



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Kan bruk av storsmolt bidra til økt slaktevolum og bedre utnyttelse av MTB?

Frithjof Kramer Hald
Industriell Økonomi

Forord

Denne masteroppgaven marker slutten på min mastergrad i Industriell Økonomi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven er på 30 studiepoeng, og er skrevet våren 2017.

Oppgaven springer ut fra min interesse for fisk, og oppdrettsnæringen generelt. Gjennom flere akvakulturfag på NMBU har jeg lært stadig mer om bransjen. Videre har oppdrettsnæringen alltid fanget min interesse, og med denne oppgaven ønsker jeg å bidra til at oppdrettsbransjen kan drives mer miljøvennlig og effektivt.

I forbindelse med oppgaven ønsker jeg å takke min veileder Odd-Ivar Lekang for sitt engasjement rundt oppgaven og faglige innspill underveis. Jeg vil også takke mine kontaktpersoner i Cermaq, Olai Einen og spesielt Randi Rydland som har hjulpet meg underveis.

Til slutt vil jeg takke alle andre som har bidratt, samt gjengen på Parkgården som har gjort masterlivet lettere.

Ås, 12.05.2017

Frithjof Kramer Hald

Sammendrag

Etterspørselen etter Norsk laks er stor, og lakseprisen har steget kraftig de siste årene. Likevel er det tilnærmet nullvekst i oppdrettsnæringen. Bransjen står ovenfor store utfordringer med tanke på miljøpåvirkning og økende produksjonskostnader, spesielt tilknyttet forebygging og behandling av lakselus. Dersom regjeringens mål om bærekraftig vekst skal nås, er en nødt til å se til ny teknologi og nye produksjonsmetoder. Videre er det store sesongvariasjoner i dagens produksjon. Dette åpner for vesentlig bedre utnyttelse av MTB-grensen.

Denne studien har som utgangspunkt å undersøke om bruk av storsmolt med varierende vekt kan øke Cermaq sin produksjon i Finnmark, underlagt konsernets MTB-grense. På bakgrunn av historiske data fra Cermaq, tall fra Fiskeridirektoratet, tidligere forsøk og litteratur er det utviklet fire modeller i Excel. Modellene har til hensikt å optimalisere Cermaq sin produksjon, både på lokalitetsnivå og konsernnivå over en periode på tre år. Optimaliseringen er gjennomført i Excel Solver, der smoltvekten varieres på Cermaq sine 26 ulike lokaliteter i Finnmark.

Resultatene viser at ved bruk av storsmolt med varierende vekt, kan utnyttelsen av MTB og slaktevolum økes betydelig fra dagens nivå. På lokalitetsnivå kan slaktevolum økes med 75 prosent med bruk av tre ulike smoltgrupper ved utsett. På regionalt nivå kan stående biomasse økes fra 74 til 91.4 prosent av total MTB i snitt per år. Økningen fører til et økt slaktevolum på 12058 tonn, 35.6 prosent over gjennomsnittlig årlig slaktevolum i perioden 2014-2016. Det økte slaktevolumet tilsvarer en ekstra inntekt på 723 millioner kroner i året ved en laksepris på 60 kr/kg. Ved dagens produksjonskostnad kan den ekstra inntekten forsvare en maksimal pris på 48.4 kroner per storsmolt, utover dette vil produksjonen være ulønnsom. Smoltvekt valgt i denne studien varierer fra 207 til 981 gram ved utsett, der hoveddelen av smolten er fra 485-885 gram. Sammenlignet med kontrollmodell med smolt på 100 gram, ble økningen i slaktevolum noe mindre, men fortsatt betydelig, på 8367 tonn per år.

På bakgrunn av resultatene og dagens laksepriser synes det å være svært fornuftig å legge om produksjonsregimet til utsett av større smolt med mer variasjon i vekt. Selv med fall i lakseprisen ned mot 40 kr/kg vil det fortsatt være lønnsomt gitt at produksjonskostnadene ikke overskrider 30 kr/kg. Det fremkom også at Cermaqs totale produksjon med fordel kan produseres på færre anlegg enn i dag. Dette vil kunne redusere driftskostnadene og dermed øke fortjenesten ytterligere, men dette var ikke hovedmål for oppgaven og bør undersøkes grundigere.

Abstract

The demand for Norwegian Salmon is high, in recent years, the salmon price has experienced a massive price increase. However, this growth is not reflected in the aquaculture industry. Major challenges are faced in terms of environmental impact and increased production costs, especially associated with salmon lice. To achieve the government's goal of sustainable growth, new technologies and production methods have to be used. Furthermore, there are large seasonal variations in the production. This allows for a better utilization of the MAB limit.

This study aims to investigate whether the use of large smolt with differences in weight can increase Cermaq's production in Finnmark, subject to the firm's MAB limit. Based on historical data from Cermaq, figures from the Directorate of Fisheries, previous experiments and literature, four models have been developed in Excel. The models intend to optimize Cermaq's production, at local and regional level over a period of three years. The optimization has been carried out in Excel Solver.

The results show that utilization of MAB and the harvest volume can be significantly increased- with use of large smolt with differences in weight. Locally, harvest volume can be increased by 75 per cent with the use of three different smolt groups. At regional level, standing biomass can be increased from 74 to 91.4 per cent of total MAB on average per year. This leads to an increase in harvest volume of 12058 tonnes, 35.6 per cent above average annual harvest in the period 2014-2016. The increase in harvest volume corresponds to an extra income of NOK 723 million a year, given a salmon price of NOK 60 per kg. At the current cost of production, the extra income give a maximum price of NOK 48.4 per large smolt. The smolt weight chosen in this study ranges from 207 to 981 grams, most from 485 to 885 grams. Compared to the control model with smolt of 100 grams, the increase in slaughter volume was somewhat smaller, but still significant, at 8367 tonnes per year.

Based on the results and today's salmon prices, it seems to be very reasonable to change the production regime, and use larger smolt with more variety in weight. Even with a decrease in the salmon price down to NOK 40 per kg production will still be profitable, if costs do not exceed 30 kr/kg. It also emerged that Cermaq's overall production can be produced at fewer localities than today. This could reduce operating costs and increase earnings. However, this was not the main objective of the study, and should be investigated further.

Innhold

Forord	ii
Sammendrag.....	iv
Abstract.....	vi
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Problemstilling.....	2
2 Teori og produksjonsregime	3
2.1 Maksimal tillatt biomasse (MTB).....	3
2.2 Produksjonsregime	4
2.3 Miljøpåvirkning.....	6
2.4 Produksjonstakt og omløpshastighet.....	7
2.4.1 Teoretisk utnyttelse av MTB	9
2.4.2 Cermaq i dag.....	10
2.5 Tidligere studier	14
2.6 Kostnadsutvikling.....	15
2.6.1 Kostnadsfordeling.....	16
2.7 Landbasert produksjon	17
2.7.1 Skisse av RAS	18
2.7.2 Arealbehov	19
2.7.3 Investeringskostnader	19
3 Materiale og Metode	21
3.1 Oversikt over oppsett	21
3.2 Introduksjon til modellen	23
3.3 Restriksjoner	25
3.4 Målverdi.....	27
3.5 Problemløser i Excel	27
3.6 Datagrunnlag	28
4 Resultater	29
4.1 Modell 1 – Én lokalitet.....	29

4.2	Modell 2 – Lokalitet med tidsbegrensning på 4 år.....	31
4.3	Modell 3 – Lokalitet med tre ulike grupper smolt.....	33
4.4	Modell 4 – Konsern MTB.	34
4.5	Sammenligning av resultater	38
4.6	Økonomiske resultater	40
5	Diskusjon	41
5.1	Diskusjon av modell og oppsett.....	41
5.2	Diskusjon av resultater	42
5.2.1	Lokalitetsnivå.....	42
5.2.2	Konsernnivå	43
5.2.3	Lønnsomhet.....	44
5.3	Videre arbeid	46
6	Konklusjon.....	47
7	Referanser	49

Vedlegg

Vedlegg 1 – MTB på lokalitet.

Vedlegg 2 – Output modell 4.

Vedlegg 3 – Maksimal stående biomasse modell 4.

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Eksporten av norsk laks har nådd et rekordhøyt nivå de siste årene (SSB, 2016), og etterspørselen er fortsatt økende. Oppdrettsnæringen er i dag en av Norges største eksportnæringer, fra 2016 har næringen også opplevd en massiv oppgang i lakseprisene. I dag reguleres oppdrettsnæringen etter stående biomasse i sjø, MTB (maksimal tillatt biomasse). Denne reguleringen tar utgangspunkt i allerede utdelte konsesjoner, og regulerer hvor mye fisk en kan ha stående i sjøen til enhver tid. I Troms og Finnmark er reguleringen 945 tonn per konsesjon, mot 780 tonn for resten av landet.

Selv om lakseprisen er høy og etterspørselen er stor ser vi ikke tilsvarende økning i produksjonsvolumet av laks. Flere år med krevende lusesituasjoner har gjort at det er tilnærmet nullvekst i næringen. Samtidig er produksjonskostnadene økende, spesielt når det gjelder behandling av lakselus og andre sykdommer.

I samme periode har det foregått en stor teknologisk utvikling innenfor oppdrettsnæringen. Systemer som lukkede landbaserte anlegg, lukkede anlegg i sjøen og andre offshore-installasjoner testes ut. Andre produksjonsregimer vokser frem, og det er åpnet for produksjon av postsmolt opp til 1 kilo vederlagsfritt og uten særskilt søknad, mot 250 gram slik det var tidligere (Regjeringen 2016).

1.2 Problemstilling

For å møte oppdrettsnæringens utfordringer i sjø og kunne øke lakseproduksjonen, vil det være hensiktsmessig å se til andre produksjonsmetoder. Sjømatmeldingen fra Stortinget sier at Norge har som ambisjon å tredoble produksjonen innen 2030 og femdoble innen 2050 (Regjeringen 2015). Dersom en skal nå disse målene er en nødt til å se på ny teknologi og andre produksjonsregimer, i tillegg til dagens tradisjonelle oppdrett i fjordene.

Problemstillingen tar utgangspunkt i Cermaq sin produksjon i Finnmark, og vil basere seg på historiske tall fra Cermaq. Finnmark er valgt i samråd med Cermaq fordi det kan tenkes at denne regionen vil dra størst nytte av å øke størrelsen på settefisken. Finnmark har utfordringer med lave vintertemperaturer og lite lys om vinteren, følgende blir det lang produksjonstid for laks i sjøen.

I tillegg til det overnevnte springer problemstillingen ut fra et ønske om å vite mer om effektene ved en slik omlegging av produksjonen. I dag finnes det ikke tilstrekkelig kunnskap innenfor dette området. Problemstillingen er forklart i detalj under.

Kan utsett av større smolt bidra til å øke slaktevolum og utnyttelsesgraden av MTB?

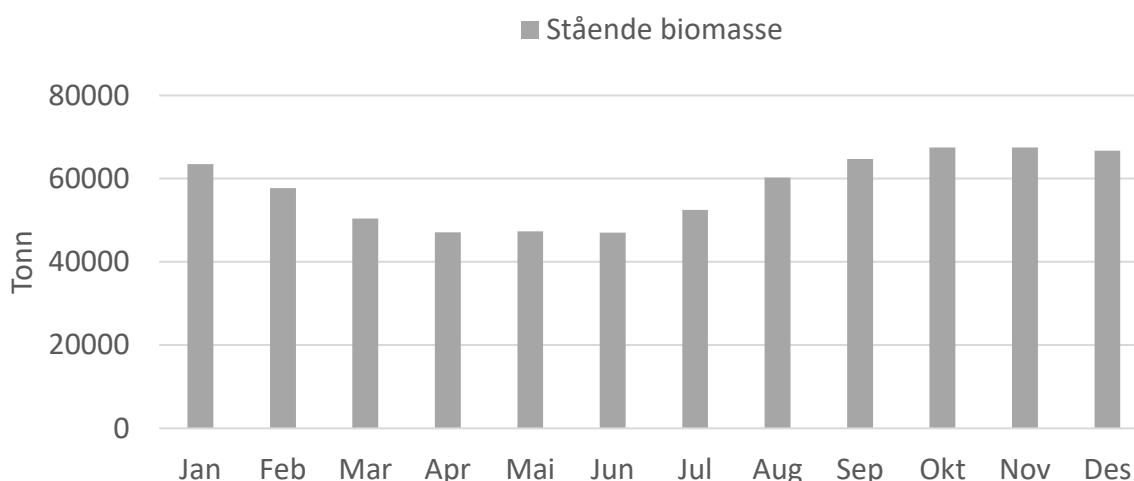
- Kan bruk av storsmolt bidra til å utjevne sesongvariasjonene slik de er i dag?
- Hva er eventuelt en ideell smoltvekt?
- Til hvilken pris kan storsmolten kjøpes?

2 Teori og produksjonsregime

2.1 Maksimal tillatt biomasse (MTB)

Produksjonen i oppdrettsnæringen reguleres av antall konsesjoner, som igjen har en biomassebegrensning. Én konsesjon angir maksimal tillatt biomasse (MTB). Dette er den største biomassen en oppdretter kan ha i sjøen til enhver tid. I dag er denne reguleringen 780 tonn, bortsett fra i Troms og Finnmark der grensen er 945 tonn. Denne begrensningen er myndighetenes måte å regulere produksjonen på i Norge. I tillegg til MTB er det krav om at lokaliteten skal brakklegges i minst to måneder etter utslakting (*Forskrift om drift av akvakulturanlegg* 2008). Det skilles mellom MTB på lokalitetsnivå og regionalnivå. Den regionale MTB-grensen, også kalt konsern MTB, er gitt ved antall konsesjoner multiplisert med MTB grensen for tilhørende landsdel. MTB på lokalitetsnivå vil variere. Den blir satt ved godkjenning av lokaliteten, på bakgrunn av en grundig vurdering av beliggenhet og miljøpåvirkning på stedet.

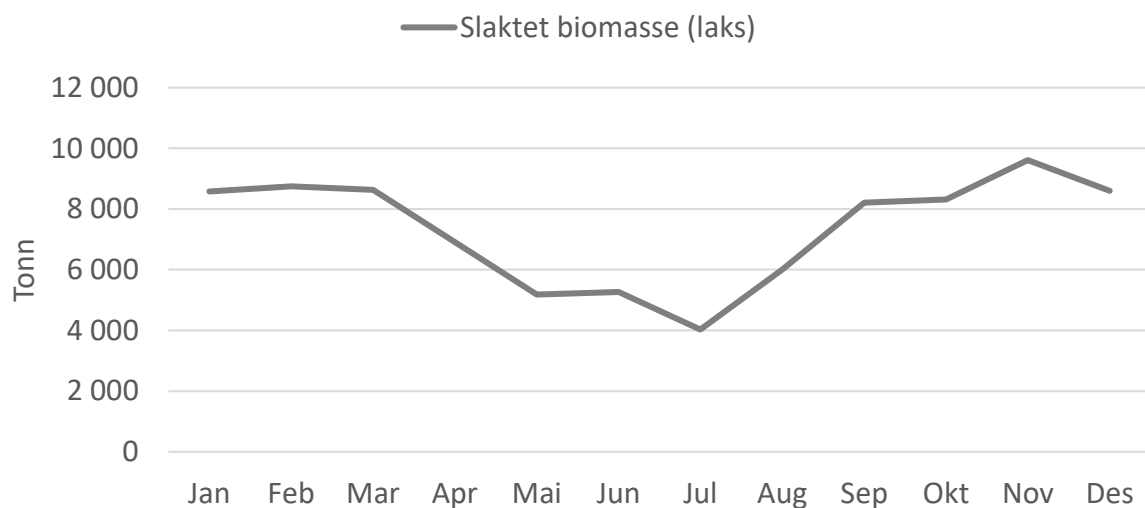
Siden MTB-regimet ble innført i 2005 har oppdrettere etterstrebet å ligge så nær biomassegrensen som mulig. De siste årene har kapasiteten blitt utnyttet bedre, ved å planlegge produksjonen opp mot naturgitte parametere. Det er fortsatt et lite stykke igjen til MTB-grensen er nådd, og det er gjerne store sesongvariasjoner som gjør det utfordrende å utnytte produksjonen til det fulle gjennom hele året (Figur 1).



Figur 1: Gjennomsnittlig stående biomasse per måned i Finnmark 2012-2016 (Kilde: Fiskeridirektoratet).

Årsaken til at en oppdretter ønsker å ligge så tett som mulig på MTB-grensen er ønsket om størst mulig slaktevolum. Slaktevolum og stående biomasse følger hverandre gjennom året. Etter høye sjøtemperaturer på sensommeren og høsten stiger biomassen, og oppdretteren er nødt til å slakte et større volum enn ellers i året. Følgelig er også slaktevolumet lavere på forsommeren etter en vinter med kalde temperaturer og lite vekst.

Mengden slaktet laks i Finnmark, og Norge for øvrig, er størst på høsten og tidlig vinter (Figur 2). Sesongvariasjoner skyldes først og fremst naturgitte parametere som er vanskelig eller umulig å styre. Temperatur, kjønnsmodning, dødelighet og smoltutsett er eksempler på dette. Levering av smolt kan styres til en viss grad ved hjelp av temperatur og lysmanipulasjon på klekkeri. Med produksjon av større smolt vil leveringen kunne styres i enda større grad.



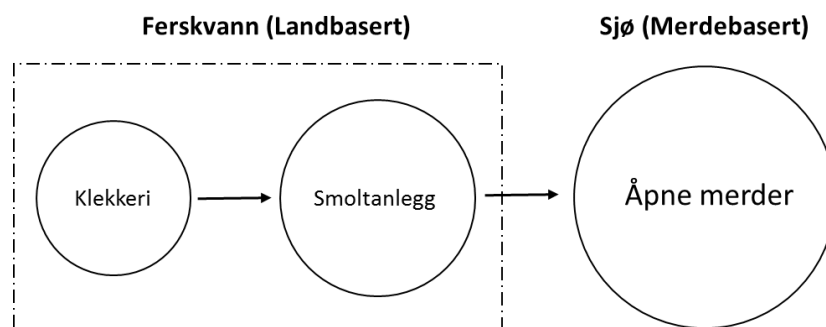
Figur 2: Gjennomsnittlig slaktet laks i tonn i Finnmark i perioden 2012-2016 (Kilde: Fiskeridirektoratet).

2.2 Produksjonsregime

Det skiller mellom tre ulike produksjonsregimer. Tradisjonelt produksjonsregime, kombinasjonsregime og landbasert regime. Kun de to første vil bli forklart da sistnevnte innebærer landbasert produksjon av laks opp til slaktestørrelse.

Tradisjonelt produksjonsregime

I dag har Cermaq og resten av oppdrettsnæringen et forholdsvis likt produksjonsregime. Den tradisjonelle produksjonssyklusen innebærer produksjon i landbaserte settefiskanlegg frem til yngelen er klar for smoltifisering. Denne prosessen gjør den anadrome fisken i stand til å leve i saltvann, og skjer normalt når fisken er 60-120gram. Deretter blir fisken plassert i åpne merder i sjøen der den blir føret opp til ideell slaktevekt, normalt 4-6.5kg (Figur 3).



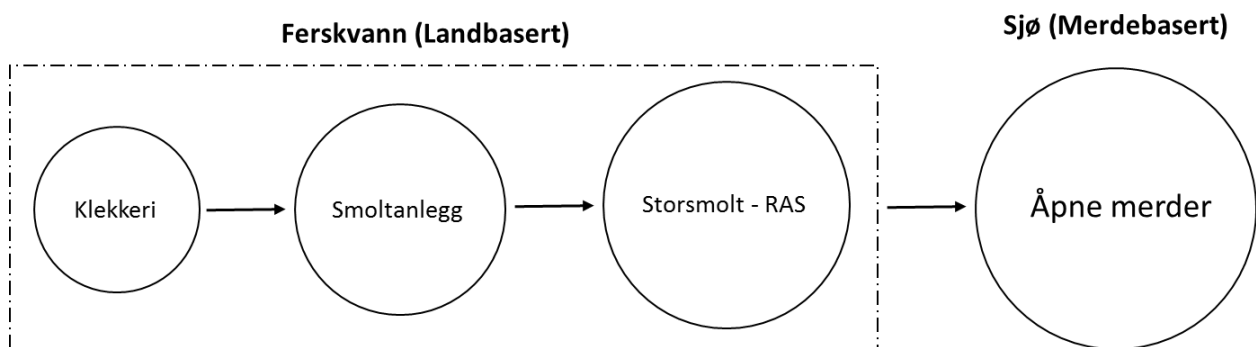
Figur 3: Tradisjonelt produksjonsmetode.

Enkelte smoltanlegg er integrert med klekkeri, mens andre smoltanlegg kjøper yngel. Denne produksjonssyklusen innebærer en produksjonstid i sjø på omtrent 16 til 22 måneder, avhengig av lokalitet og temperatur. Under perioden laksen står i sjøen er den eksponert mot lakselus og andre sykdommer som fører til økt dødelighet. Dødelighet er i dag et stort problem. Tall fra Fiskeridirektoratet viser at 53 millioner laks døde i 2016, tilsvarende 19% av all fisk som ble satt i sjøen.

Kombinasjonsregime med storsmolt

Ved bruk av storsmolt vil produksjonsregimet bli noe endret. I stedet for å sette fisken ut i sjøen holdes den på land i et landbasert resirkuleringssystem (RAS) en større del av livssyklusen. Anlegget kan bruke enten ferskvann eller saltvann i den videre vekstprosessen (Figur 4). Dette avgjør også om fisken kalles postsmolt eller smolt, da postsmolt beskrives som den første vekstfasen etter at fisken har blitt tilvendt sjøvann. Videre i studien vil det kun bli omtalt som storsmolt.

Under produksjon på land har en oppdretter større kontroll på fisken. Temperatur og fôr kan styres for å optimalisere veksten i større grad. Vekt på fisk ved utsett i sjø kan variere fra 200 gram til 1000 gram, alt etter hva oppdretter ønsker og har behov for.



Figur 4: Kombinasjonsregime med storsmolt.

Hensikten med et kombinasjonsregime der smolten står lengre på land er først og fremst å redusere eksponeringstiden i sjø. Dette vil potensielt gi økt slaktevolum, ved at oppdretteren oppnår en raskere omløpshastighet og lavere dødelighet. Ved forsøk viste storsmolt seg å ha høyere vekstrate, høyere vekt, lavere dødelighetsrate og et lavere lusepåslag. Den responderte også bedre mot lusebehandling (Holan & Kolarevic 2015). Produksjonstiden i sjø blir med denne modellen redusert til omtrent 9 – 13 måneder. En kraftig reduksjon fra eksponeringstiden i dagens produksjon. I tillegg til lavere lusepåslag muliggjør modellen lengre brakklegging mellom utsett, noe som kan redusere lusenivået i området. Holan & Kolarvic konkluderer videre i sin rapport at det er fordelaktig å produsere storsmolt på land. De ser for seg gode resultater og færre lusebehandlinger ved en smoltvekt på 300 til 400 gram. Det finnes også andre vellykkete eksempler på bruk av storsmolt i større skala, oppdrettsselskapet Luna på Færøyene bruker storsmolt opp til 500 gram. Fisken som i tillegg har oppnådd svært god vekst har også vist seg å være like rimelig å produsere som tilsvarende fiskestørrelse i sjø. Etter mindre enn ett år i sjøen kunne de slakte fisk på 5,6 kilo (Aslak 2016).

2.3 Miljøpåvirkning

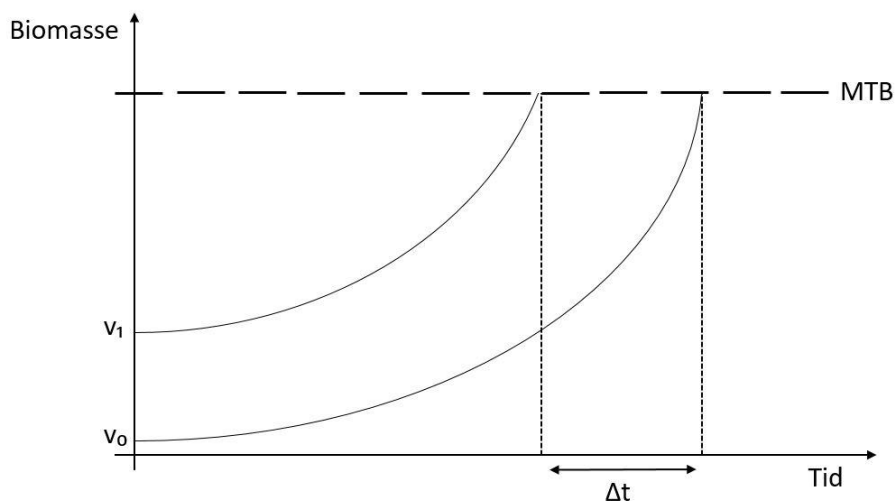
Som nevnt så byr dagens produksjonsregime på store utfordringer for oppdrettsnæringen. Utfordringer som også påvirker miljøet rundt oppdrettsanlegg og villfisken som lever i samme område. Den mest alvorlige miljøpåvirkningen er listet under.

- Høyt smittepress av lakselus fra oppdrettslaks til villaks.
- Genetisk påvirkning av villaksen fra rømt oppdrettslaks.
- Lokal forurensing av havbunnen og området nær oppdrettsanleggene.

I tillegg er det også andre negative ringvirkninger, slik som smitte av virusykdommer til villaks, utslipp av kjemikaler i forbindelse med avlusing og sykdomsbehandling og overbeskatning av rensefisk (Taranger et al. 2014). Bruk av større settefisk kan være med på å redusere miljøpåvirkningen og samtidig bidra til en mer effektiv produksjon.

2.4 Produksjonstakt og omløpshastighet

Ser vi på én lokalitet, synliggjøres noe av effekten ved å sette ut storsmolt i størrelsesorden opp til 1000 gram. Ved utsett av storsmolt med vekt V_1 vil generasjonen følgelig nå lokalitetens MTB og slaktevekt langt raskere enn utsett av fisk med vekt V_0 (Figur 5). Resultatet er en kortere eksponeringstid i sjø, og en raskere omløpshastighet per konsesjon. I Finnmark er kortere eksponeringstid i sjø spesielt viktig på grunn av lav vintertemperatur og tilhørende lav vekst.



Figur 5: Skisse av to produksjonsregimer. $V_1 = 1000\text{g}$ smolt og $V_0 = 100\text{g}$ smolt.

Omløpshastigheten per generasjon er et viktig mål på hvor effektiv produksjonen er. Dette måltallet er tiden det tar fra en generasjon laks er satt ut til den er ferdig slaktet. Det er flere

måter å måle omløpshastigheten på, det er et vanlig begrep innenfor bedrifter der en del av varebeholdningen er på lager (Hoff & Bjørnenak 2010). I dette tilfellet er omløpshastigheten et mål på hvor stor del av produksjonen som blir slaktet av den gjennomsnittlige stående biomassen i sjøen. Dersom omløpshastigheten økes, vil det normalt kunne tilskrives høyere produktivitet.

$$\text{Omløpshastighet på biomassen} = \frac{\text{Slaktet biomasse}}{\text{Gj.snitt av stående biomasse}} \quad (2.1)$$

På en annen side er det viktig å være kritisk til omløpshastigheten som beregnes på biomassen. En raskere omløpshastighet vil ikke nødvendigvis kunne relateres til en høyere produktivitet. Dersom en oppdretter oppnår høy omløpshastighet kan det skyldes at stående biomassen i sjøen er lavere enn normalt, og at slaktevolumet har blitt opprettholdt. I realiteten vil dette få ringvirkninger de videre driftsårene ettersom den stående biomassen i sjøen minker, og vil føre til et lavere slaktevolum i påfølgende år. Derfor vil det være hensiktsmessig og se på slaktevolum opp mot MTB i tillegg. Slaktevolum blir dermed eneste variabel, ettersom MTB er gitt.

$$\text{Omløpshastighet på MTB} = \frac{\text{Slaktet biomasse}}{\text{MTB}} \quad (2.2)$$

Veksten til fisken kan predikeres på forskjellige måter. Blant de vanligste er Specific Growth Rate (SGR) og den termiske vekstkoefisienten (vekstfaktor). SGR er daglig prosentvis vekst i forhold til fiskens vekt. Vekstfaktor på sin side er et tall på tilveksten. Ved sammenligning av veksten til ulike fiskegrupper er vekstfaktoren å foretrekke fremfor SGR (Einen & Mørkøre 1996).

SGR er gitt ved:

$$SGR = \left(\frac{V_1^{(\frac{1}{t})}}{V_0} - 1 \right) 100 \quad (2.3)$$

Vekstfaktoren er gitt ved:

$$VF = 1000 \cdot \frac{(V_1^{\frac{1}{3}} - V_0^{\frac{1}{3}})}{T \cdot t} \quad (2.4)$$

Der V_0 er startvekt i gram, V_1 er sluttvekt i gram, T er temperatur i celsius, t er tid i antall dager.

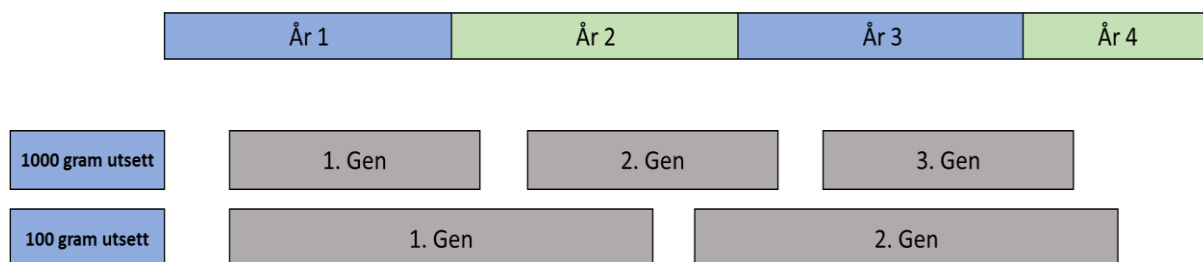
Vekstfaktoren vil normalt ligge på 3,3-3,4 for hele sjøfasen i Finnmark. På bakgrunn av forsøk kan det argumenteres for at denne vekstfaktoren kan være høyere ved utsett av større smolt. Blant annet viser forsøk fra Lerøy Midnnor og Nofima at storsmolt på over 200 gram hadde en vekstfaktor i sjø på 3,9-4,2 (Holan & Kolarevic 2015). Tall fra Færøyene viser også en vekstfaktor på 3,86 ved utsett av smolt på 500 gram. Det høyeste som har blitt målt og dokumentert på Færøyene (Aslak 2016).

2.4.1 Teoretisk utnyttelse av MTB

En konsesjon sier kun noe om hvor mye oppdretteren til enhver tid kan ha stående i sjøen. Det er oppdretteren selv som må planlegge slik at produksjonen blir størst mulig, ved å ligge så nær MTB-grensen til enhver tid. Teoretisk sett vil det være å slakte ut den daglige veksten utover MTB.

$$\text{Teoretisk MTB} = \text{MTB} \cdot \frac{\text{Tilvekst}}{100} \cdot t \quad (2.5)$$

I Finnmark vil en konsesjon på 945 tonn med en gjennomsnittlig SGR verdi på 0,6% vil ha en teoretisk årlig MTB på 2070 tonn. Denne beregningen er høyst teoretisk og tar blant annet ikke hensyn dødelighet og sykdom som vil redusere tilveksten. Likevel gir det bilde av hvor stor utnyttelse en kan ha på en konsesjon. Fortsetter vi å se på lokalitetsnivå og ser kun på utslakting når fisken har nådd MTB, vil en i løpet av en treårsperiode fra mai ha slaktet ut en ekstra generasjon med utsett av storsmolt på 1000 gram (Figur 6). Denne produksjonssyklusen med utsett i mai fører også til en brakklegging av anlegget i månedene med lavest temperatur og vekst (februar-mars).

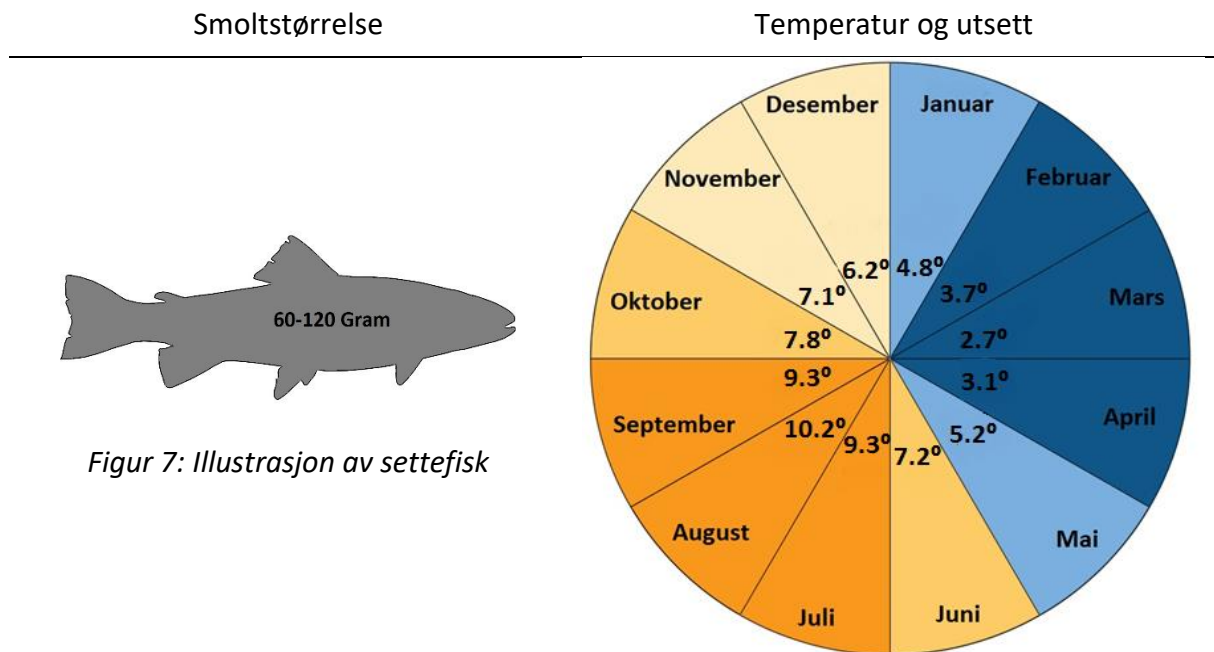


Figur 6: Skisse av omløpshastighet i sjø.

2.4.2 Cermaq i dag

Cermaq Finnmark har i dag 28 konsesjoner. Dette tilsvarer en regional MTB på 26460 tonn. Stående biomasse kan fordeles på om lag 26 anlegg, hvor den lokale MTB-grensen varierer mellom 2700 og 5400 tonn (Vedlegg 1). Enkelte anlegg er mer fordelaktige å drive produksjon på, men dette vil ikke bli berammet av oppgaven. Produksjonsregimet følger den tradisjonelle metoden slik beskrevet tidligere.

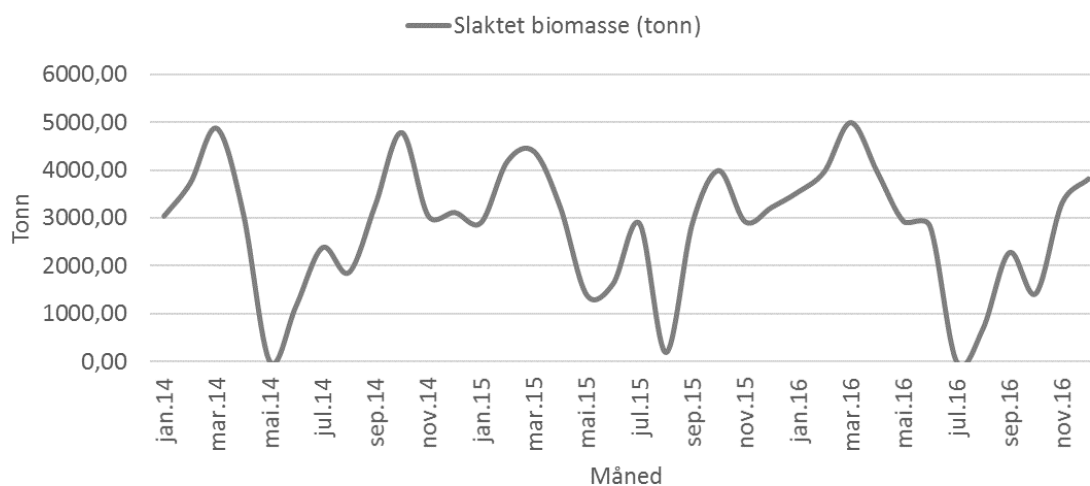
Settefiskstørrelsen varierer stort sett mellom 60-120 gram, og det opereres normalt med hovedutsett av fisk i mai-juni og august-september (Figur 7). I 2017 er første gang det settes ut fisk i januar, da temperaturene i sjøen holder seg forholdsvis høye helt frem til februar (Figur 8). Fra februar og ut april er det på grunn av lave vanntemperaturer ikke utsett av fisk, utover dette kan det settes fisk resten av året så lenge smolt kan leveres.



Figur 7: Illustrasjon av settefisk

Figur 8: Illustrasjon av temperaturgjennomsnitt.
Ved mørkeblå er det ikke mulig med utsett.

Cermaq og andre oppdrettsselskaper ønsker å produsere så nære sin tillatte biomasse til enhver tid. For Cermaq sin del er det gjerne på nyåret produksjonen kunne blitt utnyttet bedre. Høyt uttak av fisk på høsten grunnet høye temperaturer og rask vekst er en av årsakene til dette. De siste tre årene har slaktevolumet vist store sesongvariasjoner. Det varierer på månedlig basis fra 0 tonn på det laveste til 5000 tonn på det meste (Figur 9). Sesongvariasjonene gjenspeiler det øvrige bildet til oppdrettsnæringen (Figur 1).



Figur 9: Slaktet biomasse ved Cermaq Finnmark 2014-2016.

Cermaq har de siste tre årene slaktet fisk tilsvarende i underkant av 1,30 ganger den stående biomassetillatelsen per år, det tilsvarer om lag 33 til 34000 tonn (Tabell 1). Dette er et tall på hvor godt Cermaq utnytter sin tillatte biomasse, og det er denne biomassen som generer inntekter for selskapet.

Tabell 1: Slaktet biomasse for Cermaq 2014-2016.

	Slaktet Biomasse (tonn)	Omløpshastighet på MTB
2014	34284	1,296
2015	33728	1,275
2016	33643	1,271
Snitt	33885	1,281

Slaktet biomasse per år gjør det mulig å finne omløpshastigheten til Cermaq sin produksjon i Finnmark. De siste tre årene har biomassens omløpshastighet på det meste vært i underkant av 2 (Tabell 2). Dette tallet tilsier at slaktevolumet var tilnærmet dobbelt så høyt som gjennomsnittlige biomasse i sjøen. Høy omløpshastighet er ikke nødvendigvis positivt. I dette tilfellet er årsaken til økning i omløpshastighet lavere andel biomasse i sjøen enn vanlig, som tidligere nevnt kan dette få følger for slaktevolumet påfølgende år. Derfor er det viktig å se eventuell endring i omløpshastighet opp mot slaktevolum og stående biomasse. For Cermaq ligger omløpshastigheten per generasjon på om lag 19 måneder for en laks på 5kg.

Tabell 2: Stående biomasse og omløpshastighet Cermaq 2014-2016.

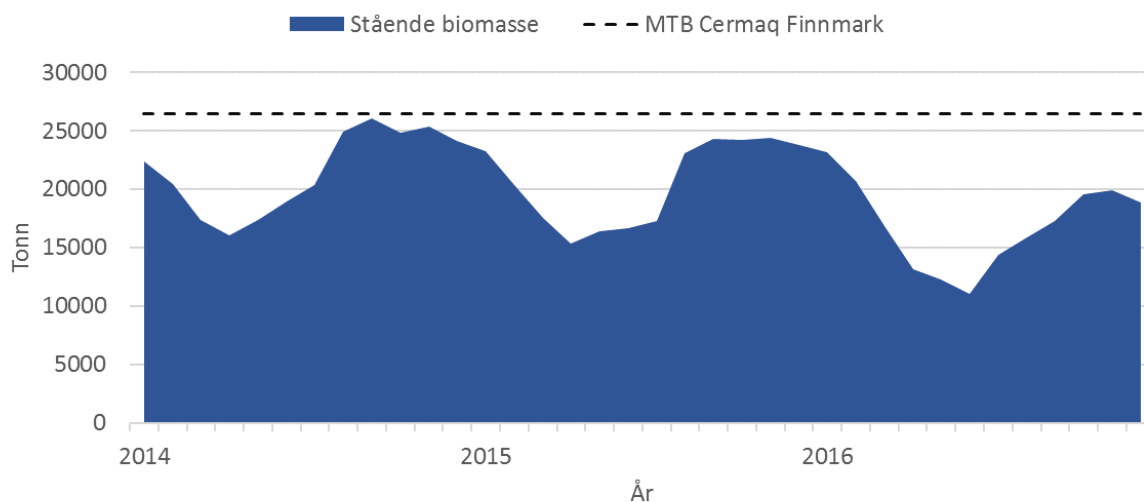
År	Stående biomasse (tonn)	Omløpshastighet på biomassen
2014	21524	1,593
2015	20551	1,641
2016	16921	1,988
Snitt	19632	1,741

Siste tre år har Cermaq i snitt satt ut 8.1 millioner smolt per år (Tabell 3). De siste årene har det vært problemer med smoltleveringen, noe som kan ha påvirket utsett og den øvrige produksjonen i perioden.

Tabell 3: Utsatt fisk Cermaq 2014-2016.

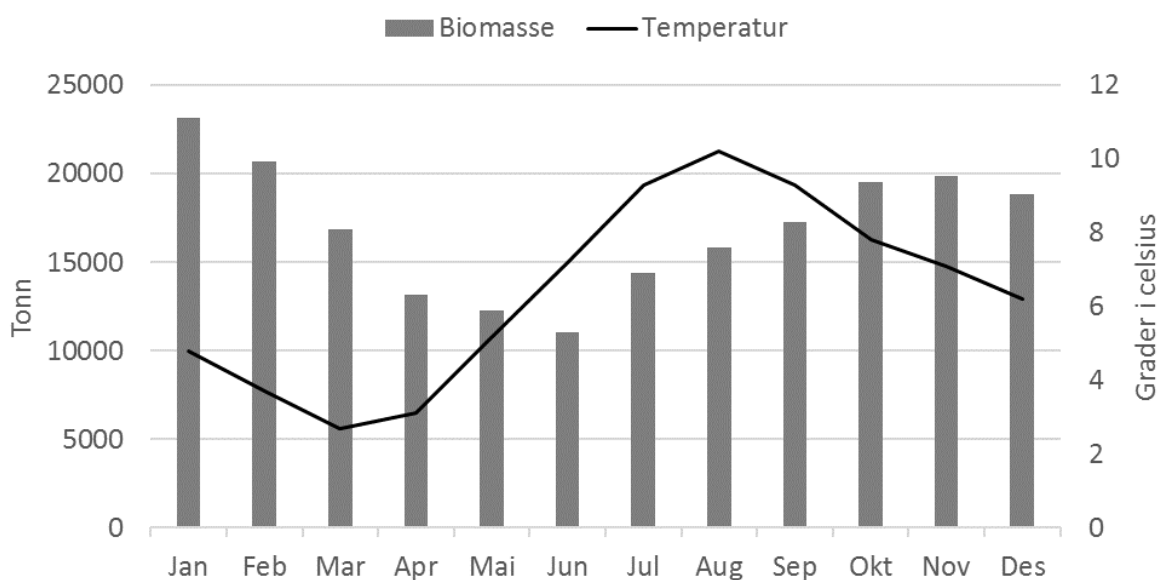
Antall fisk utsatt	
2014	7 759 756
2015	8 623 461
2016	7 985 300
Snitt	8 122 839
Totalt	24 368 517

Cermaq har hatt en gjennomsnittlig oppnåelsesgrad av MTB på 74 prosent de siste tre årene. Utviklingen er har vært fallende fra 81 prosent i 2014, 78 prosent i 2015 til 64 prosent i 2016. Den stående biomassen i sjøen varierer også stort i løpet av sesongen (Figur 10). Den er ikke bare påvirket av slaktevolumet, men også av ytre parametere som temperatur, dødelighet, sykdommer og rømninger. Selv om en produksjon gjerne er planlagt å ligge så nær MTB-grensen som mulig, vil det alltid være ytre påvirkninger som ikke kan styres. Temperatur er den største usikkerhetsfaktoren, men også uforutsette hendelser som sykdomsutbrudd og høye verdier av lakselus er eksempler på parametere som er helt eller delvis utenfor oppdretterens kontroll.



Figur 10: Biomasseutvikling Cermaq i perioden 2014-2016.

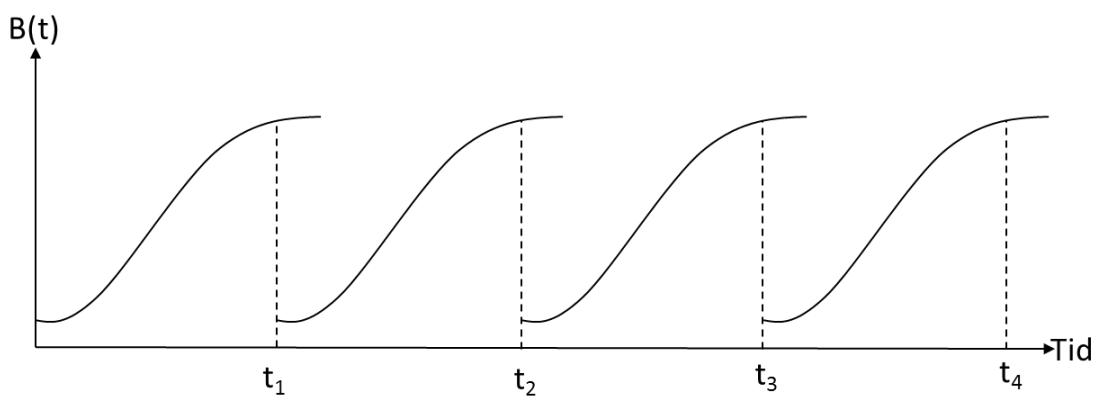
Svingningene i biomasseutvikling gjennom året vil i stor grad være påvirket av temperatursvingning. På grunnlag av historiske data synes det at utviklingen i biomasse beveger seg med to måneders etterslep på temperaturen (Figur 11).



Figur 11: Cermaq biomasse 2016 og temperaturgjennomsnitt for Finnmark.

2.5 Tidligere studier

Tidligere studier har fokusert på å utvikle optimale produksjonsplaner. Problemet har stort sett vært knyttet til når en oppdretter ønsker å slakte og sette ut ny fisk. Dette problemet er kjent fra teorien som rotasjonsproblemet (Figur 12). Flere studier bygger på Martin Faustmann (f. 1822) sitt arbeid om optimal rotasjonstid i skogbrukindustrien. Overført til oppdrettsnæringen, sa Faustmann at optimalt slaktetidspunkt er når marginalinntekten av å la fisken vokse er lik alternativkostnaden av investeringen som er bundet opp i fisken og lokaliteten (Faustmann 1849).



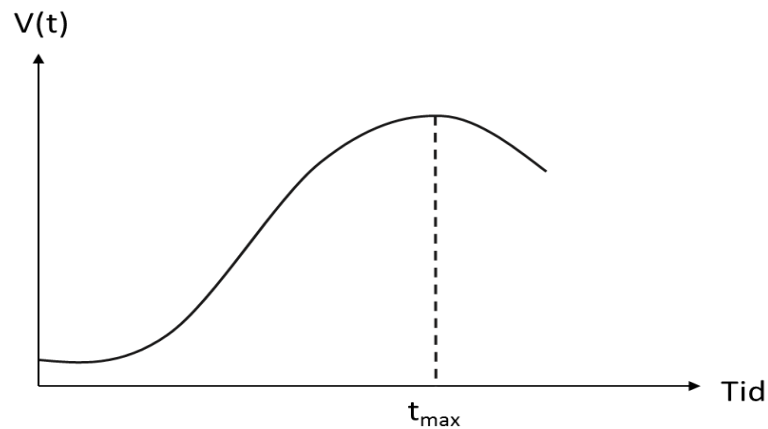
Figur 12: Illustrasjon av rotasjonsproblemet.

Faustmanns arbeid har mange likehetstrekk med oppdrettsnæringen, men er ikke direkte overførbart. Formelen til Faustmann forutsetter at ny prosess starter øyeblikkelig etter den forrige er avsluttet. Dette er ikke forenelig med regler om brakklegging av en lokalitet etter utslakting. I Finnmark kan heller ikke utsett av ny fisk skje vinterstid, på grunn av lave vanntemperaturer. Videre er tilgangen på smolt begrenset gjennom året.

Modellen har senere blitt tilpasset rotasjonsproblemet i oppdrettsnæringen av Atle Guttormsen (Guttormsen 2001). I den mer fleksible modellen til Guttormsen står oppdretteren ovenfor to valg: når skal det settes ut ny fisk, og når skal fisken slaktes. Det finnes lignende bioøkonomiske analyser som tar for seg rotasjonsproblemet.

For eksempel kan biomassen verdi blant annet uttrykkes som en funksjon av tid, der verdien avtar etter at optimal slaktevekt er oppnådd (Asche & Bjørndal 2011).

Prisen per kilo laks vil vanligvis være høyere for stor laks enn for liten laks. Etter tiden (t) vil fisken ha oppnådd sin maksimale vekt. Verdien til fisken er størst på dette tidspunktet (Figur 13). På grunn av dødelighet vil et utsett nå maksimal verdi noe tidligere.



Figur 13: Verdien $V(t)$ av et utsett etter tiden (t) (Asche & Bjørndal 2011).

Tidligere modeller tar ikke høyde for MTB-grensen vi har i dag. De to variablene tilknyttet slakt og utsett i modellen må derfor modifiseres. Et stort utsett av smolt vil nå MTB raskere, og fisken er nødt til å stå kortere i sjøen. Motsatt vil inntreffe dersom det er utsett av færre smolt. Utsett av fisk sees i sammenheng med den slaktevekten en ønsker å oppnå og den biomassebegrensningen som er satt.

Videre har ingen av modellene sett på muligheten for å endre innsatsfaktoren smolt. Det kan tilskrives at den teknologiske utviklingen kun de siste årene har åpnet for mer effektiv produksjon på land, etter utviklingen av resirkuleringsanlegg. Ved å endre vekten på smolt ved utsett vil modellene respondere annerledes. Med en slik modell vil det bli mulig å kombinere både ulike størrelser på smolt og ulik tidspunkt for utsett.

2.6 Kostnadsutvikling

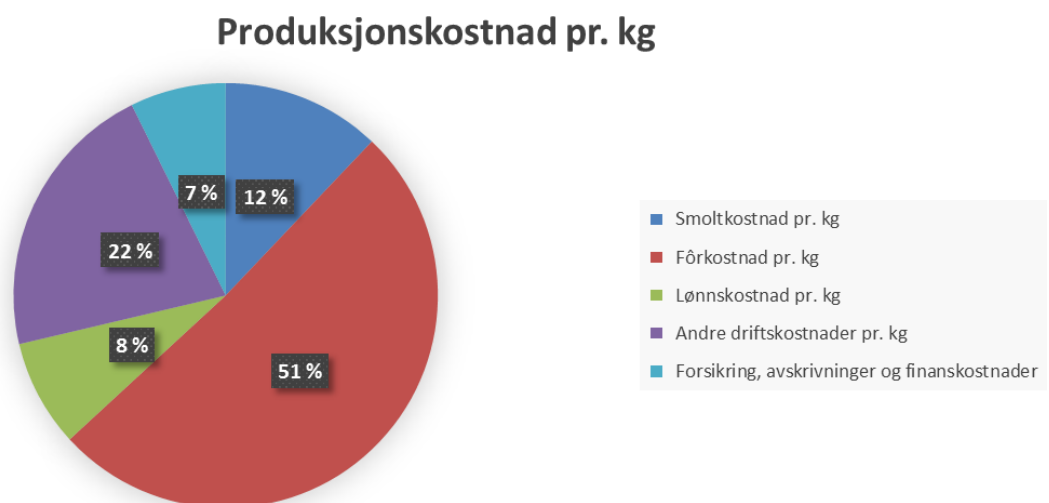
For å forstå hvorfor flere aktører i oppdrettsbransjen ser til en kombinasjonsmodell med mer produksjon i landbaserte anlegg, er det nærliggende å se på kostnadsutviklingen de siste årene. Produksjonskostnaden i sjø har steget betydelig, fra 2012 til 2014 økte kostnadene med 5 kr per kilo (Iversen et al. 2015). Hoppet i produksjonskostnader kan delvis forklares av høyere lønnskostnader, men spesielt kostnader knyttet til kontroll, forebygging og behandling av lakselus har skutt i været. Med disse problemene følger også kostnader

forbundet med økt dødelighet, redusert tilvekst og en høyere fôrfaktor. Tapte fôringsdøgn er bakgrunnen for dette, fisken må sultes en periode på ca 5 dager før behandling av lakselus og det kan medføre at fisken ikke begynner å spise umiddelbart etter. En kan regne med at fisken taper 1.2% vekt per uke med sulting (Iversen et al. 2015).

Produksjonskostnaden for Norge i 2015 lå i snitt på 26.15kr/kg før slaktekostnader (Fiskeridirektoratet 2016b). Produksjonskostnadene til Finnmark og Troms ligger litt over snittet på landsbasis med 26.7kr/kg.

2.6.1 Kostnadsfordeling

Fôrkostnadene er den største kostnadsposten, og utgjør omtrent halvparten av produksjonskostnadene per kilo. Andre driftskostnader er den nest største posten. Her kommer kostnader som avlusing, drift og vedlikehold. Smoltkostnad utgjør 12 prosent av totalen (Figur 14). De resterende kostnadspostene lønn og forsikringer vil i mindre grad bli påvirket av et nytt produksjonsregime med storsmolt.

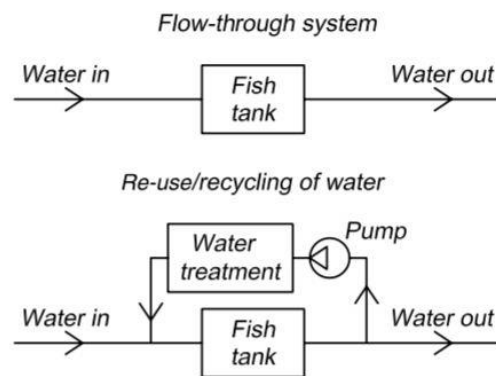


Figur 14: Produksjonskostnader for Finnmark og Troms 2015 (Fiskeridirektoratet 2016a).

Fôrkostnader og avlusingskostnader er blant kostnadspostene som kan tenkes å bli mindre ved bruk av større smolt. Det er tidligere nevnt at forsøk med storsmolt har vist lav fôrfaktor selv ved høy vekstfaktor. Smoltkostnaden vil i andre enden være kostnadsdrivende ved at den står lenger på land. Det er viktig å huske på at ved utsett av storsmolt vil en betydelig del av prisen være fôr; kostnader som hadde påløpt uansett hvor fisken har hatt sin vekst.

2.7 Landbasert produksjon

For å kunne produsere større smolt på land er det nødvendig å investere i ny teknologi og nye landbaserte anlegg. Landbaserte anlegg til storsmolt vil beslaglegge betydelig areal, og vannmengden som kreves er stor. Landbasert produksjon har tidligere møtt på flere problemer. Blant annet høye kostnader knyttet til energi og pumping av vann, samt vanskeligheter med kontroll av vannkvaliteten (Bergheim et al. 2010). Teknologisk utvikling har igjen gjort landbaserte anlegg dagsaktuelle, dette er særlig grunnet teknologifremskritt innenfor resirkuleringsanlegg (Recirculating Aquaculture Systems, RAS). RAS teknologien resirkulerer vannet i motsetning til et tradisjonelt gjennomstrømningsanlegg (Figur 15). Det sørger for bedre muligheter for kontroll av vannkvalitet, temperatur og øvrige prosesser.



Figur 15: Prinsipper for landbaserte anlegg (Lekang 2013).

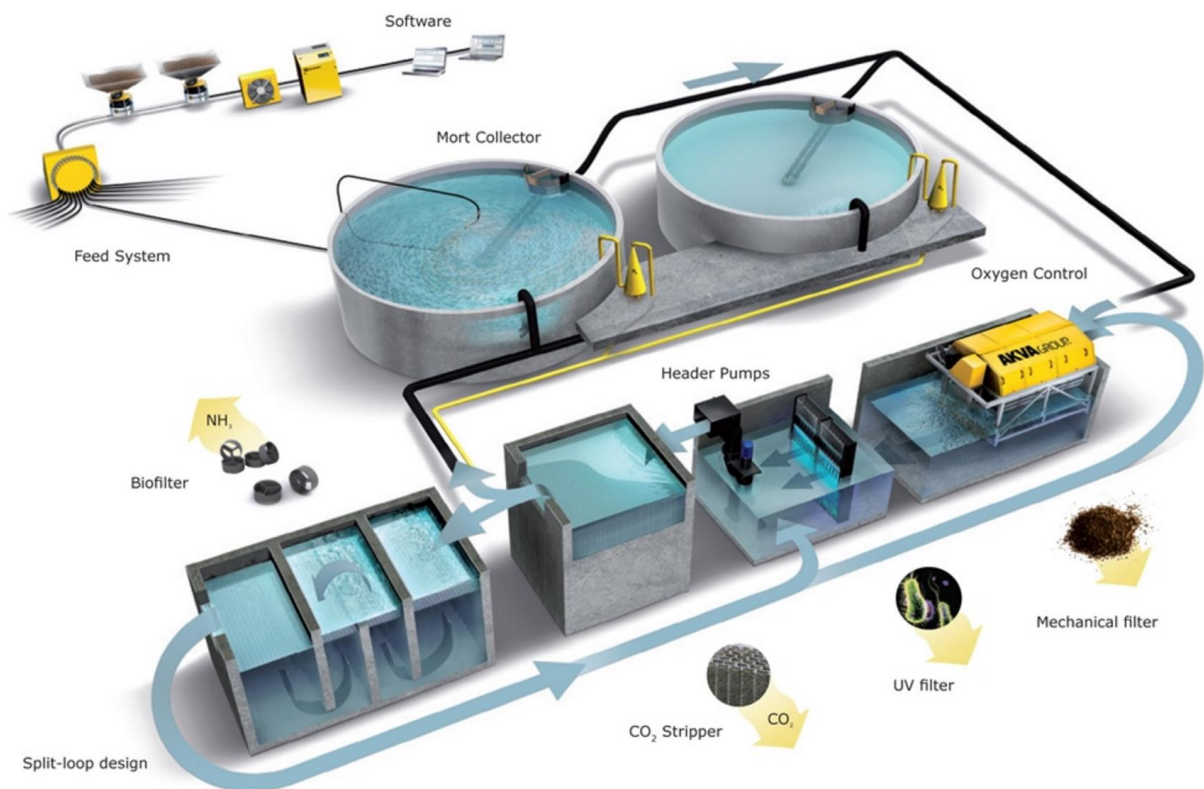
De siste årene har den teknologiske utviklingen i større grad gjort det mulig å drive lakseoppdrett på land. Produksjonsmodeller som inneholder kombinasjon av vekst i et landbasert anlegg og videre vekst i sjø ser ut til å vokse frem (Iversen et al. 2013). Det er først og fremst utviklingen av RAS-anlegg som åpner for lønnsom produksjon av laks utover normal settefiskstørrelse (Davidson et al. 2016). Årsakene til den fremvoksende produksjonen i RAS er knyttet til flere faktorer.

- Stor reduksjon i tilført vannmengde. Teoretisk sett kan alt vann resirkuleres (Lekang 2013), men dette er kostbart og heller ikke hensiktsmessig. Forsøk viser at den praktiske resirkuleringsgraden vanligvis ligger mellom 95-99% (Holan & Kolarevic 2015). Dette åpner for lokalisering av smoltanlegg der det tidligere ikke har vært mulig, med tanke på logistikk er det et viktig fortrinn.

- Lavere energikostnader som følge av gjenbruk av vann sammenlignet med et gjennomstrømnings-system.
- Større kontroll på produksjonen. Parametere som temperatur, pH, O₂, og CO₂ kan styres for å møte de biologiske kravene til fisken og optimalisere driften.

Det er likevel flere som argumenterer for ulempene ved landbasert produksjon i RAS. Disse ulempene er stort sett knyttet opp mot store investeringskostnader og høye driftskostnader (Lekang 2013). Selv om kostnadene er på vei ned som følge av teknologiutviklingen, er det fortsatt betydelig risiko involvert. Risiko er også knyttet til biologiske faktorer, slik som lite erfaring med å holde fisk i lukkede systemer. Dette er et område det er forsket lite på, men som stadig blir mer dagsaktuelt.

2.7.1 Skisse av RAS



Figur 16: Skisse av et moderne RAS anlegg levert av AKVAgroun.

Vannet som resirkuleres behandles og renses en rekke ganger før det igjen passerer fisken. Et standard RAS anlegg vil gjerne inneholde følgende prosesser:

- Mekanisk filtrering. Nødvendig for å filtrere ut avfall slik som avføring, spillfôr og andre partikler.
- UV filtrering (desinfisering av vannet)
- CO₂ stripping (fisken skiller ut CO₂, dette er nødvendig å ta ut)
- Biofilter (fjerner organisk materiale)

I tillegg vil anlegget inneholde varmevekslere for å varme opp inntaksvann.

2.7.2 Arealbehov

Det finnes lite informasjon om arealbehov for RAS anlegg til produksjon av storsmolt. Det er bygget landbaserte RAS anlegg i Canada med produksjon av 2500 tonn laks opp til slaktestørrelse, arealbehovet er på ca 30kg per m² (Boulet et al. 2010). Nofima antar på sin side en produktivitet i landbaserte anlegg på 180kg/m³/år. Hvis en antar karhøyde på 4 meter, vil det si 45kg per m². Johan E. Andreassen er på den andre siden kritisk til Nofima sine anslag. Hans firma, Langesand laks, sier de produserer 1000 tonn laks på 4000 kvadratmeter. Det tilsvarer en produksjon på 250 kg per m² (Andreassen 2013).

I Sintef sin rapport om opprett av laks og ørret i lukkede anlegg kommer det frem at om en klarer å produsere 80 kg per kubikkmeter (20kg per m² med karhøyde 4 meter) vil ikke teoretisk arealbehov for lukkede anlegg være større enn arealbehovet til produksjonen i dagens åpne merder (Rosten et al. 2011).

2.7.3 Investeringskostnader

Det er store usikkerhetsmomenter knyttet til investeringskostnadene for et RAS anlegg til postsmolt. Det finnes få sammenlignbare prosjekter, og de som finnes har sprikende kostnadsestimater. Nofima antar investeringskostnader på 10.000kr/m³, dersom produktiviteten er 180kg/m³/år, og anlegget skal produsere 3.300 tonn årlig (Iversen et al. 2013). Grieg Seafood ved Frode Mathisen mener 25.000kr/m³ karvolum for store prosjekter (Mathisen 2017). I Reppen er det blitt bygget et RAS anlegg til produksjon av større smolt, Helgeland Smolt. De har fått tillatelse til å produsere åtte millioner smolt i året. Ved full drift ser de for seg å produsere 40.000 tonn smolt opp til 250 gram i året. Investeringskostnadene lå her på omkring 300 millioner for nybygget på 13.000m², noe som tilsvarer 23.000kr/m² (Guldbjørnsen 2016; Kyst.no 2016).

3 Materiale og Metode

Problemstillingen er forsøkt besvart i en kombinasjon av informasjonsinnhenting, analysering av publiserte data, og utarbeidelse av modell bygget på bakgrunn av teori og historiske data fra Cermaq.

3.1 Oversikt over oppsett

For å belyse problemstillingen er det satt opp 4 simuleringer med ulike produksjonsmodeller. Simuleringene springer ut fra samme modell som beskrives i detalj senere i kapitlet. De ulike simuleringene danner grunnlag for å sammenlikne Cermaq sin produksjon i dag, og sette de ulike modellene opp mot hverandre. Simuleringene har til hensikt å optimalisere produksjonen under forutsetningene gitt i hver modell. Alle modellene baseres på produksjonssyklusen til laks fra utsett til slaktevekt, og tar for seg den månedlige utviklingen. Ved å kjøre simuleringene er det også ønskelig å undersøke hvor mye en eventuell økning i produksjonen er verdt. Det er gjort ved å undersøke fortjenesten på bakgrunn av ulik laksepris og produksjonskostnader per kilo laks. Under følger en kort innføring i de ulike modellene, før oppsettet er beskrevet i detalj.

Modell 1 – Én lokalitet

Beskrivelse: Utsett av fisk med samme vekt på én lokalitet med MTB på 3600 tonn. Dette er blant det vanligste biomassetaket på lokalitetsnivå for Cermaq i Finnmark. Modellen kjøres tre ganger med tre grupper smolt med ulik vekt: 100, 500 og 1000 gram. Det settes ut 1 million smolt av hver gruppe, tidspunkt for utsett er satt til mai. Tidshorizonten på modellen begrenser seg til én generasjon, til den utsatte fisken er ferdig slaktet.

Hensikt: Ønsker å undersøke hvilken påvirkning smoltvekten har på en lokalitet, kunne vurdere måltall som omløpshastighet og slaktevolum på produksjonen opp mot hverandre.

Modell 2 – Lokalitet med tidsbegrensning

Beskrivelse: Benytter samme oppsett som modell 1, men den er utvidet til å se på en begrenset tidsperiode på 4 år. Smoltvekt på 100 og 1000 gram ved utsett. I motsetning til modell 1 vil flere utsett på lokaliteten forekomme i den avgrensede perioden. Tidshorizont

på 4 år er valgt for å inkludere to generasjoner med 100 gram smolt.

Hensikt: Ønsker å undersøke hvilken påvirkning smoltvekt har på utnyttelsen og omløpshastigheten på en lokalitet over tid. Ser bort i fra smolt på 500 gram, da det er ønskelig å undersøke ytterpunktene 100 og 1000 gram for å se de største forskjellene.

Modell 3 – Lokalitet med tre grupper smolt med ulik vekt.

Beskrivelse: Utsett av tre ulike vektklasser med smolt på én enkeltlokalitet. Utsettstidspunkt er satt til mai og tidshorizonten på modellen begrenser seg til den utsatte fisken er ferdig slaktet.

Hensikt: Ønsker å undersøke hvilken påvirkning ulik vekt vil ha på en enkeltlokalitet, med tanke på utnyttelsesgrad av MTB og slaktevolum.

Modell 4 – Konsern MTB

Beskrivelse: Utsett av smolt fra 200 til 1000 gram på alle Cermaq's 26 lokaliteter, underlagt konsesjonsbegrensningene Cermaq har i dag. Modellen ser på en tidshorizont på 3 år for å sammenlignes med Cermaq sine historiske data (2014-2016).

Hensikt: Ønsker å undersøke hvilken størrelse på smolten som er mest hensiktsmessig dersom en ønsker å maksimere stående biomasse og slaktevolum. Videre er modellen laget for å hente ut nøkkeltall for videre sammenlikning:

- Utnyttelsesgrad av konsern MTB.
- Utnyttelsesgrad av lokal MTB.
- Slaktevolum.
- Omløpshastighet.
- Slaktevekt.
- Totalt antall fisk (utsett, slaktet og døde).

Modell 4 vil også bli kjørt med kun smolt på 100 gram for å kunne få et bedre sammenligningsgrunnlag mot den opprinnelige modellen med storsmolt med varierende vekt. Det er også nødvendig for å kunne verifisere modellen mot de historiske tallene til Cermaq.

3.2 Introduksjon til modellen

Utarbeidet modell vil ta for seg produksjon på enkeltlokaliteter og regionalt på konsesjonene til Cermaq i Finnmark. I beskrivelse av modellen vil det først bli gjort rede for utvikling av fiskens vekt over tid. Videre vil biomasseutviklingen presenteres, samt tidspunkt og volum som skal slaktes. Til slutt vil de ulike begrensningene og forutsetningene som er tatt i modellen presenteres.

Målet er å undersøke om høyere og variert smoltvekt gir bedre utnyttelse av MTB gjennom året, og om utnyttelsen vil føre til økt slaktevolum og økt inntjening. Modellen er utformet i Excel, og benytter seg av verktøyet Excel Solver for å optimere stående biomasse og slaktevolum.

Antall fisk

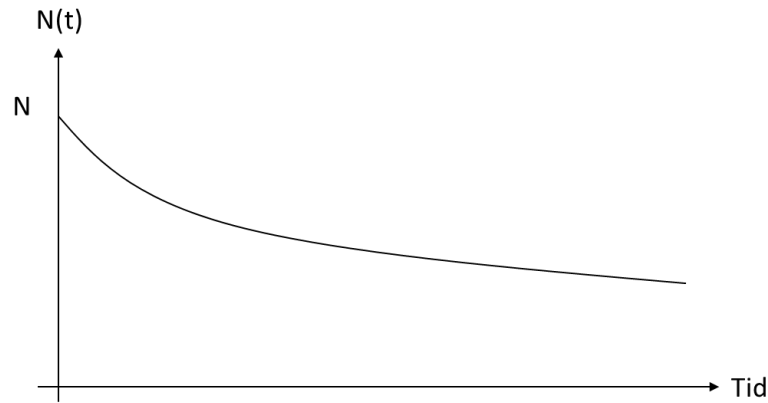
Antall fisk i sjøen vil minke med tiden etter hvert som fisk dør. Andelen fisk i sjøen til enhver tid, $n(t)$, er gitt av formelen:

$$n(t) = N_0(1 - D)^t \quad (3.6)$$

Der D er konstant dødelighetsrate per måned og N_0 er antall fisk ved utsett. Hvis dødelighetsraten stiger vil en større andel av fisken dø. Dødeligheten gjøres konstant for å forenkle modellen.

Dødelighet

Dersom vi antar konstant dødelighet per måned, vil antall fisk N være avtagende etter tiden t . En større mengde fisk vil dø i starten etter utsett (Figur 17).



Figur 17: Illustrasjon av antall fisk ved konstant dødelighetsrate over tid

I utgangspunktet er det mer realistisk med varierende dødelighet gjennom produksjonstiden. For eksempel synes dødeligheten å være større rett etter utsett og ved lavere fiskevekt. For forenklingens skyld er den satt konstant, men den vil variere med størrelsen på fisken ved utsett.

På bakgrunn av forsøk beskrevet innledningsvis er dødeligheten avtagende med størrelsen på smolten ved utsett. Dødeligheten er satt til en lineær utvikling der smolt på 100 gram har en månedlig dødelighet på 0.80 prosent og smolt på 1000 gram har en månedlig dødelighet på 0.20 prosent.

$$D = -0,00067 \cdot v_0 + 0,867 \quad (3.7)$$

der v_0 er smoltvekten ved utsett.

Vekstfaktoren

Vekstfaktoren er presentert i formel 2.3. I modellen er den løst med hensyn til sluttvekten. På bakgrunn av tidligere forsøk i beskrevet i kapittel 2.4 er vekstfaktoren satt til 3,5. Det er på den konservative siden hva gjelder tidligere erfaringer ved bruk av storsmolt.

$$v_{(t)} = \left(v_0^{\frac{1}{3}} + \left(\frac{VF}{1000} \cdot T \cdot t \right) \right)^3 \quad (3.8)$$

Biomasse

Etter hvert som tiden går vil noen fisk dø. Dette vil redusere biomassen i sjøen, samtidig som vekten til fisken og følgelig biomassen vil øke. Stående biomasse etter tiden t , $B(t)$, er i

modellen definert som antall fisk (formel 3.4) multiplisert med vekten av fisken etter tiden t (formel 3.5).

$$B(t) = v(t) \cdot n(t) \quad (3.9)$$

Temperatur

Temperatur er en viktig del av modellen, da den har stor påvirkning på laksens biologiske utvikling og følgelig hvor mye laksen legger på seg i henhold til vekstfaktoren (Formel 3.5). Temperaturforskjellene kan være store fra anlegg til anlegg. Spesielt vinterstid kan anlegg innerst i fjorder ha vesentlig kaldere temperatur enn anlegg som står utaskjærs. Modellen er forenklet ved å bruke en gjennomsnittlig temperaturprofil for Finnmark. Dette er samme temperaturprofil Cermaq bruker i sin produksjonsplanlegging (Tabell 4).

Tabell 4: Temperaturprofil for Finnmark januar-desember. Temperaturer i Celsius.

Måned	Temperatur
Januar	4,8
Februar	3,7
Mars	2,7
April	3,1
Mai	5,2
Juni	7,2
Juli	9,3
August	10,2
September	9,3
Oktober	7,8
November	7,1
Desember	6,2

3.3 Restriksjoner

For å gjennomføre simuleringene, må det innføres en rekke begrensninger. En del av disse restriksjonene er beskrevet tidligere og bestemt av myndighetene eller Cermaq. Der egne forutsetninger er tatt, vil det begrunnes ytterligere.

MTB begrensning

Begrensning på lokalitetsnivå. Stående biomasse etter tiden (t) skal til enhver tid være mindre eller lik lokal MTB på lokaliteten (Vedlegg 1).

$$b(t) \leq \text{Lokal MTB} \quad (3.10)$$

Begrensning på regionnivå. Stående biomasse etter tiden (t) skal til enhver tid være mindre eller lik total MTB i Finnmark.

$$B(t) \leq \text{Regional MTB} \quad (3.11)$$

Vektbegrensning

Slaktevekt er viktig da størrelse gjerne har innvirkning på fiskens pris ved salg. Videre vil større fisk måtte være lenger eksponert i sjø, og være kostnadsbærende opp mot føring og drift. På bakgrunn av gjennomsnittlig slaktevekt i Cermaq er det valgt at fisken skal være minst 4.0 og maksimalt 6.5 kilo ved slakt.

$$4000 \leq V_1 \leq 6500 \quad (3.12)$$

Begrensningen innebærer at slaktning av utsett kan begynne når fisken er over 4.0 kg. Dersom vekten overstiger 6.5 kg slaktes resten av biomassen automatisk.

Utsettstidspunkt

Tiden for utsett er gitt ved at hver lokalitet skal ligge brakk 2 måneder før ny fisk blir satt ut. Videre er utsett kun mulig dersom vanntemperaturen er over 4 grader. Dette utelukker utsett i februar, mars og april. Dette følger samme regime ved utsett som Cermaq har i Finnmark i dag. Modellen tar ikke hensyn til sesongvariasjoner ved levering av smolt, selv om det av naturlige årsaker som regel er størst utsett av fisk i mai/juni og august/september. Det kan likevel sees på som naturlig da levering av større smolt vil føre til bedre fordeling av smoltleveranse gjennom året.

Slaktetidspunkt

Fisken slaktes slik at slaktet biomasse blir størst mulig. Det er lagt inn begrensninger som må være oppfylt ved slakt (Formel 3.9). Videre bestemmes slaktevolumet av Solver, undergitt begrensningene om at minste antall fisk som slaktes er 50 000, og største antall 200 000 per lokalitet. Det er gjort en forenkling i modellen ved at antall fisk som slaktes holdes konstant frem til siste slaktetidspunkt. På en lokalitet slaktes samme antall helt til maksimal slaktevekt på 6.5 kilo er nådd, det resterende antallet vil da bli slaktet.

$$50000 \leq N_s \leq 200000 \quad (3.13)$$

Der N_s er antall fisk slaktet per lokalitet.

3.4 Målverdi

Verdien som modellene skal maksimere er slaktevolumet i tonn og derunder også stående biomasse i sjø opp mot MTB. Modellene vil til enhver tid søke størst mulig slaktevolum og stående biomasse på hver lokalitet underlagt de presenterte restriksjonene. I søken etter å optimalisere utnyttelsesgrad av MTB er det den underliggende produksjonsplanen som optimaliseres. Med dette menes hvilken størrelse smolten har ved utsett, hvor mange smolt som blir satt ved de ulike utsettene og når fisken slaktes.

3.5 Problemløser i Excel

Modellen er satt opp for å bruke problemløseren i Excel (Solver). Det finnes det tre mulige innstillinger for Solver. Innstillingen «Evolusjonær» er valgt på bakgrunn av problemets kompleksitet. Dette er den mest robuste løsningsmetoden, men er også den som bruker lengst tid på å løse problemet. Metoden går ut på at Excel generer et tilfeldig sett med innsatsverdier. Disse verdiene settes inn i modellen, og resultatet vurderes opp mot målverdien som skal maksimeres (Taylor 2016).

Det finnes flere underinnstillinger som kan endres i Solver. Modellen er satt opp slik at dersom det går ti minutter uten at Solver har klart å forbedre målverdien, vil den ha funnet en mulig løsning. I tillegg er det fire andre innstillinger som vil påvirke tidsbruken og hvor optimal en eventuell løsning vil bli:

Sammenfall – Et tall på hvor små forbedringene av målverdien skal være før modellen kommer frem til en løsning. Sammenfall er satt til 0,001. Siden slaktevolumet er oppgitt i tonn, vil det bety at minste forbedring vil være 1kg.

Mutasjonshastighet – Et tall mellom null og en som bestemmer graden av diversitet i modellen. Høyere tall øker sannsynligheten for å finne en optimal løsning, men vil også være mer tidkrevende. Mutasjonshastigheten er satt til 0,075

Populasjonsstørrelse – Et tall mellom 10 og 200. Bestemmer hvor mange variabler problemløseren benytter samtidig i søket på optimal løsning. Et høyere tall øker sannsynligheten for en bedre løsning, men vil også være mer tidkrevende. Populasjonsstørrelsen er satt til 200 i modellen.

Tilfeldig seeding – Bestemmer hvilket utgangspunkt problemløseren skal ha i simuleringen. Denne er satt til null da det er ønskelig at Excel velger et tilfeldig utgangspunkt.

3.6 Datagrunnlag

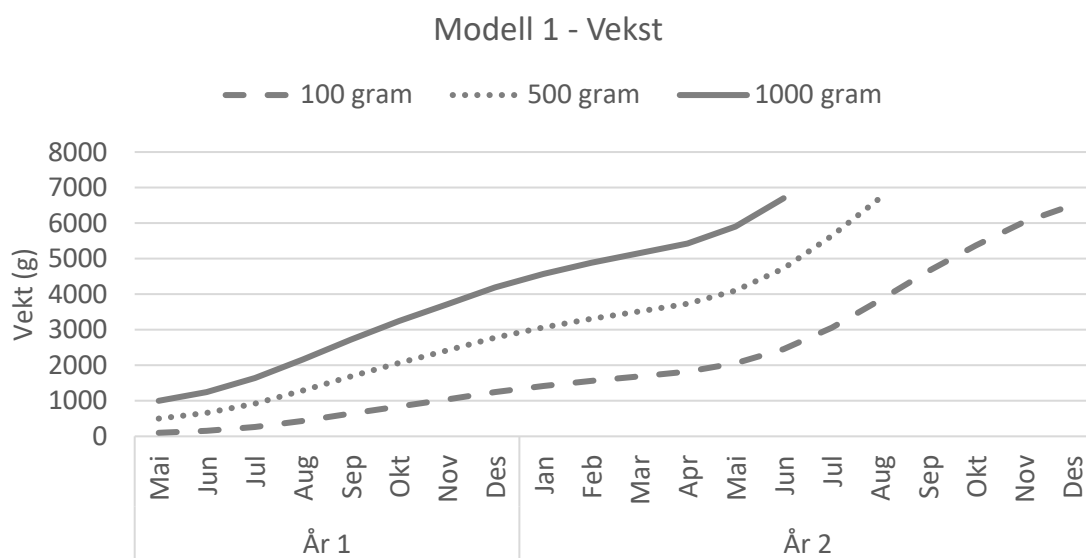
Datagrunnlaget for de videre analysene baser seg i hovedsak på historiske data fra produksjonen til Cermaq. Innhenting av data har skjedd gjennom programvare som Cermaq benytter til rapportering og budsjettering (herunder FishTalk og Horizon). Datagrunnlaget beskriver de tidligere produksjonssyklussene, og er hentet ut for å kunne sammenligne dagens drift mot resultatene.

Datagrunnlag som ikke er bedriftsspesifikt, er hentet fra fiskeridirektoratets statistikkbank om akvakultur.

4 Resultater

4.1 Modell 1 – Én lokalitet

Utsett av smolt ved 100 gram vil nå en slakteklar vekt over 4 kilo på 16 måneder, og maksimal vekt 6.5 kilo etter 19 måneder. Utsett av smolt ved 500 gram tar henholdsvis 12 og 15 måneder. Utsett av smolt ved 1000 gram tar på sin side 7 og 13 måneder. Alt ved utsett i mai (Figur 18).



Figur 18: Vektutvikling ved ulike startvekt og utsett i mai.

Slaktevolum er forholdsvis likt uavhengig av opprinnelig smoltvekt. Grunnet avtagende dødeligheten ved økende smoltvekt er det noe større slaktevolum der smoltvekten er høyere.

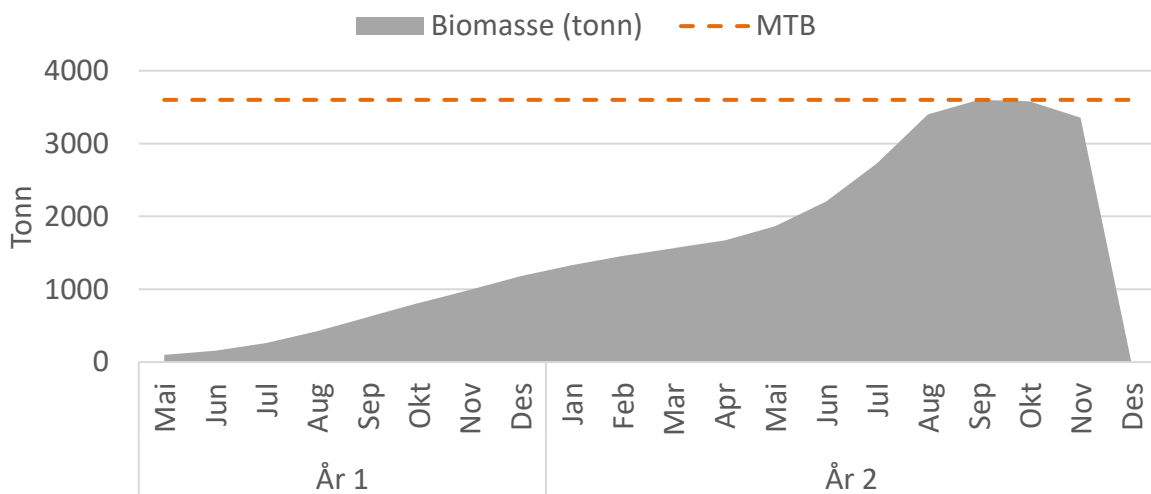
Sammenlignet med smolt på 100 gram, fører dødeligheten videre til at det blir slaktet 111 712 flere fisk ved utsett av smolt på 1000 gram, og 61 602 ved utsett av smolt på 500 gram (Tabell 5). Dette skyldes primært høyere dødelighet for den minste smoltgruppen, og lengre eksponeringstid i sjø før utslakting.

Gjennomsnittlig slaktevekt går ned ved høyere smoltvekt, det er først og fremst fordi en setter ut samme antall smolt for alle gruppene, noe som fører til tidligere slakt ved 500 og 1000 gram smolt for å ikke overstige MTB på lokalitetsnivå.

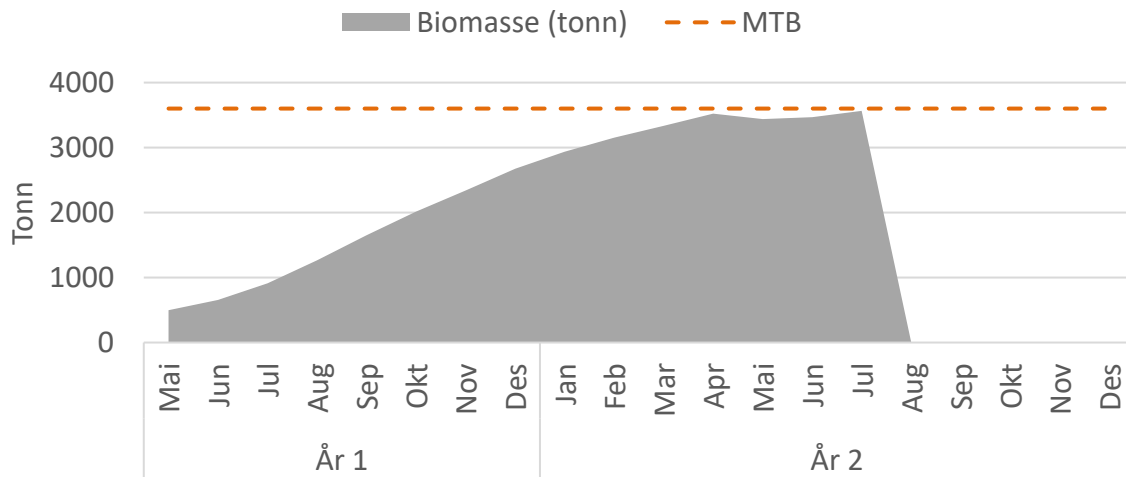
Tabell 5: Måltall fra modell 1.

	100 gram	500 gram	1000 gram
Antall fisk slaktet	867 867	929 469	979 579
Antall døde fisk	132 133	70 531	20 421
Slaktet biomasse (tonn)	4 791	4 810	5 018
Slaktevekt (gj.snitt kg)	5,52	5,17	5,12
Slakt av MTB	1,33	1,34	1,39

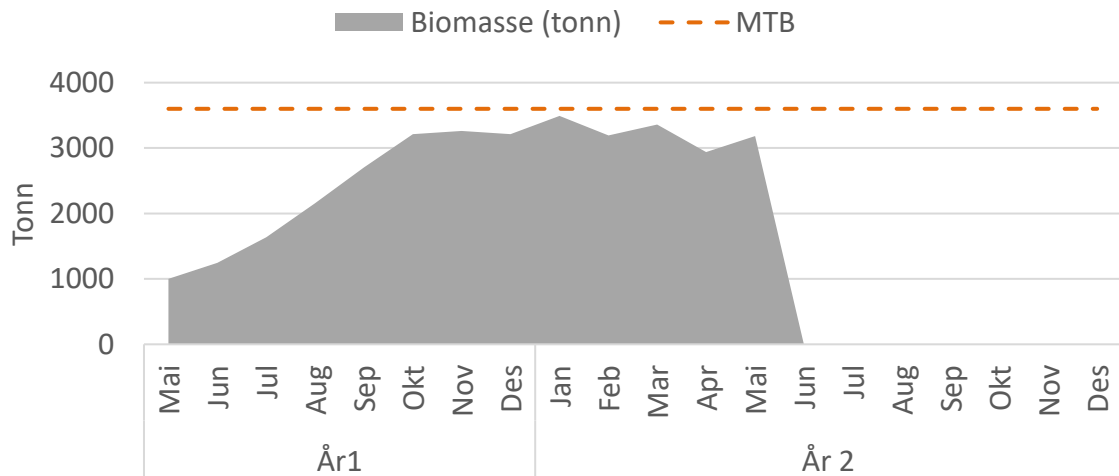
Utsett av 1 million smolt på 100 gram fører til at biomassen kommer opp til MTB-grensen på 16 måneder, og er ferdig uslaktet etter 19 måneder (Figur 19). For smolt på 500 gram er tilsvarende 11 og 15 måneder (Figur 20). Smolt med vekt på 1000 gram er på sin side kommet opp til MTB-grensen på 6 måneder og er ferdig slaktet ut på 12 måneder (Figur 21). Ved utsett i mai reduseres omløpshastigheten med fire måneder fra 100 til 500 gram smolt, og ytterligere 2 måneder fra 500 til 1000 gram smolt. Denne omløpshastigheten er beregnet ut ifra et ønske om et maksimalt slaktevolum på et utsett. Ved å slakte fisken tidligere vil følgelig en lavere omløpshastighet på generasjonen forekomme.



Figur 19: Biomasseutvikling for smolt med startvekt 100 gram.



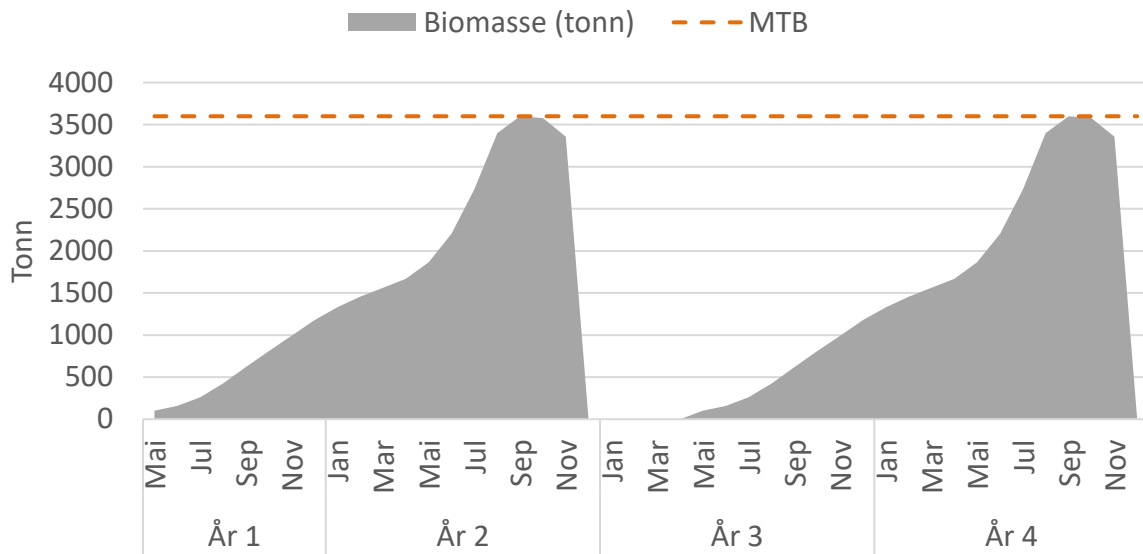
Figur 20: Biomasseutvikling for smolt med startvekt 500 gram.



Figur 21: Biomasseutvikling for smolt med startvekt 1000 gram.

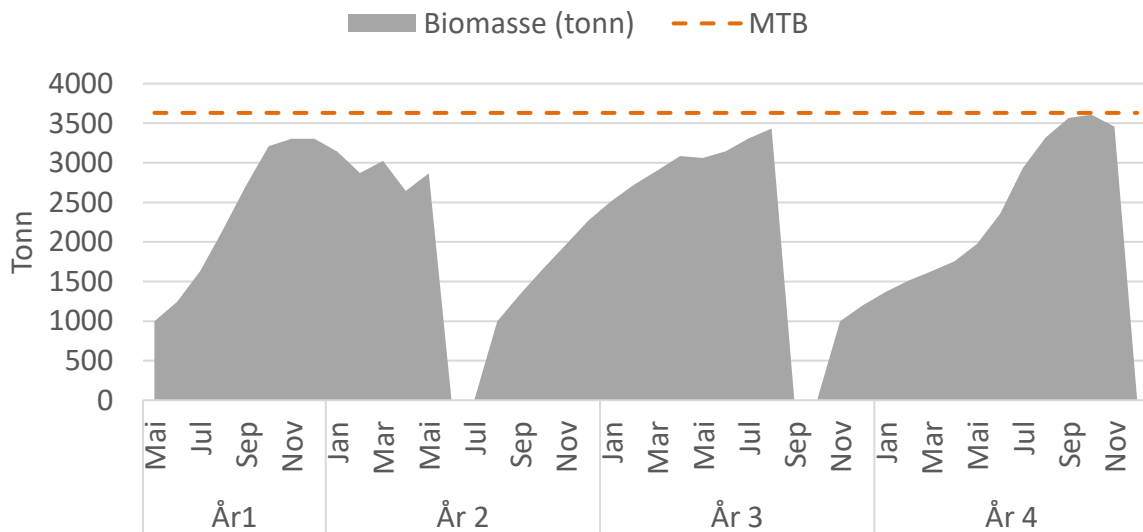
4.2 Modell 2 – Lokalitet med tidsbegrensning på 4 år.

I løpet av fire år på en lokalitet vil to generasjoner bli slaktet ut dersom smoltvekten er 100 gram (Figur 22). Omløpshastighet på generasjonen er 19 måneder fra fisken er satt ut til den er slaktet. Av 2 millioner utsatt fisk blir det i perioden slaktet 9582 tonn fordelt på 1 735 734 fisk, det gir antall døde fisk lik 264 266 og en slaktevekt på 5,52kg.



Figur 22: Biomasseutvikling ved utsett av 100 gram smolt over 4 år.

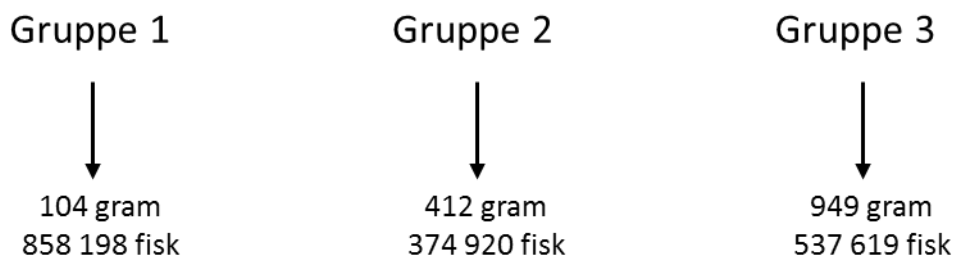
Ved utsett av storsmolt på 1kg vil det i løpet av fire år bli slaktet ut tre hele generasjoner (Figur 23). Omløpshastigheten per generasjon er 12 til 13 måneder fra fisken er satt ut til den er slaktet. Av 3 millioner utsatt fisk blir det i perioden slaktet 14980 tonn, fordelt på 2 938 905 fisk, det gir antall døde fisk lik 61 095 og en slaktevekt på 5,10kg. Den ekstra generasjonen fører til et økt slaktevolum på 5398 tonn i perioden, det tilsvarer en økning på 56.3 prosent.



Figur 23: Biomasseutvikling ved utsett av 1000 gram smolt over 4 år.

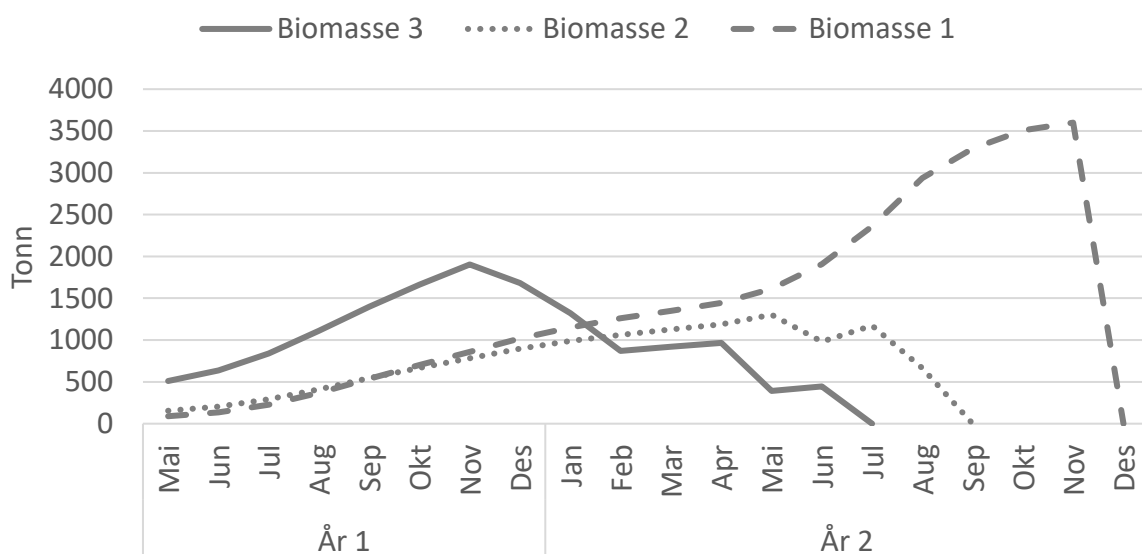
4.3 Modell 3 – Lokalitet med tre ulike grupper smolt

Totalt settes det ut 1 770 737 smolt på lokaliteten for å oppnå et optimalt slaktevolum på 8451 tonn fordelt på 1 614 458 laks. Det utgjør en dødelighet på 8.83 prosent i perioden. Slaktet biomasse utgjør 2.35 ganger MTB på lokalitetsnivå, og gjennomsnittlig slaktevekt er 5.235 kg. Modellen gir en optimal løsning på smoltvekt og utsett av fisk der 48.5 prosent av fisken settes ut med en vekt på 104 gram, 21.2 prosent med vekt på 412 gram og de resterende 30.4 prosentene settes ut med en vekt på 949 gram (Figur 24).



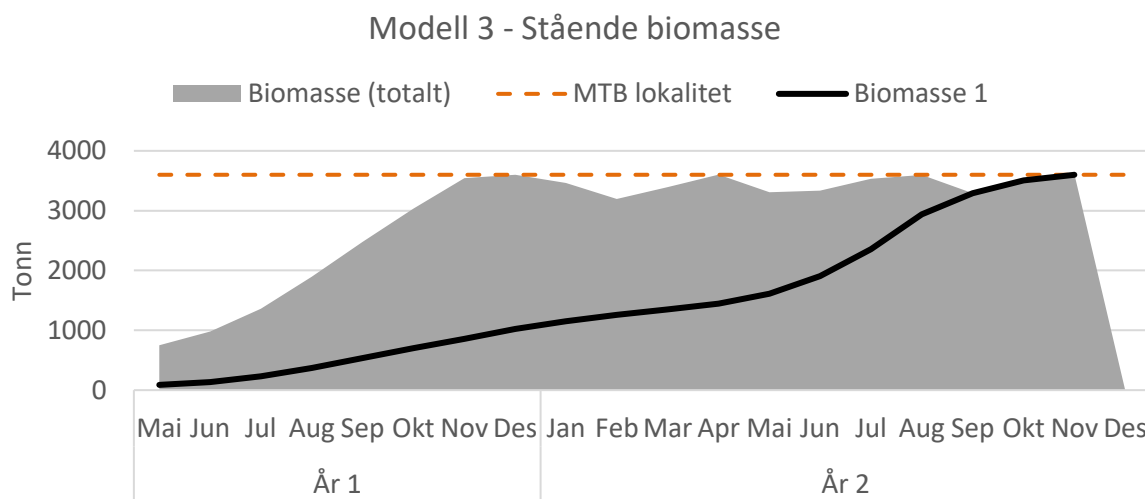
Figur 24: Oversikt over smoltvekt og antall fisk ved utsett.

Som følge av ulik vekt ved utsett slaktes også de tre gruppene på forskjellig tidspunkt. Slakt begynner først på gruppe 3 i november, så gruppe 2 i mai påfølgende år, og tilslutt gruppe 1 i august år 2 (Figur 25). Omløpstiden på lokaliteten er 19 måneder fra utsett til alt er slaktet ut.



Figur 25: Biomasseutvikling til de tre ulike smoltgruppene med ulik startvekt.

MTB på lokalitetsnivå nåes etter 7 måneder. På grunn av ulikt tidspunkt for slakt holder den stående biomassen seg tett på MTB i om lag 13 måneder (Figur 26). Den svarte streken symboliserer biomassen til den minste smoltgruppen. Alt over den svarte linjen er derfor ekstra biomasse knyttet til de to andre smoltgruppene.

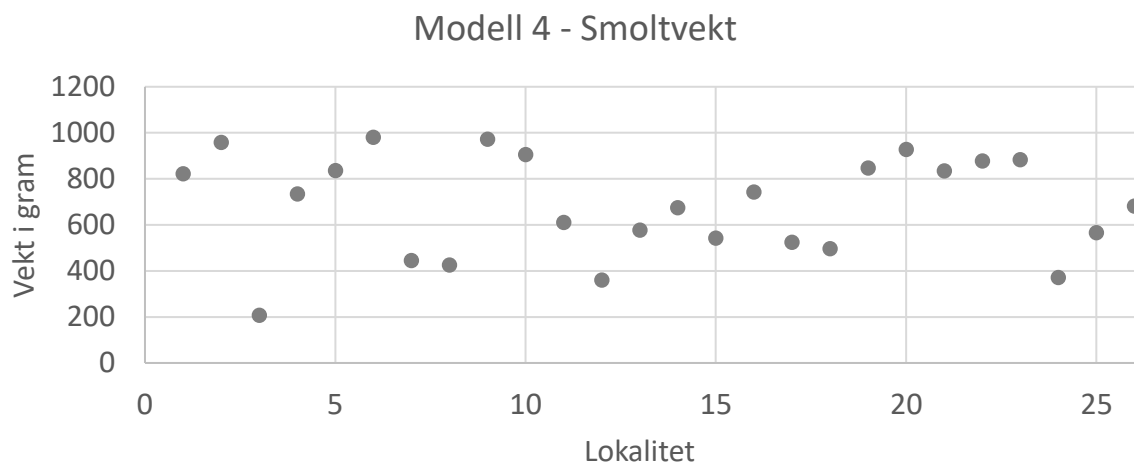


Figur 26: Den totale biomasseutviklingen på en lokalitet med tre grupper smolt med ulik startvekt.

4.4 Modell 4 – Konsern MTB.

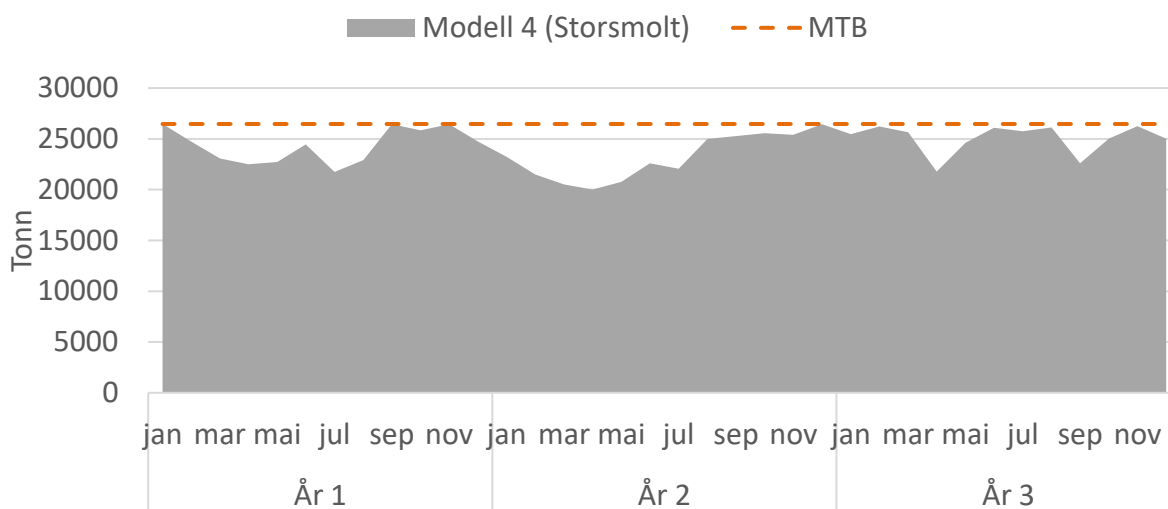
Konsern MTB – utsett av storsmolt med varierende vekt

Modell 4, som ser på alle 28 konsesjonene til Cermaq Finnmark, har kommet frem til et resultat der smoltvekten i gjennomsnitt på 26 ulike lokaliteter er 685 gram med et standardavvik på 214.3 gram. Smoltvekten varierer fra 207 gram på det laveste til 981 gram på det høyeste (Figur 27).



Figur 27: Distribusjon av smoltvekt på Cermaq sine lokaliteter.

Den stående biomassen er i mindre grad utsatt for sesongvariasjoner (Figur 28). Den gjennomsnittlige MTB oppnåelsen i løpet av 3 år er 91.4 prosent. I løpet av de 3 årene varierer MTB på årsbasis fra 87.6 prosent til 94.7 prosent.



Figur 28: Stående biomasse på Cermaq sine 26 lokaliteter i Finnmark ved utsett av storsmolt av varierende vekt.

Den stående biomassen er i snitt 24 192 tonn, og slaktet biomasse er 45 943 tonn per år. Det blir i snitt slaktet 1,90 ganger den gjennomsnittlige stående biomassen i sjøen, og 1,74

ganger MTB-grensen på 26460 tonn (Tabell 6). Omløpshastighet per generasjon er i gjennomsnitt 15,4 måneder i perioden.

*Tabell 6: Oversikt over måltall knyttet til biomasse, slaktevolum og omløpshastighet.
Biomasse i tonn.*

	<i>Stående biomasse</i>	<i>Slaktet biomasse</i>	<i>Omløpshastighet på biomassen</i>	<i>Omløpshastighet på MTB</i>
<i>År 1</i>	24 337	45 791	1,88	1,73
<i>År 2</i>	23 191	43 527	1,88	1,65
<i>År 3</i>	25 048	48 511	1,94	1,83
Snitt	24 192	45 943	1,90	1,74
Sum	-	137 829	-	-

Det settes ut mellom 8.7 og 9.5 millioner fisk hvert år, og det slaktes mellom 8.3 og 9.0 millioner (Tabell 7). Det tilsvarer en dødelighet på mellom 7.2 og 4.8 prosent per år, med en gjennomsnittlig dødelighet på 5.7 per år sett over hele perioden. Ytterligere informasjon om slakt og dødelighet på lokalitet finnes i vedlegg 2.

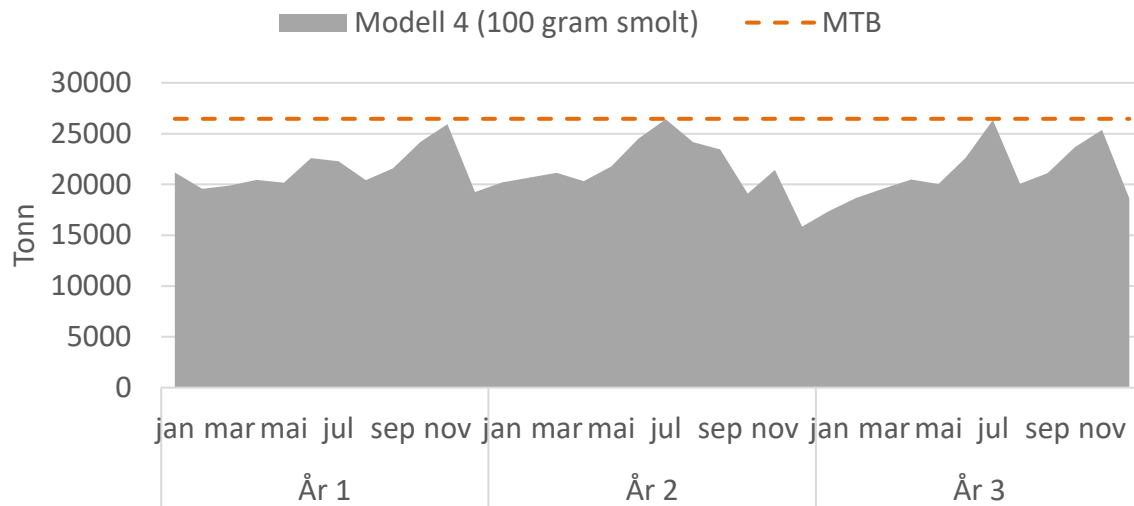
Tabell 7: Oversikt over antall fisk i modellen.

	<i>Antall fisk (utsett)</i>	<i>Antall fisk (slaktet)</i>	<i>Antall fisk (døde)</i>
<i>År 1</i>	9 430 839	8 751 707	679 132
<i>År 2</i>	8 744 719	8 298 540	446 179
<i>År 3</i>	9 455 733	9 003 907	451 826
Snitt	9 210 430	8 684 718	525 712
Totalt	27 631 291	26 054 154	1 577 137

Selv om modellen er satt opp slik at alle lokalitetene skal brukes når det er mulig (utenom brakklegging), viser resultatene at ingen av lokalitetene brukes fullt ut (Vedlegg 3). På det meste utnyttes MTB-grensen i snitt på lokalitetene bare 53.5 prosent, årsaken er MTB på konsernnivå som begrenser produksjonen. Dette åpner for å redusere antall anlegg som er i drift, og redusere løpende kostnader knyttet til drift.

Konsern MTB med 100 gram smolt

Stående biomasse varierer med sesongen, og er lavest på vinteren. Gjennomsnittlig MTB-oppnåelse i løpet av 3 år ligger på 80.9 prosent. I løpet av de 3 årene varierer MTB på årsbasis fra 80.0 prosent til 81.6 prosent (Figur 29).



Figur 29: Stående biomasse på Cermaqs 26 lokaliteter i Finnmark ved utsett av 100 gram smolt.

I snitt er stående biomasse 21400 tonn, og slaktet biomasse 37576 tonn. Det tilsvarer at det blir slaktet 1.76 ganger den stående biomassen i sjøen, og 1.39 ganger MTB-grensen på 26460 tonn (Tabell 8). Omløpshastighet per generasjon er i gjennomsnitt 20.4 måneder i perioden.

Tabell 8: Oversikt over måltall knyttet til biomasse, slaktevolum og omløpshastighet.

	Stående biomasse	Slaktet biomasse	Omløpshastighet på biomassen	Omløpshastighet på MTB
År 1	21 451	39 127	1,82	1,48
År 2	21 583	37 554	1,74	1,42
År 3	21 167	36 047	1,70	1,36
Snitt	21 400	37 576	1,76	1,39

Antall fisk som blir satt ut varierer fra 7.78 til 8.13 millioner, antall fisk slaktet varierer fra 6.65 til 7.00 millioner (Tabell 9). Det tilsvarer en dødelighet på mellom 13.4 til 14.6 prosent per år, med en gjennomsnittlig dødelighet på 14 prosent.

Tabell 9: Oversikt over antall fisk i modellen.

	<i>Antall fisk (utsett)</i>	<i>Antall fisk (slaktet)</i>	<i>Antall fisk (døde)</i>
<i>År 1</i>	8 129 369	6 998 453	1 130 916
<i>År 2</i>	7 803 639	6 757 867	1 045 772
<i>År 3</i>	7 788 587	6 649 351	1 139 336
Snitt	7 907 232	6 801 890	1 105 342
Totalt	23 721 696	20 405 671	3 316 025

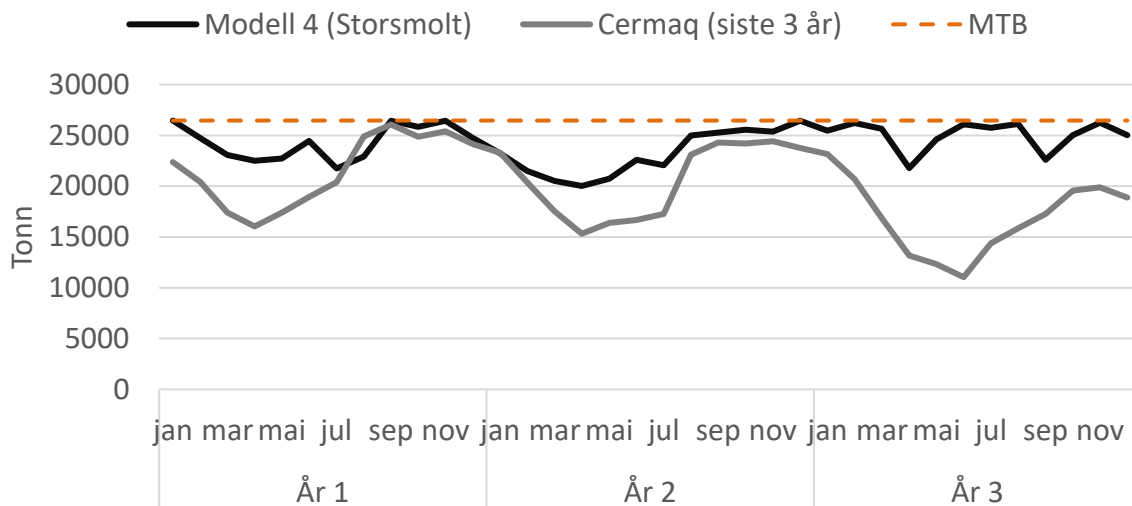
4.5 Sammenligning av resultater

MTB på lokalitet

Ser vi resultatene fra modell 1,2 og 3 i sammenheng vises det at økt smoltvekt kan føre til økt slaktevolum. Det vises spesielt godt dersom en ser på en viss tidsperiode, slik som i modell 2. Resultatene viser også hvor mye økt utnyttelse en kan oppnå på en lokalitet ved å sette flere ulike vektklasser i samme utsett. Slaktevolumet økes med om lag 75 prosent fra modell 1 til 3, og det med lik omløpshastighet på lokaliteten (19 måneder).

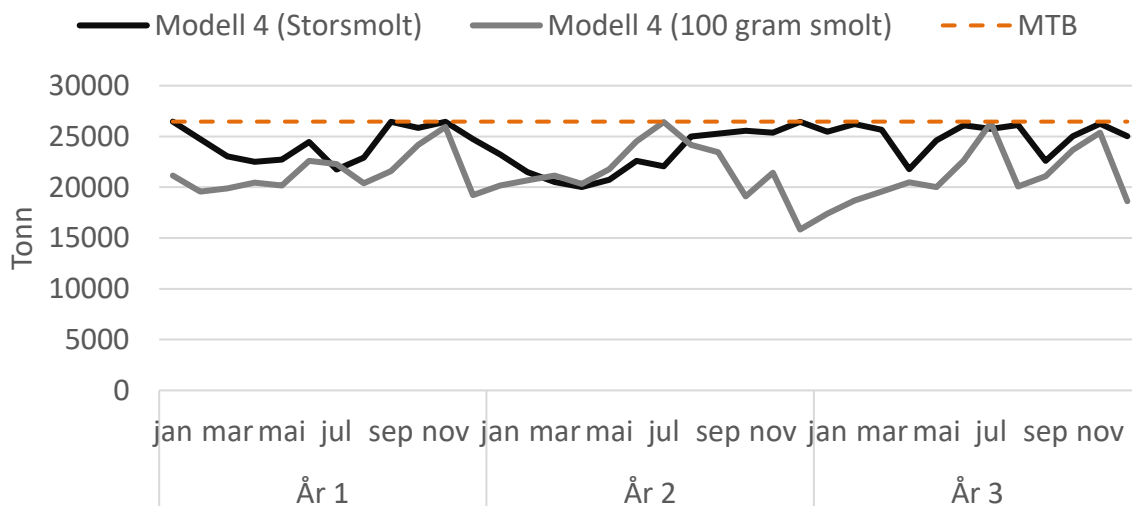
Stående biomasse ved konsern MTB

Utnyttelsen av den regionale MTB-grensen ved bruk av storsmolt er 17.4 prosent høyere enn Cermaq over en treårsperiode. Den stående biomassen til Cermaq har større sesongvariasjoner i perioden. Sesongvariasjonene blir delvis tettet igjen ved bruk av storsmolt med varierende vekt (Figur 30). Det er viktig å presisere at tallene til Cermaq er historiske tall, og ikke direkte sammenlignbare med simuleringen i modell 4.



Figur 30: Sammenligning av stående biomasse. Storsmolt med varierende vekt og Cermaq de siste tre år.

Ved å sammenligne de to simuleringene fra modell 4 kommer det frem at utnyttelsesgraden av den regionale MTB-grensen i snitt er 10.5 prosent høyere ved bruk av storsmolt med varierende vekt kontra smolt på 100 gram. Den stående biomassen til 100 gram smolt varierer også i større grad enn biomassen til storsmolten (Figur 31).



Figur 31: Sammenligning av stående biomasse. Storsmolt med varierende vekt og 100 gram smolt de siste tre år.

Sammenligning av slaktevolum ved konsern MTB

Når den stående biomassen øker vil også slaktevolumet øke ytterligere. Modell 4 med storsmolt viser en økning i slaktevolum på 8367 i snitt per år mot modell 4 med 100 gram smolt. Sett opp mot Cermaq sine historiske tall er økningen i slaktevolum på 12058 tonn. Det tilsvarer en økning i slaktevolum på henholdsvis 22 og 36 prosent.

4.6 Økonomiske resultater

En økning i slaktevolum på 8367 tonn tilsvarer ved en laksepris på 60 kroner ekstra inntekter på 502 millioner kroner. En økning i slaktevolum på 12058 tonn vil på sin side føre til ekstra inntekter på 723 millioner kroner. Dersom vi antar at produksjonskostnadene ekskludert smoltkostnader på 23 kr per kilo gir det det en kostnad på 192.4 millioner for 8367 ekstra tonn, og 277.3 millioner for 12058 ekstra tonn. Gitt en laksepris på 60 kroner per kilo, vil resultatet kunne forsvare en maksimal pris på storsmolt på henholdsvis 33,6 og 48,4 kroner per stykk ved et årlig utsett på 9.2 millioner smolt (Tabell 10). Dette er den høyeste prisen som kan betales per smolt uavhengig av vekt, en dyrere pris vil gjøre produksjonsregime mindre lønnsomt enn dagens regime. Ved en gjennomsnittlig slaktevekt på 5.29kg tilsvarer det en maksimal pris for smolt på 6.6 og 9.2 kroner per kilo slaktet fisk.

Tabell 10: Oversikt over maksimal pris som kan betales per smolt ved ulik laksepris.

Laksepris	Pris per stykk (Modell)	Pris per stykk (Cermaq)
<i>kr 30,0</i>	kr 6,4	kr 9,2
<i>kr 40,0</i>	kr 15,4	kr 22,3
<i>kr 50,0</i>	kr 24,5	kr 35,3
<i>kr 60,0</i>	kr 33,6	kr 48,4
<i>kr 70,0</i>	kr 42,7	kr 61,5
<i>kr 80,0</i>	kr 51,8	kr 74,6

5 Diskusjon

5.1 Diskusjon av modell og oppsett

Hensikten med oppsettet var å lage en modell for å gjenspeile virkeligheten på en best mulig måte, og på den måten få et bedre beslutningsgrunnlag i valg av smoltstørrelse for å øke slaktevolumet. På bakgrunn av eksisterende teori og historiske data ble modellen laget. Likevel kunne modellen ha vært utformet på flere forskjellige måter for å svare på problemstillingen. Modellen som er presentert tar ikke høyde for viktige faktorer innenfor risiko og usikkerhet. Dette er spesielt knyttet til naturgitte parametere slik som sykdomsutbrudd, lakselus og vanntemperatur. Produksjonen vil være svært påvirkelig av disse parameterne. Den optimale løsningen på modellen bør derfor sees i sammenheng med risikobildet i oppdrettsnæringen forøvrig. Videre så tar ikke modellen hensyn til at det i dag betales ulik pris for laks med ulik vekt. Eksempelvis får en stor laks ofte bedre betalt per kilo enn en mindre laks (Asche & Guttormsen 2000). Enkelte mulige begrensninger er heller ikke presentert, dette inkluderer begrensninger i smoltleveranse og på slakteri; Det er ikke sikkert det er mulig å slakte unna biomassen slik modellen legger opp til, og det er ikke sikkert at det er praktisk mulig å levere det antallet storsmolt som modellen foreslår.

Modellen opererer med et utsett av gangen per lokalitet. Det skyldes at den ser på lokaliteten som én enhet, men i realiteten vil lokaliteten bestå av flere merder. Forenklingen fører til at det i virkeligheten kan settes en enda større variasjon av fisk på hver lokalitet, og det til forskjellig tid. En annen svakhet ved modellen er at den er delt opp på månedlig basis. Veksten til en laks kan være formidabel på en måned med høye vanntemperaturer. Den månedlige inndelingen kan gjøre at laks som overstiger maksimal vekt på 6.5kg blir slaktet tidligere enn nødvendig.

Et eksempel fra modellen er som følger:

Fisk med vekt 5,63 kilo blir slaktet ut i juni. Årsaken er at fisken ville ha oppnådd en vekt på 6,67 kilo måneden etter. Dersom modellen hadde vært delt opp på ukentlig basis ville vi ha fått mer detaljert oversikt over biomasseutviklingen. Slakting av fisken kan fortsette i 3 ekstra uker før fisken overskrider modellens maksimale tillatte vekt (Tabell 10). På grunn av denne forenklingen er det rimelig å anta at slaktevolumet og utnyttelsen av MTB kan økes noe ytterligere.

Tabell 11: Eksempel på vekst på ukebasis, vekt i gram.

Uke 1	Uke 2	Uke 3	Uke 4
5878	6133	6395	6665

5.2 Diskusjon av resultater

Resultatene viser at slaktevolumet kan økes betraktelig ved bruk av større settefisk, og ved å kombinere smolt med ulik vekt. Det er i samsvar med de få forsøkene som har vært gjennomført de siste årene, samt uttalelser fra selskaper som har endret produksjonsregime til bruk av storsmolt (Aslak 2016; Holan & Kolarevic 2015; Soltveit 2017). Ekstra slaktevolum på regionalt nivå stammer først og fremst fra utsett av 1.08 millioner ekstra smolt per år.

For at resultatene skal være gyldige er det viktig å være klar over sammenligningsgrunnlaget, Cermaq's historiske. Cermaq mener på sin side at den lave utnyttelsen de siste årene skyldes problemer med smoltleveranse og lusesituasjonen i sjø. Dersom dette ikke er en situasjon som vedvarer vil ikke spriket i slaktevolumet bli det samme, men foreløpig er det ikke noen umiddelbar løsning på utfordringene med lakselus.

5.2.1 Lokalitetsnivå

Ser vi på én generasjon slik som i modell 1, så er det kun forskjell i dødelighet som fører til ulikt slaktevolum. Fordi modellen ser på én generasjon uavhengig av produksjonstid, så vil ikke omløpshastigheten ha innvirkning på slaktevolumet. Det er en betydelig forskjell i dødeligheten på smolt på 100 gram og smolt på 1000 gram. Forskjellen ved utsett av 1 million smolt utgjør et økt slaktevolum på 4.7 prosent. Den lave dødeligheten til storsmolten (0.20 % per måned) er et usikkerhetsmoment i modellen. Selv om dødeligheten er lav i forhold til smolt på 100 gram, så er den høyere enn Nofima og Lerøy Midt sitt forsøk med postsmolt, der var dødeligheten under 0.10 prosent over 30 dager (Holan & Kolarevic 2015). Selv om en lavere dødelighet fører til noe høyere slaktevolum, er det først når vi ser på generasjonens omløpshastighet at slaktevolumet virkelig kan økes. Det kommer frem på lokalitetsnivå i modell 2. Årsaken er at det kan settes ut flere generasjoner fisk i tidsrommet. Det er biomassen til denne fisken som utgjør mesteparten av økningen i slaktevolum. Ved utsett i mai vil en ha en omløpshastighet per generasjon som er 31.6 prosent raskere med smolt på 1000 gram. Et viktig aspekt ved denne omløpshastigheten er at den springer ut fra at målverdien slaktevolum skal maksimeres i en fireårsperiode. Fisken kan slaktes allerede

etter 8 måneder da den har nådd en vekt på over 4 kilo. En kan dermed ha en omløpshastighet som er ytterligere 5 måneder raskere, det samsvarer med produksjonstiden til Luna på Færøyene (Aslak 2016).

De to første modellene har vist at økt slaktevolum kan komme som et resultat av lavere dødelighet og en raskere omløpshastighet. I modell 3 kommer det frem en tredje faktor som bidrar til å øke slaktevolumet. Ved å variere smoltvekten på en lokalitet kan den utnyttes vesentlig bedre. Ved bruk av 3 grupper smolt med ulik vekt åpner det for en lengre produksjon per lokalitet samtidig som en kommer raskt opp til MTB. Om 3 smoltgrupper er optimalt antall for en lokalitet er ikke blitt undersøkt, men det er sannsynlig at utnyttelsen vil økes med et høyere antall grupper smolt med ulik vekt. Det kan tenkes at det er mer utfordrende å få levert mange grupper smolt med ulik vekt. Sammensetningen av de ulike smoltgruppene er også av interesse. Modellen legger opp til at 48.5 prosent av fisken skal settes ut som tradisjonell 100 gram smolt. Dette er med på å vise at en ikke trenger å øke smoltevekten på all smolten som settes ut, og at tradisjonell smolt fortsatt kan være en del av produksjonsplanen.

5.2.2 Konsernnivå

Ser vi på modell 4 kommer det tydelig frem at det er den regionale MTB-grensen som begrenser produksjonen. Etersom ingen av lokalitetene i løpet av perioden har en biomasse som blir påvirket av den lokale MTB-grensen, der er derfor ikke nødvendig å ha så mange anlegg i bruk som modellen har lagt til grunn. Dette underbygges også godt av kombinasjonsmodellen (Modell 3) at en lokalitet kan utnyttes i større grad ved bruk av storsmolt av varierende vekt. Det muliggjør lavere driftskostnader ved å ha færre anlegg i bruk. Produksjon kan dermed foregå nærmere lokalitetens MTB-grense. Driftskostnader utgjør ifølge Fiskeridirektoratet 22 prosent av produksjonskostnadene i Troms og Finnmark på totalt 26,7kr/kg, og utgjør dermed en betydelig del av kostnadene per kilo laks. Driftskostnader inkluderer også kostnader knyttet til forebygging og behandling av lakselus. Det er vanskelig å si om disse kostnadene vil bli ytterligere redusert som følge av å ta i bruk færre anlegg. På en side kan en argumentere for at færre anlegg i drift vil føre til at færre lokaliteter vil måtte avluses. På den andre siden vil en økt tetthet av fisk per lokalitet kunne føre til oppblomstring og større konsentrasjoner av lakselus (Karlsen et al. 2016). Dersom fordelene ved storsmolt som en mer robust fisk med mindre lusepåslag også tas med i vurderingen (Holan & Kolarevic 2015), synes det som fornuftig at kostnadene forbundet med drift og avlusing vil kunne reduseres fra dagens nivå.

Det at omløpshastigheten på MTB øker, kan forklares med at slaktevolumet øker ved bruk av storsmolt. Omløpshastigheten på biomassen øker også noe, det er forholdet mellom slaktet biomasse og stående biomasse. Ettersom begge disse tallene stiger vil det si at produksjonen er effektiv og at en opprettholder tilstrekkelig stående biomasse i sjøen ved slakting. Dersom kun biomassens omløpshastighet hadde økt, kunne det ha vært et resultat av nedslakting eller en reduksjon av den stående biomassen utover tilveksten. Det er blant annet årsaken til at Cermaq har hatt en høy omløpshastighet på biomassen i 2016. Stående biomasse har blitt redusert fra et gjennomsnitt på 20551 tonn i 2015 til 16921 tonn i 2016.

Dødeligheten er en usikkerhetsfaktor som går igjen i samtlige av modellene. Det kan både argumenteres for at dødeligheten er for lav for storsmolt og at den er for høy for tradisjonell smolt på 100 gram. Usikkerheten bunner ut i om dagens krevende situasjon i sjø er normalen fremover. Dersom dødeligheten i modellen beskriver virkeligheten på en god måte er det mulig for en oppdretter å sette ut færre fisk enn tidligere og på den måten oppnå tilsvarende slaktevolum. Ved dagens laksepriser virker det riktignok mer hensiktsmessig å sette så mye smolt som lokaliteten tillater, gitt at den ekstra kostnaden til storsmolt ikke overstiger den ekstra inntekten ved økt slaktevolum.

5.2.3 Lønnsomhet

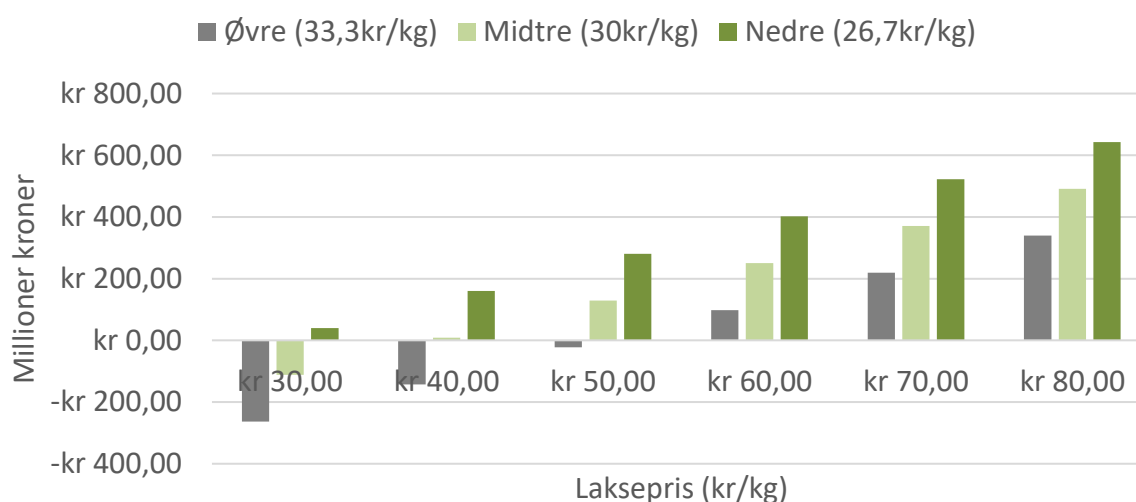
Bortsett fra investeringskostnadene til et landbasert anlegg er det to faktorer som vil påvirke lønnsomheten; produksjonskostnadene og lakseprisen. Dersom dagens situasjon i oppdrettsnæringen og de historiske tallene til Cermaq legges til grunn, vil økningen i slaktevolum i modell 4 kunne forsvare en smoltpris på maksimalt 48.4kr per stykk ved utsett av 9.2 millioner smolt i året og en laksepris på 60 kroner kiloen. Det tilsvarer en maksimal produksjonskostnad på 35.44 kroner per kilo slaktet fisk, dersom vi antar at produksjonskostnadene er 26.7kroner i dagens produksjon . Ved denne kostnaden vil dagens produksjon og produksjonen simulert i modell 4 være like lønnsomme. Ved vurdering av lønnsomheten er det viktig å ta hensyn til at en del av produksjonskostnadene blir flyttet fra sjø til land, dette er ikke tatt hensyn til ved beregning av den økonomiske lønnsomheten ved storsmolt. Deler av prisen på smolt vil inkludere førkostnader som ellers hadde påløpt i sjøfasen. I praksis betyr det at en oppdretter kan betale ytterligere for smolten, eller få en høyere fortjeneste dersom en legger til grunn at førkostnadene vil reduseres i sjøen. Det er også grunn til å argumentere for en lavere førkostnad totalt sett basert på en bedre utføring i landbaserte anlegg (Iversen et al. 2013).

Det er vanskelig å predikere kostnadene ved produksjon av storsmolt. Tidligere har det blitt nevnt at oppdrettsselskapet Luna på Færøyene produserer smolt på 500 gram, til samme kostnad som det ellers ville ha kostet å ha fisken i sjøen. I en analyse av de ulike produksjonsregimene fra Nofima kommer landbasert produksjon med en kostnad på 31.09kr/kg (Iversen et al. 2013). Analysen legger her til grunn produksjon av matfisk, det er rimelig å anta at estimatet vil være noe mindre ved produksjon opp til storsmoltstørrelse på land. Det er enighet om at kostnadene er på vei ned, men driftskostnadene er fortsatt et usikkerhetsmoment. Tre alternativer er satt opp for å lettere vurdere lønnsomheten av resultatene opp mot dagens drift.

- Nedre alternativ – Uendret smoltpris, produksjonskostnad 26,7kr/kg.
- Midtre alternativ – Dobbel smoltpris, produksjonskostnad 30kr/kg.
- Øvre alternativ – Tredobbel smoltpris, produksjonskostnad 33,3kr/kg.

Gitt dagens produksjonskostnad på 26,7 kroner per kilo og en laksepris på 60 kroner kiloen vil forbedringen i resultat for de ulike alternativene bli følgende:

Nedre alternativ vil føre til en resultatforbedring på 400 millioner kroner. Midtre alternativ vil føre til en resultatforbedring på 250 millioner kroner. Øvre alternativ vil på sin side føre til en resultatforbedring på 98 millioner kroner (Figur 30).



Figur 32: Resultatforbedring ved ulik laksepris og ulik produksjonskostnad.

En omlegging av produksjonen vil kreve store landbaserte anlegg og tilsvarende store investeringer. Dersom vi tar utgangspunkt i smoltdata fra modell 4, 9.2 millioner fisk med en gjennomsnittsvekt på 685 gram, vil det tilsvare en årlig smoltproduksjon på 6302 tonn. Det beste sammenligningsgrunnlaget vil i dag være Helgeland Smolt som har tillatelse til å produsere 8 millioner smolt i deres nye anlegg på 13 000m². Helgeland Smolt skal i utgangspunktet bare levere fisk opp til 250 gram størrelse. Det er rimelig å anta at anlegg for større smolt vil beslaglegge større areal og ha en større investeringskostnad. Dersom vi legger til grunn et anlegg på 15 000m² vil det kunne tilsvare en investering på totalt 345 millioner kroner. En lignende pris kan også finnes ved å bruke Nofima sitt anslag på 10 000kr/m³ ved en produktivitet på 180kg/m³ per år får vi et volumbehov på 35 000m³ og en investeringskostnad på 350 millioner.

5.3 Videre arbeid

Det er flere problemstillinger innenfor dette temaet som vil være interessante, og som det med fordel kan forskes mer på. Dette gjelder spesielt antall anlegg i drift ved bruk av større smolt. Ettersom det vil ha en betydelig påvirkning på de totale driftskostnadene vil det være ønskelig å se hvor mange anlegg som ikke trenger å være i drift. Videre vil det være hensiktsmessig å se på forskjellige tidspunkt for utsett av storsmolt, for å finne ut hvilke deler av året en ønsker å sette mesteparten av smolten. Det vil også være nødvendig å utrede størrelse og kostnad på RAS anlegg for å kunne produsere den mengden storsmolt som det her legges opp til.

6 Konklusjon

Slaktevolumet og utnyttelsesgraden av MTB kan økes ved bruk av større og mer variert vekt på settefisk. Ved å sette større fisk er det tre faktorer som vil bidra til at slaktevolumet øker; Lavere dødelighet, raskere omløpshastighet per generasjon og variasjon i smoltvekt ved utsett. Lavere dødelighet fører til at flere fisk overlever og blir slaktet i perioden. Ved en raskere omløpshastighet vil det være mulig å sette ut flere fisk i perioden, og derfor også slakte flere generasjoner. Utsett av smolt med ulik vekt vil bidra til å utjevne sesongvariasjonene slik de er i dag. På lokalitetsnivå kan slaktevolumet økes med 75 prosent ved bruk av tre ulike grupper smolt med forskjellig vekt (104, 412 og 949 gram).

På konsernnivå kan utnyttelsesgraden av MTB økes fra 74 til 91.4 prosent ved bruk av storsmolt med varierende vekt fra 207 til 981 gram. Økningen i stående biomasse bidrar til et ekstra slaktevolum på 12058 tonn laks i året. Dersom lakseprisen er 60 kroner per kilo tilsvarer økningen i slaktevolum en ekstra inntekt på 723 millioner kroner. Ved dagens produksjonskostnader, ekskludert smoltkostnader, kan den ekstra inntekten forsvare en maksimal smoltpris på 48.4 kroner per stykk. Ved konstante produksjonskostnader er maksimal kostnad 35.44kr/kg per slaktet fisk.

Resultatene viser også at bruk av storsmolt med varierende vekt vil kunne redusere antall anlegg i bruk, og dermed redusere driftskostnadene som er den nest største bidraget til de totale produksjonskostnadene.

På bakgrunn av resultatene og dagens laksepriser synes det som svært fornuftig å legge om produksjonsregimet til bruk av større smolt med mer variasjon i vekt. Selv med fall i lakseprisen ned mot 40 kr/kg vil det fortsatt være lønnsomt, gitt at produksjonskostnadene ikke overskrider 30 kr/kg.

7 Referanser

- Andreassen, J. E. (2013). *Slakter Nofima rapport: ilaks*. Tilgjengelig fra: <http://ilaks.no/slakter-nofima-rapport/> (lest 02.04.2017).
- Asche, F. & Guttormsen, A. G. (2000). *Seasonal patterns in the relative price for different sizes : biological price generating processes in fish farming*, b. D-2/2000. Ås: Institutt for økonomi og samfunnsfag, Norges landbrukshøgskole.
- Asche, F. & Bjørndal, T. (2011). *The economics of salmon aquaculture*. 2nd ed. utg. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Aslak, B. (2016). *Slaktet fisk på 5,6 kilo på under ett år i sjøen*: ilaks. Tilgjengelig fra: <http://ilaks.no/slaktet-fisk-pa-56-kilo-pa-under-ett-ar-i-sjoen/> (lest 20.04.2017).
- Bergheim, A., Lange, G., Braaten, B., Statens, f. & International Research Institute of, S. (2010). *Vurdering av nye tekniske løsninger for å redusere utslippene fra fiskeoppdrett i sjø*, b. 2010/134.
- Boulet, D., Struthers, A. & Gilbert, É. (2010). *Feasibility study of closed-containment options for the British Columbia aquaculture industry: Innovation & Sector Strategies*, Aquaculture Management Directorate, Fisheries and Oceans Canada.
- Davidson, J., May, T., Good, C., Waldrop, T., Kenney, B., Terjesen, B. F. & Summerfelt, S. (2016). Production of market-size North American strain Atlantic salmon *Salmo salar* in a land-based recirculation aquaculture system using freshwater. *Aquacultural Engineering*, 74: 1-16.
- Einen, O. & Mørkøre, T. (1996). *Føringslære for akvakultur*: Landbruksforlaget. 235 s.
- Faustmann, M. (1849). Berechnung des Wertes welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. *Allgemeine Forst-und Jagd-Zeitung*, 15 (1849): 7-44.
- Fiskeridirektoratet. (2016a). *Fiskeridirektoratets statistikkbank*. Tilgjengelig fra: <http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur> (lest 28.03.2017).
- Fiskeridirektoratet. (2016b). *Lønnsomhetsundersøkelse for laks og regnbueørret: Matfiskproduksjon*. Tilgjengelig fra: <http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Loenksomhetsundersokelse-for-laks-og-regnbueoerret/Matfiskproduksjon-laks-og-regnbueoerret> (lest 06.03.2017).

- Forskrift om drift av akvakulturanlegg. (2008). Lovdata. Tilgjengelig fra:
<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-822> (lest 22.02.2017).
- Guldbjørnsen, Y. I., Emil. (2016). *Hundremillionersanlegget i lille Røddøy blir et av verdens største i sitt slag*: NRK. Tilgjengelig fra: <https://www.nrk.no/nordland/her-skal-atte-millioner-oppdrettslaks-klekkes-hvert-ar-1.12738600> (lest 25.03.2017).
- Guttormsen, A. G. (2001). *Faustmann in the sea : optimal rotation in aquaculture*, b. D-11/2001. Ås: Institutt for økonomi og samfunnsfag, Norges landbrukshøgskole.
- Hoff, K. G. & Bjørnenak, T. (2010). *Driftsregnskap og budsjettering*. 5. utg. utg. Oslo: Universitetsforl.
- Holan, A. B. & Kolarevic, J. (2015). Postsmoltproduksjon i resirkulert sjøvann på land, 40/2015: Nofima.
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Larsen, T. A., Terjesen, B. F. & Andreassen, O. (2013). *Oppdrettsteknologi og konkurranseposisjon*. Tromsø: Nofima.
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Andreassen, O., Brandvik, R. K., Marthinussen, A. & Nystøyl, R. (2015). *Kostnadsdrivere i lakseoppdrett ; Rapport/Report 41/2015 – English summary*.
- Karlsen, Ø., Finstad, B., Ugedal, O. & Svåsand, T. (2016). *Kunnskapsstatus som grunnlag for kapasitetsjustering innen produksjons-områder basert på lakselus som indikator*.
- Kyst.no. (2016). *Helgeland Smolt vil årlig klekke 8 millioner smolt*: kyst.no. Tilgjengelig fra:
<http://kyst.no/nyheter/helgeland-smolt-vil-klekk-8-millioner-smolt-arlig/> (lest 05.05.2017).
- Lekang, O.-I. (2013). *Aquaculture engineering*. I, s. 190-200. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Mathisen, F. (2017). *Mailutveksling med Frode Mathisen ved Grieg Seafood* (16.02.2017).
- Regjeringen. (2015). *Sjømatmeldingen. Meld. St. 10 (2015-2016)*. Tilgjengelig fra:
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-10-20152016/id2461010/sec1> (lest 07.04.2017).
- Regjeringen. (2016). *Nye regler for landbasert oppdrett* [Pressemelding]. Tilgjengelig fra:
<https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nye-regler-for-landbasert-oppdrett/id2502424/> (lest 15.02.2016).
- Rosten, T. W., Ulgenes, Y., Henriksen, K., Terjesen, B. F., Biering, E. & Winther, U. (2011). *Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg-forprosjekt. SINTEF Fiskeri og Havbruk*.

Soltveit, T. (2017). *Storsmolten vokser raskt*: Kyst.no. Tilgjengelig fra:
<http://kyst.no/nyheter/storsmolten-vokser-raskt/> (lest 02.05.2017).

Taranger, G. L., Svåsand, T., Kvamme, B. O., Kristiansen, T. & Boxaspen, K. (2014). Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2013.

Taylor, B. W. (2016). *Introduction to Management Science*, b. 12: Pearson Education Limited. 864 s.

Vedlegg 1 – MTB på lokalitet

Nr	Lokalitet	MTB
1	Jernelva	2 700 tonn
2	Kirkeneset	2 700 tonn
3	Kuvika	2 700 tonn
4	Sloppegrunn	2 700 tonn
5	Enkeneset	3 120 tonn
6	Skinnstakkvika	3 120 tonn
7	Eidsnes	3 480 tonn
8	Hundbergan	3 480 tonn
9	Kråkevika	3 480 tonn
10	Nordnes	3 480 tonn
11	Olderfjord	3 480 tonn
12	Rivarbukta	3 480 tonn
13	Store Lerresfjord	3 480 tonn
14	Tuvan	3 480 tonn
15	Ellevika	3 600 tonn
16	Ellevika	3 600 tonn
17	Hamnefjord	3 600 tonn
18	Kråkeberget	3 600 tonn
19	Marøya	3 600 tonn
20	Toknebuktnes	3 600 tonn
21	Vassvika	3 600 tonn
22	Ytre Koven	3 600 tonn
23	Husfjorden	4 500 tonn
24	Komagnes	5 400 tonn
25	Slettnes	5 400 tonn
26	Storholmen	5 400 tonn

Vedlegg 2 – Output modell 4 med storsmolt

Nr	Smoltvekt (g)	Dødelighet (per mnd)	Antall fisk per utsett	Biomasse	
				ved slakt (tonn)	Antall fisk per slakt
1	823	0,32 %	549782	971	117696
2	958	0,23 %	553658	1649	117923
3	207	0,73 %	513355	1684	68679
4	735	0,38 %	560452	1396	46679
5	837	0,31 %	377934	1750	67429
6	981	0,21 %	429923	1228	37856
7	446	0,57 %	435845	1191	62069
8	426	0,58 %	460642	1306	90760
9	972	0,22 %	526771	791	53560
10	906	0,26 %	488544	1115	96812
11	611	0,46 %	446834	1029	137229
12	360	0,63 %	340359	854	46198
13	577	0,48 %	481505	1369	36734
14	675	0,42 %	463651	1201	96315
15	543	0,50 %	397362	1449	146692
16	743	0,37 %	367757	958	124223
17	525	0,52 %	518981	1797	52081
18	497	0,53 %	510819	1136	74149
19	847	0,30 %	569780	1861	142067
20	928	0,25 %	515389	882	120675
21	835	0,31 %	513769	1906	147713
22	878	0,28 %	515047	935	112568
23	883	0,28 %	384729	1124	95060
24	372	0,62 %	482627	1955	70127
25	566	0,49 %	578554	1172	36825
26	683	0,41 %	587707	1868	140752

Vedlegg 3 – Stående biomasse modell 4 storsmolt

Lokalitet Nr.	Maksimal stående biomasse (tonn)
1	2050
2	2116
3	1956
4	2390
5	1949
6	2005
7	1578
8	1629
9	2359
10	1890
11	1670
12	1202
13	1892
14	1742
15	1598
16	1415
17	2208
18	1793
19	2198
20	1927
21	2241
22	2003
23	1476
24	2344
25	2645
26	2235



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway