelig for data
vektor
Voksnelusregistrert=zeros(80,1);
Tempregistrert=zeros(80,1);
Bevegligeregistrert=zeros(80,1);
Fastsittende=zeros(80,1);
Tiltakregistrert=zeros(80,1);
%-----

% finner alle lokalitets navn ;
a=unique( Hordalandaktiv(:,4) );
AntallAnlegg=size((a));
```

```

Region=cell(AntallAnlegg(1,1),8); %lager tom matrise på størrelse med
    antall anlegg
Region(:,1)=Hordalandaktiv(1,11); %benevner alle med fylke
Region(:,2)=unique( Hordalandaktiv(:,4) ); % setter inn lokalitet
rader=size(Hordalandaktiv);
Regionen=cell(rader(1,1),17);
% etablerer matrise med all data fra alle anlegg
Plassmatrise=0; %Holde trinn med plassering av lokaliteter

[num,txt,row2] = xlsread('tiltak.xlsx'); % importerer hele excel
dokumentet til tiltak

for i=1:AntallAnlegg(1,1)    %tar ett og ett anlegg fra "Region"

    p3 = strcmpi(char(Region(i,2)),Hordalandaktiv(:,4)); % finner
    hvor info om anlegg ligger
    rowNum3 = find(p3==1);
    Lokalitetinfo=Hordalandaktiv(rowNum3,:); %Lager matrise
    innebefattende all info om lokalitet

%----henter press for gitt lokalitet----
% sett inn koordinater for lokasjon
latlok=cell2mat(Lokalitetinfo(1,12));%    64.81013;
lonlok=cell2mat(Lokalitetinfo(1,13));%    10.74565;

%Finner lateral lokasjon i matrise
distlat = abs(lat-latlok)+abs(lon-lonlok); % Find distance to numbers
in list, denne er fin
[~, min_latrow] = min(distlat); % finner rad nummer for hver kollones
minste differanse
X=min(distlat); % returnerer minste differanse for alle kolonner
[~, min_latrow2] = min(X); % finner kolonne nummer
kolonne=min_latrow2; %Lager nytt navn for kolonne
rad=min_latrow(kolonne);% finner rad nummer
%Lager matrise med Kopepodittpress for lokasjon gjennom syklus---
Kopepoditter=zeros(90,1);
for kop=1:89
Kopepoditter(kop,1)=(sum(conc(rad,kolonne,kop:kop+1),3)/24); %dytter
    inn tilhørende kopepodittniv
%if sum(Kopepoditter)==0 % sjekker om rubrikk er utenfor kopepoditt
    simulert press
%    testkop(1,1)=distlat(rad,kolonne+1);
%    testkop(2,1)=distlat(rad,kolonne-1) ;
%    testkop(3,1)=distlat(rad+1,kolonne);    %Jobb videre med eventuelt.
    er
%    vanskelig?
%    testkop(4,1)=distlat(rad-1,kolonne);

```

```

end
for mer=1:340 %fyll i matrise ved manglende verdier
    Kopepoditter(90+mer,1)=0;
end
%-----
storrelse=size(Lokalitetinfo); %Antall uker med info
Startuke=cell2mat(Lokalitetinfo(storrelse(1,1),1)); %finner første uke
med info

% lager matrise for anlegg for gjennomførte tiltak

    p4 = strcmpi(char(Lokalitetinfo(1,4)),raw2(:,4)); % finner hvor
info om anlegg ligger
    rowNum3 = find(p4==1);
    tiltakstr=size(rowNum3);
    Tiltak=cell(tiltakstr(1,1),4);
    Tiltak(:,1)=raw2(rowNum3,1);
    Tiltak(:,2)=raw2(rowNum3,4);
    Tiltak(:,3)=raw2(rowNum3,5);
    Tiltak(:,4)=raw2(rowNum3,8);

for j=1:storrelse(1,1)
    %i
    %j
    % ppt=Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j+1)
    Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),1)=Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j+1),11); %Fylkenavn
    Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),2)=Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j+1),4); %Lokalitetsnavn
    Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),3)=Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j+1),12); %Latitude
    Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),4)=Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j+1),13); %longitude
    Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),5)=Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j+1),1); %Uke

    %legger inn tiltak
    for y=1:tiltakstr(1,1)
        if cell2mat(Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),5))==cell2mat(Tiltak(y,1)) && cell2mat(Tiltak(y,4))>=0
            Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j+1),17)=num2cell(0);
        elseif cell2mat(Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),5))==cell2mat(Tiltak(y,1))
            Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j+1),17)=num2cell(1);
        else
            Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j+1),17)=num2cell(0);
        end
    end

    %Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),10)=Tiltak((storrelse(1,1)-j+1),3); %Uke

```

```

    %Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),11)=Tiltak((storrelse(1,1)-j+1),4); %Uke
    % Fjern NaN fra matrise-----
    if 0<=cell2mat(Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j+1),16)) %
TEMPERATUR
        % (Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j+1),16))== 'NaN'
        Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),6)=Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j+1),16); %Temp
        else
            Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),6)=num2cell(0); %Fjerner NaN fra ligninger
            Tempregistrert(cell2mat(Regionen(Plassimatrise
+(storrelse(1,1)-j
+1),5)),1)=Tempregistrert(cell2mat(Regionen(Plassimatrise
+(storrelse(1,1)-j+1),5)),1)+1;
        end
        if 0<=cell2mat(Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j
+1),5)) %VOKSNEHUNNLUS
            % (Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j+1),16))== 'NaN'
            Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),7)=Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j+1),5);
            else
                Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),7)=num2cell(0); %Fjerner NaN fra ligninger
                Voksnelusregistrert(cell2mat(Regionen(Plassimatrise
+(storrelse(1,1)-j
+1),5)),1)=Voksnelusregistrert(cell2mat(Regionen(Plassimatrise
+(storrelse(1,1)-j+1),5)),1)+1;
            end

            if 0<=cell2mat(Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j
+1),6)) %Bevegeligelus
                % (Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j+1),16))== 'NaN'
                Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),8)=Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j+1),6);
                else
                    Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),8)=num2cell(0); %Fjerner NaN fra ligninger
                    Bevegligeregistrert(cell2mat(Regionen(Plassimatrise
+(storrelse(1,1)-j
+1),5)),1)=Bevegligeregistrert(cell2mat(Regionen(Plassimatrise
+(storrelse(1,1)-j+1),5)),1)+1;
                end

                if 0<=cell2mat(Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j
+1),7)) %Fastsittende
                    % (Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j+1),16))== 'NaN'
                    Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),9)=Lokalitetinfo((storrelse(1,1)-j+1),7);
                    else
                        Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),9)=num2cell(0); %Fjerner NaN fra ligninger
                        Fastsittende(cell2mat(Regionen(Plassimatrise
+(storrelse(1,1)-j

```

```

+1),5)),1)=Fastsittende(cell2mat(Regionen(Plassimatrise
+(storrelse(1,1)-j+1),5)),1)+1;
    end

    if cell2mat(Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j+1),17))==1
        if cell2mat(Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),17))==0
            Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),17)=Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j+1),17);
        end
    else
        Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j+1),17)=num2cell(0);
        %Tiltakregistrert(cell2mat(Regionen(Plassimatrise
+(storrelse(1,1)-j
+1),5)),1)=Tiltakregistrert(cell2mat(Regionen(Plassimatrise
+(storrelse(1,1)-j+1),5)),1)+1;

    end

    if cell2mat(Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j+1),5))==14
        for e=1:7 %Legger til kop nivåer for uken, 7 verdier.
            Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),9+e)=num2cell(Kopepoditter((Startuke)+e+(7*(j-1)),1)); % legg inn
tilleggsmatriser for korrelasjons testing
            % Regionen(Plassimatrise+(storrelse(1,1)-j
+1),9+e)=num2cell(Kopepoditter((Startuke-13)+e+(7*(j-1)),1)); % legg
inn tilleggsmatriser for korrelasjons testing
        end
    end
    % pp=Plassimatrise+j
    % ppr=9+e
    % ppe=Startuke-13+e+(7*(j-1))

    Regionen(Plassimatrise
+j,18)=num2cell(distlat(rad,kolonne)); %avvik for lokasjon
end
Plassimatrise=Plassimatrise+storrelse(1,1);% starter med å være 0

end % End stor løkke

% Lager fylkes oversikt
sammendrag=zeros(1,13);
for i=14:52%26

matrisefinner= find(cell2mat(Regionen(:,5))==i);
antall=size(matrisefinner);

Sammendrag(i-12,1)=(sum(cell2mat(Regionen(matrisefinner,4+1))))/
(antall(1,1));

```

```

Sammendrag(i-12,2)=(sum(cell2mat(Regionen(matrisefinner,4+2)))/
(antall(1,1)-Tempregistrert(i,1)));
Sammendrag(i-12,3)=(sum(cell2mat(Regionen(matrisefinner,4+3)))/
(antall(1,1)-Voksnelusregistrert(i,1)));
Sammendrag(i-12,4)=(sum(cell2mat(Regionen(matrisefinner,4+4)))/
(antall(1,1)-Bevegligregistrert(i,1)));
Sammendrag(i-12,5)=(sum(cell2mat(Regionen(matrisefinner,4+5)))/
(antall(1,1)-Fastsittende(i,1)));
Sammendrag(i-12,17)=(sum(cell2mat(Regionen(matrisefinner,17))));
for j=6:12
Sammendrag(i-12,j)=(sum(cell2mat(Regionen(matrisefinner,4+j)))/
(antall(1,1)));
end
Sammendrag(i-12,13)=sum(Sammendrag(i-12,7:12));
end

figure
grid on
grid minor
axis([12 52 0 inf])
title('Lusepress, Lusenivåer og Temperatur for Sogn og Fjordane')

yyaxis left
%bar(x1,d,1,'FaceColor',[0 0.7 0.99])
plot(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,13))

%bar(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,13),0.99,'FaceColor',[0 0 0])
ylabel('Kopepoditter per 800*800 m^2 for Hordaland')
xlabel('Uke i 2016')

yyaxis right
%bar(x1,a+b+c,0.99,'Facecolor',[0 0.7 0.6])
%plot(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,3))
%ylabel('Antall lus per fisk')

hold on
plot(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,2))

bar(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,3),0.7,'FaceColor',[0.4 0.8 0.1])
bar(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,4),0.5,'FaceColor',[0.3 0.5 0.7])
bar(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,5),0.3,'FaceColor',[0.8 0.2 0.9])
ylabel('Antall lus per fisk')

legend('Lusepress','Temperatur','Voksne hunn lus','Lus i Bevegelig
stadier','Fastsittende lus')
%plot(Lusetall(:,1),Lusetall(:,2),Lusetall(:,1),Lusetall(:,3),Lusepress(:,1),Lusep

hold off

figure
grid on
grid minor

```

```

axis([12 52 0 inf])
title('Lusenivåer for Nordland')
hold on

yyaxis left
%bar(x1,d,1,'FaceColor',[0 0.7 0.99])
%plot(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,13))
%plot(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,2))
plot(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,17))
ylabel('Aktive Tiltak mot lakselus')
xlabel('Uke i 2016')

yyaxis right
bar(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,3),0.7,'FaceColor',[0.4 0.8 0.1])
bar(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,4),0.5,'FaceColor',[0.3 0.5 0.7])
bar(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,5),0.3,'FaceColor',[0.8 0.2 0.9])

%bar(alpha(s,.5))
ylabel('Antall lus per fisk')

legend('Tiltak','Voksne hunnlus','Lus i Bevegelig
stadier','Fastsittende lus')
%plot(Lusetall(:,1),Lusetall(:,2),Lusetall(:,1),Lusetall(:,3),Lusepress(:,1),Lusep
hold off

subplot(2,2,1); plot(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,17))
ylabel('Aktive Tiltak mot lakselus');xlabel('Uke i 2016')

%bar(x1,d,1,'FaceColor',[0 0.7 0.99])
%plot(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,13))
%plot(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,2))

subplot(2,2,2) ;bar(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,3),0.7,'FaceColor',
[0.4 0.8 0.1]);bar(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,4),0.5,'FaceColor',
[0.3 0.5 0.7]);bar(Sammendrag(:,1),Sammendrag(:,5),0.3,'FaceColor',
[0.8 0.2 0.9])
ylabel('Antall lus per fisk')

legend('Tiltak','Voksne hunnlus','Lus i Bevegelig
stadier','Fastsittende lus')
%plot(Lusetall(:,1),Lusetall(:,2),Lusetall(:,1),Lusetall(:,3),Lusepress(:,1),Lusep

```

Published with MATLAB® R2017a

Q Skretting AS fortabell, Atlantisk laks

gram/vemq	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	FFbio	Akk. Ffb
30	0.17	0.33	0.51	0.7	0.86	1.09	1.29	1.49	1.69	1.89	2.08	2.26	2.42	2.57	2.68	2.75	2.78	2.74	2.63	2.42	2.08	0.81
100	0.12	0.29	0.48	0.67	0.86	1.06	1.25	1.44	1.62	1.79	1.95	2.09	2.21	2.31	2.38	2.41	2.39	2.32	2.18	1.98	1.58	0.81
200	0.12	0.28	0.45	0.62	0.8	0.98	1.15	1.32	1.49	1.64	1.77	1.89	1.99	2.07	2.12	2.14	2.12	2.05	1.93	1.75	1.57	0.82
300	0.11	0.25	0.41	0.57	0.73	0.9	1.06	1.21	1.36	1.49	1.61	1.72	1.81	1.88	1.92	1.94	1.91	1.85	1.74	1.57	1.44	0.83
400	0.1	0.23	0.37	0.52	0.67	0.83	0.97	1.12	1.25	1.37	1.48	1.58	1.66	1.72	1.76	1.77	1.75	1.69	1.59	1.44	1.28	0.84
500	0.09	0.21	0.34	0.48	0.62	0.77	0.9	1.04	1.16	1.27	1.37	1.46	1.54	1.59	1.63	1.63	1.61	1.56	1.47	1.32	1.16	0.84
600	0.08	0.19	0.32	0.45	0.58	0.71	0.84	0.97	1.08	1.19	1.28	1.36	1.43	1.48	1.51	1.52	1.5	1.45	1.36	1.23	1.05	0.88
700	0.07	0.18	0.29	0.42	0.54	0.67	0.79	0.91	1.02	1.12	1.2	1.28	1.34	1.39	1.42	1.42	1.41	1.36	1.27	1.15	0.96	0.87
800	0.06	0.16	0.27	0.39	0.51	0.63	0.75	0.86	0.96	1.05	1.14	1.21	1.27	1.31	1.34	1.34	1.32	1.28	1.2	1.08	0.87	0.87
900	0.05	0.15	0.26	0.37	0.48	0.6	0.71	0.81	0.91	1	1.08	1.14	1.2	1.24	1.26	1.27	1.25	1.21	1.13	1.02	0.88	0.87
1000	0.05	0.14	0.24	0.35	0.46	0.57	0.67	0.77	0.87	0.95	1.03	1.09	1.14	1.18	1.2	1.2	1.19	1.15	1.07	0.97	0.88	0.87
1100	0.04	0.13	0.23	0.33	0.44	0.54	0.64	0.74	0.83	0.91	0.98	1.04	1.09	1.12	1.14	1.15	1.13	1.09	1.02	0.92	0.89	0.88
1200	0.04	0.12	0.22	0.32	0.42	0.52	0.62	0.71	0.79	0.87	0.94	1	1.04	1.07	1.09	1.1	1.08	1.04	0.98	0.88	0.88	0.9
1300	0.04	0.12	0.21	0.3	0.4	0.5	0.59	0.68	0.76	0.84	0.9	0.96	1	1.03	1.05	1.05	1.03	1	0.93	0.84	0.84	0.91
1400	0.03	0.11	0.2	0.29	0.38	0.48	0.57	0.65	0.73	0.8	0.87	0.92	0.96	0.99	1.01	1.01	0.99	0.96	0.9	0.8	0.8	0.91
1500	0.03	0.11	0.19	0.28	0.37	0.46	0.55	0.63	0.71	0.78	0.84	0.89	0.93	0.95	0.97	0.97	0.96	0.92	0.86	0.77	0.92	0.89
1600	0.03	0.1	0.18	0.27	0.36	0.45	0.53	0.61	0.68	0.75	0.81	0.86	0.89	0.92	0.94	0.94	0.89	0.83	0.74	0.93	0.89	0.89
1700	0.03	0.1	0.18	0.26	0.35	0.43	0.51	0.59	0.66	0.73	0.78	0.83	0.86	0.89	0.9	0.91	0.89	0.86	0.8	0.72	0.94	0.89
1800	0.03	0.09	0.17	0.25	0.33	0.42	0.5	0.57	0.64	0.71	0.76	0.8	0.84	0.86	0.88	0.88	0.86	0.83	0.77	0.69	0.95	0.89
1900	0.03	0.09	0.16	0.24	0.33	0.41	0.49	0.56	0.63	0.69	0.74	0.78	0.81	0.84	0.85	0.85	0.83	0.8	0.75	0.67	0.95	0.9
2000	0.03	0.09	0.16	0.24	0.32	0.4	0.47	0.54	0.61	0.67	0.72	0.76	0.79	0.81	0.82	0.82	0.81	0.78	0.73	0.65	0.96	0.9
2250	0.02	0.08	0.15	0.22	0.3	0.37	0.44	0.51	0.57	0.63	0.67	0.71	0.74	0.76	0.77	0.77	0.75	0.72	0.68	0.6	0.98	0.91
2500	0.02	0.08	0.14	0.21	0.28	0.35	0.42	0.48	0.54	0.59	0.64	0.67	0.7	0.72	0.72	0.72	0.71	0.68	0.63	0.56	1	0.92
2750	0.02	0.07	0.13	0.2	0.27	0.33	0.4	0.46	0.52	0.56	0.6	0.64	0.66	0.68	0.68	0.68	0.67	0.64	0.6	0.53	1.02	0.93
3000	0.02	0.07	0.13	0.19	0.26	0.32	0.38	0.44	0.49	0.54	0.58	0.61	0.63	0.64	0.65	0.65	0.63	0.61	0.56	0.5	1.04	0.94
3250	0.02	0.07	0.12	0.18	0.25	0.31	0.37	0.42	0.47	0.52	0.55	0.58	0.6	0.62	0.62	0.62	0.6	0.58	0.54	0.48	1.06	0.95
3500	0.02	0.07	0.12	0.18	0.24	0.3	0.36	0.41	0.46	0.5	0.53	0.56	0.58	0.59	0.6	0.59	0.58	0.55	0.51	0.46	1.08	0.96
3750	0.03	0.06	0.11	0.17	0.23	0.29	0.34	0.4	0.44	0.48	0.51	0.54	0.56	0.57	0.57	0.57	0.56	0.53	0.49	0.44	1.1	0.97
4000	0.03	0.06	0.11	0.17	0.22	0.28	0.33	0.38	0.43	0.47	0.5	0.52	0.54	0.55	0.55	0.55	0.54	0.51	0.47	0.42	1.12	0.98
4250	0.03	0.06	0.11	0.16	0.22	0.27	0.33	0.37	0.42	0.45	0.48	0.51	0.52	0.53	0.54	0.53	0.52	0.49	0.46	0.41	1.14	0.99
4500	0.03	0.06	0.11	0.16	0.21	0.27	0.32	0.37	0.41	0.44	0.47	0.49	0.51	0.52	0.52	0.51	0.5	0.48	0.44	0.39	1.16	1
4750	0.03	0.06	0.1	0.15	0.21	0.26	0.31	0.36	0.4	0.43	0.46	0.48	0.5	0.5	0.51	0.5	0.49	0.46	0.43	0.38	1.18	1.01
5000	0.03	0.06	0.1	0.15	0.2	0.26	0.31	0.35	0.39	0.42	0.45	0.47	0.48	0.49	0.49	0.49	0.47	0.45	0.42	0.37	1.2	1.02
5250	0.03	0.06	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.34	0.38	0.42	0.44	0.46	0.47	0.48	0.48	0.48	0.46	0.44	0.41	0.36	1.22	1.03


```
[num,txt,row] = xlsread('skrettingfortabell.xlsx');
```

R Modellert vekst av atlantisk laks

```
fortab=zeros(35,20);
for i=1:35
    fortab(i,:)=num(i,1:20);
end
ukeoriginal=num(:,26);
temporiginal=num(:,36);
uke=zeros(79,1);
Temp=zeros(79,1);

vekten=50;
erik= vekten>=fortab(:,1);
er=find(erik==1);
eri=size(er);
e=er(eri(1,1));
vekt=zeros(79*7,2);

%vekt(1,1)=vekten;
%-----bestem uke for avlusning---- samt antall dager
%sult---
sult=[28,50,60,65];
vektantalldager=[5,5,5,5];
for j=1:79

    temp=round(temporiginal(80-j,1));
    A= temp==num(1,:);
    colnum= find(A==1);
    eriksan=j==sult;
    erikhai=find(eriksan==1);
    ukene(j,1)=num(80-j,26);

    if erikhai>0
sulting=vektantalldager(erikhai)%antalldager;
    else
        sulting=0;
    end
    b=1;
    for i=1:(7)

        i;% ukentlig tilvekst dag for dag
        if i==1 && j==1           % start vekt

            vekt((j-1)*7+i,1) =vekten;
            vekt((j-1)*7+i,2)=num(80-j,26);
            vekt((j-1)*7+i,3)=num(1,colnum);
            vekt((j-1)*7+i,4)=j;
        elseif sulting>0 && b<=sulting
            b=b+1;

            vekt((j-1)*7+i,1)=vekt((j-1)*7+i-1,1);
            vekt((j-1)*7+i,2)=num(80-j,26);
            vekt((j-1)*7+i,3)=num(1,colnum);
```

```

    vekt((j-1)*7+i,4)=j;
elseif e==35
    vekt((j-1)*7+i,1)=vekt((j-1)*7+i-1,1)+vekt((j-1)*7+i-1,1)*((fortab(e,
colnum))/100); % sjekk om maks storrelse nådd
    vekt((j-1)*7+i,2)=num(80-j,26);
    vekt((j-1)*7+i,3)=num(1,colnum);
    vekt((j-1)*7+i,4)=j;
else

if vekt((j-1)*7+i-1,1) < fortab(e+1,1)

    vekt((j-1)*7+i,1)=vekt((j-1)*7+i-1,1)+vekt((j-1)*7+i-1,1)*((fortab(e,
colnum))/100);

    (fortab(e,colnum));
    vekt((j-1)*7+i,2)=num(80-j,26);
    vekt((j-1)*7+i,3)=num(1,colnum);
    vekt((j-1)*7+i,4)=j;

else

    e=e+1;
    vekt((j-1)*7+i,1)=vekt((j-1)*7+i-1,1)+vekt((j-1)*7+i-1,1)*((fortab(e,
colnum))/100);
    (fortab(e,colnum));
    vekt((j-1)*7+i,2)=num(80-j,26);
    vekt((j-1)*7+i,4)=j;
    vekt((j-1)*7+i,3)=num(1,colnum);
end

end
end
e=0;
uvekt=zeros(553,4);
for j=1:79

temp=round(temporiginal(80-j,1));
A= temp==num(1,:);
colnum= find(A==1);
eriksan=j==sult;
erikhai=find(eriksan==1);
ukene(j,1)=num(80-j,26);

for i=1:(7)

i;% ukentlig tilvekst dag for dag
if i==1 && j==1 % start vekt

    uvekt((j-1)*7+i,1) =vekten;
    uvekt((j-1)*7+i,2)=num(80-j,26);

```

```

    uvekt((j-1)*7+i,3)=num(1,colnum);
    uvekt((j-1)*7+i,4)=j;

    elseif e==35
        uvekt((j-1)*7+i,1)=uvekt((j-1)*7+i-1,1)+uvekt((j-1)*7+i-1,1)*((fortab(
(e,colnum))/100); % sjekk om maks storrelse nådd
        uvekt((j-1)*7+i,2)=num(80-j,26);
        uvekt((j-1)*7+i,3)=num(1,colnum);
        uvekt((j-1)*7+i,4)=j;
    else

        if uvekt((j-1)*7+i-1,1) < fortab(e+1,1)

            uvekt((j-1)*7+i,1)=uvekt((j-1)*7+i-1,1)+uvekt((j-1)*7+i-1,1)*((fortab(
(e,colnum))/100);

            (fortab(e,colnum));
            uvekt((j-1)*7+i,2)=num(80-j,26);
            uvekt((j-1)*7+i,3)=num(1,colnum);
            uvekt((j-1)*7+i,4)=j;

        else

            e=e+1;
            uvekt((j-1)*7+i,1)=uvekt((j-1)*7+i-1,1)+uvekt((j-1)*7+i-1,1)*((fortab(e,
colnum))/100);
            (fortab(e,colnum));
            uvekt((j-1)*7+i,2)=num(80-j,26);
            uvekt((j-1)*7+i,4)=j;
            uvekt((j-1)*7+i,3)=num(1,colnum);
        end

    end
end

%for kostnad

for i=1:553
    kostnad(i,1)=(uvekt(i,1)/1000)*(3/2)*(10^-3)*6*170000*14;
end

figure
grid on
%grid minor

%axis([0 79 0 inf])
%xlim([0 79])
%plot(vekt(:,1))%,vekt(:,1));
xticks([0:14:553])

```

```
%xticklabels({'x = 0','x = 5','x = 10'})
%axis([12 39 0 inf])
%set(gca,'XTick',1:1:79);
%xlabel('Uke','FontSize',30);
xlabel('Population','FontSize',30,'FontWeight','bold','Color','b')
ylabel('Vekt [g]','FontSize',30)
set(gca,'XTickLabel',ukene(1:2:79,1));
```

```
yyaxis left
```

```
%plot(vekt(:,1))%,1,'FaceColor',[0 0.7 0.99])
hold on
plot(uvekt(:,1))
hold off
ylabel('Vekt [g]')
xlabel('Uke fra utsett i 2016 til slakt i 2017')
ylim auto
```

```
yyaxis right
```

```
%plot(vekt(:,3))%,0.99,'Facecolor',[0 0.7 0.6])
plot(kostnad(:,1))
%ylim([0 inf])
%ylabel('Temperatur')
ylabel('Kostnad [NOK]')
ylim auto
```

```

% Bestemmelse av vekstrate på bakgrunn av opplevd temperatur og størrelse,
function vekstrate = fcn(vekt,temp)

persistent fortab numb%fleet
%global D

coder.extrinsic('xlsread')

if isempty(fortab)
    %meeting=1;
    fortab=zeros(35,21);
    numb=xlsread('skrettingfortabell');
    fortab=numb(1:35,1:21);
    %for i=1:35
    %fortab(i,:)=num(i,1:20);
    %end
    %    for
end

temperatur=round(temp);

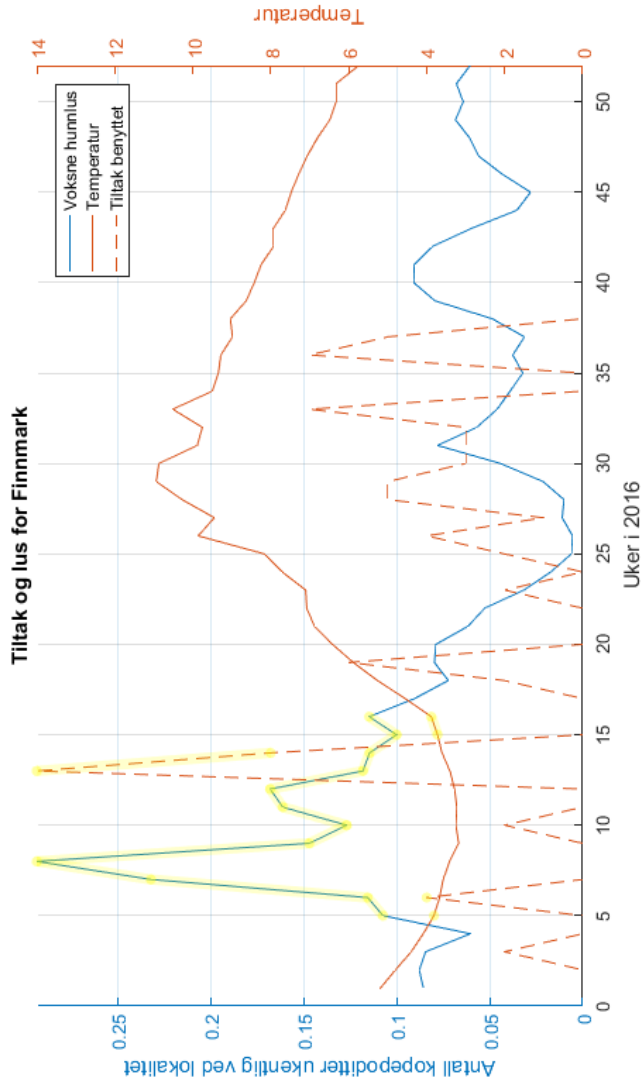
% finner tilhørende temperatur i fortab
%A= temperatur==fortab(1,:);
%colnum= find(A==1)
disttemp = abs(fortab(1,:)-temperatur);
[~, min_loctemp] = min(disttemp);
% -----
% finne tilhørende vekt i fortab.
dist = abs(fortab(:,1)-vekt); % Find distance to numbers in list
[~, min_loc] = min(dist); % Find minimum value
if fortab(min_loc)> vekt
e=min_loc-1;
elseif vekt<=30
    e=2;
else
    e=min_loc;
end
%-----

vekstrate=fortab(e,min_loctemp);

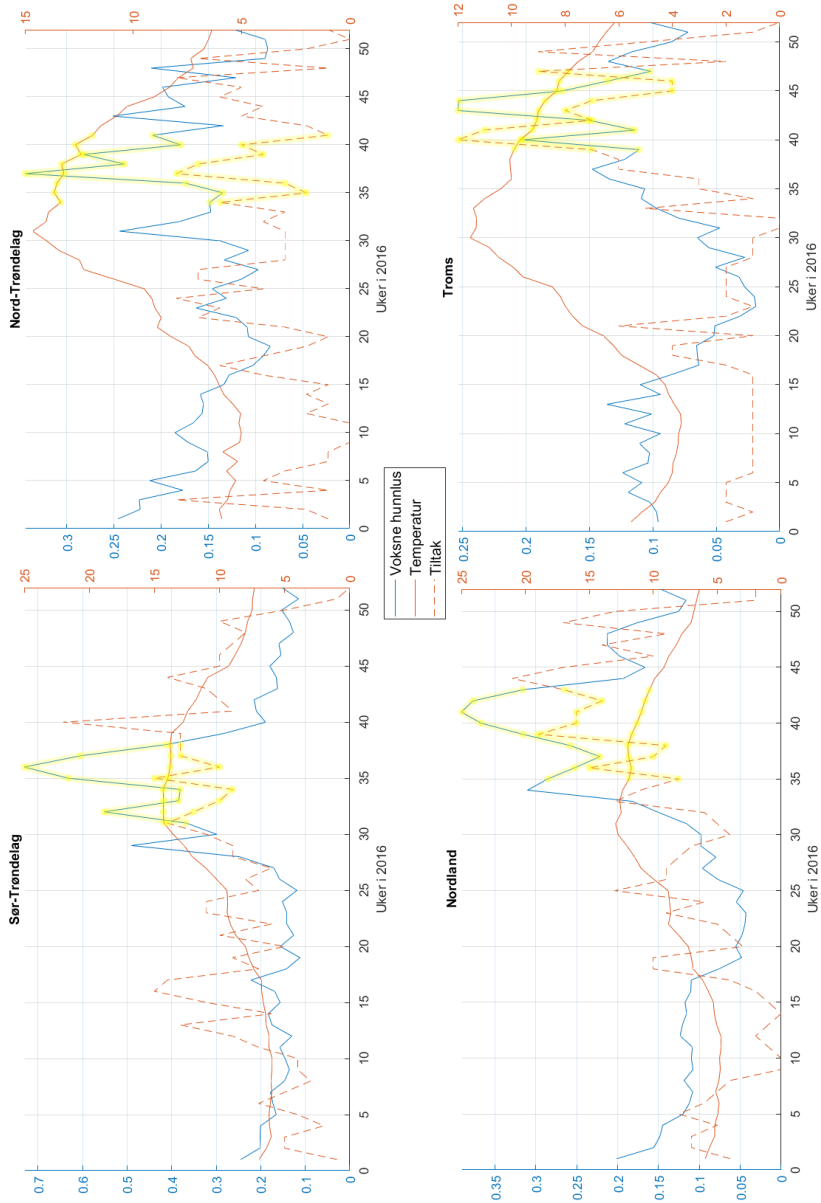
end

```

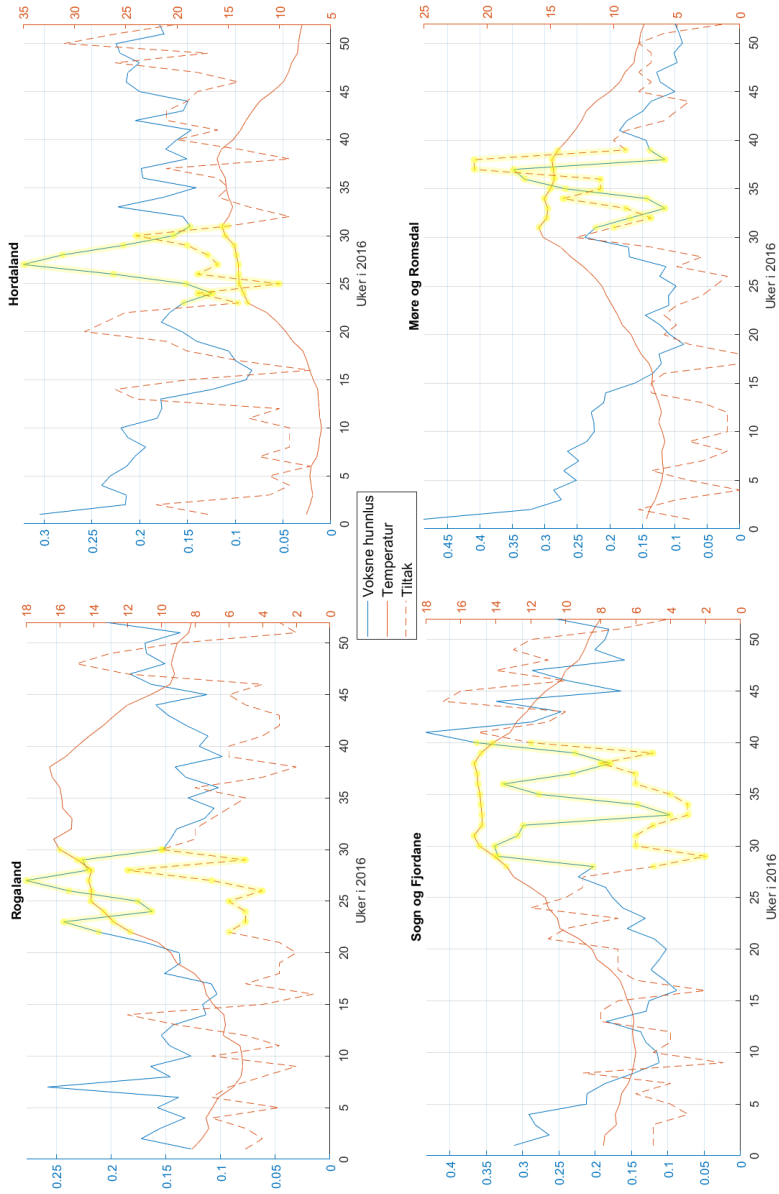
S Trend for lusnivåer på bakgrunn av tempera- tur og benyttede tiltak Finnmark



T Trend for lusenummer på bakgrunn av temperatur og benyttede tiltak Nord-Norge



U Trend for lusnivåer på bakgrunn av tempera- tur og benyttede tiltak Sør-Norge



V Skript benyttet for plotting av tiltak

```
[num,txt,raw] = xlsread('Tiltak2016.xlsx');

%[num1,txt1,raw1] = xlsread('lakselushele2016.xlsx'); % Tiltak Skap hvis tid
%en total oversikt over lusenivåer i Norge for 2016

in='Azamethiphos' ;
ukesjekk= strcmpi(in,raw(:,7));
uken= find(ukesjekk==1);
aza(:,1)=raw(uken,1);

in1= 'Annet virkestoff';
ukesjekk= strcmpi(in1,raw(:,7));
uken= find(ukesjekk==1);
annet(:,1)=raw(uken,1);

in2='Emamectin benzoat';
ukesjekk= strcmpi(in2,raw(:,7));
uken= find(ukesjekk==1);
Ema(:,1)=raw(uken,1);

in3='mekanisk fjerning';
ukesjekk= strcmpi(in3,raw(:,5));
uken= find(ukesjekk==1);
mek(:,1)=raw(uken,1);

in4='Diflubenzuron';
ukesjekk= strcmpi(in4,raw(:,7));
uken= find(ukesjekk==1);
dif(:,1)=raw(uken,1);

in5='Deltamethrin';
ukesjekk= strcmpi(in5,raw(:,7));
uken= find(ukesjekk==1);
delt(:,1)=raw(uken,1);

in6='Hydrogenperoksid';
ukesjekk= strcmpi(in6,raw(:,7));
uken= find(ukesjekk==1);
hydro(:,1)=raw(uken,1);

in7='Teflubenzuron';
ukesjekk= strcmpi(in7,raw(:,7));
uken= find(ukesjekk==1);
tef(:,1)=raw(uken,1);

in8='rensefisk';
ukesjekk= strcmpi(in8,raw(:,5));
uken= find(ukesjekk==1);
fisk(:,1)=raw(uken,1);
fisk(:,2)=raw(uken,10);
%p3 = strcmpi(char(Region(i,2)),Hordalandaktiv(:,4)); % finner hvor info om anlegg
ligger
```

```
%      rowNum3 = find(p3==1);
fiskplot=zeros(52,2);

for i =1:52
    azasjekk= i==cell2mat(aza);
    azasjekken= find(azasjekk==1);
    azasjekkferdig=size(azasjekken);
    azaplot(i,1)=azasjekkferdig(1,1);

    deltsjekk= i==cell2mat(delt);
    deltsjekken= find(deltsjekk==1);
    deltsjekkferdig=size(deltsjekken);
    deltpplot(i,1)=deltsjekkferdig(1,1);

    difsjekk= i==cell2mat(dif);
    difsjekken= find(difsjekk==1);
    difsjekkferdig=size(difsjekken);
    difplot(i,1)=difsjekkferdig(1,1);

    emasjekk= i==cell2mat(Ema);
    emasjekken= find(emasjekk==1);
    emasjekkferdig=size(emasjekken);
    emaplot(i,1)=emasjekkferdig(1,1);

    hydrosjekk= i==cell2mat(hydro);
    hydrosjekken= find(hydrosjekk==1);
    hydrosjekkferdig=size(hydrosjekken);
    hydroplot(i,1)=hydrosjekkferdig(1,1);

    annetsjekk= i==cell2mat(annet);
    annetsjekken= find(annetsjekk==1);
    annetsjekkferdig=size(annetsjekken);
    annetplot(i,1)=annetsjekkferdig(1,1);

    fisksjekk= i==cell2mat(fisk);
    fisksjekken= find(fisksjekk(:,1)==1);
    fisksjekkferdig=size(fisksjekken);
    fiskplot(i,1)=fisksjekkferdig(1,1);
    fiskplot(i,2)=sum(cell2mat(fisk(fisksjekken,2)));

    tefsjekk= i==cell2mat(tef);
    tefsjekken= find(tefsjekk==1);
    tefsjekkferdig=size(tefsjekken);
    tefplot(i,1)=tefsjekkferdig(1,1);

    meksjekk= i==cell2mat(mek);
    meksjekken= find(meksjekk==1);
    meksjekkferdig=size(meksjekken);
    mekplot(i,1)=meksjekkferdig(1,1);

    uke(i,1)=i;
end
figure
```

```
subplot(2,1,1);
grid on
axis([0 52 0 inf])
hold on
title('Aktive tiltak')
xlabel('Uker i 2016')
%yyaxis left
plot(uke, azaplot, uke, emaplot, uke, hydroplot, 'g--', uke, deltpplot, '-*', uke, annetplot, '-k
o', uke, mekplot);
legend('Azamethiphos', 'Emamektin Benzoat', 'Hydrogenperoksid', 'Deltamethrin', 'annet
virkestoff', 'mekanisk')
```

```
subplot(2,1,2);
grid on
axis([0 52 0 inf])
hold on
title('Rensefisk og preventiv fôrbehandling')
xlabel('Uker i 2016')
yyaxis left
plot(uke, tefplot, uke, difplot);
yyaxis right
plot(uke, fiskplot(:,2))
ylabel('Rensefisk utsatt')
legend('Teflubenzuron', 'Diflubenzuron', 'Rensefisk')
```

```
hold off
```