



Kostnadsoptimal bekjempelsesstrategi mot lakselus

En simuleringsmodell for optimalisering av lakseproduksjon

Thea Lindqvist og Gunnhild Solemdal

Veileder: Endre Bjørndal

Masteroppgave, BAN, Business Analytics

NORGES HANDELSHØYSKOLE

Dette selvstendige arbeidet er gjennomført som ledd i masterstudiet i økonomi- og administrasjon ved Norges Handelshøyskole og godkjent som sådan. Godkjenningen innebærer ikke at Høyskolen eller sensorer innestår for de metoder som er anvendt, resultater som er fremkommet eller konklusjoner som er trukket i arbeidet.

Sammendrag

Den norske lakseoppdrettsnæringen har stått overfor en kraftig vekst og er i dag en av Norges største industrier. Samtidig opplever næringen store utfordringer knyttet til bekjempelse av lakselus. Frem til nå har oppdretterne kontrollert lakselusen ved hjelp av medikamentelle metoder. Et økende resistensproblem mot disse behandlingsmetodene har ført til at oppdretterne må ta i bruk alternative bekjempelsesmetoder. Kombinert med strengere myndighetsreguleringer er lakselusproblemet en kostbar utfordring for den enkelte oppdretter og næringen som helhet.

Formålet med denne masteroppgaven er derfor å belyse relevante kostnader tilknyttet lakselus, samt gi beslutningsrelevant informasjon for å optimalisere samspillet mellom menneskelige beslutninger og de naturlige prosessene i lakseproduksjonen. For å besvare denne problemstillingen har vi etablert en modell som simulerer en produksjonssyklus av laks i sjø for en bestemt lokalitet. Modellen inkluderer modellering av naturlige prosesser der det innhentede datagrunnlaget tilhører den valgte lokaliteten. Ved hjelp av denne modellen finner vi hvilke kombinasjoner av smoltstørrelse, tidspunkt for utsett og anvendelse av bekjempelsesmetodene termisk avlusing og rensfisk som gir lav risiko for overskridelse av den lovpålagte lusegrensen, samt lavest kostnader.

Våre analyser viser at oppdretter bør benytte en behandlingsgrense for iverksetting av avlusingstiltak som er tilpasset anlegget, fremfor å foreta behandling like før anlegget nærmer seg lusegrensen. Videre finner vi at oppdretter bør benytte både termisk behandling og rensfisk som avlusingstiltak. Dette vil resultere i ingen overskridelse av lusegrensen, samt lavest kostnader. Ved utsett i uke 10 og 14 gir 500 grams smolt lavest kostnad, mens ved utsett i uke 18 gir derimot utsett av 100 grams smolt lavest kostnad. Strategien som gir den absolutt laveste kostnaden er utsett av 500 grams smolt i uke 10 og gir en kostnad på 4,21 kroner per kilo produsert laks. Ved å studere kostnadene innad i ulike temperaturintervall finner vi at lave sjøtemperaturer alltid gir høyere kostnader sammenliknet med middels eller høye sjøtemperaturer.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som et avsluttende ledd i masterstudiet ved Norges Handelshøyskole høsten 2018. Oppgaven er skrevet med utgangspunkt i vår hovedprofil, Business Analytics.

Gjennom mastergraden har vi lært hvordan bedrifter kan omdanne data til nyttig informasjon som kan optimalisere driften. Særlig synes vi det er interessant hvordan dette kan benyttes på tradisjonelle næringer. Med stor nysgjerrighet og voksende interesse for oppdrettsnæringen falt valget naturlig på denne tematikken for valg av masteroppgave. Arbeidet med masteroppgaven har vært krevende og utfordrende, men også svært lærerikt og spennende.

Vi ønsker å rette en stor takk til John, Natalie og Tony fra selskapet Manolin, som har bistått med kompetanse og et uvurderlig kunnskapsnettverk.

Videre vil vi takke Lars Asplin fra Havforskningsinstituttet for å ha gitt oss en omfattende innføring i deres smittepressmodell og besvart spørsmål tilknyttet dette.

Til slutt ønsker vi spesielt å takke vår veileder Endre Bjørndal for å ha gitt oss gode og konstruktive tilbakemeldinger.

Bergen, desember 2018

Innholdsfortegnelse

| | |
|---|-----------|
| INNHALDSFORTEGNELSE | 4 |
| 1. INTRODUKSJON | 12 |
| 1.1 BAKGRUNN..... | 12 |
| 1.2 PROBLEMSTILLING..... | 14 |
| 1.3 AVGRENSNINGER | 15 |
| 1.4 STRUKTUR..... | 15 |
| 1.5 LITTERATURSTUDIE..... | 16 |
| 2. LAKSEOPPDRETT I NORGE | 20 |
| 2.1.1 Akvakulturloven..... | 21 |
| 2.1.2 Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg | 21 |
| 2.1.3 Maksimalt tilatt biomasse..... | 22 |
| 2.1.4 Trafikklyssystemet..... | 22 |
| 2.2 PRODUKSJONSPROSESSEN..... | 24 |
| 2.3 LØNNSOMHET | 25 |
| 2.3.1 Laksepris og utvikling | 26 |
| 2.3.2 Kostnader i næringen | 27 |
| 3. LAKSELUS | 32 |
| 3.1 LAKSELUSENS BIOLOGI | 32 |
| 3.2 SPREDNING AV LAKSELUS OG SMITTEPRESS | 34 |
| 3.3 UTFORDRINGENE KNYTTET TIL LAKSELUS | 35 |
| 3.4 BEKJEMPELSESMETODER | 36 |
| 3.4.1 Termisk behandling | 37 |
| 3.4.2 Rensefisk..... | 38 |
| 4. ETABLERT SIMULERINGSMODELL..... | 39 |
| 4.1 SKISSE AV SIMULERINGSMODELL | 40 |
| 4.2 LOKALITET | 40 |
| 4.3 MODELLERT OPDPRETTSLAKS | 41 |
| 4.4 MODELLERT LAKSELUS | 43 |
| 4.5 MODELLERTE BEKJEMPELSESMETODER | 46 |
| 4.6 MODELLERTE KOSTNADER | 48 |
| 4.6.1 Tellekostnad | 49 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 4.6.2 | <i>Kostnader forbundet med termisk behandling</i> | 49 |
| 4.6.3 | <i>Kostnader forbundet med rensfisk</i> | 52 |
| 4.7 | MODELLERT TEMPERATUR | 54 |
| 5. | RESULTAT OG ANALYSE | 58 |
| 5.1 | MODELL UTEN LAKSELUS | 59 |
| 5.2 | MODELL MED TERMISK BEHANDLING | 60 |
| 5.2.1 | <i>Brannslukningsstrategi</i> | 60 |
| 5.2.2 | <i>Tilpasset behandlingsgrense</i> | 62 |
| 5.2.3 | <i>Endret smoltstørrelse</i> | 68 |
| 5.3 | MODELL MED TERMISK BEHANDLING OG RENSEFISK | 77 |
| 5.3.1 | <i>Tilpasset behandlingsgrense</i> | 77 |
| 5.4 | DISKUSJON AV FUNN | 86 |
| 6. | EVALUERING AV ANALYSENS RESULTATER | 90 |
| 6.1.1 | <i>Usikkerhet og feilkilder</i> | 90 |
| 6.1.2 | <i>Utelatte komponenter</i> | 91 |
| 6.1.3 | <i>Analysens validitet</i> | 93 |
| 7. | KONKLUSJON | 96 |
| 7.1 | VIDERE ARBEID | 97 |
| | LITTERATURLISTE | 98 |
| | APPENDIKS | 105 |
| | APPENDIKS A - KONFIDENSINTERVALL | 105 |
| | APPENDIKS B – SKRETTINGS FÖRTABELL | 106 |
| | APPENDIKS C – SIMULERINGSKODE | 107 |
| | APPENDIKS D – ARIMA-MODELL FOR TEMPERATUR | 117 |
| | APPENDIKS E – TEST AV ARIMA-MODELL | 117 |

Figurer

| | |
|--|----|
| Figur 1: Trafikklyssystemets 13 soner (Regjeringen, 2017). | 23 |
| Figur 2: Produksjonsprosess av oppdrettslaks. Fra rogn til distribusjon (Marine Harvest, u.d.) | 24 |
| Figur 3: Prisutvikling for ulike vektklasser av laks (NASDAQ, 2018). | 26 |
| Figur 4: Andel slaktet laks for ulike vektklasser (NASDAQ, 2018). | 27 |
| Figur 5: Forholdet mellom slaktevekt og påvirkning på EBIT (Marine Harvest, 2018). | 28 |
| Figur 6: Utvikling i produksjonskostnad per kilo fra 2008 til 2017 (Fiskeridirektoratet, 2018)..... | 29 |
| Figur 7: Lakselusens livssyklus (The Marine Institute (Foras na Mara) , u.d.). | 33 |
| Figur 8: Illustrasjon av Thermolicer (Steinsvik, u.d.). | 37 |
| Figur 9: Illustrasjon av etablert simuleringsmodell..... | 40 |
| Figur 10: Illustrasjon av hvordan tilveksttabellen er benyttet for å modellere lakseveksten. | 42 |
| Figur 11: Illustrasjon av størrelsene på merdene til valgt lokalitet | 45 |
| Figur 12: Vekst i biomasse med og uten påvirkning av lus. Rød linje viser laksevekst ved tre termiske avlusinger, mens sort linje viser laksevekst uten avlusinger og lusepress. | 51 |
| Figur 13: Gjennomsnittlig sjøtemperatur for Oslands syv lokaliteter i Sognefjorden (2012 - 2017)..... | 55 |
| Figur 14: Temperatur fra LOESS-regresjon og observert temperatur fra (2012 – 2017). | 56 |
| Figur 15: Fordeling av simulert temperaturvariasjon ved 1000 kjøring av simuleringsmodellen. | 56 |
| Figur 16: Observert temperatur og tre ulike utfall av simulert temperatur (rød linje). | 57 |
| Figur 17: Laksevekst for utsett i uke 10, 14 og 18..... | 59 |
| Figur 18: Fordeling av antall dager over lusegrensen for uke 10, 14 og 18 ved utsett av 100 grams smolt. | 61 |
| Figur 19: Forekomsten av bevegelige og voksne hunnlus for uke 1 - 52 ved ti simuleringer. | 62 |
| Figur 20: Tilpasset behandlingsgrense for uke 1 til 52. Blå kurve tilsvarer lovpålagt lusegrense. | 63 |
| Figur 21: Fordeling av antall dager over lusegrensen for uke 10, 14 og 18 ved utsett av 100 grams smolt. | 64 |
| Figur 22: Box plot av avlusingskostnad per kilo produsert laks (i kr) for utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18. | 65 |

| | |
|--|----|
| Figur 23: Box plot av kostnad (i kr) for lav, middels og høy temperatur for utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18. | 67 |
| Figur 24: Fordeling av antall dager over lusegrensen for uke 10, 14 og 18 ved utsett av 250 grams smolt. | 69 |
| Figur 25: Box plot av avlusingskostnad per kilo produsert laks (i kr) for utsett av 250 grams smolt i uke 10, 14 og 18. | 70 |
| Figur 26: Box plot av kostnad (i kr) for lav, middels og høy temperatur for utsett av 250 grams smolt i uke 10, 14 og 18. | 70 |
| Figur 27: Fordeling av antall dager over lusegrensen for uke 10, 14 og 18 ved utsett av 500 grams smolt. | 72 |
| Figur 28: Box plot av avlusingskostnad per kilo produsert laks (i kr) for utsett av 500 grams smolt i uke 10, 14 og 18. | 74 |
| Figur 29: Box plot av kostnad (i kr) for lav, middels og høy temperatur for utsett av 500 grams smolt i uke 10, 14 og 18. | 74 |
| Figur 30: Box plot av avlusingskostnad per kilo produsert laks (i kr) for utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18. | 78 |
| Figur 31: Box plot av kostnad (i kr) for lav, middels og høy temperatur for utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18. | 79 |
| Figur 32: Box plot av avlusingskostnad per kilo produsert laks (i kr) for utsett 250 grams smolt i uke 10, 14 og 18. | 81 |
| Figur 33: Box plot av kostnad (i kr) for lav, middels og høy temperatur for utsett av 250 grams smolt i uke 10, 14 og 18. | 81 |
| Figur 34: Box plot av avlusingskostnad per kilo produsert laks (i kr) for utsett av 500 grams smolt i uke 10, 14 og 18. | 83 |
| Figur 35: Box plot av kostnad (i kr) for lav, middels og høy temperatur for utsett av 500 grams smolt i uke 10, 14 og 18. | 84 |

Tabeller

| | |
|---|----|
| Tabell 1: Estimer for parameterne for minste utviklingstid fra fastsittende og bevegelige lus til neste stadiet (Stien et al. (2005)). | 46 |
| Tabell 2: Modellerte kostnader ved termisk behandling for en full lokalitetsbehandling. | 52 |
| Tabell 3: Modellerte kostnader ved bruk av rensfisk for en lokalitet med 5 merder. | 54 |
| Tabell 4: Gjennomsnittsverdier for sjøtemperatur, slaktevekt og varighet. | 59 |

| | |
|---|----|
| Tabell 5: Gjennomsnittskostnad og VaR (Value at Risk) per kilo produsert laks (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense for utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18..... | 60 |
| Tabell 6: Gjennomsnittsverdier for slaktevekt, total biomasse og antall behandlinger ved utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18 med høy behandlingsgrense. | 61 |
| Tabell 7: Gjennomsnittskostnad og VaR (Value at Risk) per kilo produsert laks (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense for utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18..... | 63 |
| Tabell 8: Gjennomsnittsverdier for slaktevekt, total biomasse, antall behandlinger og vekt ved avlusing ved utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18 med tilpasset behandlingsgrense. | 64 |
| Tabell 9: Tre mest hyppige ukene for avlusing 1, 2 og 3. Andel av avlusingene som faller innenfor disse ukene i parentes. Eks: 42,2 % av første avlusing i uke 10 gjennomføres i uke 43, 41 eller 40..... | 65 |
| Tabell 10: Temperaturintervall (i °C) for uke 10, 14 og 18. | 66 |
| Tabell 11: Gjennomsnittskostnad ved lav, middels og høy temperatur og tilhørende antall dager over lovpålagt grense for utsett av 100 grams smolt..... | 67 |
| Tabell 12: Gjennomsnittsverdier for sjøtemperatur, slaktevekt og varighet ved for utsett av 250 grams smolt i uke 10, 14 og 18 uten lusepress og avlusinger. | 68 |
| Tabell 13: Gjennomsnittskostnad og VaR (Value at Risk) per kilo produsert laks (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense for utsett i uke 10, 14 og 18 ved utsett av smolt på 250 gram..... | 68 |
| Tabell 14: Gjennomsnittsverdier for slaktevekt, biomasse, antall behandlinger og vekt ved avlusing for utsett av 250 grams smolt i uke 10, 14 og 18 med lusepress og termisk behandling. | 69 |
| Tabell 15: Gjennomsnittskostnad ved lav, middels og høy temperatur og tilhørende antall dager over lovpålagt grense for utsett av 250 grams smolt..... | 71 |
| Tabell 16: Gjennomsnittsverdier for sjøtemperatur, slaktevekt og varighet for utsett av 500 grams smolt for uke 10, 14 og 18 uten lusepress og avlusinger..... | 72 |
| Tabell 17: Gjennomsnittskostnad og VaR (Value at Risk) per kilo produsert laks (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense for utsett i uke 10, 14 og 18 ved utsett av smolt på 500 gram..... | 72 |
| Tabell 18: Gjennomsnittsverdier for slaktevekt, biomasse, antall behandlinger og vekt ved avlusing for utsett av 500 grams smolt i uke 10, 14 og 18 med lusepress og termisk behandling. | 73 |

| | |
|---|----|
| Tabell 19: Gjennomsnittskostnad ved lav, middels og høy temperatur og tilhørende antall dager over lovpålagt grense for utsett av 500 grams smolt. | 75 |
| Tabell 20: Oppsummering av resultat av behandlingsstrategi med termisk behandling, ulike smoltstørrelser og tidspunkt for utsett. Presentert som total gjennomsnittskostnad (i kr) og inndelt i temperaturintervall. | 76 |
| Tabell 21: Gjennomsnittskostnad og VaR (Value at Risk) per kilo produsert laks (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense for utsett i uke 10, 14 og 18 ved utsett av 100 grams smolt. | 77 |
| Tabell 22: Gjennomsnittsverdier for slaktevekt, biomasse, antall behandlinger og vekt ved avlusing for utsett av 100 grams smolt uke 10, 14 og 18 med lusepress og termisk behandling. | 78 |
| Tabell 23: Gjennomsnittskostnad ved lav, middels og høy temperatur for utsett av 100 grams smolt. | 79 |
| Tabell 24: Gjennomsnittskostnad og VaR (Value at Risk) per kilo produsert laks (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense for utsett i uke 10, 14 og 18 ved utsett av 250 grams smolt. | 80 |
| Tabell 25: Gjennomsnittsverdier for slaktevekt, biomasse, antall behandlinger og vekt ved avlusing for uke utsett av 250 grams smolt i 10, 14 og 18 med lusepress og termisk behandling. | 81 |
| Tabell 26: Gjennomsnittskostnad ved lav, middels og høy temperatur ved utsett av 250 grams smolt. | 82 |
| Tabell 27: Gjennomsnittskostnad og VaR (Value at Risk) per kilo produsert laks (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense for utsett i uke 10, 14 og 18 ved utsett av 500 grams smolt. | 82 |
| Tabell 28: Gjennomsnittsverdier for slaktevekt, biomasse, antall behandlinger og vekt ved avlusing for utsett av 500 grams smolt i uke 10, 14 og 18 med lusepress og termisk behandling. | 83 |
| Tabell 29: Gjennomsnittskostnad ved lav, middels og høy temperatur for utsett av 500 grams smolt. | 84 |
| Tabell 30: Oppsummering av resultat av behandlingsstrategi med termisk behandling og rensesk, ulike smoltstørrelser og tidspunkt for utsett Presentert som total gjennomsnittskostnad (i kr) og inndelt i temperaturintervall. | 85 |
| Tabell 31: Oppsummering av gjennomsnittskostnad (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense ved ulike behandlingsstrategier. | 86 |

| | |
|--|----|
| Tabell 32: Behandlingsstrategi for termisk avlusing og termisk avlusing kombinert med rensfisk som gir lavest kostnad (i kroner) ved ulike temperaturutfall..... | 88 |
|--|----|

Begreper

Akvakultur – Virksomhet som dyrker organismer i sjø eller ferskvann.

Biomasse – En betegnelse på den totale vekten av levende organismer i en sammenheng. I denne oppgaven bruker vi begrepet om den totale fiskevekten som befinner seg i merden til enhver tid.

Døgngrader – Antall døgn multiplisert med gjennomsnittstemperaturen.

HOG – Head on gutted. Sløyet fisk med hodet på.

Konsesjon – Tillatelse av offentlig myndighet til å sette i gang virksomhet, i denne oppgaven brukes begrepet om tillatelse til å etablere et oppdrettsanlegg.

Lokalitet – Begrepet lokalitet brukes om et avgrenset geografisk sted. I oppdrettsbransjen forbindes dette med et oppdrettsanlegg der produksjonen av fisk foregår.

Laksefisk – Begrepet laksefisk vil i denne oppgaven hovedsakelig benyttes om oppdrettslaks.

Lakselus – En naturlig parasitt som lever og livnærer seg på laksefisk i saltvann.

Merd – Innhegning i sjøen for oppbevaring, fôring og stell av oppdrettsfisk.

MTB – Maksimalt tillatt biomasse. Hvor mye levende fisk innehaveren av tillatelsen kan ha stående i sjøen til enhver tid.

Not – Et fiskeredskap laget av nett som stenger fisken inne i merden.

RAS-anlegg – Landbasert oppdrettsanlegg basert på RAS-teknologi (Recirculating Aquaculture Systems).

Rensefisk – Fiskeart som bl.a. spiser lus av oppdrettsfisken.

Skjul – Et skjul rensfisken kan finne hvile i merden.

Smolt – Unger av laksefisk som er klare for utvandring fra ferskvann til saltvann.

Termisk avlusing – Avlusingsmetode som fjerner lakselus ved bruk av temperert vann.

1. Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Den norske fiskeoppdrettsnæringen har vokst kraftig de siste 25 årene, og er en av Norges største industrier. I 2017 produserte lakseoppdrettsbransjen alene 1 219 235 tonn laksefisk, sammenlignet med 737 694 tonn i 2008 (Fiskeridirektoratet, 2018). Laks er den viktigste arten for norsk sjømateksport med over 68 % av den totale eksportverdien og 38% av volumet i 2017 (Norges Sjømatråd, 2018). Norge er i dag den største produsenten av atlantisk laks internasjonalt (Havforskningsinstituttet, 2017).

I flere år har prisen på laks steget og ført til høy inntjening for lakseoppdretterne, samtidig har nye utfordringer oppstått og ført med seg kraftig økning i produksjonskostnadene. Siden 2005 har produksjonskostnadene økt med 76,8 prosent frem til 2017 (Fiskeridirektoratet, 2018). Det er flere faktorer som påvirker økningen i produksjonskostnadene, men de viktigste driverne er knyttet til økte fôrkostnader og kostnader knyttet til forebygging og behandling av lakselus. Kostnadene tilknyttet lakselus, det vil si lusebehandlinger, økt dødelighet og reduserte inntekter, koster næringen rundt 5 milliarder kroner i året (Iversen, Hermansen, Nystøyl, & Hess, 2017). På lenger sikt kan dette påvirke konkurransevnen til norske oppdrettsanlegg, og senere svekke den økonomiske verdiskapningen i Norge.

Myndighetene har store ambisjoner for vekst i oppdrettsnæringen og har en visjon om å femdoble produksjonen av laks og ørret innen 2050, sammenliknet med 2010. Dette forutsetter at dagens miljø- og sykdomsutfordringer er løst, at en lykkes med innovasjon innen fôr, fiskehelse, avl og teknologi, samt at en har et forutsigbart reguleringsregime. Lakselus, og dens påvirkning på vill og oppdrettet laks, er den mest akutte miljøutfordringen næringen har i dag. Nye konsesjoner utstedes ikke før miljøbelastningene oppdrettsbransjen bringer med seg er tilstrekkelig håndtert, og skal næringen kunne vokse videre, må derfor utfordringene knyttet til for eksempel lakselus reduseres og til slutt løses (Nærings- og fiskeridepartementet, 2015).

Lakselus er en naturlig parasitt på laksefisk i saltvann, og påfører fisken skade ved å spise slim, skinn og blod. Lakselus finnes naturlig, men med mange verter øker mengden. Veksten i norsk oppdrettsnæring har gjort at det nå er for mange verter for lakselus, noe som utgjør

trussel for vill laksefisk og sjøørret. Dersom det blir for mange lakselus i oppdrettsanlegget, kan lakselus også bli en trussel også for oppdrettslaksen. Lusen kan gi sår og skader på oppdrettsfisken, som igjen åpner for nye infeksjoner, og som videre kan gi velferdsproblemer for fisken. Håndtering av fisken i forbindelse med telling av lus og lusebehandling kan ytterligere forsterke disse problemene.

Lakselus er blitt så problematisk at myndighetene så seg nødt til å gripe inn, og i 2013 trådte forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg i kraft. Den angir en maksgrense for antall lus for oppdrettsanleggene i Norge. For Sør-Trøndelag og sørover er maksgrensen satt til 0,2 lus i gjennomsnitt per fisk i perioden fra og med uke 16-21, og 0,5 ellers i året (jf. § 8 Forskrift om lakselusbekjempelse). Overskrides grensen risikerer oppdretterne å få økonomiske sanksjoner og krav om redusert produksjon. I verste fall må fisken slaktes ned og oppdrettsanlegget legges brakk i flere måneder. Oppdretterne er også pålagt å telle og rapportere til Mattilsynet antall lakselus per fisk, eventuelle behandlinger og sjøtemperatur hver uke når sjøtemperaturen er fire grader eller mer – og hver fjortende dag når sjøtemperaturen er under fire grader (Mattilsynet, 2016).

Lakselus kan behandles og bekjempes med legemidler, rensfisk og mekaniske behandlingsmetoder. Hovedårsaken til at lakselusproblemet er så stort i dag, er at lakselusen har utviklet resistens og nedsatt følsomhet mot de fleste legemidlene, og dermed kan ikke oppdretterne lenger bruke legemidlene for å redusere lusenivået. Som følge av dette, er bruk av rensfisk og mekaniske metoder blitt mer og mer utbredt de siste årene. Derimot er heller ikke disse metodene helt uproblematiske og skaper utfordringer for fiskevelferden. (Mattilsynet, 2016)

Økende luseproblematikk, økende resistens mot legemidler og behandlingsmetoder som er svært krevende for fisken byr på store utfordringer for oppdretterne og næringen som helhet. Myndighetene har strenge reguleringer for næringen og behandlingene er svært kostbare for oppdretterne. Samtidig gir behandlingene i seg selv utfordringer for fiskevelferden. Beslutningene knyttet til arbeidet med å forebygge lakselus er derfor svært viktige og har konsekvenser for oppdretternes økonomi, økosystemet og fiskevelferden. For at næringen skal kunne vokse, lakselusproblemet bekjempes og kostnader knyttet til lakselus reduseres, vil vi trolig være avhengig av å samarbeide på tvers av kunnskapsområder og kombinere kunnskap

fra både academia og forskning med verdifulle førstehåndserfaringer fra bransjen, og skape en felles forståelse og motivasjon for å løse problemet.

1.2 Problemstilling

I denne utredningen vil vi belyse kostnader knyttet til lakselus i oppdrettsnæringen ved å etablere en simuleringsmodell som integrerer økonomiske og biologiske modeller. Sistnevnte innebærer i hovedsak modeller for laksevekst og lakselus. Med simuleringsmodellen ønsker vi å belyse kostnader som påløper ved håndtering av lakselus, samt gi beslutningsrelevant informasjon for å optimalisere samspillet mellom menneskelige beslutninger og de naturlige prosessene i produksjonssyklusen. Vi vil simulere en produksjonssyklus og finne den bekjempelsesstrategien mot lakselus som gir lavest kostnader for en bestemt lokalitet. Det er viktig at disse beslutningene står i samsvar med de lovpålagte rammene for næringen.

I vårt studium innebærer begrepet bekjempelsesstrategi følgende:

- Tidspunkt for utsett av smolt
- Anvendelse av tiltakene termisk behandling og rensefisk
- Tidspunkt for iverksetting av tiltakene termisk behandling og rensefisk
- Størrelse på smolt ved utsett i sjø

Det er mye usikkerhet knyttet til biologiske produksjonsprosesser. Vi tror derfor at en simuleringsmodell kan bidra til å øke forutsigbarheten og bedre muligheten til å planlegge en kostnadsoptimal bekjempelsesstrategi.

1.3 Avgrensninger

Denne masteroppgaven tar for seg kostnader tilknyttet lakselus ved produksjon av oppdrettslaks, og er avgrenset til å studere én produksjonssyklus i perioden der laksen befinner seg i en merd i sjøvann. For å studere dette blir det tatt utgangspunkt i en bestemt lokalitet i Norge. Ulike avlusingsmetoder blir benyttet for å håndtere lakselusproblemet, og vi har valgt å avgrense analysen til å inkludere to bekjempelsesmetoder: termisk avlusing og rensefisk. Kostnadene tilknyttet lakselus er avgrenset til de kostnadene som påløper i forbindelse med håndteringen av lakselusproblemet. I denne oppgaven består disse kostnadene av kostnader ved telling og rapportering av lakselus, direkte kostnader forbundet med avlusing og indirekte kostnader, herunder tapt inntekt som følge av eventuelle biomassetap oppstått under avlusing.

1.4 Struktur

Masteroppgaven er inndelt i 7 kapitler. Kapittel 1 tar for seg bakgrunn for oppgaven, oppgavens problemstilling og tidligere litteratur. Kapittel 2 presenterer oppdrettsbransjen i Norge, myndighetenes involvering samt pris- og kostnadsutvikling i næringen. I kapittel 3 vil vi gjøre rede for lakselus, dens utfordringer og aktuelle bekjempelsestiltak mot lakselus. Kapittel 4 presenterer den etablerte simuleringsmodellen, herunder datagrunnlaget for de ulike komponentene og hvordan komponentene er modellert i simuleringsmodellen. Kapittel 5 består av resultatene fra analysen og kommentarer til disse. Først presenteres resultatene fra ulike bekjempelsesstrategier og deretter diskuteres funnene. I kapittel 6 evalueres analysens resultater og vi identifiserer usikkerheter, feilkilder og utelatte komponenter, samt vurderer analysens validitet. I kapittel 7 oppsummerer vi funnene i oppgaven og konkluderer før vi avslutningsvis utpeker forslag til videre arbeid.

1.5 Litteraturstudie

Havbruksnæringen har tradisjonelt vært en erfaringsdrevet bransje. Et høyt potensial for økt verdiskaping og biologiske utfordringer har imidlertid vært en pådriver for innovasjon i bransjen. Utviklingen skjer raskt, og resultatet er en bransje i stadig endring. Vi ser derfor at enkelte studier er aktuelle i en kortere periode som følge av at bransjen har endret praksis. Dette er særlig aktuelt innenfor studier av avlusingsmetoder, ettersom det utvikles mer effektive metoder, lakselusen blir resistent mot den aktuelle metoden eller på grunn av myndighetsreguleringer. Eksempelvis har medikamentelle avlusingsmetoder lenge vært en populær metode, men en avtakende avlusingseffekt og offentlige reguleringer har gjort metodene mindre aktuelle. Studiene danner likevel et godt grunnlag for vurdering av nye avlusingsmetoder. I det følgende vil det gjøres rede for relevante studier med fokus på aktuelle momenter for denne utredningen.

Gjennom prosjektet MEDFRI ble det foretatt en omfattende vurdering av medikamentfrie avlusingsmetoder med fokus på effektivitet og hvordan fiskehelsen påvirkes av de respektive metodene. Avlusingsmetodene som er inkludert i rapporten er utvalgt på bakgrunn av hvor langt de har kommet i utvikling og kommersialisering. Resultatet av vurderingene er presentert i «Beste praksis for medikamentfrie metoder for lakseluskontroll» av Holan et al. (2017). Rapporten beskriver anbefalinger til beste praksis og risikomoment innenfor de ulike metodene, samt økonomiske vurderinger med kostnadsoverslag for kostnad per kilo behandlet fisk der hvor datagrunnlaget har vært tilstrekkelig. «Beste praksis» innebærer anbefalinger til hvordan et anlegg rent praktisk bør gjennomføre en avlusing. Dette inkluderer blant annet rutiner for renhold, kontroll, sikring og vedlikehold. Det er stor variasjon av grad av dokumentasjon for de ulike avlusingsmetodene, ettersom enkelte metoder er lite utprøvd og noen benytter egenprodusert utstyr. Rapporten trekker derfor frem at det er et behov for videre dokumentasjon og diskusjon av disse metodene. Rapporten konkluderer med at avlusingsmetodene som innebærer høy grad av fysisk håndtering av fisk har høyere sannsynlighet for å gi skader og dårligere fiskehelse.

Iversen et al. (2017) undersøker underliggende drivkrefter for kostnadene i bransjen i rapporten «Kostnadsutvikling i lakseoppdrett».

Rapporten utgis som en del av et treårig langt prosjekt som følger kostnadsutviklingen i bransjen fra år til år, og som hvert år belyser viktige enkeltfaktorer som bidrar til kostnadsutviklingen. Rapporten utarbeider kostnadsoverslag for medikamentelle behandlinger, mens kostnadene for medikamentfri avlusing bygger på rapporten gjort rede for ovenfor, fra MEDFRI-prosjektet av Holan et al. (2017). Rapporten begrenser seg til å anslå kostnader knyttet til selve behandlingen.

I studien finner Iversen et al. (2017) at økte førkostnader og økte kostnader knyttet til overvåking, forebygging og behandling av lakselus er de viktigste driverne for kostnadsøkningen lakseoppdrettsbransjen har hatt fra 2005 til 2016. Det fremkommer at de totale kostnadene knyttet til lakselus i bransjen fortsatt er høye, rundt fem milliarder per år, men at veksten i disse kostnadene har avtatt noe. Iversen et al. (2017) finner en fortsatt økning i kostnader knyttet til forebygging mot lus og medikamentfrie behandlinger, men en sterk reduksjon i behandlingsformen badebehandling. Iversen et al. (2017) trekker frem at gjennomførte behandlinger blir mer målrettet, og det påpekes at kostnadsutviklingen fremover vil avhenge av omfanget av behandlinger. Et utsagn som er med på å støtte oppunder vår hypotese om at en planmessig tilnærming og strategi overfor luseproblemet kan gi reduserte kostnader knyttet til lakselus

Ved bruk av metoden systemdynamikk utarbeidet Hamza, M.Rich, og Wheat (2014) en modell som integrerer de biologiske, epidemiologiske og økonomiske aspektene ved lakselusproblemet i produksjonsprosessen. Modellen integrerer separate modeller for både utvikling av lakselus og vekst av fisk for å forstå samspillet mellom dem, og i tillegg de økonomiske konsekvensene forbundet med lakselus. I modellen simulerer Hamza et al. (2014) produksjonsprosessen og populasjon av lus på en lokalitet. Hamza et al. (2014) fokuserer på hvordan tidspunkt for lusebehandlinger og variasjon i type behandling kan redusere forekomst av lakselus og dermed kostnadene forbundet med behandling. Resultatene fra modellen viste at forebyggende behandling økte kontrollen på lusepopulasjonen, ga mindre negativt utslag på fiskeveksten og reduserte lusekostnadene forbundet med behandling. Resultatene viste også at å innføre behandling før lokaliteten har nådd lusegrensen bidrar til å forhindre høye toppe av luseforekomst og dermed bryte populasjonssyklusen til lusen. Funnene til Hamza et al. (2014) argumenterer for at modellering som integrerer biologiske og økonomiske aspekter er nyttig for å planlegge og kostnadsstyre produksjonsprosessen.

Hamza et al. (2014) fokuserte i artikkelen kun på badebehandling og behandling gjennom fôr. I dag er det andre behandlingsmetoder som er mer utbredt, eksempelvis mekanisk behandling og rensefisk.

Masterutredningen «Simuleringsmodell som beslutningsstøtte for valg av tiltak mot lakselus på lokalitetsnivå» av Næstvold (2017) tar også utgangspunkt i kostnader og biologiske faktorer, slik som Hamza et al. (2014), for å estimere konsekvensene av ulike produksjons- og kontrollstrategier. Studien inkluderer derimot flere behandlingsmetoder i tillegg til å inkludere forebyggende tiltak. Næstvold finner at tidspunkt for behandling er det mest avgjørende for effektiv lusekontroll.

En annen relevant masterutredning er «En lønnsomhetsvurdering av tiltak mot lakselus» av Aronsveen og Orgland (2014). Aronsveen og Orgland foretar en lønnsomhetsanalyse av avlusingsmetodene rensefisk og medikamentell badebehandling, og konkluderer med at metodene er lønnsomme fremfor ingen avlusning og følgelig tidligere slakting. Metodene blir vurdert isolert hver for seg, og til videre arbeid foreslås det å vurdere lønnsomheten når avlusningstiltakene benyttes kombinert.

Innledningsvis ble det poengtert at mye av tilgjengelig litteratur og forskning som studerer kostnader ved lakselus inkluderer behandlingsmetoder som i dag anses som utdaterte. Funn om kostnad og effekt tilknyttet disse behandlingsmetodene vil dermed i liten eller ingen grad gi beslutningsrelevant informasjon til oppdretter. Det er derfor interessant å gjennomføre nye analyser som belyser kostnadene med gjeldende behandlingsmetoder.

Hamza et al. (2014) og Næstvold (2017) integrerer begge økonomiske og biologiske faktorer i en simuleringsmodell og svarer på mange av de samme spørsmålene som er aktuelle for vår problemstilling. Vi vil i vår utredning fokusere på dagsaktuelle bekjempelsesmetoder, samt nye og oppdaterte reguleringer. Vi vil også undersøke andre aspekter vi anser som interessante for å besvare problemstillingen. Blant annet ser begge studiene på et bestemt tidspunkt for utsett, og vi ønsker å se på forskjellige tidspunkt for utsett, ettersom vi tror det kan ha ulike økonomiske konsekvenser. Vi vil også ha et større fokus på de økonomiske konsekvensene enn de nevnte studiene, og vil gjøre en vurdering av usikkerheten rundt disse.

Kostnadsstudie til Iversen et al. (2017) vil gi verdifull informasjon til vårt arbeid, ettersom det er stor variasjon i hvilke kostnadsdata som er tilgjengelig. Flere kostnader avhenger av praksis hos den enkelte oppdretter, og slik informasjon kan være krevende å oppdrive som følger av mye konfidensialitet i bransjen. Tallfesting av de ulike kostnadene er dermed en omfattende prosess, hvor det både må foretas kvantitative og kvalitative analyser. De utarbeidede kostnadsestimaterne danner derfor et nyttig grunnlag for denne utredningen.

2. Lakseoppdrett i Norge

Forsøkene med fiskeoppdrett i Norge begynte for alvor på 1950- og 60-tallet. Danskene hadde lykket med lønnsomt oppdrett av ørret på land, men norske forhold var ikke tilrettelagt for oppdrett på samme måte (Hallenstvedt, 2015). Imidlertid så det ut til at temperatur- og strømforholdene langs den skjermede norskekysten kunne gi gode vekstvilkår for oppdrett i sjø. På denne tiden utgjorde oppdrettspionerene et lite miljø og arbeidet var preget av kostbar eksperimentering, men rask kunnskaps- og erfaringsdeling blant de få aktørene tilrettela for hurtig forsknings- og næringsutvikling.

På begynnelsen av 70-tallet begynte oppdrettsnæringen å ta form til slik vi kjenner den i dag. Verdens første merdbaserte lakseanlegg ble etablert på Hitra, og anlegget var lønnsomt allerede det første året. Etter gjennombruddet med merdbaserte anlegg spredte næringen seg langs hele kysten og produksjonen økte betraktelig; fra 500 tonn på begynnelsen av 70-tallet til 8000 tonn i 1980. Oppdretterne hadde drevet forsøk med både ørret og laks, men laksen ga høyere pris og var lettere å markedsføre og var dermed viktig for å bygge opp den økonomiske ryggraden i næringen.

Med økt produksjon og en mer etablert næring oppstod behovet for å opprette lovverk og regulering av næringen. Regjeringen opprettet i 1972 Lysø-utvalget med mandat til å utrede potensialet, organiseringsformen, kunnskapsbehovet og lovreguleringen av oppdrettsnæringen (Fiskeri- og havbruksnæringens landsforening & Eksportutvalget for Fisk, 2011). Utvalget belyste tidlig i arbeidet behovet for et styringsmiddel i forbindelse med oppdrettsnæringens utvikling (Fiskeridepartementet, 1980). Oppdrettsnæringen og dens potensielle ringvirkninger ga muligheter for økt sysselsetting på næringssvake områder og reguleringer ga mulighet til å styre markedet i ønsket retning. I 1973 ble det derfor nødvendig med konsesjoner for å etablere nye oppdrettsanlegg. Konsesjonslovgivningen var først og fremst næringspolitisk motivert, men den stilte også kvalitetskrav til anleggene. Dermed måtte oppdretterne sørge for blant annet tilfredsstillende fiskehelse og tilstrekkelig kvalitet på anleggsutstyret.

I dag er lakseoppdrett en svært etablert næring i Norge, og er både ledende produsent av atlantisk laks i verden og i front når det gjelder oppdrettsteknologi. Ettersom myndighetene vil sikre bærekraftig utvikling i næringen, er næringen tydelig regulert gjennom lovverk og forskrifter.

2.1.1 Akvakulturloven

I 2005 vedtok Stortinget den nye akvakulturloven med bestemmelser som regulerer havbruksnæringen. Lovens formål er å fremme akvakulturnæringens lønnsomhet og konkurransekraft innenfor rammene av en bærekraftig utvikling, og bidra til verdiskaping på kysten (jf. Akvakulturloven § 1). For å sikre dette er tildeling av tillatelse til etablering av en oppdrettslokalitet en tidkrevende prosess med bred involvering. I søknaden må oppdretterne fremlegge informasjon om havstrømforholdene, miljøstatus og artsmangfold rundt den planlagte lokaliteten. Videre må søknaden vurderes av fylkeskommunen, kommunen, mattilsynet, kystverket, fylkesmannen og fiskeridirektoratet (Norges Sjømatråd/Sjømat Norge, 2018). Alle godkjente oppdrettere tildeles konsesjon for driften.

Som følge av høy etterspørsel etter kommersielle konsesjoner for oppdrett av laks, regnbueørret og ørret i sjøvann er disse tillatelsene antallsbegrenset. Departementet bestemmer når nye tillatelser kan tildeles, og til hvilket vederlag. Forrige tildeling ble gjennomført som en auksjon i 2018 for bestemte produksjonsområder. Minsteprisen var satt til 120 000 kroner per tonn, og de endelige prisene strakte seg fra 132 000 til 252 000 kroner per tonn for de ulike produksjonsområdene (Fiskeridirektoratet, 2018). Konsesjonene er omsettelige ved at de kan overføres, men i utgangspunktet ikke leies ut. Det er ingen fastsatt varighet av konsesjonene, men departementet har myndighet til å endre rammen av konsesjonen eller trekke den tilbake.

2.1.2 Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg

Mattilsynet utformet lakselusforskriften med formål om å redusere forekomsten av lakselus, minimere skadevirkningene på oppdretts- og villaks, og bekjempe og hindre at lakselusen fortsetter å utvikle resistens mot avlusingsmetoder. Forskriften stiller krav til at oppdretter overvåker og kontrollerer lusenivået i akvakulturanlegget.

Sjøtemperatur og antall lus skal innrapporteres hver uke ved temperaturer over fire grader, og hver 14. dag ved lavere temperaturer. I tillegg må det rapporteres detaljer om avlusingsbehandling, samt effekt. Videre setter forskriften krav til når og hvordan avlusing skal foregå. Det skal til enhver tid være færre enn 0,5 voksne hunn lus i gjennomsnitt på oppdrettslaksen. Om våren er grensen lavere: i Nord-Trøndelag og sørover skal det være færre enn 0,2 voksne hunn lus per laks i uke 16 til 21, mens i Nordland, Troms og Finnmark gjelder samme grense fra uke 21 til og med uke 26.

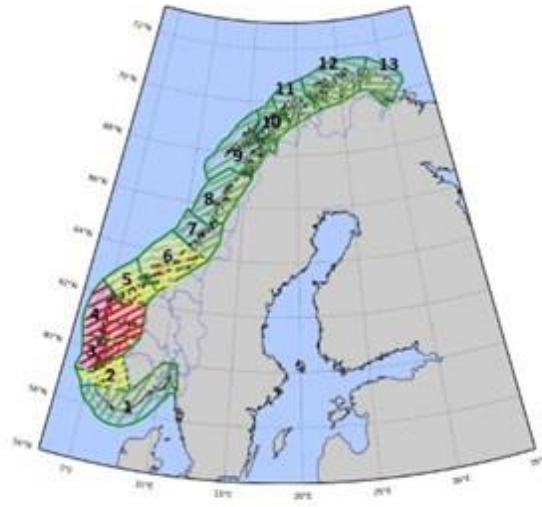
Oppdrettsanleggene pålegges også å ha en samordnet plan for effektiv kontroll og bekjempelse av lakselus. Dette innebærer at anlegg innenfor et bestemt geografisk område sammen må utarbeide rutiner for når avlusing skal gjennomføres og rutiner for informasjonsutveksling mellom anleggene. Dette gjennomføres gjennom jevnlig møter med fiskehelsenettverket anlegget er tilknyttet. For å sikre at kravene overholdes tildeles Mattilsynet etter forskriften en rekke virkemidler mot anlegg som overtrer bestemmelsene, deriblant tvangsmulkt og fengselsstraff.

2.1.3 Maksimalt tillatt biomasse

Maksimalt tillatt biomasse (MTB) setter begrensninger i antall kilo levende fisk et selskap og dens lokaliteter kan inneha på et hvilket som helst tidspunkt. MTB for selskapet som helhet fastsettes på bakgrunn av antall og hvilken type konsesjoner selskapet har. På konsesjonsnivå gir én tillatelse normalt en MTB på 750 tonn, med unntak av Troms og Finnmark med 950 tonn. Begrensninger utover dette kan videre gjøres basert på lokalitetens miljømessige bæreevne (Fiskeridirektoratet, 2017).

2.1.4 Trafikklyssystemet

For å sikre bærekraftig vekst i bransjen, innførte regjeringen i 2017 trafikklyssystemet. Systemet deler kyst-Norge inn i 13 soner som tildeles en trafikklysfarge avhengig av om produksjonen av laks, ørret og regnbueørret kan økes, holdes på dagens nivå eller reduseres. Dette bestemmes på bakgrunn av hvor store konsekvenser næringen har på miljøet, samt hvor store utfordringer området har med lakselus (Regjeringen, 2017).

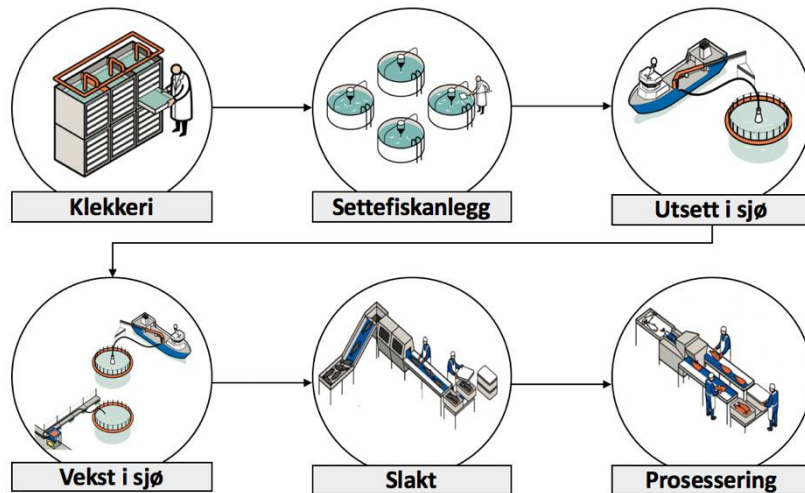


Figur 1: Trafikklyssystemets 13 soner (Regjeringen, 2017).

I grønne soner kan oppdrettere søke om økt MTB på inntil to prosent av eksisterende tillatelser (jf. § 4 Forskrift om kapasitetsøkning for tillatelser til akvakultur med matfisk i sjø av laks, ørret og regnbueørret i 2017/2018). Dersom søknaden innvilges må det betales et vederlag til staten per tonn tillatelsen blir utvidet med.

Unntaksvis kan det innvilges en produksjonsøkning på inntil seks prosent uavhengig av miljøstatus i produksjonsområdet. Slike tillatelser kan gis dersom anlegget ikke slipper ut lakseluslarver i frie vannmasser, eller dersom anlegget over en lengre periode kan dokumentere færre enn 0,1 voksne hunnulus per fisk ved alle ukentlige tellinger og har gjennomført maksimalt én medikamentell avlusing den siste produksjonssyklusen.

2.2 Produksjonsprosessen



Figur 2: Produksjonsprosess av oppdrettslaks. Fra rogn til distribusjon (Marine Harvest, u.d.)

Den første delen av oppdrettslaksens livssyklus, fra rogn til smolt, finner sted på land i klekkeri- og settefiskanlegg. Ofte står settefiskanlegget selv for produksjonen av rogn, alternativt kan øyerogn kjøpes fra spesialiserte avls- og stamfiskstasjoner. I naturen tar det to til fem år før fisken når smoltstadiet (Miljødirektoratet, u.d.), men oppdrettsanleggene manipulerer denne prosessen ned til en varighet på 10 – 16 måneder. Det er avgjørende at anleggene sørger for tilfredsstillende vannkvalitet for å sikre god fiskehelse, fiskevelferd og kvalitet på smolten (Mattilsynet, 2014). Det regnes som et bra resultat dersom et anlegg klarer å avle opp 75 % leveringsklar smolt fra øyerognen (Hallenstvedt, 2015).

Den siste tiden i settefiskanlegget tilpasses yngelen saltvann, også kalt smoltifisering. Fisken er da klar for å fraktes med brønnbåt til matfiskanlegg i sjø, og har på dette tidspunktet normalt en vekt på rundt 100 gram (Marine Harvest, u.d.). I Norge foregår dette smoltutsettet hovedsakelig om høsten eller våren. Laksen holdes i merder frem til den når en vekt på mellom fire til seks kilo, som tilsvarer 14 – 22 måneder i sjø. I denne perioden er laksen utsatt for en rekke faktorer som påvirker fiskehelsen som vannkvalitet, havstrømmer og temperatur. Oppdretter har liten eller ingen mulighet til å påvirke dette. Desto lengre fisken er i sjø vil fisken være utsatt for disse faktorene som medfører risiko for smitte, sykdomsutbrudd og tap.

Slaktingen foregår jevnt utover året, men ettersom det er best tilvekst i siste kvartal forekommer mesteparten av slaktingen på dette tidspunktet (Marine Harvest, 2018). Den slakteklare laksen flyttes med brønnbåt til slakteriet hvor den først plasseres i slaktemerder før den deretter blir fraktet inn på slakteriet. Der bedøves, avlives, sløyes og vaskes fisken. Deretter blir den fordelt etter størrelse og kvalitet og pakket i is. Fra slakteriet sendes fisken til fiskehandelen eller til videreforedling. Laks selges i hovedsak som et ferskt produkt, og det tar kun et par dager fra slakteriet til laksen kan kjøpes i butikk (Norges Sjømatråd, 2018). Etter endt produksjonssyklus skal alle lokaliteter i sjøvann tømmes og brakklegges i minst to måneder (jf. Akvakulturdriftsforskriften § 40).

Produksjonstiden fra rogn til laksen slaktes og selges ut til markedene er dermed rundt to og et halvt til tre år. Det foretas altså betydelige investeringer lenge før den faktiske markedsverdien av produktet er kjent. I tillegg kan produksjonstiden påvirkes av hendelser internt eller eksternt hos leverandør, som igjen kan påvirke produsert kvalitet og markedsverdi. Eksempelvis er slakteriet og slakteprosessen regulert av akvakulturdriftsforskriften og forskrift om slakterier og tilvirkingsanlegg for akvakulturdyr, hvor sikring av fiskevelferd og høy hygiene står sentralt. Akvakulturdriftsforskriften § 54 setter begrensning til at det maksimalt kan være fisk fra tre ulike akvakulturanlegg i slakteriets slaktemerder, og fisken kan maksimalt oppholdes i disse merdene i seks dager. I praksis medfører dette at et oppdrettsanlegg som benytter et eksternt slakteri kan oppleve at det ikke er tilgjengelig slaktekapasitet på det tidspunkt de ønsker å slakte. For å få økt kontroll over produksjonen velger derfor enkelte selskap å holde hele produksjonsprosessen internt, eller ved å inngå samarbeidskontrakter oppstrøms og nedstrøms i verdikjeden.

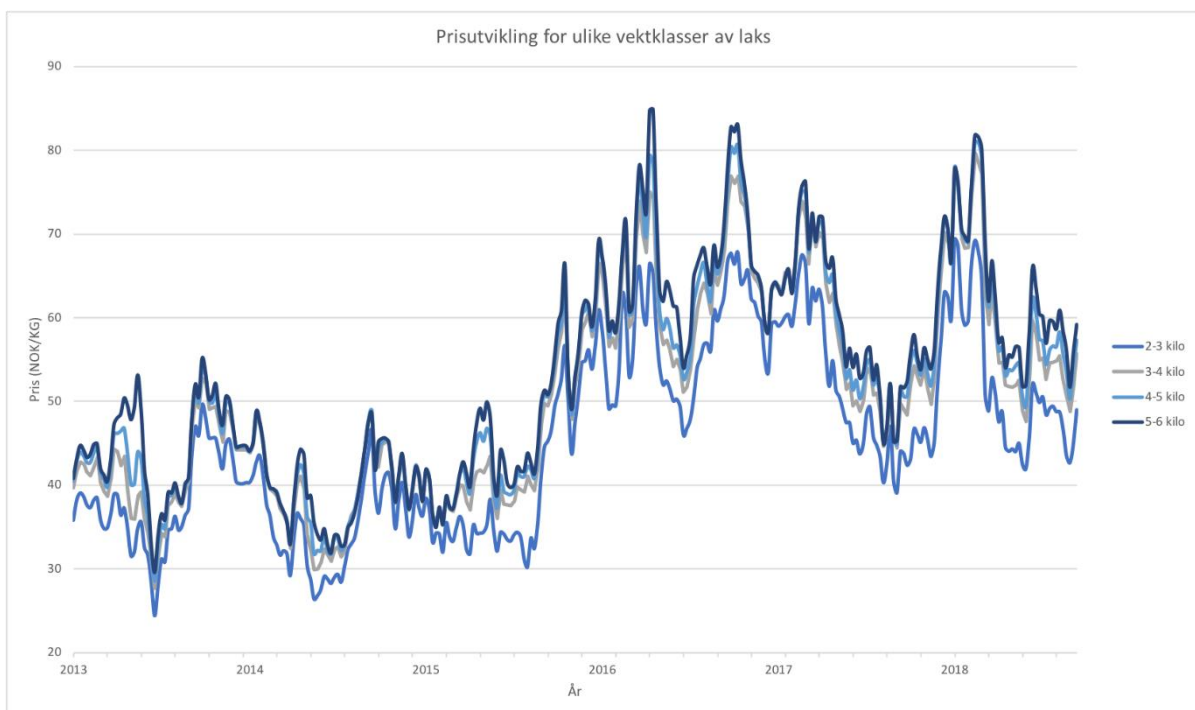
2.3 Lønnsomhet

Vi har nå forklart at lakseoppdrett i Norge har utviklet seg mye siden oppstart og er i dag en etablert og regulert næring. I dette kapittelet skal vi se nærmere på pris- og kostnadsutviklingen i næringen for å gi en forståelse av hvilke kostnadsrelevante faktorer som ligger utenfor oppdretters kontroll og hvilke faktorer som kan påvirkes i større grad.

2.3.1 Laksepris og utvikling

Lakseprisen bestemmes i spotmarkedet og avhenger av tilbudt mengde og kundenes kvalitets- og prispreferanser. Som følge av en lang planleggings- og produksjonsprosess er det krevende og kostbart å gjøre endringer i tilbudt mengde på kort sikt, noe som gjør lakseprisen svært uelastisk. På den andre siden vil etterspurt mengde variere med sesong. Disse tilbuds- og etterspørselsegenskapene gir høy prisvolatilitet i markedet og sykliske variasjoner i inntjening og lønnsomhet (Marine Harvest, 2018) (Iversen, et al., 2015).

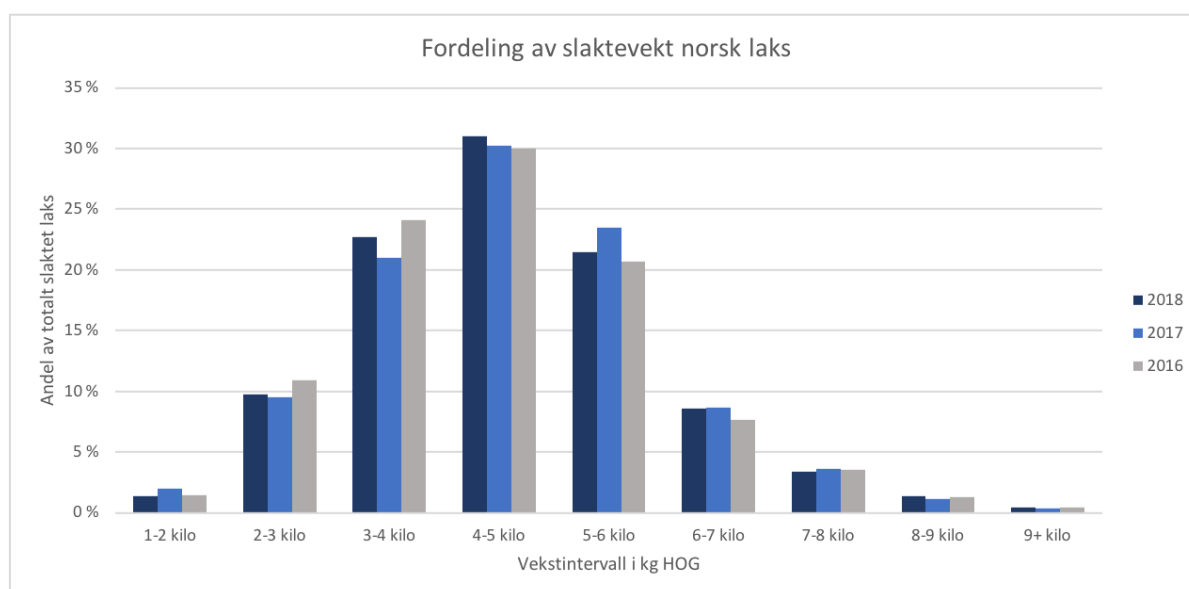
Faktorer som påvirker markedsprisen for atlantisk laks er tilbud og etterspørsel (absolutt og sesongavhengig), arbitrasjemuligheter i det globaliserte markedet, salgskontrakter som reduserer tilbudt mengde på spotmarkedet, fleksibiliteten av markedskanalene, kvalitet, sykdomsutbrudd og rykte (Marine Harvest, 2018).



Figur 3: Prisutvikling for ulike vektklasser av laks (NASDAQ, 2018).

De siste årene har næringen opplevd en kraftig etterspørselsøkning. Produksjonsvolumet har på sin side vært stabilt siden 2012, hvilket skyldes den lange produksjonsprosessen, biologiske utfordringer med lakselus og sykdommer, samt regulatoriske begrensninger ved konsesjoner og MTB. Tilbudet har dermed ikke klart å følge etterspørselen, noe som har drevet lakseprisen opp på rekordhøye nivå.

Lakseprisen vil også variere med slaktevekten, ettersom ulike slaktevekt gir ulike etterspørsel. Prosessindustrien i Europa etterspør i hovedsak fisk mellom tre til seks kilo og utgjør dermed det største markedet. Det finnes også nisjemarkeder for mindre og større fisk, med henholdsvis typisk lavere og høyere pris i markedet. Ettersom disse markedene er små sammenlignet med hovedmarkedet vil imidlertid prisene være sårbare ved endringer på etterspørsels- og tilbudssiden (Marine Harvest, 2018).



Figur 4: Andel slaktet laks for ulike vektklasser (NASDAQ, 2018).

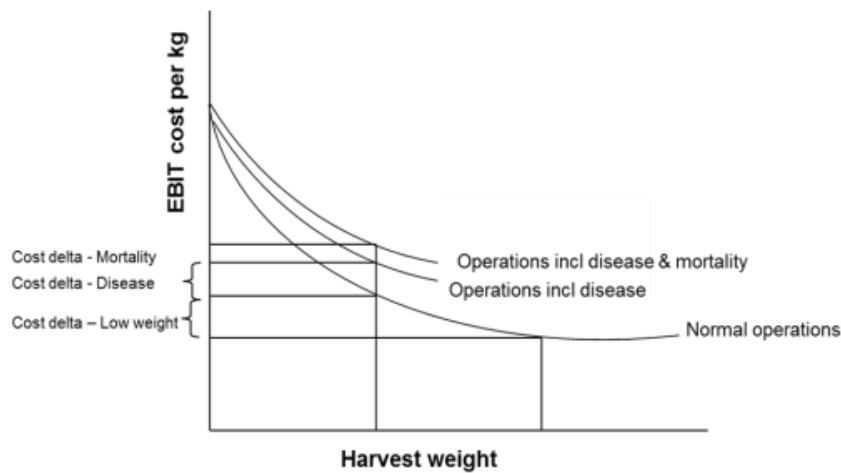
2.3.2 Kostnader i næringen

Kostnadsbildet i lakseoppdrettsnæringen er sammensatt, og påvirkes av flere ulike faktorer som biologiske forhold og operasjonelle beslutninger. I det følgende vil vi gå nærmere inn på hvorfor hydrografiske forhold som havtemperatur kan gi utslag på kostnadene og videre hvordan sykdom og dødelighet påvirker lønnsomheten. Til slutt presenteres kostnadsstrukturen i næringen, hvor det særlig legges vekt på kostnadspostene med størst utvikling og årsaken til denne utviklingen.

Sykdom og dødelighet

Ved normal produksjon uten utfordringer med sykdom og dødelighet er optimal slaktevekt mellom fire til fem kilo. Tidligere slakting vil medføre et lavere driftsresultat.

Dette følger av at økt fiskevekt medfører en fallende kostnadskurve, samt lavere markedspris for laks med lavere vekt.



Figur 5: Forholdet mellom slaktevekt og påvirkning på EBIT (Marine Harvest, 2018).

Det vil alltid være en naturlig dødelighet i en biologisk produksjonsprosess. I lakseoppdrett er denne dødeligheten høyest de første to månedene i sjø. Sykdomsutbrudd, lusebehandlinger og rovdyrangrep vil imidlertid kunne føre til en høyere dødelighet enn normalen (Marine Harvest, 2018). Slike forhold vil flytte kostnadskurven utover og dermed gi høyere kostnader, som illustrert i Figur 5. Størrelsen på denne kostnaden vil avhenge av omfang og til hvilket tidspunkt hendelsen oppstår i produksjonssyklusen.

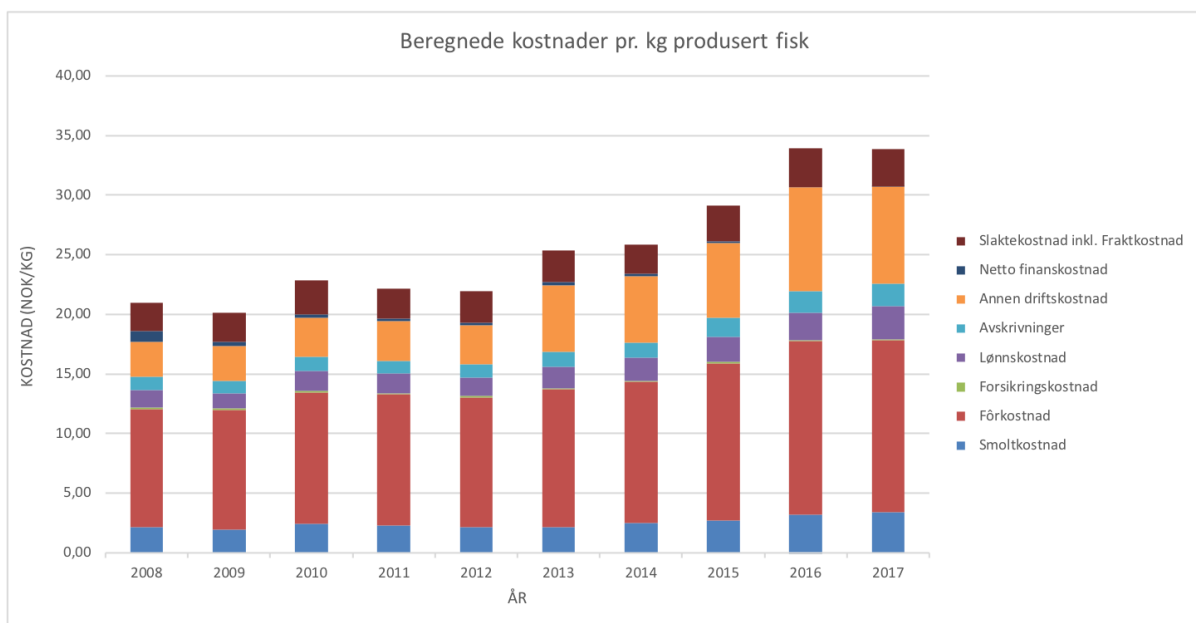
Sjøtemperatur

Hydrografiske forhold som havtemperatur har stor innvirkning på forhold i produksjonsprosessen, ettersom både laksevekst og utviklingstiden til lakselus er temperaturavhengig. Optimal sjøtemperatur for tilvekst hos atlantisk laks ligger mellom 8 – 14°C. Varmere temperaturer gir dårligere immunforsvar, negative effekter på hjertet, økt energiforbruk og svekket appetitt. Dette medfører økt risiko for sykdomsutbrudd og en lavere tilvekst, og påvirker dermed produksjonskostnadene. Temperaturer under 0°C medfører økt risiko for massedød, noe som vil gi store økonomiske konsekvenser (Marine Harvest, 2018). Utviklingstiden for lakselus vil på sin side bli kortere med økt sjøtemperatur (Stien, Bjørn, Heuch, & Elston, 2005). Høye temperaturer gir derfor ofte større utfordringer med forekomst og omfanget av lakselus.

Anlegg med sjøtemperaturer innenfor det optimale temperaturintervallet vil kunne ha kortere produksjonssyklus og dermed i stand til et større produksjonsvolum som er mindre eksponert for risiko. Disse anleggene vil således ha et komparativt fortrinn med potensielt lavere kostnader og høyere inntekter.

Kostnadsstruktur

Lakseoppdrettsnæringen har de siste årene opplevd stigende produksjonskostnader. Figur 6 viser at kostnadsøkningen særlig skyldes en økning i kostnadspostene smolt-, fôr-, lønns- og andre driftskostnader. For å forstå de underliggende driverne bak kostnadene identifiserte Iversen et al. (2015) seks overordnede drivkrefter og faktorer som påvirker enhetskostnadene: Utvikling i teknologi, biologiske faktorer, klimatiske faktorer, markeder for innsatsfaktorer, myndighetskrav og reguleringsystem.



Figur 6: Utvikling i produksjonskostnad per kilo fra 2008 til 2017 (Fiskeridirektoratet, 2018).

RAS-anlegg og automatisering har muliggjort økt produksjonsvolum av smolt, samt produksjon av større smolt. Større smolt medfører imidlertid lengre produksjonstid, og gir dermed høyere enhetskostnad for smolten. Denne økte kostnaden skyldes oppdretternes strategiske valg om å høste gevinster andre steder i produksjonen; større smolt medfører redusert produksjonstid i sjø og dermed redusert eksponeringstid mot lakselus og annen sykdom (Iversen, et al., 2015).

Historisk sett har fôrkostnadene utgjort en betydelig andel på om lag 50 % av produksjonskostnadene, og kostnadsposten har steget ytterligere med 45,5 % de siste ti årene. Økningen drives i hovedsak av høye priser på innsatsfaktormarkedet og biologiske utfordringer. Fôringrediensene handles i USD, og en svak krone har gjort denne innsatsfaktoren kostbar. I tillegg har det vært en generell prisøkning i marine råvarer ettersom tilbudet er begrenset (PwC, 2017). Videre har utfordringer med sykdom og lus ført til en økning i forbruk av fôr, økt økonomisk fôrfaktor, og mer bruk av spesialfôr, som har høyere pris. En høyere dødelighet sent i produksjonssyklusen som følger av mekaniske avlusingsmetoder gir høyere snittvekt på tapet, og bidrar også til økt økonomisk fôrfaktor (Iversen, et al., 2015).

Biologiske faktorer, myndighetskrav og reguleringssystem er sentrale drivere for den økte lønnskostnaden. Krav til omfattende kontroll, rapportering, forebygging og behandling av lakselus gir et økt bemanningsbehov og fører lønnskostnadene oppover. Reguleringssystemet fører også til en økt arbeidsinnsats til administrativt arbeid som kreves til for eksempelvis konsesjonssøknader. Arbeidsoppgavene krever i større grad høyere kompetanse, noe som også gir utslag på lønnskostnadene (PwC, 2017). Utover dette vil mye av den ekstra arbeidsinnsatsen komme fra innleide tjenester og reflekteres dermed i kostnadsposten «andre driftskostnader». Den reelle lønnskostnaden er derfor sannsynligvis høyere enn kostnaden som faktisk fremkommer (Iversen, et al., 2015).

Kostnadsposten «Andre driftskostnader» står for den største kostnadsøkningen med 82 % de siste ti årene (PwC, 2017). Økningen drives i betydelig grad av de biologiske utfordringene med lakselus, og særlig kostnader i forbindelse med lusebehandling; antall behandlinger øker, nye metoder blir tatt i bruk som følge av resistensproblemet og samtidig øker behandlingsdødeligheten. Hvordan oppdretterne forholder seg til lusegrensen kan gi store utslag på kostnadssiden til den enkelte oppdretter. Eksempelvis kan det være store forskjeller på om behandlingene foretas som brannslukning eller om avlusing er en del av en planlagt strategi der også forbyggende behandlinger som rensefisk benyttes (Iversen, et al., 2015).

På tross av avlusing og forebyggende tiltak, er lakselusens utvikling en biologisk prosess som vanskelig kan kontrolleres. Eksempelvis spres lakselusen med havstrømmer og dermed vil også luseforekomsten på nabolokaliteter påvirke lusenivået i et anlegg. Svekket fiskehelse øker sannsynligheten for dødelighet ved behandling, og i noen tilfeller kan helsen være så

svekket at det ikke er mulig å foreta behandling. En oppdretter kan legge til rette for god fiskehelse i anlegget, men det er som nevnt en biologisk produksjonsprosess og dermed ikke mulig å kontrollere fiskehelsen fullt og helt.

Oppsummert er det flere ulike faktorer som skyldes kostnadsøkningen vi har sett de siste årene, men det er kostnadspostene fôrkostnader og andre driftskostnader som har økt mest. Noen av faktorer ligger utenfor næringen og oppdretternes kontroll, eksempelvis prisen på innsatsfaktorene til fôr. Andre kostnader, som kostnadene knyttet til lakselus, kan derimot oppdretterne påvirke i større grad. Det er en lang, kompleks og biologisk produksjonsprosess som er vanskelig å kontrollere fullt og helt, og dermed vil det trolig ha enda større verdi for oppdretterne å optimalisere og være bevisst på valg der det er mulighet for å styre kostnadene.

3. Lakselus

I analysen skal vi undersøke kostnader knyttet til lakselus og dermed er lakselus en nøkkelkomponent i simuleringsmodellen. For å forstå hensikten med modellen og hvordan den er bygget opp er kunnskap om lakselusen og tilknyttede utfordringer relevant. I dette kapitlet ønsker vi derfor å gi leseren en forståelse for lakselusens biologi, hvordan lusen sprer seg, utfordringen lakselusen fører med seg, samt aktuelle tiltak mot lus oppdretterne kan iverksette.

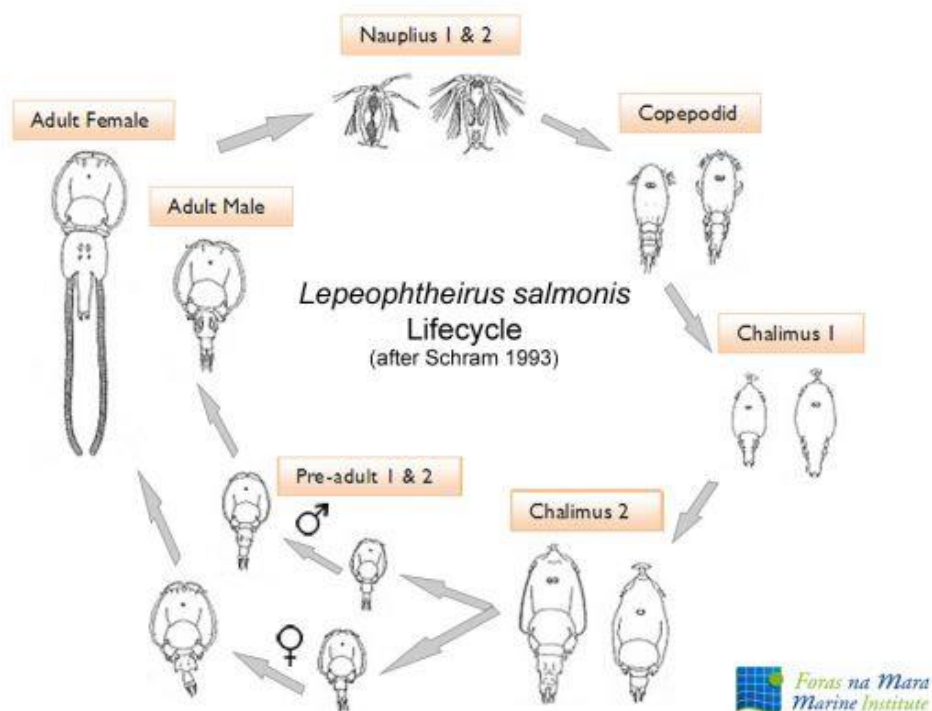
3.1 Lakselusens biologi

Lakselus (*Lepeoptheirus salmonis*) er en naturlig forekommende parasitt på laksefisk i saltvann på den nordlige halvkule, og er spesialtilpasset et liv på laksefisk. Det finnes flere arter fiskelus, men den dominerende arten på laksefisk i Norge er lakselusen. Lakselus finnes på fisk i havbruksanlegg, på sjøørret og på villaks, og trenger kun én vert for å gjennomføre sin livssyklus (Veterinærinstituttet, u.d.).

Lakselusen trives dårligere desto mindre salt det er i vannet, og vil falle av villaksen og sjøørreten når fisken går opp i elvene der det er ferskvann (Havforskningsinstituttet, 2016). Lakselus spiser hud, slim og blod av fisken, og skadene på fisken avhenger av antall parasitter per fisk og vertens størrelse. Mange lus på én fisk kan føre til store sår og svekke fiskehelsen. I verste fall kan alvorlige luseinfeksjoner være dødelig for fisken. Dersom forekomsten av lus blir for høy, kan det være en utfordring både for oppdrettslaksen og villaksen (Norges Sjømatråd/Sjømat Norge, 2018).

Lakselus har åtte livsstadier, og skifter skall mellom hver av stadiene. Utviklingstiden avhenger av sjøtemperaturen, eksempelvis vil lakseluslarvene bruke 35 dager på å utvikle seg til voksne lus når sjøtemperaturen holder 10 grader, men ved 15 grader vil den utviklingen kun ta 18 dager (Dalvin & Johnson, 2015).

Figur 7 viser livssyklusen til lakselusen med sine åtte livsstadier.



Figur 7: Lakselusens livssyklus (The Marine Institute (Foras na Mara), u.d.).

Voksne lus parrer seg på fisken og hunnene produserer par med eggsekker. Eggsekkene inneholder rundt 150–400 egg, og en hunn kan lage minst 11 par slike sekker. Eggene klekkes og frigjør det første av de tre frittsvømmende larvestadiene, nauplius 1, som videre utvikler seg til nauplius 2. Nauplius 2-stadiet blir til kopepoditter, som finner og infiserer fisken. Kopepodittene spiser ikke før de eventuelt finner en vert, og dør av sult dersom de ikke klarer å finne en. I disse stadiene, som kan vare i flere uker ved lave temperaturer, kan larvene spre seg med strømmen, og over mange kilometer. De to påfølgende stadiene, chalimus 1 og 2, sitter fast på fisken. Når lakselusen nærmer seg voksen, i de to stadiene pre-adult 1 og 2, blir de bevegelige og kan bevege seg rundt på laksens hudoverflate. Disse to stadiene sammen med voksne lus gjør derfor størst skade på fisken med sin beiteaktivitet. Etter sitt siste skallskifte er lusen voksen, og først da kan lusen pare seg på fisken. Alle livsstadier er synlig med det blotte øyet, men det er de tre bevegelige stadiene som er størst og dermed lettest å se (Havforskningsinstituttet, 2016) (Veterinærinstituttet, u.d.).

3.2 Spredning av lakselus og smittepress

Spredningen av lakselus skjer ved at lakseluslarvene klekkes direkte i vannmassene og utvikler seg gjennom flere stadier før de blir smittsomme og kan feste seg på en laksefisk. De kan i denne perioden bevege seg vertikalt i vannet og drive fritt med vannstrømmene. For å kunne si noe om hvor mye lakselus som befinner seg omkring i vannmassene i et gitt område er det flere aktuelle kilder å se nærmere på.

Luseforskriften, beskrevet i 2.1.2, pålegger oppdrettere å telle antall lakselus per fisk på et utvalg av fisken i merdene hver uke, for så å rapportere dette inn til mattilsynet. Dette gir en indikasjon på lusenivået på gitt lokalitet, men dette lusenivået er også et resultat etter eksempelvis behandlinger mot lus og andre forebyggende tiltak, noe som betyr at lusenivåene eksempelvis blir redusert som følge av en gjennomført behandling.

For å kunne si noe om tilførselen av smittsomme lakseluselarver i et område finnes det to aktuelle modeller: Veterinærinstituttets avstandsbaserte smittepressmodell og Havforskningsinstituttets hydrodynamiske spredningsmodell.

Veterinærinstituttet har utviklet en deterministisk smittepressmodell som viser relativ fremvekst av nye mobile lakselus hver uke, avhengig av temperatur. Modellen baseres på ukentlig rapporteringer på lokalitetsnivå, antall reproduserende hunnlus og temperatur. Lokalitetsinformasjon brukes sammen med en deterministisk modell for lakselusens populasjonsdynamikk til å beregne reproduksjon, utviklingstider og overlevelse frem til mobile stadier av lus på fisk. Veterinærinstituttets smittepress beregnes per anlegg og representerer lokalt smittepress som fortynnes med økende avstand fra kildeleddet. For et gitt sted på kysten kan en beregne det totale smittepresset ved å legge sammen avstandsjusterte smittepress fra alle anlegg med lus i nærheten. Modellen tar ikke hensyn til bevegelser i vannmassene (Veterinærinstituttet, u.d.) (Kristoffersen, et al., 2014).

Havforskningsinstituttets modell beregner hvor mange smittsomme lakseluslarver (kopepoditter) per kvadratmeter som har vært i området den aktuelle uken. Utgangspunktet for mengden smittsomme lakselus er mengden voksne hunnlus i oppdrettsanleggene og de aktuelle strømforholdene. Modellen er mer kompleks enn veterinærinstituttets modell, og er en sammenkopling av en rekke ulike modeller. Havforskningsinstituttet gjennomfører operasjonelle simuleringer av lakseluskonsentrasjoner langs norskekysten basert på rapporter fra alle oppdrettsanlegg i drift sammen med resultater fra Meteorologisk institutts operasjonelle simuleringer av havstrømmer med kystmodellen NorKyst800¹. Modellen beregner først utslipp av lakselus fra alle rapporteringspliktige oppdrettsanlegg i landet. Videre når luselarvene er klekket direkte i vannmassene påvirkes de av sjøtemperaturen, saltholdighet og havstrømmer. Sammen med tilgjengelig kunnskap om biologi, adferd og dødelighet beregner modellen hvordan larvene sprer seg i vannmassene, først som smittsomme nauplier, og videre som smittsomme kopepoditter (Sandvik, et al., 2017).

Sluttproduktet er tetthet av smittsomme lakseluslarver (kopepoditter) langs hele kysten en gang i timen. Resultatene lagres ukentlig som gjennomsnittsverdier over ti dager og er presentert i 800*800 kvadratmeter (Sandvik, et al., 2017).

3.3 Utfordringene knyttet til lakselus

Lakselusen er som nevnt en naturlig parasitt, og problemene knyttet til lakselus oppsto først etter oppdrettsnæringens inntreden. I dag gir samlet mengde oppdrettsfisk så mange verter for lakselusen at produksjonen av egg og larver som sprer seg i de frie vannmassene er betydelig og dermed øker smittepresset for villaksen betraktelig. I dag vurderes lakselusen og dens påvirkning alene til å kunne sterkt redusere eller til og med utrydde bestander av vill laksefisk, dersom den ikke holdes under kontroll.

Ved omtrent seks lakselus per fisk oppstår det betydelige skader på fisken, og mer enn ti lus kan være dødelig (Mattilsynet, 2012). I oppdrettsanleggene kan antall lus holdes lavere ved

¹ Kystmodellen NorKyst-800 er en beregningsmodell som simulerer strøm, saltholdighet og temperatur med 800 meters romlig oppløsning og med høy oppløsning i tid for hele norskekysten. NorKyst-800 er utviklet på Havforskningsinstituttet i samarbeid med Meteorologisk institutt og Niva (Asplin, Sandvik, & Albretsen, 2011).

bruk av ulike avlusingsmetoder, men villfisken derimot får ikke noe behandling (Miljødirektoratet, 2015) .

Luseforskriften, beskrevet i kapittel 2.1.2 fastsetter grenser for tillatt lusenivå i anleggene slik at samlet lusemengde i sjøen ikke blir for stor og dermed skadelig for villfisken. Dersom det er nødvendig må oppdretterne igangsette ulike tiltak for å ikke overskride grensen. Lakselus kan blant annet bekjempes med legemidler, renseskum og mekaniske behandlingsmetoder.

De vanligste og mest effektive tiltakene mot lakselus har tradisjonelt vært medikamentell behandling. Hovedutfordringen knyttet til lakselus i dag er derimot at lakselusene de siste årene har blitt resistente mot de fleste av legemidlene. Bruk av mekaniske metoder er derfor blitt mer utbredt. Mekanisk behandling er mer krevende for fisken noe som medfører høyere dødelighet og svekket fiskehelse, og for å holde lusenivået lavt nok vil det ofte kreves hyppige behandlinger gjennom produksjonssyklusen. Dette fører til at det både er vanskeligere og mer kostbart å ha kontroll på luseproblemet (Mattilsynet, 2016).

Det høye produksjonsvolumet i oppdrettsnæringen, resistensutviklingen og mangel på gode tiltak mot lus gjør at lakselus er en utfordring både for næringen som helhet og den enkelte oppdretter. For oppdretterne er det både kostbart og omfattende å overholde grensen, og risikerer pålegg om nedslakt, midlertidig redusert produksjon, samt høye økonomiske sanksjoner dersom grensen ikke overholdes. Nye konsesjoner utstedes ikke før miljøbelastningene i oppdrettsbransjen håndteres, og videre vekst i næringen forutsetter derfor at utfordringene knyttet til lakselus er tilstrekkelig håndtert (Nærings- og fiskeridepartementet, 2015).

3.4 Bekjempelsesmetoder

Det finnes flere ulike bekjempelsesmetoder som kan benyttes for å overholde grensen.

Metodene er under stadig utvikling for å imøtekomme både miljømessige og bærekraftige hensyn. I utredningen har vi valgt å se bort ifra medikamentelle behandlingsmetoder ettersom lakselusen i stor grad har utviklet resistens mot disse metodene. Videre har vi derfor valgt å presentere to aktuelle ikke-medikamentelle tiltak, termisk behandling og renseskum.

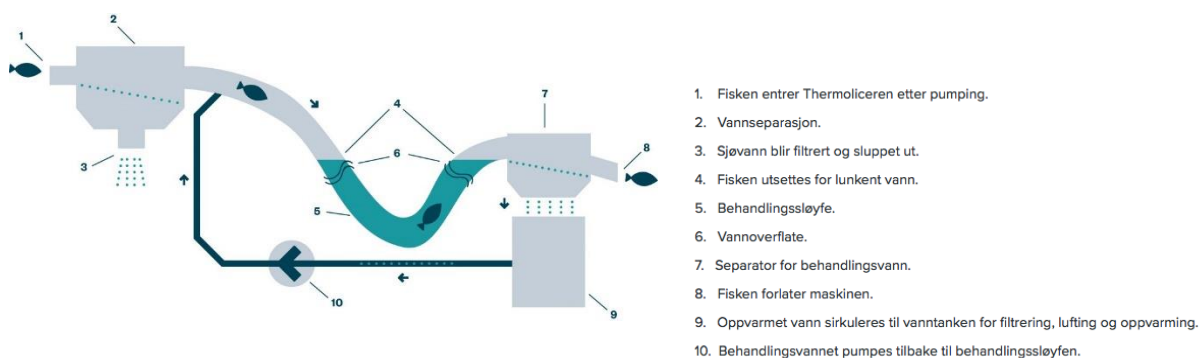
3.4.1 Termisk behandling

Termisk behandling er en avlusingsmetode der laks eksponeres for sjøvann på 28–34 celsius i omtrentlig 20–30 sekunder om bord i et fartøy eller i en flåte. Avlusingsmekanismen foregår ved at bevegelige lus varmes opp raskt, slik at musklene lammes og lusen mister evnen til å suge seg fast til hudoverflaten og faller av. Eksponeringen er såpass kort at fisken ikke vil varmes opp, slik at den termiske effekten primært påvirker lus (Iversen, et al.,2017).

Det er i dag to kommersielle metoder for termisk avlusning, Optilice og Thermolicer. Thermolicer benytter et gjennomstrømmingssystem, hvor fisk pumpes, avsiles og føres gjennom et rør med oppvarmet sjøvann før ny avsiling og til slutt føres tilbake til merd. Optilice bruker et åpent bad med temperert sjøvann, hvor fisk pumpes, avsiles, føres gjennom varmebadet med skovlehjul, før avsiling og tilbakeføring til sjø. Begge metodene har utstyr montert ombord på servicefartøy, lekter eller brønnbåt (Iversen, et al.,2017). Begge metodene har god avlusningseffekt på bevegelige lus, men kan medfører hard behandling av fisken, ettersom trekking og pumping av fisk generelt er en utfordring for fiskens velferd. Dette gjør at behandling kan føre til dødelighet hos fisken, særlig hos svekket fisk som ikke tåler stressbelastningen (Grøntvendt, et al., 2013) (Holan, et al., 2017).

Ved bruk av Thermolicer er rapportert effekt en reduksjon i bevegelige lus fra 75–100 % (Grøntvendt, et al., 2013), og ved bruk av Optilice viser undersøkelser at metoden har en avlusningseffekt på 98–100 % på bevegelige lakselus (Roth, 2016).

Figur 8 illustrerer avlusingsprosessen med Thermolicer.



Figur 8: Illustrasjon av Thermolicer (Steinsvik, u.d.).

3.4.2 Rensefisk

Rensefisk er visse type fiskearter som spiser lus av oppdrettsfisken. Rensefisk består av ulike leppefiskarter og rognkjeks. I utgangspunktet lever rensefiskene fritt i naturen, men de senere årene har oppdrett av rensefisk økt. Leppefiskene fungerer best som rensefisk i sommerhalvåret og utover høsten, da de trives best i varmere sjøtemperaturer. Rognkjeks derimot kan settes ut om vinteren også. Mange anlegg bruker rensefisk til å holde lusenivået nede, enten alene eller i kombinasjon med andre metoder. I dag bruker 60 % av alle anlegg i Norge rensefisk (Skiftesvik, Mortensen, & Bjelland, 2016). Dette er en kontinuerlig og forebyggende metode, men effekten er også mer usikker og vanskelig å kontrollere.

Rensefisken settes ut i merdene sammen med oppdrettsfisken og spiser dermed kontinuerlig lus fra fisken. Rensefisken spiser for det meste de største stadiene av lus, pre-adult og adult, spesielt fjerning av voksne hunnlus med eggstrenger har god effekt. Det er vanlig med en innblanding av rensefisk på 5 % av totalt antall laks i merden.

For god effekt av rensefisken er det viktig at det i merdene er lagt til rette med skjul for at rensefisken kan hvile, samt jevnlig føring av fisken (Svåsand, et al., 2017).

Ved bruk av rensefisk blir ikke laksen håndtert, i motsetning til flere andre ikke-medikamentelle behandlingsmetoder. Brukt på rett måte regnes det som en miljøvennlig form for lusekontroll, ettersom det er mulig å redusere antallet kjemiske avlusinger eller unngå dem helt (Svåsand, et al., 2017).

Det er likevel knyttet noen utfordringer til bruk av rensefisk. Det er et betydelig svinn av rensefisk i merdene. Svinnet utgjøres av rømming, predasjon og dødelighet forårsaket av skader, sykdom eller alder. Mesteparten av rensefisken overlever ikke en produksjonssyklus, noe som betyr at velferden til rensefisken er langt fra tilfredsstillende (Svåsand, et al., 2017).

4. Etablert simuleringsmodell

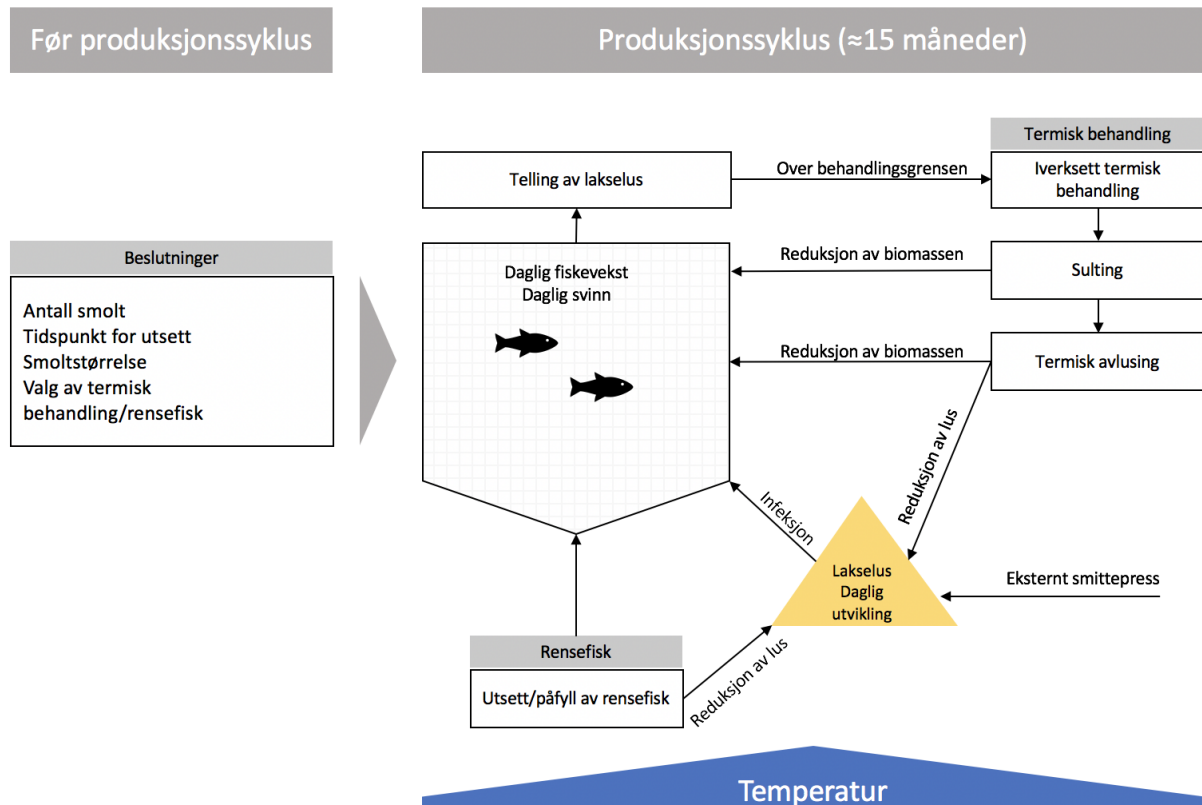
En simuleringsmodell er en matematisk modell som tilsikter å etterlikne en del av virkeligheten og kalkulerer virkningen av usikkerheter og beslutninger på et utfall (Maria, 1997). Formålet med den etablerte simuleringsmodellen er å imitere en produksjonssyklus av laks i merd og estimere konsekvenser av ulike beslutninger i forbindelse med lakselus.

I dette kapittelet vil vi presentere komponentene den etablerte simuleringsmodellen bygger på og består av. Først vil vi vise en overordnet skisse av simuleringsmodellen, deretter gi en innføring i lokaliteten simuleringsmodellen baserer seg på, før vi til slutt presenterer datagrunnlaget for de ulike komponentene og hvordan de er modellert i simuleringsmodellen, samt vurderer kvaliteten på benyttet datagrunnlag.

I analysen benyttes hovedsakelig sekundærdata. Sekundærdata er hensiktsmessig når det er vanskelig å få tak i primærdata, noe vi har erfart er gjeldene for vårt formål. Eksempelvis kan oppdretternes kostnadsdata være svært konkurransesensitiv og data den enkelte oppdretter er forsiktig med å dele. Sekundærdata kjennetegnes ved at det er data samlet inn av andre med et annet formål (Gripsrud, Olsson, & Silkoset, 2016). Det er derfor viktig å vurdere datamaterialet nøye for å kunne benytte det til eget formål. Gripsrud et al. (2016) vurderer kvaliteten på datamaterialet etter kriteriene reliabilitet og validitet. Reliabilitet handler om datamaterialets pålitelighet og innebærer at de tilfeldige feilene som oppstår må være minst mulig slik at gjentakende målinger gir samme resultat. Validitet deles inn i intern og ekstern validitet. Intern validitet handler om hvor godt man klarer å måle det man har til hensikt å måle og ekstern validitet handler om hvorvidt det kan generaliseres fra de funnene man gjør (Dahlum, 2018). Vi vil vurdere kvaliteten på det kvantitative datamaterialet etter disse kriteriene.

Datakildene vi benytter er hovedsakelig offentlige kilder tilgjengeliggjort av Havforskningsinstituttet, BarentsWatch og Nofima, som alle er helt eller delvis statlig eid.

4.1 Skisse av simuleringsmodell



Figur 9: Illustrasjon av etablert simuleringsmodell

Figur 9 viser en overordnet skisse over hvordan produksjonssyklusen er modellert. Før produksjonssyklusen må oppdretter ta en rekke beslutninger. Laksen befinner seg i merden i om lag 15 måneder. Der utsettes den for et daglig smittepress av lakselus. Lakselusen kontrolleres av oppdrettsanlegget gjennom telling og behandlingstiltak. Prosessene i produksjonssyklusen er i stor grad avhengig av sjøtemperaturen.

4.2 Lokalitet

Simuleringsmodellen er utarbeidet for analyser på lokalitetsnivå og en lokalitet er dermed valgt for gjennomføringen av analysene. Ved valg av lokalitet var det avgjørende at lokaliteten driver med oppdrett av laks og oppdrett i sjø. Videre var det ønskelig at sjøtemperaturer i området er innrapportert over en lengre periode.

For at simuleringsmodellen skal være hensiktsmessig er det også viktig at valgt lokalitet har et lusenivå som tilsier at det er nødvendig med behandling for å holde seg innenfor lusegrensen.

Den valgte lokaliteten heter Mjølsvik, og tilfredsstillende de overnevnte kravene. Mjølsvik er en av flere lokaliteter tilhørende Osland Havbruk i Sognefjorden. Lokaliteten har fem merder med omkrets på 160 meter per merd. Mjølsvik befinner seg i produksjonsområde 4, Nordhordaland til Stadt, som er i rød sone ifølge trafikklyssystemet. Det betyr at utfordringene knyttet til lus og påvirkning på villfisk er betydelig i området Mjølsvik befinner seg i.

4.3 Modellert oppdrettslaks

I simuleringsmodellen er antall fisk, vekten til hver enkelt laks og total biomasse modellert.

Antall laks

Antall smolt som settes ut angir startverdien til antall fisk i anlegget. Vi har valgt å sette ut 700 000 smolt. Antallet reduseres utover produksjonssyklusen som følge av naturlig svinn og dødelighet ved avlusing. Det vil alltid forekomme naturlig svinn i en produksjonssyklus forårsaket av rømming og dødelighet grunnet andre årsaker enn avlusing. I modellen er det antatt et naturlig svinn på 12 % ved en produksjonssyklus hvor laksen er 18 måneder i sjø. Dette tilsvarer et konstant daglig svinn på ≈ 0.02222 %. Dødeligheten knyttet til avlusing vil vi gå nærmere inn på i kapittel 4.6.2.

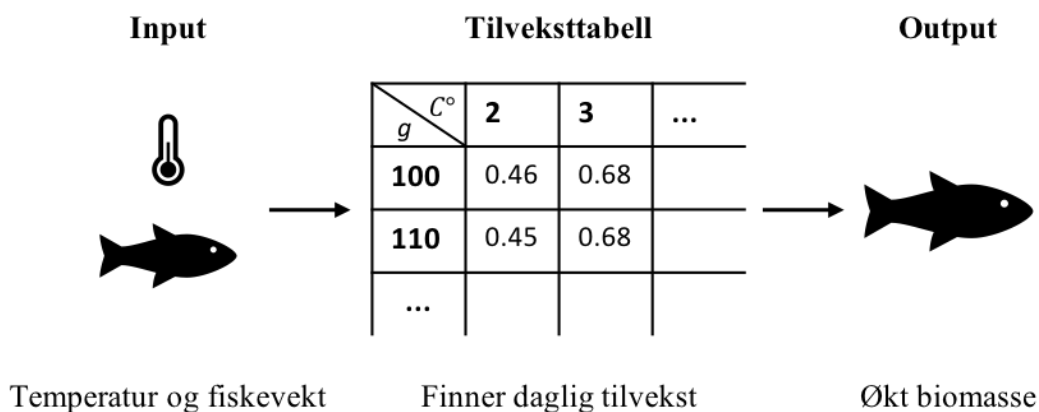
Laksevekst

Lakseveksten påvirkes av en rekke elementer, som størrelse på fisken, førtilgang, daglengde, temperatur og andre biologiske faktorer. For å estimere lakseveksten benyttes i hovedsak to ulike metoder: SGR (specific growth rate) og TGC (thermal growth coefficient), der SGR er den mest brukte metoden. SGR avhenger fortrinnsvis av sjøtemperatur, der veksten er konkav med økende temperatur. I tillegg avhenger SGR av fiskens biomasse, der økt biomasse gir lavere SGR (Thorarensen & Farrell, 2011).

TGC-modellen tar mindre hensyn til biomasse og sjøtemperatur ved beregning av lakseveksten. Vekstmodellen bygger blant annet på antakelsen om at vekstraten øker lineært

ved økning i sjøtemperaturen. Videre benyttes gjennomsnittstemperaturen ved beregning av vekstkoefisienten. Metoden vil dermed undervurdere vekstraten ved lave temperaturer og tilsvarende overvurdere vekstraten ved høye temperaturer. (Thorarensen & Farrell, 2011). TCG-modellen har gitt gode estimater for lakseveksten under kontrollerte forhold, deriblant temperatur, på landbaserte settefiskanlegg (Tautz & Iwama, 2011). Imidlertid er sjøtemperaturen en faktor som ikke kan kontrolleres for sjøbaserte anlegg, og en lineær tilnærming til vekst vil derfor være problematisk. Dette begrunnes med at det høyst sannsynlig vil forekomme varme og kalde temperaturer der hvor TGC ikke vil gi gode estimater, ettersom at det reelle forholdet mellom temperatur og vekst er klokkeformet og ikke lineært.

Skrettings tilveksttabell er derfor benyttet ved modellering av lakseveksten. Vekstratene presentert i tabellen baserer seg på SGR-metoden, og viser prosentvis daglig vekstrate for atlantisk laks ved ulike temperaturer og fiskevekt. I modellen blir fiskens vekstrate fra tabellen identifisert ved å finne sjøtemperatur og vekt i tabellen som samsvarer best med temperatur og fiskevekt på tidspunktet. Fiskevekten øker med denne verdien i et døgn, før prosessen gjentar seg.



Figur 10: Illustrasjon av hvordan tilveksttabellen er benyttet for å modellere lakseveksten.

Tapt potensiell biomasse ved sulting

Før det gjennomføres termisk avlusing må laksen sultes slik at den blir i stand til å tåle behandlingen. Lengden på sulteperioden avhenger av sjøtemperaturen og fiskens tilstand, og kan variere fra 3 – 4 dager og opptil en uke ved lavere temperaturer om vinteren (Iversen, et al., 2017).

Oppdrettere har ulike erfaringer tilknyttet hvordan sulteperioden påvirker laksens biomasse og adferd. Enkelte hevder at laksen raskt får tilbake appetitten, mens andre forteller om redusert appetitt og biomassetap (Iversen, et al., 2017).

Iversen et al. (2017) tar utgangspunkt i en regresjon fra Einen et al. (1998) ved beregning av størrelsen på sultetapet (Formel 1). Formelen viser vektreduksjon i gram av laksen når den sultes på tom mage, og avhenger av hvor mange døgngrader laksen sultes.

$$\text{gram tap} = (3 * \text{døgngrader}^{0.57}) * \text{kg startvekt} \quad (1)$$

Einen et al. (1998) fant at det tar omlag tre dager med sulting før laksens mage og tarm er tom for fôr, men påpeker at ved temperaturer over 6°C kan denne perioden bli kortere. Iversen et al. (2017) regner det reelle biomassetapet fra dag tre, og legger dermed til grunn at det tar to døgn før laksen oppnår tom mage og tarm (Formel 2). Vi velger å benytte oss av Iversen et al. (2017) sin tilnærming.

$$\text{gram tap} = 3 * (\text{antall sultedøgn} - 2 * \text{sjøtemperatur})^{0.57} * \text{kg startvekt} \quad (2)$$

4.4 Modellert lakselus

Smittepress

I utredningen er havforskningsinstituttets hydrodynamiske spredningsmodell, forklart i kapittel 3.2, benyttet til å beregne smittepresset for den valgte lokaliteten Mjølsvik. Smittepressmodellen beregner tetthet av smittsomme lakseluslarver langs hele kysten en gang i timen. Resultatene fra disse beregningene publiseres ukentlig og viser gjennomsnittsverdier av smittepresset for de siste ti dagene. Dette smittepresset ligger til grunn for modelleringen av lakselusnivået og er derfor et viktig fundament i simuleringsmodellen. I modellen er smittepresset kun definert som eksternt smittepress. Det vil si at muligheten for at de eksisterende voksne hunnlusene kan reproducere internt i anlegget har blitt utelukket.

Havforskningsinstituttets smittepressmodell er relativt nyutviklet og har kun vært operasjonell siden 2017. Modellen er betraktelig forbedret siden den gang, noe som medfører at beregningene fra 2017 ikke lengre er representative (L. Asplin, personlig kommunikasjon, oktober 2018). Vi har derfor kun innhentet smittepressberegninger for 2018. Havforskningsinstituttets smittepressmodell starter beregningene først fra uke 10. Etersom smittepressverdiene for de siste ukene i 2018 ikke var kjent da vi kjørte simuleringsmodellen har vi tilgjengelig smittepressdata til og med uke 44. Vi mangler dermed smittepressverdier for ti uker tilhørende vinterhalvåret. Smittepresset er generelt lavt om vinteren og høyere om sommeren og høsten (Veterinærinstituttet, u.d.), noe som forklares av lavere sjøtemperatur på vinterstid. En synkende sjøtemperatur observeres på Mjølsvik, og vi antar dermed at smittepresset også vil reduseres. For å håndtere de manglende verdiene benyttes derfor lineær interpolasjon. Vi antar at smittepresset faller lineært fra uke 44 ned mot en verdi på null i uke 52. Tilsvarende lineære sammenheng antas mellom uke 52 og uke 10, men lineært stigende fra null til den beregnede verdien vi har for uke 10.

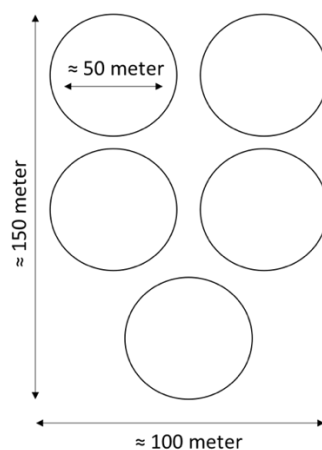
De manglende verdiene vil selvsagt være en svakhet i våre analyser, og større usikkerhet knyttet til lusenivået for disse ukene kan ikke utelukkes. Det begrensede datagrunnlaget vil også svekke reliabiliteten til smittepresset i modellen, og et større datagrunnlag for smittepresset ville selvsagt være ønskelig for å øke presisjonen på lusenivået i modellen. Vi anser likevel datagrunnlaget som tilstrekkelig til å gi en indikasjon på tilførselen av lus i området, og til å representere tilførselen av lus på en realistisk måte.

Havforskningsinstituttets formål med smittepressmodellen er å si noe om tilførselen av lus i et område og ikke nødvendigvis ved en spesifikk lokalitet slik som vi ønsker i vår modell. Dette svekker validiteten til smittepressberegningene i simuleringsmodellen. Likevel mener vi det er hensiktsmessig å inkludere smittepressmodellen i simuleringsmodellen ettersom vannmassene i lokaliteten er påvirket av omgivelsen rundt. Vi mener også simuleringsmodellen er mer valid ved å inkludere smittepresset enn ved å utelukke det.

Det ukentlige smittepresset for det geografiske området er delt inn i åtte ruter med tilhørende verdier, hvor hver rute dekker et område på 800 * 800 meter. Mjølsvik befinner seg omtrent i midten av dette området. Dermed er det kun én av de åtte verdiene som tilsvarer det geografiske punktet der hvor anlegget faktisk befinner seg. Imidlertid er det stor usikkerhet tilknyttet det å tildele bestemte verdier for smittepresset til mindre geografiske områder.

Det er derfor like stor sannsynlighet for at anlegget har hver av de åtte verdiene, og det trekkes dermed tilfeldig mellom disse smittepressene hver uke.

Mjølsvik består til vanlig av fem merder med en omkrets på 160 meter. Som nevnt under kapittel 3.2 angir smittepresset antall smittsomme lakseluslarver per kvadratmeter. Smittepresset for de fem merdene blir derfor arealet til merdene multiplisert med det aktuelle smittepresset. Etersom at vannet er i bevegelse har vi valgt å beregne smittepresset for det rektangulære området rundt merdene basert på anleggets lengde og bredde, som vist i Figur 11. Det gir et areal tilnærmet 15 000 kvadratmeter.



Figur 11: Illustrasjon av størrelsene på merdene til valgt lokalitet

Omtrent halvparten av lakseluslarvene for det ukentlige smittepresset vil finne en vert som den fester seg til (Stien et al., 2005). Det antas at denne infiseringen skjer jevnt utover uken, noe som tilsvarer at 7,14 % av lakseluslarvene i smittepresset fester seg hver dag.

Utviklingstid

Den temperaturavhengige modelleringsmetoden beskrevet i Stien et al. (2005) er benyttet som utgangspunkt for modellering av de ulike lakselusstadiene (3). Formelen beregner minste utviklingstid, τ , for de ulike stadiene, der β_2^{-2} er minste gjennomsnittlige utviklingstid ved 10°C og β_1 angir hvordan kurven for utviklingstid ser ut for det enkelte stadiet. Tabell 1 viser estimatene Stien et al. (2005) fant for de ulike parameterne.

$$\bar{\tau}(T) = \left[\frac{\beta_1}{T - 10 + \beta_1\beta_2} \right]^2 \quad (3)$$

| Utviklingstid | β_1 | β_2 |
|--------------------|-----------|-----------|
| $\bar{\tau}_{CHf}$ | 74.70 | 0.246 |
| $\bar{\tau}_{PAf}$ | 67.47 | 0.177 |

Tabell 1: Estimer for parameterne for minste utviklingstid fra fastsittende og bevegelige lus til neste stadiet (Stien et al. (2005)).

Smittepressmodellen beregner tilførsel av lakselus i kopepodittstadiet. I modellen antar vi at kopepodittene finner seg en vert med en gang og dermed blir fastsittende. I tillegg til dette stadiet er det relevant å beregne antall bevegelige og voksne hunnlus. Vi har derfor modellert antall fastsittende, bevegelige og voksne hunnlus i simuleringsmodellen.

4.5 Modellerte bekjempelsesmetoder

Termisk behandling

I simuleringsmodellen skiller vi ikke mellom de to metodene for termisk behandling, og ser på termisk behandling under ett.

For å sikre at lusenivået holder seg under det lovpålagte nivået settes en behandlingsgrense som angir nivå for når behandlingen skal iverksettes. Som følge av at den lovpålagte grensen varierer, vil behandlingsgrensen variere og være lavere på våren.

Dersom lusenivået i modellen er på nivå med eller høyere enn behandlingsgrensen, sultes fisken i fem dager. Etter at fisken har sultet i fem dager gjennomføres avlusing.

Avlusningseffekten på henholdsvis kjønnsmodne og bevegelige lus er modellert til å ha en uniform sannsynlighetsfordeling mellom 75 til 100 %. Behandlingen modelleres med 0,5 % dødelighet av fisken som behandles.

Det settes en begrensning til at det må gå minst syv dager mellom hver termisk avlusning.

Rensefisk

Ved bruk av rensefisk vil kostnader og avlusningseffekt variere med faktorer som fiskens art, dødelighet, sjøtemperatur og blandingsforhold (Iversen, et al.,2017) (Skiftesvik, Mortensen, & Bjelland, 2016). Ettersom det er vanskelig å oppdrive korrekte og konkrete data om slike biologiske faktorer, har vi valgt å se på alle rensefiskarter under ett og antatt at den daglige avlusingsraten er lik ved alle sjøtemperaturer.

Tidspunkt for utsett av rensefisk, blandingsforhold og påfyll av rensefisk bestemmes av oppdretter og er derfor beslutningsvariabler i modellen. I modellen antar vi et blandingsforhold på 5 % og en daglig dødelighetsrate av rensefisken til 2,8 % (Aldrin, et al., 2017, s. 343). Vi antar påfyll av rensefisk hver 14. dag dersom blandingsforholdet er redusert til under 3 %. Hvilken periode vi har rensefisk i merdene vil bestemmes med utgangspunkt i lusenivået i modellen.

For å estimere avlusningseffekten ved bruk av rensefisk, har vi valgt å legge til grunn en generell modell utarbeidet av Aldrin et al (2017, s 339). Estimert avlusingsrate er gitt ved Formel (4).

$$\text{Daglig avlusningsrate} = 1 - e^{-\lambda * x} \quad (4)$$

Formelen beregner avlusingsraten som andel av lusebestanden rensefisken reduserer daglig. I formelen representerer λ en positiv parameterverdi slik at effekten av avlusingen alltid er mellom 0 og 1. Aldrin et al (2017, s 343), estimerte denne til 0,823 og vi benytter denne verdien. x representerer blandingsforholdet mellom rensefisk og laks, og vi setter denne til 5 % i vår modell.

4.6 Modellerte kostnader

For hver behandling i modellen påløper kostnadene knyttet til termisk behandling. Kostnadsdata kan som nevnt være svært konkurransesensitivt for mange oppdrettere, og enkeltaktører er derfor i mindre grad villig til å dele sine kostnader. Vi erfarte dette gjennom arbeidet og undersøkte derfor om det fantes tilstrekkelig sekundærdata tilgjengelig for dette formålet.

Nofima sammen med Kontali analyse har på oppdrag fra Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF) kartlagt kostnadsutviklingen i lakseoppdrett (Iversen et al. 2017). I rapporten «Kostnadsutvikling i lakseoppdrett», nevnt i kapittel 1.5, er det utarbeidet kostnadsestimater for ulike behandlingsmetoder og andre aktiviteter tilknyttet lakselus. Iversen et al. (2017) baserer sine kostnadsestimater på intervjuer med et utvalg av aktører innenfor oppdrett i tillegg til egne subjektive vurderinger. Informantene har ikke hovedsakelig blitt spurt direkte om kostnader, men om opplysninger som kan anvendes i en kalkyle. Ettersom slik informasjon som nevnt kan være svært sensitiv for den enkelte aktør, kan informantene ha egeninteresse av å holde tilbake korrekt informasjon eller moderere utsagnene i større eller mindre grad, noe som kan svekke reliabiliteten til estimatene. Informantene i rapporten blir holdt anonyme og kan vanskelig identifiseres utfra det som står skrevet, noe som argumenterer for at insentivet for å moderere informasjon ikke vil være betydelig til å ha påvirket reliabiliteten i alvorlig grad.

Det overordnede formålet med kostnadsestimatene utarbeidet av Iversen et al. 2017 kan anses tilnærmet likt formålet med kostnadsestimatene i denne utredningen, å belyse kostnadene knyttet til lakselus. Dette styrker validiteten til disse estimatene. Iversen et al (2017) har likevel en mer generell tilnærming for bransjen som helhet og ikke i like stor grad fokus på den enkelte oppdretter, noe som svekker estimatenes validitet. Likevel mener vi estimatene vil gi en indikasjon på hva kostnadene kan bli og hvordan kostnadene påvirkes av ulike beslutninger.

Etter en samlet vurdering har vi derfor besluttet at kostnadsestimatene utarbeidet av Iversen et al. (2017) vil danne et tilstrekkelig bilde av de relevante kostnadene knyttet til lakselus og er gode nok for å kunne besvare problemstillingen i denne utredningen. Deres estimater, med noen justeringer er derfor lagt til grunn for modelleringen av kostnadene i modellen. Alle kostnadsestimatene benyttet i utredningen er målt i kroneverdien for 2016.

4.6.1 Tellekostnad

Oppdrettere er lovpålagt å telle lakselus på et utvalg av fisken i merdene, noe som medfører en tellekostnad hver uke. Iversen et al. (2015) beregnet at hver lokalitet i snitt bruker to personer én hel dag i uken til å telle lus. Dette vil koste hver lokalitet 0,4 årsverk. Med en årsverkskostnad på 761 000 i 2016 tilsvarer dette 4 170 kroner per uke (Statistisk sentralbyrå, 2018).

4.6.2 Kostnader forbundet med termisk behandling

Kostnadene knyttet til termisk behandling kan deles inn i direkte og indirekte kostnader for oppdretterne. De direkte kostnadene består av den direkte ressursbruken for behandlingen, og er knyttet til bruk av servicefartøy, arbeidskraft, kostnader til energibruk og vedlikehold. De indirekte kostnadene består av kostnader knyttet til tapt biomasse, herunder dødelighet og sulting ved behandling, samt tilhørende tapt tilvekst.

Direkte kostnader

Avskrivninger

Det legges til grunn at det benyttes en rigg med to linjer, noe som medfører totale investeringer på 90 millioner kroner. Kostnadene knyttet til investeringen er avhengig av levetid. For riggen legges til grunn 4 års levetid, mens for lekteren legges 15 år til grunn. Fordelingsgrunnlaget for kapitalkostnadene vil være den årlige behandlingsskapasiteten. Det anslås en behandlingsskapasitet på 150 000 tonn per år ved to linjer og døgnbasert drift. Disse forutsetningene innebærer årlige avskrivninger på 0,10 kroner per behandlet kilo.

Alternativkostnad kapital

Alternativkostnaden for kapitalen som bindes i riggen er anslått til 7 prosent årlig. Gitt forutsetningene beskrevet for investeringene gir dette en kapitalbindingskostnad på 0,04 kroner per behandlet kilo.

Servicefartøy

Det forutsettes at det benyttes to servicefartøy til håndtering av fisken. Kostnadene er anslått til 15 000 kroner per døgn per fartøy uten mannskap. Videre er det antatt at en avlusing av en lokalitet tar 5 døgn.

Arbeidskraft

Termisk behandling krever betydelig arbeidskraft. Det forutsettes at det kreves 7 personer i skift, slik at det er 28 ansatte ved full drift og med en beskjeftigelse tilsvarende 8 måneder. Dette tilsvarer 19 årsverk, og med en årsverkskostnad på 761 000 (Statistisk sentralbyrå, 2018), vil det tilsvare en kostnad på 0,10 kroner per behandlet kilo.

Drivstoff ved avlusing

Det er anslått et energiforbruk ved behandling på 11 kWh per tonn avluset med en tilhørende kostnad på 2,5 kroner per kWh.

Vedlikehold

Iversen, et al. (2017) hadde for lite opplysninger om vedlikeholdsbehov til å kunne gi anslag på vedlikeholdskostnader. Termisk behandling er en relativ ny metode og har trolig ikke være benyttet lenge nok til å tallfeste det konkrete vedlikeholdsbehovet. Vi finner heller ikke noe ytterligere informasjon om disse kostnadene, og velger derfor også å se bort i fra denne kostnaden i vår modell.

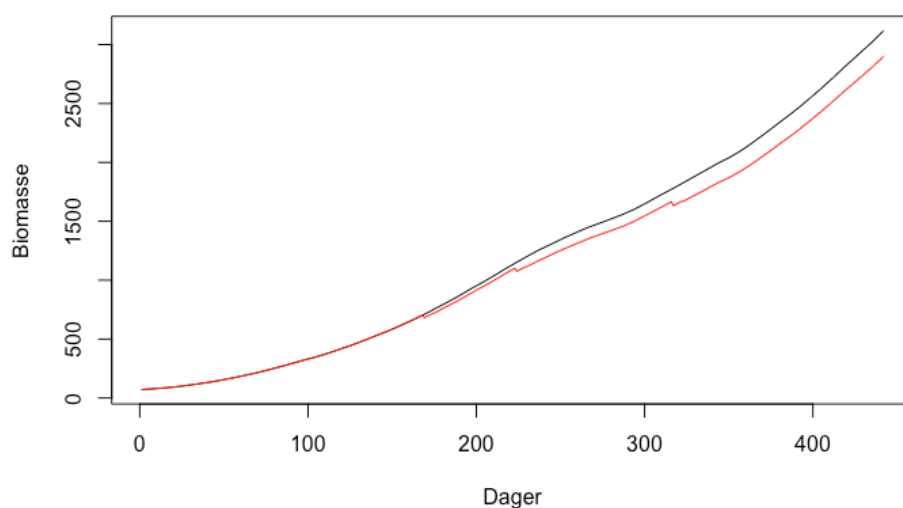
*Indirekte kostnader***Verdi av tapt biomasse**

Tapt biomasse, herunder dødelighet som oppstår ved avlusingstiltak og vekttape ved sulting, medfører også en kostnad for oppdretterne. Det benyttes ulike fremgangsmåter for å fastsette størrelsen av denne kostnaden. Iversen et al. (2017) verdsetter den tapte biomassen til kostnaden medgått til å produsere den tapte biomassen, det vil si produksjonskostnaden for laks (før slakting). En slik metode forutsetter imidlertid at oppdretterne foretar et større smoltutsett eller øker slaktevekten gjennom forlenget produksjonstid i sjø, for dermed å unngå at den tapte biomassen medfører redusert produksjon og tapt inntekt. Holan et al. (2017) har en annen tilnærming til verdsettelsen og antar at den tapte biomassen ikke kan kompenseres for. Ifølge Holan et al. (2017) tilsvarer den relevante kostnaden knyttet til biomassetapet dermed tapt inntekt som følge av redusert produksjon (Ø.Hermansen, personlig kommunikasjon, 9.november 2018). For å verdsette tapt biomasse benytter vi en tilnærming lik Holan et al. (2017) og kostnadsfører biomassetapet som tapt potensiell inntekt.

Kostnaden forbundet med biomassetapet er særlig komplekst og sammensatt. I realiteten vil oppdretter kunne ha fisken stående lengre i sjø for å kompensere for den tapte vekten. På kort sikt vil dette føre med seg økte driftskostnader som følger av en lengre produksjonsprosess. I

tillegg vil fisken utsettes for større risiko ved å tilbringe lengre tid i sjø, noe som potensielt kan ha stor innvirkning på driftskostnadene.

I simuleringsmodellen beregnes kostnader tilknyttet lakselus gitt ulike beslutninger. For å danne et sammenligningsgrunnlag mellom disse scenarioene, har vi valgt å fastsette en forhåndsbestemt slaktedato for produksjonssyklusen. Varigheten settes til tiden det tar for biomassen å oppnå MTB uten lusepåvirkning. Dermed utgjør den tapte biomassen differansen mellom biomassen anlegget har produsert innenfor denne perioden og hva det kunne ha produsert, MTB. Den fastsatte varigheten vil altså resultere i redusert produksjon ved sultetap og dødelighet som følger av avlusingstiltak. Denne forskjellen er illustrert i Figur 12, der rød linje viser fiskeveksten ved sulting og tre behandlinger og sort linje viser hvordan tilsvarende laksevekst ville vært uten lusepress og avlusinger.



Figur 12: Vekst i biomasse med og uten påvirkning av lus. Rød linje viser laksevekst ved tre termiske avlusinger, mens sort linje viser laksevekst uten avlusinger og lusepress.

Som nevnt i kapittel 2.3.1 er lakseprisen utsatt for høy prisvolatilitet og sykliske variasjoner og vil variere med fiskestørrelsen. Korrekt laksepris for tapt potensiell inntekt vil dermed være utsatt for variasjon. Holan et al. (2017) la til grunn en laksepris på 50 kroner per kilo i deres beregninger av kostnaden tilknyttet tapt biomasse.

Gjennomsnittsprisen for 4 – 5 kilos laks var ifølge NASDAQ Salmon Index 63 kroner per kilo i 2016. I 2015 var tilsvarende pris 20 kroner lavere, og enda lavere de foregående årene. Dermed kan det se ut til at anslaget på 50 kroner per kilo er beregnet ut i fra gjennomsnittet

fra 2016 og 2015. Fra 2017 til de siste elleve månedene i 2018 har tilsvarende gjennomsnittlig laksepris vært på henholdsvis 60,74 og 61,25 kroner per kilo. Med utgangspunkt i lakseprisen for de tre foregående år velger vi derfor å legge til grunn en laksepris på 60 kroner per kilo.

De modellerte kostnadene tilknyttet termisk behandling basert på forutsetningene beskrevet over er oppsummert i Tabell 2.

| | <i>Modellert kostnad</i> | <i>Forutsetninger</i> |
|----------------------------------|---------------------------------|---|
| <i>Avskrivninger</i> | 0,10 kr per kg behandlet fisk | 1 rigg med to linjer, investering 90 mill. kr, 4 års levetid |
| <i>Alternativkostnad kapital</i> | 0,04 kr per kg behandlet fisk | 7 % årlig |
| <i>Servicefartøy</i> | 150 000 kr per behandling | 2 fartøy i fem døgn |
| <i>Arbeidskraft</i> | 0,10 kr per kg behandlet fisk | 19 årsverk, 761 000 kr per årsverk |
| <i>Drivstoff avlusing</i> | 27,5 kr per tonn behandlet fisk | 11 kWh/tonn, 2,5 kr per kWh |
| <i>Tapt potensiell biomasse</i> | 60 kr per kg tapt biomasse | 0,5 % dødelighet ved behandling, fastsatt produksjonsvarighet |

Tabell 2: Modellerte kostnader ved termisk behandling for en full lokalitetsbehandling.

4.6.3 Kostnader forbundet med rensefisk

Kostnadene ved bruk av rensefisk er primært knyttet til innkjøp og transport av rensefisk, skjul, samt tett oppfølging med vask av skjul, føring og generell kontroll. For at fisken skal spise lus kreves det også ekstra renhold av nøter, slik at rensefisken ikke beiter på nøtene (Iversen, et al.,2017).

Rensefisk har vært en utbredt metode over relativ lang tid, noe som betyr at det finnes en del informasjon som kan brukes til å vurdere kostnadene. Likevel varierer praksisen rundt rensefisk betydelig, slik at generelle kostnader er vanskelig å definere korrekt.

Vi tar også her utgangspunkt i kostnadsestimatene Iversen, et al. (2017) utarbeidet i rapporten «Kostnadsutvikling i lakseoppdrett».

Innkjøpspris

Prisene på rensefisk varierer noe for de ulike artene som brukes, fra rett under 12 kroner per stykk til det dobbelte på 25 kroner per stykk. Vi bruker i utredningen en vektet snittpris på rensefisk, tilsvarende 17,52 kroner per stykk.

Transport

Det blir antatt en transportkostnad på 2 kroner per stykk rensefisk. Avhengig av avtaler med leverandører, mengde rensefisk og avstand til lokaliteten, vil i realiteten transportkostnadene trolig variere mellom oppdrettere.

Arbeidskraft

I modellen blir det antatt at det brukes én ansatt i snitt, eller ett månedsverk per måned tilknyttet rensefisk. Vi bruker en årsverkskostnad på 761 000 kroner (Statistisk sentralbyrå, 2018). Dette gir en daglig arbeidskraftkostnad på 2085 kroner når rensefisk er i merdene.

Skjul og fôrautomat

For at rensefisken skal trives er skjul nødvendig. Skjul anslås til en kostnad på 15 000 kroner per merd. I tillegg kommer kostnadene for fôringsautomater, som her anslås til 20 000 kroner per merd. Dette gir en total kostnad på 35 000 kroner per merd.

Fôring

Fisken trenger fôr i tillegg til at den spiser lakselus. Lagt til grunn i en forenklet produksjonsmodell anslår Iversen et al. (2017) en utfôring på 2 prosent av rensefiskbiomassen om sommeren og 1 prosent om vinteren. Prisen på fôret anslås til 20 kroner per kilo. På bakgrunn av oppgavens omfang velger vi å ikke simulere biomasseveksten til rensefisken i modellen. Vi bruker derfor Skrettings anbefalte fôring av leppefisk, 0,5 kilo fôr per 2000 leppefisk tre ganger i uken, og kostnadsfører med dette en fôrpris på 20 kroner per kilo (Skretting, u.d.).

Ekstra notvask

Rensefisk krever spesielt rene nøter for at fisken ikke skal beite på dyr og planter på notveggen og redusere spisingen av lakselus. Dette betyr at nøtene må vaskes eller byttes oftere enn de ellers ville blitt. Rensefiskprosjekt – FHF (2017) anbefaler at skjul og nøter bør vaskes med intervaller på maks 7 til 14 dager. I vår modell antar vi at i perioder med rensefisk vil nøtene vaskes hver 14. dag med en kostnad på 20 000 kroner per merd per vask.

De modellerte kostnadene tilknyttet rensefisk basert på forutsetningene beskrevet over er oppsummert i Tabell 3.

| | <i>Modellert kostnad</i> | <i>Forutsetninger</i> |
|--------------------------|--|--|
| <i>Innkjøp rensefisk</i> | 17,52 kr per stykk leppefisk | |
| <i>Transport</i> | 2 kr per stykk leppefisk | |
| <i>Arbeid</i> | 2085 kr daglig når rensefisk er i merdene | 1 månedsverk/mnd., årsverkkostnad på 761 000 |
| <i>Skjul/fôrautomat</i> | 35 000 kr per merd | 15 000 kr (skjul) + 20 000 kr (fôringsautomat). 5 merder |
| <i>Fôr</i> | 0,015 kr per leppefisk per uke | 0,5 kg fôr per 2000 leppefisk 3 ganger i uken, 20 kr per kg fôr |
| <i>Ekstra notvask</i> | 100 000 kr per vask | 5 merder, vaskes hver 14. dag |

Tabell 3: Modellerte kostnader ved bruk av rensefisk for en lokalitet med 5 merder.

4.7 Modellert temperatur

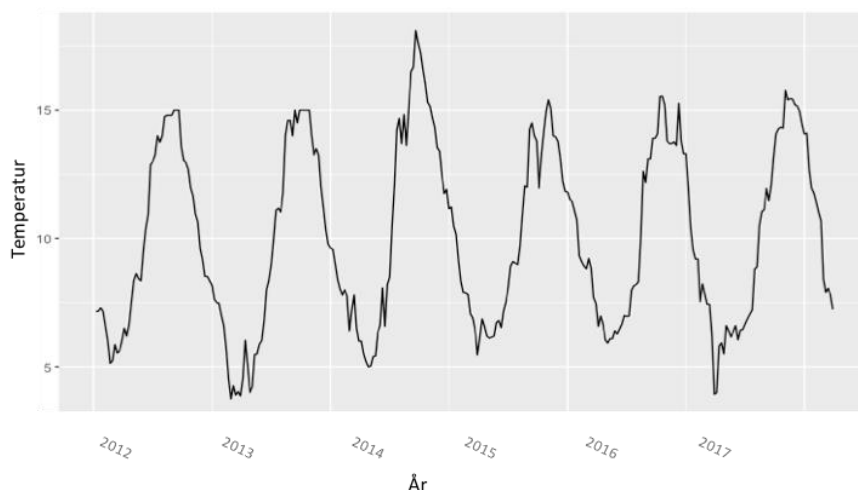
Både laksevekst og lakselusens utviklingstid varierer med temperatur, og vi er derfor avhengig av informasjon om sjøtemperatur for Mjølsvik. Som beskrevet i kapittel 2.1.2 skal oppdretter innrapportere sjøtemperatur og antall lus hver uke, og denne informasjonen blir offentliggjort og tilgjengelig.

Ettersom det er oppdretterne selv som innrapporterer sjøtemperaturer hver uke, kan menneskelig feil forekomme og dermed medføre svekket reliabilitet i temperaturdataen. Det kan både være bevisst feilrapportering eller feil i målemetoden. Rapporteringen er lovpålagt og vi ser ikke noe insentiv for oppdretterne å bevisst innrapportere feil sjøtemperaturer, og anser derfor ikke dette som stor påvirkning på temperaturenes pålitelighet.

Dersom et anlegg ligger brakk er det ikke pliktig til å innrapportere sjøtemperaturer. Som nevnt i kapittel 2.2 er et anlegg pålagt å ligge brakk i minst to måneder etter endt produksjonssyklus. Dette medfører at det vil være manglende temperaturdata for enkelte uker.

Det er derfor innhentet sjøtemperaturer for Mjølsvik og Oslands seks andre lokaliteter i Sognefjorden for årene 2012 til 2018. De syv lokalitetene er lokalisert relativt nære hverandre i samme fjord, og det observeres minimale temperaturvariasjoner mellom lokalitetene. Vi fant det derfor hensiktsmessig å benytte ukentlig gjennomsnittstemperatur for de syv lokalitetene for å danne et fullstendig datagrunnlag for de syv årene.

Ved hjelp av deskriptiv statistikk ble det identifisert noen ekstreme verdier. Disse temperaturobservasjonene skilte seg betydelig fra observasjonene på de andre lokalitetene på samme tidspunkt, samt observasjonene fra uken før og etter. Vi anser dermed observasjonene som feilrapporteringer og de er derfor fjernet. Gjennomsnittstemperaturen uten disse verdiene ligger derfor til grunn for modelleringen av temperatur (Figur 13).

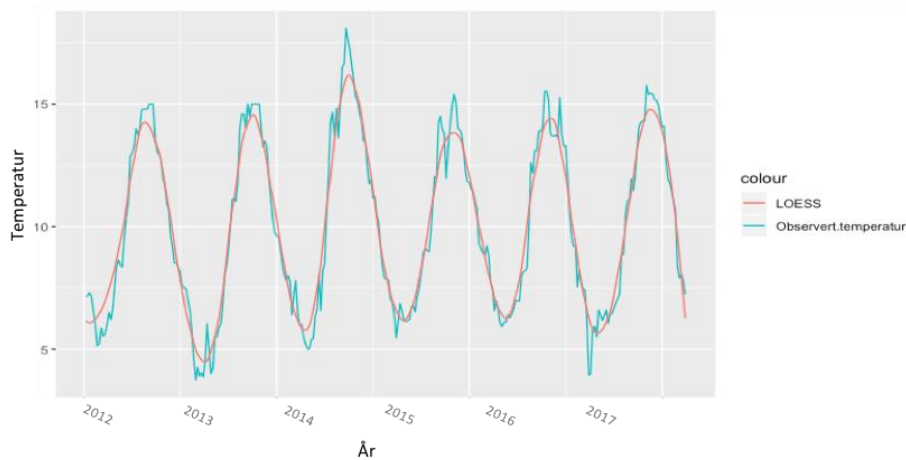


Figur 13: Gjennomsnittlig sjøtemperatur for Oslands syv lokaliteter i Sognefjorden (2012 - 2017).

For at den modellerte temperaturen i størst mulig grad skal være representativ for virkeligheten inkluderes sesongvariasjon, temperatursvingninger innad i sesongene og trender for varme og kalde år. Dette er modellert gjennom tre steg.

For å sikre sesongvariasjon, samt trender mellom årene er det først foretatt en lokalregresjon (LOESS) av temperaturdataen for å tilpasse en jevn kurve til observasjonene (Jacoby, 2000). Dette resulterer i den røde kurven illustrert i Figur 14 nedenfor. Som vi ser av figuren følger kurven temperaturutviklingen gjennom sesongene, og vi ser at enkelte av årene er varmere

eller kaldere ved at topp- og bunnpunktene varierer fra år til år. Denne kurven utgjør grunnlaget for temperaturen i simuleringsmodellen.

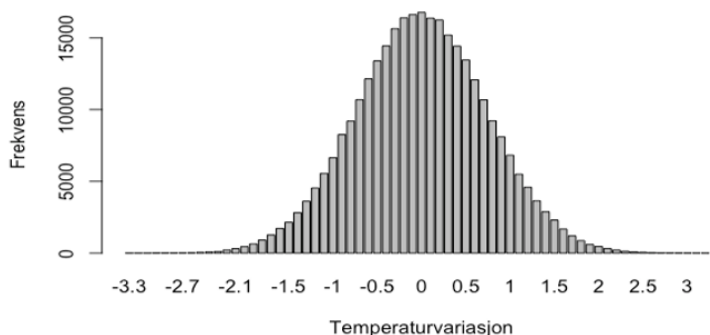


Figur 14: Temperatur fra LOESS-regresjon og observert temperatur fra (2012 – 2017).

For å modellere temperatursvingninger innad i sesongene tas det utgangspunkt i differansen mellom de observerte sjøtemperaturene på tidspunkt t , Y_t , og den estimerte LOESS-kurven \hat{Y}_t (Formel 5). Dette tilsvarer forskjellen mellom den grønne og røde kurven i Figur 14. Det er fra denne differansen, som vi har valgt å kalle «støy», temperaturvariasjoner simuleres fra.

$$\text{Støy} = Y_t - \hat{Y}_t \quad (5)$$

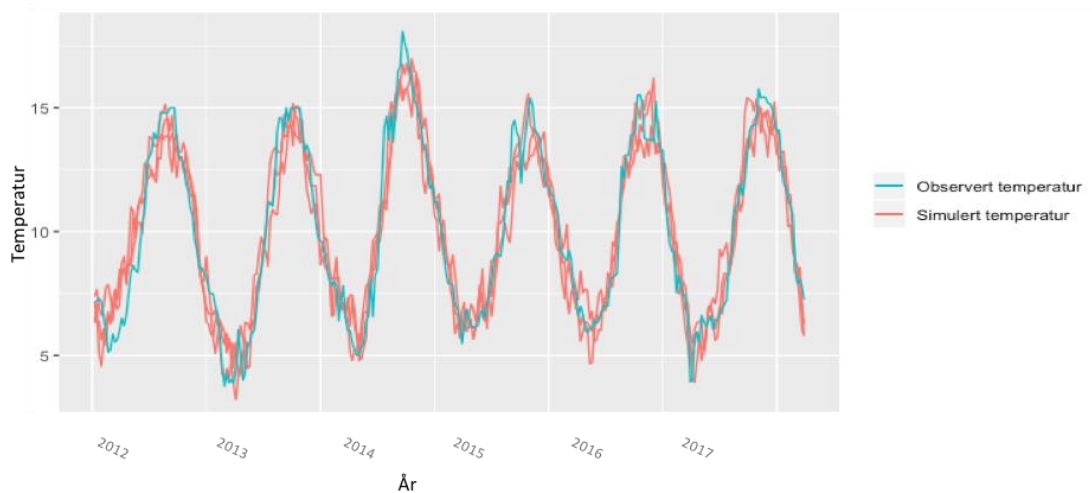
Det lages deretter en ARIMA-modell av støyen, slik at variasjonene avhenger av de tidligere observasjonene og ikke varierer tilfeldig fra uke til uke. Den ukentlige temperaturvariasjonen, v_t , finner vi ved å simulere fra ARIMA-modellen. Denne variasjonen beregnes ut ifra normalfordelingen og vil variere for hver gang modellen kjøres. Dette kan vi se av Figur 15 som viser at temperaturvariasjonene er normalfordelte med et gjennomsnitt på 0 grader.



Figur 15: Fordeling av simulert temperaturvariasjon ved 1000 kjøring av simuleringsmodellen.

Ved å legge til denne variasjonen til temperaturkurven fra LOESS-regresjonen får vi simulerte sjøtemperaturer, \hat{Y}_t^s for tidspunkt t (Formel 6). Figur 16 viser tre ulike utfall av den simulerte temperaturen.

$$\hat{Y}_t^s = \hat{Y}_t + v_t \quad (6)$$



Figur 16: Observert temperatur og tre ulike utfall av simulert temperatur (rød linje).

For å inkludere de ulike trendene for disse årene i simuleringmodellen trekkes simulert temperatur for et av disse årene. Vi antar at det er lik sannsynlighet for at trenden for de ulike årene inntreffer og det benyttes derfor en uniform fordeling. For å sikre at det er sammenheng mellom temperaturer ved månedsskifte fra desember til januar i produksjonssyklusen, vil alltid trenden for påfølgende år bli lagt til grunn for det nye året i simuleringen. Dermed vil det ikke være mulig at én produksjonssyklus trekker en temperaturtrend for år som ikke henger sammen, som eksempelvis både trenden fra 2012 og 2015.

5. Resultat og analyse

I dette kapitlet vil vi analysere resultatene den etablerte simuleringsmodellen gir for ulike behandlingsstrategier og avslutningsvis vil disse resultatene evalueres samt diskuteres i lys av problemstillingen. Formålet med analysen er å identifisere kostnaden tilknyttet lakselus for de ulike behandlingsstrategiene, samt identifisere den tilhørende risikoen for at anlegget overskrider den lovpålagte lusegrensen. Kostnaden presenteres som kostnad per kilo produsert laks. Det vil si at de estimerte totale lusekostnadene fordeles på biomassen ved endt produksjonssyklus. Vi har valgt å benytte dette kostnadsformatet ettersom at vi anser det som nyttig å kunne vurdere denne kostnaden opp mot lakseprisen som benytter samme format. For å belyse risikoen for at anlegget overskrider den lovpålagte lusegrensen vil vi studere hvor mange dager over lusegrensen behandlingsstrategien gir. Disse verdiene må sees i sammenheng. Eksempelvis vil en behandlingsstrategi som gir lav kostnad per kilo, men et høyt antall dager med overskridelse av den lovpålagte lusegrensen, på sikt kunne medføre økonomiske sanksjoner og dermed høyere kostnader. Kombinasjonen av disse egenskapene vil derfor vektlegges ved vurdering av den enkelte behandlingsstrategi. I analysen har vi valgt å benytte simuleringsmodellen for tre bestemte tidspunkt for vårutsett av smolt, henholdsvis uke 10, 14 og 18.

Analysen er delt inn i tre hoveddeler. Først analyseres resultatene fra simuleringsmodellen uten lusepress og tiltak mot lakselus for smolt på 100 gram. Denne analysen vil gi innblikk i hvordan lakseveksten vil se ut uten påvirkning av avlusingstiltak og hvor mange produksjonsdager det vil ta før lokaliteten oppnår MTB. Som forklart i kapittel 4.6.2, benyttes denne produksjonstiden som varighet i simuleringsmodellene med lakselus. En kan dermed sammenligne hvor mye biomasse lokaliteten klarer å produsere for ulike behandlingsstrategier og hvor mye det eventuelt avviker fra MTB.

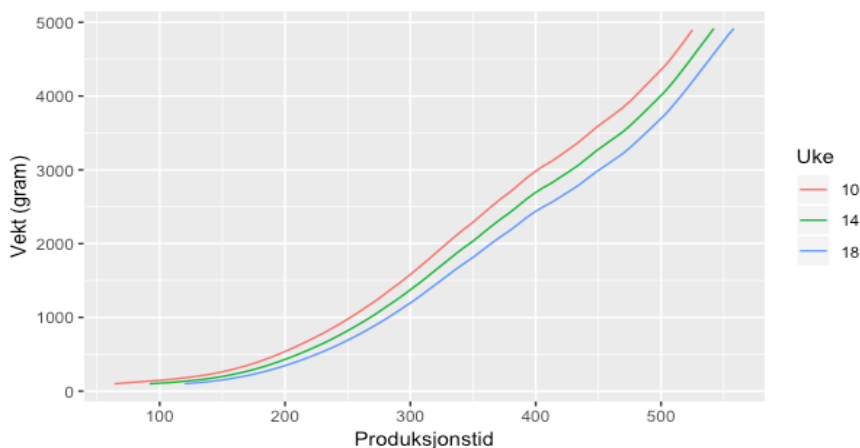
I andre del av analysen studeres resultatene fra en behandlingsstrategi som kun benytter termisk avlusing. Først undersøkes konsekvensen av en høy behandlingsgrense, kalt for «brannslukningsstrategi», som er en behandlingsgrense mange oppdrettere praktiserer i dag. Deretter undersøkes det om en tilpasset behandlingsgrense kan forbedre resultatet for anlegget. Til sist analyseres det hvordan en større smolt, på henholdsvis 250 og 500 gram, vil påvirke kostnadsbildet tilknyttet lakselus.

I den tredje delen analyseres resultatene fra en behandlingsstrategi som benytter både termisk avlusing og rensfisk. Det benyttes her samme endringer i beslutningsvariabler som i del to.

Simuleringsmodellen er modellert i R-Studio med programmeringsspråket R. For hver av bekjempelsesstrategiene vi undersøker, kjøres det 1000 simuleringer av produksjonssyklusen.

5.1 Modell uten lakselus

Simuleringsmodellen uten lakselus viser at det i gjennomsnitt tar 461, 450 og 441 dager for utsett i henholdsvis uke 10, 14 og 18 fra 100 grams smolt settes i sjø til biomassen når lokalitetens MTB på 3120 tonn. Dette tilsvarer en produksjonstid på rundt 15 måneder. Den gjennomsnittlige slaktevekten er nokså lik for de ulike tidspunktene for utsett, fra 4 947 gram ved utsett i uke 10 til 4 925 gram ved utsett i uke 18. Den knappe forskjellen i vekten kan skyldes en høyere gjennomsnittlig sjøtemperatur for uke 18 og dermed bedre vekstvilkår slik at produksjonstiden til MTB kortes ned (Figur 17). Denne produksjonsperioden vil dermed i mindre grad være utsatt for daglig svinn av biomasse og derfor oppnå MTB med en noe lavere vekt, men med et høyere antall laks.



Figur 17: Laksevekst for utsett i uke 10, 14 og 18

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|------------------|---------|---------|---------|
| Sjøtemperatur | 9,57°C | 9,84°C | 10,20°C |
| Slaktevekt | 4 947 g | 4 936 g | 4 925 g |
| Varighet (dager) | 461 | 450 | 441 |

Tabell 4: Gjennomsnittsverdier for sjøtemperatur, slaktevekt og varighet.

5.2 Modell med termisk behandling

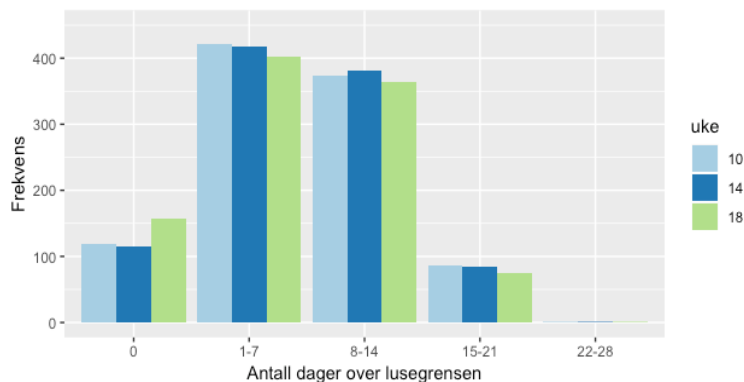
5.2.1 Brannslukningsstrategi

En viktig beslutning av oppdretterne er tidspunkt for iverksetting av avlusing. Ettersom at termisk avlusing er en hardfør behandlingsmetode for laksen er det ønskelig å sette en behandlingsgrense som minimerer antall behandlinger, men samtidig sikrer at anlegget holder seg under den lovpålagte lusegrensen. Første behandlingsstrategi som undersøkes er derfor en strategi hvor behandling iverksettes når det observeres at lusenivået ligger rett under den lovpålagte grensen. I dette tilfellet betyr det når det observeres 0,45 voksne hunnlus per fisk når grensen på 0,5 per fisk og 0,15 voksne hunnlus per fisk i de ukene grensen er 0,2 per fisk.

Kostnadene til denne behandlingsstrategien er presentert i Tabell 5 nedenfor. Vi ser at utsett i uke 18 gir lavest total gjennomsnittlig kostnad med 6,28 kroner per kilo produsert laks. Det er relativt små forskjeller mellom uke 18 og uke 14, mens uke 10 gir høyest kostnad som særlig skyldes en høyere indirekte kostnad. Videre ser vi at denne strategien vil føre til at anlegget i gjennomsnitt vil overskride lusegrensen med syv dager for de ulike tidspunktene for utsett. Figur 18 forteller oss at det er forholdsvis få tilfeller der hvor anlegget faktisk vil holde seg under denne grensen.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| Total kostnad | 7,16 | 6,67 | 6,28 |
| Direkte kostnad | 1,94 | 1,90 | 1,86 |
| Indirekte kostnad | 5,22 | 4,79 | 4,44 |
| VaR (5 %) | 10,05 | 10,16 | 11,35 |
| Antall dager over grensen | 7,39 | 7,30 | 6,98 |

Tabell 5: Gjennomsnittskostnad og VaR (Value at Risk) per kilo produsert laks (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense for utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18.



Figur 18: Fordeling av antall dager over lusegrensen for uke 10, 14 og 18 ved utsett av 100 grams smolt.

Av Tabell 5 ser vi at de direkte kostnadene er vesentlig lavere enn de indirekte kostnadene. Dette skyldes reduksjon i biomasse som følge av sultetap og dødelighet ved avlusing, som medfører tapt potensiell inntekt for anlegget. Dette bekreftes av at ingen av tidspunktene for utsett gir en biomasse tilsvarende anleggets MTB på 3120 tonn.

For de valgte tidspunktene for utsett vil lakselusnivået utvikle seg relativt likt og dermed vil behovet for behandling skje på omtrentlig samme tid. I Tabell 6 kan vi også se at gjennomsnittlig antall behandlinger er tilnærmet likt. Det er heller ingen vesentlige forskjeller i gjennomsnittlig slaktevekt, biomasse og antall dager over lusegrensen for de tre ukene, men det observeres en noe høyere slaktevekt og biomasse desto senere smolten settes ut.

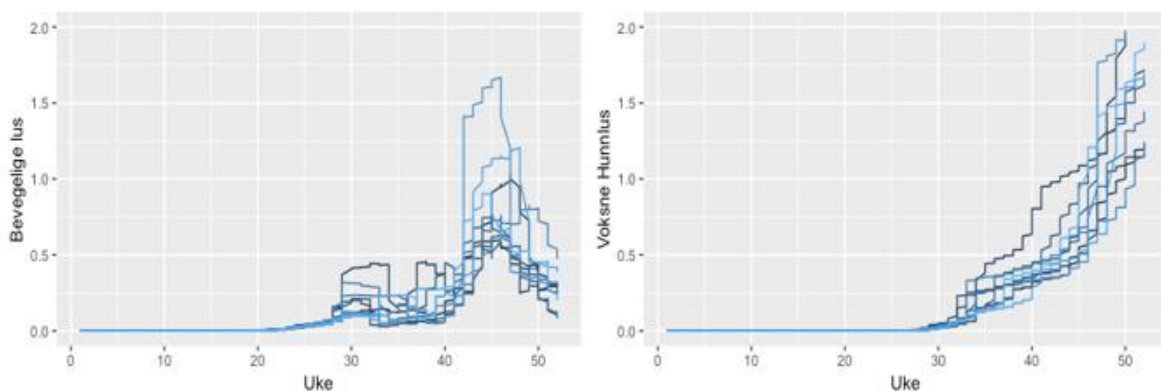
| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|---------------------|------------|------------|------------|
| Slaktevekt | 4 697 gram | 4 710 gram | 4 718 gram |
| Total biomasse | 2 930 tonn | 2 945 tonn | 2 956 tonn |
| Antall behandlinger | 2,60 | 2,59 | 2,59 |

Tabell 6: Gjennomsnittsverdier for slaktevekt, total biomasse og antall behandlinger ved utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18 med høy behandlingsgrense.

Brannslukningsstrategien medfører et betydelig antall utfall der hvor anlegget overskrider lusegrensen. Dette indikerer at behandlingsgrensen er for høy, og at avlusingsbehandling dermed iverksettes for sent. Som nevnt under 2.1.2 vil et lusenivå over den lovpålagte grensen kunne medføre betydelige økonomiske sanksjoner, deriblant redusert MTB. Ved å benytte seg av denne behandlingstrategien pådrar dermed oppdretter seg stor risiko, og strategien kan dermed ikke sies å være optimal sett i lys av gjeldende reguleringer.

5.2.2 Tilpasset behandlingsgrense

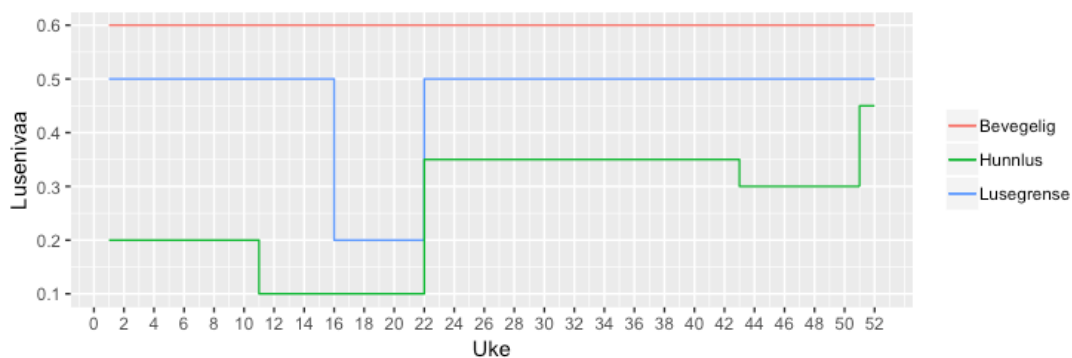
Fra analysen ovenfor så vi at en høy behandlingsgrense resulterte i et betydelig antall dager over lusegrensen, og denne grensen må derfor endres slik anlegget holder seg under lusegrensen i så stor grad som mulig. Som nevnt i 3.4.1 er termisk behandling effektiv for de bevegelige stadiene av lakselusen. Det kan derfor være hensiktsmessig å vurdere nivået av begge disse stadiene når behandlingsgrensen fastsettes. Tilveksten av bevegelige og voksne hunnlus studeres for å avgjøre dette.



Figur 19: Forekomsten av bevegelige og voksne hunnlus for uke 1 - 52 ved ti simuleringer.

Figur 19 viser forekomsten av bevegelige og voksne hunnlus for uke 1–52 for ti simuleringer. Vi ser at den største tilveksten av bevegelige lus skjer mellom uke 40 til 50. Ettersom at denne tilveksten er av en betydelig størrelse, vil det være avgjørende å foreta avlusing mens de fremdeles er på det bevegelige stadiet. Dersom en derimot avventer avlusing til lakselusen har blitt voksne hunnlus, vil den store tilveksten som utvikler seg til hunnlus innenfor samme periode føre til at anlegget overskrider grensen. Det er dermed ikke tilstrekkelig kun å vurdere bestanden av voksne hunnlus ved avlusing.

Vi ønsker at den nye behandlingsgrensen skal settes på et nivå som gir lav risiko for å overskride lusegrensen. Samtidig er det viktig at grensen settes på et realistisk nivå, slik at simuleringmodellen ikke baserer seg på en behandlingsstrategi som ikke lar seg gjennomføre i praksis. Eksempelvis vil begrensningen på syv dager mellom termisk avlusing, som beskrevet i 4.5, kunne føre til at anlegget overskrider lusegrensen i denne venteperioden. Fra et fiskehelseperspektiv er det heller ikke realistisk å sette et uforholdsmessig antall avlusingsbehandlinger. Vi vil derfor godta en behandlingsgrense som gir et gjennomsnitt på opp til 0,5 dager over lusegrensen.



Figur 20: Tilpasset behandlingsgrense for uke 1 til 52. Blå kurve tilsvarende lovpålagt lusegrense.

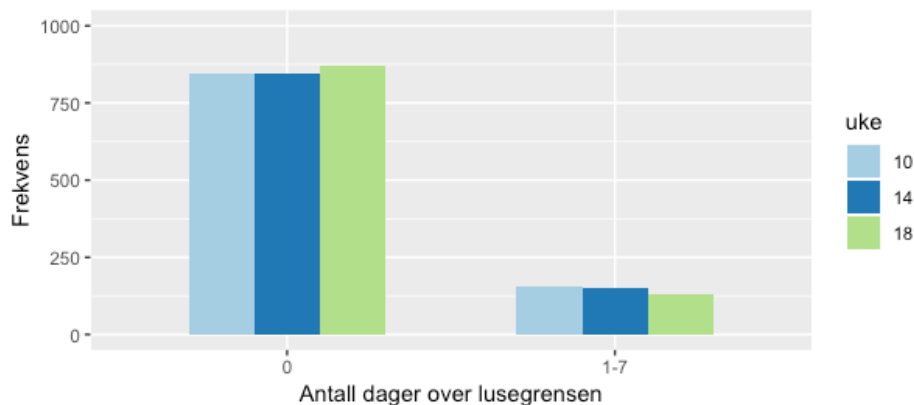
Den tilpassede behandlingsgrensen er illustrert i Figur 20. Behandlingsgrensen for det bevegelige stadiet settes til 0,6 lus per fisk gjennom hele året. En lavere grense for dette stadiet viser seg ikke å være hensiktsmessig, ettersom at det vil sette i gang avlusing hyppigere uten å ha stor effekt på antall dager over lusegrensen. Som vi ser av Figur 19 vil imidlertid den fastsatte grensen sørge for at «toppen» i lusetilveksten mellom uke 40 og 50 blir avluset før den utvikles til voksne hunnlus. Behandlingsgrensen for voksne hunnlus er satt med bakgrunn i samme resonnement. I tillegg observerte vi at det er mest hensiktsmessig å hovedsakelig vurdere antall voksne hunnlus på vårparten. Behandlingsgrensen for bevegelige lus justeres derfor ikke, på tross av lavere lusegrense. Dette skyldes lavere smittepress og sjøtemperaturer, og dermed en lengre utviklingstid for lusestadiene.

Av Tabell 7 nedenfor ser vi at differansen i kostnad og antall dager over lusegrensen mellom de ulike ukene utgjør små forskjeller, men kostnadene og gjennomsnittlig antall dager over lusegrensen er høyest for uke 10 og lavest for uke 18. VaR er også relativt likt mellom ukene, men gir uke 18 høyest verdi på 12,39 kroner, noe som indikerer at 95 % av utfallene fra simuleringmodellen vil ha kostnader lavere enn dette.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| Total kostnad | 6,78 | 6,44 | 6,05 |
| Direkte kostnad | 0,65 | 0,60 | 0,56 |
| Indirekte kostnad | 6,14 | 5,83 | 5,50 |
| VaR (5 %) | 12,04 | 11,59 | 12,39 |
| Antall dager over grensen | 0,37 | 0,34 | 0,29 |

Tabell 7: Gjennomsnittskostnad og VaR (Value at Risk) per kilo produsert laks (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense for utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18.

I Figur 21 nedenfor illustreres fordelingen av antall dager over grensen når den tilpassede behandlingsgrensen benyttes. Vi observerer at den nye behandlingsgrensen gir et lusenivå under den lovpålagte lusegrensen ved en betydelig andel av simuleringene, og en gjennomsnittlig verdi på mindre enn 0,5 dager over lusegrensen (Tabell 7). Denne behandlingsgrensen innfrir dermed kravene til den tilpassede behandlingsgrensen som nevnt ovenfor.



Figur 21: Fordeling av antall dager over lusegrensen for uke 10, 14 og 18 ved utsett av 100 grams smolt.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|---------------------|---------|---------|---------|
| Slaktevekt | 4 657 g | 4 660 g | 4 666 g |
| Total biomasse | 2 895 t | 2 903 t | 2 913 t |
| Antall behandlinger | 3,28 | 3,33 | 3,30 |
| Vekt avlusing 1 | 1 390 g | 1 180 g | 985 g |
| Vekt avlusing 2 | 1 991 g | 1 751 g | 1 509 g |
| Vekt avlusing 3 | 3 007 g | 2 714 g | 2 415 g |

Tabell 8: Gjennomsnittsverdier for slaktevekt, total biomasse, antall behandlinger og vekt ved avlusing ved utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18 med tilpasset behandlingsgrense.

Vi observerer at produksjonsegenskapene samsvarer med kostnadene. Tabell 8 ovenfor viser at differansen i produksjonsegenskapene utgjør små forskjeller, men uke 18 har noe høyere slaktevekt og total biomasse sammenlignet med de andre ukene. Differanse i slaktevekt og biomasse kan skyldes temperaturforskjeller som gir mer gunstige vekstforhold, ulik vekt ved avlusing eller en kombinasjon av dette. Fra modellen uten lakselus så vi at utsett i uke 18 gir bedre vekstforhold, men det justeres for denne vekstfordelen ved å benytte en tilpasset produksjonstid. Vekstforholdene kan dermed ikke forklare biomasseforskjellen.

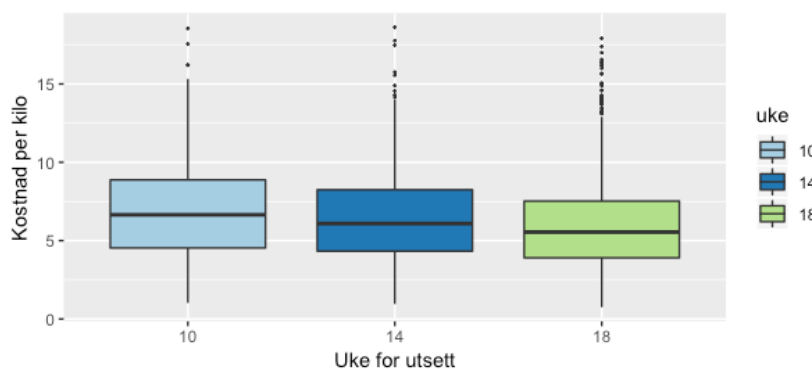
Videre undersøkes fiskevekten ved avlusing for de tre produksjonssyklusene. Denne vekten vil naturligvis variere med antall behandlinger. Det gjennomføres i snitt tre avlusinger, og som vi ser av Tabell 9 gjennomføres disse avlusingsbehandlingene på omtrent samme tidspunkt for de ulike tidspunktene for utsett.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Avlusing 1 | 43, 41, 40 (42,2 %) | 41, 43, 40 (45,3 %) | 41, 43, 40 (44,0 %) |
| Avlusing 2 | 44, 45, 46 (42,1 %) | 44, 46, 45 (41,6 %) | 44, 46, 45 (41,6 %) |
| Avlusing 3 | 1, 11, 3 (45,4 %) | 1, 11, 2 (40,0 %) | 1, 11, 2 (44,8 %) |

Tabell 9: Tre mest hyppige ukene for avlusing 1, 2 og 3. Andel av avlusingene som faller innenfor disse ukene i parentes. Eks: 42,2 % av første avlusing i uke 10 gjennomføres i uke 43, 41 eller 40.

Av Tabell 8 ser vi også at fiskevekten ved avlusing er rundt 4 – 500 gram høyere for utsett i uke 10 sammenlignet med utsett i uke 18. En høyere fiskevekt på avlusingstidspunktet vil føre til økt biomassetap på grunn av høyere vekt på fisken som dør under behandling, samt et økt sultetap ettersom at dette tapet øker med fiskevekten på sultetidspunktet. Som nevnt er det liten forskjell i slaktevekt, og derfor skyldes differansen i biomasse i hovedsak førstnevnte årsak, dødelighet av større fisk ved avlusing. Dette er dermed hovedårsaken til høyere, særlig indirekte, kostnader for utsett i uke 10 og 14 sammenlignet med utsett i uke 18.

Vi har nå fastslått årsaken til kostnadsforskjellene mellom ukene. Imidlertid er det til nå diskutert gjennomsnittskostnaden for de ulike produksjonssyklusene, noe som ikke gir et bilde av spredningen av kostnadene. Kartlegging av denne spredningen er interessant ettersom den vil gi informasjon om risiko tilknyttet den presenterte kostnaden. Denne spredningen illustreres derfor i Figur 22.



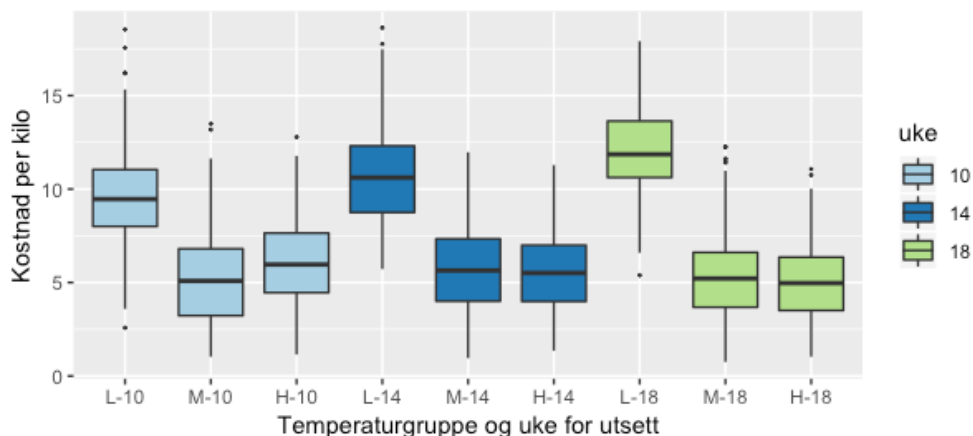
Figur 22: Box plot av avlusingkostnad per kilo produsert laks (i kr) for utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18.

Figur 22 viser en synkende mediankostnad og en redusert høyde av boksen ved senere utsett. Sistnevnte indikerer forholdsvis mer sentrerte kostnader. På tross av dette viser plottet en betydelig spredning av kostnadene innad i de ulike utsettene. Analysen ovenfor viste at kostnadsforskjellene skyldes størrelsen på biomassen. Etersom at biomassen er temperaturavhengig deles derfor gjennomsnittstemperaturene fra simuleringen i tre like store temperaturintervaller for lav (L), middels (M) og høy (H) temperatur og de tilhørende kostnadene studeres. En kan dermed undersøke om år som kjennetegnes av kalde, middels eller varme sjøtemperaturer har innvirkning på kostnadene. Gjennomsnittstemperaturen for en produksjonssyklus vil påvirkes av tidspunkt for utsett; eksempelvis vil utsett i uke 10 inneholde flere lave temperaturer sammenlignet med utsett i uke 18 og dermed få lavere gjennomsnittstemperatur. Dette skyldes et tidligere tidspunkt for utsett kombinert med lengre produksjonsvarighet for uke 10. Vi har derfor valgt å tilpasse temperaturintervallene for de ulike ukene, ettersom at det forventes at utsett i uke 10 og 14 vil ha en noe lavere gjennomsnittstemperatur sammenlignet med uke 18 på tross av at de befinner seg innenfor samme type trend (høy, middels eller lav) for temperatur.

Temperaturintervallene og gjennomsnittstemperaturen for de ulike tidspunktene for utsett er presentert i tabellen nedenfor (Tabell 10). Tabellen viser at middels temperaturintervall tilsvarer temperaturer rundt gjennomsnittstemperaturen. Lavt temperaturintervall er temperaturer ned mot om lag én grad kaldere enn gjennomsnittstemperaturen, mens høyt temperaturintervall er tilsvarende om lag én grad varmere enn gjennomsnittstemperaturen.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|-------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Gjennomsnittstemperatur | 9,57°C | 9,84°C | 10,20°C |
| Lav temperatur | 8,69 – 9,30 | 8,84 – 9,50 | 9,01 – 9,71 |
| Middels temperatur | 9,30 – 9,90 | 9,50 – 10,20 | 9,71 – 10,40 |
| Høy temperatur | 9,90 – 10,50 | 10,20 – 10,80 | 10,40 – 11,10 |

Tabell 10: Temperaturintervall (i °C) for uke 10, 14 og 18.



Figur 23: Box plot av kostnad (i kr) for lav, middels og høy temperatur for utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18.

Vi observerer en redusert spredning og færre ekstremverdier når vi studerer kostnadene for de ulike temperaturgruppene (Figur 23). Videre ser vi at kostnaden ved lav temperatur stiger ved senere utsett, og at det er liten differanse mellom middels og høy temperatur både innad i samme uke og mellom ukene.

Gjennomsnittskostnadene og antall dager over lusegrensen er presentert i Tabell 11 nedenfor. Den viser at ved lav og middels temperatur gir utsett i uke 10 lavest kostnad, mens ved høy temperatur bør man sette ut i uke 18. Ved middels temperatur er det mindre kostnadsforskjeller mellom de ulike tidspunktene for utsett. Det er relativt små forskjeller i antall dager over lusegrensen, men utsett i uke 18 gir lavest gjennomsnittlig overskridelse av denne ved alle temperaturutfall.

| Lav temperatur | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|---------------------------|---------|----------|----------|
| Kostnad per kilo | 9,57 kr | 10,62 kr | 12,03 kr |
| Antall dager over grensen | 0,45 | 0,45 | 0,27 |
| Middels temperatur | | | |
| Kostnad per kilo | 5,23 kr | 5,68 kr | 5,24 kr |
| Antall dager over grensen | 0,34 | 0,32 | 0,29 |
| Høy temperatur | | | |
| Kostnad per kilo | 6,03 kr | 5,58 kr | 5,09 kr |
| Antall dager over grensen | 0,31 | 0,33 | 0,31 |

Tabell 11: Gjennomsnittskostnad ved lav, middels og høy temperatur og tilhørende antall dager over lovpålagt grense for utsett av 100 grams smolt.

5.2.3 Endret smoltstørrelse

Utsett av større smolt i sjø vil gi kortere tid i merden og dermed redusere eksponeringstiden mot lus. Vi ønsker å undersøke effekten av utsett av smolt på henholdsvis 250 og 500 gram på de relevante kostnadene tilknyttet lakselus og hvordan kostnadsbildet vil endre seg i forhold til utsett av 100 grams smolt. På samme måte som ved 100 grams smolt finner vi først produksjonstiden til MTB uten lusepress og avlusinger før vi deretter studerer kostnadene behandlingsstrategien medfører, samt hvilke konsekvenser dette vil gi for produksjonen.

250 gram

Ved utsett av 250 grams smolt gir simuleringsmodellen en produksjonstid i sjø på 395, 391 og 387 dager for utsett i henholdsvis uke 10, 14 og 18 (Tabell 12). Vi observerer at slaktevekten og varigheten er nokså lik mellom de tre ukene, men at produksjonsvarigheten er vesentlig lavere enn for utsett av smolt på 100 gram på henholdsvis 461, 450 og 441 dager.

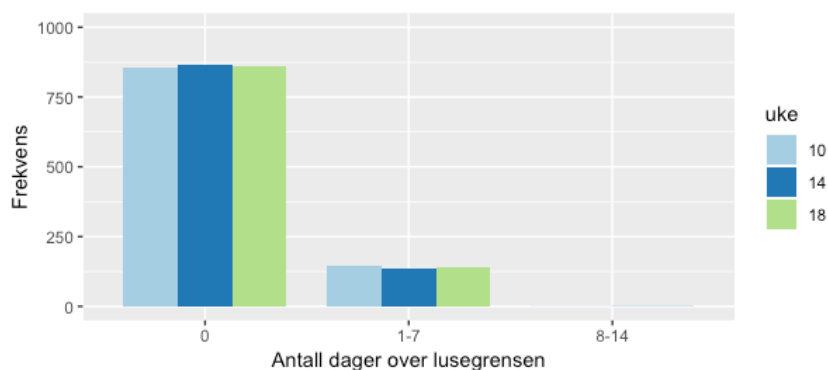
| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|------------------|---------|---------|---------|
| Sjøtemperatur | 9,75°C | 9,85°C | 10,02°C |
| Slaktevekt | 4 872 g | 4 870 g | 4 866 g |
| Varighet (dager) | 395 | 391 | 387 |

Tabell 12: Gjennomsnittsverdier for sjøtemperatur, slaktevekt og varighet ved for utsett av 250 grams smolt i uke 10, 14 og 18 uten lusepress og avlusinger.

Tabell 13 nedenfor viser resultatene av simuleringsmodellen med lusepress, termisk avlusing og den tilpassede behandlingsgrensen utarbeidet ovenfor. Av Tabell 13 observerer vi en økning i gjennomsnittlig kostnad, samt en noe høyere VaR for alle tidspunktene for utsett sammenlignet med utsett av 100 grams smolt. Videre ser vi at gjennomsnittlig antall dage over den lovpålagte lusegrensen er lav, og Figur 24 viser at de fleste tilfellene holder seg under grensen.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| Total kostnad 100 gram | 6,78 | 6,44 | 6,05 |
| Total kostnad | 7,63 | 7,32 | 7,25 |
| Direkte kostnad | 0,73 | 0,70 | 0,66 |
| Indirekte kostnad | 6,90 | 6,62 | 6,59 |
| VaR (5 %) | 12,18 | 12,09 | 13,18 |
| Antall dager over grensen | 0,33 | 0,32 | 0,36 |

Tabell 13: Gjennomsnittskostnad og VaR (Value at Risk) per kilo produsert laks (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense for utsett i uke 10, 14 og 18 ved utsett av smolt på 250 gram.



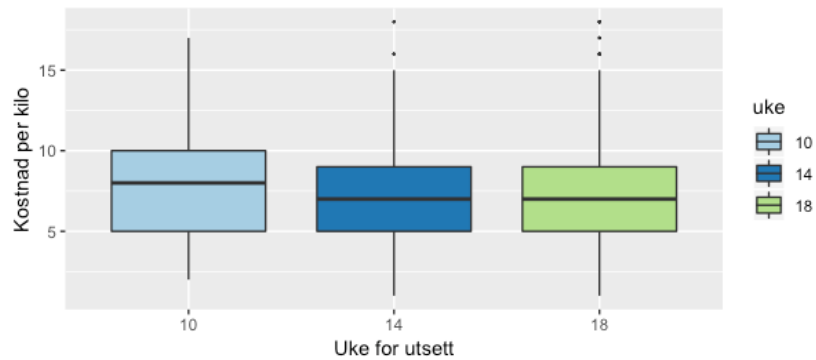
Figur 24: Fordeling av antall dager over lusegrensen for uke 10, 14 og 18 ved utsett av 250 grams smolt.

Tabell 14 nedenfor viser egenskaper ved produksjonen. Vi ser av tabellen at det er noe forskjell på gjennomsnittlig slaktevekt og biomasse ved utsett av 250 grams og 100 grams smolt. Gjennomsnittlig antall behandlinger er noe lavere enn for 100 gram, men ikke i vesentlig grad. Det betyr at kostnadsøkningen ved utsett av 250 grams smolt skyldes høyere fiskevekt ved avlusing og dermed et større biomassetap som følge av dødelighet og sulting. Denne vektforskjellen er illustrert i Tabell 14 der gjennomsnittlig vekt for tre avlusinger sammenlignes ved utsett av smolt på 100 gram.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|---------------------|---------|---------|---------|
| Slaktevekt | 4 553 g | 4 564 g | 4 556 g |
| Δ 100 g | -104 | -96 | -110 |
| Total biomasse | 2 874 t | 2 883 t | 2 880 t |
| Δ 100 g | -21 | -20 | -33 |
| Antall behandlinger | 3,10 | 3,16 | 3,23 |
| Δ 100 g | -0,18 | -0,17 | -0,07 |
| Vekt avlusing 1 | 2 004 g | 1 809 g | 1 546 g |
| Δ 100 g | +614 | +629 | +561 |
| Vekt avlusing 2 | 2 723 g | 2 495 g | 2 193 g |
| Δ 100 g | +732 | +744 | +684 |
| Vekt avlusing 3 | 3 815 g | 3 565 g | 3 226 g |
| Δ 100 g | +808 | +851 | +811 |

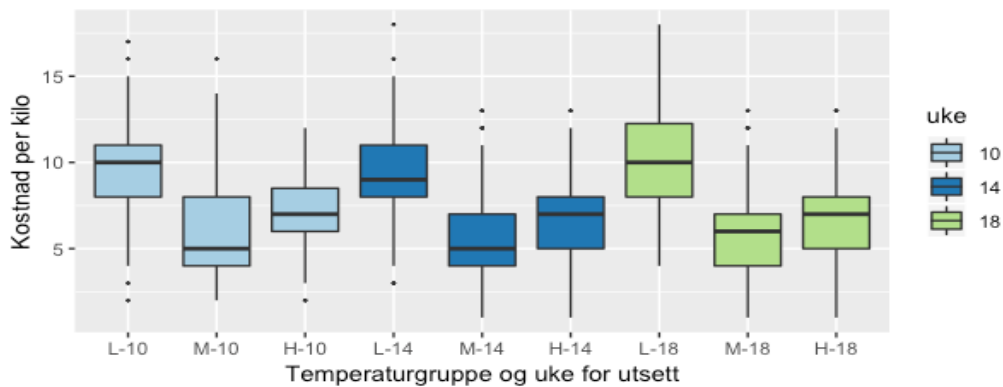
Tabell 14: Gjennomsnittsverdier for slaktevekt, biomasse, antall behandlinger og vekt ved avlusing for utsett av 250 grams smolt i uke 10, 14 og 18 med lusepress og termisk behandling.

Figur 25 viser at det er relativ lik spredning i kostnadene for utsett i uke 14 og 18, men noe mindre sentrerte kostnader for uke 10.



Figur 25: Box plot av avlusingskostnad per kilo produsert laks (i kr) for utsett av 250 grams smolt i uke 10, 14 og 18.

Figur 26 viser at spredningen i kostnadene varierer med temperaturen, slik som vi observerte ved 100 grams smolt. Imidlertid observeres det en liten økning i variasjon mellom middels og høy temperatur, med lavest kostnad for middels temperatur.



Figur 26: Box plot av kostnad (i kr) for lav, middels og høy temperatur for utsett av 250 grams smolt i uke 10, 14 og 18.

Fra Tabell 15 nedenfor ser vi at utsett i uke 14 vil gi lavest gjennomsnittskostnad ved alle temperaturutfall. Samme tidspunkt for utsett resulterer også i lavest gjennomsnittlig antall dager over lusegrensen ved lav og høy temperatur. Ved middels temperatur vil imidlertid uke 14 resultere i høyest gjennomsnittlig antall dager over lusegrensen.

| Lav temperatur | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|---------------------------|---------|---------|----------|
| Kostnad per kilo | 9,65 kr | 9,19 kr | 10,57 kr |
| Antall dager over grensen | 0,40 | 0,33 | 0,42 |
| Middels temperatur | | | |
| Kostnad per kilo | 5,79 kr | 5,50 kr | 5,82 kr |
| Antall dager over grensen | 0,33 | 0,38 | 0,34 |
| Høy temperatur | | | |
| Kostnad per kilo | 7,07 kr | 6,73 kr | 6,83 kr |
| Antall dager over grensen | 0,21 | 0,16 | 0,36 |

Tabell 15: Gjennomsnittskostnad ved lav, middels og høy temperatur og tilhørende antall dager over lovpålagt grense for utsett av 250 grams smolt.

500 gram

Ved å sette ut smolt på 500 gram ser vi i Tabell 16 at produksjonstiden til lokaliteten oppnår MTB er vesentlig lavere enn ved utsett av 250 gram (395, 391, 387) og nesten hundre dager kortere enn ved utsett av smolt på 100 gram (461, 450, 441).

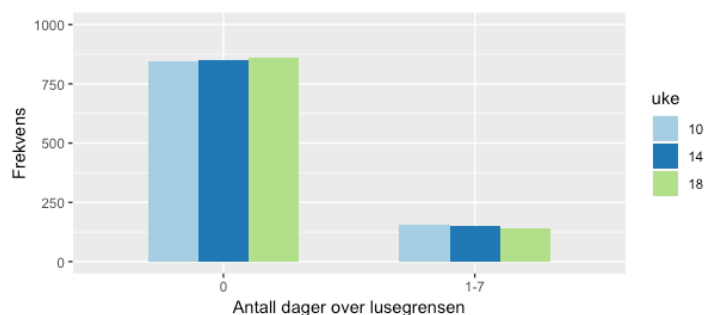
| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|------------------|---------|---------|---------|
| Sjøtemperatur | 10,61°C | 10,74°C | 10,59°C |
| Slaktevekt | 4 790 g | 4 787 g | 4 792 g |
| Varighet (dager) | 318 | 315 | 320 |

Tabell 16: Gjennomsnittsverdier for sjøtemperatur, slaktevekt og varighet for utsett av 500 grams smolt for uke 10, 14 og 18 uten lusepress og avlusinger.

I Tabell 17 nedenfor ser vi at gjennomsnittskostnaden per kilo er noe lavere enn for utsett av 250 grams smolt, men fortsatt høyere enn ved utsett av 100 grams smolt. Tidligere utsett gir her lavere kostnader. VaR er lavere enn både ved 250 og 100 grams smolt. Videre ser vi at gjennomsnittlig antall dager over lovpålagt grense er lav, og Figur 27 viser at de fleste tilfellene holder seg under grensen.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| Total kostnad 100 gram | 6,78 | 6,44 | 6,05 |
| Total kostnad 250 gram | 7,63 | 7,32 | 7,25 |
| Total kostnad | 7,00 | 7,03 | 7,36 |
| Direkte kostnad | 0,64 | 0,65 | 0,65 |
| Indirekte kostnad | 6,35 | 6,38 | 6,71 |
| VaR (5 %) | 11,50 | 10,50 | 11,47 |
| Antall dager over grensen | 0,31 | 0,34 | 0,32 |

Tabell 17: Gjennomsnittskostnad og VaR (Value at Risk) per kilo produsert laks (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense for utsett i uke 10, 14 og 18 ved utsett av smolt på 500 gram.



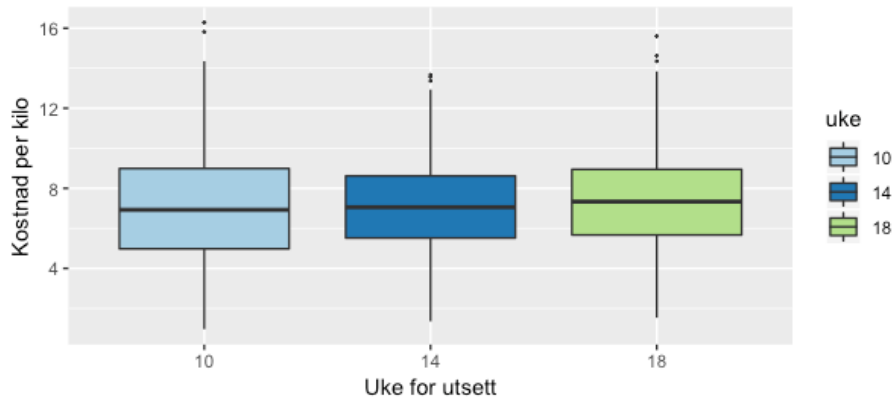
Figur 27: Fordeling av antall dager over lusegrensen for uke 10, 14 og 18 ved utsett av 500 grams smolt.

Tabell 18 nedenfor viser at det forekommer noe forskjell i gjennomsnittlig biomasse, slaktevekt og antall behandlinger. Færre antall behandlinger skyldes kortere produksjonsvarighet. Videre ser vi at uke 18 har høyere gjennomsnittlig antall behandlinger enn uke 10 og 14, og dermed også høyere gjennomsnittskostnad (Tabell 17). Dette følger av at produksjonssyklusen for utsett i uke 18 slaktes på et senere tidspunkt enn utsett i uke 10 og 14. Dermed vil det være større sannsynlighet for en tredje avlusing de siste fire til åtte ukene for utsett i uke 18. Utsettene i uke 10 og 14 vil på sin side oftere avsluttes før en tredje avlusing vil inntreffe. Vi ser også i Tabell 18 at fiskevekten ved avlusing er noe høyere enn for utsett av de andre smoltstørrelsene, noe som er en naturlig konsekvens ettersom fisken er større ved utsett. At gjennomsnittskostnadene likevel er lavere enn for utsett av 250 gram skyldes derfor gjennomsnittlig færre behandlinger ved utsett av 500 gram.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|------------------------|---------|---------|---------|
| Slaktevekt | 4 495 g | 4 489 g | 4 478 g |
| Δ 100 g uten rensefisk | -162 | -171 | -188 |
| Δ 250 g uten rensefisk | -58 | -75 | -78 |
| Total biomasse | 2 895 t | 2 892 t | 2 879 t |
| Δ 100 g uten rensefisk | - | -11 | -34 |
| Δ 250 g uten rensefisk | +21 | +9 | -1 |
| Antall behandlinger | 2,49 | 2,63 | 3,09 |
| Δ 100 g uten rensefisk | -0,79 | -0,7 | -0,21 |
| Δ 250 g uten rensefisk | -0,61 | -0,53 | -0,14 |
| Vekt avlusing 1 | 2 912 g | 2 668 | 2 145 |
| Δ 100 g uten rensefisk | +1 522 | +1 488 | +1 160 |
| Δ 250 g uten rensefisk | +908 | +859 | +599 |
| Vekt avlusing 2 | 3 415 g | 3 319 g | 2 827 g |
| Δ 100 g uten rensefisk | +1 424 | +1 568 | +1 318 |
| Δ 250 g uten rensefisk | +692 | +824 | +634 |
| Vekt avlusing 3 | - | - | 3 927 g |
| Δ 100 g uten rensefisk | - | - | +1 512 |
| Δ 250 g uten rensefisk | - | - | +701 |

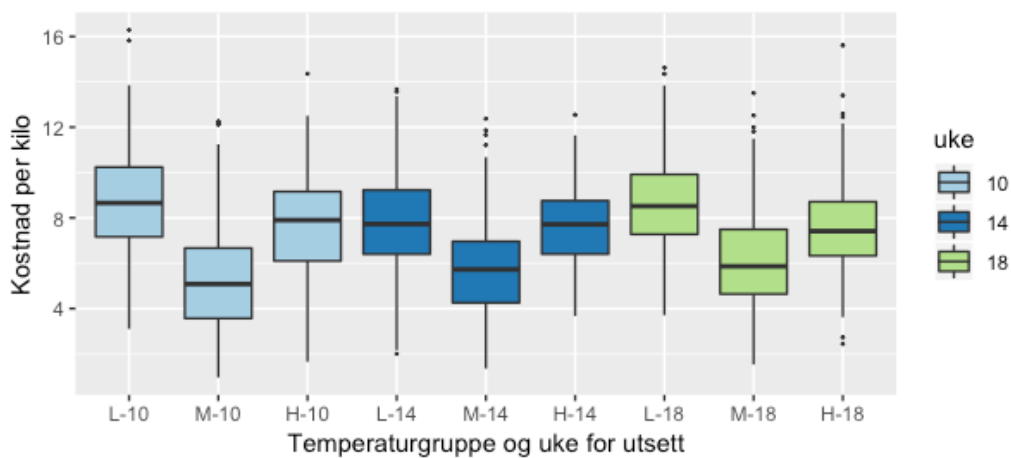
Tabell 18: Gjennomsnittsverdier for slaktevekt, biomasse, antall behandlinger og vekt ved avlusing for utsett av 500 grams smolt i uke 10, 14 og 18 med lusepress og termisk behandling.

Figur 28 viser at spredningen av kostnadene for de tre ukene med utsett er relativt lik, men kostnadene for utsett i uke 10 er noe mindre sentrert enn for de to andre ukene, slik som vi har observert tidligere.



Figur 28: Box plot av avlusingskostnad per kilo produsert laks (i kr) for utsett av 500 grams smolt i uke 10, 14 og 18.

Figur 29 viser en tydelig forskjell i spredningen av kostnadene for lav, middels og høy temperatur, men en mindre forskjell i denne spredningen mellom de ulike tidspunktene for utsett.



Figur 29: Box plot av kostnad (i kr) for lav, middels og høy temperatur for utsett av 500 grams smolt i uke 10, 14 og 18.

Tabell 19 nedenfor viser at utsett i uke 10 gir lavest gjennomsnittskostnad også når kostnadene er delt opp i temperaturintervaller. Tabellen viser videre at tidspunkt for utsett av 500 grams smolt ser ut til å ha mindre betydning for kostnadene gitt de ulike temperaturscenariene, noe vi også fant ved diskusjonen av Figur 29.

| Lav temperatur | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|---------------------------|---------|---------|---------|
| Kostnad per kilo | 8,64 kr | 7,73 kr | 8,60 kr |
| Antall dager over grensen | 0,38 | 0,39 | 0,28 |
| Middels temperatur | | | |
| Kostnad per kilo | 5,34 kr | 5,75 kr | 6,02 kr |
| Antall dager over grensen | 0,40 | 0,31 | 0,37 |
| Høy temperatur | | | |
| Kostnad per kilo | 7,71 kr | 7,60 kr | 7,58 kr |
| Antall dager over grensen | 0,33 | 0,28 | 0,33 |

Tabell 19: Gjennomsnittskostnad ved lav, middels og høy temperatur og tilhørende antall dager over lovpålagt grense for utsett av 500 grams smolt.

Tabell 20 nedenfor oppsummerer resultatene fra analysen med termisk avlusing som behandlingsmetode og tilpasset behandlingsgrense.

| Termisk behandling | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|-----------------------------|--------|--------|--------|
| For alle temperaturer | | | |
| Tilpasset grense – 100 gram | 6,78 | 6,44 | 6,05 |
| Tilpasset grense – 250 gram | 7,63 | 7,32 | 7,25 |
| Tilpasset grense – 500 gram | 7,00 | 7,03 | 7,36 |
| Lav temperatur | | | |
| Tilpasset grense – 100 gram | 9,57 | 10,62 | 12,03 |
| Tilpasset grense – 250 gram | 9,65 | 9,19 | 10,57 |
| Tilpasset grense – 500 gram | 8,64 | 7,73 | 8,60 |
| Middels temperatur | | | |
| Tilpasset grense – 100 gram | 10,62 | 5,24 | 5,09 |
| Tilpasset grense – 250 gram | 9,19 | 5,50 | 6,73 |
| Tilpasset grense – 500 gram | 5,34 | 5,75 | 6,02 |
| Høy temperatur | | | |
| Tilpasset grense – 100 gram | 12,03 | 5,24 | 5,09 |
| Tilpasset grense – 250 gram | 10,57 | 5,82 | 6,83 |
| Tilpasset grense – 500 gram | 7,71 | 7,60 | 7,58 |

Tabell 20: Oppsummering av resultat av behandlingsstrategi med termisk behandling, ulike smoltstørrelser og tidspunkt for utsett. Presentert som total gjennomsnittskostnad (i kr) og inndelt i temperaturintervall.

Oppsummeringstabellen viser at uavhengig av temperaturutfall gir utsett av 100 grams smolt i uke 18 den laveste gjennomsnittskostnaden med 6,05 kroner per kilo. Samme størrelse og tidspunkt for utsett gir også lavest kostnad med 5,09 kroner per kilo ved middels og høy temperatur. Ved lav temperatur medfører imidlertid denne behandlingsstrategien den høyeste mulige kostnaden på 12,03 kroner per kilo, mens 500 grams smolt i uke 14 gir lavest kostnad med 7,73 kroner per kilo. Alle behandlingsstrategiene viser betydelig utfall der hvor anlegget er under den lovpålagte lusegrensen. Videre observeres liten variasjon i gjennomsnittlig antall dager under lusegrensen og alle behandlingsstrategiene har mindre enn 0,5 antall dager over lusegrensen. Alle behandlingsstrategiene en VaR på rundt 12 kr, og det observeres derfor ikke en tydelig forskjell i risikoen tilknyttet de ulike behandlingsstrategiene. Dette underbygges av boxplottene som viser relativ lik spredning i kostnadene mellom de ulike strategiene.

5.3 Modell med termisk behandling og rensefisk

I det følgende inkluderes effekten av både termisk behandling og rensefisk i simuleringsmodellen. Figur 19 viste at det høyest lusepresset forekommer på sommer- og høsthalvåret, og vi har derfor valgt å sette ut rensefisk i perioden fra uke 28 til uke 50. Vi analyserer effekten av begge tiltakene ved utsett av 100, 250 og 500 grams smolt og benytter den tilpassede behandlingsgrensen utarbeidet i kapittel 5.2.2. I tillegg til å presentere totale, direkte og indirekte kostnader vil vi også presentere hvor stor andel kostnadene tilknyttet rensefisk og termisk behandling utgjør. Merk at tellekostnaden kommer i tillegg, og kostnaden for rensefisk og termisk behandling vil dermed ikke utgjøre de eneste kostnadene under de totale kostnadene.

5.3.1 Tilpasset behandlingsgrense

100 gram

I Tabell 21 presenteres gjennomsnittlig kostnader og dager over grensen ved utsett av 100 grams smolt ved benyttelse av både termisk behandling og rensefisk. Vi observerer at gjennomsnittlig total kostnad per kilo er lavere enn ved utsett av 100 grams smolt uten rensefisk. Videre ser vi at rensefiskkostnaden er lik for utsett i de tre ukene, mens kostnad for termisk behandling er synkende. Termisk kostnad vil være høyere enn kostnaden ved rensefisk ettersom termisk behandling medfører et biomassetap og dermed påvirkes av fiskens vekt ved avlusing. Vi observerer ingen store forskjeller i VaR, som ligger på rundt 10 kroner for alle ukene. Når denne strategien benyttes gir det i gjennomsnitt ingen dager over lovpålagt grensen.

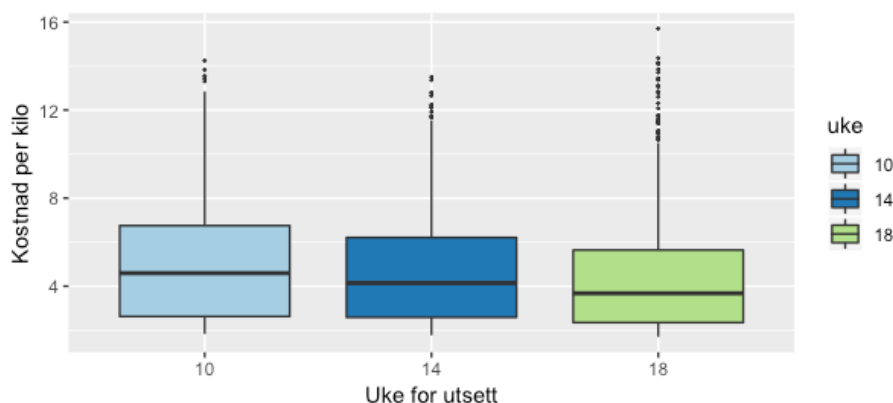
| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|
| Total kostnad 100 gram uten rensefisk | 6,78 | 6,44 | 6,05 |
| Total kostnad | 5,03 | 4,74 | 4,44 |
| Direkte kostnad | 1,75 | 1,72 | 1,69 |
| Indirekte kostnad | 3,28 | 3,02 | 2,75 |
| Derav termisk behandling | 3,59 | 3,30 | 3,00 |
| Derav rensefisk | 1,35 | 1,35 | 1,35 |
| VaR (5 %) | 10,13 | 9,84 | 10,14 |
| Antall dager over grensen | 0 | 0 | 0 |

Tabell 21: Gjennomsnittskostnad og VaR (Value at Risk) per kilo produsert laks (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense for utsett i uke 10, 14 og 18 ved utsett av 100 grams smolt.

Tabell 22 nedenfor presenterer egenskaper ved produksjonen og differansen fra utsett av 100 grams smolt uten rensefisk, men med termisk behandling. Bruk av rensefisk i tillegg til termisk avlusing gir en høyere slaktevekt og biomasse, samt færre gjennomsnittlige behandlinger sammenliknet med utsett av 100 grams smolt uten rensefisk. I Tabell 21 så vi at gjennomsnittlig kostnad per kilo er lavere for utsett med rensefisk enn uten. Ettersom vi i Tabell 22 ser at gjennomsnittlig fiskevekt ved avlusing er høyere sammenliknet med 100 gram uten rensefisk, skyldes kostnadsreduksjonen gjennomsnittlig færre termiske behandlinger.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|------------------------|---------|---------|---------|
| Slaktevekt | 4 787 g | 4 788 g | 4 974 g |
| Δ 100 g uten rensefisk | +130 | +120 | +308 |
| Total biomasse | 3 002 t | 3 010 t | 3 020 t |
| Δ 100 g uten rensefisk | +107 | +107 | +107 |
| Antall behandlinger | 2 | 2 | 2 |
| Δ 100 g uten rensefisk | -1,28 | -1,33 | -1,30 |
| Vekt avlusing 1 | 2 147 g | 1 863 g | 1 610 g |
| Δ 100 g uten rensefisk | +757 | +683 | +561 |
| Vekt avlusing 2 | 3 174 g | 2 829 g | 2 582 g |
| Δ 100 g uten rensefisk | +1 183 | +1 078 | +684 |

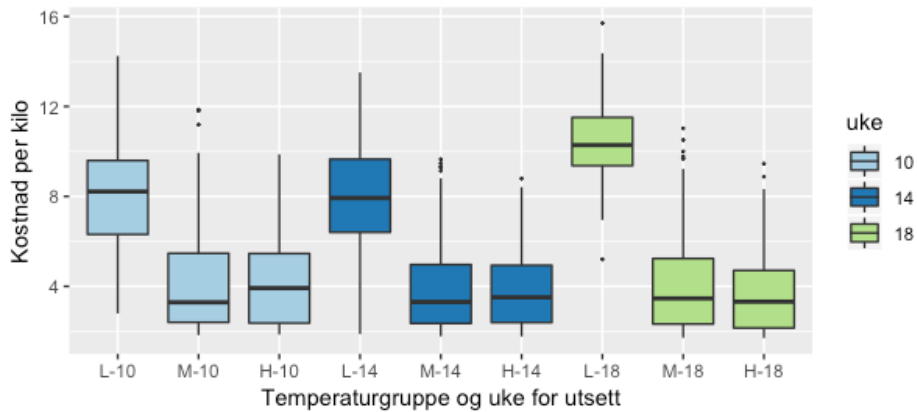
Tabell 22: Gjennomsnittsverdier for slaktevekt, biomasse, antall behandlinger og vekt ved avlusing for utsett av 100 grams smolt uke 10, 14 og 18 med lusepress og termisk behandling.



Figur 30: Box plot av avlusingskostnad per kilo produsert laks (i kr) for utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18.

Figur 30 ovenfor viser synkende mediankostnad og mer sentrerte kostnader ved senere utsett.

Figur 31 viser at spredningene i kostnadene for middels og høy temperatur ligger på samme nivå for alle ukene, mens spredningen i kostnadene for lav temperatur er betydelig forskjellig fra disse og varierer også noe for de ulike utsettene.



Figur 31: Box plot av kostnad (i kr) for lav, middels og høy temperatur for utsett av 100 grams smolt i uke 10, 14 og 18.

Tabell 23 nedenfor viser at ved lav temperatur vil utsett i uke 10 og 14 gi lavere gjennomsnittlig kostnad enn uke 18. Ved middels eller høy temperatur vil derimot utsett i uke 18 gi lavere kostnad enn uke 10 og 14.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|--------------------|--------|--------|--------|
| Lav temperatur | 8,18 | 7,95 | 10,49 |
| Middels temperatur | 4,02 | 3,82 | 3,39 |
| Høy temperatur | 4,12 | 3,82 | 3,61 |

Tabell 23: Gjennomsnittskostnad ved lav, middels og høy temperatur for utsett av 100 grams smolt.

250 gram

Tabell 24 nedenfor viser at utsett av 250 grams smolt med rensefisk gir betydelig redusert gjennomsnittlig total kostnad per kilo sammenliknet med utsett av 250 grams smolt uten rensefisk. Av tabellen ser vi at det er liten forskjell i kostnadene for utsett i de ulike ukene, men utsett i uke 14 gir lavest gjennomsnittskostnad. VaR er på samme nivå for utsett i uke 10 og 14 og litt høyere for uke 18. Ingen av tilfellene medfører overskridelse av den lovpålagte lusegrensen.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|
| Total kostnad 250 gram uten rensefisk | 7,63 | 7,32 | 7,25 |
| Total kostnad | 5,04 | 4,91 | 5,17 |
| Direkte kostnad | 1,74 | 1,74 | 1,75 |
| Indirekte kostnad | 3,30 | 3,17 | 3,42 |
| Derav termisk behandling | 3,62 | 3,48 | 3,73 |
| Derav rensefisk | 1,35 | 1,35 | 1,36 |
| VaR (5 %) | 9,19 | 9,25 | 11,03 |
| Antall dager over grensen | 0 | 0 | 0 |

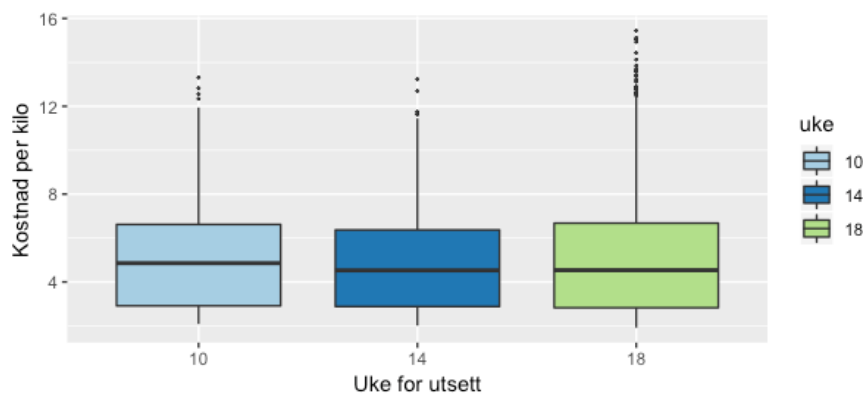
Tabell 24: Gjennomsnittskostnad og VaR (Value at Risk) per kilo produsert laks (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense for utsett i uke 10, 14 og 18 ved utsett av 250 grams smolt

Tabell 25 nedenfor viser en gjennomsnittlig høyere slaktevekt og biomasse sammenliknet med 250 grams smolt uten rensefisk, samt en reduksjon i antall termiske behandlinger. Fiskevekten ved avlusing er lavere for senere utsett og antall behandlinger øker for utsett i uke 18 sammenliknet med uke 10 og 14. Som vist i Tabell 24 fører dette til lavest gjennomsnittskostnad ved utsett i uke 14. Tabell 25 viser også betydelig høyere vekt ved avlusing sammenliknet med utsett av 250 grams smolt uten rensefisk, noe som betyr at avlusingene skjer på et senere tidspunkt for behandlingsstrategien med rensefisk.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|------------------------|---------|---------|---------|
| Slaktevekt | 4 715 g | 4 720 g | 4 702 g |
| Δ 250 g uten rensefisk | +162 | +156 | +146 |
| Total biomasse | 3 004 t | 3 008 t | 2 998 t |
| Δ 250 g uten rensefisk | +130 | +125 | +118 |
| Antall behandlinger | 1 | 1 | 2 |
| Δ 250 g uten rensefisk | -2,1 | -2,16 | -1,23 |

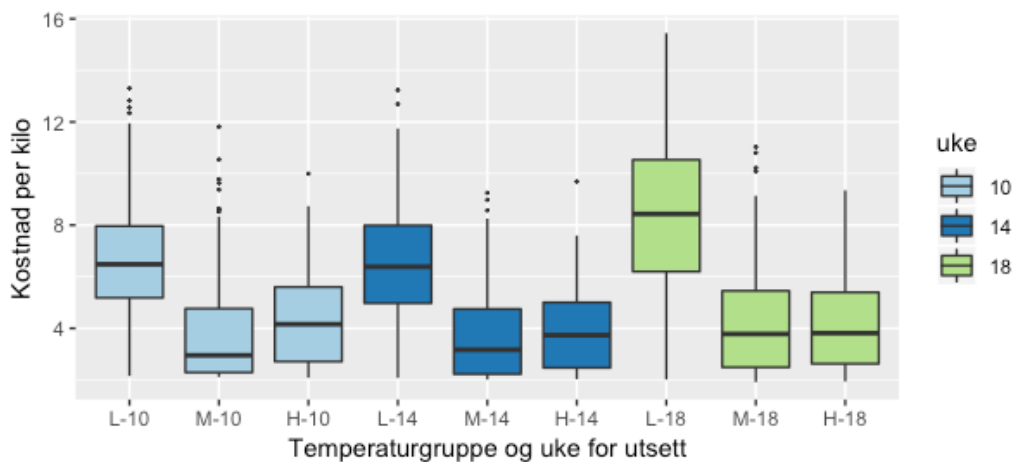
| | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|
| Vekt avlusing 1 | 3 637 g | 3 110 g | 2 300 g |
| Δ 250 g uten renseskjold | +1 633 | +1 301 | +754 |
| Vekt avlusing 2 | - | - | 3 289 g |
| Δ 250 g uten renseskjold | - | - | +63 |

Tabell 25: Gjennomsnittsverdier for slaktevekt, biomasse, antall behandlinger og vekt ved avlusing for uke utsett av 250 grams smolt i 10, 14 og 18 med lusepress og termisk behandling.



Figur 32: Box plot av avluskingskostnad per kilo produsert laks (i kr) for utsett 250 grams smolt i uke 10, 14 og 18.

Figur 32 ovenfor viser liten variasjon i mediankostnadene for de ulike utsettene. Vi ser derimot en antydning til mer sentrerte kostnader i uke 14 sammenlignet med de to andre ukene. Figur 33 nedenfor viser ulik spredning i kostnadene for temperaturintervallene, men vi ser at spredningen er nokså lik for middels og høy temperatur både innad i samme utsett og mellom de ulike utsettene. Lav temperatur i uke 18 har størst spredning i kostnadene.



Figur 33: Box plot av kostnad (i kr) for lav, middels og høy temperatur for utsett av 250 grams smolt i uke 10, 14 og 18.

Tabell 26 viser at ved lav eller middels temperatur er utsett i uke 10 eller 14 mer kostnadsoptimalt sammenlignet med utsett i uke 18. Ved høy temperatur vil utsett i uke 14 gi lavest gjennomsnittlig kostnad.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|--------------------|--------|--------|--------|
| Lav temperatur | 6,62 | 6,55 | 8,48 |
| Middels temperatur | 3,69 | 3,72 | 4,11 |
| Høy temperatur | 4,27 | 3,92 | 4,12 |

Tabell 26: Gjennomsnittskostnad ved lav, middels og høy temperatur ved utsett av 250 grams smolt.

500 gram

Tabell 27 nedenfor viser at en behandlingsstrategi med rensefisk, termisk behandling og 500 grams smolt gir lavere kostnad sammenlignet med samme strategi uten rensefisk. Total gjennomsnittskostnad per kilo er økende ved senere utsett. Det observeres heller ingen store forskjeller i VaR, men en noe høyere verdi for uke 18. Ingen av tilfellene medfører overskridelse av den lovpålagte lusegrensen.

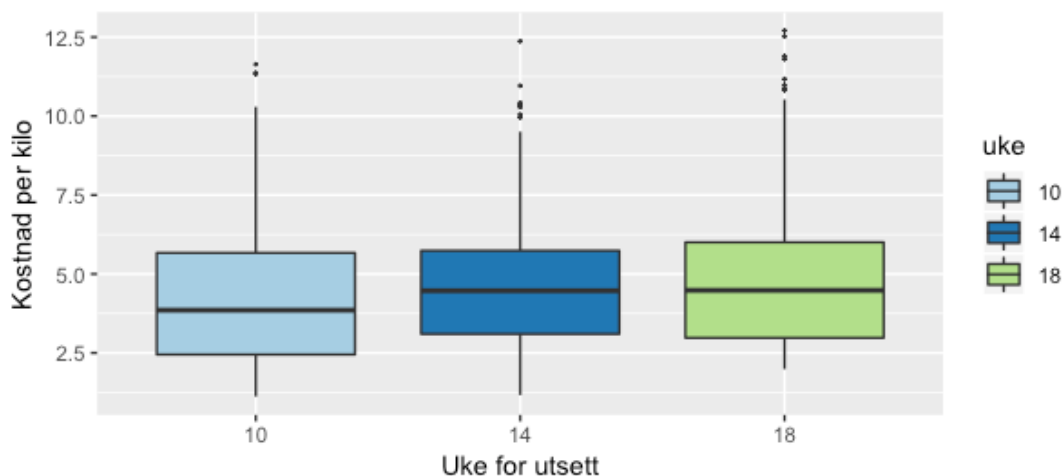
| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|
| Total kostnad 500 gram uten rensefisk | 7,00 | 7,03 | 7,36 |
| Total kostnad | 4,21 | 4,61 | 4,71 |
| Direkte kostnad | 1,63 | 1,69 | 1,71 |
| Indirekte kostnad | 2,58 | 2,92 | 3,00 |
| Derav termisk behandling | 2,81 | 3,20 | 3,29 |
| Derav rensefisk | 1,33 | 1,34 | 1,35 |
| VaR (5 %) | 7,97 | 7,85 | 8,36 |
| Antall dager over grensen | 0 | 0 | 0 |

Tabell 27: Gjennomsnittskostnad og VaR (Value at Risk) per kilo produsert laks (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense for utsett i uke 10, 14 og 18 ved utsett av 500 grams smolt.

Tabell 28 nedenfor viser at gjennomsnittlig biomasse og slaktevekt øker, mens antall behandlinger reduseres i forhold til tilsvarende behandlingsstrategi uten rensefisk.

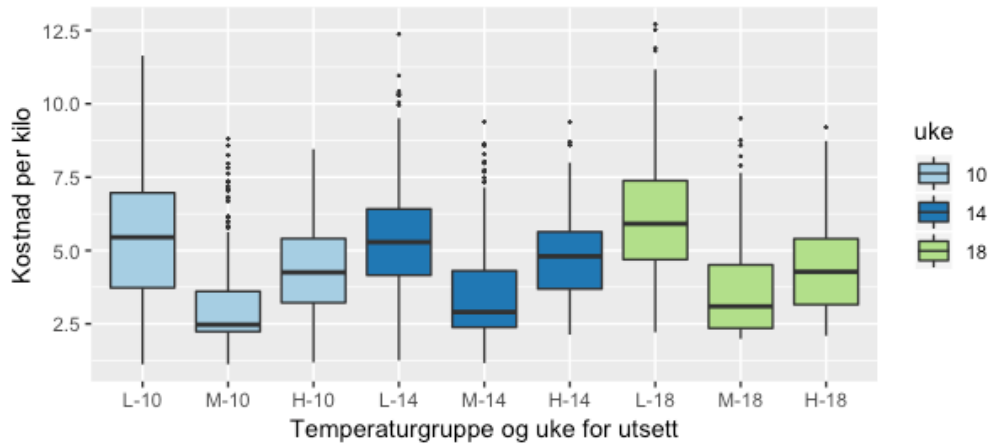
| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|------------------------|--------|--------|--------|
| Slaktevekt (gram) | 4 665 | 4 651 | 4 655 |
| Δ500 g uten rensefisk | +170 | +162 | +177 |
| Total biomasse (tonn) | 3 030 | 3 019 | 3 017 |
| Δ 500 g uten rensefisk | +135 | +127 | +138 |
| Antall behandlinger | 1 | 1 | 1 |
| Δ 500 g uten rensefisk | -1,49 | -1,63 | -2,09 |
| Vekt avlusing 1 (gram) | 4 134 | 4 019 | 3 795 |
| Δ 500 g uten rensefisk | +1 222 | +1 351 | +1 650 |

Tabell 28: Gjennomsnittsverdier for slaktevekt, biomasse, antall behandlinger og vekt ved avlusing for utsett av 500 grams smolt i uke 10, 14 og 18 med lusepress og termisk behandling.



Figur 34: Box plot av avlusingskostnad per kilo produsert laks (i kr) for utsett av 500 grams smolt i uke 10, 14 og 18.

Figur 34 ovenfor viser at mediankostnaden for utsett i uke 10 er lavere enn ved utsett i uke 14 og 18 der mediankostnaden er relativ lik. Alle ukene har betydelig spredning i kostnadene, men utsett i uke 14 gir noe mer sentrerte kostnader enn de to andre ukene. Figur 35 nedenfor viser en tydelig forskjell i spredningen av kostnadene for lav, middels og høy temperatur.



Figur 35: Box plot av kostnad (i kr) for lav, middels og høy temperatur for utsett av 500 grams smolt i uke 10, 14 og 18.

Fra Tabell 29 nedenfor ser vi at ved lav temperatur vil utsett i uke 10 og 14 gi forholdsvis like kostnader. Uke 14 gir imidlertid lavest kostnad med 5,34 kroner per kilo. Ved middels eller høy temperatur vil utsett i uke 10 gi lavere kostnader enn utsett i uke 14 og 18.

| | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|--------------------|--------|--------|--------|
| Lav temperatur | 5,42 | 5,34 | 6,08 |
| Middels temperatur | 2,95 | 3,53 | 3,63 |
| Høy temperatur | 4,28 | 4,77 | 4,40 |

Tabell 29: Gjennomsnittskostnad ved lav, middels og høy temperatur for utsett av 500 grams smolt.

Tabell 30 nedenfor oppsummerer resultatene fra analysen med både termisk avlusing og rensefisk med tilpasset behandlingsgrense.

| Med termisk avlusing og rensefisk | Uke 10 | Uke 14 | Uke 18 |
|--|-----------------------|--------|--------|
| | For alle temperaturer | | |
| Tilpasset grense – 100 gram | 5,03 | 4,74 | 4,44 |
| Tilpasset grense – 250 gram | 5,04 | 4,91 | 5,17 |
| Tilpasset grense – 500 gram | 4,21 | 4,61 | 4,71 |
| Lav temperatur | | | |
| Tilpasset grense – 100 gram | 8,18 | 7,95 | 10,49 |
| Tilpasset grense – 250 gram | 6,62 | 6,55 | 8,48 |
| Tilpasset grense – 500 gram | 5,42 | 5,34 | 6,08 |
| Middels temperatur | | | |
| Tilpasset grense – 100 gram | 4,02 | 3,82 | 3,39 |
| Tilpasset grense – 250 gram | 3,69 | 3,72 | 4,11 |
| Tilpasset grense – 500 gram | 2,95 | 3,53 | 3,63 |
| Høy temperatur | | | |
| Tilpasset grense – 100 gram | 4,12 | 3,82 | 3,61 |
| Tilpasset grense – 250 gram | 4,27 | 3,92 | 4,12 |
| Tilpasset grense – 500 gram | 4,28 | 4,77 | 4,40 |

Tabell 30: Oppsummering av resultat av behandlingsstrategi med termisk behandling og rensefisk, ulike smoltstørrelser og tidspunkt for utsett Presentert som total gjennomsnittskostnad (i kr) og inndelt i temperaturintervall.

Av oppsummeringstabellen ser vi at den laveste gjennomsnittskostnaden uavhengig av temperatur oppnås ved utsett av 500 grams smolt i uke 10. Deler vi inn kostnadene ved temperaturintervaller ser vi at ved lav og middels sjøtemperatur gir utsett av 500 grams smolt gjennomsnittlig lavest kostnad, med utsett i henholdsvis uke 14 og uke 10. Ved høy temperatur er det utsett av 100 grams smolt i uke 18 som gir lavest gjennomsnittlig kostnad.

Ingen av alternativene oppsummert i tabellen gir overskridelse av den lovpålagte lusegrensen og det er derfor ingen risikoforskjell knyttet til dette måltallet. Imidlertid observeres en forskjell i VaR. Utsett av 500 grams smolt gir en VaR på omtrent 8 kroner for alle de tre tidspunktene for utsett, mens 100 grams smolt gir en VaR som er omtrent 2 kroner høyere.

5.4 Diskusjon av funn

Vi har nå analysert resultatene av de ulike behandlingsstrategiene. I det følgende vil vi sammenligne og diskutere disse resultatene. Resultatene er oppsummert i Tabell 31 nedenfor, og viser relevante kostnader per kilo produsert laks forbundet med lakselus og antall dager over den lovpålagte lusegrensen for de ulike behandlingsstrategiene.

| For alle temperaturer | Uke 10 | | Uke 14 | | Uke 18 | |
|---|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|
| | Kostnad | Dager over grense | Kostnad | Dager over grense | Kostnad | Dager over grense |
| 100 gram | | | | | | |
| Brannslukningsstrategi, termisk | 7,16 | 7,39 | 6,67 | 7,30 | 6,28 | 6,98 |
| Tilpasset grense, termisk | 6,78 | 0,37 | 6,44 | 0,34 | 6,05 | 0,29 |
| Tilpasset grense, termisk og renseskisk | 5,03 | 0,00 | 4,74 | 0,00 | 4,44 | 0,00 |
| 250 gram | | | | | | |
| Tilpasset grense, termisk | 7,63 | 0,33 | 7,32 | 0,32 | 7,25 | 0,36 |
| Tilpasset grense, termisk og renseskisk | 5,04 | 0,00 | 4,91 | 0,00 | 5,17 | 0,00 |
| 500 gram | | | | | | |
| Tilpasset grense, termisk | 7,00 | 0,31 | 7,03 | 0,34 | 7,36 | 0,32 |
| Tilpasset grense, termisk og renseskisk | 4,21 | 0,00 | 4,61 | 0,00 | 4,71 | 0,00 |

Tabell 31: Oppsummering av gjennomsnittskostnad (i kroner) og antall dager over lovpålagt lusegrense ved ulike behandlingsstrategier

Tabellen viser at behandlingsstrategien med tilpasset behandlingsgrense for termisk behandling og anvendelse av renseskisk gir lavest kostnader uavhengig av smoltstørrelse og tidspunkt for utsett. Simuleringsmodellen gir ingen dager over lusegrensen med denne strategien, noe som medfører svært lav risiko for økonomiske sanksjoner som følge av brudd på Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg. Lavest kostnad oppnås ved utsett av 500 grams smolt i uke 10, med en kostnad på 4,21 kroner per kilo. Utsett av denne smoltstørrelsen gir kortere varighet i sjø før anlegget oppnår MTB, og dermed kortere eksponeringstid for lus. Kostnadsreduksjonen skyldes dermed færre termiske behandlinger.

Likevel viser resultatene fra simuleringsmodellen at utsett av større smolt ikke nødvendigvis er en garanti for lavere kostnader knyttet til lakselus. Dette er særlig tydelig for

behandlingsstrategien med kun termisk avlusing. Ved kun å benytte ett tiltak mot lakselus vil det gi en høyere lusebestand sammenlignet med to tiltak, termisk behandling og rensefisk, og førstnevnte vil dermed ha et økt behov for avlusinger. Den økte smoltstørrelsen fører til at fisken holder en høyere vekt ved avlusing og biomassetapet blir tilsvarende høyere. Videre vil kostnadsbildet også påvirkes av valgt periode for benyttelse av rensefisk, samt blandingsforholdet mellom rensefisk og laks. Velger en eksempelvis å benytte rensefisk i en lengre perioden enn perioden som er benyttet i vår modell, vil resultatet kunne endres ettersom behovet for termisk avlusing kan reduseres. Dette krever imidlertid en stor tilgang på rensefisk som er effektive ved ulike sjøtemperaturer. I tillegg vil total rensefiskkostnad øke tilsvarende ved økt benyttelse, noe som også må bli tatt i betraktning.

I tillegg til at det økte biomassetapet ved større smolt fører med seg tapt potensiell inntekt, vil enhetskostnaden for større smolt være høyere. Dette kommer av økt ressursbruk i settefiskanlegget før fisken settes i sjø. Så lenge kortere varighet ikke reduserer produksjonskostnadene mer enn økningen i enhetskostnadene og den tapte potensielle inntekten, ser det dermed ikke ut til at større smolt er lønnsomt under disse forutsetningene. Imidlertid vil den reduserte produksjonstiden i sjø øke potensialet for flere produksjonssykluser over tid, noe som vil kunne gi økt inntekt.

Resultatene fra analysen viser at en behandlingsstrategi der hvor det kun benyttes termisk behandling som avlusingstiltak medfører omtrent samme kostnader ved høy og tilpasset behandlingsgrense. Imidlertid er det en betydelig forskjell i antall dager over lusegrensen; brannslukningsstrategien gir et gjennomsnitt på syv dager over lusegrensen, mens en tilpasset behandlingsgrense gir et gjennomsnitt på omtrent 0,3 dager over lusegrensen.

Dette betyr at det er en høyere risiko for overskridelse av lusegrensen for brannslukningsstrategien og dermed også økte kostnader.

Videre merker vi oss at de direkte kostnadene ved to avlusingstiltak er om lag én krone høyere sammenlignet med anvendelse av kun termisk avlusing. Det betyr at dersom de indirekte kostnadene ikke tas i betraktning, kan en behandlingsstrategi med kun termisk avlusing fremstå som det rimeligste alternativet. Det er derfor viktig å studere både de direkte og indirekte kostnadene ved valg av bekjempelsesstrategi.

I analysen er det også undersøkt hvordan de presenterte kostnadene i Tabell 31 påvirkes av ulike temperaturutfall. Vi fant at ulike temperaturer i stor grad påvirker kostnadene. I Tabell 32 nedenfor er det presentert den behandlingsstrategien ved ett og to avlusingstiltak som gir lavest kostnad gitt lav, middels eller høy sjøtemperatur.

| Behandlingsstrategi | Kostnad lav temperatur | Kostnad for alle temperaturer |
|---|----------------------------|-------------------------------|
| Tilpasset grense, termisk, 500 gram, utsett i uke 14 | 7,73 | 7,03 |
| Tilpasset grense, termisk og rensesk, 500 gram, utsett i uke 14 | 5,34 | 4,61 |
| | Kostnad middels temperatur | Kostnad for alle temperaturer |
| Tilpasset grense, termisk, 100 gram, utsett i uke 18 | 5,09 | 6,05 |
| Tilpasset grense, termisk og rensesk, 500 gram, utsett i uke 10 | 2,95 | 4,21 |
| | Kostnad høy temperatur | Kostnad for alle temperaturer |
| Tilpasset grense, termisk, 100 gram, utsett i uke 18 | 5,09 | 6,05 |
| Tilpasset grense, termisk og rensesk, 100 gram, utsett i uke 18 | 3,61 | 4,71 |

Tabell 32: Behandlingsstrategi for termisk avlusing og termisk avlusing kombinert med rensesk som gir lavest kostnad (i kroner) ved ulike temperaturutfall.

Vi observerer at lav sjøtemperatur medfører noe høyere kostnad i forhold til kostnaden for samme strategi for alle temperaturer, mens middels og høy temperatur medfører noe lavere kostnad i forhold til for alle temperaturer. I tillegg ser vi at oppdretter kan forvente høyest kostnader ved lave sjøtemperaturer og lavest kostnader ved middels sjøtemperatur.

Videre ser vi at ved lav temperatur er det utsett av 500 grams smolt som gir lavest kostnader ved både ett og to avlusingstiltak, mens ved høy temperatur er utsett av 100 grams smolt som gir lavest kostnader ved begge strategiene. Ved middels temperatur gir utsett av 100 grams smolt lavest kostnader ved ett avlusingstiltak og 500 grams smolt lavest ved to tiltak. Dermed er det ingen av resultatene som gir lavest kostnad ved utsett av 250 grams smolt. Dette tyder på at vekten ikke er høy nok til å kunne utnytte fordelene som følger av redusert produksjonstid. Resultatet blir dermed at det gjennomføres omtrentlig like mange avlusinger som ved utsett av smolt på 100 gram, men til en høyere vekt.

Ved å studere kostnadene ved de ulike temperaturutfallene ser vi at samme utfall, behandlingsstrategi som benytter både termisk behandling og rensefisk som avlusingstiltak, resulterer i lavest kostnader tilknyttet lakselus.

Det er viktig å bemerke at vi har valgt å kostnadsføre den tapte biomassen som tapt potensiell inntekt. Ved å kostnadsføre tapt potensiell inntekt belyser vi de skjulte kostnadene knyttet til konsekvensene termisk behandling har på biomassen, noe vi mener er svært relevant når en beslutter bekjempelsesstrategi.

6. Evaluering av analysens resultater

Resultatene som fremkommer av analysen er et resultat under gitte forutsetninger. I denne delen skal vi se nærmere andre faktorer som potensielt sett kan påvirke resultatene vi har fått.

6.1.1 Usikkerhet og feilkilder

I enhver modell av virkeligheten, og særlig i biologiske systemer, er det foretatt forenklinger og forutsetninger som aldri fullt og helt kan gjenskape virkeligheten. Det vil dermed forekomme usikkerheter i simuleringsmodellen som kan påvirke resultatene i analysen.

Lakseveksten er som forklart i 4.3 modellert på bakgrunn av sjøtemperatur og Skrettings førtabell. Usikkerhet i den underliggende sjøtemperaturen vil derfor kunne påvirke modelleringen av lakseveksten. I virkeligheten kan lakseveksten også påvirkes av andre biologiske faktorer som eksempelvis sykdom og stress. Videre er det fastsatt en daglig rate for naturlig svinn av fisk i modellen. I virkeligheten er ikke dette svinnet lineært slik som i modellen, noe som medfører at modellert biomasse kan avvike noe fra virkelig biomasse.

Feilkilder i temperaturdata som føres videre til modellen, kan svekke den simulerte temperaturens pålitelighet. Dette kan skyldes feil i målinger, eksempelvis ved målinger fra varierende dybde i vannet, eller som følge av feilrapporteringer.

Resultatene i analysen viser at benyttelse av rensefisk som forebyggende tiltak vil ha god effekt. I realiteten er det vanskelig å beregne avlusningseffekten med sikkerhet og det er mange faktorer som spiller inn. Vi har som nevnt benyttet en generell modell for avlusningseffekten, men i realiteten vil ulike rensefiskarter i større grad ha forskjellig effekt og også kunne variere for den enkelte fisk. I modellen er det en fast daglig dødelighetsrate og denne vil trolig variere i større grad i virkeligheten. Usikkerhet tilknyttet avlusningseffekten kan ikke utelukkes, men til tross for dette mener vi likevel at rensefisken under de gitte forutsetningene vil representere virkeligheten på en tilstrekkelig måte for denne utredningen.

Lusenivået i modellen blir beregnet på bakgrunn av smittepresset og utviklingstiden til lakselusen. Lusenivået påvirker tidspunkt og antall termiske behandlinger som igjen påvirker kostnadene. Usikkerhet i smittepressmodellen og modellering av lakselusen vil dermed ha stor

innvirkning på resultatene i analysen. Når det gjelder modellering av lakselusen har vi antatt en fast dødelighet som i virkeligheten vil variere med ulike biologiske faktorer. Dette gjelder også for utviklingstiden til lakselusen. Smittepresset, som ligger til grunn for modelleringen av lakselusen, har flere usikkerhetsmomenter. I det følgende gjennomgås de viktigste usikkerhetene og feilkildene knyttet til smittepressmodellen som baserer seg på samtaler med Lars Asplin fra Havforskningsinstituttet.

Havforskningsinstituttets smittepressmodell estimerer utslipp av lakseluslarver basert på antall voksne hunnlus, sjøtemperatur og antall fisk i anlegget innrapportert fra oppdretterne. Telling av lakselus foregår manuelt og kun på et utvalg av fisken. Dermed vil det være knyttet usikkerhet til virkelig lusenivå på all fisk i merden og menneskelige feil i innrapporteringen kan heller ikke utelukkes. Feilaktig innrapporteringer av sjøtemperatur og antall fisk i anlegget vil også svekke smittepressmodellens presisjon. Lakselusens utvikling, dødelighet, adferd og spredning er faktorer smittepressmodellen tar høyde for, men som det likevel er knyttet usikkerhet til ettersom biologiske systemer vanskelig kan forutsees helt nøyaktig i en modell.

Med naturens iboende usikkerhet, er det utfordrende å forutsi eksakt utvikling i lusenivå. Hensikten med simuleringsmodellen er imidlertid å gjenskape naturlige prosesser for å kunne si noe om naturlige fenomener under gitte forutsetninger, og dermed mener vi modellen vil gi en indikasjon på hvordan lusenivået vil utvikle seg på aktuell lokasjon. Ny teknologi som tilrettelegger for en mer presis og systematisk datainnsamling vil kunne tilføre ytterligere presisjon til smittepressmodellen, noe som vil redusere usikkerheten og feilkildene i simuleringsmodellen. Dette gjelder også for de andre målingene simuleringsmodellen bygger på.

6.1.2 Utelatte komponenter

Produksjonsprosessen av oppdrettslaks er kompleks og sammensatt, og flere ulike komponenter har innvirkning på hverandre. I denne delen vil vi presentere utelatte komponenter som potensielt kan påvirke de relevante kostnadene knyttet til lakselus og resultatene vi har fått.

Andre bekjempelsesmetoder

Bruk av andre bekjempelsesmetoder sammen med eller i stedet for termisk behandling og rensfisk kan tenkes å påvirke resultatene i modellen.

Eksempler på slike metoder er luseskjørt, snorkelmerd, nedsenket merd og laser. Luseskjørt, snorkelmerd og nedsenket merd er alle forebyggende tiltak med hensikt å begrense eller hindre fysisk kontakt mellom lus og laks. Bruk av laser er en relativt ny metode, som helautomatisk og målrettet fjerner lakselusen fra fisken kontinuerlig og krever ingen sulting eller annen håndtering av fisken (Iversen et al.,2017).

Fiskehelse

Som nevnt tidligere er fiskens helse svært avgjørende for hvordan fisken takler termisk avlusing. Stressnivået hos fisken øker blant annet ved sulting og ved håndtering knyttet til behandling. Økt stressnivå kan svekke fiskens immunforsvar og er med på å øke skade og dødelighet ved behandling. Det samme gjelder dersom laksen rammes av annen sykdom. Videre vil flere gjentakende avlusinger på kort tid kunne svekke fiskehelsen og føre til at fisken tåler avlusingen dårligere, noe som kan resultere i økt dødelighet ved termisk avlusing eller at avlusing ikke kan gjennomføres (Holan, et al., 2017).

Ved benyttelse av rensefisk vil det være en risiko for smitte mellom laks og rensefisk i merden som potensielt kan påvirke dødeligheten til begge arter.

Reproduksjon av lus

Smittepresset i modellen beregner som nevnt kun eksternt smittepress, noe som betyr at de eksisterende voksne hunnlusene i anlegget ikke kan reprodusere lus internt. Ved å inkludere dette i modellen er det tenkelig at dette ville påvirke lusenivået.

Kvalitetsnedgradering

Laks sorteres etter tre kvalitetsklasser, superior, ordinær eller produksjonsfisk basert på utvendig bedømmelse (Heia, Wold, & Afseth, 2009). Mye håndtering av fisken i forbindelse med behandling kan føre til at kvaliteten på den slaktede fisken reduseres og dermed blir sortert i en lavere kvalitets- og prisklasse. En slik kvalitetsnedgradering som følge av termisk avlusing vil potensielt gi en tapt inntekt.

Andre kostnader

Samspillet mellom de øvrige produksjonskostnadene og produksjonsegenskapene til de ulike bekjempelsesstrategiene er ikke tatt hensyn til i modellen. Dette betyr at den bekjempelsesstrategien som gir lavest kostnader tilknyttet lakselus ikke nødvendigvis gir

lavest totale produksjonskostnader. Eksempelvis vil dødelighet av fisk og varighet av produksjonssyklusen påvirke fôrkostnaden til anlegget.

6.1.3 Analysens validitet

I hvilken grad vi kan trekke gyldige slutninger fra analysens resultater avhenger av analysens validitet. Som nevnt i kapittel 4 handler validitet om hvor godt man klarer å måle det man har til hensikt å måle og hvorvidt resultatene kan generaliseres. I vårt tilfelle vil dette bety i hvilken grad resultatene fra analysen er gyldig for utvalgt lokalitet og i hvilken grad resultatene kan overføres til oppdrettsnæringen generelt. Resultatenes validitet vurderes på grunnlag av validiteten til de ulike komponentene i simuleringsmodellen.

Kostnadsestimatene lagt til grunn i analysen er generelle kostnadsestimater og simuleringsmodellen vil dermed ikke med sikkerhet kunne anslå helt korrekt hva kostnadene vil bli for den gitte lokaliteten, noe som svekker analysens interne validitet. Likevel er de generelle kostnadsestimatene tilpasset den aktuelle lokalitetens egenskaper; eksempelvis benyttes lokalitetens antall merder og ved beregningene blir det tatt utgangspunkt i lokalitetens MTB. Som nevnt i kapittel 4.6 mener vi kostnadsestimatene er tilstrekkelig for å svare på problemstillingen og analysens interne validitet vil derfor ikke bli påvirket i betydelig grad.

I modellen er tapt biomasse verdsatt til lakseprisen per kilo, som vi har valgt å sette til 60 kroner. Av resultatene så vi at de indirekte kostnadene, som er direkte avhengig av valgt verdi for den tapte biomassen, var betydelig høyere enn de direkte kostnadene.

Som nevnt under kapittel 2.3.1 er lakseprisen preget av høy prisvolatilitet og sykliske variasjoner. Dette betyr at simuleringsmodellen potensielt vil kunne over- eller underestimere de indirekte kostnadene.

Dette betyr at en laksepris på 60 kroner ikke vil være representativ til enhver tid, og de indirekte kostnadene vil dermed potensielt bli over- eller underestimert dersom den faktiske lakseprisen avviker fra 60 kroner. Dette vil svekke den interne validiteten. Den eventuelle forskjellen vil imidlertid påvirke alle de indirekte kostnadene forholdsmessig likt, og forholdet mellom utfallene vil dermed bli de samme. Dermed anser vi ikke dette som en kritisk faktor i vår modell.

Smittepresset lagt til grunn i modellen er som forklart tidligere tilpasset området valgt lokalitet befinner seg i, noe som styrker den interne validiteten. Simuleringsmodellen kan ikke predikere fremtidig smittepressverdier per nå, men benyttes på bakgrunn av historiske smittepressverdier. For å si noe om fremtiden må det derfor antas at smittepresset utvikler seg på samme måte som i 2018.

Simuleringsmodellen simulerer sjøtemperaturer basert på historiske verdier for de siste seks årene. Ved å benytte disse temperaturene som grunnlag i modellen, antas det at temperaturen i simuleringene følger den underliggende trenden fra disse årene. I virkeligheten vil det dermed kunne forekomme temperaturtrender utenom disse observasjonene som det ikke tas hensyn til i modellen. Videre hadde vi ikke et fullstendig datagrunnlag for temperaturobservasjoner for denne perioden, og gjennomsnittstemperaturen for de omkringliggende lokalitetene ble derfor benyttet som datagrunnlag for modellering av temperaturen. Dette svekker den interne validiteten noe. På en annen side styrkes den interne validiteten ved at det er tatt utgangspunkt i temperaturer fra det aktuelle området, fremfor generelle sjøtemperaturer fra norskekysten.

Den eksterne validiteten omhandler hvorvidt resultatene fra simuleringsmodellen kan generaliseres for hele næringen generelt. Ideelt sett skulle den etablerte simuleringsmodellen tatt høyde for alle lokaliteter i Norge. Dette ville imidlertid vært svært tidkrevende ettersom grunnlaget i simuleringsmodellen er anleggsspesifikke data som sjøtemperatur og smittepress, og krever derfor tilpasset data til andre geografiske lokasjoner. Kostnadsestimatene er tilpasset valgt lokalitet, men kan likevel være representative for flere anlegg ettersom grunnlaget i estimatene er generelle.

Simuleringsmodellen som helhet simulerer en imitert produksjonsprosess tilpasset egenskapene til en valgt lokalitet, og disse egenskapene er blant annet ulike for ulike geografiske beliggenheter. Vi kan dermed ikke med sikkerhet si at resultatene kan generaliseres utover valgt lokalitet. Vi vil likevel argumentere for at funn i analysen kan generaliseres i den grad at vi kan si noe om hvordan ulike beslutninger påvirker de analyserte kostnadene og bruke funnene som en indikasjon på hva som kan forekomme også på andre lokaliteter.

Analysens validitet blir ikke bedre enn den data som ligger til grunn i simuleringsmodellen. Systematisk innsamling av data har tradisjonelt sett ikke vært utbredt i oppdrettsnæringen, og det er svært varierende kvalitet på den data som foreligger i bransjen. Mer systematisk utnyttelse av data i næringen, samt et datagrunnlag bestående av på flere år med datainnsamling vil kunne øke simuleringsmodellens presisjon og validitet. Vi vurderer likevel validiteten som tilstrekkelig for å besvare problemstillingen i denne utredningen.

7. Konklusjon

Formålet med denne utredningen er å belyse relevante kostnader tilknyttet lakselus, samt gi beslutningsrelevant informasjon for å optimalisere samspillet mellom menneskelige beslutninger og de naturlige prosessene i produksjonssyklusen. For å besvare denne problemstillingen har vi etablert en modell som simulerer en produksjonssyklus av laks i sjø for en bestemt lokalitet.

Resultatene fra analysen viser at en tilpasset behandlingsgrense gir betydelig mindre risiko for å overskride den lovpålagte lusegrensen sammenliknet med en høyere behandlingsgrense. Vi finner at de laveste kostnadene oppnås ved å benytte både termisk avlusing og rensefisk, og at smoltstørrelse ved utsett har påvirkning på kostnadene. Ved utsett i uke 10 og 14 gir 500 grams smolt lavest kostnad, mens ved utsett i uke 18 gir derimot utsett av 100 grams smolt lavest kostnad. Strategien som gir den absolutt laveste kostnaden, er utsett av 500 grams smolt i uke 10 som gir en kostnad på 4,21 kroner per kilo produsert laks. Det er verdt å bemerke at simuleringsmodellen aldri gir lavest kostnad for en strategi med utsett av smolt på 250 gram. Ved å studere kostnadene innad i ulike temperaturintervall finner vi at lave sjøtemperaturer alltid gir høyere kostnader sammenliknet med middels eller høye sjøtemperaturer.

Resultatene viser videre at de indirekte kostnadene er vesentlig høyere enn de direkte kostnadene for alle bekjempelsesstrategiene. Vi finner at ulikhetene i kostnadene i hovedsak skyldes at de ulike bekjempelsesstrategiene påvirker biomassen på ulike måter. Biomassetapet i modellen er verdsatt til 60 kr per kilo, en verdi som i realiteten vil endre seg ved endring i lakseprisen. Det interessante aspektet med resultatene er imidlertid ikke kun hva kostnaden faktisk blir, men også forholdet mellom utfallene, som vil forbli omtrentlig det samme uavhengig av en endring i lakseprisen.

Lakselus er en kostbar utfordring for næringen, som de aller fleste oppdrettere per i dag aktivt må jobbe for å håndtere. Analysene i denne utredningen viser at ulike bekjempelsesstrategier kan medføre store kostnadsforskjeller. Med belegg i disse funnene har vi tro på at anvendelse av en simuleringsmodell vil legge til rette for en mer strategisk og målrettet plan for bekjempelse mot lakselus, noe som vil være til stor verdi for oppdretter.

7.1 Videre arbeid

De biologiske og økonomiske aspektene som ligger til grunn i simuleringsmodellen mener vi utgjør et godt grunnlag for utredningens formål. I hovedsak er resultatene fra modellen først og fremst aktuell for den valgte lokaliteten, men ved å justere modellens inndata kan simuleringsmodellen benyttes med samme formål på andre lokaliteter. I utredningen har vi valgt å benytte simuleringsmodellen for tre bestemte tidspunkt for vårutsett av smolt. Tilsvarende er det interessant å undersøke hva kostnadsutfallene blir ved høstutsett. I tillegg til nevnte justeringer kan det foretas endringer og utbedringer av modellen som vil øke presisjonen, samt øke anvendelsesområdet for modellen. I det følgende vil vi derfor gå nærmere inn på momenter ved simuleringsmodellen vi mener kan være interessant for videre studier.

Ved utarbeidelse av modellen har det vært utfordrende å få tilgang til et tilstrekkelig datagrunnlag. Særlig gjelder dette smittepresset som er benyttet i modellen, som er innhentet fra en nyutviklet modell som per i dag ikke har vært operativ i mer enn ett år. Tilgang på historiske data vil kunne gjøre det mulig å predikere det fremtidige smittepresset og muliggjøre produksjonsplanlegging med ytterligere presisjon.

Videre kan simuleringsmodellen utbedres ved å inkludere de andre produksjonskostnadene i produksjonssyklusen for oppdrettslaks. Ved å fange opp endringer i produksjonskostnadene for de ulike behandlingsstrategiene, vil simuleringsmodellen gi et mer sammensatt kostnadsbilde.

Den tilpassede behandlingsgrensen i modellen ble etablert som en statisk grense på bakgrunn av den observerte utviklingen i lusebestanden ved flere kjøringar av simuleringsmodellen. Den fastsatte grensen vil dermed ikke være optimal for alle biologiske og hydrografiske utfall. Det vil derfor være interessant å identifisere optimal behandlingsgrense på bakgrunn av sjøtemperatur, lusenivå og andre relevante faktorer. En kartlegging av denne sammenhengen vil kunne føre til at behandlinger blir gjennomført på et mer ideelt tidspunkt og dermed gi redusert risiko tilknyttet overskridelse av lusegrensen.

Litteraturliste

- Aldrin, M., Huseby, R. B., Stien, A., Grøntvedt, R. N., Viljugrein, H., & Jansen, P. A. (2017, juni). A stage-structured Bayesian hierarchical model for salmon lice. *Ecological Modelling*, 359, ss. 333-348. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380017300352>
- Aronsveen, L., & Orkland, A. B. (2014). *En lønnsomhetsvurdering av tiltak mot lakselus*. NHH. Hentet fra <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/277585/Masterthesis.pdf?sequence=1>
- Asplin, L., Sandvik, A. D., & Albretsen, J. (2011). *Kystmodellen NorKyst-800 - en strømmmodell for hele norskekysten*. Havforskningsinstituttet. Hentet fra https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/116053/HI-Nytt_8-2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Dahlum, S. (2018, februar <https://snl.no/validitet>). *Validitet*. Hentet desember 2018 fra Store norske leksikon.
- Dalvin, S., & Johnson, I. (2015). Vanntemperatur avgjør lakselusen sin utvikling. *Havforskningsrapporten 2015*. Hentet fra https://www.hi.no/filarkiv/2015/03/vanntemperatur_avgor_lakselusen_sin_utvikling.pdf/nb-no
- Einen, O., Waagan, B., & Thomassen, M. (1998, Juli 1.). Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*) I. Effects on weight loss, body shape, slaughter- and fillet-yield, proximate and fatty acid composition. *Aquaculture*(166), ss. 85–104.
- Firskeridepartementet. (1980). *Om offentlig medvirkning til utvikling av fiskeoppdrettsnæringen*. (St. Meld. nr. 71 (1979-80)). Hentet fra https://stortinget.no/nn/Saker-og-publikasjoner/Stortingsforhandlingar/Lesevisning/?p=1979-80&paid=3&wid=f&psid=DIVL62&s=False&pgid=f_0093

-
- Fish Pool. (2018). *Price history - weekly, monthly and annual average*. Hentet fra Fish Pool: <http://fishpool.eu/price-information/spot-prices/history/#>
- Fiskeri- og havbruksnæringens landsforening & Eksportutvalget for Fisk. (2011, august). *Sjømat Norge*. Hentet fra Norsk havbruk: https://sjomatnorge.no/wp-content/uploads/2014/04/eff_fhl_komplett_lowres.pdf
- Fiskeridirektoratet. (2017, april 24). *Tildelingsprosessen*. Hentet fra Fiskeridirektoratet: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Tildelingsprosessen>
- Fiskeridirektoratet. (2018, juni 21). *Auksjon juni 2018*. Hentet fra Fiskeridirektoratet: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Auksjon-av-produksjonskapasitet/Auksjon-juni-2018>
- Fiskeridirektoratet. (2018, november). *Lønnsomhetsundersøkelse for laks og regnbueørret: Matfiskproduksjon*. Hentet fra Fiskeridirektoratet: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Loennsomhetsundersoekelse-for-laks-og-regnbueoerret/Matfiskproduksjon-laks-og-regnbueoerret>
- Fiskeridirektoratet. (2018, august 15). *Lønnsomhetsundersøkelsen 2017: Høyt kostnadsnivå, men likevel god inntjening*. Hentet fra Fiskeridirektoratet: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Nyheter/2018/0818/Loennsomhetsundersoekelsen-2017-Hoeyt-kostnadsnivaa-men-likevel-god-inntjening>
- Fiskeridirektoratet. (2018). *Statistikk for akvakultur 2017 - foreløpig tall*. Hentet fra <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Statistiske-publikasjoner/Statistikk-for-akvakultur>
- Grøntvendt, R. N., Nerbøvik, I.-K. G., Viljugrein, H., Lillehaug, A., Nilsen, H., & Gjevre, A.-G. (2013). *Termisk avlusning av laksefisk - dokumentasjon av fiskevelferd og effekt*. Veterinærinstituttet. Hentet fra <https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2015/termisk-avlusning-av-laksefisk-dokumentasjon-av-fiskevelferd-og-effekt>
- Gripsrud, G., Olsson, U. H., & Silkoset, R. (2016). *Metode og dataanalyse* (3.utgave. utg.). Cappelen Damm.

- Hallenstvedt, A. (2015, juni 12). *Fiskeoppdrett*. Hentet november 17, 2018 fra I Store norske leksikon: <https://snl.no/fiskeoppdrett>
- Hamza, K., Rich, K. M., & Wheat, D. (2014). A system dynamic approach to sea lice control in Norway. *Aquaculture Economics & Management*. doi:10.1080/13657305.2014.959210
- Havforskningsinstituttet. (2016, mai 19). *Temaside Lakselus*. Hentet 2018 fra www.hi.no: <https://www.hi.no/temasider/parasitter/lus/lakselus/nb-no>
- Havforskningsinstituttet. (2017, juli). *Lakseoppdrett*. Hentet fra Havforskningsinstituttet: <https://www.imr.no/temasider/akvakultur/lakseoppdrett/nb-no>
- Heia, K., Wold, J. P., & Afseth, N. K. (2009, juni 26). Kvalitetsdifferensiering laks. Hentet fra https://sjomatnorge.no/wp-content/uploads/importedfiles/Karsten_Heia_Kvalitetsdiff.pdf
- Holan, A. B., Roth, B., Breiland, M. S., Kolarevic, J., Hansen, Ø. J., Iversen, A., . . . Espmar. (2017). *Beste praksis for medikamentfrie metoder for lakseluskontroll (MEDFRI)*. Nofima. Hentet fra <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2443555/Rapport+10-2017.pdf?sequence=2>
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Andreassen, O., Brandvik, R. K., Marthinussen, A., & Nystøyl, R. (2015). *Kostnadsdrivere i lakseoppdrett*. Nofima. Hentet fra : https://nofima-326d.kxcdn.com/wp-content/uploads/2015/08/Rapport_nr_41-2015_-_Kostnadsdrivere_i_lakseoppdrett.pdf
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Nystøyl, R., & Hess, E. J. (2017). *Kostnadsutvikling i lakseoppdrett – med fokus på fôr- og lusekostnader*. Nofima. Hentet fra <https://nofima.no/en/pub/1523319/>
- Jacoby, W. G. (2000). Loess: a nonparametric, graphical tool for depicting relationships between variables. *Electoral Studies*, 19, 577-613. Hentet fra <https://pdfs.semanticscholar.org/faee/fff54358e3725af0c30c628a0c38ff1b4aea.pdf>

- Kristoffersen, B. A., Jimenez, D., Viljugrein, H., Grøntvedt, R., Stien, A., & Jansen, P. A. (2014). *Large scale modelling of salmon lice (Lepeophtheirus salmonis) infection pressure based on lice monitoring data from Norwegian salmonid farms*. Hentet fra <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1755436514000565?token=75A5537370713BA20B4F267FAE50CF1FEE7497BB847F869237975B98F54892F09A21020BAE9640BB745F1A156DC11918>
- Maria, A. (1997). Introduction to Modeling and Simulation. *Winter Simulation Conference*. Hentet fra <http://acqnotes.com/Attachments/White%20Paper%20Introduction%20to%20Modeling%20and%20Simulation%20by%20Anu%20Maria.pdf>
- Marine Harvest. (2018). *Salmon Farming Industry Handbook 2018*.
- Marine Harvest. (u.d.). *Laksens Livssyklus*. Hentet fra Marine Harvest: <http://marineharvest.no/products/seafood-value-chain/>
- Mattilsynet. (2012, august 08). *Hvor mye lus tåler fisken*. Hentet fra Mattilsynet: https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskehelse/fiske_og_skjellsykdommer/lakselus/article188.ece
- Mattilsynet. (2014). *Vannkvalitet og vannbehandling i settefiskanlegg*. Bergen. Hentet fra https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/akvakultur/drift_av_akvakulturanlegg/sluttrapport_vannkvalitet_og_vannbehandling_i_settefiskanlegg_2014.17293/binar/Sluttrapport:%20Vannkvalitet%20og%20vannbehandling%20i%20settefiskanlegg%202014
- Mattilsynet. (2016, september 20). *Fakta om lakselus og lakselusbekjempelse*. Hentet fra Mattilsynet: https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskehelse/fiske_og_skjellsykdommer/lakselus/fakta_om_lakselus_og_lakselusbekjempelse.23766
- Miljødirektoratet. (2015, januar 21). *Lakselus*. Hentet fra Miljødirektoratet: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Arter-og-naturtyper/Villaksportalen/Pavirkninger/Lakselus/>

- Miljødirektoratet. (u.d.). *Slik lever laks, sjøørret og sjøøye / Laks*. Hentet fra Miljødirektoratet: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Arter-og-naturtyper/Villaksportalen/Slik-lever-laks-sjoorret-og-sjoroye/Laks-/>
- NASDAQ. (2018). *Historical Prices*. Hentet fra NASDAQ Salmon Index: <https://salmonprice.nasdaqomxtrader.com/public/report;jsessionid=968119EC3DEB B2D4279725264799993C?0>
- Nærings- og fiskeridepartementet. (2015). *Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse og ørretoppdrett*. (Meld.St.16 (2014-2015)). Hentet fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/6d27616f18af458aa930f4db9492fbe5/no/pdfs/stm201420150016000dddpdfs.pdf>
- Næstvold, A. E. (2017). *Simuleringsmodell som beslutningsstøtte for valg av tiltak mot lakselus på lokalitetsnivå*. NTNU. Hentet fra <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2456883>
- Norges Sjømatråd. (2018, oktober 12). *Fra fjord til bord*. Hentet fra [laks.no](https://laks.no/lakseproduksjon/): <https://laks.no/lakseproduksjon/>
- Norges Sjømatråd. (2018, januar 8). *Sjømateksport for rekordhøye 94,5 milliarder i 2017*. Hentet fra Norges Sjømatråd: <https://seafood.no/aktuelt/nyheter/sjomateksport-for-rekordhoye-945-milliarder-i-2017/>
- Norges Sjømatråd/Sjømat Norge. (2018, august 23). *Hva er lakselus?* Hentet fra Laksefakta: <https://laksefakta.no/laks-og-miljo/lus>
- Norges Sjømatråd/Sjømat Norge. (2018, november 22). *Hvem bestemmer hvor et oppdrettsanlegg skal ligge?* Hentet fra Laksefakta: <https://laksefakta.no/lakseoppdrett-i-norge/hvem-bestemmer-hvor-et-oppdrettsanlegg-skal-ligge/>
- PwC. (2017). *Sustainable growth towards 2050. PwC Seafood Barometer 2017*. PwC. Hentet fra <https://www.pwc.no/no/publikasjoner/pwc-seafood-barometer-2017.pdf>
- Regjeringen. (2017, oktober 30). *Regjeringen skrur på trafikklyset*. Hentet fra Regjeringen: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regjeringen-skrur-pa-trafikklyset/id2577032/>

-
- Rensefiskprosjekt - FHF. (2017). *Bransjeveileder lakselus: Bruk og hold av leppefisk*. Hentet fra <http://lusedata.no/wp-content/uploads/2012/05/Veileder-for-bruk-og-hold-av-leppefisk-oppdateret-v%C3%A5r-2017.pdf>
- Roth, B. (2016). *Avlusing av laksefisk med Optilice: Effekt på avlusing og fiskevelferd*. Hentet fra <https://nofima.no/pub/1408716/>
- Sandvik, A. D., Asplin, L., Albretsen, J., Bjørn, P. A., Johnsen, I. A., Skarohamar, J., . . . Ådlandsvik, B. (2017). *Hydrodynamisk spredningsmodell for lakselus og konsentrasjon av smittsomme kopepoditter*. Hentet fra https://www.hi.no/filarkiv/2017/05/hydrodynamisk_spredningsmodellering_hi.pdf/nb-no
- Skiftesvik, A. B., Mortensen, S., & Bjelland, R. M. (2016). Bruk av rensefisk - muligheter og begrensninger. *Havforskningsrapporten 2016*. Hentet fra https://www.imr.no/filarkiv/2016/03/bruk_av_rensfisk_muligheter_og_begrensninger.pdf/nb-no
- Skretting. (u.d.). *Slik fører du leppefisken*. Hentet fra Skretting: <https://www.skretting.com/nb-NO/produkter/leppefisk/foranbefaling/>
- Statistisk sentralbyrå. (2018, oktober 26). *Arbeidskraftkostnader*. Hentet fra Statistisk sentralbyrå: <https://www.ssb.no/arbeid-og-lonn/statistikker/arbkost>
- Steinsvik. (u.d.). *Thermolicer*. Hentet november 2018 fra Steinsvik: <https://www.steinsvik.no/no/produkter/n/seaculture/fiskehelse/thermolicer>
- Stien, A., Bjørn, P. A., Heuch, P. A., & Elston, D. A. (2005, April 13). Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon and sea trout. *Marine Ecology Progress Series*, 290, 263-275. Hentet fra <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/108613>
- Svåsand, T., Grefsrud, E. S., Karlsen, Ø., Kvamme, B. O., Glover, K., Husa, V., & Kristiansen, T. S. (2017). *Risikoreport norsk fiskeoppdrett 2017. Fisken og havet, særnr. 2-2017*. Hentet fra https://www.imr.no/filarkiv/2017/05/risikoreport_2017.pdf/nb-no

Tautz, A. F., & Iwama, G. K. (2011). A Simple Growth Model for Salmonids in Hatcheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 649-656. Hentet fra https://www.researchgate.net/publication/237181247_A_Simple_Growth_Model_for_Salmonids_in_Hatcheries

The Marine Institute (Foras na Mara) . (u.d.). *Life cycle of the Salmon Louse*. Hentet 2018 fra The Marine Institute (Foras na Mara) : <https://www.marine.ie/Home/site-area/areas-activity/aquaculture/sea-lice/life-cycle-salmon-louse>

Thorarensen, H., & Farrell, A. (2011, februar 25). The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Acuaculture*(312), ss. 1-14. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848610008161>

Veterinærinstituttet. (u.d.). *Lakselus*. Hentet 2018 fra www.vetinst.no: <https://www.vetinst.no/sykdom-og-agens/lakselus>

Veterinærinstituttet. (u.d.). *Lusekart - verktøy for å beregne smittepress*. Hentet fra Veterinærinstituttet: <https://www.vetinst.no/dyr/oppdrettsfisk/lusekart-verktoy-for-a-beregne-smittepress>

Veterinærinstituttet. (u.d.). *Smittekart for lakselus: Om kartet*. Hentet fra Veterinærinstituttet: <http://apps.vetinst.no/lusekart/>

Appendiks

Appendiks A - Konfidensintervall

| Brannslukningsstrategi 100 gram | Konfidensintervall kostnad per kilo | Gjennomsnittskostnad per kilo |
|--|-------------------------------------|-------------------------------|
| Uke 10 | (6.97 – 7.34) | 7.16 |
| Uke 14 | (6.49 – 6.84) | 6.67 |
| Uke 18 | (6.09 – 6.47) | 6.28 |
| Tilpasset grense 100 gram (termisk) | | |
| Uke 10 | (6.59 – 6.97) | 6.78 |
| Uke 14 | (6.26 – 6.63) | 6.44 |
| Uke 18 | (5.86 – 6.25) | 6.05 |
| Tilpasset grense 250 gram (termisk) | | |
| Uke 10 | (7.44 – 7.81) | 7.63 |
| Uke 14 | (7.14 – 7.50) | 7.32 |
| Uke 18 | (7.06 – 7.44) | 7.25 |
| Tilpasset grense 500 gram (termisk) | | |
| Uke 10 | (6.83 – 7.18) | 7.00 |
| Uke 14 | (6.91 – 7.18) | 7.03 |
| Uke 18 | (7.22 – 7.52) | 7.36 |
| Tilpasset grense 100 gram (termisk og rensefisk) | | |
| Uke 10 | (4.88 – 5.20) | 5.03 |
| Uke 14 | (4.58 – 4.90) | 4.74 |
| Uke 18 | (4.29 – 4.62) | 4.44 |
| Tilpasset grense 250 gram (termisk og rensefisk) | | |
| Uke 10 | (4.84 – 5.14) | 5.04 |
| Uke 14 | (4.72 – 5.01) | 4.91 |
| Uke 18 | (4.99 – 5.34) | 5.17 |
| Tilpasset grense 500 gram (termisk og rensefisk) | | |
| Uke 10 | (4.02 – 4.30) | 4.16 |
| Uke 14 | (4.44 – 4.68) | 4.56 |
| Uke 18 | (4.54 – 4.80) | 4.67 |

Appendiks B – Skrettings førtabell

SGR % pr day Atlantic Salmon (*Salmon Salar*)

AQUASIM™

| Veight | Temperature | | | | | | | | | | | | | | | | | | FCR | acc FCR |
|--------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | | |
| 50 | 0.46 | 0.69 | 0.91 | 1.11 | 1.30 | 1.46 | 1.62 | 1.76 | 1.90 | 2.02 | 2.12 | 2.20 | 2.23 | 2.20 | 2.10 | 1.91 | 1.61 | 0.80 | 0.80 | |
| 60 | 0.46 | 0.70 | 0.92 | 1.12 | 1.30 | 1.46 | 1.62 | 1.76 | 1.89 | 2.01 | 2.11 | 2.18 | 2.20 | 2.17 | 2.07 | 1.88 | 1.59 | 0.80 | 0.80 | |
| 70 | 0.47 | 0.70 | 0.92 | 1.12 | 1.29 | 1.46 | 1.61 | 1.75 | 1.88 | 1.99 | 2.08 | 2.15 | 2.17 | 2.14 | 2.04 | 1.85 | 1.56 | 0.80 | 0.80 | |
| 80 | 0.46 | 0.70 | 0.91 | 1.11 | 1.29 | 1.45 | 1.60 | 1.73 | 1.86 | 1.97 | 2.06 | 2.12 | 2.14 | 2.11 | 2.00 | 1.82 | 1.54 | 0.80 | 0.80 | |
| 90 | 0.46 | 0.69 | 0.90 | 1.10 | 1.28 | 1.43 | 1.58 | 1.71 | 1.84 | 1.94 | 2.03 | 2.09 | 2.11 | 2.07 | 1.97 | 1.78 | 1.51 | 0.80 | 0.80 | |
| 100 | 0.46 | 0.68 | 0.90 | 1.09 | 1.26 | 1.42 | 1.56 | 1.70 | 1.82 | 1.92 | 2.01 | 2.06 | 2.08 | 2.04 | 1.94 | 1.75 | 1.48 | 0.81 | 0.80 | |
| 110 | 0.45 | 0.68 | 0.89 | 1.08 | 1.25 | 1.41 | 1.55 | 1.68 | 1.79 | 1.90 | 1.98 | 2.03 | 2.05 | 2.01 | 1.91 | 1.73 | 1.46 | 0.81 | 0.80 | |
| 120 | 0.45 | 0.67 | 0.88 | 1.07 | 1.24 | 1.39 | 1.53 | 1.66 | 1.77 | 1.87 | 1.95 | 2.00 | 2.02 | 1.98 | 1.88 | 1.70 | 1.43 | 0.81 | 0.80 | |
| 130 | 0.44 | 0.66 | 0.87 | 1.05 | 1.22 | 1.37 | 1.51 | 1.64 | 1.75 | 1.85 | 1.93 | 1.98 | 1.99 | 1.95 | 1.85 | 1.67 | 1.41 | 0.81 | 0.80 | |
| 140 | 0.44 | 0.65 | 0.86 | 1.04 | 1.21 | 1.36 | 1.50 | 1.62 | 1.73 | 1.83 | 1.90 | 1.95 | 1.96 | 1.92 | 1.82 | 1.65 | 1.39 | 0.81 | 0.80 | |
| 150 | 0.43 | 0.65 | 0.85 | 1.03 | 1.20 | 1.34 | 1.48 | 1.60 | 1.71 | 1.80 | 1.88 | 1.93 | 1.94 | 1.90 | 1.79 | 1.62 | 1.37 | 0.81 | 0.80 | |
| 200 | 0.40 | 0.61 | 0.80 | 0.97 | 1.13 | 1.27 | 1.40 | 1.51 | 1.62 | 1.70 | 1.77 | 1.81 | 1.82 | 1.78 | 1.68 | 1.51 | 1.28 | 0.82 | 0.81 | |
| 250 | 0.38 | 0.57 | 0.76 | 0.92 | 1.07 | 1.21 | 1.33 | 1.44 | 1.54 | 1.62 | 1.68 | 1.71 | 1.72 | 1.68 | 1.58 | 1.42 | 1.20 | 0.82 | 0.81 | |
| 300 | 0.36 | 0.54 | 0.72 | 0.88 | 1.02 | 1.15 | 1.27 | 1.37 | 1.47 | 1.54 | 1.60 | 1.63 | 1.63 | 1.59 | 1.50 | 1.35 | 1.13 | 0.83 | 0.81 | |
| 350 | 0.34 | 0.52 | 0.69 | 0.84 | 0.98 | 1.10 | 1.22 | 1.32 | 1.40 | 1.48 | 1.53 | 1.56 | 1.56 | 1.52 | 1.43 | 1.28 | 1.08 | 0.83 | 0.81 | |
| 400 | 0.32 | 0.49 | 0.66 | 0.81 | 0.94 | 1.06 | 1.17 | 1.27 | 1.35 | 1.42 | 1.47 | 1.50 | 1.49 | 1.45 | 1.37 | 1.23 | 1.03 | 0.84 | 0.82 | |
| 450 | 0.31 | 0.47 | 0.63 | 0.77 | 0.90 | 1.02 | 1.13 | 1.22 | 1.30 | 1.37 | 1.42 | 1.44 | 1.44 | 1.40 | 1.31 | 1.18 | 0.99 | 0.84 | 0.82 | |
| 500 | 0.29 | 0.45 | 0.61 | 0.75 | 0.87 | 0.99 | 1.09 | 1.18 | 1.26 | 1.32 | 1.37 | 1.39 | 1.39 | 1.35 | 1.26 | 1.13 | 0.95 | 0.85 | 0.82 | |
| 550 | 0.28 | 0.44 | 0.58 | 0.72 | 0.84 | 0.95 | 1.05 | 1.14 | 1.22 | 1.28 | 1.32 | 1.35 | 1.34 | 1.30 | 1.22 | 1.09 | 0.91 | 0.85 | 0.82 | |
| 600 | 0.27 | 0.42 | 0.56 | 0.70 | 0.82 | 0.93 | 1.02 | 1.11 | 1.18 | 1.24 | 1.28 | 1.30 | 1.30 | 1.26 | 1.18 | 1.05 | 0.88 | 0.86 | 0.83 | |
| 650 | 0.26 | 0.41 | 0.55 | 0.68 | 0.79 | 0.90 | 0.99 | 1.08 | 1.15 | 1.21 | 1.25 | 1.27 | 1.26 | 1.22 | 1.14 | 1.02 | 0.85 | 0.86 | 0.83 | |
| 700 | 0.25 | 0.39 | 0.53 | 0.66 | 0.77 | 0.87 | 0.97 | 1.05 | 1.12 | 1.17 | 1.21 | 1.23 | 1.22 | 1.19 | 1.11 | 0.99 | 0.83 | 0.87 | 0.83 | |
| 750 | 0.24 | 0.38 | 0.51 | 0.64 | 0.75 | 0.85 | 0.94 | 1.02 | 1.09 | 1.14 | 1.18 | 1.20 | 1.19 | 1.15 | 1.08 | 0.96 | 0.80 | 0.87 | 0.83 | |
| 800 | 0.24 | 0.37 | 0.50 | 0.62 | 0.73 | 0.83 | 0.92 | 1.00 | 1.06 | 1.12 | 1.15 | 1.17 | 1.16 | 1.12 | 1.05 | 0.93 | 0.78 | 0.88 | 0.84 | |
| 850 | 0.23 | 0.36 | 0.49 | 0.60 | 0.71 | 0.81 | 0.90 | 0.97 | 1.04 | 1.09 | 1.12 | 1.14 | 1.13 | 1.09 | 1.02 | 0.91 | 0.76 | 0.88 | 0.84 | |
| 900 | 0.22 | 0.35 | 0.47 | 0.59 | 0.70 | 0.79 | 0.88 | 0.95 | 1.01 | 1.06 | 1.10 | 1.11 | 1.11 | 1.07 | 1.00 | 0.89 | 0.74 | 0.89 | 0.84 | |
| 950 | 0.22 | 0.34 | 0.46 | 0.58 | 0.68 | 0.77 | 0.86 | 0.93 | 0.99 | 1.04 | 1.08 | 1.09 | 1.08 | 1.04 | 0.97 | 0.87 | 0.72 | 0.89 | 0.84 | |
| 1000 | 0.21 | 0.33 | 0.45 | 0.56 | 0.66 | 0.76 | 0.84 | 0.91 | 0.97 | 1.02 | 1.05 | 1.07 | 1.06 | 1.02 | 0.95 | 0.85 | 0.70 | 0.90 | 0.85 | |
| 1250 | 0.19 | 0.30 | 0.41 | 0.51 | 0.60 | 0.69 | 0.76 | 0.83 | 0.88 | 0.93 | 0.96 | 0.97 | 0.96 | 0.92 | 0.86 | 0.76 | 0.63 | 0.92 | 0.86 | |
| 1500 | 0.17 | 0.27 | 0.37 | 0.46 | 0.55 | 0.63 | 0.70 | 0.76 | 0.81 | 0.85 | 0.88 | 0.89 | 0.88 | 0.85 | 0.78 | 0.69 | 0.58 | 0.95 | 0.87 | |
| 1750 | 0.15 | 0.25 | 0.34 | 0.43 | 0.51 | 0.58 | 0.65 | 0.71 | 0.76 | 0.80 | 0.82 | 0.83 | 0.82 | 0.78 | 0.73 | 0.64 | 0.53 | 0.97 | 0.88 | |
| 2000 | 0.14 | 0.23 | 0.32 | 0.40 | 0.48 | 0.55 | 0.61 | 0.67 | 0.71 | 0.75 | 0.77 | 0.77 | 0.76 | 0.73 | 0.68 | 0.60 | 0.49 | 1.00 | 0.89 | |
| 2250 | 0.13 | 0.22 | 0.30 | 0.38 | 0.45 | 0.52 | 0.58 | 0.63 | 0.67 | 0.70 | 0.72 | 0.73 | 0.72 | 0.69 | 0.63 | 0.56 | 0.46 | 1.02 | 0.90 | |
| 2500 | 0.13 | 0.20 | 0.28 | 0.35 | 0.42 | 0.49 | 0.55 | 0.60 | 0.64 | 0.67 | 0.69 | 0.69 | 0.68 | 0.65 | 0.60 | 0.53 | 0.43 | 1.05 | 0.92 | |
| 2750 | 0.12 | 0.19 | 0.27 | 0.34 | 0.40 | 0.46 | 0.52 | 0.57 | 0.61 | 0.64 | 0.65 | 0.66 | 0.65 | 0.62 | 0.57 | 0.50 | 0.41 | 1.07 | 0.93 | |
| 3000 | 0.11 | 0.18 | 0.25 | 0.32 | 0.38 | 0.44 | 0.50 | 0.54 | 0.58 | 0.61 | 0.62 | 0.63 | 0.62 | 0.59 | 0.54 | 0.47 | 0.39 | 1.10 | 0.94 | |
| 3250 | 0.11 | 0.18 | 0.24 | 0.31 | 0.37 | 0.43 | 0.48 | 0.52 | 0.56 | 0.58 | 0.60 | 0.60 | 0.59 | 0.56 | 0.52 | 0.45 | 0.37 | 1.12 | 0.95 | |
| 3500 | 0.11 | 0.17 | 0.23 | 0.30 | 0.35 | 0.41 | 0.46 | 0.50 | 0.54 | 0.56 | 0.58 | 0.58 | 0.57 | 0.54 | 0.49 | 0.43 | 0.36 | 1.15 | 0.96 | |
| 3750 | 0.10 | 0.16 | 0.22 | 0.28 | 0.34 | 0.39 | 0.44 | 0.48 | 0.52 | 0.54 | 0.55 | 0.56 | 0.54 | 0.52 | 0.47 | 0.41 | 0.34 | 1.17 | 0.98 | |
| 4000 | 0.10 | 0.16 | 0.22 | 0.27 | 0.33 | 0.38 | 0.43 | 0.47 | 0.50 | 0.52 | 0.53 | 0.54 | 0.52 | 0.50 | 0.46 | 0.40 | 0.33 | 1.20 | 0.99 | |
| 4250 | 0.10 | 0.15 | 0.21 | 0.27 | 0.32 | 0.37 | 0.41 | 0.45 | 0.48 | 0.51 | 0.52 | 0.52 | 0.51 | 0.48 | 0.44 | 0.38 | 0.32 | 1.22 | 1.00 | |
| 4500 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.26 | 0.31 | 0.36 | 0.40 | 0.44 | 0.47 | 0.49 | 0.50 | 0.50 | 0.49 | 0.46 | 0.42 | 0.37 | 0.30 | 1.25 | 1.01 | |
| 4750 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.39 | 0.43 | 0.45 | 0.48 | 0.49 | 0.49 | 0.47 | 0.45 | 0.41 | 0.36 | 0.29 | 1.27 | 1.03 | |
| 5000 | 0.09 | 0.14 | 0.19 | 0.24 | 0.29 | 0.34 | 0.38 | 0.41 | 0.44 | 0.46 | 0.47 | 0.47 | 0.46 | 0.44 | 0.40 | 0.35 | 0.28 | 1.30 | 1.04 | |
| 5250 | 0.09 | 0.14 | 0.19 | 0.24 | 0.28 | 0.33 | 0.37 | 0.40 | 0.43 | 0.45 | 0.46 | 0.46 | 0.45 | 0.42 | 0.39 | 0.34 | 0.28 | 1.33 | 1.05 | |
| 5500 | 0.09 | 0.14 | 0.18 | 0.23 | 0.28 | 0.32 | 0.36 | 0.39 | 0.42 | 0.44 | 0.45 | 0.45 | 0.44 | 0.41 | 0.37 | 0.33 | 0.27 | 1.35 | 1.06 | |

Appendiks C – Simuleringskode

```

data=read.csv("Osland_Treatments.csv", header = TRUE, sep = ",")
temp <- read.csv("temp3.csv", header = TRUE, sep = ";")
smittepress=read.csv("smittepress-mjolsvik.csv", header = TRUE, sep = ";")
laksevekst=read.csv("laksevekst.csv", header = TRUE, sep=";")
colnames(laksevekst) <- c("Vekt", 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 ,13,
14, 15, 16, 17, 18, "FCR", "acc FCR")
foo <- read.csv("resultat18-hoygrense", header = TRUE, sep = ",")

library(ggplot2)
library(forecast)
data$avgAdultFemaleLice <-
as.numeric(as.character(data$avgAdultFemaleLice))
data$seaTemperature <- as.numeric(as.character(data$seaTemperature))

temp$ID <- seq.int(nrow(temp))

##### TEMPERATUR #####
simtemp <- temp
simtemp$seaTemperature <- ts(simtemp$seaTemperature)

loessMod15 <- loess(seaTemperature ~ ID, data = simtemp, span=0.15) #
LOESS-regresjon
smoothed15 <- predict(loessMod15) # predikerte sj̄-temperaturer fra LOESS-
regresjon
simtemp$seaTemperature <- simtemp$seaTemperature - smoothed15 # st̄y
arimal <- auto.arima(simtemp$seaTemperature) # simulert
temperaturvariasjon

##### SIMULERINGSMODELL #####
runs <- 1 # antall simuleringer
r <- 1 # simuleringsteller

# lister for lagring av verdier
resultat1 <- c()
resultat2 <- c()
resultat3 <- c()
resultat4 <- c()
resultat5 <- c()
resultat6 <- c()
resultatvarighet <- c()
resultatsalg <- c()
resultatdir.kost <- c()
resultatindir.kost <- c()
resultattermisk.kost <- c()
resultatrensefisk.kost <- c()
resultattemp <- c()
resultatvekt <- c()
resultatbiomassetap <- c()

af_liste <- c() # adult female lus
b_liste <- c() # bevegelige

```

```
f_liste <- c() #fastsittende

#####

while (r <= runs){

  ##### VARIABLER #####
  startdag <- 64 # hvilken dag produksjonen starter
  startuke <- floor(startdag/7)+1 # hvilken uke produksjonen starter
  i <- startdag
  prod_tid <- 365 + startdag # produksjonstid (antall dager)
  antall_smolt <- 700000 # antall smolt satt ut i merden
  vekt <- 100 # startvekt for smolt i gram
  kapasitet <- 3120000000 # maksimal tillatt biomasse for lokaliteten i
gram

  # sjekker hvilken uke produksjonen starter
  uke <- if (floor(i/7) == 0){
    uke = 1
  } else {
    uke = floor(i/7)+1
  }

  ukenr <- c(1:52)

  # lovpålagt grense
  lusegrense <- data.frame(ukenr, c(rep(0.5,15), rep(0.2,6),
rep(0.5,31))) # df med lovpålagt ukentlig lusegrense

  # tilpasset behandlingsgrense hunn lus
  behandlingsgrense <- data.frame(ukenr, c(rep(0.2,10), rep(0.1,11),
rep(0.35,21), rep(0.3,8), rep(0.45,2))) # df med lovpålagt ukentlig
lusegrense

  # tilpasset behandlingsgrense bevegelige lus
  behandlingsgrense.b <- data.frame(ukenr, c(rep(0.6,52) )) # df med
ukentlig grense for iverksetting av behandling

  vekstliste <- data.frame()
  luseniva <- data.frame()

  # oppretter lister som lagrer verdier for hver run
  vekst <- c()
  dager <- c()
  uketellerliste <- c()
  biomasse_tid <- c()
  ukeliste <- c()
  treatmentliste <- c()
  uketempliste <- c()
  biomassetapliste <- c()
  rensefiskliste <- c()
  above_limit_liste <- c()
  vekst_tid_liste <- c()

  af_liste <- c() # adult female lus
  b_liste <- c() # bevegelige
  f_liste <- c() #fastsittende

  antall <- c() # antall smolt
```

```
# oppretter verdier
antall_rensfisk <- 0 # antall rensfisk i merden
pafyll_rensfisk <- 0 # pÅfyll av rensfisk
blandingsforhold <- 0 # blandingsforhold mellom rensfisk og laks i
merden
behandling <- 0 # 1 hvis behandling iverksettes, 0 hvis ikke
biomasse <- 0 # total biomasse i merden, i gram
lus <- 0 # antall lus som tilf̄res merden en dag
biomassetap <- 0 # tapt biomasse
tapt_fisk <- 0 # gram fisk som d̄r ved behandling
sultetid <- 0 # antall dager fisken sultes
above_limit <- 0 # antall dager over lusegrense
antall Behandlinger <- 0 # antall avlusinger
af_lus <- 0 # antall adult female lus
b_lus <- 0 # antall bevegelige lus
f_lus <- 0 # antall fastsittende lus
min_mellom_behandling <- 7
kgbehandlet <- 0 # antall kilo fisk behandlet
varighet <- 0
salg <- 0
vekt_u_avlusning <- vekt
spartfor <- 0 # spart formengde i kg ved sulting
spartforkostnad <- 0 # spart forkostnad ved sulting

TA <- c()
TB <- c()
i_list <- c()
fastsittende <- c()
bevegelige <- c()
hunnlus <- c()

# kostnader
tellekost <- 0 # kostnader for telling av lus
rensfisk_kost <- 0 # kostnad for rensfisk
avskrivninger <- 0 # avskrivningskostnad servicefartøy
kapitalbindingskostnad <- 0 # kapitalbindingskostnad servicefartøy
servicefartoy <- 0 # kostnad for servicefartøy
energi <- 0 # kostnad for energibruk ved termisk behandling
arbeidskraft <- 0 # kostnad for arbeidskraft brukt til termisk
behandling
dodelighet <- 0 # kostnad for d̄d fisk
kostnader <- 0 # totale kostnader
dir.kost <- 0
indir.kost <- 0
termisk.kost <- 0
rensfisk.kost <- 0

# simulering av temperatur
simulerttemperatur <- smoothed15 + simulate(arima1, 312)
simtemp$simulerttemperatur <- simulerttemperatur

t1 <- simtemp[simtemp$year==2012 | simtemp$year==2013 |
simtemp$year==2014,]
t2 <- simtemp[simtemp$year==2013 | simtemp$year==2014 |
simtemp$year==2015,]
t3 <- simtemp[simtemp$year==2014 | simtemp$year==2015 |
simtemp$year==2016,]
t4 <- simtemp[simtemp$year==2015 | simtemp$year==2016 |
simtemp$year==2017,]
```

```

t5 <- simtemp[simtemp$year==2016 | simtemp$year==2017 |
simtemp$year==2018,]

trekk <- round(runif(1, min = 1, max = 5))
trekking_smittepress <- (round(runif(1, min=2, max = 9)))

uketeller <- uke

##### PRODUKSJONSSYKLUS #####
while (i <= prod_tid & biomasse <= kapasitet) {

  # trekker temperatur
  if (trekk == 1){
    t <- t1
    t$uketeller <- seq.int(nrow(t))
  } else if (trekk == 2){
    t <- t2
    t$uketeller <- seq.int(nrow(t))
  } else if (trekk == 3){
    t <- t3
    t$uketeller <- seq.int(nrow(t))
  } else if (trekk == 4){
    t <- t4
    t$uketeller <- seq.int(nrow(t))
  } else{
    t <- t5
    t$uketeller <- seq.int(nrow(t))
  }

  uketemp <- t$simulerttemperatur[match(uketeller,t$uketeller)]

  # begrenser temperaturspenn
  if (round(uketemp) >= 19){
    uketemp <- 18
  } else if (round(uketemp) <= 2){
    uketemp <- 2
  } else{
    uketemp = uketemp
  }

  # legger til ukentlig tellekostnad
  if (i%%7==0 && uketemp >= 4){
    tellekost <- tellekost + 4170
  } else {
    tellekost <- tellekost
  }

  # fiskevekst
  if (i <= prod_tid && behandling != 1){
    vekt <- vekt + vekt*(laksevekst[which(abs(laksevekst-
vekt)==min(abs(laksevekst-vekt))), (colnames(laksevekst) ==
round(uketemp))]/100) # legger til daglig laksevekst (i gram)
    biomasse <- antall_smolt*vekt # finner den totale biomassen i
merden
    vekt_u_avlusing <- vekt_u_avlusing +
vekt_u_avlusing*(laksevekst[which(abs(laksevekst-
vekt)==min(abs(laksevekst-vekt))), (colnames(laksevekst) ==
round(uketemp))]/100) # legger til daglig laksevekst (i gram)
  } else if (behandling == 1) {

```

```

    biomassetap <- biomasse - (((3*((sultetid-
2)*(uketemp))^0.57*biomasse))/1000) # totalt tap av biomasse ved sulting
    biomasse <- biomasse - (((3*((sultetid-
2)*(uketemp))^0.57*biomasse))/1000) # biomasse etter sultetap
    vekt <- vekt - (((3*((sultetid-2)*(uketemp))^0.57*vekt))/1000)
#fiskevekt etter biomassetap
    vekt_u_avlusing <- vekt_u_avlusing +
vekt_u_avlusing*(laksevekst[which(abs(laksevekst-
vekt)==min(abs(laksevekst-vekt))), (colnames(laksevekst) ==
round(uketemp)]/100) # legger til daglig laksevekst (i gram)
    } else {
        i=i
    }

    # spart fÛr ved sulting
    if(sultetid > 0){
        spartfor <- ((spartfor
+
((vekt_u_avlusing*(laksevekst[which(abs(laksevekst-
vekt)==min(abs(laksevekst-vekt))), (colnames(laksevekst) ==
round(uketemp)]/100)
* (laksevekst[which(abs(laksevekst-
vekt)==min(abs(laksevekst-vekt))), 19]))
* antall_smolt))/1000
        vekt_u_avlusing <- vekt_u_avlusing +
vekt_u_avlusing*(laksevekst[which(abs(laksevekst-
vekt)==min(abs(laksevekst-vekt))), (colnames(laksevekst) ==
round(uketemp)]/100)
        spartforkostnad <- spartforkostnad + (spartfor * 10.9)
    } else{
        vekt_u_avlusing <- vekt
    }

    # smittepress
    if (i%7==0){ # sikrer at samme smittepress brukes for en hel uke.
trekker nytt smittepress hver nye uke
        trekking_smittepress <- (round(runif(1, min=2, max = 9))) #
trekker smittepress
    } else {
        trekking_smittepress <- trekking_smittepress
    }

    ##### TILVEKST LUS ###

    # lusevekst
    if (i <= prod_tid & (15000*smittepress[which(smittepress$X...Week ==
uke), trekking_smittepress]) != 0){
        lus <- 0.0714*(15000*smittepress[which(smittepress$X...Week ==
uke), trekking_smittepress]) # daglig tilførsel av lus. 5 % av
smittepresset fester seg daglig
    } else {
        i=i
    }

    af_lus <- sum(hunnlus)
    b_lus <- (sum(vekstliste[which(vekstliste$TA > i), 5]))
    f_lus <- (sum(vekstliste[which(vekstliste$TA > i & vekstliste$TB >
i), 4]))

```

```

    TA <- c(TA, (round((67.47/(uketemp-10+(67.47*0.177)))^2) +
round((74.7/(uketemp-10+(74.7*0.246)))^2) + i)) # utviklingstid voksne
hunnlus
    TB <- c(TB, (round((74.7/(uketemp-10+(74.7*0.246)))^2) + i)) #
utviklingstid bevegelige lus
    i_list <- c(i_list, i)
    fastsittende <- c(fastsittende, lus*0.5) # 50 % hunnlus
    bevegelige <- c(bevegelige, (sum(vekstliste[which(vekstliste$TB ==
i), 4])))
    hunnlus <- c(hunnlus, (sum(vekstliste[which(vekstliste$TA == i),
5])))
    vekstliste <- data.frame(TA, TB, i_list, fastsittende, bevegelige,
hunnlus)

# 1 % daglig d-delighet av lus
vekstliste$fastsittende <- vekstliste$fastsittende*0.99
vekstliste$bevegelige <- vekstliste$bevegelige*0.99
vekstliste$hunnlus <- vekstliste$hunnlus*0.99

# Begrensning for hyppighet av termisk avlusing
if (min_mellom_behandling < 7 && min_mellom_behandling != 0){
  min_mellom_behandling <- min_mellom_behandling - 1
} else {
  min_mellom_behandling <- 7
}

##### TERMISK AVLUSING #####
if (((af_lus/antall_smolt) >=
behandlingsgrense[which(behandlingsgrense$ukenr == uke), 2] |
(b_lus/antall_smolt) >=
behandlingsgrense.b[which(behandlingsgrense.b$ukenr == uke), 2]) &
sultetid == 0 & min_mellom_behandling == 7){ # sjekker om lusenivået er
over grense
  sultetid <- 6 # bestemmer antall sultedager - mellom 4 og 6 dager.
Avlusinger skjer når sultetid = 1
  behandling <- 1
} else if (sultetid > 0 & sultetid != 1){ # sjekker om fisken sultes
og om det skal foretas behandlig
  sultetid <- sultetid - 1
  behandling <- 0
} else if (sultetid == 1){ # sjekker om det skal foretas behandling
  hunnlus <- hunnlus*runif(1, min=0, max = 0.25) # reduserer antall
voksne hunnlus
  bevegelige <- bevegelige*runif(1, min=0, max = 0.25) # reduserer
antall bevegelige lus
  af_lus <- sum(hunnlus)

  sultetid <- 0
  kgbehandlet <- kgbehandlet + (biomasse/1000000) # sjekker hvor
mange kg fisk som er avluset

  tapt_fisk <- antall_smolt*0.005*vekt # dødelighet ved termisk
avlusing
  antall_smolt <- antall_smolt*0.995
  min_mellom_behandling <- min_mellom_behandling - 1

# Kostnader termisk avlusing
avskrivninger <- avskrivninger + 0.10*(biomasse/1000)
kapitalbindingskostnad <- kapitalbindingskostnad +
0.04*(biomasse/1000)
servicefartoy <- servicefartoy + 150000

```



```

+ 0.00010714 * antall_rensfisk * 20) # kg för
* antall_rensfisk * pris_per_kg
  } else{
    antall_rensfisk <- 0
  }

# rengjøringskostnad for rensfisk - hver 14. dag.
if (i%%14 == 0 && antall_rensfisk > 0){
  rensfisk.kost <- rensfisk.kost + 20000*5 # vasking av n_ter *
ant merder.
  } else {
    rensfisk.kost <- rensfisk.kost
  }

# sjekker hvilken uke det er
if (i%%7==0 && i >= startdag + 6 && i != 364 && i != 728){
  uke <- uke + 1
} else if (i >= 364 && i <= 364+6 && i || i >= 728 && i <= 728+6 &&
i){
  uke <- 1
} else{
  uke = uke
}

# uketeller
if (i%%7==0 & i>=startdag){
  uketeller <- uketeller +1
} else{
  uketeller <- uketeller
}

# sjekker om vi er over grensen
if ((af_lus/antall_smolt) >= lusegrense[which(lusegrense$ukenr ==
uke), 2]){
  above_limit <- above_limit + 1
} else{
  above_limit <- above_limit
}

# daglig svinn av fisk
antall_smolt <- antall_smolt*0.9997778

# teller antall behandlinger
if (sultetid == 1){
  antall Behandlinger <- antall Behandlinger + 1
} else{
  antall Behandlinger = antall Behandlinger
}

# lagrer verdier for dagen
dager <- c(dager, i)
vekst <- c(vekst, vekt)
uketellerliste <- c(uketellerliste, uketeller)
biomasse_tid <- c(biomasse_tid, biomasse)
i <- i + 1
ukeliste <- c(ukeliste, uke)
treatmentliste <- c(treatmentliste, sultetid)
uketempliste <- c(uketempliste, uketemp)
biomassetapliste <- c(biomassetapliste, biomassetap)
rensfiskliste <- c(rensfiskliste, antall_rensfisk)
antall <- c(antall, antall_smolt)

```

```

above_limit_liste <- c(above_limit_liste, above_limit)
over_grense <- data.frame(dager,above_limit_liste)
af_lus <- sum(hunnlus)

af_liste <- c(af_liste, (af_lus/antall_smolt))
b_liste <- c(b_liste, (b_lus/antall_smolt))
f_liste <- c(f_liste, (f_lus/antall_smolt))

behandlingsstrategi <- data.frame(treatmentliste,ukeliste,vekst)

dir.kost <- tellekost + avskrivninger + kapitalbindingskostnad +
servicefartoy + arbeidskraft + rensefisk.kost
indir.kost <- dodelighet + ((kapasitet-biomasse+tapt_fisk)/1000)*60
+ spartforkostnad
termisk.kost <- spartforkostnad + avskrivninger +
kapitalbindingskostnad + servicefartoy + arbeidskraft + dodelighet +
((kapasitet-biomasse+tapt_fisk)/1000)*60
rensefisk.kost <- rensefisk.kost
kostnader <- dir.kost + indir.kost
salg <- 60 * (biomasse/1000)
}

behandlingsuke <-
behandlingsstrategi[which(behandlingsstrategi$treatmentliste == 1), 2]
behandlingsuke <- paste(behandlingsuke, collapse = ",")

behandlingsvekt <-
round(behandlingsstrategi[which(behandlingsstrategi$treatmentliste == 1),
3])
behandlingsvekt <- paste(behandlingsvekt, collapse = ",")

resultat1 <- c(resultat1,antall_behandlinger)
resultat2 <- c(resultat2,(biomasse/1000000))
resultat3 <- c(resultat3, above_limit)
resultat4 <- c(resultat4, kostnader)
resultat5 <- c(resultat5, behandlingsuke)
resultat6 <- c(resultat6, vekt)
varighet <- length(ukeliste)
resultatsalg <- c(resultatsalg, salg)
resultatvarighet <- c(resultatvarighet, varighet)
resultatdir.kost <- c(resultatdir.kost, dir.kost)
resultatindir.kost <- c(resultatindir.kost, indir.kost)
resultattermisk.kost <- c(resultattermisk.kost, termisk.kost)
resultatrensefisk.kost <- c(resultatrensefisk.kost, rensefisk.kost)
resultattemp <- c(resultattemp, mean(uketempliste))
resultatvekt <- c(resultatvekt, behandlingsvekt)
resultatbiomassetap <- c(resultatbiomassetap, biomassetap)

# OUTPUT FRA MODELLEN!
resultat <- data.frame(ukeliste[1],
                      resultatvarighet,
                      resultat1,
                      resultat5,
                      resultat3,
                      resultat2,
                      resultat6,
                      resultatsalg,
                      resultat4,
                      resultatdir.kost,
                      resultatindir.kost,
                      resultattermisk.kost,
```

```
        resultatrensefisk.kost,
        resultattemp,
        resultatvekt,
        resultatbiomassetap)

colnames(resultat) <- c("Produksjonsstart",
                        "Varighet",
                        "Antall behandlinger",
                        "Behandlingsuke",
                        "Dager over grense",
                        "Biomasse",
                        "Fiskevekt",
                        "Salgsinntekt",
                        "Total kostnad",
                        "Dir. kost",
                        "Indir. kost",
                        "Termisk kost",
                        "Rensefiskkost.",
                        "Gj.snittstemperatur",
                        "Vekt ved avlusing",
                        "Biomassetap")

    r <- r + 1
}
print(resultat)

par(mfrow =c(1,3))
luseniva$run <- as.factor(luseniva$run)
ggplot(data=luseniva, aes(x=uke, y=bevegelige, group=run, color=run)) +
  geom_line() +
  theme(legend.position="none") +
  ylab("Bevegelige lus") +
  xlab("Uke") +
  ylim(0,2) +
  xlim(1,52)

ggplot(data=luseniva, aes(x=uke, y=hunnlus, group=run, color=run)) +
  geom_line() +
  theme(legend.position="none") +
  ylim(0,2) +
  xlim(1,52) +
  ylab("Voksne Hunnlus") +
  xlab("Uke")
```

Appendiks D – ARIMA-modell for temperatur

Series: simtemp\$seaTemperature
ARIMA(2,0,0) with zero mean

Coefficients:

| | ar1 | ar2 |
|------|--------|---------|
| | 0.7195 | -0.1350 |
| s.e. | 0.0561 | 0.0563 |

sigma² estimated as 0.3234: log likelihood=-265.9
AIC=537.8 AICc=537.87 BIC=549.03

Appendiks E – test av ARIMA-modell

Stasjonaritet

Augmented Dickey-Fuller Test

data: simtemp\$seaTemperature
Dickey-Fuller = -5.6923, Lag order = 6, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary

Autokorrelasjon av residualene

Box-Ljung test

data: arima1\$residuals
X-squared = 1.9335, df = 7, p-value = 0.9634