



Sammendrag av forskning på kjønnsortering av laks

Dokument Nr: TN-0006-1

REV	DATE	REASON FOR ISSUE	PREPARED BY	CHECKED BY	APPROVED BY
1	8.7.2021	Første versjon	TW	EA	EA

Innhold

1	Innledning	2
1.1	Hensikt	2
1.2	Referanser.....	3
2	Oppsummering.....	4
3	Bakgrunn for de siste forskningsresultatene	7
4	Møte med Peter Schütz, NTNU, juni 2021.....	8
5	Masteroppgaven til Aasen, 2021	9
5.1	Markedet.....	9
5.2	Smolt-typer	11
5.3	Metodikk, modellering og underlag til parametere.....	12
5.4	Resultater og analyse.....	14
6	Masteroppgaven til Næss og Patricksson, 2019.....	17

1 Innledning

1.1 Hensikt

Mange aktører i bransjen er overbevist om at det er store fordeler ved å kunne kjønnsortere oppdrettslaks. Det er imidlertid ikke like enkelt å vise til konkrete tall på hvor stor denne fordelene kan være.

Dette dokumentet oppsummerer tilgjengelige forskningsresultater rundt kjønnsortering av fisk, som underbygger og kvantifiserer en del av disse fordelene.



1.2 Referanser

- **Vedlegg A**
Artikkel på ilaks.no: *FoU-konsesjoner for redusert produksjonstid ved bruk av avlsteknologier innvilget*. Lastet ned 30.6.2021 fra <https://ilaks.no/fou-konsesjoner-for-reduisert-produksjonstid-ved-bruk-av-avlsteknologier-innvilget/>
- **Vedlegg B**
Artikkel på kyst.no: *Doktorgrad på ultralydsortering av kjønn og kjønnsmodning hos laks*. Lastet ned 27.05.2024 fra <https://www.kyst.no/aquagen-doktorgrad-forskning/doktorgrad-pa-ultralydsortering-av-kjonn-og-kjonnsmodning-hos-laks/185064>
- **Vedlegg C**
Aasen: *Tactical Production Planing for Atlantic Salmon Farming Under Uncertainty of Salmon Lice*. Master's thesis in Industrial Economics and Technology Management, NTNU. Supervisor: Peter Schütz. June 2021.
- **Vedlegg D**
Næss, Patricksson: *Production Planning for Atlantic Salmon under Uncertainty with Impact of Extensive Site Management*. Master's thesis in Industrial Economics and Technology Management, NTNU. Supervisor: Peter Schütz. June 2019.
- **Vedlegg E**
Lien: *Using Branch and Price to Optimize the Production of Salmon Under the Risk of Gender Maturation*. Master's thesis in Industrial Economy and Technological Management Supervisor: Peter Schütz June 2022



2 Oppsummering

Eidsfjord Sjøfarm har i samarbeid med Sisomar, NTNU og AquaGen forsket på effekten av kjønnsseparering, seleksjon for tidlig kjønnsmodning og epigenetikk. Dette har blitt gjort i kommersiell skala ved lokaliteter i Nordland og Nord-Troms, siden 2018.

Hannfisk vokser raskere enn hunnfisk, og når derfor slaktevekt tidligere. Når hanner og hunner produseres sammen, er det vanskelig å utnytte denne forskjellen mellom kjønnene.

I november 2018 ble 600.000 fisk med en snittvekt på 60 gram kjønnsortert med ultralyd hos Sisomar. Hunner og hanner ble holdt adskilt og satt i separate merder i mai 2019.

I juni 2021 ble det levert en masteroppgave som oppsummerer denne forskningen, og beregner hvor mye ekstra man kan hente ut fra oppdrettsanlegg hvis man har tilgang på kjønnsseparert fisk. Oppgaven konkluderer med at man kan øke totale inntekter og total slaktevekt med rundt 10% når man har tilgang på flere typer smolt, og at mesteparten av denne fordelingen kommer som en konsekvens av tilgang til smolt som er kjønnsortert.

Figuren under viser utvikling i vekt for blandet fisk ift. fisk med kun ett kjønn i en merde, basert på data fra Aquagen sin forskning:

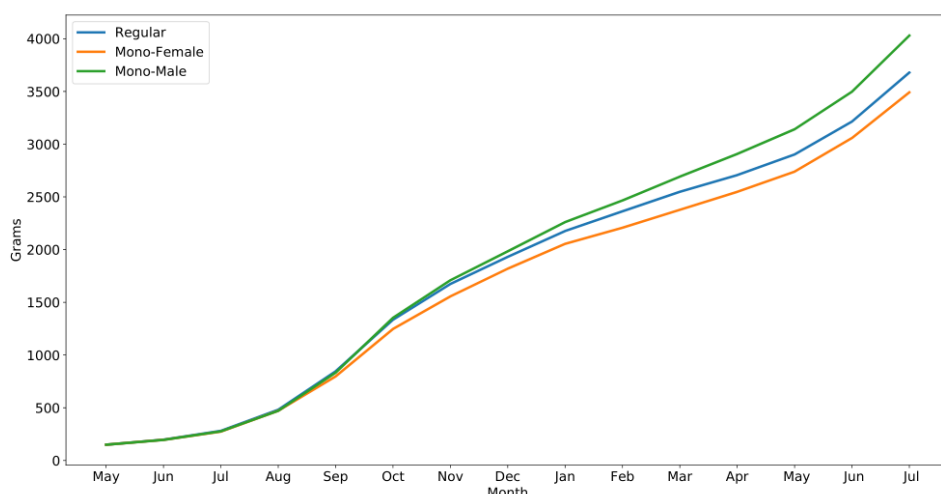


Figure 2.3: Weight development of a 150 gram smolt for both the mono-gender and regular smolt types based on growth rates obtained from sea trials.

Figuren under viser vekstraten til forskjellig type fisk, basert på forsøk utført av Aquagen. Vekstraten vises som Thermal Growth Coefficient (TGC), som tar hensyn til gjennomsnittstemperaturen i vannet i vekstperioden:



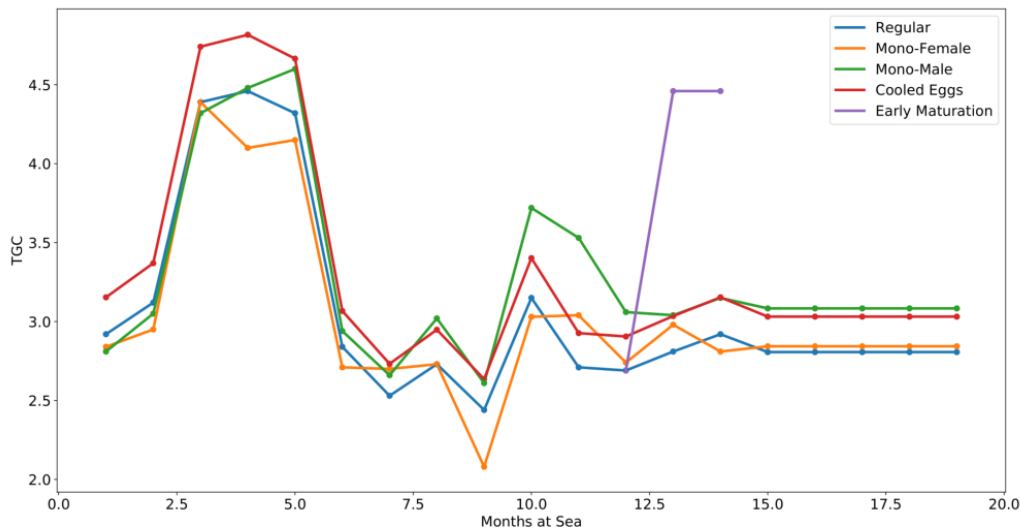


Figure 8.2: TGC of the different smolt types as a function of time spent at sea.

Vi ser i figuren over at hankjønn vokser raskere og hunkjønn vokser litt saktere, men at hunfisk i separat merde faktisk vokser litt raskere enn vanlig blandet fisk i noen av månedene etter de er satt ut i sjøen (måneder 6, 11, 12, 13 og 15 og utover).

Figuren under viser dødeligheten hos fisk, basert på forsøk i sjø utført av Aquagen:

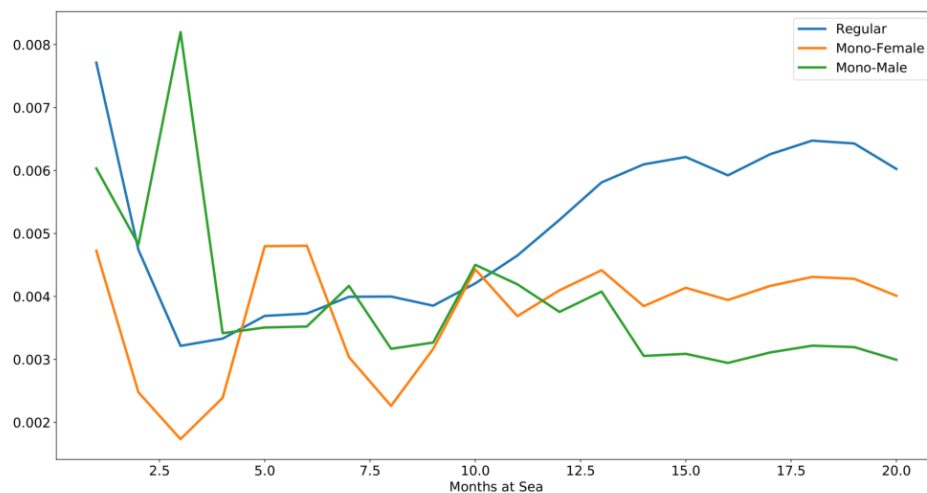


Figure 8.3: Scaled mortality rates for the regular, mono-female, and mono-male smolt type. We assume that the cooled eggs and early maturation smolt types exhibit the same mortality rates as the regular smolt type.

Dødeligheten er vist i andel fisk som dør per måned (0,2-0,8% av bestanden per måned). Det er interessant å legge merke til at dødeligheten i kjønnseparerte merder er lavere for både hunfisk og hanfisk fra 11. måned og utover.



Resultatene i masteroppgaven viser at innhøstet volum (i tonn) øker i snitt med 8,8% (fra 82 469 til 89 765 tonn) ved å ha tilgang til kjønnsortert settefisk. Ytterligere økt innhøstet volum øker kun med ytterligere 0,5% ved å også ha tilgang til settefisk fra nedkjølte egg og settefisk med tidlig kjønnsmodning. Beregninger gjøres på flere forskjellige måter, med omtrent samme resultat.

Økt inntjening oppnås primært ved å utnytte lavere syklustid i sjøen, for ikke å gå ut over maksimal tillatt biomasse ihht. lisenser.

Vi har også sett på resultatene fra en masteroppgave utført i 2019. Her viser resultatene en 21% økning i produksjon når man har tilgang til kjønnsortert settefisk i form av kun hanfisk, sammenlignet med resultatet ved å bare bruke tradisjonelle smoltpopulasjoner av blandet kjønn. Masteroppgaven fra 2019 bruker faktiske målinger fra et forsøk som ble startet av AquaGen i 2017. Basert på disse målingene gjør de beregninger som viser forskjell i gjennomsnittlig vekt per fisk ved utsett av 150 g smolt:

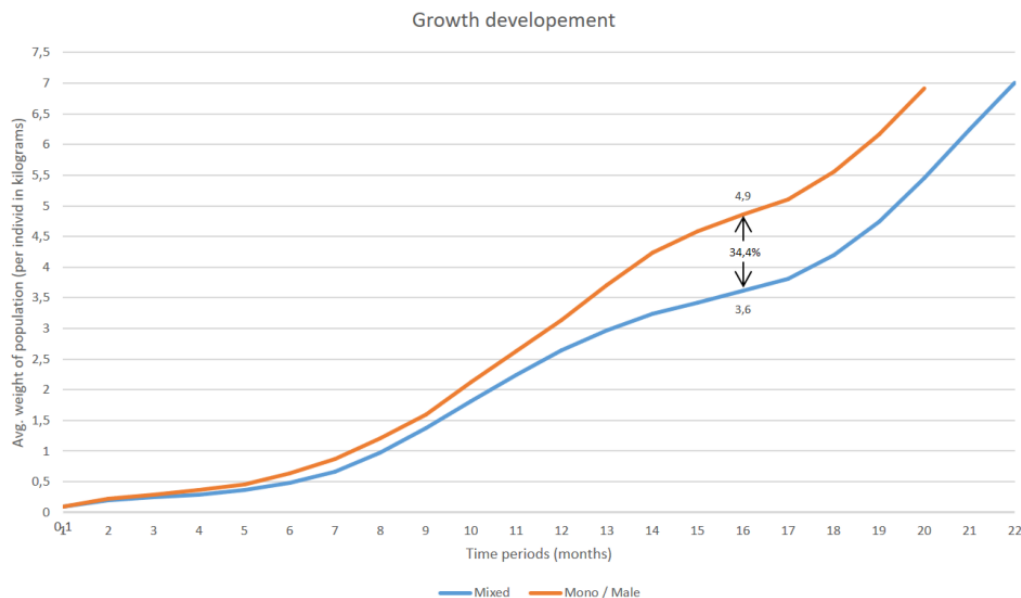


Figure 6.4: Simulated development in growth for two separate population, with start in January

Figuren viser opptil 34% økt vekt for merder med kun hanfisk, sammenlignet med blandet kjønn. En annen måte å se de samme tallene på er at man oppnår en snittvekt på 4,5 kg ca 3,5 måneder raskere.

Forskningen viser at

- Oppdrettere kan øke inntjeningen sin med i størrelsesorden 9-21% ved å utnytte tilgang på kjønnsortert settefisk
- Begge kjønn vokser raskere når de er kjønnseparert
- Dødeligheten synker, som gir både økt inntjening og økt fiskevelferd



3 Bakgrunn for de siste forskningsresultatene

Vedlegg A og B gir nyttig bakgrunnsinformasjon for den siste forskningen som er utført. Fra vedlegg A, november 2018:

"Eidsfjord sjøfarm har i samarbeid med Sisomar, NTNU og AquaGen fått tildelt to forskningstillatelser for å undersøke om moderne avlsteknologi kan bidra til redusert produksjonstid for laks i sjø.

I forsøksperioden vil effekten av kjønnsseparering, seleksjon for tidlig kjønnsmodning og epigenetikk bli testet ut i kommersiell skala ved lokaliteter i Nordland og Nord-Troms.

Hannfisk vokser raskere enn hunnfisk, og når derfor slaktevekt tidligere. Når hanner og hunner produseres sammen, er det vanskelig å utnytte denne forskjellen mellom kjønnene.

I november 2018 blir 600.000 fisk med en snittvekt på 60 gram kjønnsortert med ultralyd hos Sisomar. Hunner og hanner holdes adskilt og blir satt i separate merder i mai 2019.

– Ved å produsere hunn- og hannfisk separat, ønsker vi å utnytte kjønnsforskjellen for å få økt vekst og tilpasse slaktetidspunkt til veksten i hvert enkelt kjønn, sier daglig leder i Sisomar, Jon Meisfjord."

"Prosjektet er tilknyttet Institutt for Industriell økonomi og teknologiledelse ved NTNU.

Masterstudenter ved NTNU vil i løpet av prosjektperioden skrive masteroppgaver innenfor fagområdet anvendt økonomi og optimering. Oppgavene vil ha søkelys på økonomi for matfiskprodusenter, og muligheten for optimalisering i verdikjeden. De første masterstudentene er allerede godt i gang, og arbeider med å vurdere potensialet for økt produksjon av oppdrettslaks ved hjelp av kjønnsortert smolt."

Vedlegg B beskriver en doktorgrad på ultralydsortering av kjønn og kjønnsmodning hos laks, fra februar 2020:

"Ingun Næve disputerte 7. februar 2020, med sin doktoravhandling på utvikling av ultralyd som en skånsom metode for kjønnsortering av lakseparr og modningsovervåking av stamlaks. Dette var en såkalt nærings-Phd som ble utført i et samarbeid mellom NTNU og AquaGen."

"Kjønnsortering av parr kan også brukes for å utnytte ulikt vekstpotensial mellom hunn- og hannfisk i matfiskproduksjon. Hannfisken vokser generelt hurtigere enn hunnfisken når den går i blandet gruppe. I rene kjønnsseparerte grupper har vi sett at både hannfisk og hunnfisk vokser bedre sammenlignet med blandet gruppe. Hunnfisken har dessuten større filetutbytte enn hannfisken, så det er muligheter til å oppnå større biomasse gjennom kjønnsortering."

For øvrig er ikke alle de underliggende tallene offentlig tilgjengelig, og doktoravhandlingen til Næve er heller ikke tilgjengelig. Masteroppgaver ved NTNU er imidlertid offentlig tilgjengelig informasjon. De to masteroppgavene som beskrives nedenfor, har bakgrunn i denne forskningen.



4 Møte med Peter Schütz, NTNU, juni 2021

25.6.2021 hadde GreenFox Marine v/Erling Aspen og Terje K Wahl møte med Peter Schütz. Han er førsteamanuensis ved Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse på NTNU.

Han har forsket spesielt mye på produksjonsplanlegging i oppdrettsnæringen, gjennom sine fagfelt bedriftsøkonomi og optimering. Han har samarbeidet med AquaGen, og har bl.a. veiledet masterstudenter for de to masteroppgavene som beskrives nedenfor.

Når det gjelder påstander om økt slaktevekt, sa Schütz at de har sett litt forskjellige tall, avhengig av forutsetningene. Den siste masteroppgaven fra i vår viser til omtrent 10% økt biomasse, så slik sett høres det bra ut i forhold til GreenFox Marine sine påstander. For øvrig må vi legge merke til at økt veksthastighet ikke nødvendigvis tas ut i økt slaktevekt per fisk, men at det kan tas ut i form av kortere tid i merdene, og optimalisert slakting fordi hvis du samler fisk med ett kjønn så har de ikke så ulik vekt seg imellom når de slaktes.

Forskningen til Schütz innen dette området har de siste to årene rettet seg mye mot å forske på hvor mye mer biomasse/økonomi vi klarer å ta ut av en samling fiskeoppdrettsanlegg hvis man har tilgang på kjønnsortert fisk. Dette tar spesielt hensyn til rotasjonsplan på et anlegg, lisenser og maksimal tillatt biomasse i lisensene. Optimaliseringen ser på biomassetaket per anlegg, men optimaliserer over en region for å utnytte en oppdretter sine forskjellige anlegg i forskjellige stadier. De har laget og forsket på optimale femårs produksjonsplaner, og da spesielt for alle Eidsfjord sine rundt 20 anlegg.

Noen flere punkt fra samtalen med Schütz:

- Hvis vi klarer å presse ned tid i merden, så klarer vi å få inn en eller flere ekstra sykluser i løpet av en femårsperiode.
- De har primært forsket på optimalisering av fisk i havet, og ikke spesifikt på settefisk-stadiet. De har optimalisert ut ifra en antakelse om at oppdretterne kan velge settefisk av hvilket som helst kjønn de ønsker. De optimale modellene har derfor en overvekt av hanfisk ift hunfisk.
- Når det gjelder prediksjon på tilvekstkurver for laks: Forskjell mellom han- og hunfisk var ikke så stor til å begynne med, men forskjellene ble igjen større mot slutten av vekstperioden.
- Hanfisk vokser seg ca 2kg større enn hunfisk i blandet merde. Når du skiller dem så er ikke tilveksten av hunfisk like sakte som i blandet merde, sannsynligvis fordi hanfisk er mer aggressiv på for.
- Hanfisk blir altså større enn hunfisk også i kjønnseparerte merder. Forskjellene blir delvis utjevnet ved at hunfisk vokser litt raskere når den er kjønnseparert. Yield på hunfisk er også større enn på hanfisk (større prosentvis filet-andel på hunfisk).
- Forskningen har vurdert inntjeningen man sitter igjen med - ikke kun størrelse på fisken. Dette fordi mange faktorer spiller inn, bl.a. pris per smolt, tid i merd, makstak på biomasse, kjøttkvalitet som varierer mellom kjønn og kjøttkvalitet som varierer mellom størrelse på fisk.
- Peter Schütz sa avslutningsvis at "Jeg tror produktet deres har en fremtid. Det vi helst vil ha er kjønnsortert fisk."

5 Masteroppgaven til Aasen, 2021

Dette kapitlet inneholder relevante utdrag fra masteroppgaven til Aasen. Den har tittelen "Tactical Production Planing for Atlantic Salmon Farming Under Uncertainty of Salmon Lice".

Fra sammendraget til oppgaven:

" I denne masteroppgava utvikler vi en optimeringsmodell for taktisk produksjonsplanlegging under saltvannsdelen av lakseoppdrettverdikjeden.

[...]

Vi bruker så dette rammeverket til å undersøke fordelene av å introdusere nye smolt typer. I tillegg undersøker vi verdien av å hensynte usikkerhet når man lager taktiske produksjonsplaner.

Vi optimerer med hensyn til to forskjellige målfunksjoner. Nemlig, rå slaktevolumer og slaktevolumer vektet med relativ pris etter vektklasse. Resultatene våre viser at å introdusere nye smolt typer kan øke målfunksjonen med omtrent 9,4 % når vi maksimerer med hensyn på rå slaktevolumer, og med 10,3 % når vi maksimerer med hensyn til relative priser."

Videre følger relevante utdrag fra masteroppgaven og kommentarer til den.

5.1 Markedet

Fra introduksjonen:

"The world's consumption of seafood has increased from approximately 20 million tonnes in 1950 to 156 million tonnes in 2016, and is further projected to increase by 18 % by 2030 (FAO, 2020). As of 2018 aquaculture accounted for 52 % of consumed seafood, and its share is expected to rise to 59 % in 2030. Moreover, the amount of captured wild fish have remained flat during the last 30 years, and this trend is expected to continue until 2030. Meaning that a considerable part of the increase in seafood consumption must stem from increased aquaculture production."

"Salmonids are a seafood type that accounted for 4.4 % of the global seafood consumption in 2018, and approximately 77 % of salmonids are farmed (Mowi ASA, 2020). Atlantic salmon makes up the largest share of salmonids on the market, and is becoming increasingly popular as production is up by a staggering 1000 % since 1990. Farmed Atlantic salmon are interesting from a sustainability standpoint, as the carbon footprint per kilogram of edible salmonids are 65 % that of pork and 20 % that of beef, while the freshwater consumption per edible kilogram is 33 % and 13 % that of pork and beef respectively."



"Norway is by far the largest producer of Atlantic salmon with a market share of 52 %, while Chile is the second largest producer with a market share of 28 %"

"As the industry's ecological footprint has increased, more stringent regulations have been placed on the industry. One such regulation is that salmon farming companies must abide by biomass restrictions, which restrict how much biomass a company can have at sea at any point in time. These restrictions have caused the production volumes to stagnate as shown in Figure 1.1, and mean that a farming company can no longer increase its production by simply deploying more fish. Hence, the importance of utilizing biomass restrictions to the fullest have increased."

"An important aspect of salmon farming is the price the farming company can achieve for their salmon in the market. Salmon is priced per head on gutted (HOG) kilogram, however, the kilogram price varies according to how heavy the salmon is. Typically, larger salmon fetch higher kilogram prices than smaller salmon."

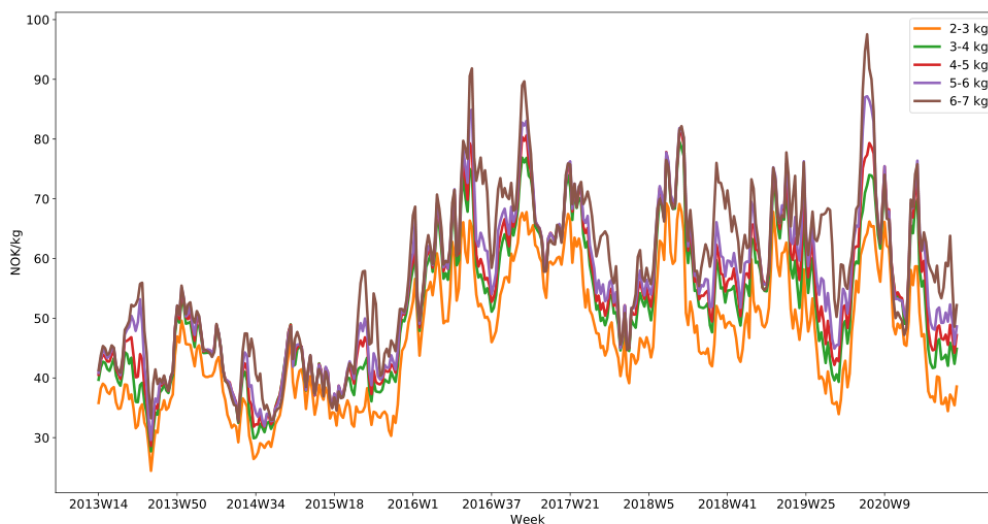


Figure 2.2: Historical weekly salmon prices per weight class as quoted on the NASDAQ Salmon Index.

5.2 Smolt-typer

Smolt-typer beskrives i kapittel 2.4:

"2.4.1 Regular Smolt

The regular smolt type is the currently most typical smolt type that is used by Norwegian Atlantic salmon farmers. Although it is called regular, it is still a product of breeding. This thesis assumes that there only exist one type of regular smolt, however, in reality there exists several small variations that differ with regards to mortality and growth rates among other factors.

2.4.2 Mono-Gendered Smolt

Mono-gendered smolt refers to regular smolt where the two genders are kept separate from one another, e.g. a net-pen of only male smolt. Hence, mono-gender is not a feature of the smolt itself, but rather how it is reared. The genders are separated before entering seawater, as separating them during earlier stages are difficult as it is challenging to identify the different gender characteristics early on.

Sea trial results show that mono-male, mono-female, and regular smolt differ with respect to growth rates and mortality rates. The results reveal that mono-female smolt have slower growth rates than the regular smolt, but also lower mortality rates. Moreover, mono-male smolt exhibited higher growth rates during the trials than both the mono-female and regular smolt. However, it also proved to have higher mortality rates than the two aforementioned smolt types. Figure 2.3 shows the weight development of a 150 gram smolt of the mono-gender and regular smolt types based on growth data obtained from sea trials."

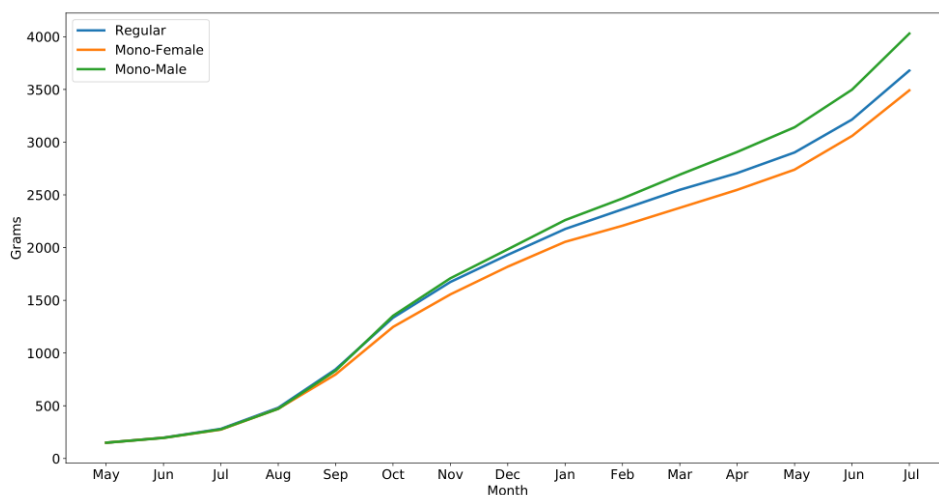


Figure 2.3: Weight development of a 150 gram smolt for both the mono-gender and regular smolt types based on growth rates obtained from sea trials.



Masteroppgaven inneholder også en beskrivelse av smolt-type fra nedkjølte egg (kan gi noe raskere vekstkurve) og smolt med tidlig kjønnsmodning (kan utnytte vekstspurt rett før kjønnsmodning men med risiko for at man slakter for sent, dvs etter kjønnsmodning).

5.3 Metodikk, modellering og underlag til parametere

Masteroppgaven forklarer sin metodikk i kapittel 5. De lager matematiske modeller som tar hensyn til bl.a. utvikling i biomasse, risiko og konsekvenser av luseproblematikk, individenes variasjoner i vekt og regelmessige relative prisendringer i løpet av året. Modellering gjøres i form av å bruke stokastisk programmering, som finner optimaliserte løsninger som også tar hensyn til usikkerhet¹.

Kapittel 6 går i detaljer rundt den matematiske modelleringen. Modelleringen tar bl.a. hensyn til at beslutninger fattes underveis med jevne mellomrom, basert på erfaringer og hvilke scenarier (ift usikkerhetsmomenter) som slår til. Det modelleres med mål om å ha størst mulig forventet verdi for slaktevolumet, vektet i forhold til relativ prising.

Caset som brukes i masteroppgaven er Eidsfjord Sjøfarm i Nord-Norge, som historisk har pleid å produsere rundt 15 000 tonn HOG (Head-on-gutted) laks per år.

Kapittel 8.2.1. har noen interessante opplysninger rundt tidspunkt for utsetting av fisk i merder, og størrelsen på settefisken som settes ut på forskjellige tidspunkt:

"The company has the opportunity to release smolt during eight months of the year, which are split into three main release windows. The initial weight of deployed smolt depends on which release window they are deployed in, as presented in Table 8.2. During the release window containing December and January the company must use so called winter smolt with an initial weight of 250 grams. A further constraint during this release window is that the company can only release 550,000 smolt due to a supply limitation on winter smolt.

[...]

During the release window of April, May, and June the initial release weight is constrained to 150 grams, while the release window containing the months of July, August, and September utilizes an initial smolt weight of 100 grams. In general the initial smolt weight is higher when sea temperatures are low, as more robust smolt are required. We add that in the industry the weight used during the summer half release windows are no longer as strictly defined as it traditionally has been. Recent trends show a tendency towards deploying smolt in the weight range

¹ Se https://en.wikipedia.org/wiki/Stochastic_programming for mer info om hva stokastisk programmering handler om.



100–200 grams during both of the summer half release windows, and the trend is more and more towards the higher end of this interval. However, we have kept a more traditional deployment weight scheme for the sake of simplicity."

Figuren under viser vekstraten til forskjellig type fisk, basert på forsøk utført av Aquagen. Vekstraten vises som Thermal Growth Coefficient (TGC), som tar hensyn til gjennomsnittstemperaturen i vannet i vekstperioden.

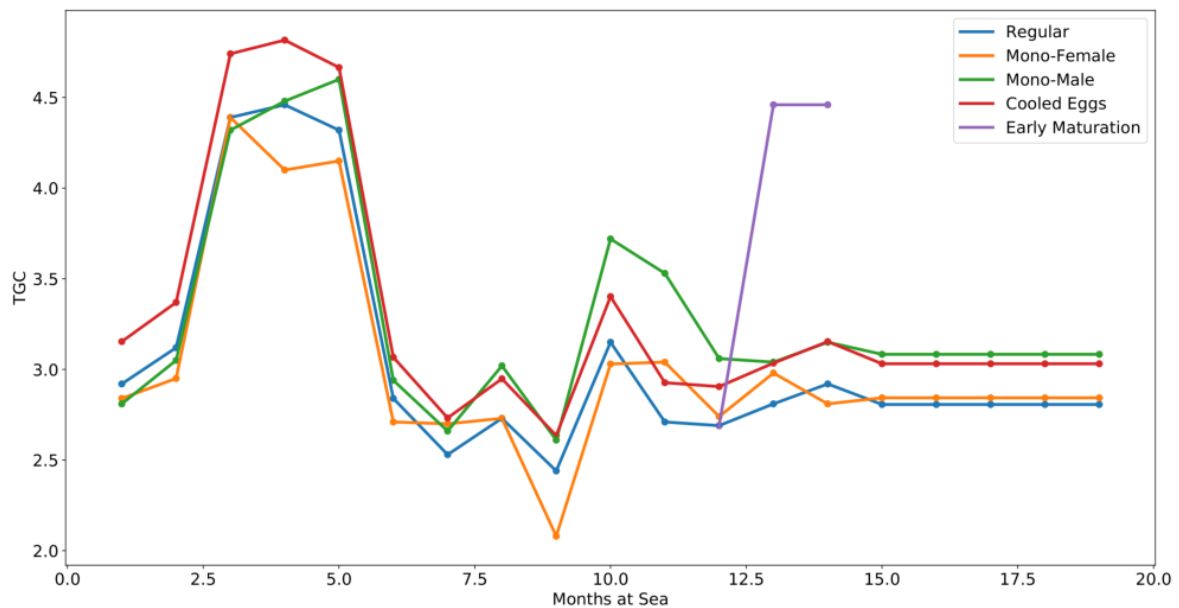


Figure 8.2: TGC of the different smolt types as a function of time spent at sea.

Vi ser i figuren over at hankjønn vokser raskere og hunkjønn vokser litt saktere, men at hunnfisk i separat merde faktisk vokser litt raskere enn vanlig blandet fisk i noen av månedene etter de er satt ut i sjøen (måneder 6, 11, 12, 13 og 15 og utover). (Data for måned 1-14 er faktiske målte data, og fra måned 15 og utover er det ekstrapolert basert på snittet fra måned 12-14.)



Figuren under viser dødeligheten hos fisk, basert på forsøk i sjø utført av Aquagen:

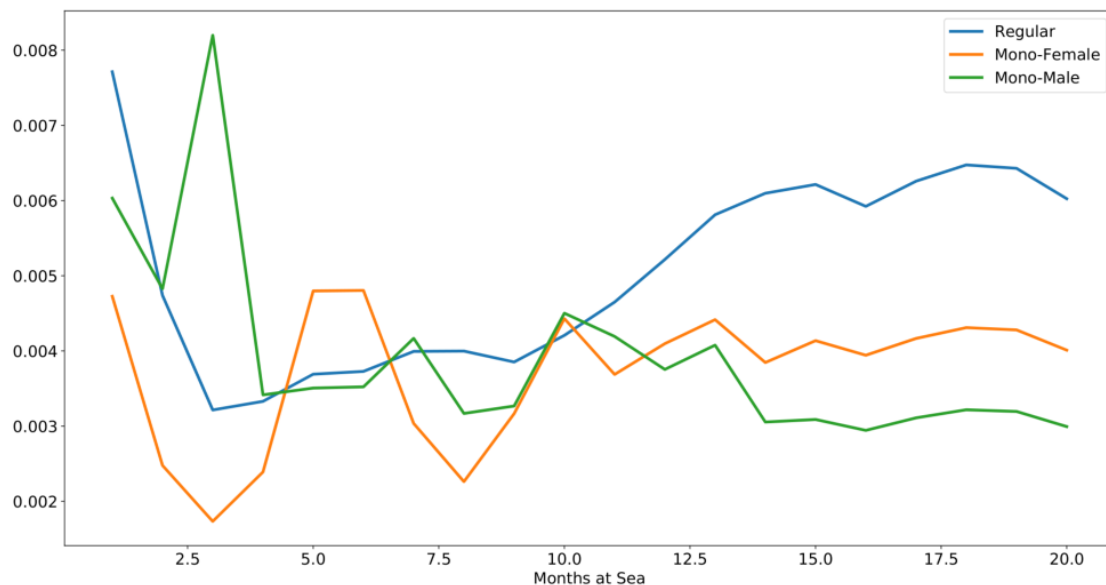


Figure 8.3: Scaled mortality rates for the regular, mono-female, and mono-male smolt type. We assume that the cooled eggs and early maturation smolt types exhibit the same mortality rates as the regular smolt type.

Dødeligheten er vist i andel fisk som dør per måned (0,2-0,8% av bestanden per måned). Det er interessant å legge merke til at dødeligheten i kjønnseparerte merder er lavere for både hunnfisk og hanfisk fra 11. måned og utover.

5.4 Resultater og analyse

Kapittel 9 beskriver blant annet hvilke smolt-kombinasjoner de har kjørt scenarier for:

"9.1.1 Smolt Combinations

We study three different smolt combinations that the farming company has available. The company has the opportunity to use all smolt types she has available, but she does not need to use all of them. The reason for studying different combinations is to measure the potential value of introducing different novel smolt types, e.g. how much of an increase in objective value can the company achieve by introducing mono-gender smolt compared to only using the regular smolt type.

The first combination we study is the regular smolt type in isolation, the second is regular smolt, mono-female, and mono-male smolt, and the last combination includes all smolt types, i.e. cooled eggs and early maturation smolt in addition to the ones included in the second combination. The second combination is included since it is based on more reliable data than the third combination."



Utrekninger og simuleringer ble utført på flere forskjellige måter, med relativt like resultater (like store fordeler):

Table 9.3: Results of the stochastic study. Gap measurements given in parenthesis.

Smolt Types	Cand. Sol.	Avg. Objective Value	Avg. Harvest Volumes	# Infeasible	Avg. HOG Harv. Weight	SRCL	LRCL	Avg. Solution Time [s]
Reg.	1	82,609.13 (2.86 %)	82,618.46 (2.85 %)	0	4,027.27	17.09	18.50	4,325.27 (49.08 %)
Reg.	2	82,562.61 (2.55 %)	82,595.58 (2.63 %)	1	3,948.72	16.99	18.40	4,149.00 (55.20 %)
Reg.	3	82,162.06 (3.49 %)	82,201.67 (3.49 %)	0	3,934.12	17.14	18.43	4,078.87 (43.34 %)
Reg.	All	82,441.92 (3.68 %)	82,469.09 (3.76 %)	1	3,970.52	17.08	18.44	4,185.18 (59.25 %)
Reg. & Mono	1	89,576.80 (2.44 %)	89,584.67 (2.47 %)	0	4,071.29	16.22	18.00	14,553.00 (46.96 %)
Reg. & Mono	2	90,241.45 (2.68 %)	90,266.37 (2.63 %)	0	4,099.53	16.28	17.79	15,992.00 (31.54 %)
Reg. & Mono	3	89,440.69 (2.38 %)	89,445.83 (2.38 %)	0	4,076.53	16.42	17.83	14,395.07 (53.33 %)
Reg. & Mono	All	89,752.98 (3.72 %)	89,765.62 (3.72 %)	0	4,082.45	16.31	17.87	14,980.02 (55.19 %)
All	1	89,760.98 (2.89 %)	89,766.33 (2.84 %)	1	4,076.22	15.97	17.63	34,563.86 (34.34 %)
All	2	90,843.79 (4.71 %)	90,844.38 (4.71 %)	0	4,090.22	16.05	17.61	34,812.67 (27.66 %)
All	3	89,894.52 (2.31 %)	89,912.98 (2.31 %)	1	4,051.16	16.05	17.87	35,494.64 (24.40 %)
All	All	90,182.18 (4.71 %)	90,190.14 (4.71 %)	2	4,072.95	16.02	17.70	34,953.70 (34.34 %)

I tabellen over er "Reg" kun bruk av vanlig smolt (blandet kjønn), "Reg. & Mono" er bruk av vanlig eller kjønnseparert smolt, og "All" er bruk av alle smolt-typer inklusive fra nedkjølte egg og smolt med tidlig kjønnsmodning. "Avg. Harvest Volumes" er i tonn over en femårsperiode for Eidsfjord Sjøfarm.

Vi ser at gjennomsnittlig innhøstet volum (i tonn) øker i snitt med 8,8% (fra 82 469 til 89 765 tonn) ved å ha tilgang til kjønnssortert settefisk. Ytterligere økt innhøstet volum øker kun med ytterligere 0,5% ved å også ha tilgang til settefisk fra nedkjølte egg og settefisk med tidlig kjønnsmodning.

Det gjøres noen interessante betraktninger rundt at gevinsten først og fremst tas ut ved kortere tid i merdene, i stedet for økt slaktevekt:

"We observe that the average harvest weight does not vary much between the different smolt combinations, but tends to be somewhat higher when multiple smolt types are available. The largest difference in average harvest weight is between the combination with regular and mono-gender smolt and the regular smolt only combination, with an increase of a mere 2.8 % or 112 grams. However, the rearing cycle lengths are clearly reduced when we introduce the novel smolt types. The average short rearing cycle length (SRCL) is reduced by more than a month when all smolt types are available compared to when only the regular smolt type is available, while the long rearing cycle length (LRCL) is reduced by 0.74 months. This indicates that novel smolt types increase production volumes by reducing the rearing cycle lengths, while maintaining similar harvest weights compared to the case where only the regular smolt type is available."



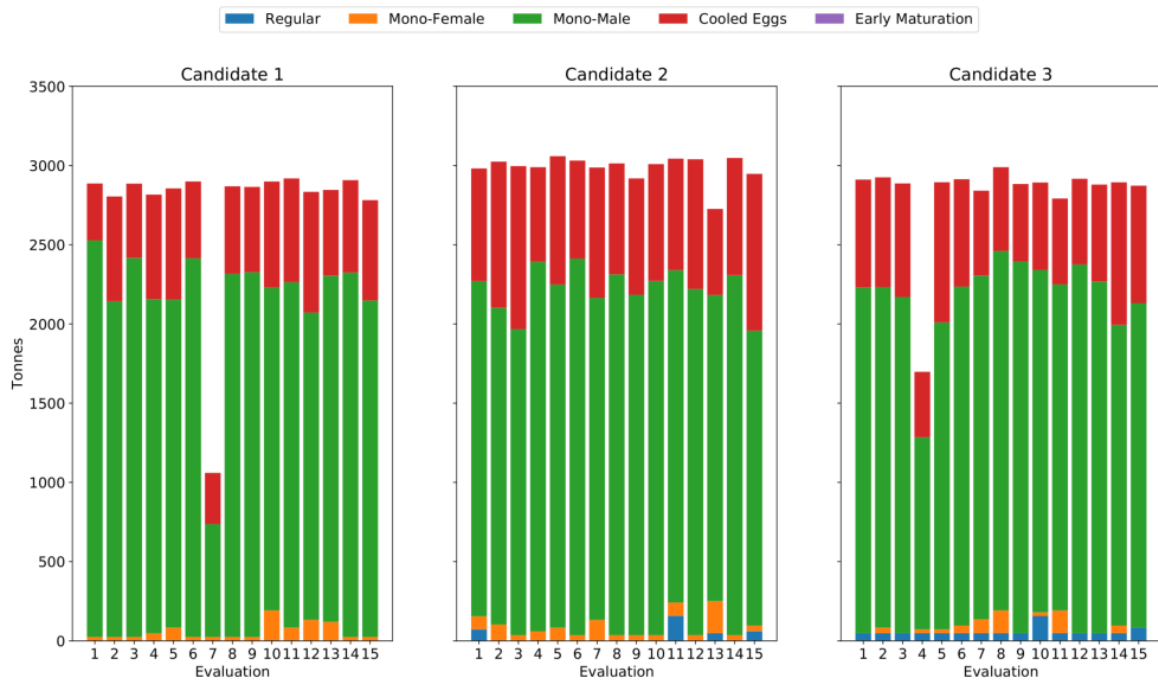


Figure 9.2: Breakdown of deployment volumes per smolt type for all realizations of the three different candidate solutions of the all smolt type combination.

Figuren over viser at det spesielt er hanfisk som brukes mye i de mest lønnsomme scenariene. Masteroppgaven ser ikke ut til å ta hensyn til at man må sette ut ca like mange hanfisk som hunfisk hvis de er kjønnsortert.

I kapittel 9.4 gjøres det til slutt varianter av analysene som i større grad optimaliserer ift forventet inntekt når man også tar hensyn til relative endringer i priser i løpet av året. Resultatene blir veldig like de over, med over 8% økt slaktevolum når man fritt kan velge å bruke smolt med et bestemt kjønn.



6 Masteroppgaven til Næss og Patricksson, 2019

Masteroppgaven har tittelen *Production Planning for Atlantic Salmon under Uncertainty with Impact of Extensive Site Management*

Fra sammendraget:

"Norsk lakseproduksjon har ekspandert, og deretter flatet ut de siste årene, på grunn av strenge regulatoriske krav som begrenser muligheten for økt produksjon. Nye teknologiske fremskritt har imidlertid bidratt til økt produksjon i tidligere år, og kan ytterligere bidra til å øke lakseproduksjonen i fremtiden. En ny mulighet for potensiell økt lakseproduksjon er å ta i bruk kjønnssorterte smoltpopulasjoner i tillegg til tradisjonell smoltpopulasjoner av begge kjønn. I denne oppgaven har vi utviklet en to-trinns stokastisk optimeringsmodell med et formål om å maksimere total høstet biomasse. Modellen er inspirert av arbeidet til Hæreid (2011) og Øveraas og Rynning-Tønnesen (2012). Måten vi modellerer vekst er det samme, men modelleringen av den omfattende styringen av produksjonsstedene er utviklet basert på dagens gjeldende regelverk.

Utgangspunktet for denne oppgaven er et langsiktig taktisk planleggingsproblem der det skal planlegges for smoltbestilling, smoltusett og høsting av laks. Omfanget av problemet er begrenset til sjøvandelen av verdikjeden, og tilvekst håndteres med usikkerhet. Vi inkluderer relevante begrensninger som gjelder for en laksebonde i modellen, men med noen forenklinger for å sikre løsbarehet av modellen. Modellen blir implementert i to versjoner, en deterministisk og en to-trinns stokastisk versjon, som begge er implementert for et produksjonssystem basert på Eidsfjord Sjøfarm.

Resultatene fra den deterministiske versjonen av modellen indikerer et årlig gjennomsnittlig produksjonsnivå på 19 203 tonn når muligheten for kjønnssorterte smoltutsett er inkludert. Dette innebærer 21,3 % økning i produksjon sammenlignet med resultatet ved å bare bruke tradisjonelle smoltpopulasjoner av blandet kjønn. Økningen i produksjonen skyldes raskere tilvekst for kjønnssortert smolt, som fører til flere og kortere oppdrettssykluser, og dermed en økt mengde høstet laks over planleggingshorisonten. Resultatene fra å inkludere vekstusikkerhet i modellen indikerer 4.2 % reduksjon i produksjonen sammenlignet med en deterministisk tilnærming med perfekt informasjon tilgjengelig."

Masteroppgaven viser til at hanlaks vokser raskere enn blandet laks, og bruker faktiske målinger fra et forsøk som ble startet av AquaGen i 2017. Basert på disse målingene gjør de beregninger som viser forskjell i gjennomsnittlig vekt per fisk ved utsett av 150 g smolt:

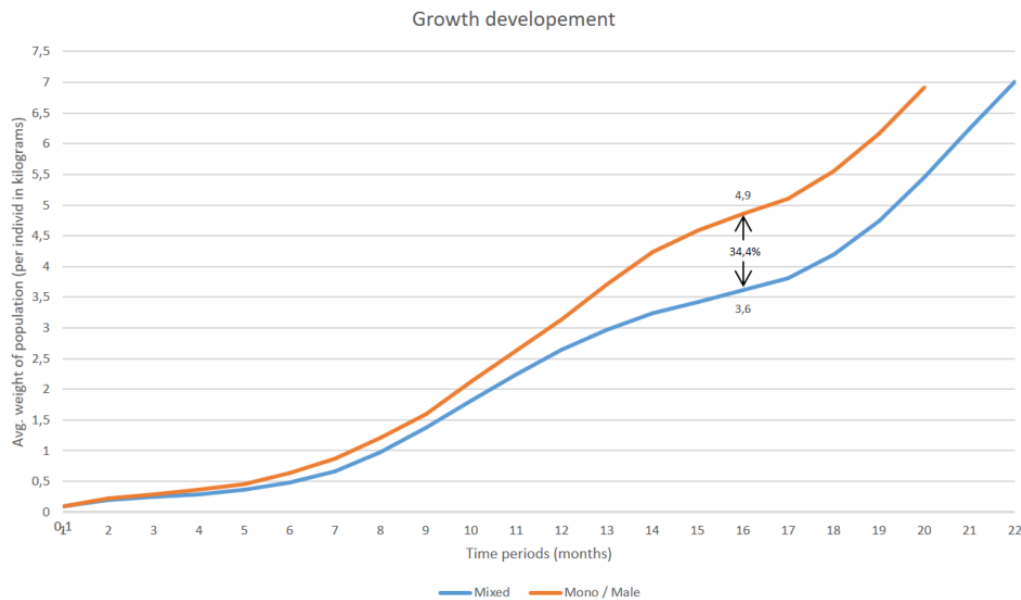


Figure 6.4: Simulated development in growth for two separate population, with start in January

Figuren viser opptil 34% økt vekt for merder med kun hanfisk, sammenlignet med blandet kjønn. En annen måte å se de samme tallene på er at man oppnår en snittvekt på 4,5 kg ca 3,5 måneder raskere.

I kapittel 7 viser de beregnet gevinst ved å gå fra smolt med blandet kjønn til å bruke smolt med kun hanfisk.

Table 7.4: Computational results from the deterministic runs

Instance	Objective value	Optimality gap	Run time
Base case	79 162	1.94 %	7 h 9 min
Instance 1	98 647	0.18 %	3 h 42 min
Instance 2	96 013	0.26 %	1 h 33 min
Instance 3	92 319	1.39 %	38 min
Instance 4	89 079	1.40 %	1 h 13 min

I tabellen over er "Objective value" total slaktevekt i løpet av en femårsperiode (i tonn). Base case er blandet kjønn, og Instance 1-4 er ved bruk av hanfisk ved forskjellige nedre begrensninger på hvor stor fisken må være før man vurderer slakting. Instance 2 er slik sett mest direkte sammenlignbar med Base case. Sammenligning av Base case og Instance 2 vises i følgende figur:

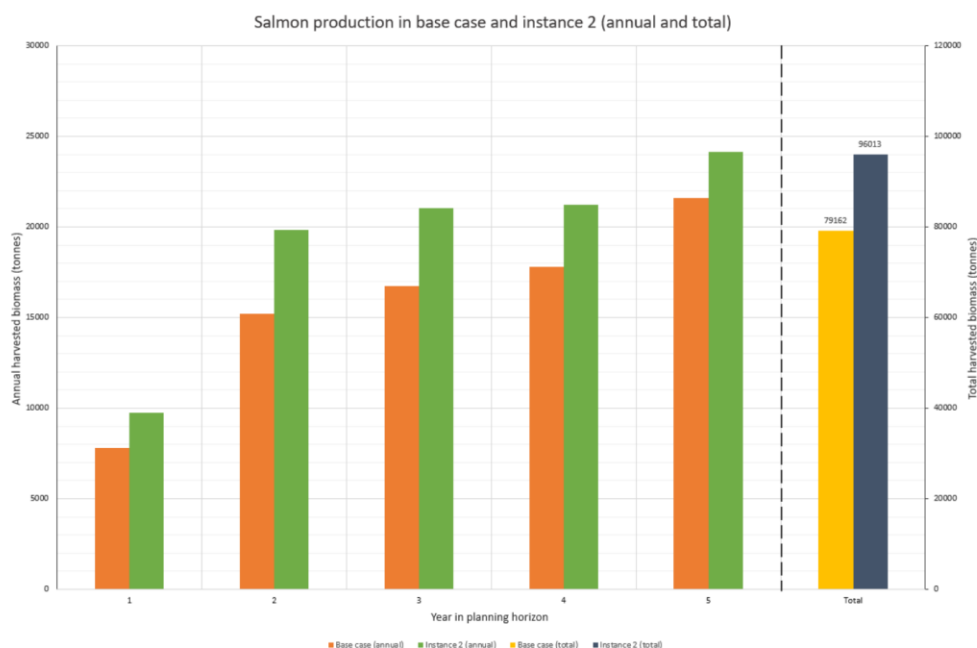


Figure 7.8: Annual and total salmon production from base case and the Instance 2.

Figuren viser at man kan øke total slaktevekt med 21,3% ved å bruke kjønnsortert hanfisk. Dette skyldes i hovedsak at selv om slaktevekten til hver fisk er omtrent like stor, så får man en stor fordel ved kortere tid i merdene, som gjør at man rekker å produsere mer laks.

