



Postsmolt – En nøkkel til videre vekst?

- Økonomiske optimeringsmodeller for nye produksjonsregimer i norsk lakseoppdrett

Åsmund Berget

Studentnummer: 216812

Veileder: Professor Ragnar Tveterås

Masteroppgave i Økonomi og administrasjon

Det Samfunnsvitenskapelige fakultet

Handelshøgskolen ved UiS



Universitetet
i Stavanger

**DET SAMFUNNSVITENSKAPELIGE FAKULTET,
HANDELHØGSKOLEN VED UIS
MASTEROPPGAVE**

STUDIEPROGRAM:
Masterstudium i Økonomi og administrasjon

OPPGAVEN ER SKREVET INNEN FØLGENDE
SPESIALISERINGSRETNING:
Økonomisk analyse

TITTEL: **Postsmolt – En nøkkel til videre vekst?**

- Økonomiske optimeringsmodeller for nye produksjonsregimer i norsk lakseoppdrett

ENGELSK TITTEL: **Post-smolt – A key to further growth?**

- Economic optimization models for new production regimes in Norwegian salmon farming

FORFATTER		VEILEDER: Professor Ragnar Tveterås
Studentnummer: 216812	Navn: Åsmund Berget	

OPPGAVEN ER MOTTATT I TO – 2 – INNBUNDNE EKSEMPLARER

Stavanger,/..... 2016

Underskrift administrasjon:.....

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som mitt avsluttende arbeid ved masterstudiet i Økonomi og administrasjon, med spesialisering i Økonomisk analyse på Handelshøgskolen ved Universitetet i Stavanger.

Oppgaven er skrevet i Microsoft Word, mens modellering er foretatt i Microsoft Excel med bruk av tilleggsprogrammet «What`s Best!»

Jeg ønsker spesielt å få takke min veileder, Professor Ragnar Tveterås, for god veiledning og nyttige diskusjoner. I tillegg vil jeg takke Eivind Helland i Blue Planes AS og Lars André Frønsdal i Fister Smolt AS for gode innspill og for å ha delt av sin kunnskap rundt lakseoppdrettsnæringen.

God lesning!

Åsmund Berget

Stavanger 06.06.2016

Sammendrag

De siste årene har veksten i norsk lakseoppdrettsnæring stagnert. Ser man på Regjeringens ambisjoner om en doblett produksjon og inntjening fra dagens havbruksnæring til 2030, kombinert med næringens økende kostnader knyttet til sykdom og lakselus peker alle piler mot at man blir nødt å tenke nytt.

For at myndighetene skal åpne opp for videre vekst er man avhengig av å kunne vise til bærekraftige løsninger, både hva gjelder miljø og økonomi. I denne oppgaven presenteres én mulig løsning på problemet, som både vil kunne bidra til økt produksjon innen dagens gitte rammer, og som samtidig vil kunne være med å bidra til at myndighetene gir tilgang på flere lokaliteter og tillatelser.

Ved hjelp av lineærprogrammering er det i denne oppgaven konstruert 3 modell-anlegg som kan brukes i arbeidet med å sammenligne dagens produksjonsregime der fisken står 14-19 måneder i sjø, med et nytt regime der man produserer postsmolt på land opp til 1000g for å kunne korte ned eksponeringstiden i sjø til 10 måneder. Data til bruk i modellene er primært innhentet fra settefiskprodusenten Fister Smolt AS.

Resultatet fra modellene peker mot at det med bruk av postsmolt vil være mulig med en produksjonstid i sjø på 10 måneder. Dette vil kunne øke oppdretternes produksjonsvolumer og inntjening innenfor dagens gitte rammer i form av en raskere omløpstid på lokalitetene, samt hyppigere brakklegging som vil være fordelaktig for miljøet rundt og under lokalitetene.

Resultatet peker også i retning av at postsmolt kan være et viktig verktøy for at myndighetene skal kunne åpne opp for videre vekst i næringen. Dette begrunnes først og fremst med at man med kortere omløpstid i sjø kan redusere kostnader og problemer knyttet til lakselus. Ved å sette ut en mer robust fisk i sjøen vil man også kunne senke dødeligheten knyttet til dårlig smoltkvalitet. En lavere total dødelighet fører til at man kan sette ut færre fisk og likevel opprettholde produksjonen. Summen av dette peker mot at bruk av postsmolt i et nytt produksjonsregime kan være en «game changer» i norsk lakseoppdrettsnæring.

Innholdsliste

Forord.....	i
Sammendrag.....	ii
Innholdsliste.....	iii
Figurer.....	vi
Tabeller.....	vi
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Problemstilling.....	2
2 Status i norsk oppdrettsnæring.....	3
2.1 Reguleringer og lisenser.....	3
2.1.1 Akvakulturloven.....	3
2.1.2 Konesjoner.....	4
2.2 Produktivitetsutvikling.....	4
2.3 Kostnadsutvikling.....	5
3 Produksjonsprosessen i sjøbasert lakseoppdrett.....	7
3.1 Særtrekk ved sjøbasert lakseoppdrett.....	7
3.2 Livssyklus fra rogn til matfisk.....	8
3.2.1 Rogn.....	8
3.2.2 Yngel.....	8
3.2.3 Parr.....	8
3.2.4 Smolt.....	8
3.2.5 Matfisk.....	9
3.3 Produksjonsutstyr.....	9
3.3.1 Flytemerd.....	9
3.3.2 Fôrflåte.....	10
3.3.3 Arbeidsbåt.....	10
3.4 Arbeidsoppgaver.....	10
3.5 Det økologiske produksjonssystemet.....	11
3.5.1 Tetthet, resipientkapasitet og biofysiske faktorer.....	11
3.5.2 utfordringer med dagens produksjonsregime.....	12
3.5.3 Innovasjon og utviklingstillatelser.....	14
3.6 Fister smolt AS.....	15
3.6.1 Tytlandsvik Aqua.....	15
4 Nytt produksjonsregime - kombinasjon av land og sjø.....	17

4.1	Produksjonsutstyr i et RAS-anlegg	17
4.1.1	Arbeidsoppgaver.....	18
4.1.2	Biofysiske faktorer	18
4.1.3	Vekstfasen i sjø til slakteklar fisk.....	18
4.1.4	Tidligere forsøk med produksjon av postsmolt i RAS-anlegg	19
5	Teori	21
5.1	Investeringsanalyse	21
5.1.1	Beskrive problemet og formulere mål	21
5.1.2	Identifisere og beskrive investeringsalternativ	22
5.1.3	Identifisere nytte- og kostnadsvirkninger	22
5.1.4	Tallfeste og verdsette nytte- og kostnadsvirkninger.....	22
5.1.5	Vurdere investeringsalternativenes lønnsomhet	23
5.1.6	Gjennomføre sensitivitetsanalyser.....	24
5.1.7	Gi en samlet vurdering og anbefaling av investering	24
5.2	Bioøkonomisk analyse	25
5.2.1	Optimalt slaktetidspunkt.....	25
5.3	Rotasjonsproblemet	27
6	Lineære programmeringsmodeller for lakseoppdrett	28
6.1	Sjøbaserte anlegg – Modell 1 og 3	28
6.1.1	Biologiske og fysiske faktorer.....	28
6.1.2	Målfunksjonen.....	30
6.1.3	Restriksjoner.....	32
6.2	Modell 2 – Landbasert.....	34
6.2.1	Målfunksjonen.....	34
6.2.2	Restriksjoner.....	36
6.2.3	Nøkkeltal som rapporteres ved kjøring av modellene	36
6.3	Variabler brukt i modellene.....	36
7	Resultat.....	39
7.1	Resultater fra basismodellene.....	39
7.1.1	Basismodell 1 – Vårutsett.....	39
7.1.2	Basismodell1 – Høstutsett	41
7.1.3	Basismodell 2 - Land.....	44
7.1.4	Basismodell 3 – Vårutsett.....	46
7.1.5	Basismodell 3 – Høstutsett	48
7.2	Oppsummering av basismodellene.....	50
7.3	Justering av modellene tilpasset 10+2 regime	51

7.4	Sensitivitetsanalyser	53
7.4.1	Investeringskostnad RAS-anlegg	53
7.4.2	Produksjonskostnad for postsmolt.....	54
7.4.3	Lusebehandlinger	54
7.4.4	Dødelighetsrate.....	55
7.4.5	Fôrkostnad	55
7.5	Scenarioanalyse	55
7.5.1	Worst case scenario	55
7.5.2	Best case scenario.....	56
8	Oppsummering og konklusjoner	58
8.1	Forslag til videre forskning	59
	Kildeliste	
	Appendiks 1 – Søknader på utviklingskonsesjoner	

Figurer

Figur 1: Utvikling i produksjonsvolum 1986-2014.....	1
Figur 2: Produksjon av ulike proteinkilder (Marine Harvest)	2
Figur 3: Produktivitetsutvikling i laksenæringen.	5
Figur 4: Total mengde solgt laks, samt produksjonskostnad.....	5
Figur 5: Fortjeneste pr. kilo solgt laks	6
Figur 6: Kostnadsfordeling.....	6
Figur 7: Laksens livssyklus (Marine Harvest).....	8
Figur 8: Prinsippskisse av forankring av anlegg	9
Figur 9: Temperatureksposering ved vår- og høstutsett.....	12
Figur 10: Kritisk luse- og sykdomspress ved tradisjonell produksjon (Blue Planet)	13
Figur 11: Lusenivå og bruk av legemidler til avlusning.....	14
Figur 12: Kritisk luse- og sykdomspress ved endret produksjon (Blue Planet)	16
Figur 13: Illustrasjon av ulike produksjonsregimer.....	17
Figur 14: RAS-anlegg, (Niri AS)	17
Figur 15: Prinsippskisse av RAS-anlegg.....	18
Figur 16: Akkumulert dødelighet etter 30 og 100 dager for postsmolt og kontrollgruppe (Nofima)....	19
Figur 17: Biomassens verdi avhengig av tid, (Asche&Bjørndal, 2001).....	26
Figur 18: Optimalt slakketidspunkt med hensyn på tid (Asche&Bjørndal, 2011)	27
Figur 19: Rotasjonsproblemet (Asche&Bjørndal, 2011).....	28
Figur 20: Vekstprofil (M1V).....	40
Figur 21: Fordeling av produksjonskostnad (M1V).....	41
Figur 22: Vekstprofil (M1H).....	43
Figur 23: Fordeling av produksjonskostnad (M1H).....	43
Figur 24: Fordeling av produksjonskostnad (M2B).....	45
Figur 25: Vekstprofil (M3V).....	47
Figur 26: Fordeling av produksjonskostnad (M3V).....	47
Figur 27: Vekstprofil (M3H).....	49
Figur 28: Fordeling av produksjonskostnad (M3H).....	50
Figur 29: Sammenligning av vekstprofiler.....	51
Figur 30: Sammenligning av produksjonskostnad pr.kilo.....	51
Figur 31: Vekstprofiler på justerte modeller	53

Tabeller

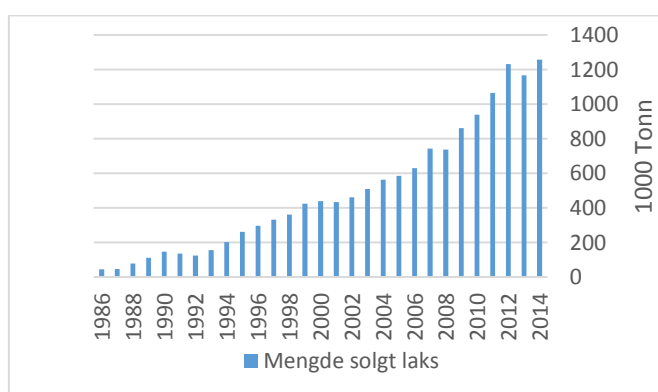
Tabell 1: Analyse av investeringsproblem (Direktoratet for Økonomisk Styring, 2014)	21
Tabell 2: Nøkkeltal fra basismodell 1 på vårutsett (M1V).....	39
Tabell 3: Nøkkeltall fra basismodell 1 på høstutsett (M1H)	42
Tabell 4: Nøkkeltall fra basismodell 2 (M2B)	44
Tabell 5: Nøkkeltall fra basismodell 3 på vårutsett (M3V).....	46
Tabell 6: Nøkkeltall fra basismodell 3 på høstutsett (M3H)	48
Tabell 7: Sammenligning av nøkkeltall fra justerte modeller	52
Tabell 8: Sensitivitetsanalyse av prod.kost på 650g postsmolt	54
Tabell 9: Sensitivitetsanalyse av prod.kost på 1000g postsmolt	54
Tabell 10: Resultater fra endring i månedlig dødelighetsrate.....	55
Tabell 11: Sammenligning av scenarioanalyser	57

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Etterspørselen etter norsk oppdrettslaks har de siste årene økt betraktelig og i 2015 ble det eksportert laks for rekordhøye 47,7 milliarder kr, noe som var en økning på 9% sammenlignet med 2014 (Norges Sjømatråd, 2015). Laks har blitt en av Norges viktigste eksportartikler og Statsminister Erna Solberg omtalte på høyres sentralstyremøte, norsk laksenæring som Norges IKEA.

Brødrene Karstein og Olav Vik fra Sykkylven var de som først gjorde forsøk med oppdrett av laks og ørret her til lands. De gravde ut jorddammer; én for sjøvann, én for ferskvann og én for brakkvann der de beviste at laksen var i stand til både å formere seg, samt ta til seg mat i fangenskap. Fra 1959 gjorde de forsøk med å sette ørret og laks ut i flytekasser. Først i dimensjonen 5x5 meter og deretter 10x10 meter. Dette var startskuddet for utviklingen av det vi i dag kjenner som merder (Berge, 2014a). Det kommersielle startskuddet for oppdrett av laks kom i midlertid ikke før i 1970 da brødrene Ove og Sivert Grøntvedt utviklet sin åttekantede flytemerd, populært kalt «Grøntvedt-merden». De oppnådde umiddelbart ekstremt gode resultater hva gjaldt tilvekst, noe som resulterte i en oppblomstring av oppdrettere i årene som fulgte (Berge, 2014b). Selv over 40 år senere drives det etter Grøntvedt-brødrenes prinsipper, vel og merke i betydelig større skala.







Figur 1: Utvikling i produksjonsvolum 1986-2014

Fra figur 1 kan man se utviklingen av produksjonsvolumet av norsk oppdrettslaks i perioden 1986-2014. Problemer knyttet til næringens bærekraft har gjort at myndighetene har lagt restriksjoner for videre vekst i næringen før man får løst en del problemer som vil bli presentert

senere i denne oppgaven. I Figur 1 vises dette i form av at man siden 2012 har hatt tilnærmet null vekst i norsk oppdrettsnæring. Som en konsekvens av dette tvinges nå næringen til å tenke nytt rundt måten det produseres oppdrettslaks på i Norge, både hva gjelder arealutnyttelse, økt biologisk bærekraft og for å sikre en forsvarlig økonomi.

Rapporten «Verdiskapning basert på produktive hav i 2050» legger til grunn en forventning om at verdens befolkning når 9.mrd innen 2050, og at vi for å holde tritt med både den økonomiske veksten og befolkningsøkningen som øker etterspørselen etter mat, bør øke matproduksjonen med 70% innen 2050. Det hevdes videre at tradisjonelt landbruk ikke vil være tilstrekkelig for å dekke det ventede behovet og at mangel på ferskvann vil kunne redusere matproduksjon på flere områder (Olafsen, Winter, Olsen, & Skjermo, 2012). I tillegg til å være en resurseffektiv måte å produsere mat på, er produksjon av laks også en klimavennlig kilde til protein sammenlignet med andre proteinkilder, som vist i Figur 2.

				
Karbon fotavtrykk kg CO2/kg spiselig kjøtt	2.9 kg	3.4 kg	5.9 kg	30 kg
Vannkonsum liter/kg spiselig kjøtt	1400 liter	4300 liter	6000 liter	15400 liter

Figur 2: Produksjon av ulike proteinkilder (Marine Harvest)

Samme figur viser også mengde vann som behøves for å produsere én kilo av de ulike proteinkildene; laks, fjærkre, svin og storfe. Produksjon av laks scorer bra relativt til de andre proteinkildene både hva gjelder karbon-fotavtrykk og vann-konsum. Likevel forventes det at produksjonsveksten avtar og at årlig vekst i lakseindustrien i perioden 2014-2020 ikke vil være høyere enn 3% (Marine Harvest, 2015). Bakgrunnen for disse antagelsene er som nevnt at næringen har nådd et nivå der de biologiske grensene er presset, og at veksten ikke lenger kan fortsette uten at man tar hensyn til de biologiske utfordringene man står ovenfor.

1.2 Problemstilling

Hovedformålet med denne oppgaven er å se på mulige gevinster ved en endring av produksjonssyklusen i norsk lakseoppdrett. Og problemstillingen er som følger:

- Hvilke økonomiske gevinster oppnår man med bruk av postsmolt og en kortere eksponeringstid i sjø?

I denne sammenhengen er det flere spørsmål man kan stille seg, og følgende spørsmål vil bli besvart i denne oppgaven:

- Kan laksens eksponeringstid i sjø kortes ned til 10 måneder, slik at man med en brakkleggingsperiode på 2 måneder kan sette inn ny fisk i merdene etter 12 måneder?
- Kan bruk av postsmolt eliminere kostnader knyttet til avlusing?
- Kan bruk av postsmolt være med å redusere dødeligheten i norsk lakseoppdrett?

2 Status i norsk oppdrettsnæring

Kapittel 2 gir en innføring i den norske lakseoppdrettsnæringen. Her presenteres sentrale moment rundt næringens regelverk og myndighetenes reguleringer før man videre ser på produktivitets- og kostnadsutvikling i næringen.

2.1 Reguleringer og lisenser

Norsk laksenæring er strengt regulert av myndighetene, og det er ikke fritt frem for hvem som helst å bedrive oppdrett i Norge. Den totale produksjonsmengden til oppdretterne er først og fremst regulert gjennom tillatelsessystemet, som tilsier at man er avhengig av å ha tillatelse/konsesjon for å få lov til å bedrive oppdrett av sjømat. Denne tillatelsen legger videre føringer på hvilke arter man kan produsere, og hvor mye biomasse man kan ha stående i sjøen til enhver tid. MTB¹ er den øvre tillatte totalvekten av levende fisk som holdes i en gitt konsesjon til enhver tid. En standard tillatelse av matfiskproduksjon av laks, ørret og regnbueørret er 780 tonn. Unntaket er i Troms og Finnmark der man gis en tillatelse på inntil 945tonn (Fiskeridirektoratet, 2016a). Bakgrunnen for dispensasjon i disse områdene er svekket tilvekst grunnet lave sjøtemperaturer. Et selskap kan ha flere konsesjoner og flere lokaliteter i sjøen som fisken kan oppdrettes på. De største av dagens oppdrettsanlegg kan ha opptil 7000 tonn MTB. For vår analyse vil det benyttes en lokalitet med 3 tillatelser, som gir en MTB lik 3240 tonn.

2.1.1 Akvakulturloven

Næringen reguleres av 60 lover og forskrifter med akvakulturloven som en av de viktigste. Akvakulturloven har som formål å fremme akvakulturnæringens lønnsomhet og konkurransekraft innenfor rammene av en bærekraftig utvikling, og bidra til verdiskaping på kysten. Loven slår fast at ikke hvem som helst kan drive med akvakultur uten å ha tillatelse/konsesjon. For å bli tildelt en slik konsesjon må man blant annet dokumentere at

¹ Maksimal tillatt biomasse

driften er miljømessig forsvarlig. Loven legger også føringer for tilsyn, miljøovervåking, krav til utstyr, samt opprydning og gjenfangst ved rømming (Akvakulturloven, 2005).

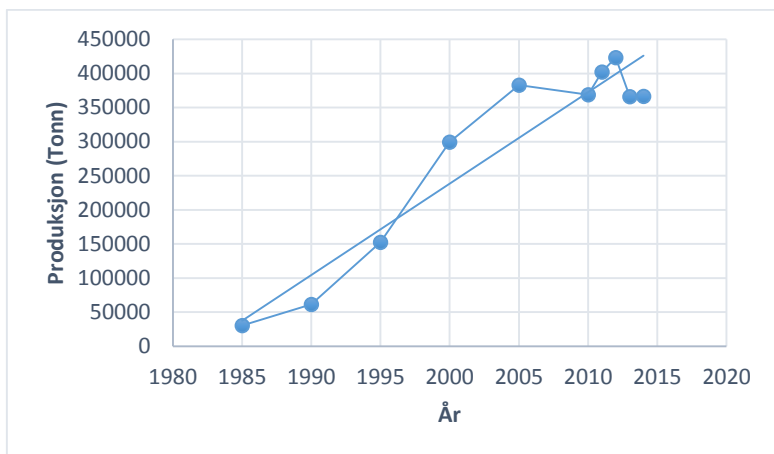
2.1.2 Konsesjoner

En konsesjon gir oppdretteren tillatelse til å drive havbruk av Nærings- og Fiskeridepartementet med hjemmel i lov og forskrifter. Idag gir som nevnt en normal konsesjon tillatelse til produksjon av 780 tonn fisk og flere konsesjoner kan slås sammen på en lokalitet (Akvakulturloven, 2005).

Et av hovedargumentene for den strenge reguleringen av laksenæringen er at næringen skal kunne drives på en bærekraftig måte både sosialt, økonomisk og miljømessig. Utfordringer med dagens produksjonsregime og særlig problemer med lakselus presenteres nærmere i avsnitt 3.5.2 Avslutningsvis i kapittel 2 presenteres nå produktivitets- og kostnadsutviklingen av norsk oppdrettsnæring.

2.2 Produktivitetsutvikling

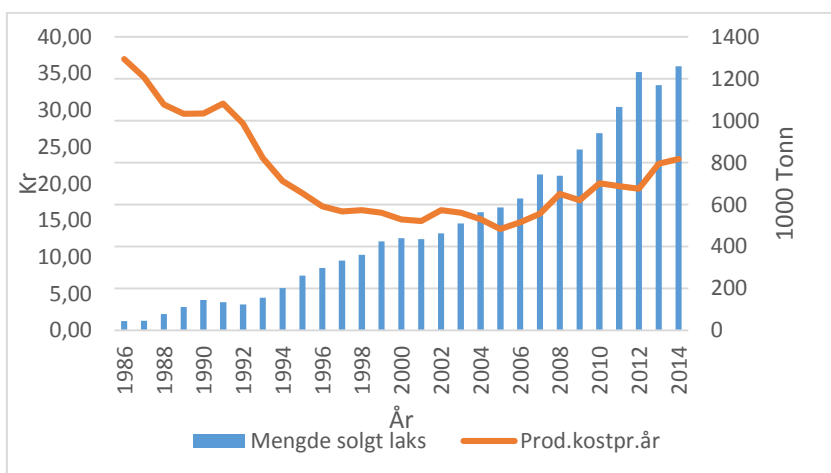
Produktiviteten i norsk oppdrettsnæring har historisk sett hatt en betydelig økning, selv om utviklingen har stagnert de seneste årene. Produktiviteten kan måles i gjennomsnittlig produksjon pr. årsverk og som vist i figur 3 hadde man i 2014 en produktivitet 12 ganger høyere enn det man hadde tilbake i 1985 (Fiskeridirektoratet, 2014). Den store produktivitetsveksten skyldes i hovedsak innovasjon på en rekke områder, som blant annet genetikk (avl), fiskefôr og fôringsutstyr, vaksiner, informasjonsteknologi og produksjonsutstyr (Asche, Roll, & Tveterås, 2012). Asche et al. (2012) hevder at stagnasjonen i produktivitet de seneste år er et resultat av en reduksjon i FoU-intensiviteten. For videre vekst hevder samme rapport at man trolig i større grad må la næringen vokse på egne premisser og at myndighetene bør begrense seg til reguleringer ut fra det som er biologisk og miljømessig bærekraftig. Atle Guttormsen underbygger dette ved å hevde at de foregående års vekst skyldes oppdretternes produktivitetsforbedring så vel som tildelte vekstmuligheter fra myndighetene. Guttormsen hevder videre at dersom Norges oppdrettseventyr skal fortsette, er man avhengig av at norske oppdrettere får tillatelse til å produsere mer laks (Nærings- og fiskeridepartementet, 2014).



Figur 3: Produktivitetsutvikling i laksenæringen.

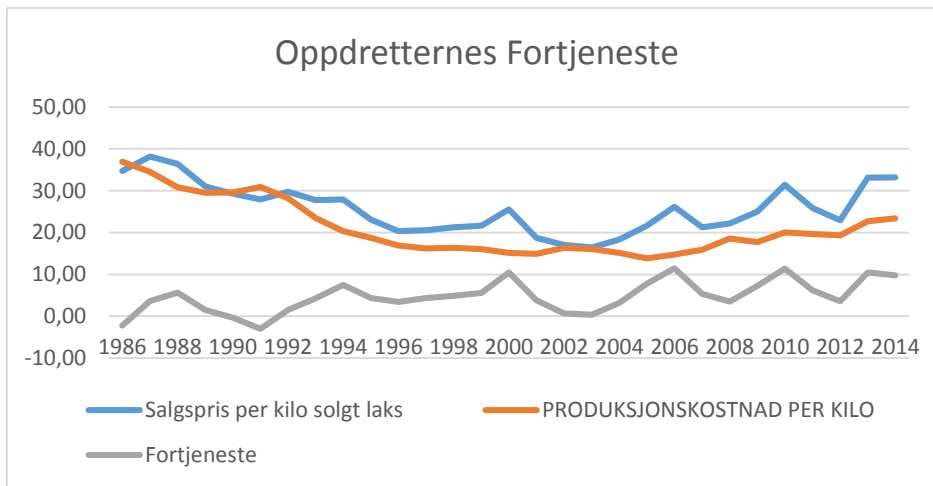
2.3 Kostnadsutvikling

Ser vi på utviklingen av produksjonskostnadene pr. kilo produsert laks ser vi en kraftig fallende tendens frem til 2001 som i stor grad skyldes en underliggende produktivitetsvekst. Siden den gang har kostnadsnivået vært noe mer varierende, men med en klart økende trend fra 2005 som vist i Figur 4. Samme figur gir også en grafisk fremstilling av mengde solgt laks, som kan sies å ha eksplodert siden tusenårsskifte og frem til 2012. Som nevnt i innledningen har veksten deretter stagnert.



Figur 4: Total mengde solgt laks, samt produksjonskostnad.

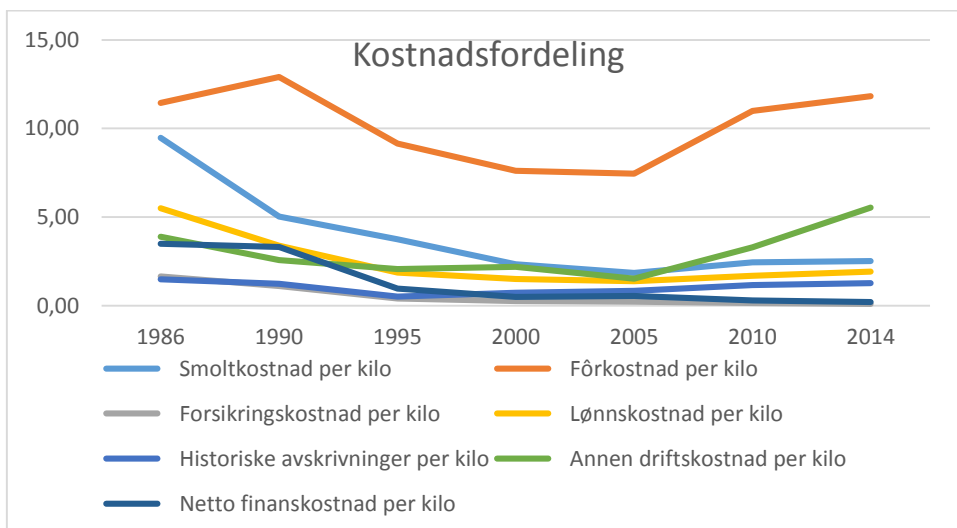
Ser vi på fortjeneste, målt i salgpris pr. kilo minus produksjonskost. pr. kilo ser vi at oppdretterne har tjent gode penger de siste årene selv med økende produksjonskostnader. Dette er naturligvis en konsekvens av den høye salgsprisen man har oppnådd, der man i 2014 oppnådde en salgpris på 33,19 kr/kg, noe som resulterte i en fortjeneste lik 9,81kr/kg.



Figur 5: Fortjeneste pr. kilo solgt laks

Figur 6 viser hvordan total produksjonskostnad har fordelt seg på de ulike kostnadskomponentene. Vi ser at fôrkostnaden utgjør den klart største andelen av produksjonskostnaden og endringer i denne kostnadsposten har derfor stor innvirkning på produksjonskostnaden pr. kilo. I 2014 ble det rapportert en gjennomsnittlig fôrkostnad pr. kilo på 11,83kr (Fiskeridirektoratet, 2014).

Posten «Annen driftskostnad pr. kilo» har hatt en økende andel av den totale produksjonskostnaden pr. kilo siden 2005. Denne posten omfatter blant annet kostnader knyttet til forebygging, forhindring og behandling av lusepåslag og sykdom. Både lusepåslag, avlusing og sykdom fører til redusert vekst og kan også føre til en høyere fôrfaktor. (Iversen et al., 2015) Helseproblemer og kostnader knyttet til lakselus diskuteres nærmere i avsnitt 3.5.2.1.



Figur 6: Kostnadsfordeling

3 Produksjonsprosessen i sjøbasert lakseoppdrett

I dette kapittelet vil det innledningsvis gis en beskrivelse av særtrekkene med sjøbasert oppdrett av laks før det gis en innføring i laksens livsløp fra rogn til ferdig matfisk. Videre blir det gitt en beskrivelse av innsatsfaktorer i det fysiske produksjonssystemet og arbeidsoppgaver som blir utført ved et sjøbasert matfisk-anlegg. Deretter presenteres de biofysiske faktorene som spiller inn i produksjon av laks i et sjøbasert matfiskanlegg. Avslutningsvis beskrives problemer med dagens sjøbaserte lakseoppdrett og hvordan næringen jobber for å løse utfordringene. Her vil også settefiskprodusenten Fister Smolt AS som har gitt tilgang på data til denne oppgaven presenteres.

3.1 Særtrekk ved sjøbasert lakseoppdrett

Oppdrett av fisk skiller seg på flere måter fra andre primærnæringer. Blant annet har man i fiskeoppdrett mye større kontroll enn i tradisjonelt/fangstbasert fiskeri. Et eksempel er at rekrutteringen av fisk bestemmes av røkterens utsett av smolt, da det ikke er noen form for naturlig rekruttering i merdene. I tradisjonelt fiskeri er derimot rekrutteringen stort sett styrt av det komplekse og uoversiktlige økosystemene i havet, samt det totale fangstvolumet fra fiskebåtene. Det samme gjelder tilgang på fôr, der man i tradisjonelt fiskeri i svært liten grad kan styre fiskens tilgang på mat, mens man i oppdrett har svært god kontroll på fôring av fisken, både hva gjelder kvantum og kvalitet. En oppdretter kan også styre uttak av fisk i mye større grad enn man kan ved tradisjonelt fiske. Det argumenteres for at fiskeoppdrett kan sies å ha flere likhetstrekk med landbruk enn det har med tradisjonelt fiske. Det finnes blant annet likhetstrekk ved kyllingproduksjon ved at rekruttering, fôrtilgang og uttak i begge tilfeller kan kontrolleres av oppdretter. En forskjell som bør nevnes her er at man ved produksjon av kylling har bedre kontroll over miljøfaktorer som påvirker produksjonen og at man derfor i større grad enn i merdbasert fiskeoppdrett kan forutsi produksjonen, med de fordeler dette måtte medføre (Tveterås, 1993).

Hvor lang tid det tar fra smolten er satt i sjø til ferdig produsert laks kan sendes til slakting avhenger av temperatur, fôring og vannkvalitet, men også økonomiske forhold spiller inn for når oppdretteren velger å slakte fisken. Oppdretteren står her ovenfor et rotasjonsproblem, som består i å finne optimalt tidspunkt å slakte en generasjon med fisken på, for å kunne frigjøre merdvolum for en ny generasjon med fisk. Dette forklares nærmere i avsnitt 5.3. Videre forklares laksens livssyklus fra rogn til ferdig matfisk.

3.2 Livssyklus fra rogn til matfisk

Prosessen fra rogn til spiseklar laks tar med dagens produksjonsregime to til tre år (Fiskeridirektoratet, 2015). Prosessen starter med utvelgelse av den beste stamfisken, basert på farge- og vekstkriterier.



Figur 7: Laksens livssyklus (Marine Harvest)

3.2.1 Rogn

Rogn strykes så fra hunnlaksen og befruktes med melke fra hannlaks. Når dette er gjort legges rognen på rister i kar for klekking. Laksens livssyklus starter i ferskvann og normalt ligger rognen til klekking i rundt 60 dager ved en temperatur på 8°C før klekking.

3.2.2 Yngel

Etter klekking tar yngelen til seg næring gjennom en sekk på magen, og fisken kalles på dette tidspunktet for «plummeseckyngel». 4-6 uker etter klekking begynner yngelen å ta til seg næring i form av fôr og kan nå flyttes til større kar.

3.2.3 Parr

På dette stadiet har yngelen fått typisk mørke merker langs siden som kalles parr-merker, men yngelen er enda ikke tilpasset saltvann og livet i sjøen. Vaksinerings og sortering er viktig, og stabil vannkvalitet samt grundig renhold er svært viktig i denne delen av vekstfasen.

3.2.4 Smolt

Det siste stadiet før levering fra settefiskanlegget tilpasses yngelen et liv i saltvann. Denne prosessen kalles smoltifisering, og etter 10-16 måneder i ferskvann er laksen klargjort for siste trinn i livssyklusen, som er livet i sjøen. På dette stadiet har fisken en vekt på 60-120g ved et tradisjonelt sett. Under smoltifiseringen endres fiskens utseende og indre fysiologi. Den blir i stand til å skille ut salt over gjellene og gjennom nyrene. Smoltifiseringsprosessen styres ved bruk av lys. Først gis fisken lite lys, før lyset står lenger på for hver dag. På denne måten tror fisken at det nå går fra vinter til vår og at det dermed er klart for utvandring, da dette skjer på

våren for villaks. Brønnbåter brukes så til å frakte fisken til sjølokaliteten og under transport økes gradvis salinitetsnivået² for å tilvenne smolten et liv i sjø (Fiskeridirektoratet, 2015).

3.2.5 Matfisk

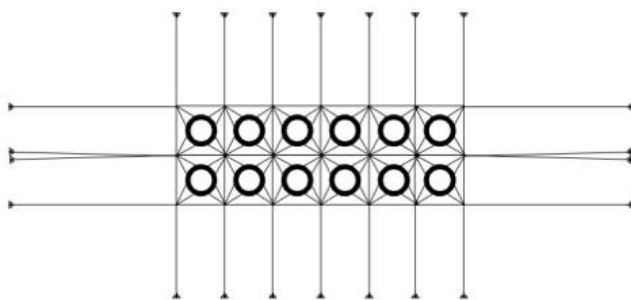
Som siste ledd i livssyklusen holdes laksen i åpne merder i sjø i en periode på normalt 14-22 måneder. Hvor lenge fisken holdes i merdene avhenger av hvilke slaktevekt man ønsker å oppnå. Som regel er dette et sted mellom 4-6 kilo. Herfra fraktes laksen igjen med brønnbåter til slakteriet der den først blir bedøvet før den avlives, sløyes, vaskes og sorteres etter størrelse og kvalitet. Deretter legges det ferdige produktet på is og distribueres til kunder over hele verden (Fiskeridirektoratet, 2015). Nedenfor gis det en innføring i dagens produksjonsutstyr brukt i sjøbasert oppdrett.

3.3 Produksjonsutstyr

Lakseoppdrett kan sies å være karakterisert av «putty clay-teknologi», der man på investeringstidspunktet har valget mellom flere ulike utforminger og dimensjoner for anlegget, men der man etter å ha tatt et valg er bundet til tilnærmet faste rammer. I denne analysen gjør vi en ex post-analyse, altså regnes valg av dimensjoner og utforming som allerede foretatt.

3.3.1 Flytemerd

I sjøfasen av lakseoppdrett er flytemerder den vanligste formen for anlegg, der flere anlegg lenkes sammen og forankres i en gitterstruktur, som vist i figur 8. Det vanligste er i dag å bruke sirkulære plastmerder, men firkantede stålmerder brukes også. I denne analysen vil det benyttes firkantede merder for å forenkle beregningene av vanngjennomstrømming og oksygen.



Figur 8: Prinsippskisse av forankring av anlegg

Teknologiutviklingen i produksjonsutstyret har ført til en betydelig oppjustering av størrelsene på merdene som brukes. Da det på 1980-tallet ble brukt merder med en diameter på 5 meter og dybde på 4 meter brukes det i dag betraktelig større dimensjoner (Asche & Bjørndal, 2011). I

² Salinitet er et mål på konsentrasjon av salt i vannet.

en rapport utarbeidet av Mattilsynet og Fiskeridirektoratet omtaler de små, mellomstore, store og svært store merder som henholdsvis $9000m^3$, $9000m^3 - 19500m^3$, $19500m^3 - 39000m^3$, over $39000m^3$ (Rosten et al., 2011). Hvilke dimensjoner og investeringer som kreves er ofte avhengig av lokalitetens utforming og grad av eksponering. Jo større grad av eksponering, jo større investeringer kreves både i form av forankring og merd for å tole kreftene den utsettes for. Fordelen med å velge en eksponert lokalitet er blant annet bedre vanngjennomstrømning, noe som fører til at man kan tillate en høyere biomassetetthet og dermed bedre utnyttelse av lokaliteten. Altså står oppdretteren ovenfor et valg mellom høye investeringer og grad av kapasitetsutnyttelse når han skal velge lokalitet og utforming.

3.3.2 Fôrflåte

I tilknytning til oppdrettsanlegget er det behov for en driftsbygning. Det har i senere år blitt mer utbredt med flytende konstruksjoner som inneholder løsninger for lagring, fôring, kontrollrom og bo-kvarter m.m. Som en konsekvens av økt merdstørrelse har det kommet mer avanserte systemer for fôring og overvåking av anleggene og oppdretteren har i dag mulighet for å fjernstyre operasjoner på lokaliteten. Man innhenter data på eksempelvis strøm, temperatur, bølger og oksygen og blir på denne måten i stand til å optimalisere driften på anlegget. Dette utføres ofte via kontrollrommet på fôrflåten.

3.3.3 Arbeidsbåt

For å utføre det daglige arbeidet i og rundt merdene er det som regel behov for en arbeidsbåt. I takt med økte dimensjoner og krav til å kunne gjennomføre større operasjoner har også dimensjonen på arbeidsbåtene brukt i oppdrett økt. Ved større dimensjoner og mer eksponerte lokaliteter er det ikke forsvarlig å utføre operasjoner med små båter og det er en tydelig trend i næringen mot større og mer avanserte arbeidsbåter.

3.4 Arbeidsoppgaver

I takt med utviklingen endres også oppdretterens rolle og oppgaver, og det stilles nå i større grad enn før krav til bruk av avanserte dataprogram. Følgende arbeidsoppgaver må utføres av oppdretter ved et sjøanlegg:

- Rengjøre, desinfisere, kontrollere og vedlikeholde produksjonsutstyr og lokaler.
- Betjene løfte- og lasteutstyr på anlegg og fartøy.
- Ta opp, transportere og levere oppdrettsfisk.
- Håndtere og destruere dødfisk.
- Planlegge produksjon og følge kvalitetssystem.
- Fôre fisken vha. fôringssystem i avanserte dataprogram (Utdanning.no, N.A).

3.5 Det økologiske produksjonssystemet

I dette avsnittet drøftes ulike biofysiske faktorer til bruk i de lineære programmeringsmodellene. For en økonom uten biologi-bakgrunn er dette utfordrende og må derfor bygge på tidligere arbeid.

Det er grunn til å anta det vil oppstå et produksjonstap dersom miljøet i og rundt merdene forverres som følge av en opphopning av organisk avfall. Dette fører til stress for fisken og kan resultere i økt dødelighet. For lav konsentrasjon av oksygen eller for høye konsentrasjoner av stoff som karbondioksid og ammonium vil også stresse fisken og medføre høyere dødelighet. Det vil også naturligvis forekomme dødelighet selv om fisken lever i et godt miljø med lite stress, men tapet vil være mye mindre (Tveterås, 1993).

3.5.1 Tetthet, resipientkapasitet og biofysiske faktorer

Fiskens livsbetingelser på lokaliteten avhenger av følgende tre faktorer:

- Totalproduksjon og fôrfaktor, som sammen legger føringer for totalt utslipp av organisk materiale.
- Fisketetthet i merden.
- Biofysiske faktorer.

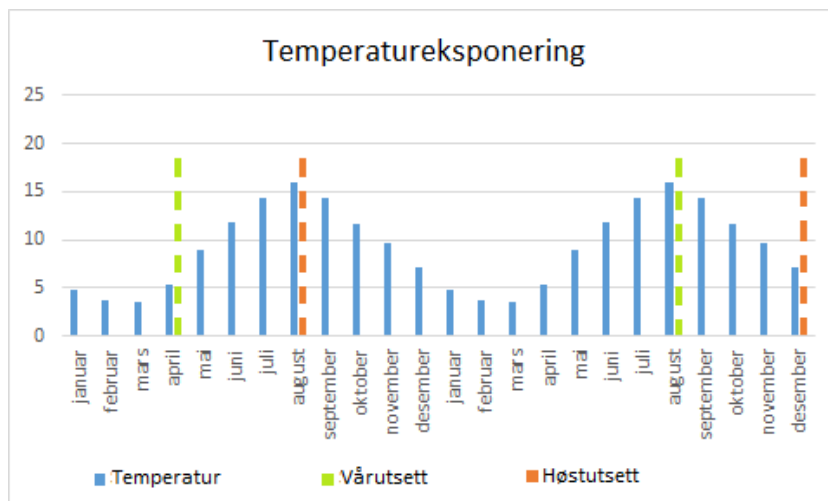
Oppdretteren kan selv regulere og kontrollere de to første faktorene, noe som betyr at oppdretteren selv kan ha kontroll over fiskens livsbetingelser i merdene. De biofysiske faktorene er gitt etter at oppdretteren er tildelt lokalitet, og han har derfor ingen kontroll over disse. De biofysiske faktorene legger føringer for maksimal tetthet av fisk samt hvor store mengder organisk materiale lokaliteten toler. Dette styrer med andre ord lokalitetens produksjonsmulighetsområde. Fra et økonomisk ståsted vil den maksimale fisketettheten sammen med naturgitte produksjonskapasiteter være de mest interessante størrelsene da disse legger føringer for kapasitetsutnyttelsen og i hvilke grad man kan gjøre seg nytte av stordriftsfordeler. På kort sikt har oppdretter mulighet til å overskride kapasitetsgrensene, men dette vil gi seg utslag i økt dødelighet og lavere vekstrater, som igjen vil redusere produksjonen på lang sikt (Tveterås, 1993). I verste fall blir konsekvensene at lokaliteten må fraflyttes. De biofysiske faktorene som benyttes i modellene i denne analysen er strømningshastighet, vanntemperatur, salinitet og oksygen.

Da det er en klar funksjonell sammenheng mellom oksygeninnhold og vanntemperatur blir disse drøftet parallelt. Vanntemperaturen er den faktoren som har størst innflytelse på laksens vekst og helse. Økende temperaturer medfører økt aktivitetsnivå, som igjen fører til økt

oksygenforbruk, fôr-inntak og produksjon av avfallsstoffer. Om sommeren kan høye temperaturer føre til lave nivå av oksygen i vannet, mens lave vintertemperaturer kan medføre økt dødelighet og en reduksjon i vekst. Matematiske sammenhenger mellom de biofysiske faktorene, samt tilvekstfunksjonen presenteres nærmere i kapittel 6

3.5.2 Utfordringer med dagens produksjonsregime

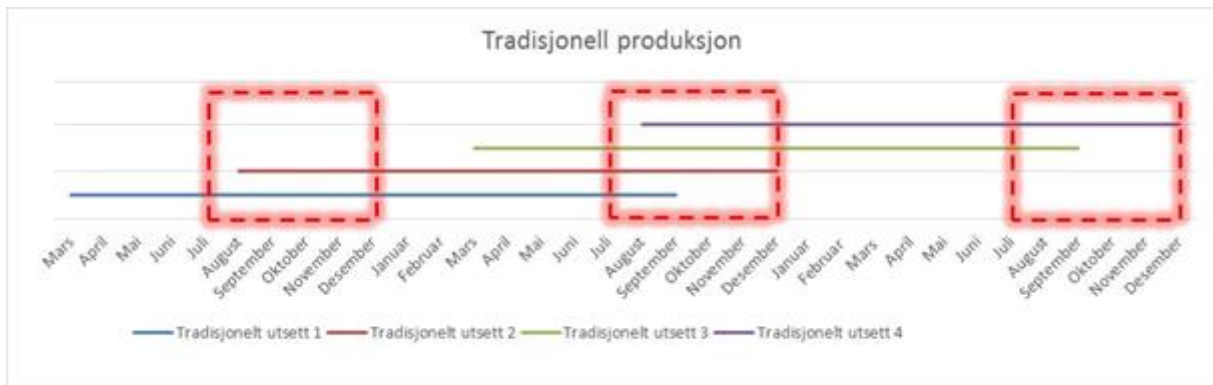
Mattilsynet lanserte i 2014 rapporten «Tap av laksefisk i sjø», som hadde som formål å fremskaffe informasjon rundt årsakene til svinn i norsk lakseoppdrett. Der hevdes det blant annet at dårlig smoltkvalitet er en vesentlig driver til svinn. Det viser seg store regionale forskjeller i svinn grunnet dårlig smoltkvalitet, der nordområdene har størst svinn. Her må smolten ofte transporteres lengre avstander enn i sør og blir dermed utsatt for mer stress, noe som er med på å øke svinnet (Bleie & Skrudland, 2014). Med dagens produksjonsregime settes smolt på 80g ut i sjøen og slaktes etter 16-18 måneder i sjø. Dette medfører at en smolt som settes ut i april slaktes i perioden august - desember året etter og dermed er må stå i sjøen gjennom både en kald vinter og to varme somre der man vil ha utfordringer med lav tilvekst og biologiske utfordringer med sykdom og lusepress. Om man velger høstutsett av smolt i august vil smolten også måtte stå i sjø i 16-18 måneder og vil i løpet av perioden oppleve to kalde vintre og en hel sommer, noe som også vil føre til svekket vekst og suboptimale forhold.



Figur 9: Temperatureksponering ved vår- og høstutsett

I Figur 9 illustreres utfordringene med et tradisjonelt produksjonsregime i sjø. Figuren viser at ved utsett av 80g smolt må fisken stå i sjø gjennom 2 svært pressede perioder hva gjelder lus, amøber (Amobic Gill disease – AGD) samt sommerperioder med stor sjans for sykdommer som Pancreas Disease (PD) ILA (Infeksiøs lakseanemi), HSMB (Hjerte og skjelett muskel betennelse) og CMS (hjertesprekk). Mange av disse sykdommene er med på å svekke fiskens

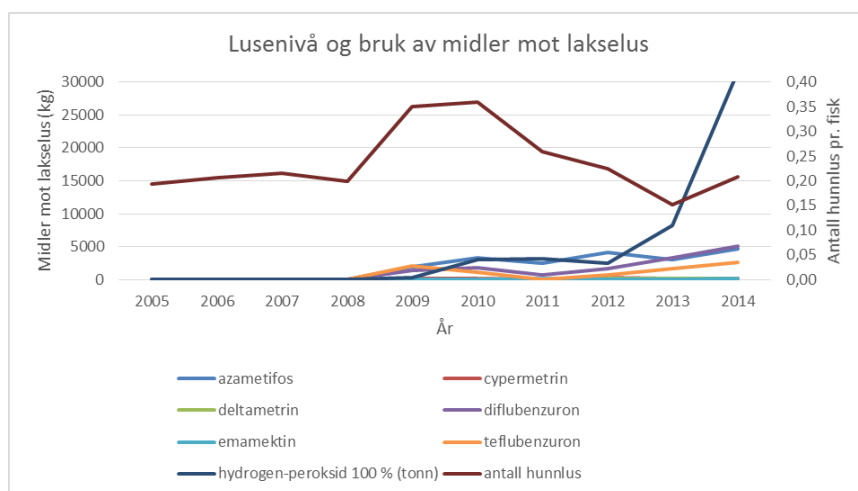
helse og medfører dermed høy dødelighet og det er sannsynlighet for at sykdomsutfordringene vil øke med økt tetthet av fisk.



Figur 10: Kritisk luse- og sykdomspress ved tradisjonell produksjon (Blue Planet)

3.5.2.1 Lakselus

I følge Havforskningsinstituttet er lakselus i dag en av de alvorligste tapsårsakene i oppdrett av laksefisk, og står for kostnader på rundt 500 millioner kroner årlig. Disse kostnadene består av direkte tap, utgifter til kjemikaliebehandling og andre former for avlusning, vekttap grunnet stress, osv. Lusen lever og formerer seg på laks og ørret i saltvann og påfører fisken sår som kan føre til infeksjoner og problemer med saltbalansen. I Norge har vi i tillegg til en betydelig oppdrettsnæring også viktige villaksstammer, og blir forekomsten av lus for høy kan dette skade både oppdrettslaks og villaks (Havforskningsinstituttet, 2009). Myndighetene og næringen samarbeider derfor tett for å sikre god kontroll over lusenivået. Det gjennomføres flere koordinerte avlusninger gjennom året, og særlig i perioder med høye vanntemperaturer er det viktig med god kontroll av lusenivået (Forskrift om sone for samordnet avlusning, 2010). Myndighetene satte i år 2000 en grense på 0,5 voksne hunnlus pr. fisk. I figur 11 ser vi på statistikk basert på oppdretternes ukentlige rapportering av lakselus til Mattilsynet sammen med Folkehelseinstituttets statistikk for salg av legemidler mot lus. Der ser vi at oppdretterne klarer å holde seg greit innenfor grensen på 0,5 hunnlus pr. fisk, men at dette særlig de siste årene har ført til en eksplosjon i bruken av legemidler mot lus. I Nofimas rapport for kostnadsdrivere i lakseoppdrett vises det at kostnaden med avlusning med legemidler har økt fra 0,45 kr/kg produsert laks i perioden 2010-2012 til 1,06 kr/kg i 2014. I tillegg til å medføre høye kostnader for oppdretterne medfører dette i økende grad også til en resistent lakselus som man vil få problemer med å kontrollere og behandle.



Figur 11: Lusenivå og bruk av legemidler til avlusning.

Derfor brukes det tillegg til legemidlene blant annet renseskiv, laser, avskjerming av merdene, og nye merdkonsepter for å kunne holde lusenivået nede, og dermed bidra til bedre fiskevelferd, fiskehelse og økonomi i næringen.

3.5.3 Innovasjon og utviklingstillatelser

Som nevnt i innledningen tillater ikke myndighetene å åpne opp for videre vekst i næringen før man kan vise til bærekraftig drift. Så om man ikke får bukt med lus- og sykdomsproblemene vil man ha utfordringer med å vokse videre utover dagens produksjon. Som en konsekvens av dette har næringen blitt tvunget til å tenke nytt rundt hvordan man best mulig kan optimalisere produksjon under de forutsetningene man er gitt.

I 2015 åpnet Nærings- og fiskeridepartementet opp for søknader om utviklingstillatelser. «Tillatelsene skal legge til rette for utvikling av teknologi som kan bidra til å løse en eller flere av miljø- og arealutfordringene som akvakulturnæringen står ovenfor» (Fiskeridirektoratet, 2015). Hensikten med ordningen er at oppdrettere skal kunne realisere innovasjonsprosjekter som innebærer betydelige investeringer. Dette være seg både prototyper og testanlegg, industriell design og prøveproduksjon. Om ønskelig kan direktoratet åpne opp for at utviklingstillatelsen omdannes til en ordinær tillatelse etter endt prosjektperiode. Dette er avhengig av at målekriteriene som er fastsatt for prosjektet oppfylles. For at dette skal skje må oppdretter betale et KPI-justert beløp på 10 000 000 kr (Fiskeridirektoratet, 2015).

Det har vært stor etterspørsel etter utviklingstillatelsene og det foreligger pr. 25.04.2016 søknader fra 16 selskaper på til sammen 121 260 tonn oppdrettslaks. Dersom alle omsøkte prosjekter får tilslag vil dette føre til en økning fra dagens produksjon med 16%. (Aadland, 2016). Se vedlegg 1 for en oversikt og beskrivelse av de ulike prosjektene som er omsøkt.

Salmar og Ocean Farming AS fikk i Februar 2016, som første selskap tilslag på sin søknad om utviklingstillatelse for å realisere sin hav-merd, basert på offshoreteknologi. Bakgrunn for tildeling av utviklingstillatelsen er ifølge fiskeridirektoratet at prosjektet er «et viktig bidrag for å løse arealutfordringene i havbruksnæringen» (Fiskeridirektoratet, 2016b). Formålet med havmerden er at det skal kunne tas i bruk mer eksponerte lokaliteter. Prosjektet kombinerer designprinsipper fra oljeindustrien med kunnskap fra havbruksnæringen. Det legges til grunn investeringer på 690 millioner kroner, og tillatelsen har en varighet på 7 år.

3.6 Fister smolt AS

Gjennom arbeidet med denne oppgaven er det etablert et samarbeid med Fister Smolt AS for å få tilgang på data direkte fra næringen. Kommunikasjon har hovedsakelig vært gjennom daglig leder Lars André Frønsdal. Som avslutning på Kapittel 3 gis det en presentasjon av settefiskprodusenten Fister Smolt, samt deres planer Tytlandsvik Aqua.

Fister Smolt AS er en eksisterende smoltleverandør som holder til på Fister i Hjelmeland kommune og er en av pionerene innen norsk settefiskproduksjon. De har tillatelse til å produsere inntil 5 millioner settefisk. Det jobbes i dag med utbygging av et RAS-anlegg på Fister for å kunne produsere postsmolt³ i et mindre påvekst-anlegg. På denne måten kan man få testet produksjon av postsmolt i mindre skala før man starter bygging av et planlagt nytt postsmoltanlegg i Tytlandsvik.

3.6.1 Tytlandsvik Aqua

Tytlandsvik Aqua er et datterselskap av Fister Smolt AS og er i gang med planlegging og utbygging av et anlegg for postsmoltproduksjon. I Januar 2016 fikk Tytlandsvik Aqua godkjent sin søknad om utbygging med en produksjonskapasitet på 5 millioner fisk opp til 1000g. Anlegget planlegges bygd på Tytlandsvik i Hjelmeland kommune. Tomten er ferdig regulert for produksjon av storsmolt, og det avventes nå en endelig utslippstillatelse fra Fylkesmannen i Rogaland før videre planlegging og utbygging starter.

Beregninger gjort viser at prosjektet vil kreve investeringer på inntil 500 millioner kroner og vil kunne bidra med 15-20 nye arbeidsplasser. 5 millioner storsmolt kan gi en totalproduksjon på 25 000 tonn slakteklar fisk på 5 kilo. Fra et samfunnsøkonomisk ståsted vil dette si at dersom all produksjon av laks i Rogaland endres til denne produksjonsmetoden, vil det medføre investeringer på opptil 1,6-2 milliarder kroner og samtidig gi rom for 60-75 nye arbeidsplasser

³ Smolt fra 250g til 1000g

i fylket. (Blue Planet, 2015) Det skal også nevnes at potensialet i andre fylker er betydelig større enn i Rogaland.

Hovedgrunnen for at man ønsker å produsere en større smolt på land er å kunne redusere tiden laksen står i sjø. Dette vil i teorien medføre gevinster på flere punkter:

1. Man rekker å produsere to generasjoner på samme tid som én generasjon ved dagens regime.
2. Hyppigere brakklegging av lokaliteter.
3. Kortere eksponeringstid for lus og sykdom, som igjen fører til redusert behov for behandling.
4. Mer robust fisk i sjøfasen.



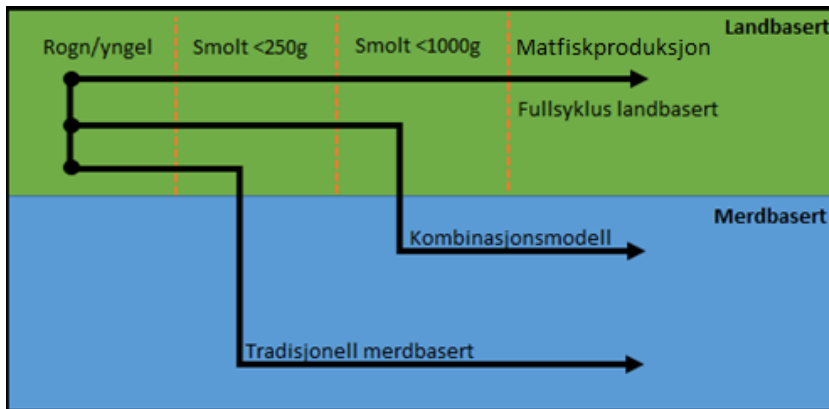
Figur 12: Kritisk luse- og sykdomspress ved endret produksjon (Blue Planet)

Sammenligner vi figur 12 med figur 10 ser vi at om man med utsett av postsmolt trolig klarer å oppnå en kort nok eksponeringstid i sjø, kun utsetter laksen for én av periodene som anses som mest kritisk.

Implementering av et nytt produksjonsregime der storsmolt produseres på land er en stor utfordring. Det å holde laksen på land til den når en vekt på 250g - 1000g har trolig betraktelig høyere kostnader enn tradisjonell smolt på inntil 250g. Økningen i kostnadene må nødvendigvis tas igjen i løpet av sjø-fasen for å kunne forsvare de store investeringene. Hypotesen er at dette gjøres gjennom bedre tilvekst, lavere dødelighet og parasittproblemer, optimal utnyttelse av utstyr, optimal utnyttelse av lokalitet, bedre utnyttelse av maksimal tillatt biomasse og optimal utnyttelse av markedet (Blue Planet, 2015). Det vil i neste kapittel nå bli gitt en grundigere innføring rundt et nytt produksjonsregime med bruk av postsmolt.

4 Nytt produksjonsregime - kombinasjon av land og sjø

Som et ledd i arbeidet med å videreutvikle og forbedre næringen ble det fra myndighetene i 2011 gitt dispensasjon for påvekst av settefisk fram til 1000g, mot tidligere maksimalgrense på 250g. Dette åpner for mulighetene for en kombinasjonsmodell av landbasert produksjon fram til 1000g for så å sette fisken i sjøanlegg for videre påvekst frem til ønsket slaktestørrelse.

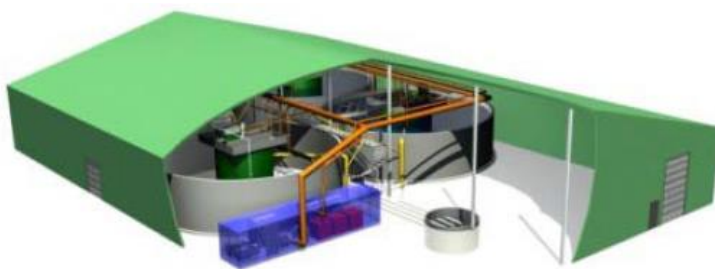


Figur 13: Illustrasjon av ulike produksjonsregimer.

Videre gis det nå en innføring i produksjonsutstyr og arbeidsoppgaver knyttet til produksjon av post-smolt i et landanlegg, før mulige gevinster i sjøfasen presenteres.

4.1 Produksjonsutstyr i et RAS-anlegg

I landbaserte anlegg har man tidligere benyttet teknologi for gjennomstrømning av sjøvann der vannet bare brukes én gang før det pumpes ut av anlegget. I dagens anlegg bruker man resirkuleringsteknologi, også kalt RAS⁴.

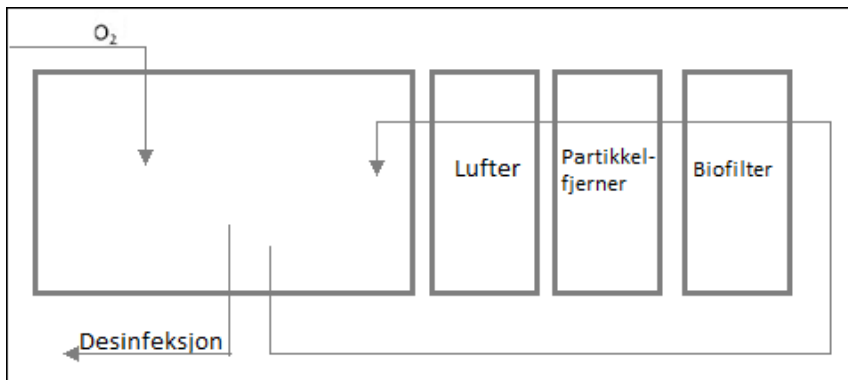


Figur 14: RAS-anlegg, (Niri AS)

Selve utformingen av anleggene kan variere, men prinsippene er de samme, med at vannstrømmene tilfører fisken oksygen og samtidig fører avfallsstoffer ut av karene, før vannet på ny tilføres oksygen og føres inn i karet på ny (Nærings- og Fiskeridepartementet, 2015). Mekaniske- og biologiske filtre bidrar i jobben med fjerning og omdanning av avfallsprodukter

⁴ Recirculating Aquaculture System

og lufting før vannet på ny tilsettes oksygen, desinfiseres m.m. og føres inn i karet på ny. I hvor stor grad vannet resirkuleres vil avhenge av grad av rensing, men 95-99% ansees som vanlig (Aarhus, Høy, Fredheim, & Winther, 2011). Resirkuleringsprosessen gjør at man til enhver tid har god kontroll på vannkvaliteten i karene, man sparer også kostnader med pumping av vann, og ofte brukes også varmen pumpene genererer til å varme opp vannet i karene, for å gjøre anlegget mer kostnadseffektivt.



Figur 15: Prinsippsskisse av RAS-anlegg.

4.1.1 Arbeidsoppgaver

På et landanlegg er det i prinsippet enklere for oppdretteren å kontrollere fiskens miljø og på den måten skape optimale forhold for tilvekst. Arbeidsoppgavene vil likevel stort sett være de samme som på et sjøanlegg. Det skal også nevnes at man antar null risiko for lusepåslag i et RAS-anlegg, og at det derfor kan medregnes mindre arbeidsinnsats med den typen arbeidsoppgaver. På en annen side vil det kreve en viss arbeidsinnsats å kvitte seg med slamm og avfall fra anlegget. Arbeidsforholdene vil nødvendigvis være bedre i et landanlegg der man ikke blir utsatt for vind og bølger i samme grad som på et sjøanlegg, noe som gjør at risikoen for arbeidsuhell kan antas å være lavere.

4.1.2 Biofysiske faktorer

I motsetning til i et sjøanlegg der de biofysiske faktorene er gitt etter at oppdretteren er tildelt lokalitet, kan man i et RAS anlegg i mye større grad kontrollere de biofysiske faktorene og dermed også produksjonsmulighetsområdet. Dette gjelder både fisketetthet, vanntemperatur og oksygennivå (Nærings- og Fiskeridepartementet, 2015). Lars Frønsdal hevder at det i anlegget på Tytlandsvik vil benyttes en vanntemperatur rundt 12⁰C før man senker temperaturen noen grader før utsett for å tilvenne fisken et liv i sjø.

4.1.3 Vekstfasen i sjø til slakteklar fisk

Dette produksjonsregimet kan tenkes å gi produksjonsfordeler i form av en mer robust fisk i sjøfasen, som resulterer i påfølgende lav dødelighet. Redusert eksponeringstid i sjø, samt lavere

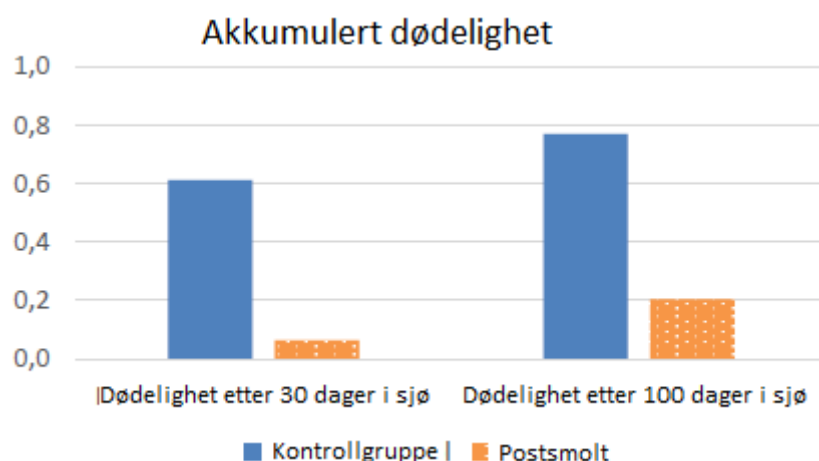
antall fisk i merdene reduserer dessuten risiko for lusepåslag og andre sykdommer. Den desidert største potensielle gevinsten må likevel sies å være muligheten for redusert produksjonstid i sjø, og dermed muligheten for økt omløpshastighet i sjøanleggene.

4.1.4 Tidligere forsøk med produksjon av postsmolt i RAS-anlegg

Bruk av postsmolt i oppdrett kan sies å være helt i startfasen, og det er lite tilgjengelig informasjon om tidligere forskning og forsøk. Det vil i påfølgende avsnitt presenteres 3 ulike forsøk gjort med postsmolt.

4.1.4.1 Nofima og Lerøy Midt

I 2015 gjennomførte Nofima i samarbeid med Lerøy Midt et forsøk med å holde smolten lengre på land i resirkulert sjøvann. Det ble frigitt 300 000 smolt til prosjektet. En kontrollgruppe på 150 000 smolt ble satt ut i sjø, mens 150 000 ble holdt på land i resirkuleringsanlegg i 5 uker ekstra. Temperaturen i karene ble holdt rundt 12⁰C den første delen av forsøke, før den ble gradvis senket til 9⁰C, 12 dager før utsett for å tilvenne fisken et liv i sjø. Begge gruppene ble fulgt opp på ytelse, dødelighet og lusepåslag. Fisken veide rundt 130g ved prosjektstart, noe som tilsvarte en tetthet på ca. 32 kg/m³ og anlegget hadde en resirkuleringsgrad på 97%. Resultatene av forsøket var at postsmolten hadde betydelig høyere snittvekt ved prosjektslutt enn fisken som var i sjø i hele perioden, henholdsvis 1426g og 1253g. Det ble også rapportert om at kontrollgruppen i sjø fikk en knekk etter lusebehandling, mens postsmolten så ut til å være mer robust og tålte behandlingen vesentlig bedre. I Figur 16 ser vi forskjellen i rapportert dødelighet for de to gruppene etter 30 og 100 dager av prosjektet.



Figur 16: Akkumulert dødelighet etter 30 og 100 dager for postsmolt og kontrollgruppe (Nofima)

Det kan sees at postsmolten har betydelig lavere dødelighetsrate enn kontrollgruppen i begge perioder. Rapporten konkluderer med at forsøket kan tyde på at det er fordelaktig å produsere

postsmolt på land, og at det kan være en fordel å ha lengre periode på land enn det som ble gjort i dette forsøket. Siden RAS-anlegget som ble brukt i utgangspunktet var designet for ferskvann var det ikke optimale forhold for laksen på land, da blant annet CO_2 -konsentrasjonen lå over anbefalte grenseverdier både ved prosjektets start og slutt (Holan & Kolarevic, 2015).

4.1.4.2 Luna

23. Mars 2015 satte oppdretterne i selskapet Luna på Færøyene ut en smolt med en snittvekt på 504g. Utsettet var på 59 000 smolt. Gjennomsnittlig slaktedag ble 12. mars 2016, og gjennomsnittsvekten på slaktet fisk var 5,6kg sløyd vekt. Gjennomsnittstemperaturen i perioden var 8°C. Daglig leder i Luna, Atli Gregersen hevder at de ikke opplevde en økning i pris på en smolt på 500g, og at smolten hadde samme kostnad som om den gikk rett i sjø. Han understreker i midlertid at de har høye investeringer knyttet til det å produsere en større smolt. Luna slapp også kostnader med behandling og økt dødelighet ved lusepåslag. Det ble registrert en førfaktor på 1,1 og fiskens vektøkning var gjennomsnittlig 17g pr. dag, noe som må sies å være bra sammenlignet med en standard smolt på 100g som på Færøyene vokser 11g pr. dag (Berge, 2016).

4.1.4.3 Erko Seafood

I starten av september 2015 satte Erko Seafood ut 260 000 smolt på 90g ved sitt nye storsmoltanlegg i Sagvåg, Hordaland. I midten av desember 2015 var vekten ca. 500g og ble da satt ut i sjø. Anlegget i Sagvåg er et RAS-anlegg på sjøvann. Daglig leder Rune Sandvik opplyser om at de ikke er sikre på hva som er optimal tetthet for fisken og at de fremdeles tester ulike grader av tetthet. Anlegget består av 4 kar på til sammen 1150m³. Sandvik opplyser videre at takket være biofiltrene i anlegget og de som jobber der har alt så lagt gått smertefritt. Tross stor temperaturforskjell fra land til sjø opplyses det om god vekst og lav dødelighet i sjøfasen (Hosteland, 2016).

5 Teori

I Kapittel 5 presenteres det teoretiske rammeverket lagt til grunn for å kunne besvare oppgavens problemstilling. Fundamentet i teorien brukt er analyse av investeringsproblemer. Nåverdianalyse og sensitivitetsanalyser er hovedmoment i investeringsanalyse og vil bli presentert som steg i analysen. Videre presenteres teori rundt bioøkonomisk analyse som leder ut i utredningen rundt rotasjonsproblemet og optimalt slaktetidspunkt.

5.1 Investeringsanalyse

En analyse av et investeringsproblem har som formål å synliggjøre alle inntekter og kostnader ved ulike investeringsprosjekter. På denne måten vil beslutningstaker tilegne seg tilstrekkelig informasjon for å avgjøre om de ulike investeringene er lønnsomme, og hvilke prosjekt som er mest lønnsomt og som dermed gjennomføres. Analysen som blir gjort i denne oppgaven vil være en bedriftsøkonomisk analyse. Bedriftsøkonomisk analyse har mange likhetstrekk ved samfunnsøkonomisk analyse, og metoden for å komme frem til lønnsomheten til et prosjekt vil være den samme. Det som skiller de to tilnærmingene er at bedriftsøkonomisk analyse ønsker å belyse bedriftens egen virksomhet og prosjekter, mens en samfunnsøkonomisk analyse ser på muligheter å anvende ressurser for å maksimere samfunnets samlede velferd. (Direktoratet for Økonomisk styring, 2014)

Tabell 1 gir en oversikt over de ulike stegene for å analysere et investeringsproblem. I påfølgende avsnitt gis det en detaljert beskrivelse av de syv stegene i prosessen.

Analyse av investeringsproblem

1	Beskrive problem og formulere mål
2	Identifisere og beskrive investeringsalternativ
3	Identifisere nytte- og kostnadsvirkninger
4	Tallfeste og verdsette nytte- og kostnadsvirkninger
5	Vurdere investeringsalternativenes lønnsomhet
6	Gjennomføre følsomhetsanalyser
7	Gi en samlet vurdering og anbefaling av investeringen

Tabell 1: Analyse av investeringsproblem (Direktoratet for Økonomisk Styring, 2014)

5.1.1 Beskrive problemet og formulere mål

Første fase av investeringsanalysen består i å redegjøre for hvorfor man ønsker å avvike fra dagens situasjon. Dette bør beskrives og redegjøres for i problembeskrivelsen. Der bør også dagens produksjon beskrives og hva som vil skje om man ikke foretar endringer og fortsetter

med nåværende produksjon. Dette kalles nullalternativet og vil bli brukt som «benchmark» når nytte- og kostnadsalternativer senere skal vurderes. I denne første fasen utarbeides også mål man ønsker å oppnå med endringene man gjør. Det er vesentlig at målene gjenspeiler de problemene man står ovenfor, og som man har beskrevet i problembeskrivelsen. Det er viktig at man ikke formulerer målene på en slik måte at det blir vanskelig å utforme tiltak i neste fase, og at det er mulig å evaluere om målene er nådd (Direktoratet for Økonomisk styring, 2014).

5.1.2 Identifisere og beskrive investeringsalternativ

I denne fasen skal man finne og beskrive ulike investeringsmuligheter man har for å nå målet som ble satt i fase en. Det å finne investeringsalternativer kan sees på som et kreativitetsproblem der innovasjon, forskning og produktutvikling er viktige nøkkelord. Et grundig arbeid i denne fasen er avgjørende for en god analyse (Bøhren, 1982). Det bør være en klar sammenheng mellom alternativene og de fastsatte målene. Det skal her gis en beskrivelse av investeringsalternativene og hvordan de skal gjennomføres. Alternativer med åpenbare mangler og/eller begrensninger bør utelates, slik at man står igjen med alternativer som er både gjennomførbare og relevante.

I denne oppgaven behandles et realinvesteringsproblem, som typisk går ut på å kjøpe og salg av driftsmidler. Et finansinvesteringsproblem på sin side omhandler typisk kjøp og salg av verdipapirer.

5.1.3 Identifisere nytte- og kostnadsvirkninger

I tredje fase skal alle nytte- og kostnadsvirkninger med investeringsalternativene utredes og beskrives. Nyttvirkningene kan sees på som de positive sidene alternativet bringer med seg. Eksempel på dette kan være økte inntekter som en konsekvens av nytt produksjonsutstyr. Kostnadsvirkninger er motsatt, de negative kostnadene med de valgte alternativene. Eksempel på dette kan være høye investeringskostnader med nytt produksjonsutstyr. Det er i denne fasen vesentlig at virkningene av de ulike alternativene sees i sammenheng mot nullalternativet, da det er dette som er utgangspunktet for analysen (Direktoratet for Økonomisk styring, 2014).

5.1.4 Tallfeste og verdsette nytte- og kostnadsvirkninger

Det er viktig at nytte- og kostnadsvirkningene verdsettes i fysiske størrelser så langt det lar seg gjøre. Det skal velges en hensiktsmessig måleenhet for de ulike fysiske størrelsene. Eksempelvis årsverk, volumreduksjon i utslipp o.l. Videre settes det en pengeverdi på disse størrelsene så langt det lar seg gjøre. For å tallfeste virkninger kan man anvende ulike typer

data, som kan innhentes på ulike måter. Data brukt i denne oppgaven er primært innhentet fra kilder hos Fister Smolt AS.

Dersom data er basert på forutsetninger og det foreligger usikkerhet ved verdier er det viktig at dette blir synliggjort. Dette er svært viktig for at man skal kunne foreta sensitivitetsanalyser ved usikre variabler. Sensitivitetsanalyse blir nærmere forklart i 5.1.6 Det er ikke alle virkninger som lar seg kvantifisere, og disse må dermed vurderes kvalitativt (Bøhren, 1982). De skal presenteres på en slik måte at de kan benyttes som del av beslutningsgrunnlaget når de ulike investeringsalternativene vurderes. En tilnærming til dette kan være å gi en skriftlig beskrivelse av virkningen.

Ulike virkninger som følge av investeringer vil ofte inntreffe på ulike tidspunkt. Dette tas hensyn til i form av neddiskontering slik at de ulike virkningene justeres til dagens verdi. Det er derfor viktig at man har oversikt over når inntekter og kostnader vil påløpe.

5.1.5 Vurdere investeringsalternativenes lønnsomhet

I femte fase vurderes investeringsalternativene lønnsomhet. Måten dette gjøres på er å utarbeide kontantstrømmer for de ulike alternativene og deretter regne ut nettonåverdi av prosjektet. Dette gjøres for å kunne sammenligne kontantstrømmene som oppstår på ulike tidspunkt. Kontantstrømmene er så med på å sette en pengeverdi på nytte- og kostnadsvirkningene som ble funnet i avsnitt 5.1.3. Det kan være nyttig å kjøre sensitivitetsanalyser på kontantstrømmene for å se virkningen av uforutsette avvik. Nåverdimetoden brukes til å sammenligne nytte og kostnadsvirkninger som påløper ved ulike tidspunkt, og vil også bli brukt i denne oppgaven. Nåverdimetoden vil kun inneholde de kvantifiserbare virkningen ved prosjektet, og de i ikke-kvantifiserbare virkningene behandles for seg. Det vil nå bli gitt en mer detaljert forklaring av nåverdimetoden som brukes i denne oppgaven.

5.1.5.1 Nåverdimetoden

Som nevnt oppstår nytte- og kostnadsvirkninger ved et prosjekt ofte på ulike tidspunkt av prosjektets levetid, og vi har derfor behov for kunne sammenligne og summere virkningene som påløper over tid. Dette gjøres ved å neddiskontere framtidige virkninger med en positiv diskonteringsrate. Som en konsekvens av dette vil virkninger ha mindre effekt jo lengre frem i tid de påløper. Netto nåverdi (NPV) av et prosjekt er altså summen av alle neddiskonterte kontantstrømmer ved prosjektet. Formelen for NPV er vist under.

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Der I_0 representerer investeringskostnaden som påløper ved oppstart av prosjektet, C_t er netto kontantstrømmer og r representerer prosjektets diskonteringsrente og forventes å være konstant over prosjektets levetid. T er prosjektets levetid (Direktoratet for Økonomisk styring, 2014). Et prosjekt regnes som lønnsomt om det gir en positiv nåverdi. Dette skjer når nettoavkastningen på investeringen er høyere enn diskonteringsrenten, som vil være et minstekrav, da du kan investere pengene en annen plass å være garantert en avkastning lik diskonteringsrenten. Viser det seg at prosjektet vil generere en negativ kontantstrøm må prosjektet forbedres, eller eventuelt forkastes.

5.1.6 Gjennomføre sensitivitetsanalyser

Ved de aller fleste prosjekter vil det være usikkerhet knyttet til én eller flere faktorer. Ved å gjennomføre en sensitivitetsanalyse kan man enkelt beregne hvordan endringer i de usikker faktorene påvirker prosjektets lønnsomhet. Før man gjennomfører slike analyser er det viktig at man kartlegger hvilke faktorer det er knyttet mest usikkerhet til, slik at analysen blir hensiktsmessig. Direktoratet for økonomisk styring forklarer sensitivitetsanalyse ved at man tar utgangspunkt i beregninger basert på virkningens forventningsverdier, og setter minimums- og maksimumsverdier for virkningen. Deretter utfører man utregninger for prosjektets lønnsomhet ved det mest pessimistiske og det mest optimistiske tilfellet. På denne måten får man et utfallsrom som viser intervallet til nettonåverdi for hver kritisk faktor. I praksis betyr dette at man ser på én og én innsatsfaktor, og endring i nåverdi for hver enkelt faktor som endres (Direktoratet for Økonomisk styring, 2014). Sensitivitetsanalyser med en lineær programmerings-modell som brukes i denne analysen lar oppdretteren få innsikt i hvordan variasjon i in-put variabler påvirker produksjon, kostnader og optimert profitt (Forsberg, 1996).

Scenarioanalyse

Et alternativ til følsomhetsanalyse for hver enkelt faktor er at man ser på ulike scenarioer for prosjektet. På denne måten tar man hensyn til avhengighet mellom to eller flere faktorer. Fordelen med en slik analyse er at man får sett på kombinasjonen av faktorene som påvirker prosjektet, og dette vil ofte være mer realistisk en å endre én og én variabel hver for seg. (Bøhren & Gjerum, 2009)

5.1.7 Gi en samlet vurdering og anbefaling av investering

I sjuende og avsluttende fase skal det gis en anbefaling av hvilke prosjekt som bør velges og hvor lønnsomt prosjektet ventes å bli. Anbefalingen skal være basert på nåverdianalysen, ikke-prissatte virkninger og usikkerhet. For at resultatet skal kunne etterprøves er det vesentlig med

god dokumentasjon gjennom hele prosessen både hva gjelder datakilder, metoder og forutsetninger som legges til grunn.

5.2 Bioøkonomisk analyse

For å kunne lykkes med oppdrett av laks er det vesentlig at man har en optimal produksjon, der man har hensiktsmessige utsett av smolt og at slaktetidspunktet av ferdig matfisk er optimalt. Dette er svært viktig da det i tillegg til å påvirke oppdretterens kontantstrøm, også har innvirkning på bruk av knappe ressurser som fôr, fisk, merdvolum etc. Utfordringene med å finne rett tidspunkt for dette er i litteraturen kjent som rotasjonsproblemet. Den første som så på rotasjonsproblemet var Martin Faustmann, da han utviklet en modell for optimal rotasjonstid for skogsindustrien. Senere har modellen blitt modifisert og tilpasset bruk i akvakultursammenheng (Guttormsen, 2008). I neste avsnitt presenteres en bioøkonomisk analyse for optimalt slaktetidspunkt utviklet av Frank Asche og Trond Bjørndal. Deretter gis det så en presentasjon av selve rotasjonsproblemet.

5.2.1 Optimalt slaktetidspunkt

Problemet forstås best som et investeringsproblem og vil derfor bli belyst ved hjelp av investeringsteori. Simpelt forklart ønsker man å maksimere nåverdien av en investering – som i vårt tilfelle er fisk, ved å bestemme optimalt slaktetidspunkt. Grunntanken er at man har fisken stående i sjø så lenge det er lønnsomt, for så å slakte den. I den enkleste formen av modellen tar man ikke hensyn til kostnader ved fôr og slakt, men modellen kan utvides til å inkludere variable kostnader. Modellen tar utgangspunkt i en engangsinvestering, og tar ikke hensyn til hva som skjer etterpå. Den tar også antall utsatt smolt som gitt inn i modellen.

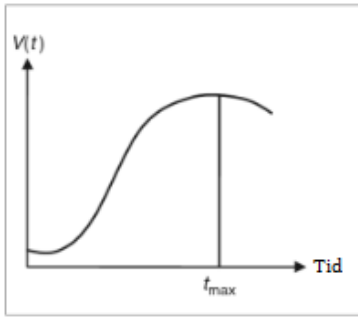
Verdien av biomasse er gitt ved

$$(1) B(t) = N(t) * w(t)$$

Der $N(t)$ representerer antall fisk i merden ved tiden t , og $w(t)$ er fiskens vekst ved tid t . $N(t)$ kan også uttrykkes ved $N(t) = Re^{-Mt}$, der R er antall smolt ved utsett og M er dødelighetsraten til fisken. Verdien på biomassen kan uttrykkes på følgende måte

$$(2) V(t) = p(w) * (Bt) = p(w) * Re^{-Mt} * w(t)$$

Der $p(w)$ er pris pr. kilo fisk. Prisen er en funksjon av fiskens vekt, og normalt sett vil høy vekt føre til høy pris. Vekt er en funksjon av tid noe som igjen fører til at pris er en funksjon av tid.



Figur 17: Biomassens verdi avhengig av tid, (Asche&Bjørndal, 2001)

Som Figur 17 viser, stiger biomassens verdi frem til $t=t_{MAX}$, der biomassens verdi er maksimert. Etter dette vil biomassens verdi avta. Oppdretteren vil etterstrebe å slakte når nettonåverdien av biomasseverdien $\pi(t)$ er maksimert:

$$(3) \max_{\{0 \leq t \leq T\}} \pi(t) = V(t)e^{-rt}$$

Der r representerer diskonteringsrenten og T er tidspunkt der fisken blir kjønnsmoden, og dermed slutter å vokse. Ved tidspunkt t kan altså oppdretter slakte biomassen og oppnå en inntekt på $V(t)$. Det antas videre at oppdretterens alternativkostnad til å la fisken fortsette å vokse i sjøen er avkastningen han oppnår ved å sette pengene i banken til en gitt rente r . Dette vil gi en avkastning lik $rV(t)$. Oppdretterens verdi av å ha fisken stående i sjø kan skrives om til $V'(t)$, da dette er endring i biomasse over tid (Asche & Bjørndal, 2011). Profittfunksjonens optimum finnes ved å derivere profittfunksjonen og sette den lik null:

$$(4) \pi'(t) = V'(t)e^{-rt} - rV(t)e^{-rt} = 0$$

Dette gir oss at optimalt slaktetidspunkt t^* er når

$$(5) V'(t^*) = rV(t^*)$$

Dette betyr igjen at det vil være lønnsomt for oppdretter å ha fisken stående i sjø så lenge fiskens vekst er stor nok til at investeringen ved la den stå er høyere enn å gjøre verdiene om til penger å sette de i banken, altså når $V'(t^*) > rV(t^*)$. Fiskens vekstrate vil med tiden avta og man vil til slutt ende i en situasjon der $V'(t^*) < rV(t^*)$, og det vil være mer lønnsomt å sette pengene i banken.

Om vi videre deriverer V med hensyn på t og setter uttrykket lik $rV(t)$ får vi:

$$(6) V'(t^*) = \left\{ \frac{p'(w)}{p(w)} w'(t^*) - M + \frac{w'(t)}{w(t)} \right\} V(t^*) = rV(t^*)$$

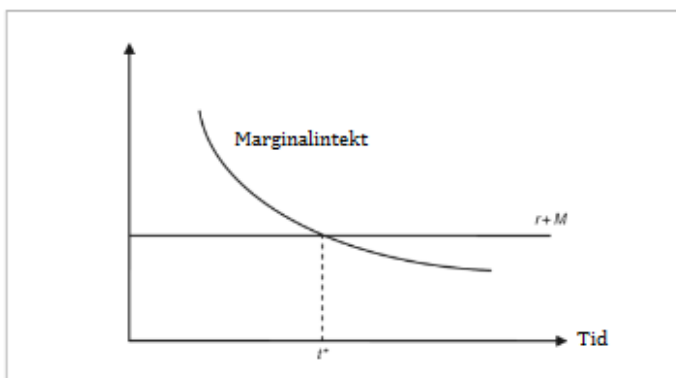
Der de tre leddene inni klammeren representerer henholdsvis prisstigning som en funksjon av vekst, dødelighetsraten og vekstraten.

Videre utledning gir følgende uttrykk

$$(7) \frac{p'(w)}{p(w)} w'(t^*) + \frac{w'(t^*)}{w(t^*)} = r + M$$

Der $\frac{p'(w)}{p(w)} w'(t^*) + \frac{w'(t^*)}{w(t^*)}$ kan beskrives som marginalinntekt, mens $r + M$ er marginalkostnad.

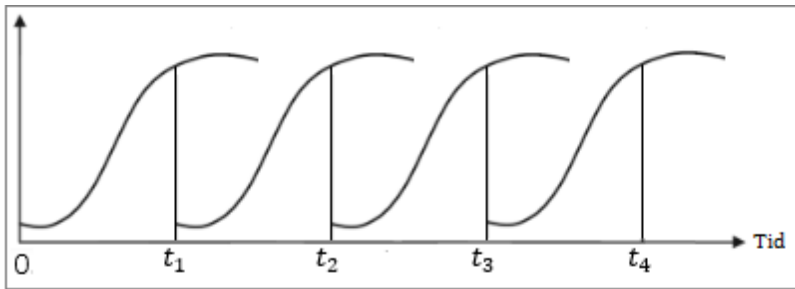
Som vist i Figur 18 er marginalinntekten (MR) avtagende over tid, mens marginalkostnaden (MC) er konstant, og det optimale tidspunkt for slakt er krysningsspunktet av de to kurvene, $MR=MC$. Om det oppstår en økning i MR, eksempelvis i form av en økning i pris, vil vi få et skift i MR-kurven mot høyre, noe som resulterer i et senere tidspunkt for slakt. Motsatt vil en økning i MC, gjerne som resultat av økt diskonteringsrente gjøre at MC-kurven skifter oppover og resultatet blir et tidligere optimum for slaktetidspunkt.



Figur 18: Optimalt slaktetidspunkt med hensyn på tid (Asche&Bjørndal, 2011)

5.3 Rotasjonsproblemet

Den bioøkonomiske analysen for optimalt slaktetidspunkt i avsnitt 5.2.1 tok ikke hensyn til at det blir frigjort merdvolum når fisken slaktes, og at det dermed frigjøres plass til ny fisk. Dette er vesentlig da merdvolum er en knapphet i oppdrettsnæringen. Etersom veksten og dermed også marginalinntekten avtar over tid, vil slakting av fisk gjøre plass til fisk med høyere vekstrate og dermed også føre til en verdiøkning (Bjørndal, 1988). Rotasjon fører på denne måten til at optimalt slaktetidspunkt vil være tidligere enn med kun ett slakt, da oppdretteren vil ha mulighet for å bytte ut fisk med lav vekstrate med en ny fisk med høyere vekstrate. Det er derfor ikke hensiktsmessig å bare ta hensyn til én produksjonssyklus når man diskuterer optimalt slaktetidspunkt.



Figur 19: Rotasjonsproblemet (Asche&Bjørndal, 2011)

6 Lineære programmeringsmodeller for lakseoppdrett

For å kunne beregne neddiskontert profitt ved både tradisjonell, sjøbasert oppdrett og en kombinasjonsmodell av land- og sjøbasert oppdrett er det bygget 3 lineære programmeringsmodeller i Microsoft Excel, som optimeres ved hjelp av tilleggsprogrammet «What's Best!». Modell 1 representerer et produksjonsregime utelukkende i sjøbaserte merder, Modell 2 representerer postsmoltproduksjon i et RAS-anlegg, og Modell 3 representerer sjøfasen i et produksjonsregime med postsmolt. Det vil nå bli gitt forklaringer av de ulike modellene. Modell 1 og 3 har identisk oppbygging og vil derfor bli presentert sammen. Modellen 2 inneholder naturlig nok flere likhetstrekk med 1 og 3, og derfor vil kun Modell 1 og 3 gis fullstendig presentasjon, mens det for modell 2 presenteres og forklares på det som avviker fra modell 1 og 3.

6.1 Sjøbaserte anlegg – Modell 1 og 3

I de påfølgende avsnitt vil det bli gitt en presentasjon av rammeverket for den lineære optimaliseringsmodellen for et sjøbasert matfiskanlegg, basert på (Reithe & Tveterås, 2000). Modellen er basert på et antall antagelser rundt fysiske og biologiske faktorer som teknologi, vekst, priser og kostnader. Først gis det en forklaring rundt biologiske og fysiske prosesser ved produksjonen av laks i åpne merder, før det i neste avsnitt gis en presentasjon av målfunksjonen som skal optimeres, mens restriksjonene er presentert i et tredje avsnitt i dette kapittelet.

6.1.1 Biologiske og fysiske faktorer

Man vet at akvakultur har mange likhetstrekk med jordbruk, og da særlig hogst av skog, både når det kommer til avhengigheten av naturlige forhold på lokasjon samt kontroll av utsett. Valg av lokalitet er svært viktig da produksjon av laks har innvirkning på miljøet rundt lokaliteten, og dermed også på fremtidig produksjon. Hydrogensulfid, Ammonium og CO₂ er blant de viktigste biproduktene, og produksjonen av disse avhenger av fórfaktoren, antall fisk pr. merd, tettheten av fisk samt foringsteknologien. Hvor stor påvirkning disse biproduktene får på lokaliteten avhenger av faktorer som lokalitetens topografi, strømminger og mengde oksygen i

vannet. Sammen er alle disse faktorene med på å avgjøre den langsiktige bærekraften av en lokasjon, som kan beskrives av følgende uttrykk.

$$(1) Y_{MAX} = (f(F, v, h, r))$$

Der F er minimum fôrfaktor for gitte type merd, fôrkvalitet og fôrteknologi, r er en vektor for topografien, h representerer en vektor for dybden på de ulike lagene av vann under merden, og v er vektor for strømmingen i de ulike lagene. Følgende forhold mellom bærekraft og variablene er antatt

$$(2) \frac{\partial f}{\partial F} \leq 0, \frac{\partial f}{\partial v_i} \geq 0, \frac{\partial f}{\partial h_i} \geq 0$$

Dette indikerer at en økning i fôrfaktoren reduserer lokalitetens bærekraft, mens en økning i strømming eller dybde i et av lagene med vann under lokaliteten vil heve lokalitetens bærekraft. Man har ingen forutsetninger for å si om lokalitetens topografi har positiv eller negativ innvirkning på lokalitetens bærekraft.

God tilførsel av oksygen til merdene er viktig, og er vanligvis den første bindende begrensning til produksjon i form av biofysiske faktorer. Dersom produksjonen ikke overskrider optimalt oksygennivå vil det med andre ord si at man kan se bort fra produksjon av bi-produkter.

For å ivareta de grunnleggende biologiske funksjonene samt sikre vekst, må oksygentilførselen være tilstrekkelig. Å bestemme optimalt oksygennivå kan likevel være vanskelig da underestimering av oksygennivået kan medføre svekket vekst og dermed økonomiske tap. En overestimering av oksygennivå vil på sin side også føre til økonomiske tap i form av unødvendig høye investeringskostnader på blant annet pumper (for et landanlegg) og annet utstyr, samt høyere driftskostnader.

Metningsgraden av oksygen i vannet vil variere med ulike faktorer, blant annet salinitet og temperatur, mens fiskens etterspørsel etter oksygen vil variere med temperatur, aktivitet, biomasse, foringsregime, etc.

Oksygenkonsumfunksjonen som er valgt baserer seg på Christiansen (1990)

$$(3) O_{c, g, i} = 5,5 * W_{g,i}^{-0,2} * \exp(0,07 * T_{,i})$$

Der temperaturen brukt er månedlig gjennomsnittstemperaturen i Rogaland.

Gitt optimal tilførsel av oksygen og optimal fôring vil antall fisk ved utgangen av måneden i være en funksjon av antall i starten av måneden, dødelighetsraten og slakt, gitt ved følgende uttrykk

$$(4) n_{g,i} = n_{g,i-1} - h_{g,i} - D_{g,i}, \quad g = 1, \dots, G \text{ og } i = 1, \dots, I$$

Der $h_{g,i}$ representerer antall fisk pr. slakt og $D_{g,i}$ er antall døde fisk. Dødelighetsraten er antatt å kun være en funksjon av alder, noe som gir følgende uttrykk

$$(5) D_{g,i} = d_{g,i} * n_{g,i}$$

Der $d_{g,i}$ er dødelighetsraten i generasjon g i måned i .

Gjennomsnittlig individuell vekst målt i gram er uttrykt ved

$$(6) W_{g,i} = W_{g,i-1} * (1 + w(T_i, W_{g,i})/100)^{30*i}, \quad g = 1, \dots, G$$

Der

$$(7) w(T_i, W_{g,i}) = \begin{cases} 0,9T_i^{0,97}W_{g,i}^{-0,34}, & 2 \leq T \leq 14, 30 \leq W < \text{Kjønsmodning} \\ 0, & W \geq \text{Kjønsmodning} \end{cases}$$

Er daglig vekstrate, og T_i er gjennomsnittlig temperatur i måned i ⁵. Vi antar videre at alle individ blir kjønnsmodne når de når en bestemt vekt, og at ingen vekst forekommer etter dette. (Forsberg, 1995) Produksjonen fra generasjon g i måned i kan uttrykkes på følgende måte

$$(8) y_{g,i} = (n_{g,i} + h_{g,i}) * W_{g,i} - n_{g,i-1} * W_{g,i-1}$$

Dette gir oss at produksjonen i måned i er lik biomassen ved utgangen av måneden pluss slaktet biomasse, minus biomassen ved inngangen av måneden.

6.1.2 Målfunksjonen

Å maksimere nåverdien av profitt, π i akvakultur gjøres på samme måte som rotasjonsproblemet i hogst av skog. Når bør man gjøre slakt av én generasjon for å gjøre plass til neste? I denne oppgaven brukes som nevnt lineær programmering i Microsoft Excel for å finne nåverdien av prosjektet. Nåverdien vil være maksimert når

$$(9) NPV = \frac{1}{(1+r_m)^i} \sum_{i=1}^I \pi_i$$

⁵ Det antas at alle måneder har 30dager

$$= \sum_{g=1}^G \sum_{i=i_g}^{I_g} \frac{1}{(1+r_m)^i} \{R_{g,i}^H - C_{g,i}^H - C_{g,i}^y\} - \sum_{g=1}^G \frac{1}{(1+r_m)^i} C_g^S - [C_C + C_{CI} + FC] \sum_{i=1}^I \frac{1}{(1+r_m)^i}$$

Der

r_m = Månedlig diskonteringsrente.

G = Maksimalt antall generasjoner i sjø.

I_g = Siste måned med fisk av generasjon g i sjø.

$R_{g,i}^H$ = Totale inntekter fra generasjon g , slaktet i måned i .

$C_{g,i}^H$ = Totale kostnader med slakt av generasjon g , i måned i .

$C_{g,i}^y$ = Variable kostnader knyttet til generasjon g i måned i .

C_g^S = Smoltkostnader knyttet til generasjon g .

C_C = Totale brukskostnader på investeringer som avhenger av merdvolum

C_{CI} = Totale brukskostnader på volumavhengig kapital

FC = Månedlige faste kostnader

De endogene/kontrollerbare variablene i denne modellen er:

- Antall smolt benyttet i hver generasjon ($Z_{s,g}$)
- Antall laks slaktet hver måned ($h_{g,1}, \dots, h_{g,I}$)

Totalt merdvolum er gitt ved

$$(10) \quad Z_M = M_w * M_d * M_l * \sum_{g=1}^G a_g$$

Der M_w , M_d og M_l representerer henholdsvis bredde, dybde og lengde på merdene og G indikerer totalt antall av generasjoner.

Totale inntekter fra slakt, $R_{g,i}^H$, er en funksjon av pris pr. kg ($P(W_{g,i})$), gjennomsnittsvekten på fisken (W_g) og antall fisk slaktet ($h_{g,i}$).

$$(11) \quad R_{g,i}^H = P(W_{g,i}) * W_{g,i} * h_{g,i}$$

Kostnader knyttet til slakt er uttrykt som

$$(12) \quad C_{g,i}^H = (P_H + P_T) * W_{g,i} * h_{g,i}$$

Der P_H er den faktiske kostnaden ved slaktingsprosessen pr. kilo fisk, og P_T representerer transportkostnader. Månedlige variable produksjonskostnader pr. generasjon er gitt ved

$$(13) \quad C_{g,i}^Y = (P_F * F + P_I + P_{LUS} + P_L * a_L) * y_{g,i}$$

Der P_F er fôrprisen pr. kg, F representerer fôrfaktoren, P_I er forsikringskostnaden pr. kilo fisk, P_{LUS} er kostnaden med avlusning pr. kilo fisk, P_L er lønn til røkter, a_L er antall arbeidstimer og $y_{g,i}$ er kvantum fisk produsert fra generasjon g i måned i .

Den totale smoltkostnaden, C_g^S , i generasjon g er en funksjon av pris pr. smolt (P_S) og antall smolt man velger å kjøpe ($Z_{S,g}$)

$$(14) \quad C_g^S = P_S * Z_{S,g}$$

Totale brukskostnader på volumavhengig kapitalutstyr som f.eks. merder og not er definert som

$$(15) \quad C_M = \left(\sum_{j=1}^{J_C} \left[\frac{1}{L_{C,j}} + r \right] P_{C,j} \right) Z_C$$

Der $P_{C,j}$ er prisen på volumavhengig kapitalutstyr og $L_{M,j}$ representerer levetiden.

Brukskostnader på volum-uavhengig kapitalutstyr er

$$(16) \quad C_M = \sum_{j=1}^{J_{CI}} \left(\frac{1}{L_{C,j}} + r \right) * I_{CI,j}$$

Der $I_{CI,j}$ representerer investeringer i volum-uavhengig kapitalutstyr.

Fra (1)-(16) ser vi at både produksjonsfaktorer og priser er inkludert i profittfunksjonen, og at oppdretteren er en pristaker i både faktor- og produktmarked.

6.1.3 Restriksjoner

Som en følge av vår lineære målfunksjon, vil en økning i produksjonen føre til kontinuerlig avtakende marginalkostnader. Dette kombinert med en definert prisfunksjon fører til at profitten øker som en konsekvens av økt produksjon. Dette skjer helt til den første bindende restriksjonen er møtt. Restriksjonene er forklart under, og de første 5 er spesielle for akvakultur, mens de

siste 3 siste er generelle ikke-negative restriksjoner som er standard ved lineære programmeringsmodeller.

Den første restriksjonen forteller oss at tettheten av fisk i hver merd ikke kan overskride maksimal oksygen-uavhengig kapasitet.

$$(1) u_{MAX} * a_g * M_w * M_d * M_l - b_{g,i} \geq 0, \quad g = 1, \dots, G \text{ og } i = 1, \dots, I$$

Der $b_{g,i}$ er total biomasse i generasjon g i måned i , u_{MAX} er maksimal oksygen-uavhengig kapasitet, og må enten være lik en biologisk definert kapasitet eller maksimal lovlig tetthet. I sjøbasert oppdrett er det lovbestemt at tettheten ikke kan overskride $25\text{kg}/\text{m}^3$ mens det i landbasert ikke er lovbestemt tetthetsgrad. Tidligere forsøk gjort har vist at en tetthet på $100\text{kg}/\text{m}^3$ er uproblematisk.

Restriksjon (2) begrenser tettheten på bakgrunn av oksygenbehov:

$$(2) 10 * 60 * M_w * M_l * v * a_g - \frac{O_{c,g,i}}{O_{INN} - O_{OUT}} * b_{g,i} * a_v \geq 0, \quad g = 1, \dots, G \text{ og } i = 1, \dots, I$$

Det første uttrykket i ligningen er tilgangen på oksygen til generasjon g pr. minutt, der v er minimum strømming og a_v er antall merder i strømningsretningen. Det antas bruk av rektangulære merder og at disse står vinkelrett på strømmingen. Det andre uttrykket i ligningen er totalt behov for vann pr. minutt for generasjon g i måned i . O_{INN} er mengden oksygen i vannet som strømmer inn i merden, og er gitt ved

$$(3) O_{INN} = \frac{m}{100} * \left[14,6 - 0,132 * \frac{S-0,03}{1,805} \right] * \exp \left[-\frac{227 - \exp(0,078 * S)}{10000} * T_i \right]$$

Der m er metningen av oksygen i vannet og S er saliniteten, begge gitt i prosent. Minimum oksygen-metningsnivå i vannet som strømmer ut av merden kan finnes ved å sette S lik 75% (Reithe & Tveterås, 2000)

Restriksjon (4) fastsetter at stående biomasse ikke overskrider lokalitetens MTB

$$(4) b_{g,i} \leq b_{max} * \mu$$

Der b_{max} er maksimal tillat biomasse pr. tillatelse og μ er antall tillatelser på gitte lokalitet

Restriksjon 6 sørger for at man overholder loven om at antall fisk i merdene til en hver tid ikke overskrider maksimalt antall fisk pr. merd.

$$(5) n_{g,i} \leq n_{max} * a_g$$

Der n_{max} er maksimalt antall fisk man har lov å ha pr merd.

Standardrestriksjonene ved lineære programmeringsmodeller er som følger:

$$(6) a_g \geq 0, \quad g = 1, \dots, G \quad (\text{Antall merder})$$

$$(7) h_{g,i} \geq 0, \quad g = 1, \dots, G \text{ og } i = 1, \dots, I \quad (\text{Slakting})$$

$$(8) Z_{s,g} \geq 0, \quad g = 1, \dots, G \quad (\text{Smolt})$$

Lakseprisen er definer som en lineær funksjon av vekt (w)

$$PW = \begin{cases} 0, & W < W_{MIN} \\ p_0 + p_1 W, & W > W_{MIN} \end{cases}$$

Det antas at fisken må nå en viss vekt før en pris oppnås og at muligheten for systematiske sesongvariasjoner i pris er ekskludert. På en annen side tillater modellen sesongvariasjon ved bruk av sinusfunksjonen. Det antas også at kun én kvalitet produseres.

6.2 Modell 2 – Landbasert

I et landbasert anlegg er man ikke avhengig av naturlige forhold på lokasjon på samme måte som ved produksjon i sjø. Biprodukter er derimot et større problem man må hankses med i lukkede anlegg for å opprettholde fiskevelferd og et rett oksygennivå i vannet. Oksygen blir ikke tilført naturlig på samme måte som i et sjøanlegg, og må derfor tilsettes kunstig i RAS-anlegget. Det skal også nevnes at temperaturen i anlegget holdes konstant på optimale temperaturer, noe som skaper gode vekstvilkår og leveforhold for laksen. Hva gjelder tilvekst, oksygenkonsum, og dødelighetsrater så baserer dette seg på samme funksjoner som i Modell 1. Det gjøres også en omformulering av «antall fisk slaktet» til «antall fisk overført til sjø». Videre gis en presentasjon av målfunksjonen i modell 2 og hva som skiller denne fra modell 1.

6.2.1 Målfunksjonen

Nåverdien av profitten i landanlegget vil være maksimert når:

$$(17) \quad NPV = \frac{1}{(1+r_m)^i} \sum_{i=1}^I \pi_i$$

$$= \sum_{g=1}^G \sum_{i=i_g}^{I_g} \frac{1}{(1+r_m)^i} \{R_{g,i}^H - C_{g,i}^T - C_{g,i}^y\} - \sum_{g=1}^G \frac{1}{(1+r_m)^i} C_g^S - [C_c + C_{Cl} + FC] \sum_{i=1}^I \frac{1}{(1+r_m)^i}$$

Der

r_m = Månedlig diskonteringsrente.

G = Maksimalt antall generasjoner i anlegg.

I_g = Siste måned med fisk av generasjon g i sjø.

$R_{g,i}^O$ = Totale inntekter fra generasjon g , overført fra land til sjø i måned i .

$C_{g,i}^T$ = Kostnader knyttet til transport av generasjon g , i måned i .

$C_{g,i}^Y$ = Variable kostnader knyttet til generasjon g i måned i .

C_g^S = Smoltkostnader knyttet til generasjon g .

C_C = Totale brukskostnader på investeringer som avhenger av merdvolum

C_{CI} = Totale brukskostnader på volumavhengig kapital

FC = Månedlige faste kostnader

De endogene/kontrollerbare variablene i Modell 2 er:

- Antall smolt benyttet i hver generasjon ($Z_{s,g}$)
- Antall laks overført til sjø hver måned ($n_{overført,1}, \dots, n_{overført,l}$)

Man kan se at målfunksjonen er tilnærmet identisk til den som gjelder for Modell 1. Det som skiller modell 2 fra modell 1 er som følger:

Slaktekostnad utgår og erstattes med kostnader knyttet til transport som er uttrykt ved

$$(1) C_{g,i}^T = P_T * W_{g,i} * h_{g,i}$$

Der P_T representerer transportkostnader. Månedlige variable produksjonskostnader pr. generasjon er her gitt ved

$$(2) C_{g,i}^Y = (P_F * F + P_I + P_L * a_L + P_{El} * F_{El} + P_{SL} * F_{SL} + P_O * F_O) * y_{g,i}$$

Der man i tillegg til fôrkostnad, forsikringskostnad, lønnskostnad inkluderer stømkostnaden ved å drive hele anlegget der P_{El} er strømprisen pr. kg og F_{El} er strømfaktoren. Man er også

pålagt å kvitte seg med slam i et landanlegg, noe som gjør at man får en kostnad også med dette. Den er representert med slam-kostnaden P_{SL} og faktoren F_{SL} . I landanlegget påløper det også en kostnad med å oksygenere vannet som resirkuleres. Denne kostnaden er representert med oksygenkostnaden P_O og faktoren F_O .

Total inntekter fra landanlegget $R_{g,i}^O$, er en funksjon av pris pr. kg ($P(W_{g,i})$), gjennomsnittsvekten på fisken (W_g) og antall fisk overført fra land til sjø ($n_{overført}$).

$$(3) R_{g,i}^O = P(W_{g,i}) * W_{g,i} * n_{overført}$$

Prisen på storsmolt er av Fister Smolt AS definert som en lineær funksjon av vekt (W)

$$PW = \begin{cases} 0, & W < 80\text{gram} \\ p_{LIV} + p_{Gram}W, & W > 80\text{gram} \end{cases}$$

I denne analysen vil det være produksjonskostnaden av storsmolt i Modell 2, som benyttes som smoltpris i Modell 3.

6.2.2 Restriksjoner

I et landanlegg er det ingen restriksjoner på antall fisk pr. merd, og restriksjon (5) benyttes derfor ikke i modell 2. Resterende restriksjonene som er spesielle for fiskeoppdrett samt de ikke-negative restriksjonene som er standard for lineærprogrammering er identiske med de presentert i modell 1.

6.2.3 Nøkkeltal som rapporteres ved kjøring av modellene

Ved kjøring av modellene vil det i hovedsak bli rapportert om antall smolt til utsett, produksjonskostnad pr. kilo, deddiskontert total profitt og omløpstid i sjø

6.3 Variabler brukt i modellene

Under følger en oversikt over de variablene som inngår i de lineære programmeringsmodellene som er presentert i dette kapittelet.

a_L =	Arbeidsfaktor
$b_{g,i}$ =	Total biomasse i generasjon g, i måned i
$n_{g,i}$ =	Antall fisk i merdene ved utgang av måned i
r_m =	Månedlig realrente
u_{MAX} =	Maksimal fisketetthet i merdene

$y_{g,i}$	Produksjon i måned i
$W_{g,0}$	Smoltvekt ved utsett
$d_{g,1}, \dots, d_{g,12}$	Dødsrate første år
$n_{g,i-1}$	Antall fisk i merdene ved starten av måned i
$d_{g,13}, \dots, d_{g,I}$	Dødsrate etter 1. år
F	Fôrfaktor
FC	Sum volumuavhengige faste kostnader
G	Maksimalt antall generasjoner i sjø
a_g	Antall merder
r	Årlig realrente
S	Salinitetsnivået i vannet
v	Minimal strømningshastighet i innløpsvannet
$FC_{\text{ØVRIGE}}$	Øvrige faste kostnader
FC_{LEDER}	Lederlønn
M_B	Merdbredde
M_D	Medrdybde
M_L	Merdlengde
$O_{C,g,i}$	Oksygenkonsum
O_{INN}	Metningsgrad av oksygen i vannet som strømmer inn i merden
O_{UT}	Metningsgrad av oksygen i vannet som strømmer ut av merden
P_F	Fôrpris
P_H	Slaktekostnad
P_I	Forsikringskostnad
P_L	Timelønn
P_S	Smoltpris
P_{LUS}	Kostnad med lusebehandling
P_T	Transportkostnad
$R_{g,i}^H$	Totale inntekter fra generasjon g , slaktet i måned i
$h_{g,i}$	Antall fisk slaktet i måned i
C_C	Totale brukskostnader på investeringer som avhenger av merdvolum
C_{CI}	Totale brukskostnader på volumavhengig kapital
$C_{g,i}^H$	Totale kostnader med slakt av generasjon g , i måned i .

$C_{g,i}^y$	Variable kostnader knyttet til generasjon g i måned i .
C_g^S	Smoltkostnader knyttet til generasjon g .
$D_{g,i}$	Antall døde fisk i måned i
$n_{overført}$	Antall fisk overført fra Landanlegg til påvekst i sjø
W_{MIN}	Minimal slaktevekt
W_k	Kjønnsmodningsvekt
Z_M	Totalt merdvolum
$Z_{S,g}$	Antall smolt til utsett
PW	Lakseprisen for matfisk
T_1, \dots, T_{12}	Gjennomsnittlig vanntemperatur pr. Måned
p_1	Stigningstall pr. kg for lakseprisen
p_0	Prisen for laks på minimum slaktestørrelse
p_{LIV}	Prisen for smolt ved initialvekt
p_{Gram}	Stigningstall pr. gram for storsmolt
b_{max}	Maksimal tillat biomasse pr. tillatelse
μ	Antall tillatelser på gitt lokalitet
n_{max}	Maksimalt antall fisk pr. merd.

7 Resultat

For å kunne sammenligne produksjonsregimet med bruk av postsmolt opp mot tradisjonell produksjon presenteres det basismodeller med og uten postsmolt både på vår- og høstutsett. Videre gjøres eventuelle justeringer av utsettene for å passe inn i ønsket produksjonsregime. Avslutningsvis gjøres sensitivitets- og scenarioanalyser for utsett som benytter postsmolt.

7.1 Resultater fra basismodellene

I dette avsnittet presenteres funnene ved kjøring av de ulike modellene med basisverdier på vår og høstutsett. Det gis først en presentasjon av modellene hver for seg, før det avslutningsvis presenteres en sammenligning av funnene. Videre vil det kjøres sensitivitetsanalyser på kritiske parametre og kostnadsposter.

7.1.1 Basismodell 1 – Vårutsett

Tabell 2 fremstiller resultatene av nøkkeltall ved kjøring av modell 1 med basisverdier på et vårutsett (M1V). Dette er et tradisjonelt utsett med smolt på 80g i april og en slaktevekt på 5000g.

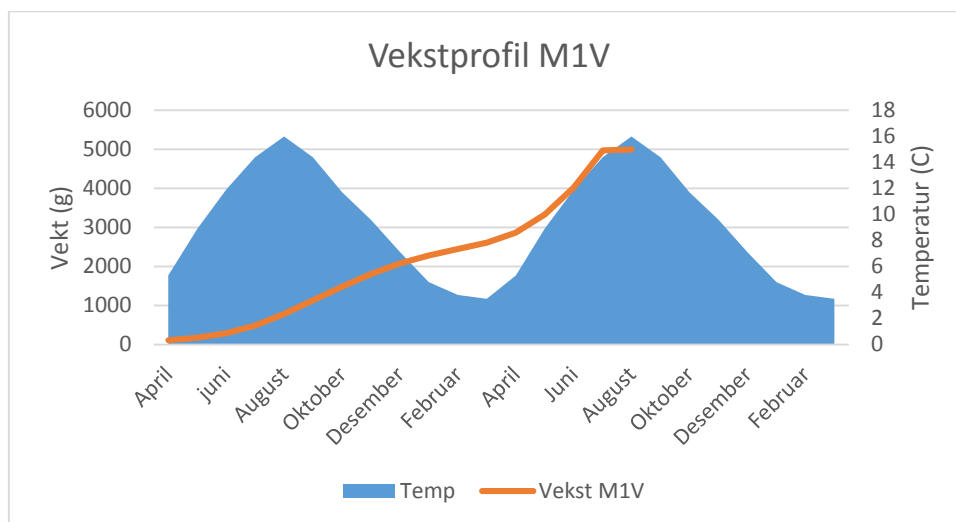
Rapportering av nøkkeltall		Modell 1
	Initialsmoltvekt	80
	Antall smolt ved utsett	532 004
	Antall fisk slaktet	418 622
	Slaktevekt	5 000
	Neddiskontert totalprofitt	64 381 477
	Totalt produksjonsvolum	2 050 550
	antall måneder med produksjon i sjø	17
	Brakklegging	2
	Total omløpstid i sjø	19
	Total produksjonskostnad pr. kilo	26,02
Kostnadsfordeling		
	Brukerpris	1,17
	smoltkostnad	2,85
	Førkostnad	15,21
	Lønnskostnad	2,85
	Forsikringskostnad	0,10
	Kostn.Lusebehandling	1,06
	Faste kostnader	2,79
Transport og slaktekostnad pr kg		
	Transportkostnad	0,49
	Slaktekostnad	0,78
MTB-utnyttelse		
	MAX biomasse	92 %
	MIN biomasse	2 %
	Gjennomsnittlig biomasse	38 %

Tabell 2: Nøkkeltal fra basismodell 1 på vårutsett (M1V)

Omløpstiden i merdene er 17 måneder og med en brakkleggingstid på 2 måneder betyr dette at generasjonen beslaglegger lokaliteten i totalt 19 måneder, noe som kan sies å være i tråd med

dagens produksjonsregime. Denne generasjonen eksponeres for 2 perioder med høyt lusepress og høy risiko for sykdom, samt 1 vinterperiode med lave temperaturer.

Figur 20 viser vekstprofilen i forhold til periodens temperaturprofil. Det modelleres et utsett på 532 004 smolt ved utsett i april, og med en månedlig dødelighet på 1,4% gir det en total dødelighet på 21,3% og et utslakt på 422 402 fisk på 5000g. Gjennomsnittlig MTB i perioden er 38% av hva lokaliteten maksimalt tillater, som her er 2 340 000 kg. Med 7 merder og en tetthetsgrad på 25kg/m³ oppnår man i siste måned 92% av maksimal MTB. Generasjonen genererer en neddiskontert total profitt på 64 381 477 kr til oppdretter.

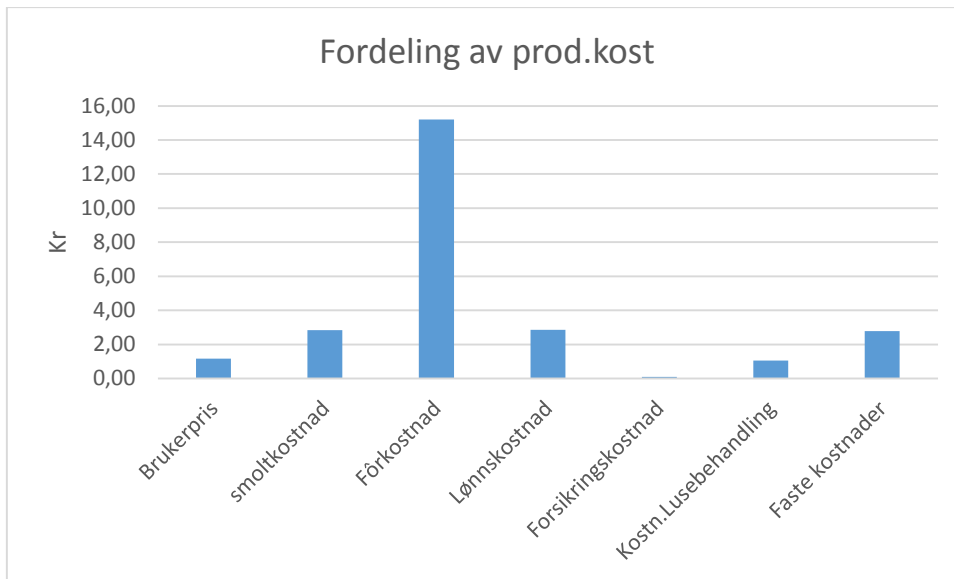


Figur 20: Vekstprofil (M1V)

7.1.1.1 Produksjonskostnad pr. kilo

Total produksjonskostnad på 26,02 kr/kg er noe høyere enn fiskeridirektoratets estimat for 2014 på 23,38 kr/kg. Ser vi på kostnadsfordelingen er det utvilsomt fôrkostnaden som er den største kostnadsdriveren med en kostnad på 15,21 kr/kg, som tilsvarer 58% av total produksjonskostnad. Til sammenligning opererer fiskeridirektoratet med en fôrkostnad som tilsvarer 50,6% av total produksjonskostnad. Hovedårsaken er forskjellen i fôrpris, der fiskeridirektoratet legger til grunn en fôrpris lik 9,68 kr/kg, mens det i denne analysen benyttes en pris lik 13 kr/kg. Smoltkostnad på 2,85 kr/kg og lønnskostnad er på 2,85 kr/kg utgjør begge rundt 11% av total produksjonskostnad. Forsikringskostnaden er den minste posten på 0,10kr/kg og utgjør kun 0,4% av totalen. Brukerprisen er 1,17 og utgjør 5%, mens faste kostnader knyttet til volumuavhengige investeringer er på 2,79kr/kg og utgjør 11%. Kostnader knyttet til lusebehandling er 1,06 kr/kg og utgjør dermed 4 % av total produksjonskostnad.

Transport og slaktekostnad utgjør er på henholdsvis 0,49 kr/kg og 0,78 kr/kg, og den totale kostnaden pr. kilo blir dermed 27,30 kr/kg. Til sammenligning er fiskeridirektoratets estimat for 2014 lik 25,83 kr/kg.



Figur 21: Fordeling av produksjonskostnad (MIV)

7.1.1.2 Konklusjon

Både omløpstid i anlegget og produksjonskostnad pr. kg er innenfor det som regnes som normalt ved et tradisjonelt utsett. Produksjonskostnaden er noe høyere enn Fiskeridirektoratets estimater, noe som i hovedsak kommer av en lavere fôrpris enn det som brukes i denne analysen. Sett i forhold til perioden denne generasjonen står i sjø kan det tenkes at kostnad knyttet til lusebehandling er underestimert, og det vil derfor være særlig hensiktsmessig å gjøre sensitivitetsanalyser på denne kostnadsposten. Dette gjelder også dødelighetsraten brukt i modellen. Det bør også kjøres sensitivitetsanalyse av fôrkostnaden, da denne utgjør såpass stor del av total produksjonskost. Det bør også gjøres en sensitivitetsanalyse av «øvrige faste kostnader» da det er knyttet høy usikkerhet rundt dette parameteret, og den utgjør så mye som 11% av total produksjonskostnad. Modellen bør også kjøres med en optimering av tetthetsgrad for å kunne utnytte lokaliteten maksimalt.

7.1.2 Basismodell1 – Høstutsett

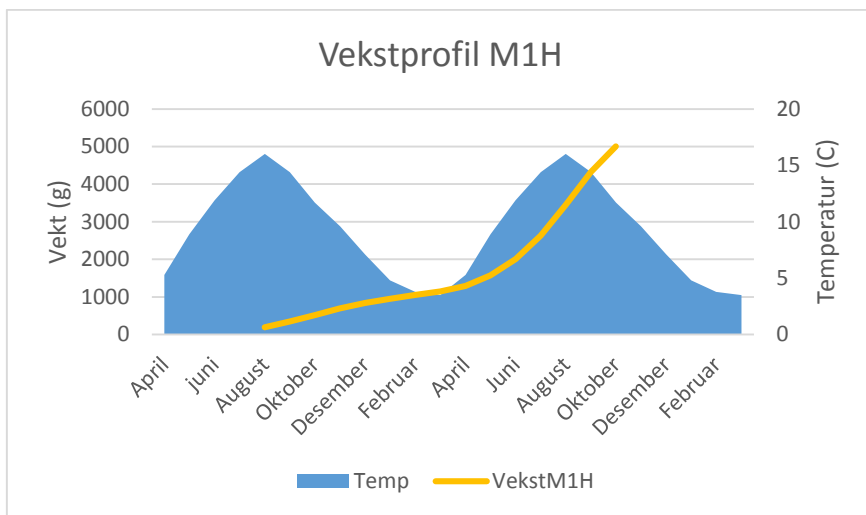
Tabell 3 fremstiller resultatene av nøkkeltall ved kjøring av modell 1 med basisverdier på et høstutsett (M1H) Dette er et tradisjonelt utsett med smolt på 80g i april og en slaktevekt på 5000g.

Rapportering av nøkkeltall		Modell 1
	Initialsmoltvekt	80
	Antall smolt ved utsett	521 882
	Antall fisk slaktet	422 402
	Slaktevekt	5 000
	Neddiskontert totalprofitt	66 607 406
	Totalt produksjonsvolum	2 070 261
	antall måneder med produksjon i sjø	15
	Brakklegging	2
	Total omløpsti i sjø	17
	Total produksjonskostnad pr. kilo	25,49
Kostnadsfordeling		
	Brukerpris	1,04
	smoltkostnad	2,77
	Førkostnad	15,20
	Lønnskostnad	2,85
	Forsikringskostnad	0,10
	Kostn.Lusebehandling	1,06
	Faste kostnader	2,48
Transport og slaktekostnad pr kg		
	Transportkostnad	0,49
	Slaktekostnad	0,79
MTB-utnyttelse		
	MAX biomasse	92%
	Min biomasse	4%
	Gjennomsnittlig biomasse	31%

Tabell 3: Nøkkeltall fra basismodell 1 på høstutsett (MIH)

Omløpstiden i merdene er på 15 måneder, og med en brakkleggingstid på 2 måneder betyr dette at generasjonen beslaglegger anlegget i totalt 17 måneder, noe som er i trå med dagens produksjonsregime. Denne generasjonen eksponeres for 2 perioder med høyt lusepress og høy risiko for sykdom, samt 1 vinterperiode med lave temperaturer.

Figur 22 viser vekstprofilen i forhold til temperaturprofilen i perioden. Det modelleres et utsett på 521 882 smolt ved utsett i august, og med en månedlig dødelighet på 1,4% gir det en total dødelighet på 19,1% og et utslakt på 422 402 fisk på 5000g. Gjennomsnittlig MTB i perioden er på 31%. med en tetthetsgrad på $25\text{kg}/\text{m}^3$ oppnår man en maksimal utnyttelse av MTB på 92%. Generasjonen genererer en neddiskontert total profitt på 66 607 406 kr til oppdretter.

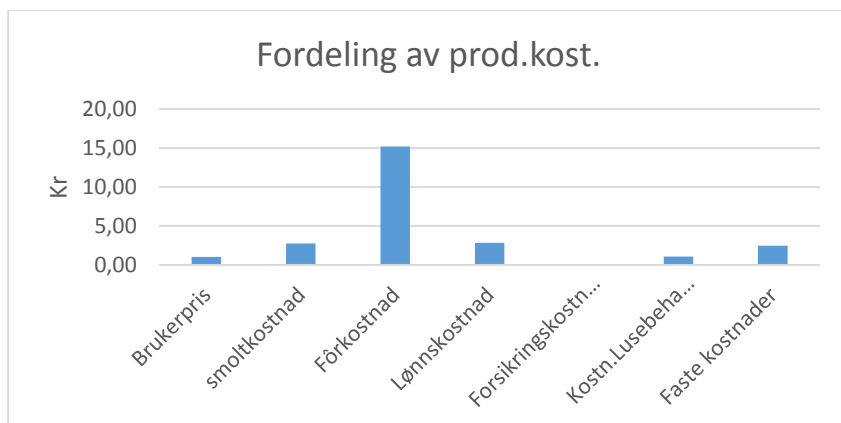


Figur 22: Vekstprofil (M1H)

7.1.2.1 Produksjonskostnad pr. kilo

Total produksjonskostnad på 25,49 kr/kg er noe høyere enn det fiskeridirektoratet estimerer for 2014 på 23,38 kr/kg. Ser vi på kostnadsfordelingen er det utvilsomt fôrkostnaden som er den største driveren med 15,20kr/kg som tilsvarer 60% av total produksjonskostnad. Fiskeridirektoratet estimerer fôrkostnad som 50,6%. Relativt høy fôrkostnad i denne analysen er hovedårsaken til forskjellen. Videre utgjør smolt- og lønnskostnaden henholdsvis 2,77 kr/kg og 2,85 kr/kg som begge tilsvarer 11% av total produksjonskostnad. Forsikringskostnaden på 1,06kr/kg utgjør 0,4% og kostnad med lusebehandling på 1,06kr/kg utgjør 4% av totalen. Brukerpris på 1,04 kr/kg utgjør også 4%. Faste kostnader knyttet til volumuavhengige investeringer på 2,48 utgjør 10%.

Transport- og slaktekostnad på henholdsvis 0,49kr/kg og 0,79kr/kg gir en total kostnad pr. kilo på 26,77 kr/kg.



Figur 23: Fordeling av produksjonskostnad (M1H)

7.1.2.2 Konklusjon

Både omløpstid og produksjonskostnad pr. kg er innenfor det som anses som normale verdier ved et tradisjonelt utsett. Produksjonskostnaden er noe høyere enn det Fiskeridirektoratet estimerte for 2014, noe som i all hovedsak skyldes at denne analysen benytter en høyere fôrpris. Sett i forhold til perioden generasjonen er står i sjø kan det tenkes at kostnaden knyttet til lusebehandling er underestimert. Det anses derfor som svært hensiktsmessig å kjøre sensitivitetsanalyse på denne kostnadsposten. Det samme vil gjelde for dødelighetsraten. Det bør også kjøres sensitivitetsanalyse av fôrkostnaden da denne utgjør 60% av total produksjonskostnaden og for posten faste kostnader da det er knyttet stor usikkerhet til denne posten, og den utgjør så mye som 10% av total produksjonskostnad. Også her bør man kjøre modellen med en optimal tetthetsgrad for å kunne utnytte tillat-MTB maksimalt.

7.1.3 Basismodell 2 - Land

Tabell 4 fremstiller nøkkeltall ved kjøring av Modell 2 med basisverdier (M2B). Her produseres postsmolt på 1000g.

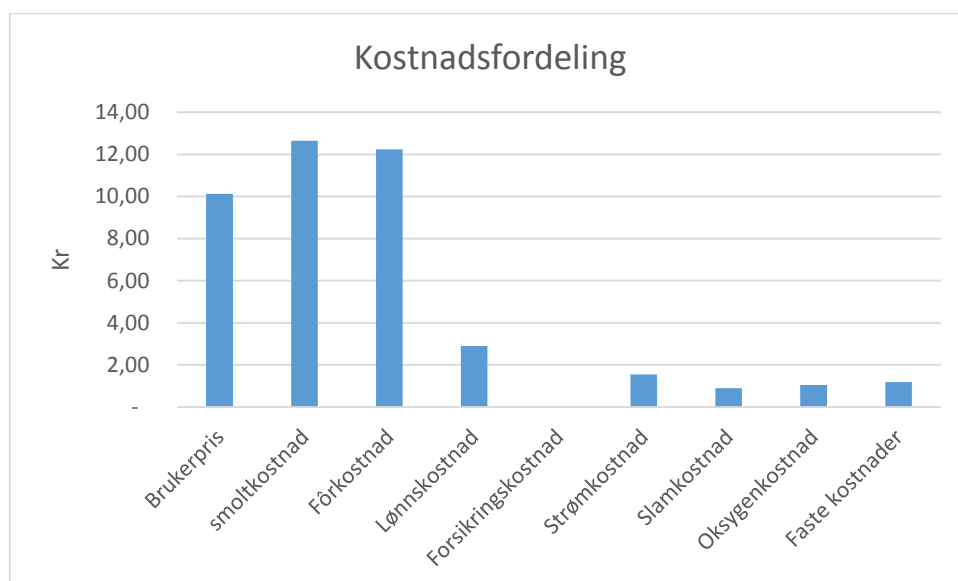
Rapportering av nøkkeltall		Modell 2
	Størrelse på Postsmolt produsert	1000
	Neddiskontert totalprofitt	19 408 840
	Totalt Produksjonsvolum	1 815 824
	Antall smolt ved utsett	2 087 948
	Antall smolt overført til sjø	1 982 860
	Antall måneder med produksjon i landanlegget	6
	Brakklegging	1
	Total omløpstid	7
	Total produksjonskostnad pr. kilo	42,58
Kostnadsfordeling		
	Brukerpris	10,13
	smoltkostnad	12,65
	Fôrkostnad	12,23
	Lønnskostnad	2,90
	Forsikringskostnad	0,02
	Strømkostnad	1,55
	Slamkostnad	0,89
	Oksygenkostnad	1,04
	Faste kostnader	1,18
Transportkostnad		
	Transportkostnad	0,54

Tabell 4: Nøkkeltall fra basismodell 2 (M2B)

Omløpstiden i anlegget er 6 måneder og med en brakkleggingstid på 1 måned gir dette at generasjonen belagler 7 måneder av anlegget. Etter 6 måneder overføres det 2 087 948 laks til anlegg i sjøen for matfiskproduksjon. Det benyttes en temperatur på 12°C før det siste måneden senkes til en tilvenningstemperatur på 9°C.

7.1.3.1 Produksjonskostnad pr. kilo

Den totale produksjonskostnaden er 42,58 kr/kg og i figur 24 vises hvordan totalkostnaden fordeles på de ulike postene.



Figur 24: Fordeling av produksjonskostnad (M2B)

Det er utvilsomt 3 drivere som skiller seg fra resten. Brukerpris lik 10,13kr/kg, smoltkostnaden lik 12,65 og Fôrkostnaden på 12,23kr/kg utgjør henholdsvis 24%, 30% og 29%, og til sammen 82% av total produksjonskostnad. Videre utgjør lønnskostnader 2,90kr/kg og utgjør 7%, forsikringskostnad 0,017 kr/kg og utgjør 0,04% av produksjonskostnaden. Driftskostnader med RAS-anlegget, representert med strømkostnad på 1,55kr/kg, slamkostnad på 0,89kr/kg og oksygenkostnad på 1,04kr/kg utgjør henholdsvis 4%, 2% og 2% av total produksjonskostnad av postsmolten på 1000g. Faste kostnader på 1,18kr/kg utgjør 3%.

Med en transportkostnad lik 0,54 kr/kg ender totalkostnaden på 43,12 kr pr. kilo postsmolt produsert

7.1.3.2 Konklusjon

Som ventet er de høye investeringskostnadene med RAS-anlegget med på å drive produksjonskostnaden opp, i form av en høy brukerpris. Dette i kombinasjon med en høy smolt- og fôrkostnad gjør at postsmolten får en forholdsvis høy produksjonskostnad. I basismodellen er investeringskostnader på 20 000 kr/m³. Det knyttes stor usikkerhet til størrelsen på investeringskostnaden og det vil derfor være svært hensiktsmessig å gjøre sensitivitetsanalyser av denne kostnaden. Basismodellen tar utgangspunkt i produksjon av en postsmolt på 1000g.

Det bør også kjøres på mindre postsmolt, da dette kan ha store utslag for produksjonskostnaden, og derfor det endelige resultatet av ferdig produsert matfisk i modell 3.

7.1.4 Basismodell 3 – Vårutsett

Tabell 5 fremstiller resultatene av nøkkeltall ved kjøring av modell 3 med basisverdier på et vårutsett (M3V). Dette er et utsett med postsmolt på 1000g i april og med en slaktevekt på 5000g.

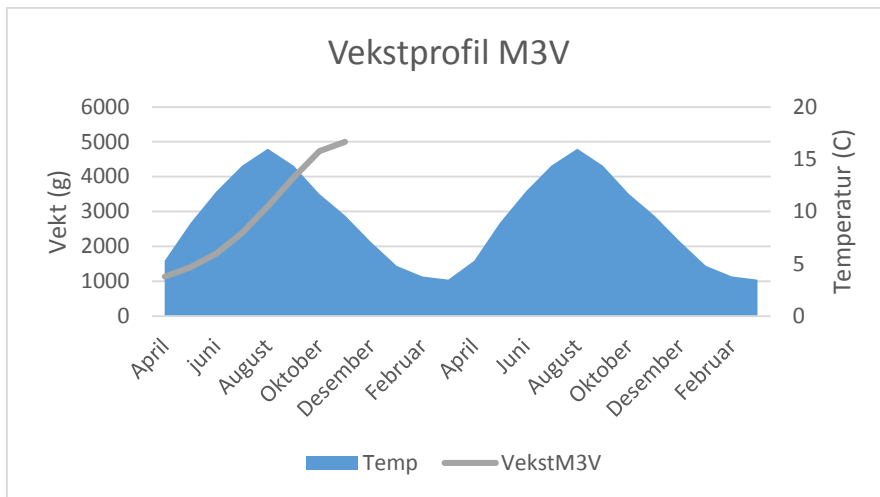
Rapportering av nøkkeltall	Modell 3
Initialvekt på smolt	1000
Antall smolt ved utsett	472 837
Antall fisk slaktet	422 402
Slaktevekt	5 000
Neddiskontert totalprofitt	65 130 075
Totalt produksjonsvolum	1639 175
antall måneder med produksjon i sjø	8
Brakklegging	2
Total omløpstid i sjø	10
Total produksjonskostnad pr. kilo	34,35
Kostnadsfordeling	
Brukerpris	0,78
smoltkostnad	12,25
Førkostnad	15,41
Lønnskostnad	2,89
Forsikringskostnad	0,10
Kostn.Lusebehandling	1,06
Faste kostnader	1,86
Transport og slaktekostnad pr kg	
Transportkostnad	0,63
Slaktekostnad	1,01
MTB-utnyttelse	
MAX MTB-utnyttelse	92%
MIN MTB-utnyttelse	23%
Gjennomsnittlig MTB-utnyttelse	51%

Tabell 5: Nøkkeltall fra basismodell 3 på vårutsett (M3V)

Omløpstid i merdene er 8 måneder. Sammen med en brakkleggingstid på 2 måneder betyr det at generasjonen beslaglegger lokaliteten i 10 måneder. Denne generasjonen eksponeres for 1 periode med høyt lusepress og høy risiko for sykdom.

Det modelleres er utsett på 472 837 smolt ved utsett i april med en månedlig dødelighet på 1,4%, noe som gir en total dødelighet på 10,7% og et utslakt på 422 402 fisk på 5000g. Gjennomsnittlig biomasse i perioden er 51% av MTB. Med 7 merder og en tetthetsgrad på 25kg/m³ oppnår man i siste måned 92% av MTB. Generasjonen genererer en neddiskontert total profitt på 64 130 075 kr til oppdretter.

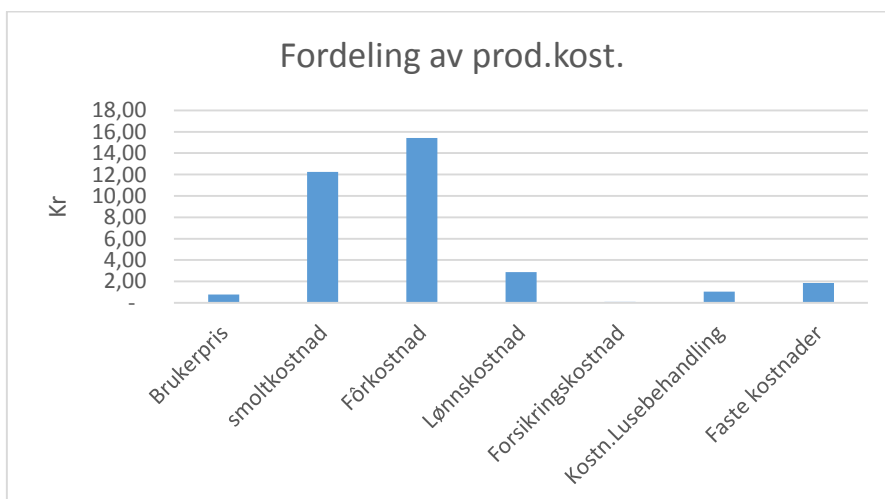
Figur 25 viser vekstprofilen til M3V i forhold til periodens temperaturprofil.



Figur 25: Vekstprofil (M3V)

7.1.4.1 Produksjonskostnad pr. kg

Total produksjonskostnad er på 34,34kr/kg. De største driverne er kostnadene med smolt og fôr. Smoltkostnaden er basert på en produksjonskostnaden av postsmolt fra Modell 2 lik 42,58kr/kg, som gir en smoltkostnad på 12,25kr/kg, som utgjør 36% av total produksjonskostnad. Fôrkostnaden er på 15,41kr/kg og utgjør dermed 45% av produksjonskostnaden. Lønnskostnaden på 2,89 kr/kg utgjør 8%, forsikringskostnaden utgjør 0,10 kr/kg og dermed 0,3% av total produksjonskostnad. Kostnaden med lusebehandling på 1,06kr/kg utgjør 3% mens brukerprisen på 0,78kr/kg og faste kostnader knyttet til volumuavhengige investeringer på 1,86kr/kg utgjør henholdsvis 2% og 5% av den totale produksjonskostnaden.



Figur 26: Fordeling av produksjonskostnad (M3V)

Transport- og slaktekostnad på henholdsvis 0,63kr/kg og 1,01kr/kg gir en total kostnad på 36,45kr/kg.

7.1.4.2 Konklusjon

Resultatene fra kjøring av M3V kan sies å stemme med hypotesene om både kortere eksponeringstid og økte kostnader ved å benytte en større smolt. Omløpshastigheten synker med 9 måneder mens smoltkostnaden stiger med 446% sammenlignet med et tradisjonelt vårutsett (M1V). Sett i forhold til perioden denne generasjonen står i sjø kan det tenkes at både kostnaden med lusebehandling og dødelighetsraten er noe underestimert og det vil derfor være særlig hensiktsmessig å kjøre sensitivitetsanalyser på disse parametrene. På bakgrunn av usikkerheten og mangelen på kunnskap med denne typen utsett bør det gjøres sensitivitetsanalyser på alle kostnadspostene.

7.1.5 Basismodell 3 – Høstutsett

Tabell 6 fremstiller resultatene av nøkkeltall ved kjøring av modell 3 medd basisverdier på et høstutsett (M3H). Dette er et utsett med postsmolt på 1000g i august og med en slaktevekst på 5000g.

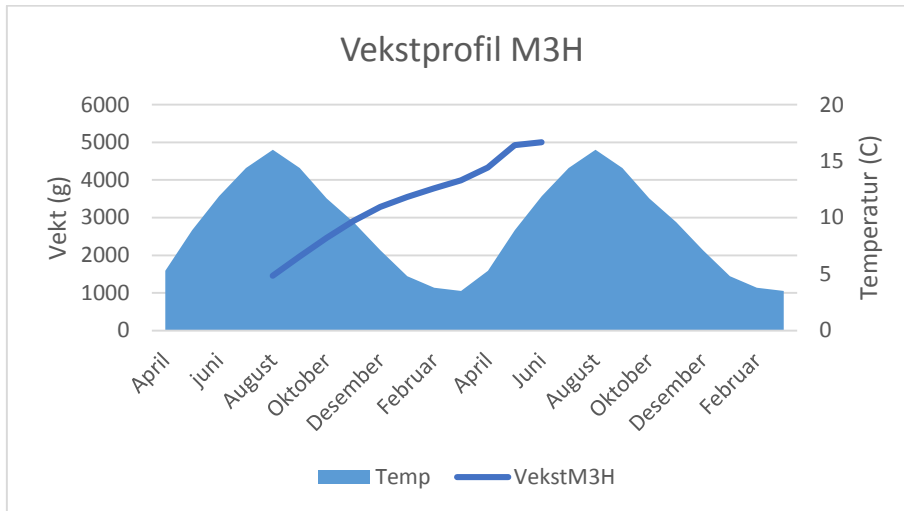
Rapportering av nøkkeltall		Modell 3
	Initialvekt på smolt	1000
	Antall smolt ved utsett	493 265
	Antall fisk slaktet	422 402
	Slaktevekt	5 000
	Neddiskontert totalprofitt	62 495 968
	Totalt produksjonsvolum	1 618 747
	antall måneder med produksjon i sjø	11
	Brakklegging	2
	Total omløpstid i sjø	13
	Total produksjonskostnad pr. kilo	35,86
Kostnadsfordeling		
	Brukerpris	1,02
	smoltkostnad	12,94
	Førkostnad	15,41
	Lønnskostnad	2,89
	Forsikringskostnad	0,10
	Kostn.Lusebehandling	1,06
	Faste kostnader	2,43
Transport og slaktekostnad pr kg		
	Transportkostnad	0,64
	Slaktekostnad	1,02
MTB-utnyttelse		
	MAX MTB-utnyttelse	92%
	MIN MTB-utnyttelse	31%
	Gjennomsnittlig MTB-utnyttelse	56%

Tabell 6: Nøkkeltall fra basismodell 3 på høstutsett (M3H)

Omløpstiden i merdene er på 11 måneder og kombinert med en brakkleggingstid på 2 måneder beslaglegger generasjonen lokaliteten i totalt 13 måneder. Denne generasjonen unngår de høyeste temperaturene i sommerperiodene og dermed perioder med høyt lusepress og høy risiko for sykdom. Fisken eksponeres for 1 vinterperiode med lave temperaturer.

Det modelleres et utsett på 493 265 postsmolt med utsett i august, med en månedlig dødelighet på 1,4%, noe som gir en total dødelighet på 14,37% og et utslakt på 422 402 fisk på 5000g. Gjennomsnittlig biomasse i perioden er 56% av MTB. Og maksimalt utnyttelse av MTB er 92%. Generasjonen genererer en neddiskontert total profitt på 62 495 968 kr til oppdretter.

Figur 27 viser vekstprofilen til M3H i forhold til periodens temperaturprofil.

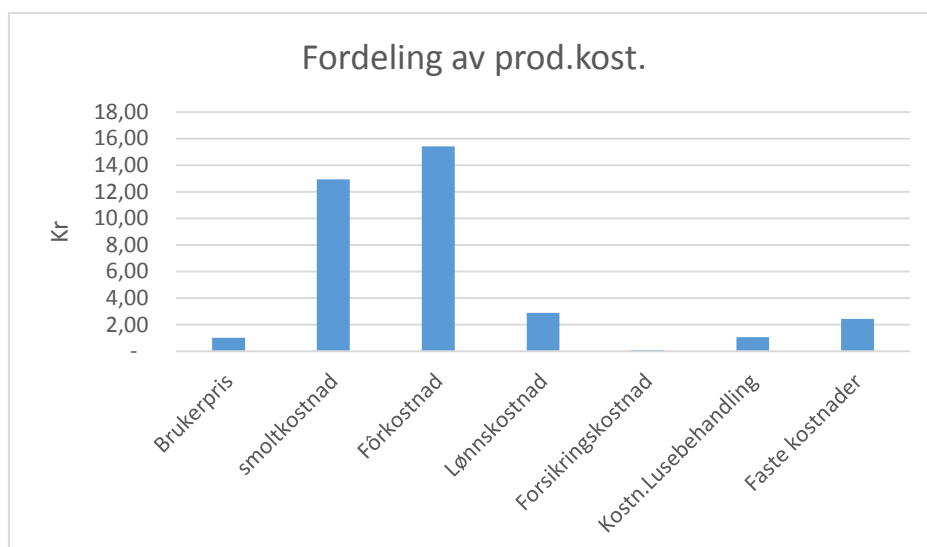


Figur 27: Vekstprofil (M3H)

7.1.5.1 Produksjonskostnad pr. kg

Total produksjonskostnad er på 35,86 kr/kg. De to største driverne er kostnadene knyttet til smolt og fôr. Smoltkostnaden er basert på produksjonskostnaden av postsmolt fra Modell 2 lik 42,5kr/kg, som gir en smoltkostnad lik 12,94kr/kg, som utgjør 36% av total produksjonskostnad. Fôrkostnaden er på 15,41kr/kg og utgjør 43%. lønnskostnaden på 2,86kr/kg ugjør 8%, forsikringskostnaden utgjør 0,10kr/kg og utgjør 0,3%, Kostnad knyttet til lusebehandling på 1,06kr/kg og brukerpris på 1,02kr/kg utgjør begge 3% og faste kostnader knyttet til volumuavhengige investeringer på 2,4kr/kg utgjør 7% av total produksjonskostnad pr. kilo.

Transport- og slaktekostnader utgjør henholdsvis 0,64 kr/kg og 1,02 kr/kg. Dermed blir total kostnaden lik 37,86 kr/kg.



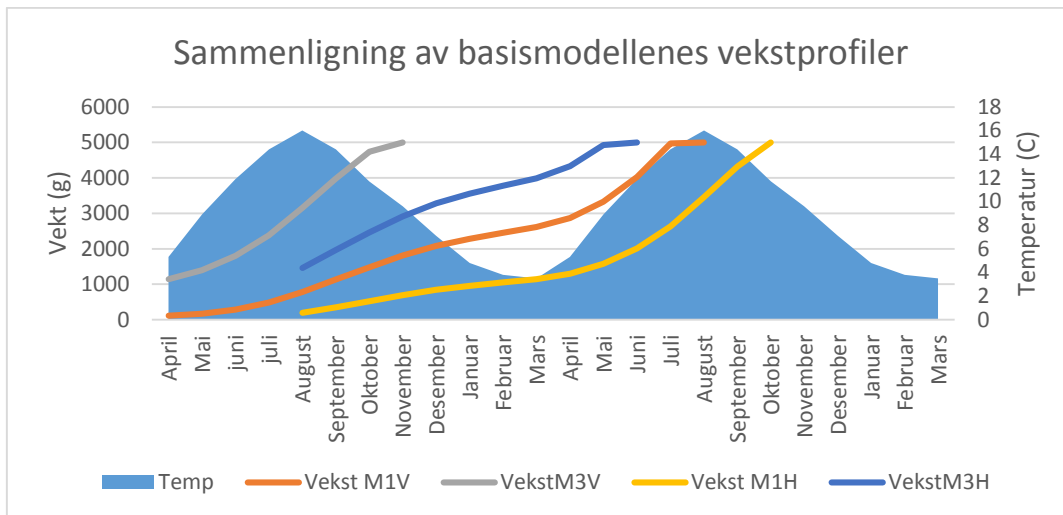
Figur 28: Fordeling av produksjonskostnad (M3H)

7.1.5.2 Konklusjon

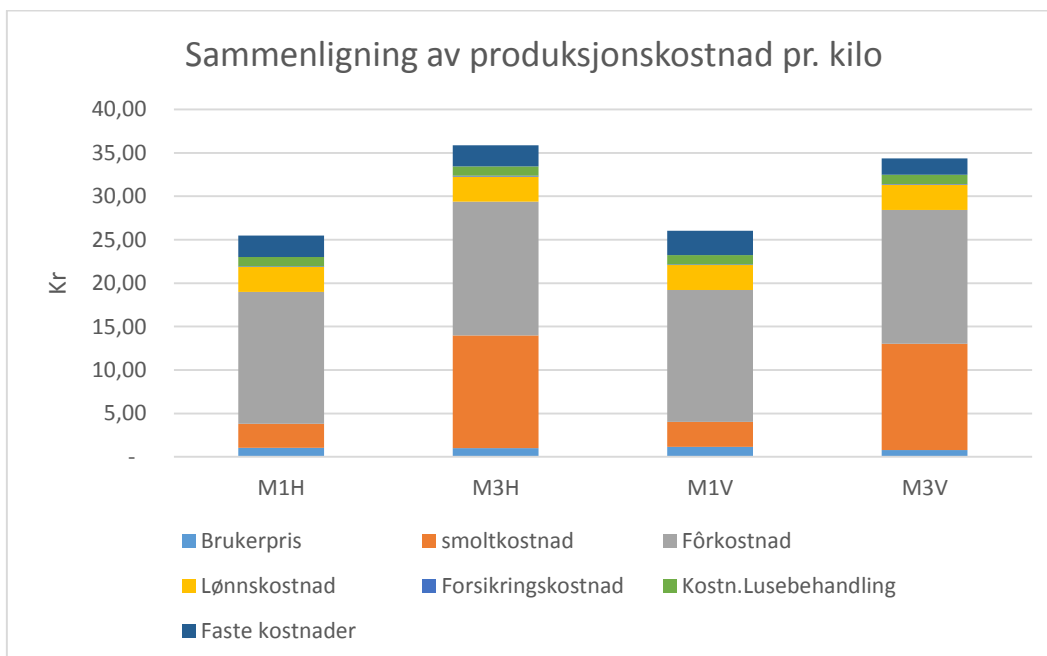
Resultatet fra kjøring av M3H kan sies å stemme godt over ens med hypotesene om både kortere eksponeringstid i sjø og økte kostnader med å benytte postsmolt. Omløpshastigheten synker med 4 måneder mens smoltkostnaden stiger med 467% sammenlignet med et tradisjonelt høstutsett (M1H). Generasjonen unngår de periodene med størst lusepress, men må stå i sjø 1 vinter med lave temperaturer. På bakgrunn av mangel på kunnskap med denne typen utsett bør det gjøres sensitivitetsanalyser på alle kostnadspostene.

7.2 Oppsummering av basismodellene

I figur 29 vises en grafisk sammenligning av de ulike vekstprofilene og i Figur 30 vises en sammenligning av kostnadsfordelingen av produksjonskostnaden på ulike basisutsett. Ved kjøring av basismodellene på vår og høstutsett samt for RAS-anlegget ser vi at hypotesene om kortere omløpstid i sjø og høyere produksjonskostnad ved bruk av postsmolt ser ut til å stemme. Resultatene fra basismodellene med 1000g smolt viser også at det vil være store forskjeller i hva som er optimal postsmoltstørrelse på et vår- og et høstutsett. Basismodellene passer ikke inn i det tidligere nevnte regimet med 10 måneder omløpstid i merdene pluss en brakkleggingsperiode på 2 måneder. Med en tetthetsgrad på 25 kg/m^3 og 7 merder benytter man heller ikke MTB-grensene på gitt lokalitet. Fra sammenligning av kostnadsfordelingene i figur 30 viser at det er økningen av smoltkostnaden som gir de store forskjellene i produksjonskostnader for utsett med postsmolt i forhold til tradisjonelle utsett med smolt på 80g.



Figur 29: Sammenligning av vekstprofiler



Figur 30: Sammenligning av produksjonskostnad pr.kilo

7.3 Justering av modellene tilpasset 10+2 regime

For at de modellerte utsettene skal kunne passe inn i reelle produksjonsregimer gjøres det følgende tilpassninger av modellene:

1. Maksimal tetthetsgrad og antall merder vil bli justert slik av man vil kunne utnytte full MTB.
2. Det vil kun benyttes postsmoltstørrelser og utsett som gjør det mulig å overholde et 10+2 regime. Dette vil bety at det for et høstutsett fortsatt benyttes en postsmolt på

1000g, men at utsettet blir fremskyndet 5 dager til 25. juli. For et vårutsett benyttes en postsmolt på 650g.

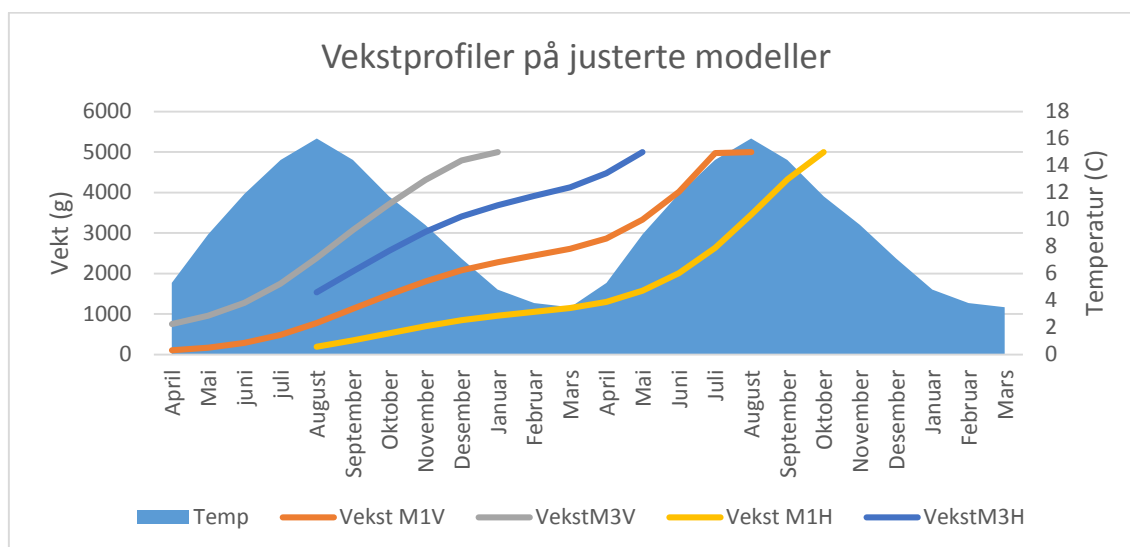
Resultatene av endringene fremstilles i tabell 7. Vi ser nå at samtlige utsett utnytter lokalitetens MTB-begrensninger mer optimalt. Vi ser også at produksjonskostnaden for generasjoner med postsmolt er redusert i forhold til basismodellene. Dette gjelder særlig for vårutsettet med bruk av 650 g postsmolt. Ved å optimere tettheten av fisk i merden økes naturlig nok også antall smolt ved utsett. Det vises også at ved bruk av postsmolt går behovet for antall smolt ned betraktelig, med 5% for høstutsett og 8% for vårutsett. Det er også verdt å merke seg at smoltkostnaden lik 8,63 kr/kg er betydelig redusert med bruk av 650g smolt i vårutsettet i forhold til basismodellen der smoltkostnaden var 12,25 kr/kg.

Sammenligning av Modell 1 og 3 på vår- og høstutsett m/optimal tetthet og postsmolt					
Rapportering av nøkkeltall		Høstutsett (Aug)		Vårutsett (Mai)	
		Modell 1 H	Modell 3 H	Modell 1 V	Modell 3 V
	Initialsmoltvekt	80	1000	80	650
	Antall smolt ved utsett	570 124	538 861	581 181	531 317
	Antall fisk slaktet	461 448	461 448	457 318	461 448
	Slaktevekt	5 000	5 000	5 000	5 000
	Neddiskontert totalprofit	73 129 819	68 996 233	70 740 139	71 592 861
	Totalt produksjonsvolum	2 261 630	1 768 379	2 240 097	1 961 884
	antall måneder med produksjon i sjø	15	10	17	10
	Brakklegging	2	2	2	2
	Total omløpstid i sjø	17	12	19	12
	Total produksjonskostnad pr. kilo	25,33	35,46	25,84	30,80
Kostnadsfordeling					
	Brukerpris	1,09	1,00	1,23	0,89
	smoltkostnad	2,77	12,94	2,85	8,63
	Fôrkostnad	15,20	15,38	15,21	15,38
	Lønnskostnad	2,85	2,89	2,85	2,88
	Forsikringskostnad	0,10	0,10	0,10	0,10
	Kostn.Lusebehandling	1,06	1,06	1,06	1,06
	Faste kostnader	2,27	2,08	2,55	1,86
Transport og slaktekostnad pr kg					
	Transportkostnad	0,49	0,64	0,49	0,57
	Slaktekostnad	0,79	1,02	0,78	0,92
MTB-utnyttelse					
	MAX biomasse	100 %	100 %	100 %	100 %
	Min biomasse	5 %	24 %	3 %	17 %
	Gjennomsnittlig biomasse	34 %	54 %	41 %	43 %

*Modell 3 H har utsett 25.juli (Postsmolt på 1058g i 1.August)

Tabell 7: Sammenligning av nøkkeltall fra justerte modeller

Gevinsten postsmolt gir i form av en raskere omløpstid i sjø, og derav kortere eksponeringstid for lus og annen sykdom kommer klart frem i figur 31. Det bør nevnes at om man fremskynder det tradisjonelle vårutsettet noe, vil man kunne slakte ut en 5000g fisk i juni. Vi ser likevel at vi ved bruk av postsmolt kan oppnå gevinster både i form av økt produksjonsmulighet gjennom året, hyppigere brakklegging som vil gi gode topografiske forhold på lokaliteten, mulig redusert nødvendighet for lusebehandling, samt et mindre antall laks i merdene, noe som vil være fordelaktig både mtp. rømmning, lus og sykdom.



Figur 31: Vekstprofiler på justerte modeller

Når det videre gjøres sensitivitetsanalyser vil dette bli gjort med utgangspunkt i de justerte modellene.

7.4 Sensitivitetsanalyser

For å kunne fastslå hvilke effekter endringer i parameterverdier får på resultatene fra modellene gjøres det sensitivitetsanalyser på de parametre som anses å kunne påvirke forskjeller i de ulike utsettene. Deretter presenteres ett best- og ett worst-case scenario med en endret produksjonssyklus der man benytter postsmolt.

7.4.1 Investeringskostnad RAS-anlegg

De store investeringskostnadene knyttet til bygging av RAS-anlegg er et av hovedargumentene mot at landbasert oppdrett vil være lønnsomt. Det er knyttet stor usikkerhet til estimatet på 20000 kr/m³ som er lagt til grunn i analysene i Modell 2, og det gjøres derfor sensitivitetsanalyser på +/-50% på både 650 g og 1000 g postsmolt. Resultatet fra denne analysen er at for en 1000g postsmolt vil en 50% reduksjon i investeringskostnad pr. m³ gi en reduksjon i produksjonskostnad på 5,06kr/kg. En tilsvarende økning av investeringskostnaden resulterer i en økning i produksjonskostnaden på 5,07kr/kg. For Postsmolt på 650 g vil en reduksjon på 50% i investeringskostnadene resultere i en reduksjon i produksjonskostnad lik 4,57kr/kg. En tilsvarende økning i investeringskostnaden øker produksjonskostnaden med 4,56kr/kg.

7.4.1.1 Levetid på landanlegg

Anleggets levetid vil også kunne ha innvirkning på produksjonskostnad da levetiden er med på å bestemme andelen av brukerprisen på de volumavhengige investeringene som påløper pr. måned. Økes levetiden med 10% fra 20år til 22år gir dette en reduksjon i produksjonskostnaden pr. kilo på 0,5kr/kg. En tilsvarende reduksjon i levetiden resulterer i en økt produksjonskostnad på 0,71 kr/kg.

7.4.2 Produksjonskostnad for postsmolt

Det er knyttet høy usikkerhet til alle kostnadspostene i et storskala RAS-anlegg til postsmoltproduksjon, og det gjøres derfor sensitivetsanalyse på alle postene av produksjonskostnaden. Resultatet fra en +/-10% analyse fra produksjon av 650g og 1000g postsmolt fremstilles i henholdsvis tabell 8 og tabell 9. Analysen er utført med en investeringskostnad lik 20000 kr/m³.

Kostnad	kr/kg prod.	10 %	-10 %
Brukerpris	9,13	0,91	-0,91
Smoltkostnad	20,27	2,03	-2,03
Førkostnad	12,26	1,23	-1,23
Lønnskostnad	2,90	0,29	-0,29
Forsikringskostnad	0,03	0,00	0,00
Strømkostnad	1,55	0,15	-0,15
Slamkostnad	0,89	0,09	-0,09
Oksygenkostnad	1,04	0,10	-0,10
Faste kostnader	1,06	0,11	-0,11
Endring i prodkost	0,00	4,91	-4,91
Total Prodkostn.	49,15	54,06	44,23

Tabell 8: Sensitivetsanalyse av prod.kost på 650g postsmolt

Kostnad	kr/kg prod.	10 %	-10 %
Brukerpris	10,13	1,01	-1,01
Smoltkostnad	12,65	1,26	-1,26
Førkostnad	12,23	1,22	-1,22
Lønnskostnad	2,90	0,29	-0,29
Forsikringskostnad	0,02	0,00	0,00
Strømkostnad	1,55	0,15	-0,15
Slamkostnad	0,89	0,09	-0,09
Oksygenkostnad	1,04	0,10	-0,10
Faste kostnader	1,18	0,12	-0,12
Endring i prodkost	0,00	4,26	-4,26
Total Prodkostn.	42,58	46,84	38,32

Tabell 9: Sensitivetsanalyse av prod.kost på 1000g postsmolt

7.4.3 Lusebehandlinger

I avsnitt 2.3 ble det fastslått at kostnader knyttet til lusebehandling er en av driverene til økte produksjonskostnader i norsk lakseoppdrett de seneste år. Om anlegget blir rammet av store lusepåslag kan kostnadene med avlusing stige drastisk. Det antas at man med optimal bruk av

postsmolt kan unngå avlusning fullstendig, og det gjøres derfor sensitivitetsanalyser på +/- 100%. Dette vil føre til en endring i produksjonskostnad lik +/- 1,06 kr/kg.

7.4.4 Dødelighetsrate

Fra basismodellene ser vi at bruk av postsmolt fører til kortere eksponeringstid i sjø. Tar man også i betraktning at det er en større og mer robust fisk som settes ut vil det være nærliggende å tro at månedlig dødelighetsrate vil kunne reduseres noe. Derimot om man blir tvunget til å utsette fisken for avlusning kan det tenkes at dødeligheten økes. Det gjøres derfor sensitivitetsanalyser på +/-10% på månedlige dødelighetsrater. I tillegg til at dette endrer produksjonskostnaden vil det også ha innvirkning på antall smolt ved utsett. Resultatene fra +/-10% sensitivitetsanalyse på dødelighet finnes i tabell 10 under.

	Endring i prod.kost/kg		Endring i smoltutsett (stk)	
	+10%	-10%	+10%	-10%
Vår 80g	0,09	-0,09	12520	-12239
Høst 80g	0,07	-0,07	11455	-11213
Vår 650g	0,16	-0,15	6838	-6742
Høst 1000g	0,29	-0,28	7711	-7592

Tabell 10: Resultater fra endring i månedlig dødelighetsrate

7.4.5 Fôrkostnad

Som vist i basismodellene er fôrkostnaden den enkeltkostnaden som utgjør størst andel av den totale produksjonskostnaden. En prosentvis endring i denne kostnaden vil derfor ha stor innvirkning på total produksjonskostnad i forhold til en tilsvarende prosentvis endring i de andre kostnadspostene. Det kan tenkes at ved optimal bruk av postsmolt vil fôrkostnaden kunne reduseres noe, f.eks i forbindelse med en lavere dødelighetsrate, og det gjøres derfor sensitivitetsanalyse på +/-10% på fôrkostnaden. For et vårutsett med 650 g smolt gir dette en endring i produksjonskostnaden på +/- 1,54 kr/kg. Det samme vil være gjeldene for et høstutsett med postsmolt på 1000 g.

7.5 Scenarioanalyse

For å finne utfallsrommet av modellene gjøres det nå 2 scenarioanalyser på bakgrunn av de parameter som er undersøkt i sensitivitetsanalyse. Det vil først presenteres et «Worst case scenario» før det deretter presenteres et «Best case scenario» med bruk av postsmolt i et nytt produksjonsregime i lakseoppdrett.

7.5.1 Worst case scenario

Her benyttes investeringskostnad pr. m^3 på 30 000 kr og en beregnet levetid på 18 år på RAS-anlegget. Det legges også til grunn en 10% økning i total produksjonskostnad pr. kilo for

postsmolt. Videre antas det 100% økning i kostnader knyttet til lusebehandling, 10% økning i dødlighet og 10% økning i førkostnaden.

7.5.1.1 Høstutsett

Ved worst case scenarioet for høstutsett er produksjonskostnaden til 1000 g postsmolt 53,58 kr/kg. Det blir satt ut 546 572 stk postsmolt og det blir slaktet 460 793 laks på 5000g. Total produksjonskostnad er 41,76 kr/kg, noe som gir oppdretter en total neddiskontert profitt lik 58 128 386 kr.

Smoltkostnaden stiger til 16,62 kr/kg, førkostnaden til 16,92 kr/kg og kostnad knyttet til avlusing stiger til 2,12 kr/kg.

7.5.1.2 Vårutsett

Her settes ut postsmolt på 650g som har en produksjonskostnad lik 48,17 kr/kg. Det blir satt ut 538155 stk postsmolt og det slaktes 460793 laks på 5000 g. Total produksjonskostnad er på 38,01 kr/kg, som gir oppdretter en profitt lik 57 545 350 kr.

Smoltkostnaden stiger til 13,23 kr/kg, førkostnaden til 16,92 kr/kg og kostnader knyttet til avlusing stiger til 2,12 kr/kg.

7.5.2 Best case scenario

Her benyttes investeringskostnader pr. m^3 på 10 000 kr og en beregnet levetid på 22 år på RAS-anlegget. Det legges til grunn en nedgang på 10% på total produksjonskostnad pr. kilo for postsmolt. Videre antas det ingen kostnader knyttet til lusebehandling, 10% nedgang i dødelighetsraten og 10% nedgang i førkostnaden.

7.5.2.1 Høstutsett

Ved best case scenarioet for høstutsett er produksjonskostnaden til 1000g postsmolt 33,51 kr/kg. Det blir satt ut 531 269 stk postsmolt og det slaktes 462 103 laks på 5000 g. Total produksjonskostnad er 29,88 kr/kg noe som gir oppdretter en total neddiskontert profitt lik 78 726 914 kr. I dette scenariet er smoltkostnaden lik 9,98 kr/kg, førkostnaden lik 13,84 kr/kg og kostnader knyttet til avlusing er fraværende.

7.5.2.2 Vårutsett

Her settes ut postsmolt på 650g med en produksjonskostnad på 25,93 kr/kg. Det blir satt ut 524 575 stk smolt og det slaktes 462 103 laks på 5000g. Total produksjonskostnad er på 26,45kr/kg, som gir oppdretter en neddiskontert total profitt lik 80 111 494 kr. Her er

smoltkostnaden lik 6,89 kr/kg, førkostnaden 13,84 kr/kg mens det ikke regnes kostnader til avlusing.

I tabell 11 ser vi en sammenligning av nøkkeltall i best- og worst case scenarioene på vår- og høstutsett med postsmolt.

Sammenligning av scenarioanalyser på ved vår- og høstutsett m/optimal tetthet og postsmolt					
Rapportering av nøkkeltall		Høstutsett (25.juli)		Vårutsett (1.Mai)	
		Best 3H	Worst 3 H	Best 3 V	Worst 3 V
	Initialsmoltvekt	1 000	1 000	650	650
	Produksjonskostnad postsmolt pr. kilo	33,51	53,58	25,93	48,17
	Antall smolt ved utsett	531 269	546 572	524 575	538 155
	Antall fisk slaktet	462 103	460 793	462 103	460 793
	Slaktevekt	5 000	5 000	5 000	5 000
	Neddiskontert totalprofitt	78 726 914	58 128 386	80 111 494	57 545 350
	Totalt produksjonsvolum	1 779 247	1 757 392	1 969 542	1 954 163
	antall måneder med produksjon i sjø	10	10	10	10
	Brakklegging	2	2	2	2
	Total omløpstid i sjø	12	12	12	12
	Total produksjonskostnad pr. kilo	29,88	41,76	26,45	38,01
Kostnadsfordeling					
	Brukerpris	0,99	1,01	0,89	0,89
	smoltkostnad	9,98	16,62	6,89	13,23
	Førkostnad	13,84	16,92	13,84	16,92
	Lønnskostnad	2,89	2,89	2,88	2,88
	Forsikringskostnad	0,10	0,10	0,10	0,10
	Kostn.Lusebehandling	-	2,12	-	2,12
	Faste kostnader	2,07	2,10	1,85	1,86
Transport og slaktekostnad pr kg					
	Transportkostnad	0,63	0,64	0,57	0,58
	Slaktekostnad	1,01	1,02	0,92	0,92
MTB-utnyttelse					
	MAX biomasse	100 %	100 %	100 %	100 %
	Min biomasse	24 %	25 %	17 %	17 %
	Gjennomsnittlig biomasse	54 %	55 %	42 %	43 %

Tabell 11: Sammenligning av scenarioanalyser

I avsluttende avsnitt vil det bli forsøkt å trekke konklusjoner og besvare spørsmål som er reist i avsnitt 1.2, på bakgrunn av modellene som er bygget og analyser gjort av disse.

8 Oppsummering og konklusjoner

De siste års økning i kostnader forbundet med avlusing har gjort at produksjonskostnaden pr. kilo fisk har økt. Dette i kombinasjon med at myndighetene ikke tillater vekst i næringen før man kan vise til en bærekraftig utvikling, har gjort at man må tenke nytt rundt det å produsere oppdrettslaks i Norge.

Denne oppgaven har derfor sett på muligheten rundt det å produsere en større, mer robust postsmolt, som kan korte ned eksponeringstiden i åpne merder i sjø. Til dette arbeidet er det bygget 3 lineære programmeringsmodeller som kan benyttes som optimeingsverktøy i et nytt produksjonsregime innen lakseoppdrett.

Hovedmotivasjonen for å legge om fra dagens produksjonsregime, til et nytt kombinasjonsregime som beskrevet i kapittel 4, er å kunne korte ned produksjonstiden i sjø og dermed øke årlig produksjonsmengde innenfor gitte MTB-restriksjoner. Resultatet fra modellene kjørt med postsmolt viser at dette helt klart vil være mulig, og at man kan legge om til et produksjonsregime der laksen står 10 måneder i sjø etterfulgt av 2 måneder brakklegging, og på denne måten kun beslaglegger lokaliteten i 12 måneder pr. generasjon. Til sammenligning viste modellering av standardutsett på 80g smolt at dette beslagla lokaliteten i 17-19 måneder, avhengig av om man satt ut smolten på vår eller høst. Utsettene med postsmolt gav også høyere gjennomsnittlig utnyttelse av MTB enn hva som var tilfelle med tradisjonelle utsett. Jeg vil derfor argumentere for at et nytt produksjonsregime med bruk av postsmolt utvilsomt gjør det mulig å utnytte dagens lokaliteter i sjø mer effektivt.

Som ventet viser modellene at bruk av postsmolt gir en høyere produksjonskostnad pr. kilo enn ved bruk av 80g smolt. Sensitivitets- og scenarioanalysene gjort i kapittel 7 viste at produksjonskostnaden for postsmolt i et 10+2 regime kunne variere fra 26,45 kr/kg i et best case scenario med 650 g postsmolt, til 41,76 kr/kg i worst case scenario med bruk av 1000g postsmolt.

Ut fra analysene utført i denne oppgaven vil det ikke være mulig å fastslå noe sikkert rundt hvor vidt man kan kutte lusekostnaden fullstendig med omlegging av produksjonsregimet, men jeg vil argumentere for at siden fiskens eksponeringstid i sjø er vesentlig kortere med bruk av postsmolt enn hva som er vanlig i tradisjonelle utsett, vil behovet for avlusing avta og at man av den grunn kan forvente at kostnadene med avlusing avtar. Dette i kombinasjon med at det settes ut en større og mer robust postsmolt vil trolig kunne redusere månedlig dødelighetsrate.

Oppsummert vil jeg si at funnene i denne oppgaven peker mot at bruk av postsmolt i et produksjonsregime der fisken står 10 måneder i sjø vil være en «game changer» i norsk oppdrettsnæring, og kan være med å bidra til økt vekst i næringen innenfor dagens rammer, men også som et ledd i arbeidet med en bærekraftig næring, som kan resultere i at myndighetene åpner opp for videre vekst.

8.1 Forslag til videre forskning

I denne oppgaven er det foretatt en bedriftsøkonomisk analyse, og det er derfor de bedriftsøkonomiske gevinster og ulemper som har blitt belyst. For videre forskning vil det kunne være interessant å se på de samfunnsøkonomiske gevinstene med en omlegging fra dagens produksjon til et nytt produksjonsregime med bruk av postsmolt. I en slik vinkling vil det også kunne være interessant å se på økonomiske gevinster kontra miljømessige gevinster.

Et annet forslag til videre forskning kan være å se på en produksjonsmodell der hele produksjonsprosessen holdes på land, kontra kombinasjonsmodellen som er presentert i denne oppgaven. Her vil det også være mulig å se problemet både fra et bedriftsøkonomisk- så vel som fra et samfunnsøkonomisk ståsted.

Kildeliste

- Aadland, C. (2016, 25.April). Utviklingskonsesjonene kan senke lakseprisen. *Ilaks*. Retrieved from <http://ilaks.no/dette-kan-gi-127-000-tonn-ekstra-laks-i-sjoen/>
- Aarhus, I. J., Høy, E., Fredheim, A., & Winther, U. (2011). *Kartlegging av ulike teknologiske løsninger for å møte de miljømessige utfordringene i havbruksnæringen*. Retrieved from https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fkd/vedlegg/rapporter/2011/sintef_kartlegging_uliike_teknologiske_losninger2011.pdf
- Akvakulturloven, LOV-2005-06-17-79. (2005). Lov om akvakultur. Retrieved from <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-06-17-79>
- Asche, F., & Bjørndal, T. (2011). *The economics of salmon aquaculture* (2nd ed.). Chichester, West Sussex ; Ames, Iowa: Wiley-Blackwell.
- Asche, F., Roll, K. H., & Tveterås, R. (2012). FoU, innovasjon og produktivitetsvekst i havbruk. *Magma*, 1, 23-31.
- Berge, A. (2014a, 7.Oktober). Pionérene: Brødrene Vik. *Ilaks*. Retrieved from <http://ilaks.no/pionerene-brodrene-vik/>
- Berge, A. (2014b, 15.Oktober). Pionérene: Ove og Sivert Grøntvedt. *Ilaks*. Retrieved from <http://ilaks.no/pionerene-ove-og-sivert-grontvedt/>
- Berge, A. (2016, 18.Mars). Slaktet fisk på 5,6 kilo på under ett år i sjøen. *Ilaks*. Retrieved from <http://ilaks.no/slaktet-fisk-pa-56-kilo-pa-under-ett-ar-i-sjoen/>
- Bjørndal, T. (1988). Optimal harvesting of farmed fish. *Marine Resource Economics*, 139-159.
- Bleie, H., & Skrudland, A. (2014). *Tap av Laksefisk i Sjø*. Retrieved from
- Blue Planet. (2015). *Økt Verdiskaping i lakseproduksjon*.
- Bøhren, Ø. (1982). Å løse investeringsproblemer. Retrieved from http://home.bi.no/oyvind.bohren/work/non-ref/4-A_lose_investeringsproblemer.pdf
- Bøhren, Ø., & Gjerum, P. I. (2009). *Prosjektanalyse - Investering og finansiering*. Bergen: Fagbokforlaget.
- Direktoratet for Økonomisk styring. (2014). *Veileder i samfunnsøkonomisk analyse*. Retrieved from http://www.dfo.no/Documents/FOA/publikasjoner/veiledere/Veileder_i_samfunns%20konomiske_analyser_1409.pdf.
- Fiskeridirektoratet. (2014). *Lønnsomhetsundersøkelse for produksjon av laks og regnbueørret*. Retrieved from <http://www.fiskeridir.no/content/download/14111/201031/version/4/file/rap-lonnsomhet-akvakultur-2014.pdf>
- Fiskeridirektoratet. (2015). Fiskeridirektoratet har åpnet for søknader om utviklingstillatelser. Retrieved from <http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Nyheter/2015/1115/Fiskeridirektoratet-har-aapnet-for-soeknader-om-utviklingstillatelser>

- Fiskeridirektoratet. (2016a). Biomasse. Retrieved from <http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Drift-og-tilsyn/Biomasse>
- Fiskeridirektoratet. (2016b). Ocean Farming får de første utviklingstillatelsene. Retrieved from <http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Nyheter/2016/0216/Ocean-Farming-faar-de-foerste-utviklingstillatelsene>
- Forsberg, O. I. (1995). Empirical investigations on growth of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in land-based farms. Evidence of a photoperiodic influence. *Aquaculture*, 133(3), 235-248.
- Forsberg, O. I. (1996). Optimal stocking and harvesting of size-structured farmed fish: a multi-period linear programming approach. *Mathematics and Computers in Simulation*, 42(2), 299-305.
- Forskrift om sone for samordnet avlusing, LOV-2003-12-19-124-§19, FOR-2003-12-19-1790. (2010). Forskrift om sone for samordnet avlusing vinteren og våren 2010. Retrieved from <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2009-12-22-1764>
- Guttormsen, A. G. (2008). Faustmann in the sea: optimal rotation in aquaculture. *Marine Resource Economics*, 401-410.
- Havforskningsinstituttet. (2009). Lakselus. Retrieved from <http://www.imr.no/temasider/parasitter/lus/lakselus/nb-no>
- Holan, A. B., & Kolarevic, J. (2015). *Postsmoltproduksjon i resirkulert sjøvann på land* (Rapport 40/2015). Retrieved from
- Hosteland, L. T. S. (2016, 6.Januar). Postsmolt-produksjonen går som ei kule. *Kyst*. Retrieved from <http://kyst.no/nyheter/postsmolt-produksjonen-gar-som-ei-kule/>
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Andreassen, O., Brandvik, R. K., Marthinussen, A., & Nystøyl, R. (2015). *Kostnadsdrivere i lakseoppdrett* (Rapport 41/2015). Retrieved from
- Marine Harvest. (2015). *2015 Salmon Industry Handbook*. Retrieved from <http://www.marineharvest.com/globalassets/investors/handbook/2015-salmon-industry-handbook.pdf>
- Norges Sjømatråd. (2015). Laks og ørret for 50 milliarder i 2015. Retrieved from <http://www.seafood.no/Nyheter-og-media/Nyhetsarkiv/Pressemeldinger/Laks-og-%C3%B8rret-for-50-milliarder-i-2015>
- Nærings- og fiskeridepartementet. (2014). *Verdien av forutsigbarhet*. (Meld. St. 16 2014-2015). Oslo: Nærings- og fiskeridepartementet Retrieved from <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-16-2014-2015/id2401865/?ch=1&q>.
- Nærings- og Fiskeridepartementet. (2015). *Laks på Land*. Retrieved from <https://www.regjeringen.no/contentassets/1e8b96928110400eb0d5892b9c8c4bdb/laks-pa-land.pdf>.
- Olafsen, T., Winter, U., Olsen, Y., & Skjermo, J. (2012). *Verdiskapning basert på produktive hav i 2050*. Retrieved from

http://www.sintef.no/globalassets/upload/fiskeri_og_havbruk/publikasjoner/verdiskaping-basert-pa-produktive-hav-i-2050.pdf

Reithe, S., & Tveterås, R. (2000). *Productivity in Organic Conventional Salmon Aquaculture*.

Retrieved from

https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/165918/A17_00.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rosten, T. W., Ulgenes, Y., Henriksen, K., Terjesen, B. F., Biering, E., & Winther, U. (2011).

Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg - Forprosjekt. Retrieved from

<https://www.sintef.no/publikasjoner/publikasjon/download/?pubId=SINTEF+A21169>

Tveterås, R. (1993). *Økonomisk rente i norsk matfiskoppdrett*.

Utdanning.no. (N.A). Som fiskeoppdretter har du ansvaret for den daglige driften av et

oppdrettsanlegg. Retrieved from <https://utdanning.no/yrker/beskrivelse/fiskeoppdretter>

Appendiks 1 – Søknader på utviklingskonsesjoner

Nr	Søker	Omsøkt størrelse (MTB)	Konsept
1	Nordlaks Oppdrett AS	30000	Havfarm for havbasert oppdrett
2	AkvaDesign AS	7800	Lukket merdteknologi
3	Gigante Offshore AS	6240	“Supertankmerd” – rørkonstruksjon fortløyd på svai
4	Gifas Marine AS	3120	“SubFishcage” – nedsenkbar stormerd
5	Atlantis Subsea Farming AS	4680	Nedsenkbare oppdrettsanlegg
6	Marine Harvest Norway AS	10920	“Egget” – lukket merdteknologi
7	MNH Produksjon AS	6240	“Aquatraz” – semi-lukket merd
8	Blom Fiskeoppdrett AS	6240	Teknologi for oppsamling av slam
9	Lerow AS	6240	“MARKOB” – Semi-offshore messingnettmerd med fartøybaserte servicetjenester
10	Norway Royal Salmon ASA og Aker ASA	11700	Halvt nedsenkbart offshore oppdrettsanlegg i stål
11	Norsk Marin Fisk AS og Stjernefarm SUS	2340	“AkvaHub” – behandling mot lus og AGD med ferskvann i lukket tank
12	Kobbevik og Furuholmen Oppdrett AS	3120	“Steelline” – lukket produksjonsenhet i syrefast stål
13	Eide Fjordbruk AS	4680	Åpen dataplattform og tilhørende systemer
14	Marine Harvest Norway AS	4680	“Beck-cage” – offshore nedsenkbare bur
15	Marine Harvest Norway AS	6240	“Marine Donut” -heldekkende, lukkede enheter
16	Lerøy Seafood Group AS	7 020	“Pipefarm” – lukket flytende lengdestrømsanlegg
Total MTB		121260	