



Fôringsregimets innvirkning på tilvekst og kvalitet i Atlantisk laks, *Salmo salar L.*

Chris André Johnsen

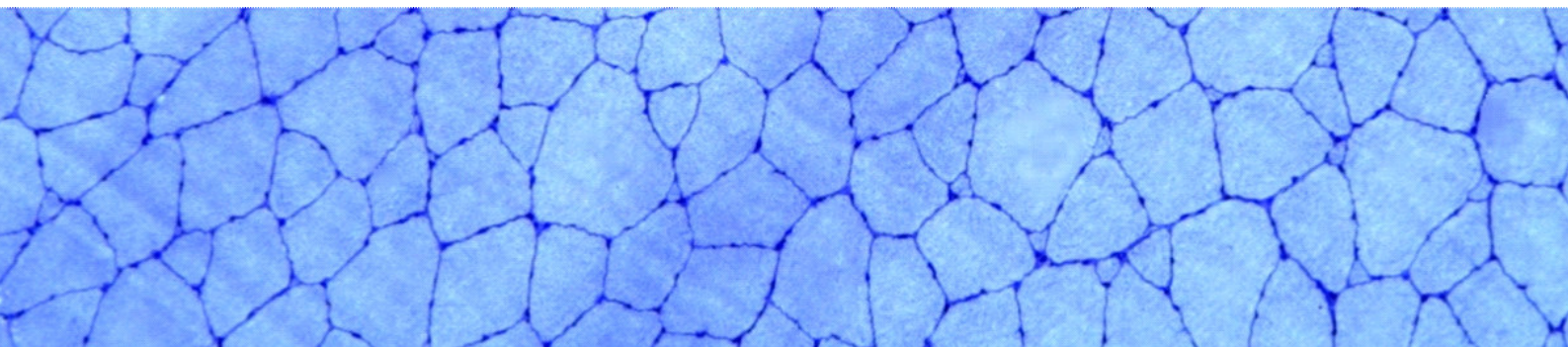
Masteroppgave

Mai 2006



Avdeling for Fiskeri og Naturfag

Høgskolen i Bodø



Forord

Denne oppgaven er skrevet som en avsluttende del av studiet Master i havbruk ved Høgskolen i Bodø, Avdeling for Fiskeri og Naturfag. Oppgaven er skrevet innenfor fagområdet sjømatkvalitet, og omfanget er på 60 studiepoeng.

Oppgaven er en del av et samarbeidsprosjekt mellom Gildeskål Forsøksstasjon AS (GIFAS), Biomar og Avdeling for Fiskeri og Naturfag.

Arbeidet med oppgaven omfatter et stort praktisk arbeid knyttet til uttak av fisk, analyser av denne, og bearbeiding av et stort datamateriale. Selve skriveprosessen, fremskaffelse av forskningsresultater innenfor beslektede tema, og diskusjon av resultatene tilknyttet dette, er en omfattende del som har blitt lagt ned mye tid og arbeid i.

Jeg vil benytte anledningen her til å takke alle som har vært involvert i oppgaven min, fra det praktiske arbeidet og til det å bidra med nyttig kunnskap og erfaringer.

Jeg retter spesielt en takk til min hovedveileder Prof. Christel Solberg ved Høgskolen i Bodø som blant annet har vært til stor hjelp med forsøksplanlegging, kjemometri og gjennomlesing av oppgaven, medveileder Dr. Marit Bjørnevik ved Høgskolen i Bodø for gjennomlesing av oppgaven, medveileder Dr. Sten Johan Sverre Johansen ved GIFAS, og stipendiat Ørjan Hagen ved Høgskolen i Bodø som har bidratt med kunnskap, erfaring og praktisk opplæring tilknyttet fiskens muskelfiber.

Jeg takker Avdeling for Fiskeri og Naturfag ved Høgskolen i Bodø og Fiskeri og Havbruksnæringens Forskningsfond for 15.000 kr i støtte fra hver. Til slutt takker jeg GIFAS og Biomar for et fint samarbeid og for fisken brukt i forsøket.

**Høgskolen i Bodø,
Avdeling for Fiskeri og Naturfag
2. mai 2006**

Chris André Johnsen

Chris Andre Johnsen

Sammendrag

Formålet med oppgaven er å optimalisere produksjonen av oppdrettslaks med fokus på forbedret kvalitet, førfaktor og lønnsomhet.

Forsøket ble gjennomført i konvensjonell skala ved Gildeskål Forsøksstasjon AS i perioden 1. desember 2004 til 16. januar 2006 (snittvekt 1,0 kg til 5,6 kg). To fôringsregimer, hver med 4 merder, ble undersøkt. Restriktiv gruppe ble fôret annen hver dag om vinteren, og med ett daglig måltid resterende tid. Kontrollgruppen ble fôret med ett daglig måltid om vinteren, og med 2-3 daglige måltider resterende tid. Uttak av fisk ble gjennomført i mai 2005 (snittvekt 2 kg) og september 2005 (snittvekt 4,5 kg). Muskelfiberprøver ble tatt fra pre rigor fisk, fryst ned ved $-159\text{ }^{\circ}\text{C}$, og tverrsnittet analysert for fiber-diameter, -areal, -tetthet og -antall. Fisken ble lagret 4 dager på is før den ble filetert og analysert for visuell farge, tekstur, pH, fett-, vann- og proteininnhold. Produksjonstid ble beregnet i tilknytning til vår- og høstuttak, og for hele generasjonen utslaktet. Økonomisk og biologisk førfaktor ble beregnet for hele generasjonen utslaktet.

I våruttaket ble det funnet høyere proteininnhold ($P<0,001$), høyere pH ($P<0,05$) og svakere rødfarge ($P<0,01$) i den restriktive gruppen enn i kontrollgruppen, men ingen signifikante forskjeller ble funnet i tekstur og muskelfiberstruktur. I høstuttaket ble det funnet flere signifikante effekter på laksens kvalitet der restriktiv fôring gav fisken kraftigere visuell rødfarge ($P<0,001$), hardere tekstur ($P<0,01$), mindre fiberdiameter ($P<0,001$), større fibertetthet ($P<0,001$), og høyere fiberantall ($P<0,001$). I høstuttaket var distribusjonen av muskelfiber i restriktiv gruppe karakterisert av et større antall små fiber og et lavere antall store fiber sammenlignet med kontrollgruppen, forårsaket av økt fiberrekruttering og redusert hypertrofi.

Det ble funnet en signifikant positiv korrelasjon mellom muskelfiberdiameter og lengde, fiberdiameter og sløyd vekt, fett og sløyd vekt, og mellom slakteutbytte og fiberantall. En signifikant negativ korrelasjon ble funnet mellom fibertetthet og lengde, fibertetthet og sløyd vekt, fett og vann, fett og protein, og mellom fett og pH. Ingen signifikant korrelasjon ble funnet mellom fiberdiameter og rødfarge eller fibertetthet og tekstur, men det var tendenser til at mindre fiberdiameter, eller høyere fibertetthet, gav hardere tekstur og kraftigere rødfarge i laksefilet.

For å produsere laks med snittvekt på 2,1 kg er produksjonstiden for kontrollgruppen 338 dager og for den restriktive gruppen 349 dager (Δ 11 dager). For å oppnå en snittvekt på 4,4 kg trengs henholdsvis 443 og 453 dagers produksjonstid (Δ 10 dager), og for å oppnå en slaktevekt på 5,6 kg trengs henholdsvis 494 og 512 dagers produksjonstid (Δ 18 dager).

Den restriktive gruppen oppnådde en økonomisk førfaktor på 1,07 og kontrollgruppen 1,09.

Det vil være flere fordeler med bruk av et restriktivt føeringsregime fra et økonomisk perspektiv da det har potensial for lavere føerkostnader, reklamasjonskostnader, lønnsutgifter, rentekostnader og likviditetsbehov, samt større slakteutbytte og høyere inntekter.

Innholdsfortegnelse

FORORD	I
SAMMENDRAG	II
INNHOLDSFORTEGNELSE	IV
FIGUROVERSIKT	VI
FORMELOVERSIKT	VII
TABELLOVERSIKT	VIII
INNLEDNING	1
BAKGRUNN	1
Kvalitetsstyring i oppdrett av laks	2
Kvalitetsfaktorer	6
Tilvekst og førfaktor	9
Økonomi	11
MÅLSETTING.....	14
HYPOTESER:.....	14
FORKLARING TIL HYPOTEBEN.....	14
MATERIAL OG METODER	16
FORSØKSDESIGN	16
FØRING AV FISKEN	18
PRØVEUTTAK	19
BIOLOGISKE ANALYSER	20
MUSKELFIBERANALYSER	21
TEKSTURANALYSER	24
FARGEMÅLING	24
KJEMISKE ANALYSER	26
NIT ANALYSER	27
PLS REGRESJON	27
PCA	28
STATISTISKE ANALYSER.....	29
BEREGNING AV PRODUKSJONSTID OG TILVEKST.....	31
BEREGNING AV FØRFAKTOR.....	32
RESULTATER	33
KVALITET	34
Kjemisk sammensetning.....	41
<i>Fett</i>	41
<i>Vann</i>	41
<i>Protein</i>	41
pH.....	41
Kondisjonsfaktor	42
Slakteutbytte	42
Tekstur	42
Farge.....	43
<i>Lyshet (L[*])</i>	43
<i>Rødfarge (a[*])</i>	43
<i>Gulfarge (b[*])</i>	43
Muskelfiberstruktur	44
<i>Muskelfiberdiameter</i>	44
<i>Muskelfiberareal</i>	44
<i>Muskelfibertetthet</i>	45
<i>Muskelfiberantall</i>	45
<i>Muskelfiberfordeling</i>	46
Korrelasjonsanalyse.....	50

- Innholdsfortegnelse -

<i>Korrelasjon samlet</i>	50
<i>Korrelasjon våruttak</i>	50
<i>Korrelasjon høstuttak</i>	51
PLS	55
PCA	57
PRODUKSJONSTID OG TILVEKST	63
FØRFAKTOR	68
DISKUSJON	69
FORSØKSDESIGN OG GJENNOMFØRING	69
KVALITET	70
Kjemisk sammensetning.....	70
pH.....	71
Slakteutbytte	72
Tekstur.....	73
Fargemåling.....	74
Muskelfiber	76
NIT analyser	80
PLS regresjon	81
PCA	82
PRODUKSJONSTID OG TILVEKST	82
FØRFAKTOR	83
STATISTIKK	84
Vurdering av statistiske resultater (teststyrke, LSN)	85
Hypotesetesting	87
ØKONOMI OG LØNNSOMHET.....	88
Forbedret kvalitet.....	88
Produksjonstid	89
Førfaktor	90
Slakteutbytte.....	90
Lønnskostnader.....	90
Likviditetsbehov og kredittkostnader	91
ANVENDELSE	92
KONKLUSJON	93
REFERANSER	94
VEDLEGG	99

Figuroversikt

Figur 1: Rasjonsstørrelse, tilvekst, fôrfaktor og fôreffektivitet.....	10
Figur 2: Kvalitetsstyringskostnader	13
Figur 3: Fordeling av merder på lokalitet i Stivika	16
Figur 4: Sjøtemperatur og lysforhold i Stivika under hele forsøket.....	17
Figur 5: Oversikt over prøveuttak	20
Figur 6: Det Norske Kvalitetssnittet (NQC)	25
Figur 7: Lokasjoner for kvalitetsanalyser.....	25
Figur 8: Rund vekt i de to fôringsregimene fra våruttak og høstuttak	33
Figur 9: Muskelfiberdistribusjon i laks fra vår- og høstuttak.....	47
Figur 10: Muskelfiberdistribusjon i laks fra begge gruppene i våruttaket	48
Figur 11: Muskelfiberdistribusjon i laks fra begge gruppene i høstuttaket.....	49
Figur 12: Kalibreringsmodeller for fett, vann og protein.....	56
Figur 13: Score plot alle uttak 2005	57
Figur 14: Loading plot alle uttak 2005.....	58
Figur 15: Score plot våruttak 2005.....	59
Figur 16: Loading plot våruttak 2005	60
Figur 17: Score plot høstuttak 2005	61
Figur 18: Loading plot høstuttak.....	62
Figur 19: Produksjonstid	63
Figur 20: Tilvekst og vekt gjennom 15 måneders produksjonstid.....	64
Figur 21: Vektrammemålinger og uttak av fisk	66

Formeloversikt

Formel 1: Kondisjonsfaktor	21
Formel 2: Slakteutbytte	21
Formel 3: Totalt muskelfiberantall.....	23
Formel 4: Muskelfibertetthet (mm^{-2}).....	23
Formel 5: Fettinnhold (%).....	26
Formel 6: Vanninnhold (%)	26
Formel 7: Prosent daglig tilvekst (SGR).....	31
Formel 8: Daglig tilvekst i vekt (g).....	31
Formel 9: Økonomisk fôrfaktor ($\text{FF}_{\text{øko}}$)	32
Formel 10: Biologisk fôrfaktor (FF_{bio}).....	32

Tabelloversikt

Tabell 1: Kostnader pr. kg produsert laks i gjennomsnitt pr. selskap for hele landet	11
Tabell 2: Biologiske og kvalitetsmessige data fra vår- og høstuttak 2005.....	35
Tabell 3: Biologiske og kvalitetsmessige data fra hvert fôringsregime, våruttak 2005	36
Tabell 4: Biologiske og kvalitetsmessige data fra hvert fôringsregime, høstuttak 2005	37
Tabell 5: Resultater fra ANCOVA korrigert for vektforskjell, vår og høst 2005 (sesong).....	38
Tabell 6: Resultater fra ANCOVA korrigert for vektforskjell, vår 2005 (regime)	39
Tabell 7: Resultater fra ANCOVA korrigert for vektforskjell, høst 2005 (regime)	40
Tabell 8: Korrelasjon mellom variablene i hele forsøket samlet, korrigert for vekt.....	52
Tabell 9: Korrelasjon mellom variablene i våruttaket, korrigert for vekt	53
Tabell 10: Korrelasjon mellom variablene i høstuttaket, korrigert for vekt.....	54
Tabell 11: Daglig tilvekst i perioden fra utsett i juni 2004 til våruttak 2005	65
Tabell 12: Daglig tilvekst fra våruttak til høstuttak 2005	65
Tabell 13: Daglig tilvekst gjennom sommeren 2005 (vektrammemålinger fra GIFAS)	65
Tabell 14: Beregning av tidspunkt for lik vekt mellom fôringsregimene, høst 2005	67
Tabell 15: Beregning av tidspunkt for lik vekt mellom fôringsregimene, vår 2005	67
Tabell 16: Fôrfaktor og slaktedata	68
Tabell 17: Resultater Student's t-test uten vektkorrigering, vår og høst 2005.....	99
Tabell 18: Resultater Student's t-test uten vektkorrigering, vår 2005	100
Tabell 19: Resultater Student's t-test uten vektkorrigering, høst 2005	101

Innledning

Norge er et land som er svært godt egnet for oppdrett av laks og andre marine arter. Landet har en langstrakt kyst, et mildt klima, reint havmiljø, god infrastruktur, høy kompetanse, teknologi i verdenstoppen, god kapitaltilgang og nærhet til markedet. I dag er Atlantisk laks den viktigste arten i norsk havbruk og utgjør ca. 41 prosent av den samlede eksporten av fiskeprodukter (www.fhl.no). Beregninger gjort av Fiskeridirektoratet (2005) viser at matfisknæringen hadde et samlet resultat før skatt på pluss 616 millioner kroner i 2004. Resultatene i laksenæringen varierer mye fra år til år og er forårsaket av en ustabil laksepris. Dette legger grunnlag for perioder med svært høy fortjeneste, men også perioder med negativ pengestrøm, noe som gjør det viktig med en langsiktig og bevisst tankegang dersom selskapene skal gjøre det bra, og ikke minst for å overleve. Samarbeidet med forskningsinstitusjoner og evnen oppdretterne har hatt til å dele kunnskap og utvikle nye løsninger, har vært viktige faktorer for at næringen har lyktes. Utvikling av produksjonsstyrende verktøy som kan opprettholde eller forbedre laksens kvalitet er en viktig faktor for å styrke næringens markedsposisjon, konkurransevne, lønnsomhet og vekst, og vil også legge grunnlag for økte inntekter og reduserte produksjonskostnader (Borch & Aaker, 1997; Johnston, 2001b; Stead & Laird, 2002; Bardo, 2004; Johnsen & Andreassen, 2004).

Bakgrunn

I følge Shearer (2001) er det grunnleggende målet i kommersielt lakseoppdrett å produsere et produkt som blir akseptert av markedet, samtidig som profitten skal være størst mulig. Dette innebærer en kontinuerlig innsats for å redusere kostnadene, og da særlig fôrkostnadene da disse utgjør tilnærmet halvparten av de samlede kostnadene (Fiskeridirektoratet, 2005). Samtidig må fiskens vekst, fôrutnyttelse, helse og kvalitet ivaretas på en best mulig måte. Når et marked vokser vil det ofte være lite fokus på produktets kvalitet, men etter hvert som markedet modner vil det bli mer konkurranse mellom produsentene for å kapre mest mulig markedsandeler samtidig som det vil være konkurranse fra andre produkter og substitutter, noe som fører til at produktets kvalitet kommer mer i fokus. Det er flere kvalitetsfaktorer som da vil være viktige. For å kunne styre produktets egenskaper mot en bestemt kvalitet kan flere metoder tas i bruk. I dette prosjektet blir det fokusert på den effekten et måltidsstyrt fôringsregime har på produktets kvalitet, men også om dette reduserer fôrfaktoren med påfølgende reduserte fôrkostnader. Et slikt fôringsregime kan ha flere kostnadsreduserende effekter, samt legge grunnlag for økte inntekter, som igjen kan gi økt lønnsomhet.

Oppfattelsen av et produkts kvalitet er ofte subjektiv og er forskjellig avhengig av hvilke kunder som skal kjøpe dette. Mange av kundenes preferanser avhenger av tradisjoner og trender, men mye er også avhengig av at fisken skal bearbeides. Kvalitet kan defineres som produktets evne til å tilfredsstille forbrukernes behov, ønsker, krav og forventninger (Espe & Lie, 2001). Det er ingen enkel definisjon av fiskens kvalitetsfaktorer, men særlig viktig er mattrygghet, næringsinnhold, smak, tekstur, farge, og egnethet for bearbeiding og lagring (Haard, 1992; Lie, 2001). I tillegg kan lukt, utseende og ferskhetsnivå nevnes som viktige faktorer. Muskelstrukturen har i den senere tid også fått større oppmerksomhet, og kan ha innvirkning på både kvalitet og fargeoppfattelse. Hvilke av disse kvalitetsfaktorene som vektlegges varierer i de ulike markedene og etter hva laksen skal benyttes til. Industrien legger ofte vekt på objektive og kvantitative målinger av kvaliteten slik at produksjonen kan standardiseres for å gjøre produktene mest mulig like fra gang til gang. Kvaliteten i villfisk er svært avhengig av næringstilgang og gytesesong, mens hos oppdrettsfisk kan denne i større grad styres. Forskjellige eksportmarkedene setter nokså forskjellige krav til kvaliteten, der det har vært mange klager på at norsk oppdrettslaks har vært for fet og for lite farget (Lynum, 1997).

Kvalitetsstyring i oppdrett av laks

Fiskens kvalitet påvirkes av avlsmaterialet, sesong (miljøforhold som temperatur og lys), helsestatus, livsstadie, førsammensetning, fôringsregime (fôrinntak), behandling i slakteprosessen, transport og lagring. Grunnlaget for laksens kvalitet legges hos oppdretteren, men for å oppnå en best mulig kvalitet til konsumenten er det viktig at alle ledd i produksjonsprosessen ivaretar denne på en best mulig måte. Etterfølgende gis en fremstilling av hvordan de viktigste styringsfaktorene i oppdrettsdelen påvirker laksens kvalitet, der det legges vekt på sesong, førsammensetning og fôringsregime.

Avlsmaterialet til den norske oppdrettslaksen stammer fra flere av de store laksevasdragene i landet, og fra dette ble det valgt ut fisk med bestemte arvelige egenskaper som ble benyttet i det videre avlsarbeidet. Seleksjon etter tilvekst, kjøttfarge, utseende, motstand mot lakselus og sykdommer, er avlsmål som har gitt oppdrettslaksen en høy kvalitet (www.havsbrun.no). En viktig faktor som ikke har vært med i det norske avlsmålet er seleksjon etter muskelfiber. Denne faktoren har vært med i det skotske avlsprogrammet, noe som gjør at den skotske laksen viser tendenser til hardere tekstur enn den norske (pers. med. Ø. Hagen).

Ved å benytte seg av 0+ og 1+ smolt, og ulike størrelser av disse, er det mulig å produsere laks gjennom hele året. Disse smolttypene har noe ulikt vekstmønster gjennom året, der de største vokser raskest det første året (Lysfjord *et al.*, 2004; Roth *et al.*, 2005) og de minste vokser raskest det andre året (Roth *et al.*, 2005), men når det nærmer seg slaktetidspunktet oppnår dem nokså lik størrelse (Roth *et al.*, 2005). I samme forsøket utført av Roth *et al.* (2005) ble det funnet at sesongen hadde størst innvirkning på laksens kvalitet, mens det ikke var noen effekt på kvaliteten fra smolttypen. Mørkøre & Rørvik (2001) fant også at det var sesongvariasjoner i produksjonseffektivitet og kvalitet i begge smolttypene, men at det ikke var kvalitetsforskjeller mellom disse. De samme resultatene ble funnet av Lysfjord & Solberg (2006), der sesong og størrelse hadde innvirkning på laksens kvalitet, men ikke smolttypen.

Fra Lavety *et al.* (1988) er det kjent at fisk utsatt for en naturlig fotoperiode er av stor innvirkning på dens vekstrate og kvalitet. Nyere undersøkelser som er gjort viser at lysmanipulert laks har tydelige sesongmessige variasjoner knyttet til vekstrate, størrelse og kvalitet (Mørkøre & Rørvik, 2001; Lysfjord *et al.*, 2004; Roth *et al.*, 2005; Lysfjord & Solberg, 2006). Det sesongmessige vekstmønsteret til lysmanipulert laks var nokså likt vekstmønsteret til fisk som fikk naturlig lys, og var knyttet til fett-, protein-, α -tokoferolinnhold og proteinretensjon, som var størst gjennom sommeren (Nordgarden *et al.*, 2003b), men med noe forskyvning av vekstraten (Nordgarden *et al.*, 2003a). Johnston *et al.* (2003b) fant at bruk av lys i produksjonen av laks i perioden 1. november til 18. juni, førte til 30 % større kroppsmasse og 23 % høyere fiberantall i forhold til fisk som gikk på naturlig lys.

Johnston *et al.* (2004) fant at smolt produsert utenfor sesong som fikk kontinuerlig lys (i forhold til vanlig lys og kortere dager) og øyeblikkelig ble overført til sjøvann, fikk en liten signifikant effekt i muskelvekst gjennom produksjonssyklusen som resulterte i høyere fibertetthet og fastere fiskekjøtt. Johnston *et al.* (2003b) fant at bruk av kontinuerlig lys gjennom vinter og vår gav økt vekst hos laks, samtidig som dette gav en økning av fiberantall og fiberdiameter, forårsaket av en økning i antall myogene stamceller som igjen legger grunnlaget for hyperplasi og hypertrofi. Fiberantall og -diameter, samt forekomsten av myogene stamceller, er viktige indikatorer på fiskens vekstpotensiale og kvalitet. Laks som ble inkubert ved ulike temperaturer hadde forskjellig fiberantall og fiberdiameter i ulike deler av livssyklusen. Høy inkuberingsstemperatur gav høyt fiberantall hos lakseparr, men likt fiberantall og større fiberdiameter hos de fleste andre størrelsesgruppene. Det spekuleres

dermed i om temperaturen i den tiden som de myogene stamcellene dannes har innvirkning på fiberantall og rekrutteringsmønsteret i fiskens senere livsstadier (Johnston, 2001b).

Bjørnevik (2003) rapporterte at en høy inkuberingstemperatur for egg og plommesekk yngel førte til raskere vekst hos lakseyngel, men ingen interaksjoner ble funnet mellom inkuberingstemperatur og muskelfiberstruktur (rekruttering og fiberdiameter) hos lakseyngel.

Fôrsammensetningen er et viktig verktøy for å regulere laksens vekst og kvalitet, der fôret har særlig stor betydning for dens fettsammensetning og fettinnhold. Rasmussen (2001) viste at fettinnholdet i hele laksen, samt i fileten, er direkte knyttet til fettinnholdet i fôret. Det er også funnet at fileten i økende grad blir viktig som et fettdepot når laksen øker i størrelse (Jobling & Johansen, 2003). Johansen (2003) viste at økende fettinnhold i fôret førte til økende fettdeponering, og regulering av fôrinntaket i laks blir påvirket av fettnivået i fisken, med betydning av en negativ "feedback" mekanisme. Solberg (2004) konkluderte med at laks som ble fôret med høyenergi fôr (36 % fett og 36,5 % protein) gjennom ett år var signifikant forskjellig fra laks fôret med lavenergi fôr (26 % fett og 41 % protein), der høyenergi fôret gav 10 % høyere kroppsvekt, 2 % høyere fettinnhold og 1 % lavere proteininnhold i fisken. Johnston *et al.* (2002) viste at proteininnholdet i fôr med likt energinivå hadde relativt liten innvirkning på laksens muskelfiber og kvalitet. Bjørnevik (2003) fant at lakseyngel som ble gitt en diett med høyt proteininnhold hadde raskere vekst enn yngel som fikk en lav protein diett, mens det ikke ble funnet noen effekt av proteininnholdet på muskelstrukturen.

Fôringsregimet kan brukes til å styre laksens vekst og kvalitet der lavere tilvekst er forbundet med reduserte fôrrasjoner eller restriktiv fôring (Shearer, 2001; Sinnott, 2001; Lysfjord & Solberg, 2006) som igjen gir lavere fettinnhold (Shearer, 2001; Lysfjord & Solberg, 2006) og hardere tekstur (Lysfjord & Solberg, 2006).

Grayton & Beamish (1977) fant at en økning i antall daglige måltider førte til en økning i vekt og fettdeponering hos regnbueørret, der den ble fôret en, tre, eller seks måltider til metning. Når de forsøkte å variere antall daglige måltider og begrenset rasjonene slik at alle gruppene hadde samme daglig fôrinntak, fant de ingen forskjeller. Effekten ble da forklart med at fisk som fikk flere måltider hadde et større fôrinntak. Johansen & Jobling (1998) rapporterte at laks som ble fôret til metning hadde et høyere fettnivå enn fisk fôret med en lavere forhåndsbestemt rasjonsstørrelse, men når det ble korrigert for størrelsesforskjeller i analysen hadde fôringsregimet ingen innvirkning på muskelsammensetningen. Johansen (2003) viste at

laks som hadde fått reduksjon i fôringen for en periode og senere igjen fikk en større mengde fôr, økte fôrintaket og fikk dermed en kompensasjonsvekst. Denne kompensasjonsveksten hadde sammenheng med en "lipostatisk" regulering, som betyr at slank fisk med lavt fettinnhold får bedre appetitt enn fisk med høyt fettinnhold.

Kiessling *et al.* (1991a) rapporterte at proteininnholdet i hvit og rød muskulatur hos regnbueørret økte med størrelsen opp til 1,4 år for så å stabilisere seg, og dette var uavhengig av rasjonsstørrelse. Storebakken *et al.* (1991) fant at økende alder og fôringsrate førte til en raskere fettlagring i alle vev, med størst forandring i innvolls fett, samt en reduksjon i innvollsprotein i regnbueørret.

Rasmussen (2001) viste at en reduksjon i fôringen ga en laks med mindre fettinnhold fordi dette er direkte knyttet til fettinnholdet i fôret. Samtidig ble en økning av kroppsfettinnhold i laksen forbundet med en reduksjon i slakteutbytte, dette fordi vekten til innvollene øker i forhold til kroppsvekten. Men selv om laksens kjøttkvalitet i forhold til kroppssammensetning og utbytte ser ut til å være sterkt påvirket av fôrsammensetning og fôrmengde, blir kvalitetsparametre som tekstur, farge, smak og lukt i liten grad påvirket av dette.

Einen & Thomassen (1998) viste at sulting av 5 kilos laks i 58 og 86 dager ved lav sjøtemperatur gav en hardere tekstur i rå filet som var islagret i fire dager, enn laks som var sultet i kortere tid. Sensorisk vurdert hardhet av kokte fileter var derimot mindre hos fisk som var sultet lengst. Astaxanthin konsentrasjonen ble ikke påvirket av lengden på sultingen, men instrumentell måling av fargen i rå fileter viste økende mørkhet, og mindre gulfarge. Det ble derimot konkludert med at lengre tids sulting før slakting var et forholdsvis dårlig verktøy for å forandre laksens filetkvalitet. Einen *et al.* (1998) rapporterte i samme studie at økende lengde på sultingen gav økende vekttap, slankere kroppsform og lavere slakteutbytte, men slakteutbyttet økte opp til 30 dagers sulting for deretter å avta. Fett- og proteininnhold i fileten var litt lavere i sultet fisk, men her var det bare små forskjeller. Einen *et al.* (1999) viste at ved å redusere rasjonsstørrelsene 110 dager før slakting kan slakteutbyttet økes, samtidig som fettinnhold og spalting i rå laksefilet reduseres, det blir også forandring i tekstur og en svak økning i fargeintensitet og røykte fileter. Med økende rasjonsstørrelsene ble det funnet mindre mengde fritt hydroxyprolin, økende mengde proteinbundet hydroxyprolin, og lavere post rigor pH i hvit muskel, der pH nivået gjenspeilet glykogen og laktat nivåene i muskelen.

Kvalitetsfaktorer

Som nevnt tidligere er det en rekke faktorer som har innvirkning på et produkts kvalitet. I denne delen fokuseres det nærmere på fettinnhold, tekstur, farge, muskelfiberstruktur, og sammenhengen mellom disse kvalitetsfaktorene. I en oversiktsartikkel av Lie (2001) er det gitt nærmere forklaring på hvordan ernæringsmessige forhold virker inn på blant annet kvalitetsfaktorer som farge, tekstur og fettinnhold i fisk.

Fettinnholdet er en kvalitetsfaktor som er tett knyttet opp mot fôret som laksen får, fôringsregimet, sesong og størrelse, og er diskutert tidligere. Muskulaturens fettinnhold og fettsyresammensetning kan derfor til en viss grad styres. Hos laks avleires fett i store fettceller, med størst mengde i buken, i bindevevshinnene i muskulaturen og rundt selve muskelfibrene. Fettinnholdet varierer mye innad i laksen, fra foran og bakover i de ulike kvalitetssnittene (Einen *et al.*, 1998; Morris, 2001; Stead & Laird, 2002), samt dorsalt og ventralt i fisken (Einen *et al.*, 1998; Johansson, 2001; Morris, 2001). Hvor mye fett som er i en filet har stor innvirkning på kvaliteten, og er også avhengig av hvilke fettsyrer som finnes i dette fett. Fettsyresammensetningen i fôret påvirker fettsyresammensetningen i fisken, og denne varierer mellom fileten, bukklappene og leveren (Einen *et al.*, 1998). En fet fisk som inneholder mye umettede fettsyrer er sunn, men vil få en kort holdbarhet post mortem (etter død) grunnet harskning, som igjen kan føre til dårlig smak, lavere ernæringsmessig kvalitet og forandring i tekstur og farge (Lie, 2001).

Fiskens tekstur, og da spesielt fastheten, er en viktig sensorisk egenskap for forbrukerne, men den er også svært viktig for den mekaniske bearbeidingen av fileten som blir utført av matindustrien (Haard, 1992). Teksturen påvirkes av post mortem forandringer forbundet med slakting og lagring, samt filetenes indre strukturelle egenskaper (Fauconneau *et al.*, 1995; Fauconneau *et al.*, 1997). Hurling *et al.* (1996) konkluderte med at muskelfibrenes tverrsnittareal korrelerte signifikant med den sensoriske oppfattelsen av hardhet i kokt fisk, og den sensoriske hardheten avtok med fiskens økende fibertverrsnitt.

Laksens kjøttfarge stammer fra mikrobestanddeler som kalles karotenoider, og der størstedelen kommer fra astaxanthin. Cantaxanthin er også et viktig karotenoid i laksefisk, men i mye mindre grad enn astaxanthin. Karotenoidene har flere viktige biologiske funksjoner og er ofte forbundet med egenskapen som en sterk antioksidant (Nickell & Springate, 2001). Fargen er en av laksens viktigste kvalitetsfaktorer og er ofte avgjørende for kundenes valg av produkt. Det har lenge vært kjent at fiskens farge er mye mer enn en

kosmetisk effekt og at forbrukerne forbinder en naturlig produktfarge med høy kvalitet og som helsebringende (Nickell & Springate, 2001). Det er viktig å arbeide med optimalisering av fôr og pigmenteringseffektiviteten slik at laksen kan produseres med en best mulig farge, minst mulig fargevariasjon og til lavest mulig kostnad. Fargeanalyser kan ikke erstatte pigmentanalyser, og omvent, men kan brukes til å sammenligne fargen i laksefileter eller til å identifisere dårlig pigmenterte fileter (Christiansen *et al.*, 1995; Nickell & Springate, 2001; Robb, 2001). Johnston *et al.* (2000a) fant også at den visuelle rødfargen ikke økte med høyere astaxanthin innhold.

Det er funnet at fargen varierer med tekturen, der en hardere tekstur er forbundet med svakere rødfarge i laks (Bjørnevik, 2003) og regnbueørret (Andersen *et al.*, 1997). Lysfjord & Solberg (2006) fant derimot ingen signifikant sammenheng mellom farge og tekstur.

Når det gjelder sammenhengen mellom fettinnhold og tekstur i laks og ørret, er det motstridende forskningsresultater. Noen resultater viser at mye fett gir bløtere tekstur, mens andre viser ingen sammenheng. Ved bruk av en Instron kompresjonstest, ble det funnet at regnbueørret fôret med et høyfettsfôr var bløtere ved lagring enn fisk fôret med et lavfettsfôr (Andersen *et al.*, 1997). I et annet prosjekt utført av Johnston *et al.* (2000a) ble det funnet signifikante forskjeller i fettinnholdet i filet mellom to grupper Atlantisk laks (11,2 % vs. 7.0 %). Her ble det ikke funnet korrelasjon mellom sensorisk "oiliness" poeng og det prosentvise fettinnholdet i fileten. Et annet prosjekt utført av Færgemand *et al.* (1995) viste at fettinnholdet i filet fra regnbueørret kunne økes med 20 % uten å påvirke tekturen. Det ble også funnet at post mortem lagringstid var den viktigste faktoren som påvirket tekturen. Sensoriske analyser verifiserte resultatene som ble målt instrumentelt.

Laksens muskulatur kan deles inn i hvit og rød muskel. Hvit muskel brukes i hovedsak til kort og eksplosivt arbeid som gir høy fart (fluktreaksjoner), mens rød muskel brukes til kontinuerlig svømming. Rød muskel inneholder mye kapillærer, mitokondrier, fett, myoglobin og glykogen, og får energien fra aerobisk nedbrytning (Sanger & Stoiber, 2001). Fiskens muskulatur består av 75-95 % hvit muskel (Sanger & Stoiber, 2001) og er dermed den muskeltypen som er viktigst for fiskens kvalitet. Den hvite muskulaturen får stort sett all energien fra anaerobisk nedbrytning av glykogen fra muskel, og små mengder fosforkreatin og ATP (Sanger & Stoiber, 2001). Fiskens muskulatur vokser enten ved at muskelfibrene vokser i størrelse (hypertrofi) eller ved nyrekruttering av fibrer (hyperplasi). Mange små muskelfibrer gir et høyt fiberantall og en høy fibertetthet i fiskemuskelen. Det er funnet en

tydelig signifikant sammenheng mellom kroppsstørrelse (vekt og lengde) og fiberstørrelse i atlantisk laks (Bjørnevik, 2003) og i regnbueørret (Kiessling *et al.*, 1991b).

I mange saltvannsfisker rekrutteres det muskelfibrer gjennom store deler av livssyklusen, noe som gjenspeiler den store økningen i kroppsstørrelse. I Atlantisk laks forandres fiberantallet fra ca. 5 tusen fiber ved klekking, til opp mot 1,2 millioner fiber i fisk på 4-5 kg (Johnston *et al.*, 2000c). På et eller annet tidspunkt i utviklingen vil fiberrekrutteringen stoppe opp, og hos laks vil dette skje ved en vekt på litt under 2 kg (Johnston, 2006). Etterfølgende økning i fiberstørrelse vil hovedsaklig være forårsaket av hypertrofi til en maksimal fiberdiameter oppnås, som i laks er mellom 220 μm (Johnston *et al.*, 2003b) og 240 μm (Johnston *et al.*, 2000c; Vieira *et al.*, 2005). Den viktigste mekanismen for økning av muskelvolumet i fiskens post embryoniske periode er mosiac hyperplasi (Rowlerson & Vagetti, 2001). I Atlantisk laks begynner ”mosiac” hyperplasi rundt startfôring og fortsetter gjennom ferskvannsfasen (Johnston & McLay, 1997) og gjennom den første delen av livet i sjøvann (Johnston *et al.*, 2000d).

I laksmuskelen er det funnet sammenheng mellom muskelfiberstruktur og tekstur/farge, ved at mange små muskelfibrer gir en hardere tekstur og en kraftigere visuell rødfarge (Johnston *et al.*, 2000a). Bjørnevik (2003) fant derimot kun en svak sammenheng mellom fibertetthet og tekstur, men ingen sammenheng mellom fibertetthet og farge. Det er viktig å bemerke seg at muskelfiberstørrelse, innhold av kollagen og antall kryssbindinger er kjent for å være viktige indikatorer på fiskekjøttets tekstur og andre kvalitetsparametre (Johnston, 1999). Det er sterke bevis på at rekruttering av nye muskelfibrer varierer mellom familier og populasjoner av laks med forskjellig genetisk opphav, og kan modifieres ut fra produksjonspraksis (Johnston *et al.*, 2000c; Johnston, 2001b). Antall og størrelse på fibrene, samt mengde og fordeling av bindevev, har vist seg å påvirke tekstur og vevsfarge i laks (Johnston, 2001b). Det er behov for utvikling av nye produksjonspraksiser, og da spesielt bruk av fôringsregimer som gir laksen en god kvalitet der fasthet i fiskekjøttet og sterk visuell rødfarge kan oppnås. Dersom redusert fôring fører til en større fibertetthet hos slakteklar laks kan dette ha en positiv innvirkning på filetkvaliteten.

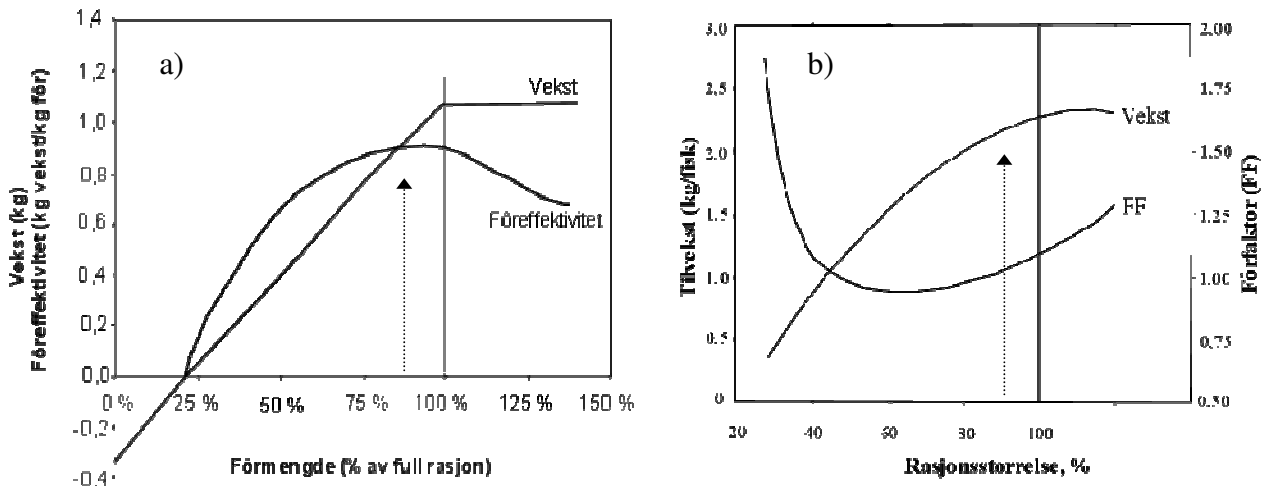
Regulering av hyperplasi og hypertrofi av muskelfiber styres av gener (avl, populasjoner, ploidy), hormoner (kjønnsmodning), næringstilgang (fôr og fôringsregime), aktivitet, og miljømessige forhold (temperatur og fotoperiode) (Johnston *et al.*, 2000b; Johnston, 2001a; Johnston *et al.*, 2003a; Johnston *et al.*, 2003b). Den effekten et restriktivt fôringsregime har

på laksens muskelfibertetthet og -vekstmønster er lite undersøkt. Kiessling *et al.* (1991b) fant at muskelvekst i regnbueørret er forårsaket av både hypertrofi og fiberrekruttering der perioder med rask vekst favoriserte hypertrofi, mens perioder med sakte vekst favoriserte fiberrekruttering. Kiessling (1991b) fant at fôrrasjonen hadde liten innvirkning på muskelvekst i stor fisk, men at rekruttering av fiber i stor fisk ble viktigere når mange fiber hadde nådd en størrelse der videre vekst vil svekke de metabolske funksjonene. Valente *et al.* (1999) og Bjørnevik (2003) fant at laks som hadde en høy vekstrate (SGR) hadde større fibertetthet og kan komme av økende nyrekruttering. Bjørnevik (2003) fant også indikasjoner på at det er sesongmessige variasjoner i fiberrekrutteringen som igjen påvirker den gjennomsnittlige fiberdiameteren.

Fisk har et forholdsvis lavt innhold av bindevev i forhold til pattedyr, og dette gir seg utslag i en bløtere tekstur. Laksemuskelen inneholder ca. 6,7 % totalt kollagen og 0,5-1,5% alkalisk uløselig kollagen, der mesteparten er type I kollagen, og noe mindre mengde av type V kollagen (Li *et al.*, 2005). Det ble også funnet en positiv korrelasjon mellom konsentrasjonen av hydroxylysyl pyridinoline (PYD) kryssbindinger og teksturen i rå laksefilet. I det røykte produktet var alkalisk uløselig kollagen viktigst. Det ble ikke funnet noen sammenheng mellom filetenes totale kollageninnhold og hardhet etter røyking (Li *et al.*, 2005). Bjørnevik (2003) konkluderte derimot med at fiskestørrelse, kollageninnhold og kollagentyper, samt post mortem pH, har større betydning for tekstur og filetspalting enn muskelstruktur i laks.

Tilvekst og fôrfaktor

Det har i mange år vært arbeidet med å redusere laksens produksjonstid i sjøen, og det er flere faktorer som virker inn på denne tiden, deriblant fiskens genetiske materiale, miljøforhold som lys og temperatur, helsetilstand, trivsel, og ikke minst hvor mye fôr den får og hvor godt dette blir utnyttet. Fôrinntak og vekst hos fisk henger nøye sammen og betyr at høy vekst forutsetter et høyt fôrinntak, mens et lavt fôrinntak gjenspeiles i en lav vekstrate. Restriktiv fôring kan derfor brukes til å kontrollere veksten og styre produksjonen (Jobling, 2001). Restriktiv fôring kan også føre til økt aggresjon og konkurranse om fôret, og i følge Jobling (2001) kan dette unngås ved å spre fôret godt utover i merden i relativt store porsjoner i løpet av korte tidsperioder. Reduksjon av fôrtildelingen i forhold til full appetittfôring vil øke laksens produksjonstid grunnet lavere fôrinntak (Einen *et al.*, 1999; Einen, 2001; Shearer, 2001; Sinnott, 2001; Lysfjord & Solberg, 2006), samtidig som dette gir redusert fôrfaktor grunnet bedre fôrutnyttelse (Einen *et al.*, 1999; Einen, 2001; Åseng, 2005) (Fig. 1).



Figur 1: Rasjonsstørrelse, tilvekst, fôrfaktor og fôreffektivitet

Fig. 1. a) viser sammenhengen mellom fôrmengde, tilvekst og fôreffektivitet (FE) i.h.t. Einen *et al.* (1999) og Einen (2001).

Fig. 1. b) viser sammenhengen mellom rasjonsstørrelse, tilvekst og fôrfaktor (FF) i.h.t. Åseng (2005). Sammenhengen mellom FF og FE er: $FF = 1/FE$.

I tillegg til at redusert vekst gir bedre fôrutnyttelse kan det også gi en forbedret muskelkvalitet (Kiessling *et al.*, 1991b). Ved å utarbeide dokumentasjon på hva som skjer med laksens vekst, fôrfaktor og kvalitet ved å benytte seg av et definert redusert fôringsregime kan oppdretterne bruke denne kunnskapen direkte i produksjonsstyring og i videre markedsarbeid.

Norge er et langstrakt land der lys- og temperaturforhold varierer mye fra nord til sør. Lysfjord & Solberg (2006) viste at i Nordland blir en økning i daglengde etterfulgt av en økning i sjøtemperatur der den er høyest om sommeren fra juni til oktober og lavest om vinteren fra november til mai. Dette gjør at laksen får en høy vekstrate om sommeren og en lav vekstrate om vinteren når den blir lysstyrt. I Vest-Norge er sjøtemperaturen høyest fra august til februar og lavest fra mars til august, mens daglengden hadde motsatt mønster (Nordgarden *et al.*, 2003a). Dette gjør at lysstyrt laks på Vestlandet får høyest vekstrate om våren i april/mai, mens den utover sommeren fortsatt er høy, men avtagende. Om vinteren er vekstraten lavest, og her er den økende fra desember og utover vinter og vår. Det er en større variasjon i daglengde og sjøtemperatur i Nord-Norge (2-14°C) enn i Vest-Norge (8-12°C). Variasjon i temperatur er svært stedsavhengig der åpne havområder vil ha mindre variasjon enn skjermede kyststrøk og fjorder. Forskjellige miljøforhold i Norge gjør at laksen får noe ulik vekstrate i samme årstid avhengig av sted, noe som må tilknyttes oppmerksom når resultater fra ulike forsøk skal sammenlignes.

Økonomi

Det er en rekke faktorer oppdretterne må ta hensyn til når de skal velge hvordan laksen skal føres. I tillegg til en fôrstrategi har de også en markedstrategi å forholde seg til. Dette betyr at de må produsere laksen til en lavest mulig produksjonskost og til en kvalitet som markedet etterspør og er villig til å betale bra for, samtidig som de må ha laksen klar for salg når markedet er interessert i den. Hele tiden foregår det et arbeid med å redusere produksjonskostnadene for å øke profitten, men også for å være konkurransedyktig når prisene i markedet faller. Tabell 1 viser enkeltkostnader som er viktige for styring av produksjonskostnadene, samt utviklingen i disse gjennom de siste fem årene.

Tabell 1: Kostnader pr. kg produsert laks i gjennomsnitt pr. selskap for hele landet

Fra 2000 til 2004 er det en reduksjon i smoltkostnad, forsikringskostnad, lønnskostnad, og andre driftskostnader, mens det er en økning i fôrkostnad, avskrivninger, netto finanskostnad og slaktekostnad.

Kostnad, i NOK pr. kg	2004	2003	2002	2001	2000
Smoltkostnad	1,94	1,85	2,00	2,17	2,40
Fôrkostnad	8,47	8,81	9,02	7,87	7,80
Forsikringskostnad	0,25	0,26	0,29	0,35	0,26
Lønnskostnad	1,42	1,23	1,30	1,44	1,54
Kalk. avskrivninger (H)	0,76	0,81	0,84	0,85	0,74
Andre driftskostnader	1,68	1,94	2,72	2,63	2,89
Netto finanskostnad	0,63	1,12	0,82	0,49	0,50
PRODUKSJONSKOST. PR. KG	15,15	16,02	17,01	15,80	16,13
Slaktekostnad inkl. fraktkost	2,43	2,43	2,51	2,49	2,39
SUM KOSTNAD PR. KG	17,58	18,46	19,52	18,29	18,51

(Fiskeridirektoratet, 2005)

De fleste kostnadspostene gikk ned fra 2003 til 2004, der det var størst nedgang i netto finanskostnad pr. kg med en nedgang på 43,8 %. Fôrkostnadene utgjør rundt halvparten av produksjonskostnadene pr. kg produsert fisk, og endringer i disse kostnadene har stor betydning for total produksjonskostnad pr. kg fisk. Nedgangen av fôrkostnad pr. kg fra 2003 til 2004 skyldes reduksjon i fôrprisen i samme tidsrom (Fiskeridirektoratet, 2005). Historisk sett skyldes nedgangen i produksjonskostnadene en rekke faktorer som nye og mer effektive fôrtyper, bedre produksjonsrutiner og bruk av lys i produksjonen (Fiskeridirektoratet, 2005).

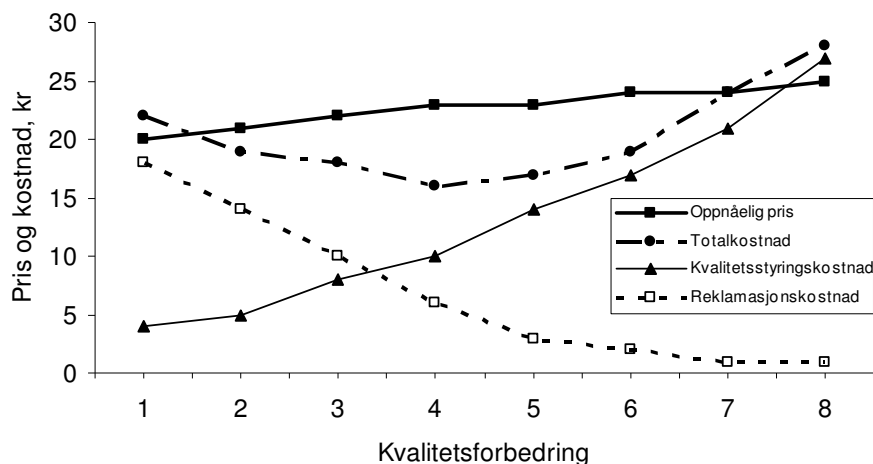
Fôrfaktoren er et viktig produksjonsmål siden fôrkostnadene har stor betydning for produksjonskostnadene. Desto lavere fôrfaktor en klarer å oppnå, desto lavere vil fôrkostnadene bli, og mer fisk kan produseres ved bruk av samme mengde fôr. Innvirkningen av vekst og rasjonsstørrelse på fôrfaktoren er gjort rede for tidligere i teksten der det ble vist

at en moderat reduksjon i vekst og rasjonsstørrelse (utgangspunkt er 100 % rasjon) gir en reduksjon i fôrfaktor. Andre ting som virker inn på fôrfaktoren er fysiologiske, biologiske, næringsmessige og personlige faktorer (Stead & Laird, 2002). Dette kan være faktorer som fôrkvalitet, fôringskontroll, personlige egenskaper, svinn i produksjonen, helsestatus og lokalisering. I 2004 var gjennomsnittlig fôrfaktor i Nordland på 1,15, og var lavest i landet (Fiskeridirektoratet, 2005).

Arbeidet med å dokumentere ulike effekter av et restriktivt fôringsregime har på laksen kan bli viktig for å tilfredsstille kundenes krav til miljø, dyrevelferd og sporing. For at oppdretterne skal innføre bruk av restriktiv fôring, er det viktig at dokumentasjonen som er utarbeidet er til å stole på, samtidig som denne er overførbar til oppdrett av laks i konvensjonell fullskala. En viktig faktor for å ta i bruk et slikt regime er den økonomiske konsekvensen av innføringen. For de aller fleste selskaper er det å kunne oppnå gode økonomiske resultater med størst mulig profitt, det som styrer mange av de beslutninger som tas. I denne sammenheng kan det være mulighet for at mange oppdrettsselskaper vil benytte seg av et restriktivt fôringsregime dersom dette viser seg å være økonomisk gunstig for dem. Lavere fôrfaktor og dermed lavere fôrkostnader, lavere lønnskostnader, bedre kvalitet på laksen som kan gi en høyere pris, samt en liten forlengelse av produksjonstiden, er faktorer som kan være med på å forbedre selskapenes økonomi.

Den økonomiske gevinsten av å benytte et restriktivt fôringsregime kan komme fra en redusert fôrfaktor, dette fordi fisken utnytter fôret bedre dersom den ikke fôres til metning. Videre kan en kvalitetsmessig forbedring føre til åpning av nye markeder som er villige til å betale bedre for et slikt produkt (Borch & Aaker, 1997; Bardo, 2004). Men samtidig må en være oppmerksom på at redusert fôring gir lengre produksjonstid i sjøen, noe som er avhengig av hvordan fôringsregimet er definert. Mange fôrselskaper påpeker denne kostnaden, og er mer interessert i at oppdretterne benytter seg av full appetittfôring. Fôringsnivå som forlenger produksjonstiden med ca. en måned forventes å gi et så positivt utslag på fôrfaktor, kvalitet og produksjonskostnad at det overskygger de merkostnader som ligger i å måtte vente på salgsinntektene i opp til en måned (pers. med. S.J.S. Johansen, GIFAS). Dette er også avhengig av hvert enkelt selskaps økonomiske stilling, hvor lån og likviditet er viktige faktorer. I følge GIFAS utgjør avskrivninger, lønn, etc. vanligvis like mye i måneden etter slaktning som måneden før.

Borch & Aaker (1997) viste hvordan kostnader og inntekter utviklet seg som følge av en kvalitetsforbedring på fisken. Kvalitetsforbedring legger grunnlag for en gradvis høyere pris, økende kvalitetsstyringskostnader og synkende reklamasjonskostnader. Samlet sett vil totalkostnadene synke opp til et bestemt kvalitetsnivå, for deretter å øke gradvis. Det er først og fremst synkende reklamasjonskostnader og økende pris som legger grunnlaget for en forbedret økonomi og lønnsomhet (Fig. 2).



Figur 2: Kvalitetsstyringskostnader

Kvalitetsforbedring gir høyere pris, økende kvalitetsstyringskostnader og synkende reklamasjonskostnader. Dette fører til synkende totalkostnader opp til et bestemt kvalitetsnivå, med etterfølgende økning i.h.t. Borch & Aaker (1997).

Bardo (2004) viste at de produksjonsstyrende tiltakene som øker lønnsomheten i et oppdrettsselskap er å styre produksjonen av laks mot et bestemt fargenivå. Produksjonsstyring mot et bestemt fettinnhold og en bestemt kondisjonsfaktor reduserer lønnsomheten. Viktige strategiske faktorer for å øke lønnsomheten er uavhengig sikring av laksens salgspris, samt salg til Øst-Europa, Russland og USA.

Målsetting

Optimalisere produksjonen av oppdrettslaks med fokus på forbedret kvalitet, økt utnyttelse av fôret og forbedret lønnsomhet.

Hypoteser:

1. Restriktiv fôring har innvirkning på laksens kjemiske sammensetning, tekstur, farge og muskelfiberstruktur.
2. Restriktiv fôring gir en forlenget produksjonstid.
3. Restriktiv fôring gir oppdretteren en lavere fôrfaktor og en forbedret lønnsomhet.

Forklaring til hypotesen

Hypotesen er oppdelt i tre deler der hver av disse behandles enkeltvis. Den første hypotesen skal undersøke de eventuelle kvalitetsfordeler et restriktivt (reduert) fôringsregime gir, og de kvalitetsfaktorene som undersøkes er fett, vann, protein, kondisjonsfaktor, slakteutbytte, pH, tekstur, visuell farge, muskelfiber diameter, -antall, tetthet og -fordeling. Den andre hypotesen skal undersøke om et restriktivt fôringsregime gir lenger produksjonstid enn full appetittfôring gjennom sammenligning av fiskens størrelse og daglig tilvekst (% og g). Den tredje hypotesen skal undersøke oppnådd økonomisk og biologisk fôrfaktor i de to fôringsregimene, samtidig som økonomien ved bruk av et restriktivt fôringsregime skal diskuteres i lys av oppnådde resultater. De tre oppsatte hypotesene er alternativhypoteser (H_A). Nullhypotesene (H_0) er at redusert fôring har ingen innvirkning på de nevnte faktorene (kvalitet, produksjonstid og fôrfaktor). H_0 blir statistisk testet for å avgjøre om den er sann eller usann. Dersom H_0 er sann for et definert signifikansnivå beholdes den. H_0 forkastes dersom den er usann, og medfører at H_A beholdes, da denne hypotesen er sann. Sann og usann avgjøres ut fra et definert signifikansnivå ($0,05 = 5\%$) og oppnådd p-verdi.

Bakgrunnsstoffet som er gitt tidligere viser hvilke resultater forskningen har kommet frem til innenfor oppgavens tema og danner også grunnlag for vurderinger av egne oppnådde resultater i diskusjonsdelen. Oppgavens hovedfokus ligger på styring av laksens kvalitet ved å benytte seg av et definert redusert fôringsregime, men ut fra resultater om fôrfaktor og produksjonstid blir det også fokusert på den økonomiske siden.

Det som konkret skal gjøres er å teste ut om det er signifikante forskjeller mellom de to fôringsregimene i forhold til kvalitetsfaktorer som kjemisk sammensetning (fett, vann og protein), tekstur, farge og muskelfiberstruktur i laksefileten. Prøvematerialet skal være av en så stor mengde og fordelt over et så stort vektområde at det skal være mulig å se på forskjeller mellom fôringsregimene, utviklingen innenfor hvert regime, og mulighet for å finne sammenhenger mellom ulike kvalitetsvariabler. Dette gjøres ved bruk av hypotesetesting, korrelasjonsanalyse og multivariat dataanalyse. Spesielt interessant er det å se på sammenhengen mellom muskelfibertetthet/-diameter og visuell farge, og muskelfibertetthet/-diameter og tekstur i laksekjøttet. Sammenhenger mellom andre kvalitetsfaktorer vil også bli diskutert.

På bakgrunn av størrelsesdata og temperaturmålinger fra begge hoveduttakene, vår og høst 2005, samt bruk av Skretting sin tilveksttabell fra 2003, vil produksjonstiden for det restriktive fôringsregimet (måltidsreduksjon) og kontrollgruppen (full appetittfôring) beregnes. Prosentvis daglig tilvekst (SGR) og daglig tilvekst i vekt (g) blir beregnet for deler av produksjonstiden og samlet for hele generasjonen ved slakting.

Ved å benytte data om fôringsmengder og dødfisk fra GIFAS sitt oppdrettsanlegg i Stivika, samt verifiserte slaktedata fra slakteriet på Sørarnøy, blir økonomisk og biologisk fôrfaktor beregnet.

I diskusjonsdelen blir innvirkningen av redusert fôring på selskapets lønnsomhet behandlet, og det som vektlegges er kvalitet (salgsinntekt, markedsarbeid, reklamasjonskostnader), produksjonstid, økonomisk forfaktor (fôrkostnader), slakteutbytte, lønnskostnader, likviditetsbehov og kredittkostnader. Eksempler blir vist for å illustrere virkningen av restriktiv fôring sammenlignet med full appetittfôring.

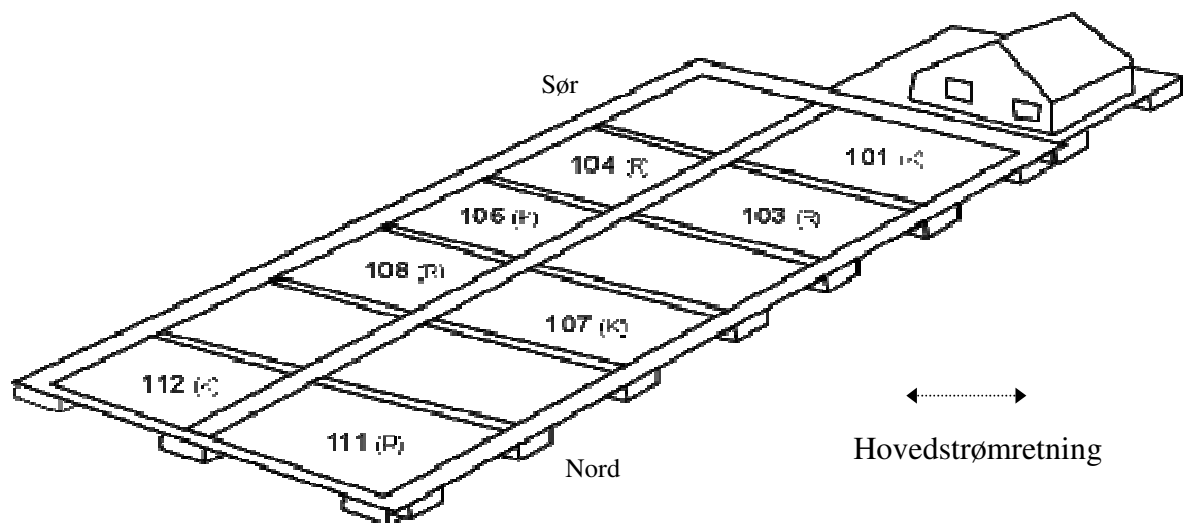
Material og metoder

Forsøksdesign

Den praktiske delen av oppgaven omfattet av fôringsforsøket ble gjennomført ved Gildeskål Forsøksstasjon AS (GIFAS) (67 °N) der laksen ble fôret opp med to ulike fôringsregimer, og utført av de ansatte ved lokaliteten i Stivika. Analysene av de ulike kvalitetsparametrene ble gjennomført ved Høgskolen i Bodø (HBO), Avdeling For Fiskeri og Naturfag (AFN).

De to fôringsregimene bestod av en kontrollgruppe som ble fôret til metning med 1 til 3 daglige måltider avhengig av sjøtemperatur og lysforhold, og en restriktiv gruppe som fikk reduksjon i daglig fôrintak ved å få færre måltider sammenlignet med kontrollgruppen.

Smolten som ble benyttet i forsøket ble produsert av Marine Harvest Glomfjord, og var av NLA-stamme (den kommersielle avlsstammen til AquaGen). Den ble satt i sjøen 15. og 17. juni 2004 med en snittvekt på 62 g, og fordelt i 8 forskjellige stålmerder, der hvert fôringsregime hadde 4 merder/replikater. Stålmerkene var 15 m × 15 m og hadde 10 m dype smoltposer og 22 m dype storfiskposer. Ved utsett ble smolten fordelt mellom merkene slik at det ble ca. 23.000 fisk i hver merd. For å unngå systematiske forskjeller mellom fôringsregimene laget GIFAS et ideelt fordelingsmønster mellom merkene, der gruppene ble fordelt tilfeldig med loddtrekning. Det restriktive fôringsregimet ble tildelt merd nr: 103, 104, 108 og 111, mens kontrollgruppen ble tildelt merd nr: 101, 106, 107 og 112 (Fig. 3).



Figur 3: Fordeling av merder på lokalitet i Stivika

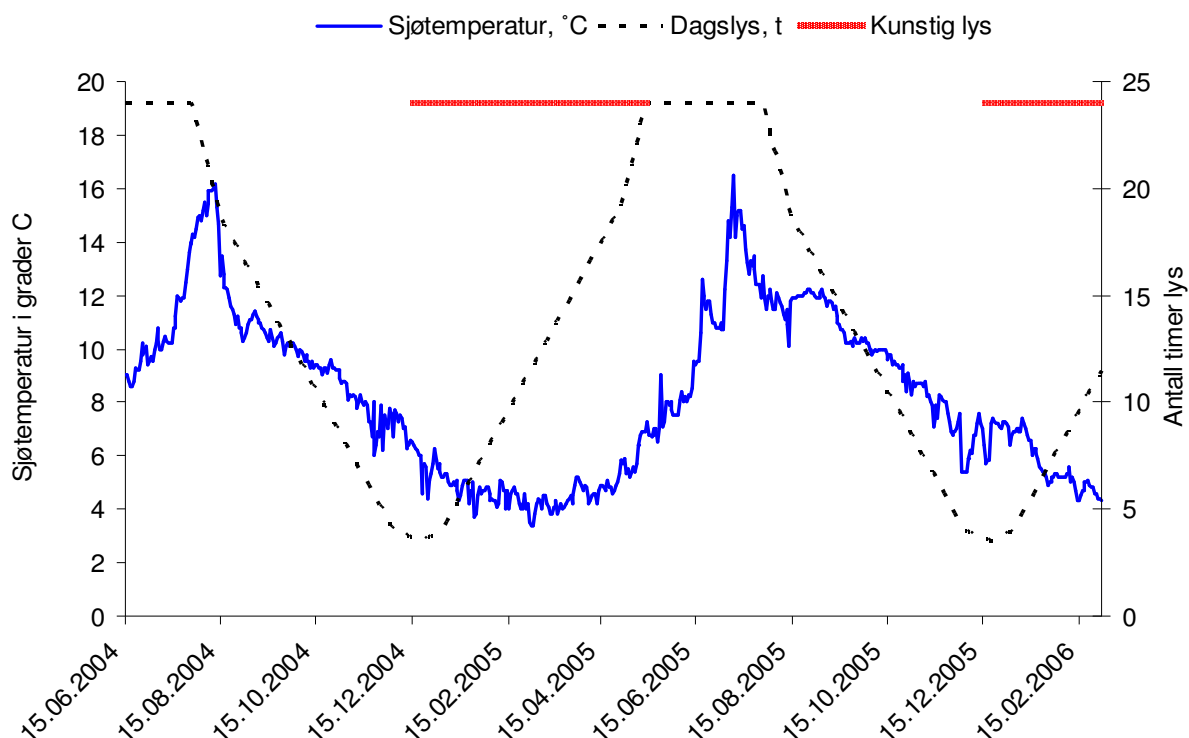
Restriktiv gruppe (R); merd nr. 103, 104, 108, 111. Kontrollgruppe (K): merd nr. 101, 106, 107, 112.

Fôringsforsøket startet 1. desember 2004 og varte til fôringsstopp 16. januar 2006. Ved forsøksstart var laksen i gjennomsnitt 0,96 kg i kontrollgruppen og 0,95 kg i den restriktive gruppen. Laksen ble slaktet i tidsrommet fra september 2005 til februar 2006. Begge fôringsregimene benyttet samme fôr under hele forsøket. Før forsøksstart ble det benyttet fôr produsert av Ewos, mens under forsøket ble det benyttet fôr produsert av Biomar.

GIFAS kontrollerte og registrerte fôring, fôrforbruk, biomasse, dødfisk, miljø, helse, prøveuttak, lysstyring og slakting i henhold til sine retningslinjer. For å unngå kjønnsmodning ble kunstig lys benyttet om vinteren fra 15.12.2004 til og med 15.5.2005 (Fig. 4).

Biomasseutviklingen ble overvåket ved hjelp av to Storvik vektrammer som rullerte blant merdene. Dødfiskhåvene ble tømt daglig om sommeren og annenhver dag om vinteren, og ble etterfulgt av registrering av antall dødfisk. Sjøtemperaturen ble målt to ganger pr. dag (morgen og ettermiddag) ved tre meters dybde gjennom hele forsøket (Fig. 4).

Veterinærkontroll av fisk og anlegg ble foretatt annenhver måned. For å oppnå best mulig vanngjennomstrømning og for å optimalisere tettheten i merdene ble smoltposene skiftet ut med storfiskposer om våren, andre året i sjøen.



Figur 4: Sjøtemperatur og lysforhold i Stivika under hele forsøket

Kunstig lys ble benyttet i perioden 15.12.2004 til og med 15.5.2005.

Fôring av fisken

I startfasen (utsett til desember) ble all fisken appetittfôret flere ganger daglig og fikk grundig oppfølging, dette for å oppnå best mulig tilvenning til fôret. All fisken ble behandlet likt og fikk samme type fôr. Fra utsett og til forsøksstart ble det benyttet fôr fra Ewos. Smolten ble da fôret med Ewos Transfer 50 - 40 A, Transfer 200 – 40 A, og Pyramid 500 – 70 A, med sammensetning av 42-48 % protein, 28-31 % fett, 7-8 % aske, 0,7-1,1 % fiber, 1,1-1,3 % fosfor, 40-70 mg/kg astaxanthin (A), samt noe tilsatt Vitamin D, E, og kobber.

Gjennom hele fôringsforsøket (1.12.2004 til siste fôringsdag 16.1.2006) ble det benyttet sammen type fôr fra Biomar i begge fôringsregimene. Laksen ble da fôret med Biomar Classic 800 ss 60 og Classic 1500 ss 60, Biomar optimal CPK 800 ss 40, CPK 800 ss 60, CPK 1500 ss 20, CPK 2000 ss 20, og CPK 2000 ss 40, med sammensetning av 35-36 % protein, 35-38 % fett, 6-6,5 % aske, 13,6-18 % karbohydrat, 0,7-2,8 % trevler, og 20-60 mg/kg astaxanthin (ss).

Etter hvert som fisken vokste ble det foretatt skifte av pelletstørrelse i henhold til fôrskiftetabeller fra fôrprodusenten. Under forsøket var hver merd selvstyrt slik at alle merdene kunne fôres samtidig. Fôringen ble utført med bruk av fôrautomater. Automatene var koblet opp mot sensorer i merdene på 5,5 m dyp, samt en sentral styringsenhet. Synkende pellets ble registrert når de passerte gjennom sensoren, og styringsprogrammet justerte utfôring i forhold til hvor mye pellets som passerte sensoren. Et måltid ble innledet med forsiktig fôring for å signalisere måltidsstart overfor fisken. Fôringsintensiteten øktes så til et definert maksimumsnivå, eller til det ble registrert pellets i sensoren. Deretter avtok dosestørrelsen og intervallene mellom dosene økte i takt med økende antall registreringer fra sensoren. Metningspunktet hvor måltidet ble avsluttet, ble definert ut fra at en pellet synker til 7 m dyp i smoltposer og 11 m i storfiskposer. For vurdering av dette ble kamera benyttet.

Kontrollgruppen ble fôret til metning med tre daglige måltider når sjøtemperaturen var over 10 °C, to daglige måltider når sjøtemperaturen var mellom 5 og 10 °C, og ett daglig måltid når sjøtemperaturen var under 5 °C. Den restriktive gruppen ble fôret til metning med ett daglig måltid når sjøtemperaturen var over 5 °C, og ett måltid annenhver dag når sjøtemperaturen var under 5 °C (9. januar – 1.april 2005). I den restriktive gruppen var det antall måltider som begrenset fôrtildelingen, og ble fôret til metning etter samme kriterier som kontrollgruppen.

Fisken ble sultet i 10 dager før slakting.

Prøveuttak

Det ble gjennomført to hoveduttak av laks fra hvert fôringsregime, det første om våren i mai 2005 (uke 20 og 21), og det andre om høsten i september 2005 (uke 35, 37 og 38) (Fig. 5). Det første uttaket var når laksen hadde en snittvekt på ca. 2 kg rund, mens det andre uttaket var ved en snittvekt på 4,39 kg rund for kontrollgruppen og 4,66 kg rund for den restriktive gruppen.

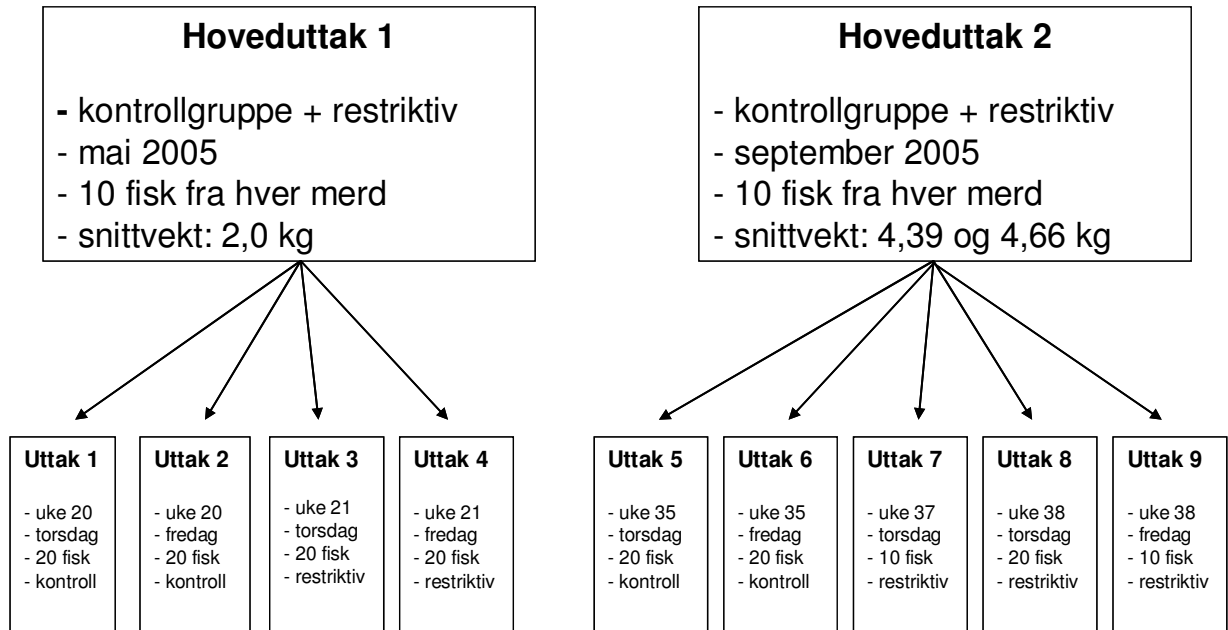
Hoveduttakene fra de to fôringsregimene har fått følgende betegnelser; uttak fra kontrollgruppe vår 2005 (K1), uttak fra restriktiv gruppe vår 2005 (R1), uttak fra kontrollgruppe høst 2005 (K2), og uttak fra restriktiv gruppe høst 2005 (R2).

Uttakene ble organisert slik at laksen fra de to fôringsregimene hadde nokså lik snittvekt på uttakstidspunktet. Dette førte til at høstuttaket fra det restriktive fôringsregimet ble utført 19 dager etter uttaket fra kontrollgruppen. Uttakene ble fordelt over 4 dager, med 2 merder per dag, og det ble tatt ut 10 fisk per merd (Fig. 5). Siste delen av høstuttaket ble delt opp i to uttaksdager i stedet for en dag, og da ble det tatt ut en merd per dag. Totalt i hele forsøket ble det tatt ut 160 fisk (2 hoveduttak × 2 fôringsregimer × 4 mindre uttak × 10 stk laks fra hver merd).

Forsøksuttak av fisk ble gjennomført tidlig om morgenen i startfasen av fôringen, fra kl. 07.00 til 08.00, og ble utført av personell fra GIFAS. For at fisken ikke skulle bli unødvendig mye stresset ble den lokket opp til overflaten med fôring for så å bli tilfeldig fanget med håv. Dette resulterte i at fisk av ulik størrelse ble fanget. Det ble ikke tatt med fisk som hadde store synlige defekter, viste tegn til kjønnsmodning eller befant seg i de helt ekstreme vektområdene. Fisken ble ikke sultet i forkant av uttakene.

Etter opptak ble fisken bedøvet (slag mot hodet), bløgget, lagt i isvann i 1 time for avblødning, transportert til land, lagt i tette isoporkasser med is, for så å bli transportert til AFN sitt fiskemottak ved Høgskolen i Bodø.

GIFAS kontrollerte laksens vekt og total biomasse underveis i produksjonen ved bruk av to Storvik vektrammer som rullerte blant merdene. Målingen ble vurdert som fullført etter at et minimum antall fisk hadde passert gjennom rammen (ca. 400), og varte ikke lenger enn et visst antall dager (ca. 3 dager), hvoretter rammen uansett ble flyttet videre. Vektmålingene ble gjennomført i januar, mai, juli, august, september og oktober 2005.



Figur 5: Oversikt over prøveuttak

Biologiske analyser

Ved fiskemottaket til AFN ble lengde (± 1 cm), rund vekt (± 1 g) og sløyd vekt (± 1 g) registrert. Videre ble laksen sløyd, vasket, merket i spord, samt tatt muskelfiberprøver av. Til slutt ble den lagt i isoporkasser med is og satt på kjølerommet ($+ 3^{\circ}\text{C}$) i fire dager til rigor var over. Laksen som ble brukt til muskelfiberprøver ble pakket inn i plastposer slik at den ikke trakk til seg vann.

På den fjerde dagen etter uttak ble fisken tatt ut fra kjølelageret og filetert. Fileten ble skåret ut fra laksens venstre side og alt av bein ble fjernet. De ferdige filetene ble lagt på et tykt plastbelagt papir og merket med fiskenummer, lagt i isoporkasser med is i bunnen som var dekket av sorte plastsekker, for så å bli fraktet til laboratoriet der filetene videre ble analysert for farge, tekstur, fett, vann, protein og pH.

Data knyttet til laksens sløyde vekt og lengde ble brukt til beregning av kondisjonsfaktor ut fra formel 1. Det ble også beregnet hvor stor prosentandel laksens sløyde vekt utgjorde av den runde vekten, og dette blir betegnet som det slakteutbyttet som oppdretteren får betalt for, se formel 2.

Formel 1: Kondisjonsfaktor

$$\frac{\text{sløyd vekt (g)}}{\text{lengde (cm)}^3} \times 100$$

Formel 2: Slakteutbytte

$$\frac{\text{vekt av salgbar sløyd fisk (g)}}{\text{vekt av opprinnelig rund fisk (g)}} \times 100$$

Muskelfiberanalyser

Det ble tatt ut muskelfiberprøver fra 5 laks fra hver merd under hvert uttak, 10 laks per gruppe. Gjennom hele forsøket ble det tatt ut muskelfiberprøver fra 40 laks fra hvert fôringsregime, totalt 80 laks fra begge regimene. Fra hver fisk ble det skjært ut 8 muskelblokker, og fra hver blokk ble det telt 150 muskelfibrer, totalt 1200 muskelfibrer fra hver fisk.

Muskelfiberprøvene ble tatt når laksen var pre rigor, samme dag som uttaket fra oppdrettsanlegget. Utvelgelse av fisk ble gjort på bakgrunn av dens sløyde vekt, hvorav den minste, den største, og tre av dem som hadde en gjennomsnittsvekt ble valgt ut fra hver merd. Dette ble gjort for å sikre en tilstrekkelig spredning mellom prøvene.

Metoden for uttak av muskelfiberprøver ble standardisert før forsøket startet slik at utvelgelse av fisk, lokalisering og skjæring av kotelett og muskelblokker, samt innfrysingen (Hagen, 2005b), ble utført likt mellom alle prøvene i forsøket. Muskelblokkene ble lokalisert til fiskens venstre side.

Under uttak av muskelfiberprøvene ble det skjært ut en 5 mm tykk tverrstilt kotelett i forkant av den dorsale finnen (Johnston *et al.*, 2000a) ved 38 % av total lengde (Fig. 7). Koteletten ble orientert slik at kuttflaten mot hodet ble ned. Den ble så overført til et transparent ark merket med fiskens nummer som igjen ble lagt over et millimeterpapir og fotografert. Dette ble gjort for å kunne kalibrere bildet når totalt areal av koteletten skulle beregnes senere.

Fra hver fisk ble det skjært ut 8 muskelblokker, 5 mm×5 mm×5 mm (Fig. 7). Blokkene ble fordelt over hele fiskens venstre side, både dorsalt og ventralt, slik at de skulle gi en best mulig dekning av kotelettens hvite muskelareal. Hver enkelt blokk ble plassert på en korkebit hvor undersiden var belagt med en hvit merkelapp merket med fiskens nummer og blokkens plassering. For å forenkle innfrysningen ble det benyttet doble korkebiter med plass til to

blokker. Blokkene ble festet til korkebiten med en dråpe Shandon Cryomatrix™ (Anatomical Pathology, Pittsburgh, USA). Etter påsetting ble blokken dekket med Cryomatrix for å gi en best mulig beskyttelse under lagring.

Korkebiten med to muskelblokker ble hurtig innfrosset i isopentan som var nedkjølt til -159°C i flytende nitrogen (-196°C). Muskelblokkene ble holdt nedsenket i 1 minutt i den nedkjølte isopentanen, for så og bli tatt opp og pakket inn i merket aluminiumsfolie. De innpakkede blokkene ble oppbevart i en isolert bølge med flytende nitrogen til alle prøvene var innfrosset. De ferdig innfrosne blokkene ble overført til en oppbevaringsboks i et nitrogenlager med tilnærmet ubegrenset lagringstid.

Etter hvert hoveduttak, vår og høst, ble muskelprøvene fortløpende tatt fra nitrogenlageret for videre snitting, farging, montering (glyserol gelatin), og muskelfiberanalyser, hvorav fibertetthet, diameter og antall ble estimert for hver fisk.

Snitting av muskelblokkene ble utført ved bruk av en kryostat (MICROM HM 550, Microm International GmbH, Walldorf, Tyskland). Blokkene ble temperert i kryostatens kammer i ca. 45 minutter før oppstart, snittingen ble utført ved -24°C , og snittene hadde en tykkelse på 8 μm . Det ble laget 2 snitt fra hver blokk, og disse ble overført til poly-L-lysin behandlede objektglass (Hagen, 2005a), kontrollert for riktig orientering, lufttørket, farget med Harry's hemotoxylin (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim, Tyskland) (Hagen, 2005c), og montert med Glycerol Gelatin (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim, Tyskland) og dekkglass. Snitt som er ferdig farget og montert med Glycerol Gelatin kan lagres i flere år når de blir lagret skjermet fra lys. Snittene ble deretter fotografert gjennom et mikroskop med tilknyttet kamera (Axioskop 2 mot plus, Carl Zeiss, Göttingen, Tyskland) tilknyttet PC. Dataprogrammet Axio Vision Rel. 4.2 (Carl Zeiss Vision GmbH, München, Tyskland) ble benyttet til bildebehandling og muskelfiberanalyse.

I dataprogrammet Sigma ScanPro 5.0 (SPSS Inc, Chicago, USA) ble det totale arealet av hvit muskel i laksekotelettene beregnet og kalibrert mot millimeterpapiret fra hvert bilde av kotelettene. For å finne totalt muskelfiberantall og muskelfibertetthet i de ulike laksene ble følgende to formler benyttet:

Formel 3: Totalt muskelfiberantall

$$\frac{\text{Totalt areal av muskeltversnittet (mm}^2\text{)} \times \text{antall telte fiber}}{\text{sum telt areal (}\mu\text{m}^2\text{)}} \times 10^6$$

Formel 4: Muskelfibertetthet (mm⁻²)

$$\frac{\text{antall fiber}}{\text{sum areal (}\mu\text{m}^2\text{)}} \times 10^6$$

Fiberfordelingen i laksens hvite muskel ble beregnet ut fra 1200 telte fibrer i hver fisk, der gjennomsnittet av alle fiskene i hvert fôringsregime dannet grunnlaget for en grafisk fremstilling av fiberfordelingen i våruttak vs. høstuttak, R1 vs. K1, og K2 vs. R2. Som mål på minimum og maksimum fiberdiameter ble 3 prosentil og 97 prosentil av fiberfordelingen beregnet, og forteller om veksten har vært forårsaket av hypertrofi eller hyperplasi. De to prosentilene dannet videre grunnlag for testing av signifikante forskjeller mellom gruppene.

Som mål på hyperplasi ble andelen av muskelfiber mindre enn 10 μm (Johnston *et al.*, 2000b; Johnston, 2006), 20 μm og 40 μm også beregnet. Maksimal fiberdiameteren i laks er fra 220 μm (Johnston *et al.*, 2003b) til 240 μm (Johnston *et al.*, 2000c; Vieira *et al.*, 2005; Johnston, 2006).

Ved å studere grafene som representerer laksens muskelfiberdistribusjon, dannes et godt bilde av hva som skjer med muskelfibrene etter hvert som laksen vokser, og ved bruk av restriktiv fôring.

Teksturanalyser

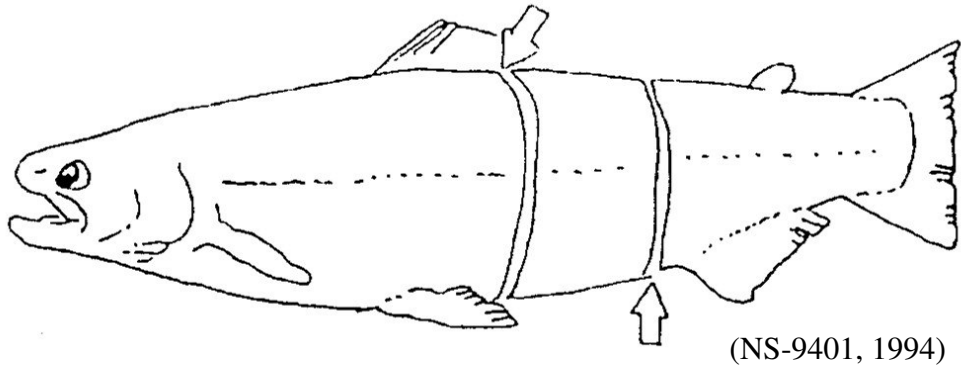
Teksturen til post rigor laksefilet (4 dager på is) ble målt ved hjelp av en teksturmåler, TA-XT2 (Stable Micro Systems, Surrey, England). Teksturmåleren var koblet opp mot en datamaskin som brukte softwareprogrammet Texture Ekspert Exceed, v.1.0 fra Stable Micro System, til å styre instrumentet.

Instrumentet ble påmontert et stålblad (3 mm tykt, 70 mm bredt) og kalibrert for avstand og hastighet. Teksturmålingene ble utført i det norske kvalitetssnittet, NQC (NS-9402, 1994) (Fig. 6). Det ble utført tre målinger i kvalitetssnittet på samme filet, der avstanden mellom målingene var 1 cm (Fig. 7). Gjennomsnittet av disse tre målingene ble grunnlaget for filetenes hardhet (F) og arbeidet (A), og dette gjennomsnittstallet ble brukt i den statistiske analysen. Hardheten i fileten ble målt som den maksimale skjærkraften i kg, som trengtes til å presse stålbladet 90 % ned i fileten med en hastighet på 1 mm/s. Arbeidet ble målt som skjærkraften \times tiden, i kgs.

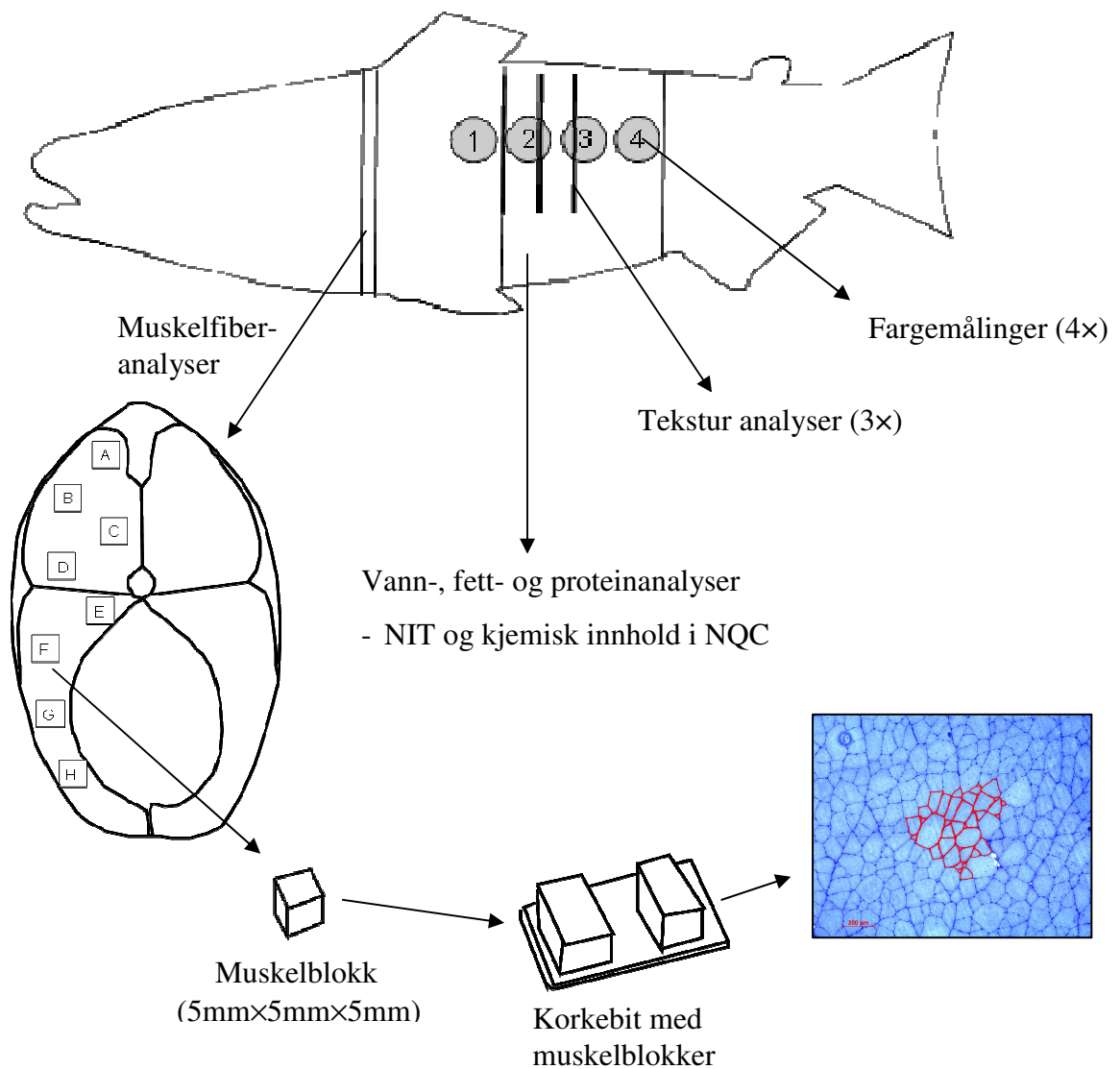
Fargemåling

Den visuelle fargen til post rigor laksefilet (4 dager på is) ble målt instrumentelt ved bruk av Minolta (Minolta Camera Co. Ltd., Osaka, Japan). Dette instrumentet målte reflektansen av lyset fra laksekjøttet i forhold til en hvit kalibreringsplate. Målingene ble utført fra litt i forkant av det norske kvalitetssnittet (NQC) og bakover inn i kvalitetssnittet (Fig. 7). Fargen ble karakterisert ved å bruke L a b systemet der + a* representerer rødheten, + b* representerer gulheten, og L* representerer lysheten.

Det ble utført fire målinger av fargen på hver filet. Gjennomsnittet av disse fire målingene dannet grunnlaget for den visuelle fargen til fileten og tallmaterialet som ble brukt i den statistiske analysen. Fargen ble målt direkte på fileten.



Figur 6: Det Norske Kvalitetsnittet (NQC)



Figur 7: Lokasjoner for kvalitetsanalyser

Kjemiske analyser

Alle 160 fisk ble analysert for innhold av fett, vann og protein med NIT (Nær Infrarød Transmisjon), samt pH. I tillegg ble 3 fisk per merd analysert for kjemisk innhold av fett, vann og protein, for å kunne kalibrere NIT-instrumentet. Utvelgelse av fisk til de kjemiske analysene ble gjort selektivt etter deres sløyde vekt (minst, gjennomsnittlig og størst).

Etter 4 dager på is ble laksen filetert, og fra den venstre fileten ble det norske kvalitetssnittet, NQC (NS-9402, 1994), skåret ut (Fig. 6). Skinnet ble fjernet og muskelbiten ble moset til en homogen masse i en hurtigmikser. Tiden for mosing i hurtigmikseren (ca. 5+5 sekunder) varierte etter hvor stor fisken var, og ble regulert etter hvor homogen massen ble. Under og etter homogeniseringen ble fiskemassen holdt avkjølt, og bare halvparten av fiskene (10 stk) ble opparbeidet om gangen for å forebygge utskillelse av fett. Den homogene fiskemassen ble videre brukt til NIT-analyse av fett, vann og protein, samt pH.

Fettet i laksen ble ekstrahert ut med etylacetat (NS-9402, 1994). To parallelle prøver fra fiskehomogenatet, hver på $10 \pm 0,5$ g ble veid inn og overført til en porselensmorter sammen med $20 \pm 0,5$ g vannfritt natriumsulfat. Dette ble gnidd sammen til et tørt pulver, overført til en 100 ml glassflaske med tett lokk, og tilsatt $50 \pm 0,1$ ml etylacetat. Glassflasken med tilsatt innhold sto til ekstrahering på ristebord i 1 time. Løsningen ble filtrert gjennom et "sortbånd" filter (Schleicher og Scull) og ned i en målesylinder. $20 \pm 0,1$ ml filtrat ble pipettert til en innveid inndampningsskål, inndampet på et vannbad, tørket i tørkeskap ved 104°C i 15-20 minutter, avkjølt i eksikator og til slutt veid. Fettinnholdet i prøvene ble beregnet ut fra formel 5, og angitt som gjennomsnittet av de to parallelle prøvene i % fett med to desimaler.

Formel 5: Fettinnhold (%)

$$\frac{10300 \times \text{gram inndampet}}{(40 - 2,17 \times \text{gram inndampet}) \times \text{gram innveid}}$$

Vanninnhold i laksen ble beregnet ut fra to parallelle prøver tatt fra fiskehomogenatet, der hver prøve var på $5 \pm 0,5$ g. Disse ble tørket i aluminiumsformer ved 104°C i 20 timer, for så å bli avkjølt i eksikator og veid. Vanninnholdet ble beregnet som vekttap etter tørking ut fra formel 6, og angitt som gjennomsnittet av de to parallelle prøvene i % vann med to desimaler.

Formel 6: Vanninnhold (%)

$$\frac{(\text{våtvekt} - \text{tørrvekt})}{\text{våtvekt}} \times 100$$

For å bestemme laksens proteininnhold ble to parallelle prøver fra fiskehomogenatet, hver på $1 \pm 0,1$ g, veid inn på tarert nitrogenfritt veiepapir. Prøvene ble overført til store varme- og trykkbestandige prøverør. 2 stk Kjeltabs etterfulgt av 15 ml konsentrert svovelsyre ble tilsatt til hvert prøverør. Prøvene ble så oppsluttet ved 420°C i minst 45 minutter, avkjølt og tilsatt 75 ml destillert vann. Laksens proteininnhold ble analysert som Kjeldahl-nitrogen ved bruk av en faktor på 6,25 (KjeltecTM 2300, Foss Tecator AB, Höganäs, Sverige).

Fiskekjøttets pH ble målt med en pH-elektrode (pH2401, Radiometer, København, Danmark) som ble senket ned i fiskehomogenatet. pH-elektroden ble kalibrert mot en sur buffer (pH 4) og en nøytral buffer (pH 7) for hver 5 måling.

NIT analyser

Nær infrarød absorbanse ble målt i homogenisert fiskemasse fra NQC fra laksens venstre filet. Data fra NIT (Nær Infrarød Transmisjon) spekteret ble analysert ved bruk av Infratec 1255 Food and Feed Analyser (Foss Tecator AB, Höganäs, Sverige). I området 850-1050 nm ble den spektrale transmisjonen målt med intervaller på 2 nm. Infratec-instrumentet målte nær infrarød absorbanse ved å belyse fem delprøver to ganger. Hver delprøve bestod av ca. 6 g fiskemasse, og prøvetykkelsen var 15 mm.

Data fra NIT spekteret til hver laks ble hentet ut fra Infratec-instrumentet, konvertert til inpfiler, og overført til statistikkprogrammet "The Unscrambler[®] v9.2" (Camo Process AS, Oslo) på PC'en. Disse rådata dannet videre grunnlaget for bruk til PLS-regresjon.

PLS regresjon

PLS (Partial Least Squares) regresjon ble utført ved at NIT-data først ble kalibrert mot kjemisk analyse av fett, vann og protein slik at det ble laget tre ulike kalibreringsmodeller, en for hver av de tre (Y) komponentene. Kalibreringsmodellene ble så brukt til å prediktere fett-, vann- og proteininnholdet i alle 160 lakseprøvene.

Utvelgelse av fisk til de kjemiske analysene som ble brukt som referansemetode til kalibreringsmodellen for fett, vann og protein, ble utført slik at variasjonen i datamaterialet ble representert på en best mulig måte; en liten, en gjennomsnittlig og en stor fisk fra hver merd. Disse tre fiskene var de samme som ble valgt ut til muskelfiberanalysene.

Kalibreringen ble utført i statistikkprogrammet Unscrambler, og ble videre gjennomført ved bruk av PLS1, dette for at en responsvariabel ble undersøkt av gangen. PLS2 ble brukt til å se på hvilke variabler som egnet seg for bruk til kalibreringen. PLS regresjon ble utført ved bruk av full kryssvalidering, og ingen vektning av data.

Viktige plott som ble brukt i utarbeidelsen av modellene var; score plot, loading plot, residual validation variance plot, predicted vs. measured plot, regression coefficients plot, variances plot, sample outliers plot og X-Y related outliers plot. For å lage en god modell var det viktig at den hadde en høy forklart valideringsvarians på mer enn 90 %, en høy validert korrelasjon mellom predikerte og målte verdier på mer enn 0,9, en lav verdi på den gjennomsnittlige forskjellen mellom predikerte og målte responsverdier (RMSEP, Root Mean Square Error of Prediction) sett i forhold til nøyaktigheten i referansemetoden, en lav prediksjonsvariasjon (SEP, Standard Error of Performance) sett i forhold til verdien på (Y) komponenten. Variasjonskoeffisienten (CV, Coefficient of Variation) angir forholdet mellom standardavvik/middeltallet og uttrykkes i %, og bør være mindre enn 5 %.

PCA

PCA (Principal Component Analyse) ble benyttet som et tillegg til de statistiske analysene for å gi en multivariat fremstilling og forståelse av dataene.

PCA ble utført på alle data fra vårutttaket og høstuttaket samlet, dette for å se på hvordan laksen vokste og utviklet seg under forsøket. Det ble også utført PCA på vårutttaket og høstuttaket hver for seg for å finne ut om de to ulike fôringsregimene hadde innvirkning på laksens kvalitet. Viktige plott som ble undersøkt ved bruk av PCA var; score plot (plott over prøvene), loading plot (plott av variablene/faktorene), influence plot (brukt til å finne outliere) og explained variance plot (plott over forklart varians).

Ved hjelp av PCA ble det undersøkt hvordan spredningen i datamaterialet var og om det fantes grupperinger mellom fôringsregimene. Det ble undersøkt hvilke variabler som var årsaken til spredningen, samt hvilke sammenhenger (korrelasjon) det var mellom disse. Ved å studere loading plot vises det tydelig om det er en positiv eller negativ korrelasjon mellom variablene, samt hvor god denne er. Loading plot er et godt hjelpemiddel for å skape et bilde av sammenhengene mellom alle variablene, og for å gi en indikasjon på hvilke sammenhenger som er interessant å se nærmere på. Det kan ikke bestemmes om korrelasjonen er signifikant, og det er derfor nødvendig å gjennomføre en uavhengig korrelasjonsanalyse.

En forklart variasjon i datamaterialet på > 60 % i de to første ”principal componentene” (PC) bør anses for å være tilfredsstillende (Esbensen, 2002).

Statistiske analyser

Resultatene ble statistisk behandlet og testet for signifikante forskjeller ved bruk av statistikkprogrammet JMP IN v5.1.2 (SAS Institute Inc, NC, USA), og Statistica v6.1 (StatSoft Inc, Tulsa, USA). Data fra de to fôringsregimene ble sammenlignet ved analyse av kovarians (ANCOVA) der det ble korrigert for størrelseseffekten gjennom å benytte sløyd vekt som kovariat (Statistica). Student’s t-test ble benyttet til hypotesetesting uten korrigering for størrelse (JMP). Der forutsetningene for normalfordeling eller lik varians ikke var oppfylte ble den ikke parametriske Wilcoxon rank-sum test benyttet (JMP). Korrelasjonsanalyse ble brukt til å finne sammenhenger mellom ulike variabler (Statistica).

For å finne effekten av fôringsregimet ble ANCOVA gjennomført ved bruk av kvalitetsfaktorene som avhengige variabler, fôringsregime som kategorisk variabel, og sløyd vekt som kovariat. For å finne effekten av sesong ble ANCOVA gjennomført ved bruk av kvalitetsfaktorene som avhengige variabler, de to hoveduttakene som kategorisk variabel, og sløyd vekt som kovariat.

For å avgjøre om det er forskjeller mellom fôringsregimene knyttet til hyperplasi, blir muskelfiberfordelingens 3 prosentil, og andelen fiber under 10, 20 og 40 μm , beregnet. Forskjeller mellom fôringsregimene knyttet til hypertrofi avgjøres fra muskelfiberfordelingens 97 prosentil. 3 prosentilet defineres som gjennomsnittlig diameter til 3 % av antallet av de minste fibre i fordelingen, mens 97 prosentilet defineres som gjennomsnittlig diameter til 3 % av antallet av de største fibre i fordelingen. Prosentilene brukes videre til testing av signifikante forskjeller mellom fôringsregimene forårsaket av hyperplasi/hypertrofi.

Forutsetningene for t-test er; tilfeldige/uavhengige observasjoner, normalfordelte populasjoner og lik varians. For å få en mest mulig robust test må det være et likt antall prøver i de ulike gruppene, samt en tilstrekkelig mengde prøver eller et stort antall frihetsgrader (Zar, 1999; Sall et al., 2005). I JMP ble det testet om forutsetningene var oppfylte ved å benytte O’Briens’ test for ulik varians, mens normalfordelingen ble kontrollert ved å benytte et ”normal quantile plot”, samt et histogram som viste fordelingen til hver variabel med tilhørende prøvefordeling.

I forsøksdesignen ble det sørget for et tilstrekkelig antall replikater (4 merder) og uavhengighet mellom prøvene, dette for å unngå pseudoreplikasjon (Oksanen, 2001; Hurlbert, 2004; Oksanen, 2004). Pseudoreplikasjon er at det brukes statistikk for å teste for behandlingseffekter av data fra eksperimenter hvor behandlinger ikke er replikert eller replikater ikke er statistisk uavhengig.

For å vurdere hvor gode resultatene var ble det utført power-analyser (teststyrke) i JMP. En teststyrke på >50 % anses som tilfredsstillende. I tillegg ble LSN (Least Significant Number) beregnet for å synliggjøre resultatene enda bedre. LSN er det minste prøveantallet som er nødvendig for å oppnå en teststyrke på minimum 50 %. Beregning av teststyrke og LSN ble utført ved et signifikansnivå på 5 %. Teststyrken og LSN forteller hvor sensitivt forsøksdesignet og dataene er.

De statistiske resultatene presenteres i tabeller med gjennomsnitt, spredning (min. og maks. verdi), standardavvik, p-verdi, signifikansnivå, teststyrke, LSN og vekteffekt. I teksten presenteres resultatene fra ANCOVA, mens resultatene fra Student's t-test finnes som vedlegg til oppgaven. De ulike signifikansnivåene indikeres med * for signifikans på 5 % nivå, ** for signifikans på 1 % nivå, og *** for signifikans på 0,1 % nivå.

Resultatene fra korrelasjonsanalysen presenteres i tabeller med korrelasjonskoeffisient (r). Verdier som indikerer at korrelasjonen er signifikant på 5 % nivå er merket med rødt. Sammenhengen mellom alle variablene i hele forsøket, og i alle variablene i hvert av de to hoveduttakene ble analysert.

Faren for å begå type I og type II feil behandles nærmere i oppgavens diskusjonsdel.

Beregning av produksjonstid og tilvekst

Produksjonstiden defineres her som ”den tiden det tok å føre opp laksen til en rund snittvekt på 2,08 kg (vår 2005), 4,39 kg (høst 2005) og 5,60 kg (gjennomsnittlig rund slaktevekt for hele generasjonen) under de miljøforhold som var ved GIFAS sin lokalitet i Stivika i Gildeskål kommune”. Kontrollgruppen ble brukt som referansegruppe.

Forskjellen i produksjonstid mellom kontrollgruppen og den restriktive gruppen ble beregnet på grunnlag av vektdata fra uttakene våren 2005 og høsten 2005, samt med bruk av Skretting (2003) sin tilveksttabell for laks som tok høyde for fiskestørrelse (i rund vekt) og sjøtemperatur (°C). I begge uttaksperiodene var grunnlaget for beregningene 40 stk laks fra hvert fødringsregime. Forskjell i produksjonstid mellom gruppene for hele generasjonen ble beregnet ut fra størrelsesdata innrapportert fra slakteriet i forbindelse med utslakting av fisken.

Uttaksdataene ble kontrollert opp mot GIFAS' egne vektberegninger gjort ut fra fødringsmengder, samt ved bruk av vektrammemålinger. Disse sammenligningene er fremstilt i figurer og tabeller.

Laksens tilvekst ble beregnet som prosentvis daglig tilvekst for hele, og deler av, produksjonstiden ut fra formel 7. Daglig tilvekst i vekt (g) ble beregnet ut fra formel 8. Utviklingen i tilvekst og vekt for laksen ble vist i perioden fra utsett i sjøen og til siste uttaket om høsten 2005, og var basert på fødringsregistreringer fra GIFAS, kontrollert med vektrammemålinger. Samlet tilvekst ble beregnet for perioden fra utsett til første uttak, for perioden fra første til andre uttak, og for data basert på vektrammemålinger i perioden fra mai til august 2005.

Formel 7: Prosent daglig tilvekst (SGR)

$$\frac{(\ln(\text{sluttvekt i gram}) - \ln(\text{startvekt i gram}))}{\text{antall dager}} \times 100$$

ln = naturlig logaritme

Formel 8: Daglig tilvekst i vekt (g)

$$\frac{\text{Sluttvekt i gram} - \text{startvekt i gram}}{\text{antall dager}}$$

Beregning av fôrfaktor

Økonomisk og biologisk fôrfaktor for hele produksjonen ble beregnet ut fra formel 9-10. Resultatene er fremstilt i en tabell som viser fôrfaktor og nødvendig bakgrunnsinformasjon for utregningen av denne. I tillegg er prosentvis daglig tilvekst og tilvekst i vekt beregnet for hele produksjonen, samt superiorandel ved slaktingen. I artikler og annen litteratur blir ofte fôrfaktor betegnet med FCR (Feed Conversion Rate).

Formel 9: Økonomisk fôrfaktor ($FF_{\text{øko}}$)

$$\frac{\text{Utforet mengde}}{BM_{\text{slakt}} - BM_{\text{start}}}$$

$$BM = \text{Biomasse}$$

Formel 10: Biologisk fôrfaktor (FF_{bio})

$$\frac{\text{Utforet mengde}}{(BM_{\text{slakt}} + BM_{\text{døde}}) - BM_{\text{start}}}$$

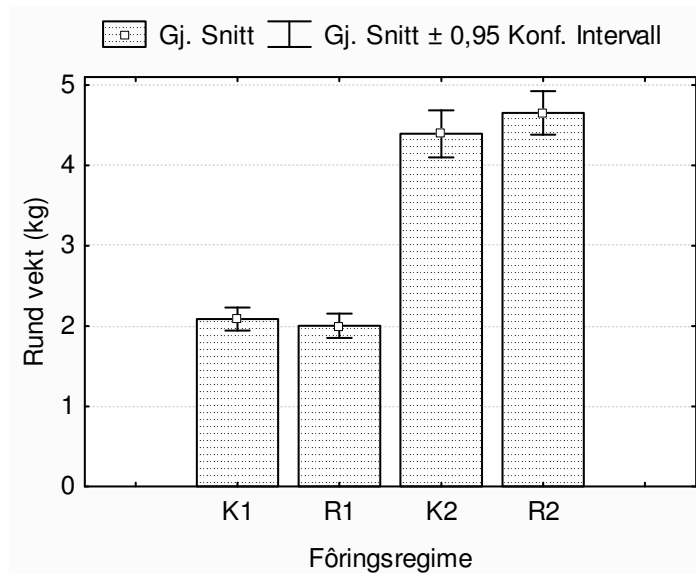
Alle data som er benyttet i beregningene av tilvekst og fôrfaktor (utfôret mengde, mengde dødfisk, slaktet biomasse, utsatt mengde laks) er gjennomgått og kontrollert av GIFAS.

Slaktet biomasse ble omregnet fra sløyd vekt til usløyd vekt (rund levende vekt) med en omregningsfaktor på 16 % (ca, 12 % sløyvesvinn og ca. 4 % sultetap). Slakterapporten fra slakteriet inneholdt mengden sløyd fisk, mens det er den runde vekten som er interessant ved beregning av fôrfaktoren.

Resultater

Resultatene fra de biologisk og kvalitetsmessige analysene presenteres i tabeller med gjennomsnitt, spredning, standardavvik, signifikansnivå, p-verdi, teststyrke, LSN og vekteffekt. Resultatene presenteres i samme rekkefølge som hypotesen er oppbygd, og da først resultatene knyttet til hypotesen som tar for seg kvalitetseffekter, deretter følger resultatene knyttet til den andre hypotesen som tar for seg produksjonstiden, og til sist presenteres resultatene knyttet til den tredje og siste hypotesen som tar for seg fôrfaktor. Økonomiske betraktninger rundt lønnsomhet blir behandlet nærmere i diskusjonsdelen. Resultatene fra korrelasjonsanalysen vises i tabeller med korrelasjonskoeffisient (r) og p-verdi. Resultatene fra PLS regresjon og PCA presenteres i figurer med kommentarer.

I vårutttaket hadde den restriktive gruppen en rund snittvekt på 2,03 kg, mens kontrollgruppen hadde en rund snittvekt på 2,09 kg (Fig. 8). I høstuttaket hadde den restriktive gruppen en rund snittvekt på 4,66 kg, mens kontrollgruppen hadde en rund snittvekt på 4,39 kg. Den restriktive gruppen vokste litt saktere enn kontrollgruppen og hadde noen dager lengre produksjonstid for å oppnå samme vekt. Uttakene fra den restriktive gruppen ble derfor forskjøvet med 7 dager om våren og 19 dager om høsten. Det var ingen signifikant forskjell i snittvekt mellom fôringsregimene i de to hoveduttakene.



Figur 8: Rund vekt i de to fôringsregimene fra våruttak og høstuttak

Figuren viser rund snittvekt i kontrollgruppe (K) og restriktiv gruppe (R) i våruttak (1) og høstuttak (2). Det var ingen signifikant forskjell i snittvekt mellom fôringsregimene i de to hoveduttakene.

Kvalitet

Bruk av et restriktivt fôringsregime, sammenlignet med full appetittfôring, gjennom størstedelen av produksjonstiden i et matfiskanlegg for laks, førte til flere forskjeller i fiskens biologiske verdier og kvalitet. Uttakene fra de to fôringsregimene ble organisert med en liten tidsforskyvning slik at den restriktive gruppen nærmet seg kontrollgruppen i størrelse.

Tabell 2 viser gjennomsnittsverdier, spredning og standardavvik for biologiske og kvalitetsmessige data for hoveduttakene om våren (V) og høsten (H). Tabell 3 viser tilsvarende data fordelt på kontrollgruppe (K) og restriktiv gruppe (R) om våren. Tilsvarende verdier for K og R gruppe om høsten er vist i tabell 4.

Tabell 2: Biologiske og kvalitetsmessige data fra vår- og høstuttak 2005

Verdier som er tatt med og beregnet er; fôringsregime med aktuell kvalitetsvariabel, antall prøver i grunnlaget, variabelenes gjennomsnitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik.

Regime, variabel	Antall	Gjennomsnitt	Minimum	Maksimum	Standardavvik
V, rund vekt (kg)	80	2,04	0,97	3,08	0,46
H, rund vekt (kg)	80	4,53	1,81	6,80	0,88
V, sløyd vekt (kg)	80	1,73	0,81	2,6	0,39
H, sløyd vekt (kg)	80	3,93	1,56	5,8	0,78
V, lende (cm)	80	56	48	64	4
H, lengde (cm)	80	73	55	84	5
V, kond. faktor (%)	80	0,95	0,73	1,19	0,09
H, kond. faktor (%)	80	1,02	0,81	1,15	0,07
V, slakteutbytte (%)	80	84,5	80,5	90,1	1,6
H, slakteutbytte (%)	80	86,8	79,6	90,1	1,6
V, fett (%)	80	9,7	4,0	15,9	2,9
H, fett (%)	80	16,0	12,6	18,4	1,2
V, vann (%)	80	69,5	64,0	74,9	2,50
H, vann (%)	80	64,0	61,2	67,2	1,2
V, protein (%)	80	19,9	18,9	21,0	0,5
H, protein (%)	80	19,5	18,6	20,1	0,3
V, pH	80	6,30	6,14	6,45	0,07
H, pH	80	6,28	6,17	6,48	0,06
V, hardhet-F (kg)	80	6,1	3,9	9,0	1,2
H, hardhet-F (kg)	80	11,0	6,4	17,3	2,0
V, arbeid-A (kgs)	80	41,4	22,3	61,7	9,1
H, arbeid-A (kgs)	80	96,0	45,8	136,8	18,0
V, L [*] (lyshet)	80	43,3	40,4	48,2	1,4
H, L [*] (lyshet)	80	43,9	40,5	48,2	1,6
V, a ⁺ (rødfarge)	80	5,7	3,6	8,3	1,1
H, a ⁺ (rødfarge)	80	7,0	4,2	9,4	1,0
V, b ⁺ (gulffarge)	80	15,5	12,5	19,3	1,5
H, b ⁺ (gulffarge)	80	18,3	13,5	23,0	2,0
V, fiber diameter (µm)	40	82	58	104	11
H, fiber diameter (µm)	40	124	106	151	13
V, fiber areal (µm)	40	6500	3400	9700	1500
H, fiber areal (µm)	40	13200	9500	19000	2600
V, fiber tetthet (mm ⁻²)	40	162	103	291	42
H, fiber tetthet (mm ⁻²)	40	78	53	105	14
V, fiber antall	40	702000	476000	1054000	117000
H, fiber antall	40	635000	394000	944000	130000

Tabell 3: Biologiske og kvalitetsmessige data fra hvert fôringsregime, våruttak 2005

Verdier som er tatt med og beregnet er; fôringsregime med aktuell kvalitetsvariabel, antall prøver i grunnlaget, variabelenes gjennomsnitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik.

Regime, variabel	Antall	Gjennomsnitt	Minimum	Maksimum	Standardavvik
K1, rund vekt (kg)	40	2,09	1,32	3,08	0,45
R1 , rund vekt (kg)	40	2,03	0,97	3,01	0,48
K1, sløyd vekt (kg)	40	1,77	1,13	2,60	0,38
R1 , sløyd vekt (kg)	40	1,69	0,81	2,54	0,40
K1, lengde (cm)	40	57	49	63	3
R1 , lende (cm)	40	56	48	64	4
K1, kond. faktor (%)	40	0,96	0,74	1,19	0,09
R1 , kond. faktor (%)	40	0,94	0,73	1,07	0,09
K1, slakteutbytte (%)	40	84,6	80,5	87,9	1,6
R1 , slakteutbytte (%)	40	84,3	81,1	90,1	1,5
K1, fett (%)	40	9,5	6,3	14,6	2,1
R1 , fett (%)	40	9,9	4,0	15,9	3,5
K1, vann (%)	40	69,7	65,2	72,6	1,8
R1 , vann (%)	40	69,4	64,0	74,9	3,0
K1, protein (%)	40	20,1	19,2	21,0	0,4
R1 , protein (%)	40	19,6	18,9	20,7	0,5
K1, pH	40	6,28	6,14	6,42	0,07
R1 , pH	40	6,32	6,22	6,45	0,06
K1, hardhet-F (kg)	40	6,0	4,1	9,0	1,2
R1 , hardhet-F (kg)	40	6,2	3,9	9,0	1,2
K1, arbeid-A (kgs)	40	42,1	22,3	61,1	9,2
R1 , arbeid-A (kgs)	40	40,8	23,2	61,7	8,9
K1, L ⁺ (lyshet)	40	43,3	40,6	47,0	1,2
R1 , L ⁺ (lyshet)	40	43,4	40,4	48,2	1,5
K1, a ⁺ (rødfarge)	40	6,1	4,4	8,3	1,1
R1 , a ⁺ (rødfarge)	40	5,3	3,6	7,2	1,0
K1, b ⁺ (gulffarge)	40	15,9	13,3	19,3	1,5
R1 , b ⁺ (gulffarge)	40	15,1	12,5	18,3	1,4
K1, fiber diameter (µm)	20	84	69	104	8
R1 , fiber diameter (µm)	20	81	58	104	13
K1, fiber areal (µm ²)	20	6700	4900	9700	1100
R1 , fiber areal (µm ²)	20	6200	3400	9100	1800
K1, fiber tetthet (mm ⁻²)	20	151	103	203	23
R1 , fiber tetthet (mm ⁻²)	20	173	110	291	54
K1, fiber antall	20	684000	566000	908000	87600
R1 , fiber antall	20	720000	476000	1054000	141000

Tabell 4: Biologiske og kvalitetsmessige data fra hvert fôringsregime, høstuttak 2005

Verdier som er tatt med og beregnet er; fôringsregime med aktuell kvalitetsvariabel, antall prøver i grunnlaget, variabelenes gjennomsnitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik.

Regime, variabel	Antall	Gjennomsnitt	Minimum	Maksimum	Standardavvik
K2, rund vekt (kg)	40	4,39	1,81	6,80	0,92
R2 , rund vekt (kg)	40	4,66	3,03	6,56	0,85
K2, sløyd vekt (kg)	40	3,80	1,56	5,80	0,78
R2 , sløyd vekt (kg)	40	4,06	2,66	5,72	0,76
K2, lengde (cm)	40	72	55	82	5
R2 , lende (cm)	40	74	63	84	5
K2, kond. faktor (%)	40	1,02	0,81	1,15	0,08
R2 , kond. faktor (%)	40	1,01	0,89	1,11	0,05
K1, slakteutbytte (%)	40	86,5	83,3	89,8	1,3
R1 , slakteutbytte (%)	40	87,2	79,6	90,1	1,8
K2, fett (%)	40	16,0	12,6	18,4	1,2
R2 , fett (%)	40	16,0	13,8	18,4	1,2
K2, vann (%)	40	64,0	61,2	67,2	1,2
R2 , vann (%)	40	63,9	61,6	66,0	1,1
K2, protein (%)	40	19,5	18,8	20,0	0,2
R2 , protein (%)	40	19,4	18,6	20,1	0,3
K2, pH	40	6,30	6,17	6,48	0,07
R2 , pH	40	6,26	6,18	6,37	0,04
K2, hardhet-F (kg)	40	10,3	6,6	13,1	1,7
R2 , hardhet-F (kg)	40	11,7	6,4	17,3	2,0
K2, arbeid-A (kgs)	40	90,9	45,8	136,8	17,8
R2 , arbeid-A (kgs)	40	101,2	62,0	130,6	16,8
K2, L ⁺ (lyshet)	40	43,8	41,7	46,3	1,2
R2 , L ⁺ (lyshet)	40	43,9	40,5	48,2	2,0
K2, a ⁺ (rødfarge)	40	6,6	4,2	8,9	1,0
R2 , a ⁺ (rødfarge)	40	7,4	5,8	9,4	0,7
K2, b ⁺ (guldfarge)	40	17,1	13,5	21,3	1,8
R2 , b ⁺ (guldfarge)	40	19,5	16,1	23,0	1,6
K2, fiber diameter (µm)	20	132	108	151	12
R2 , fiber diameter (µm)	20	116	106	130	7
K2, fiber areal (µm)	20	14800	10000	19000	2500
R2 , fiber areal (µm)	20	11600	9500	14600	1400
K2, fiber tetthet (mm ⁻²)	20	69	53	100	13
R2 , fiber tetthet (mm ⁻²)	20	87	68	105	10
K2, fiber antall	20	555000	394000	734000	90000
R2 , fiber antall	20	714000	485000	944000	116000

Tabell 5 viser resultatene fra ANCOVA der vår og høsttaket er testet mot hverandre, og korrigert for vektforskjell. Resultatene viser p-verdi, signifikans, teststyrke, LSN, og vekteffekt. Tabell 6 viser tilsvarende resultater i våruttaket der kontrollgruppe og restriktiv gruppe er testet mot hverandre. Tilsvarende resultater for høstuttaket vises i tabell 7.

Tabell 5: Resultater fra ANCOVA korrigert for vektforskjell, vår og høst 2005 (sesong)

Tabellen viser effekt av sesong; vår (V) og høstuttak (H) er testet mot hverandre for de ulike kvalitetsvariablene (mai/september, $\Delta > 3$ mnd). Verdier som er tatt med og beregnet er; forsøksuttak testet mot hverandre med aktuell variabel, antall prøver (fisk) som ligger til grunn for testen, p-verdi, grad av signifikans, teststyrke, Least Signifikant Number (LSN) og vekteffekt.

Uttak, variabel	Antall	P-verdi	Signifikans	Teststyrke	LSN	Vekteffekt
V/H, kond. faktor (%)	160	0,075	IS	0,43	194	<.001
V/H, slakteutbytte (%)	160	<.001	***	0,92	57	0,121
V/H, fett (%)	160	<.001	***	0,95	51	<.001
V/H, vann (%)	160	<.001	***	0,92	56	<.001
V/H, protein (%)	160	0,629	IS	0,08	2720	0,004
V/H, pH	160	0,012	*	0,72	97	<.001
V/H, hardhet-F (kg)	160	<.001	***	1,00	17	0,001
V/H, arbeid-A (kgs)	160	<.001	***	1,00	24	<.001
V/H, L* (lyshet)	160	0,510	IS	0,10	1410	0,668
V/H, a* (rødfarge)	160	0,768	IS	0,06	7068	<.001
V/H, b* (guldfarge)	160	0,085	IS	0,41	208	<.001
V/H, fiber diameter (μm)	80	<.001	***	1,00	15	<.001
V/H, fiber areal (μm^2)	80	<.001	***	0,99	21	<.001
V/H, fiber tetthet (mm^{-2})	80	0,002	**	0,89	33	<.001
V/H, fiber antall	80	<.001	***	0,97	23	0,003

IS, Ingen Signifikans, * signifikans 5 % nivå, ** signifikans på 1 % nivå, *** signifikans 0,1 % nivå

Tabell 6: Resultater fra ANCOVA korrigert for vektforskjell, vår 2005 (regime)

Tabellen viser effekt av fôringsregime på ulike kvalitetsvariabler; kontrollgruppe (K1) og restriktiv gruppe (R1) er testet mot hverandre i våruttaket. Verdier som er tatt med og beregnet er; fôringsregime testet mot hverandre med aktuell variabel, antall prøver (fisk) som ligger til grunn for testen, p-verdi, grad av signifikans, teststyrke, Least Signifikant Number (LSN) og vekteffekten. Hovedeffekten som kommer frem er fra fôringsregime.

Regime, variabel	Antall	P-verdi	Signifikans	Teststyrke	LSN	Vekteffekt
K1/R1, kond. faktor (%)	80	0,246	IS	0,21	228	<,001
K1/R1, slakteutbytte (%)	80	0,355	IS	0,15	358	0,183
K1/R1, fett (%)	80	0,097	IS	0,38	112	<,001
K1/R1, vann (%)	80	0,104	IS	0,37	116	<,001
K1/R1, protein (%)	80	<,001	***	1,00	18	0,006
K1/R1, pH	80	0,011	*	0,73	48	0,005
K1/R1, hardhet-F (kg)	80	0,345	IS	0,16	344	0,272
K1/R1, arbeid-A (kgs)	80	0,975	IS	0,05	311347	<,001
K1/R1, L* (lyshet)	80	0,964	IS	0,05	151634	0,428
K1/R1, a* (rødfarge)	80	0,002	**	0,90	32	0,077
K1/R1, b* (guldfarge)	80	0,030	*	0,59	66	0,197
K1/R1, fiber diameter (μm)	40	0,460	IS	0,11	279	<,001
K1/R1, fiber areal (μm^2)	40	0,355	IS	0,15	178	<,001
K1/R1, fiber tetthet (mm^{-2})	40	0,072	IS	0,44	48	<,001
K1/R1, fiber antall	40	0,293	IS	0,18	138	0,224

IS, Ingen Signifikans, * signifikans 5 % nivå, ** signifikans på 1 % nivå, *** signifikans 0,1 % nivå

Tabell 7: Resultater fra ANCOVA korrigert for vektforskjell, høst 2005 (regime)

Tabellen viser effekt av fôringsregime på ulike kvalitetsvariabler; kontrollgruppe (K2) og restriktiv gruppe (R2) er testet mot hverandre i høstuttaket. Verdier som er tatt med og beregnet er; fôringsregime testet mot hverandre med aktuell variabel, antall prøver (fisk) som ligger til grunn for testen, p-verdi, grad av signifikans, teststyrke, Least Signifikant Number (LSN) og vekteffekten.

Regime, variabel	Antall	P-verdi	Signifikans	Teststyrke	LSN	Vekteffekt
K2/R2, kond. faktor (%)	80	0,163	IS	0,29	158	0,006
K2/R2, slakteutbytte (%)	80	0,095	IS	0,39	110	0,470
K2/R2, fett (%)	80	0,148	IS	0,30	149	<,001
K2/R2, vann (%)	80	0,501	IS	1,10	676	<,001
K2/R2, protein (%)	80	0,128	IS	0,33	133	0,010
K2/R2, pH	80	0,016	*	0,68	54	0,009
K2/R2, hardhet-F (kg)	80	0,002	**	0,88	34	0,023
K2/R2, arbeid-A (kgs)	80	0,031	*	0,58	67	<,001
K2/R2, L* (lyshet)	80	0,797	IS	0,06	4615	0,467
K2/R2, a* (rødfarge)	80	<,001	***	0,97	24	<,001
K2/R2, b* (guldfarge)	80	<,001	***	1,00	12	0,008
K2/R2, fiber diameter (μm)	40	<,001	***	1,00	8	<,001
K2/R2, fiber areal (μm^2)	40	<,001	***	1,00	8	<,001
K2/R2, fiber tetthet (mm^{-2})	40	<,001	***	1,00	8	<,001
K2/R2, fiber antall	40	<,001	***	1,00	10	0,005

IS, Ingen Signifikans, * signifikans 5 % nivå, ** signifikans på 1 % nivå, *** signifikans 0,1 % nivå

Kjemisk sammensetning

Fett

Fettinnholdet i laksen økte fra 9,7 % i vårutttaket til 16,0 % i høstuttaket, og denne økningen var signifikant ($p < 0,001$). Det ble registrert en effekt fra både sesong og vekt (Tabell 2 og 5).

Fettinnholdet mellom de to fôringsregimene i vårutttaket ($p = 0,097$) og i høstuttaket ($p = 0,148$) var ikke signifikant forskjellig (Tabell 3-4 og 6-7).

Vann

Laksens vanninnhold sank fra 69,5 % i vårutttaket til 64,0 % i høstuttaket, og denne nedgangen var signifikant ($p < 0,001$). Det ble registrert en effekt fra både sesong og vekt (Tabell 2 og 5).

Vanninnholdet mellom de to fôringsregimene i vårutttaket ($p = 0,104$) og høstuttaket ($p = 0,501$) var ikke signifikant forskjellig (Tabell 3-4 og 6-7).

Protein

Laksens proteininnhold sank fra 19,9 % i vårutttaket til 19,5 % i høstuttaket, men nedgangen var ikke signifikant ($p > 0,05$). Det ble registrert en effekt fra vekt (Tabell 2 og 5).

I vårutttaket var proteininnholdet i kontrollgruppen signifikant høyere enn i den restriktive gruppen ($p < 0,001$), med henholdsvis 20,1 % og 19,6 %. Det ble registrert en effekt fra både fôringsregime og vekt (Tabell 3 og 6).

I høstuttaket var det ingen signifikant forskjell mellom gruppene ($p = 0,128$). Her ble det registrert en effekt fra vekt (Tabell 4 og 7).

pH

pH-verdien sank fra 6,30 i vårutttaket til 6,28 i høstuttaket, og nedgangen var signifikant ($p < 0,012$). Det ble registrert en effekt fra både sesong og vekt (Tabell 2 og 5).

I vårutttaket var pH-verdien 6,28 i kontrollgruppen og 6,32 i den restriktive gruppen, og forskjellen var signifikant ($p = 0,011$). Her ble det registrert en effekt fra både fôringsregime og vekt (Tabell 3 og 6).

I høstuttaket var pH-verdien 6,30 i kontrollgruppen og 6,28 i den restriktive gruppen, og forskjellen var signifikant ($p = 0,016$). Her ble det registrert en effekt fra både fôringsregime og vekt (Tabell 4 og 7).

Kondisjonsfaktor

Laksens kondisjonsfaktor var 0,95 i våruttaket og 1,02 i høstuttaket, men økningen var ikke signifikant ($p = 0,075$). Det ble registrert en effekt fra vekt (Tabell 2 og 5).

Kondisjonsfaktoren mellom de to fôringsregimene i våruttaket og i høstuttaket var ikke signifikant forskjellig ($p > 0,05$) (Tabell 3-4 og 6-7).

Slakteutbytte

Slakteutbyttet økte fra 84,5 % i våruttaket til 86,8 % i høstuttaket, og økningen var signifikant ($p < 0,001$). Det ble registrert en effekt fra sesong. (Tabell 2 og 5).

Slakteutbyttet mellom de to fôringsregimene i våruttaket og i høstuttaket var ikke signifikant forskjellig ($p > 0,05$) (Tabell 3-4 og 6-7).

Gjennomsnittlig slakteutbytte fra høstuttaket viste tendens til høyere slakteutbytte i den restriktive gruppen (87,2 %) enn i kontrollgruppen (86,5 %), en forskjell på 0,7 %.

Tekstur

Hardhet (målt som skjærkraft) i laksens filet økte fra 6,1 kg i våruttaket til 11,0 kg i høstuttaket, mens hardhet (målt som arbeid) økte fra 41,4 kgs til 96,0 kgs, der begge økningene var signifikant ($p < 0,001$). Det ble registrert en effekt fra både sesong og vekt (Tabell 2 og 5).

Det var ingen signifikant forskjell i hardhet (målt som skjærkraft og arbeid) mellom de to fôringsregimene i våruttaket ($p > 0,05$) (Tabell 3 og 6).

I høstuttaket hadde derimot den restriktive gruppen en signifikant hardere tekstur (skjærkraft) enn kontrollgruppen ($p = 0,002$), med henholdsvis 11,7 kg og 10,3 kg. Her ble det registrert en effekt fra fôringsregime (Tabell 4 og 7). Hardhet i tekstur målt som arbeid, viste signifikant høyere verdi i den restriktive gruppen (101,2 kgs) enn i kontrollgruppen (90,9 kgs) ($p = 0,031$). Her ble det registrert en effekt fra både fôringsregime og vekt (Tabell 4 og 7).

Farge

Lyshet (L^)*

Laksefiletens lyshet var 43,3 i vårutttaket og 43,9 i høstuttaket, og denne økningen var ikke signifikant ($p > 0,05$) (Tabell 2 og 5).

I vår og høstuttaket var det ingen signifikant forskjell i lyshet mellom fôringsregimene ($p > 0,05$) (Tabell 3-4 og 6-7).

Rødfarge (a^)*

Laksefiletens rødfarge var 5,7 i vårutttaket og 7,0 i høstuttaket, men denne økningen var ikke signifikant ($p > 0,05$). Her ble det registrert en effekt fra vekt (Tabell 2 og 5).

I vårutttaket hadde kontrollgruppen en signifikant kraftigere rødfarge enn den restriktive gruppen ($p = 0,002$), med henholdsvis 6,1 og 5,3 i a^* -verdi. Her ble det registrert en effekt fra fôringsregime (Tabell 3 og 6).

I høstuttaket hadde den restriktive gruppen en signifikant kraftigere rødfarge enn kontrollgruppen ($p < 0,001$), med henholdsvis 7,4 og 6,6 i a^* -verdi. Her ble det registrert en effekt fra både fôringsregime og vekt (Tabell 4 og 7).

Tabell 2-4 viser at fisk fra høstuttaket har en høyere målt gjennomsnittsverdi for rødfargen enn fisk fra vårutttaket. Spesielt forhøyet verdi finnes i den restriktive gruppen der rødfargen var 5,3 om våren og 7,4 om høsten. Kontrollgruppen hadde til sammenligning en rødfarge på 6,1 om våren og 6,6 om høsten.

Gulfarge (b^)*

Laksefiletens gulfarge var 15,5 i vårutttaket og 18,3 i høstuttaket, men denne økningen var ikke signifikant ($p = 0,085$). Det ble registrert en effekt fra vekt (Tabell 2 og 5).

I vårutttaket hadde kontrollgruppen en signifikant kraftigere gulfarge enn den restriktive gruppen ($p = 0,03$), med henholdsvis 15,9 og 15,1 i b^* -verdi. Det ble registrert en effekt fra fôringsregime (Tabell 3 og 6).

I høstuttaket hadde den restriktive gruppen en signifikant kraftigere gulfarge enn kontrollgruppen ($p < 0,001$), med henholdsvis 19,5 og 17,1 i b^* -verdi (Tabell 4 og 7). Her ble der registrert en effekt fra både fôringsregime og vekt.

Tabell 2-4 viser at fisk fra høstuttaket har en høyere målt gjennomsnittsverdi for gulfargen enn fisk fra vårutttaket. Spesielt forhøyet verdi finnes i den restriktive gruppen der gulfargen var 15,1 om våren og 19,5 om høsten. Kontrollgruppen hadde til sammenligning en gulfarge på 15,9 om våren og 17,1 om høsten.

Resultatene som gjelder gulfargen er lik resultatene for rødfargen, dette fordi a^* variabelen og b^* variabelen har en signifikant sterk positiv korrelasjon.

Muskelfiberstruktur

Muskelfiberdiameter

Laksens fiberdiameter økte fra 82 μm i vårutttaket til 124 μm i høstuttaket, og denne økningen var signifikant ($p < 0,001$). Det ble registrert en effekt fra både sesong og vekt (Tabell 2 og 5).

I vårutttaket var det ingen signifikant forskjell i fiberdiameter mellom de to fôringsregimene ($p > 0,05$). Det ble registrert en effekt fra vekt (Tabell 3 og 6).

I høstuttaket derimot hadde den restriktive gruppen en signifikant mindre fiberdiameter enn kontrollgruppen ($p < 0,001$), med henholdsvis 116 μm og 132 μm . Her ble det registrert en effekt fra både fôringsregime og vekt (Tabell 4 og 7).

Muskelfiberareal

Laksens fiberareal økte fra 6500 μm^2 i vårutttaket til 13200 μm^2 i høstuttaket, og denne økningen var signifikant ($p < 0,001$). Det ble registrert en effekt fra både sesong og vekt (Tabell 2 og 5).

I vårutttaket var det ingen signifikant forskjell i fiberareal mellom de to fôringsregimene ($p > 0,05$). Det ble registrert en effekt fra vekt (Tabell 3 og 6).

I høstuttaket derimot hadde den restriktive gruppen et signifikant mindre fiberareal enn kontrollgruppen ($p < 0,001$), med henholdsvis 11600 μm^2 og 14800 μm^2 . Her ble det registrert en effekt fra både fôringsregime og vekt (Tabell 4 og 7).

Resultatene som gjelder muskelfiberdiameter er lik resultatene for muskelfiberareal, dette fordi variablene fiberdiameter og -areal har en signifikant sterk positiv korrelasjon.

Muskelfibertetthet

Laksens fibertetthet ble redusert fra 162 fiber mm⁻² i vårutttaket til 78 fiber mm⁻² i høstuttaket, og denne reduksjonen var signifikant ($p < 0,001$). Det ble registrert en effekt fra både sesong og vekt (Tabell 2 og 5).

I vårutttaket var det ingen signifikant forskjell i fibertetthet mellom de to fôringsregimene ($p = 0,072$). Her ble det registrert en effekt fra vekt (Tabell 3 og 6).

I høstuttaket hadde den restriktive gruppen en signifikant høyere fibertetthet enn kontrollgruppen ($p < 0,001$), med henholdsvis 87 fiber mm⁻² og 69 fiber mm⁻². Her ble det registrert en effekt fra både fôringsregime og vekt (Tabell 4 og 7).

Muskelfiberantall

I vårutttaket var det ingen signifikant forskjell i fiberantall mellom de to fôringsregimene ($p > 0,05$) (Tabell 3 og 6).

I høstuttaket hadde den restriktive gruppen et signifikant høyere fiberantall enn kontrollgruppen ($p < 0,001$), med henholdsvis 714×10^3 og 555×10^3 fiber. Her ble det registrert en effekt fra både fôringsregime og vekt (Tabell 4 og 7).

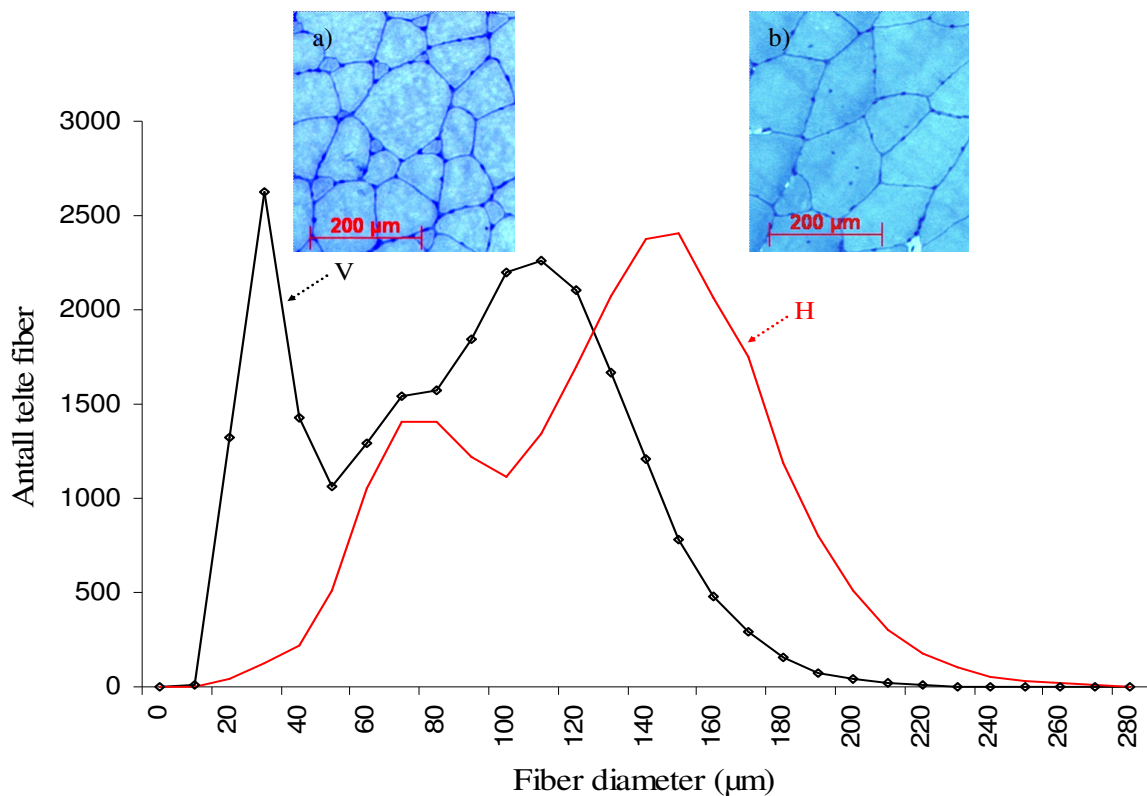
Muskelfiberfordeling

Figur 9 viser hvordan laksens muskelfiber fordeler seg størrelsesmessig mellom vår- og høstuttaket (snittvekt 2 kg og 4,5 kg), samtidig som den gir et bilde av hvordan fiberdistribusjonen er etter en saktevoksende vinterperiode og etter en hurtigvoksende sommerperiode, samt ved to ulike snittvekter. Grunnlaget for fiberdistribusjonen i hvert av hoveduttakene er 40 fisk, 20 fisk fra kontrollgruppen og 20 fisk fra den restriktive gruppen, der 1 200 fiber er analysert i hver fisk. Gjennomsnittlig fiberdistribusjon i hoveduttakene er beregnet som følger: $((24\ 000 \text{ fiber (20 fisk)} + 24\ 000 \text{ fiber (20 fisk)})/2)$. Det er ikke skilt mellom kontrollgruppe og restriktiv gruppe.

Figur 10 viser hvordan laksens muskelfiber fordeler seg størrelsesmessig innad i våruttaket mellom kontrollgruppen og den restriktive gruppen, mens Figur 11 viser hvordan laksens muskelfibrer fordeler seg størrelsesmessig innad i høstuttaket mellom kontrollgruppen og den restriktive gruppen. Figur 10 og 11 gir et bilde av hvordan restriktiv fôring virker inn på laksens muskelfiberdistribusjon ved to ulike tidspunkt i produksjonen, ved ulik størrelse og veksthastighet. Grunnlaget for den grafiske fremstillingen av fiberdistribusjonen i hvert fôringsregime er 20 fisk, med totalt 24 000 analyserte fiber.

Laksen fra vårutttaket (sort kurve) har et høyt innslag av muskelfiber med diameter under 40 μm (22,5 %) (Fig. 9). Det er også en del fiber med diameter under 20 μm (5,6 %) som betyr at fisken relativt nylig har rekruttert fiber. Andelen fiber mindre enn 10 μm er lav (0,1 %) og tyder på at fiberrekrutteringen har stoppet opp på uttakstidspunktet i vårutttaket.

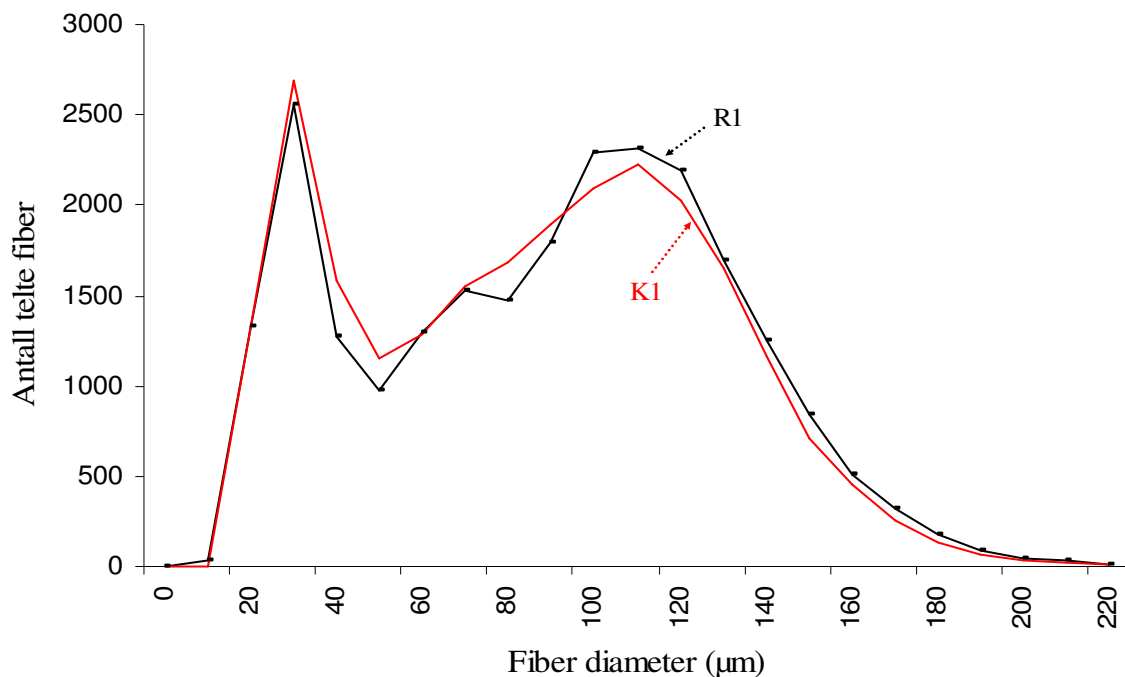
Gjennomsnittlig fiberdiameter i vårutttaket var 82 μm , men det ble observert en topp i fiberdistribusjonen rundt 110 μm . Fiberdistribusjonen i høstuttaket (rød kurve), har et lavt innslag av muskelfiber med diameter under 40 μm (2,3 %) og 20 μm (0,2 %), og helt fravær av fiber mindre enn 10 μm . Fravær av fiber under 10 μm betyr at fiberrekrutteringen har stoppet opp på uttakstidspunktet i høstuttaket. Gjennomsnittlig fiberdiameter i høstuttaket var 124 μm , men det ble observert en topp i fiberdistribusjonen rundt 145 μm . 3 prosentilet fra våruttak hadde en gjennomsnittlig fiberdiameter på 16 μm , sammenlignet med høstuttaket som hadde 41 μm . 97 prosentilet fra våruttak hadde en gjennomsnittlig fiberdiameter på 166 μm , sammenlignet med høstuttaket som hadde 208 μm . Dette gir en signifikant forskjell i fiberstørrelsen i 3 og 97 prosentilen mellom vår- og høstuttaket ($p < 0,001$).



Figur 9: Muskelfiberdistribusjon i laks fra vår- og høstuttak

Fig. a) viser gjennomsnittlig muskelfiberdistribusjon i vårutttaket (V, sort kurve) med høy andel små fiber. Fig. b) viser gjennomsnittlig muskelfiberdistribusjon i høstuttaket (H, rød kurve) med høy andel store fiber.

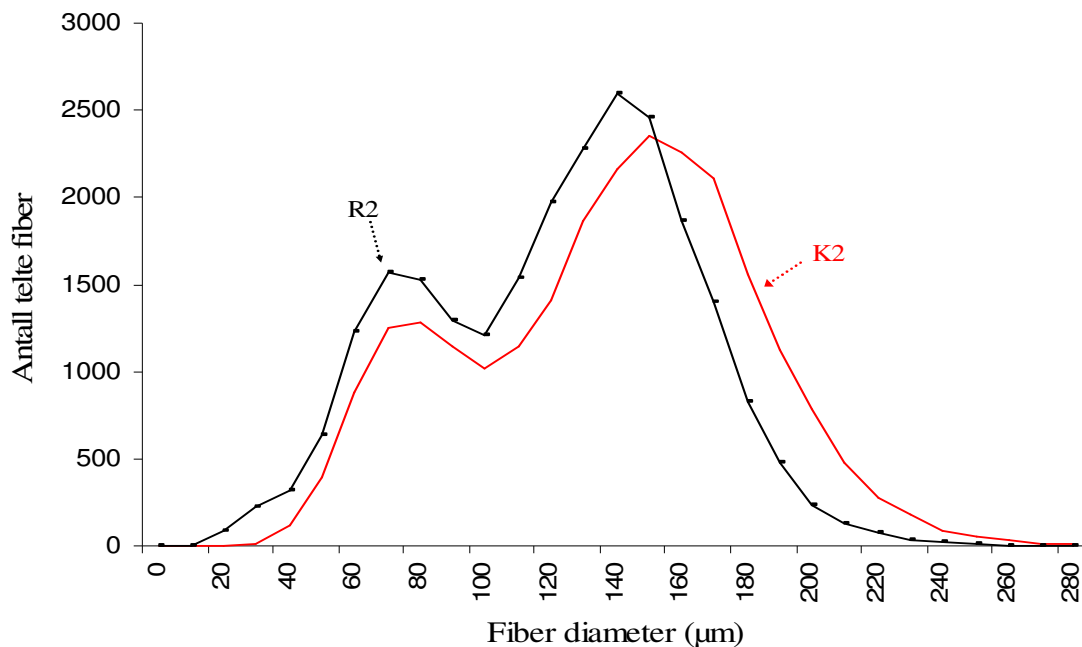
I våruttaket er det svært liten forskjell i fiberdistribusjonen mellom de to gruppene (Fig. 10). Begge gruppene har et høyt innslag muskelfiber med diameter mindre enn 40 μm . Det er også en del fiber med diameter under 20 μm , som indikerer at det har foregått en relativt nylig rekruttering av fiber. Fiberrekrutteringen har stoppet opp i begge gruppene da det er relativt få fiber under 10 μm . For begge gruppene er det et toppunkt i fiberantallet ved en diameter på 30 μm , og i dette området er det tilnærmet likt antall fiber mellom begge gruppene. Det sekundære toppunktet i fiberantall er for begge gruppene ved en diameter på 110 μm , og fiberantallet her var nokså likt mellom gruppene. Fra våruttaket var gjennomsnittlig fiberdiameter i kontrollgruppen 84 μm , og i den restriktive gruppen 81 μm . 3 prosentilet fra kontrollgruppen hadde en gjennomsnittlig fiberdiameter på 15 μm , sammenlignet med den restriktive gruppen som hadde 17 μm . 97 prosentilet fra kontrollgruppen hadde en gjennomsnittlig fiberdiameter på 170 μm , sammenlignet med den restriktive gruppen som hadde 163 μm . Det var ingen signifikant forskjell i fiberstørrelsen i 3 og 97 prosentilene mellom de to gruppene ($p > 0,05$).



Figur 10: Muskelfiberdistribusjon i laks fra begge gruppene i våruttaket

Figuren viser gjennomsnittlig muskelfiberdistribusjon i kontrollgruppe (K1, rød kurve) og restriktiv gruppe (R1, sort kurve) fra våruttaket.

I høstuttaket er det en tydelig forskjell i fiberdistribusjonen mellom de to gruppene (Fig. 11). Laksens fiberfordeling i kontrollgruppen (rød kurve) har et lavt innslag av muskelfibrer med diameter under 40 μm (0,6 %), og ingen fibrer under 20 μm . Gjennomsnittlig fiberdiameter i kontrollgruppen var 132 μm , samtidig som det ble observert en topp i fiberdistribusjonen rundt 150 μm . Laksens fiberdistribusjon i den restriktive gruppen (sort kurve) har et større innslag av muskelfibrer med diameter under 40 μm (2,6 %). Det også innslag av muskelfibrer under 20 μm (1,3 %), men ingen under 10 μm . Fiberrekrutteringen har stoppet opp i begge gruppene, men på et senere tidspunkt for den restriktive gruppen. Gjennomsnittlig fiber diameter i den restriktive gruppen var 116 μm , samtidig som det ble observert en topp i fiberdistribusjonen rundt 140 μm . Den restriktive gruppen hadde et større fiberantall i hele området opp til en diameter på 150 μm , mens over denne størrelsen var det flest fibrer i kontrollgruppen. 3 prosentilet fra kontrollgruppen hadde en gjennomsnittlig fiberdiameter på 48 μm , sammenlignet med den restriktive gruppen som hadde 34 μm . 97 prosentilet fra kontrollgruppen hadde en gjennomsnittlig fiberdiameter på 220 μm , sammenlignet med den restriktive gruppen som hadde 196 μm . Dette gir en signifikant forskjell i fiberstørrelsen i både 3 og 97 prosentilene mellom kontrollgruppen og den restriktive gruppen ($p < 0,001$).



Figur 11: Muskelfiberdistribusjon i laks fra begge gruppene i høstuttaket

Figuren viser gjennomsnittlig muskelfiberdistribusjon i kontrollgruppe (K2, rød kurve) og restriktiv gruppe (R2, sort kurve) fra høstuttaket.

Korrelasjonsanalyse

Resultater fra korrelasjonsanalysen er delt inn etter hele forsøket samlet (Tabell 8), etter våruttaket (Tabell 9), og etter høstuttaket (Tabell 10). Det er korrigert for vekt i analysen, men unntaket er for variablene rund vekt, lengde og sløyd vekt. I våruttaket var det en overvekt av variabler som hadde signifikant sammenheng med fiskens størrelse (rund vekt, lengde og sløyd vekt). I begge uttakene samlet og i høstuttaket, hadde de aller fleste variablene en signifikant sammenheng med fiskens størrelse.

Korrelasjon samlet

Viktige resultater som kan trekkes frem fra korrelasjonsanalysen mellom variablene i hele forsøket samlet er en signifikant korrelasjon mellom fett/vann og fiber-areal/-diameter/-antall/-tetthet. Det var en signifikant positiv korrelasjon mellom muskelfiberdiameter og fiberareal ($r = 0,97$), fiberdiameter og sløyd vekt ($r = 0,86$), fiberdiameter og lengde ($r = 0,88$), fett og sløyd vekt ($r = 0,86$), fibertetthet og fiberantall ($r = 0,73$), rødfarge (a^*) og sløyd vekt ($r = 0,60$), hardhet og sløyd vekt ($r = 0,80$), fett og slakteutbytte ($r = 0,16$). En signifikant negativ korrelasjon ble observert mellom fett og vann ($r = -0,98$), fiberdiameter og fiberantall ($r = -0,90$), fiberdiameter og fibertetthet ($r = -0,82$), vann og sløyd vekt ($r = -0,87$), protein og fett ($r = -0,55$), hardhet (F) og kondisjonsfaktor ($r = -0,34$), fett og pH ($r = -0,28$), sløyd vekt og pH ($r = -0,27$), og rødfarge og pH ($r = -0,20$). Det var ingen signifikant korrelasjon mellom fiber-diameter/-tetthet og hardhet/rødfarge.

Korrelasjon våruttak

I våruttaket var det også en signifikant korrelasjon mellom fett/vann og fiber areal/antall/tetthet. Det var en signifikant positiv korrelasjon mellom muskelfiberdiameter og fiberareal ($r = 0,98$), fibertetthet og fiberantall ($r = 0,88$), fett og sløyd vekt ($r = 0,68$), fiberdiameter og sløyd vekt ($r = 0,70$), fiber diameter og lengde ($r = 0,64$), rødfarge og sløyd vekt ($r = 0,22$). En signifikant negativ korrelasjon ble observert mellom fett og vann ($r = -0,99$), fiberdiameter og fiberantall ($r = -0,95$), fiberdiameter og fibertetthet ($r = -0,91$), vann og sløyd vekt ($r = -0,72$), protein og fett ($r = -0,65$), fett og pH ($r = -0,44$), hardhet og kondisjonsfaktor ($r = -0,32$), og sløyd vekt og pH ($r = -0,32$).

Det er ingen signifikant korrelasjon mellom fiber-diameter/-tetthet og hardhet/rødfarge, hardhet og sløyd vekt ($r = 0,11$), fett og slakteutbytte ($r = 0,02$) i våruttaket, men det er tendenser til en svak negativ sammenheng mellom fiberdiameter og hardhet ($r = -0,14$),

fiberdiameter og rødfarge ($p = -0,13$), samtidig som det er tendenser til en svak positiv sammenheng mellom fibertetthet og hardhet ($r = 0,23$).

Korrelasjon høstuttak

I høstuttaket var det en signifikant positiv korrelasjon mellom muskelfiberdiameter og fiberareal ($r = 1,00$), fibertetthet og fiberantall ($r = 0,93$), fett og sløyd vekt ($r = 0,69$), fiberdiameter og sløyd vekt ($r = 0,35$), fiberdiameter og lengde ($r = 0,33$), rødfarge og sløyd vekt ($r = 0,42$), hardhet og sløyd vekt ($r = 0,30$). En signifikant negativ korrelasjon ble observert mellom fiberdiameter og fibertetthet ($r = -0,98$), fiberdiameter og fiberantall ($r = -0,93$), fett og vann ($r = -0,88$), vann og sløyd vekt ($r = -0,65$), protein og fett ($r = -0,33$), sløyd vekt og pH ($r = -0,33$), og hardhet og kondisjonsfaktor ($r = -0,32$).

Det var ingen signifikant korrelasjon mellom fett/vann og fiberareal/-diameter/-antall/-tetthet, mellom fiberdiameter/-tetthet og hardhet/rødfarge, fett og pH ($r = -0,10$), fett og slakteutbytte ($r = 0,10$). En interessant oppdagelse er den signifikante positive korrelasjonen mellom slakteutbytte og fiberantall ($r = 0,32$).

I høstuttaket er tendensen den samme som i vårutttaket, med en svak negativ sammenheng mellom fiberdiameter og hardhet ($r = -0,16$), og fiberdiameter og rødfarge ($p = -0,21$), mens det er en svak positiv sammenheng mellom fibertetthet og hardhet ($r = 0,17$), og fibertetthet og rødfarge ($r = 0,21$). Denne tendensen er ikke funnet når hele forsøket ble studert samlet.

Tabell 8: Korrelasjon mellom variablene i hele forsøket samlet, korrigert for vekt

Rund vekt, lengde og sløyd vekt er ikke korrigert for forskjellen i sluttvekt, og er derfor skilt ut til høyre i tabellen.

	Fiber areal	Fiber diameter	Fiber antall	Fiber tetthet	Kond. faktor	Slakte utbytte	pH	L	a*	b*	Fett	Protein	Vann	F	A	Rund vekt	Lengde	Sløyd vekt
Fiber areal	1,00	0,97	-0,89	-0,71	0,05	0,02	0,09	-0,02	-0,10	-0,18	0,36	0,11	-0,33	0,09	0,23	0,85	0,86	0,85
Fiber diameter	0,97	1,00	-0,90	-0,82	0,09	0,06	0,04	-0,04	-0,09	-0,14	0,44	0,08	-0,42	0,14	0,29	0,86	0,88	0,86
Fiber antall	-0,89	-0,90	1,00	0,73	0,09	0,06	-0,01	0,00	0,11	0,15	-0,32	-0,08	0,30	-0,14	-0,24	-0,08	-0,11	-0,07
Fiber tetthet	-0,71	-0,82	0,73	1,00	-0,25	-0,08	0,17	0,00	-0,10	-0,07	-0,55	-0,04	0,56	-0,05	-0,18	-0,81	-0,84	-0,81
Kond. faktor	0,05	0,09	0,09	-0,25	1,00	0,14	-0,21	-0,04	0,07	0,04	0,27	0,06	-0,27	-0,34	-0,15	0,51	0,41	0,51
Slakteutbytte	0,02	0,06	0,06	-0,08	0,14	1,00	-0,07	-0,11	0,00	0,06	0,16	0,01	-0,15	0,11	0,21	0,55	0,57	0,58
pH	0,09	0,04	-0,01	0,17	-0,21	-0,07	1,00	-0,12	-0,20	-0,18	-0,28	0,23	0,25	0,24	0,19	-0,26	-0,25	-0,27
L*	-0,02	-0,04	0,00	0,00	-0,04	-0,11	-0,12	1,00	-0,01	0,24	0,04	-0,34	-0,04	-0,07	-0,19	0,17	0,15	0,16
a*	-0,10	-0,09	0,11	-0,10	0,07	0,00	-0,20	-0,01	1,00	0,88	-0,03	0,00	0,01	0,05	0,05	0,60	0,59	0,60
b*	-0,18	-0,14	0,15	-0,07	0,04	0,06	-0,18	0,24	0,88	1,00	0,02	-0,12	-0,06	0,15	0,12	0,65	0,64	0,65
Fett	0,36	0,44	-0,32	-0,55	0,27	0,16	-0,28	0,04	-0,03	0,02	1,00	-0,55	-0,98	0,00	0,10	0,86	0,86	0,86
Protein	0,11	0,08	-0,08	-0,04	0,06	0,01	0,23	-0,34	0,00	-0,12	-0,55	1,00	0,53	0,00	0,05	-0,48	-0,49	-0,48
Vann	-0,33	-0,42	0,30	0,56	-0,27	-0,15	0,25	-0,04	0,01	-0,06	-0,98	0,53	1,00	0,02	-0,09	-0,87	-0,87	-0,87
F	0,09	0,14	-0,14	-0,05	-0,34	0,11	0,24	-0,07	0,05	0,15	0,00	0,00	0,02	1,00	0,81	0,79	0,82	0,80
A	0,23	0,29	-0,24	-0,18	-0,15	0,21	0,19	-0,19	0,05	0,12	0,10	0,05	-0,09	0,81	1,00	0,94	0,94	0,94

Verdiene i tabellen henviser til korrelasjonskoeffisienten (r). Røde tall markerer en signifikant korrelasjon på 5 % nivå

Tabell 9: Korrelasjon mellom variablene i våruttaket, korrigert for vekt

Rund vekt, lengde og sløyd vekt er ikke korrigert for forskjellen i sluttvekt, og er derfor skilt ut til høyre i tabellen.

	Fiber areal	Fiber diameter	Fiber antall	Fiber tetthet	Kond. faktor	Slakte utbytte	pH	L	a*	b*	Fett	Protein	Vann	F	A	Rund vekt	Lengde	Sløyd vekt
Fiber areal	1,00	0,98	-0,95	-0,91	0,22	-0,08	-0,18	0,02	-0,06	-0,06	0,34	0,14	-0,38	-0,23	-0,03	0,70	0,63	0,70
Fiber diameter	0,98	1,00	-0,95	-0,91	0,20	-0,10	-0,18	-0,01	-0,13	-0,14	0,32	0,13	-0,35	-0,14	0,08	0,70	0,64	0,70
Fiber antall	-0,95	-0,95	1,00	0,88	-0,08	0,18	0,24	-0,11	0,06	0,02	-0,35	-0,06	0,36	0,10	-0,04	0,17	0,19	0,18
Fiber tetthet	-0,91	-0,91	0,88	1,00	-0,27	0,06	0,30	-0,02	-0,08	-0,07	-0,33	-0,18	0,37	0,23	0,05	-0,71	-0,65	-0,70
Kond. faktor	0,22	0,20	-0,08	-0,27	1,00	0,22	-0,13	-0,09	0,05	0,00	0,09	0,18	-0,10	-0,32	-0,12	0,63	0,34	0,64
Slakteutbytte	-0,08	-0,10	0,18	0,06	0,22	1,00	-0,04	-0,01	-0,02	-0,02	0,02	0,07	-0,03	-0,09	0,02	0,09	0,10	0,16
pH	-0,18	-0,18	0,24	0,30	-0,13	-0,04	1,00	-0,25	-0,23	-0,28	-0,44	0,32	0,43	0,17	0,09	-0,32	-0,26	-0,32
L*	0,02	-0,01	-0,11	-0,02	-0,09	-0,01	-0,25	1,00	-0,16	0,09	0,08	-0,40	-0,08	-0,10	-0,17	-0,09	-0,07	-0,09
a*	-0,06	-0,13	0,06	-0,08	0,05	-0,02	-0,23	-0,16	1,00	0,92	-0,13	0,12	0,12	-0,21	-0,16	0,22	0,21	0,22
b*	-0,06	-0,14	0,02	-0,07	0,00	-0,02	-0,28	0,09	0,92	1,00	-0,03	-0,04	0,03	-0,27	-0,23	0,17	0,17	0,17
Fett	0,34	0,32	-0,35	-0,33	0,09	0,02	-0,44	0,08	-0,13	-0,03	1,00	-0,65	-0,99	-0,12	0,01	0,68	0,61	0,68
Protein	0,14	0,13	-0,06	-0,18	0,18	0,07	0,32	-0,40	0,12	-0,04	-0,65	1,00	0,61	-0,04	0,04	-0,24	-0,26	-0,23
Vann	-0,38	-0,35	0,36	0,37	-0,10	-0,03	0,43	-0,08	0,12	0,03	-0,99	0,61	1,00	0,14	0,00	-0,72	-0,65	-0,72
F	-0,23	-0,14	0,10	0,23	-0,32	-0,09	0,17	-0,10	-0,21	-0,27	-0,12	-0,04	0,14	1,00	0,83	0,12	0,24	0,11
A	-0,03	0,08	-0,04	0,05	-0,12	0,02	0,09	-0,17	-0,16	-0,23	0,01	0,04	0,00	0,83	1,00	0,73	0,73	0,74

Verdiene i tabellen henviser til korrelasjonskoeffisienten (r). Røde tall markerer en signifikant korrelasjon på 5 % nivå

Tabell 10: Korrelasjon mellom variablene i høstuttaket, korrigert for vekt

Rund vekt, lengde og sløyd vekt er ikke korrigert for forskjellen i sluttvekt, og er derfor skilt ut til høyre i tabellen.

	Fiber areal	Fiber diameter	Fiber antall	Fiber tetthet	Kond. faktor	Slakte utbytte	pH	L	a*	b*	Fett	Protein	Vann	F	A	Rund vekt	Lengde	Sløyd vekt
Fiber areal	1,00	1,00	-0,93	-0,98	-0,01	-0,24	0,29	0,00	-0,21	-0,38	0,21	0,28	-0,08	-0,14	0,01	0,39	0,35	0,37
Fiber diameter	1,00	1,00	-0,93	-0,98	0,00	-0,26	0,27	-0,01	-0,21	-0,39	0,21	0,29	-0,08	-0,16	0,00	0,37	0,33	0,35
Fiber antall	-0,93	-0,93	1,00	0,93	0,18	0,32	-0,31	0,02	0,20	0,37	-0,05	-0,17	-0,04	0,08	-0,02	0,39	0,35	0,41
Fiber tetthet	-0,98	-0,98	0,93	1,00	-0,02	0,22	-0,21	-0,01	0,21	0,38	-0,19	-0,30	0,08	0,17	0,01	-0,38	-0,34	-0,36
Kond. faktor	-0,01	0,00	0,18	-0,02	1,00	0,14	-0,19	0,08	0,12	0,15	0,36	0,01	-0,23	-0,32	-0,11	0,27	-0,01	0,28
Slakteutbytte	-0,24	-0,26	0,32	0,22	0,14	1,00	-0,22	-0,22	0,01	0,07	0,20	-0,03	-0,12	0,05	0,18	0,02	0,06	0,11
pH	0,29	0,27	-0,31	-0,21	-0,19	-0,22	1,00	-0,05	-0,17	-0,18	-0,10	0,05	0,04	0,18	0,16	-0,31	-0,29	-0,33
L*	0,00	-0,01	0,02	-0,01	0,08	-0,22	-0,05	1,00	0,15	0,33	0,13	-0,34	-0,13	-0,12	-0,26	0,11	0,06	0,09
a*	-0,21	-0,21	0,20	0,21	0,12	0,01	-0,17	0,15	1,00	0,91	0,11	-0,24	-0,17	0,24	0,17	0,42	0,39	0,42
b*	-0,38	-0,39	0,37	0,38	0,15	0,07	-0,18	0,33	0,91	1,00	0,08	-0,26	-0,17	0,26	0,20	0,33	0,30	0,34
Fett	0,21	0,21	-0,05	-0,19	0,36	0,20	-0,10	0,13	0,11	0,08	1,00	-0,33	-0,88	-0,26	-0,04	0,67	0,59	0,69
Protein	0,28	0,29	-0,17	-0,30	0,01	-0,03	0,05	-0,34	-0,24	-0,26	-0,33	1,00	0,39	0,08	0,13	-0,31	-0,30	-0,31
Vann	-0,08	-0,08	-0,04	0,08	-0,23	-0,12	0,04	-0,13	-0,17	-0,17	-0,88	0,39	1,00	0,26	0,03	-0,64	-0,58	-0,65
F	-0,14	-0,16	0,08	0,17	-0,32	0,05	0,18	-0,12	0,24	0,26	-0,26	0,08	0,26	1,00	0,75	0,29	0,37	0,30
A	0,01	0,00	-0,02	0,01	-0,11	0,18	0,16	-0,26	0,17	0,20	-0,04	0,13	0,03	0,75	1,00	0,73	0,74	0,75

Verdiene i tabellen henviser til korrelasjonskoeffisienten (r). Røde tall markerer en signifikant korrelasjon på 5 % nivå

PLS

Figur 12 viser hvor god kalibreringsmodellen for de ulike (y) komponentene; fett, vann, og protein var.

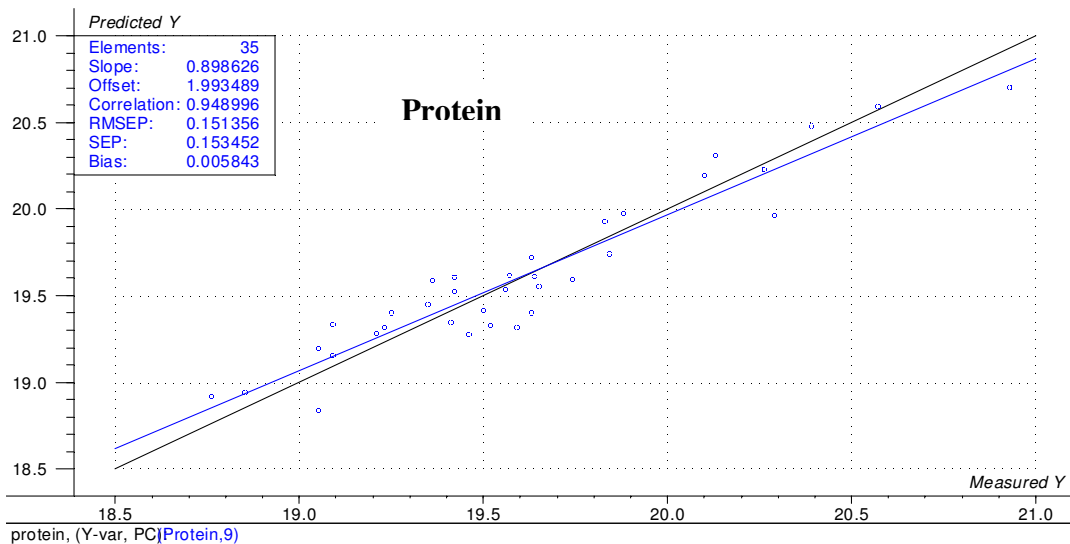
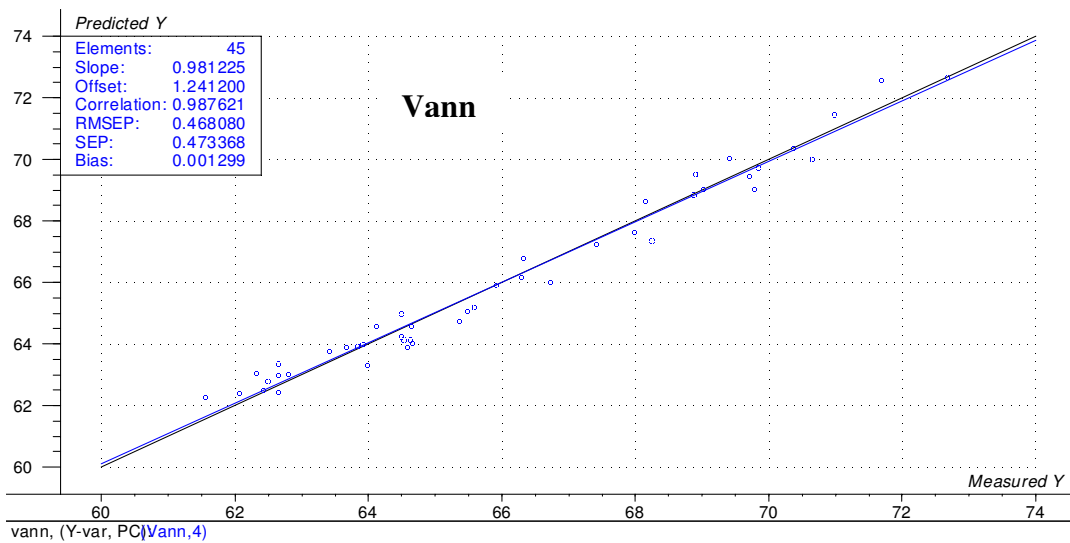
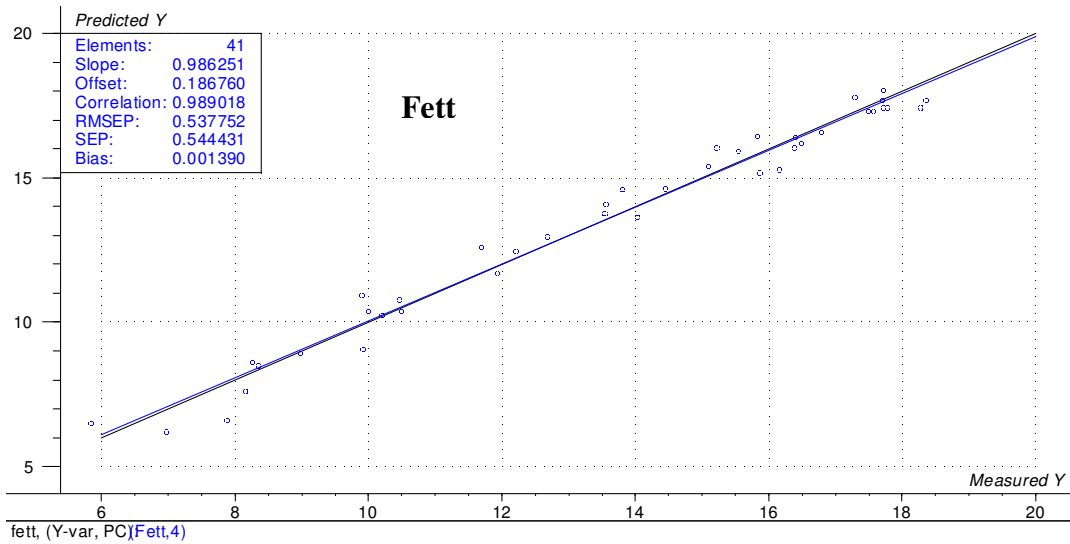
Til kalibreringen av fett ble det valgt ut 41 prøver fra den kjemiske analysen for å få en god kalibreringsmodell. Dette var et resultat av detektering og fjerning av outliere. I denne modellen var det optimalt å benytte 4 PC'er, noe som gir en forklart valideringsvarians på 97,9 %, et avvik fra referanselinjen (offset) på 0,19, en korrelasjon mellom målte og predikterte verdier på 0,99, RMSEP på 0,54, SEP på 0,54, og en CV på $(0,54/12,82 \times 100)$ 4,43 %. Variasjonen i modellen strakk seg fra 5,8-18,2 % fettinnhold. Forholdet mellom kalibreringsvarians og valideringsvarians var svært stabilt og tyder på at kalibreringsdata og testdata var godt representative for modellen.

Til kalibreringen av vann ble det valgt ut 45 prøver fra den kjemiske analysen for å få en god kalibreringsmodell. Dette var et resultat av detektering og fjerning av outliere. I denne modellen var det optimalt å benytte 4 PC'er, noe som gir en forklart valideringsvarians på 97,5 %, et avvik fra referanselinjen på 1,24, en korrelasjon mellom målte og predikterte verdier på 0,99, RMSEP på 0,47, SEP på 0,47 og en CV på $(0,47/66,78 \times 100)$ 0,70 %. Variasjonen i modellen var mellom 61,5-72,5 % vanninnhold. Forholdet mellom kalibreringsvarians og valideringsvarians var svært stabilt og tyder på at kalibreringsdata og testdata var godt representative for modellen.

Til kalibreringen av protein ble det valgt ut 35 prøver fra den kjemiske analysen for å få en god kalibreringsmodell. Også dette var et resultat av detektering og fjerning av outliere. I denne modellen var det optimalt å benytte 9 PC'er, noe som gir en forklart valideringsvarians på 90,6 %, et avvik fra referanselinjen på 1,99, en korrelasjon mellom målte og predikterte verdier på 0,95, RMSEP på 0,15, SEP på 0,15 og en CV på $(0,15/19,59 \times 100)$ 0,77 %. Variasjonen i modellen strakk seg fra 18,7-20,9 % proteininnhold. Forholdet mellom kalibreringsvarians og valideringsvarians var også her svært stabilt og tyder på at kalibreringsdata og testdata var godt representative for modellen.

Med bakgrunn i det som er beskrevet i metoddelen er alle tre kalibreringsmodellene gode modeller som gir nøyaktig prediktering av fett-, vann- og protein-innhold for alle 160 laksene.

- Resultater -



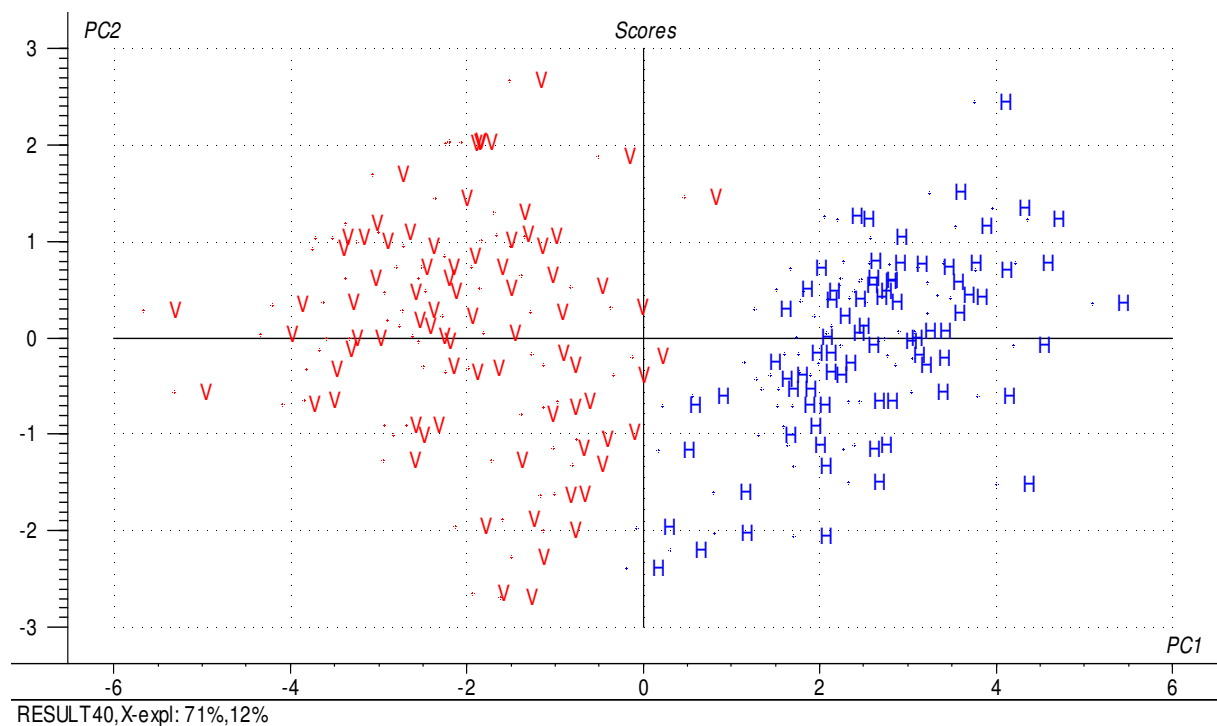
Figur 12: Kalibreringsmodeller for fett, vann og protein

Alle kalibreringsmodellene viser høy korrelasjon (>0,94) mellom målte og predikerte verdier.

PCA

PCA gir en multivariat fremstilling av prøvene. Det er laget score og loading plot fra alle uttakene samlet (Fig. 13-14), samt fra våruttaket (Fig. 15-16) og fra høstuttaket (Fig. 17-18) hver for seg. Svært mange variabler har blitt undersøkt, men bare de variablene med god forklaring i modellene er tatt med. Variabler med liten innvirkning og dermed lav forklart varians har blitt ekskludert for å fjerne støy og for å gjøre modellene mer tydelig og for å få effektene bedre frem. Prøvene er merket med V (våruttak), H (høstuttak), K1 (kontrollgruppe fra våruttak), R1 (restriktiv gruppe fra våruttak), K2 (kontrollgruppe fra høstuttak), R2 (restriktiv gruppe fra høstuttak).

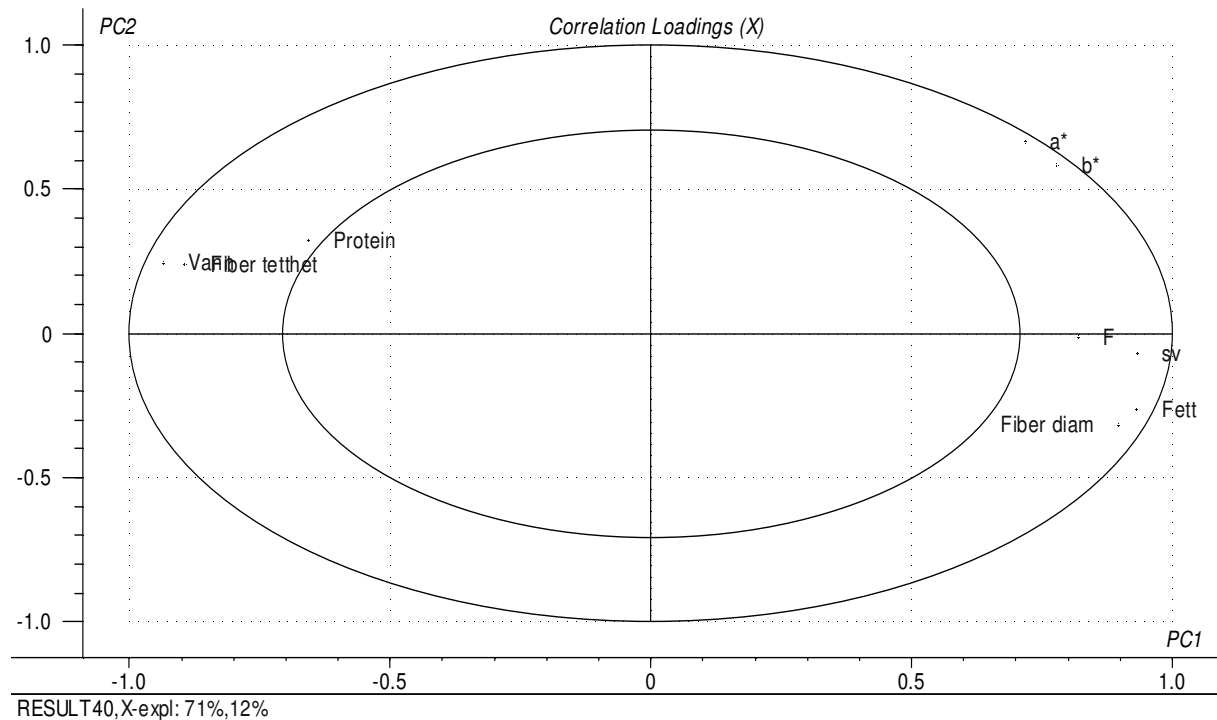
I score plot som gjelder hele forsøket vises en tydelig gruppering mellom de to hoveduttakene, noe som tyder på at det er flere variabler som har endret seg fra våruttaket til høstuttaket (Fig. 13). Forklaringen til disse forskjellene finnes i loading plot (Fig. 14). Forklaringen til grupperingen mellom de to uttakene ligger i PC1, mens både PC1 og PC2 forklarer spredningen innad i hvert av uttakene.



Figur 13: Score plot alle uttak 2005

Figuren viser en tydelig gruppering av prøvene mellom vår og høstuttaket med forklaring i PC1. Spredningen innad i gruppene forklares i PC2.

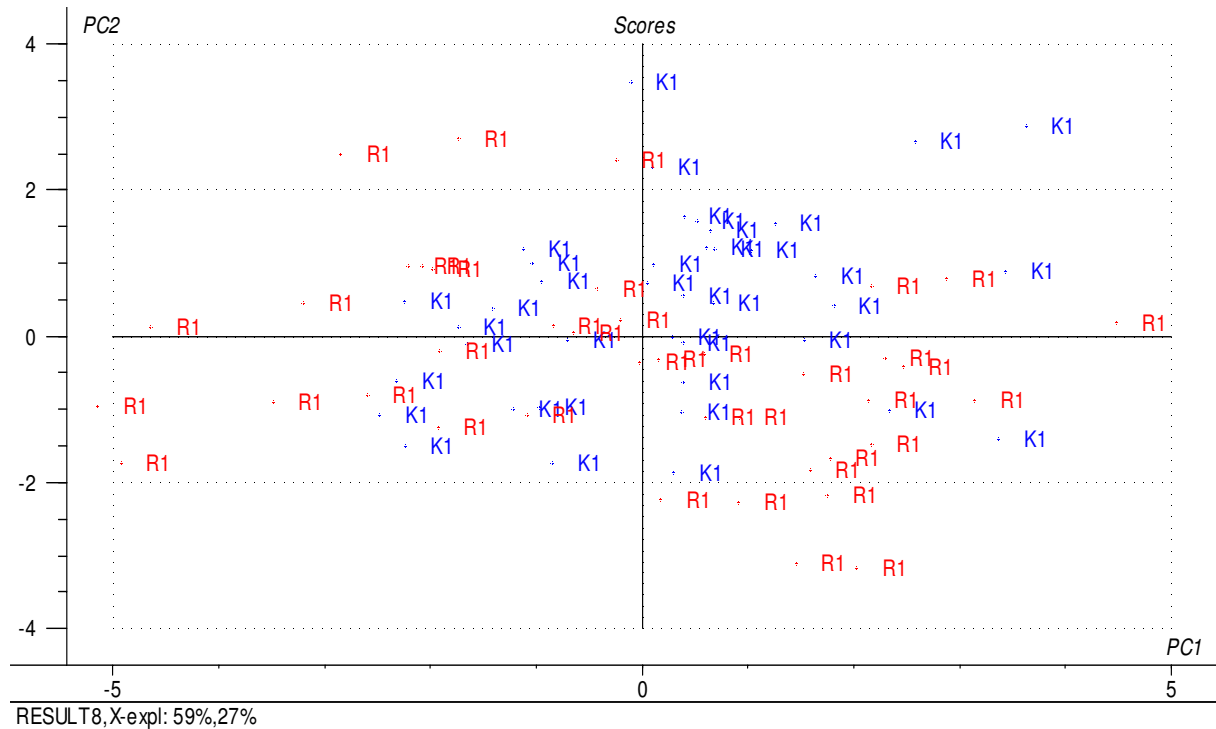
I loading plot viser den innerste ringen en forklart varians på 50 %, og den ytterste ringen en forklart varians på 100 % (Figur 14). Variablene vann, fibertetthet, protein, fiber diameter, fett, hardhet (F), sløyd vekt (sv), rødfarge (a*) og gulfarge (b*) er med på å forklare 83 % av variansen i de to første PC'ene. Det er en tydelig størrelsesforskjell i sløyd vekt mellom vår- og høstuttaket, der fisken var tyngre om høsten. Videre er det en klar forskjell mellom uttakene i vanninnhold, fibertetthet og proteininnhold som hadde størst verdi om våren, og fiberdiameter, fettinnhold, hardhet, rødfarge og gulfarge som hadde størst verdi om høsten. Innad i høstuttaket er det tydelige forskjeller som kommer fram i PC2, mens våruttaket har mindre spredning innad i samme PC. Variabler som ligger nært hverandre langs samme PC har høy positiv korrelasjon til hverandre, som a* og b*, vann og fibertetthet, fett og fiberdiameter, sv og F. Variabler som ligger langt fra hverandre langs samme PC er negativt korrelert. Variabler med høy negativ korrelasjon er fett og vann, fiber diameter og fibertetthet.



Figur 14: Loading plot alle uttak 2005

Figuren viser hvilke variabler som forklarer grupperingen mellom vår og høstuttaket, samtidig som den viser den multivariate sammenhengen mellom disse variablene.

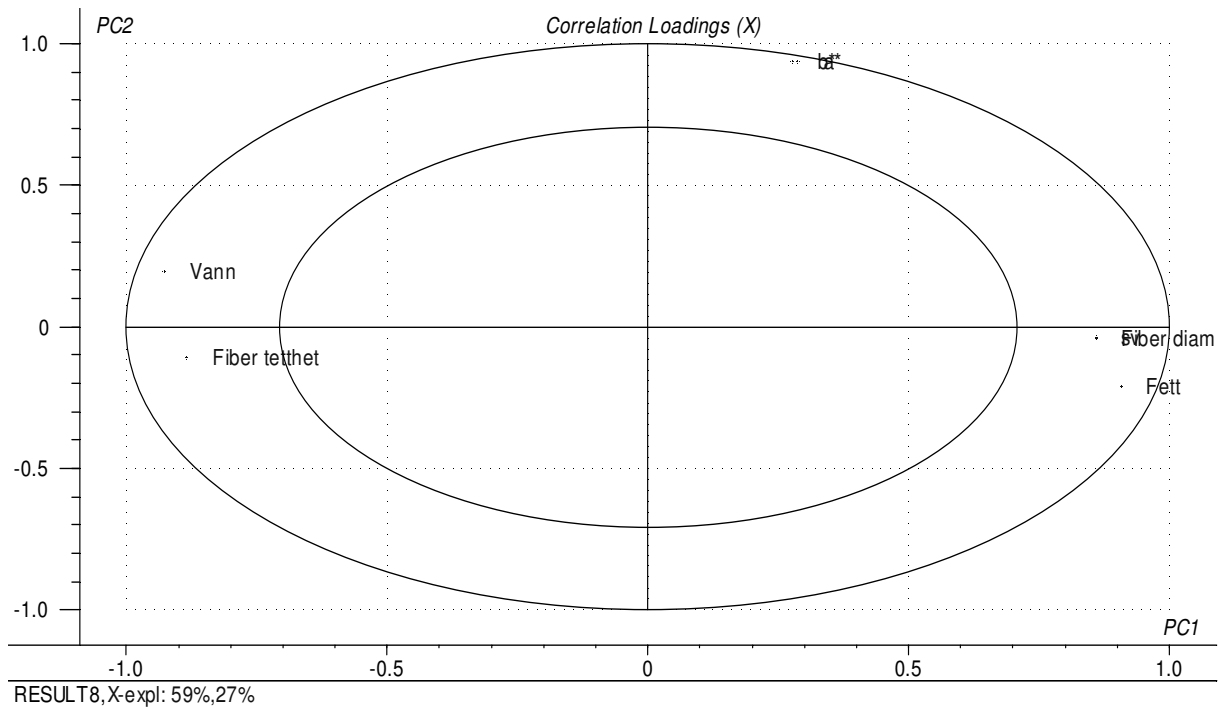
I prøvedelingen fra våruttaket er det ingen tydelig gruppering mellom kontrollgruppen og den restriktive gruppen (Fig. 15). En liten tendens til gruppering i PC2 vises for fisk som har en positiv verdi langs PC1. Det er ingen tegn til gruppering i PC1. Forklaringen til spredningen finnes i loading plot (Fig. 16).



Figur 15: Score plot våruttak 2005

Figuren viser ingen gruppering av prøvene mellom den restriktive gruppen (R1) og kontrollgruppen (K1) i våruttaket. Spredningen innad i gruppene forklares i PC1 og PC2.

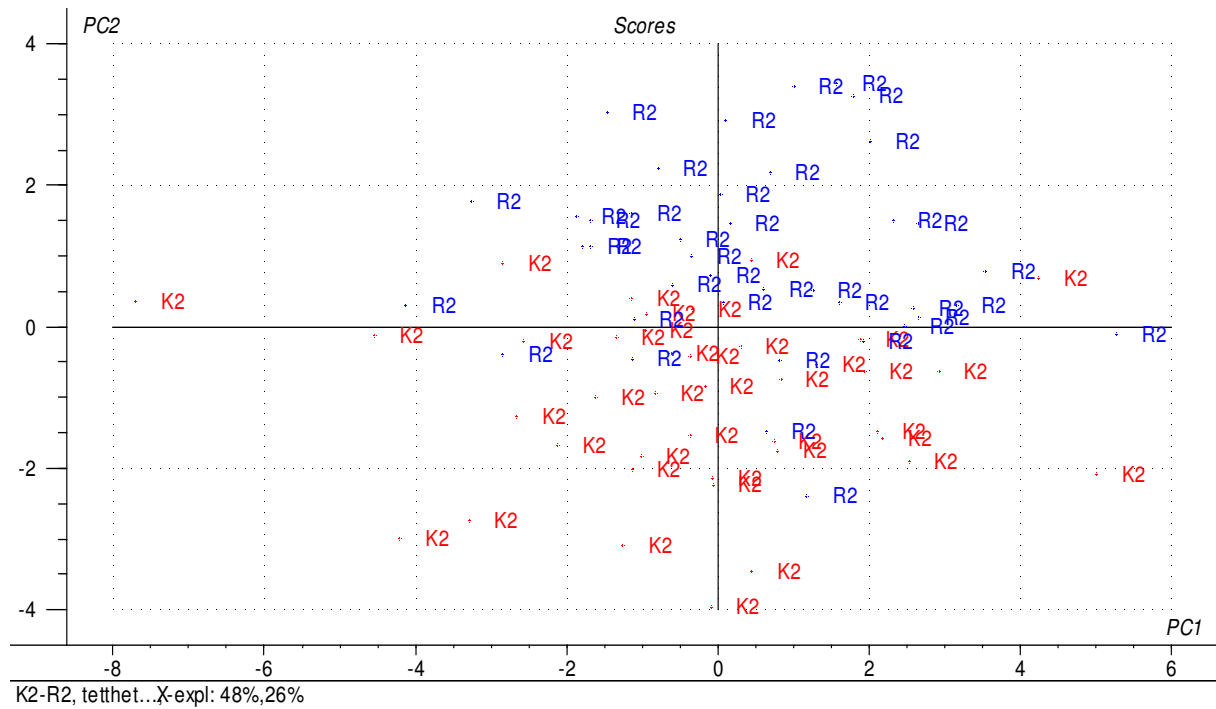
I loading plot fra våruttaket er variablene vann, fibertetthet, fett, fiber diameter, sløyd vekt (sv), rødfarge (a*) og gulffarge (b*) med på å forklare 86 % av variansen i de to første PC'ene (Fig. 16). Hver av disse variablene forklarer spredningen innad i kontrollgruppen og den restriktive gruppen. Antydningen til gruppering i PC2, oppdaget i score plot, er forårsaket av fisk med større sløyd vekt. Denne grupperingen gir en indikasjon på at fisk fra våruttaket med sløyd vekt på over ca. 2 kg har en litt rødere og gulere farge i kontrollgruppen enn i den restriktive gruppen. Den sløyde vekten hadde ingen forklaring på forskjellen mellom gruppene, og dersom denne variabelen fjernes fra PCA vil plottene se tilnærmet identiske ut med samme forhold mellom kvalitetsvariablene. Variabler med positiv korrelasjon til hverandre er a* og b*, fiber diameter og sv, vann og fibertetthet, og fett og fiberdiameter. Negativ korrelasjon finnes mellom fett og vann, fiber diameter og fibertetthet, fiber diameter og vann, og fiber tetthet og fett.



Figur 16: Loading plot våruttak 2005

Figuren viser hvilke variabler som forklarer spredningen innad i de to gruppene, samtidig som den viser den multivariate sammenhengen mellom disse variablene.

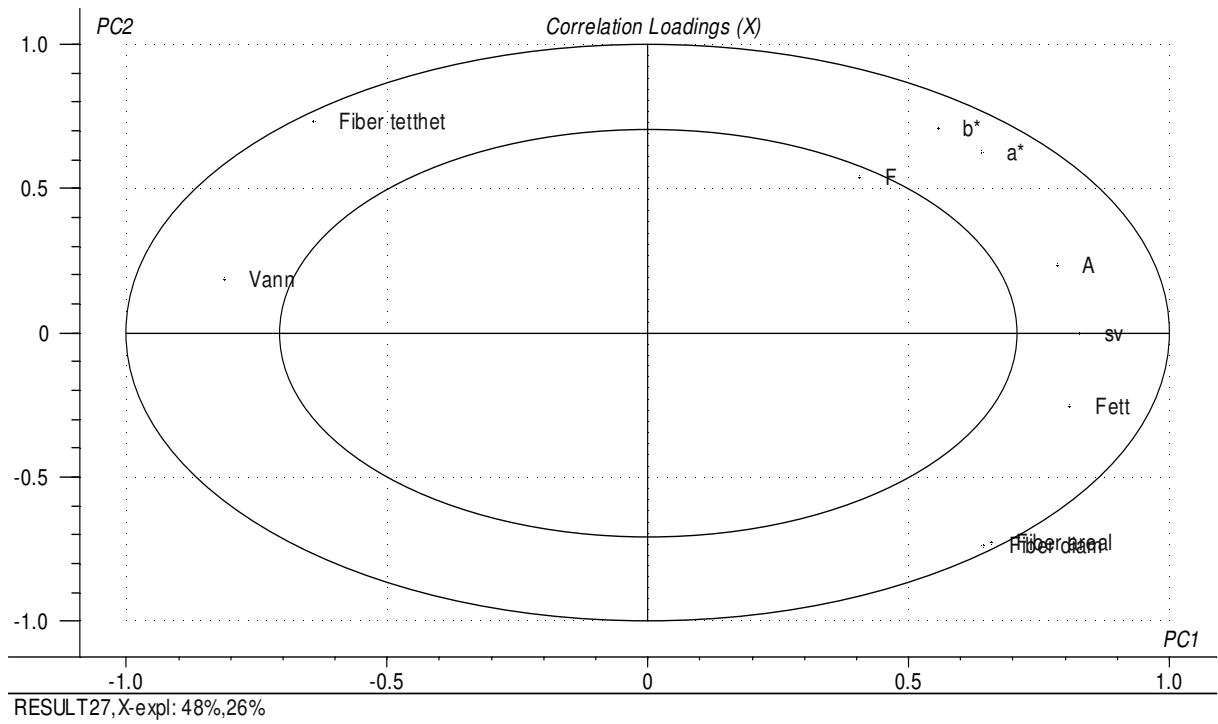
I prøvedelingen fra høstuttaket er det en tydelig gruppering mellom kontrollgruppen og den restriktive gruppen (Fig. 17). Prøvene grupperer seg med noe overlapping langs PC2. Det er ingen tegn til gruppering langs PC1. Forklaringen til spredning og gruppering vises i loading plot (Fig. 18).



Figur 17: Score plot høstuttak 2005

Figuren viser en nokså tydelig gruppering av prøvene mellom den restriktive gruppen (R2) og kontrollgruppen (K2) i høstuttaket, og forklares i PC2. Spredningen innad i gruppene forklares i PC1.

I loading plot fra høstuttaket er variablene vann, fibertetthet, fett, fiber diameter, fiber areal, sløyd vekt (sv), hardhet (F), arbeid (A), rødfarge (a*) og gulffarge (b*) med på å forklare 74 % av variansen i de to første PC'ene (Fig. 18). Det er en tydelig forskjell mellom de to foringsregimene langs PC2 som forklares av variablene knyttet til kvalitet. Den restriktive gruppen hadde høyere fibertetthet, hardere tekstur (F), mer farge i fileten (høyere a* og b* verdi) og mindre fiber diameter enn kontrollgruppen. Variablene langs PC1 forklarer bare spredningen innad i de to gruppene, der de viktigste variablene var vann, fett, sløyd vekt og arbeid. Variabelen sløyd vekt hadde tilnærmet ingen forklaring til forskjellen mellom gruppene, og betyr igjen at den sløyde vekten i dette forsøket har liten innvirkning på resultatene i dette forsøket. Fjernes sløyd vekt fra PCA vil plottene se tilnærmet identiske ut med de samme effektene. Variabler med positiv korrelasjon til hverandre er fiberdiameter og fiberareal, a* og b*, F og a*, og fett og sv. Negativ korrelasjon finnes mellom fett og vann, fiberdiameter og fibertetthet, og fiberareal og fibertetthet.

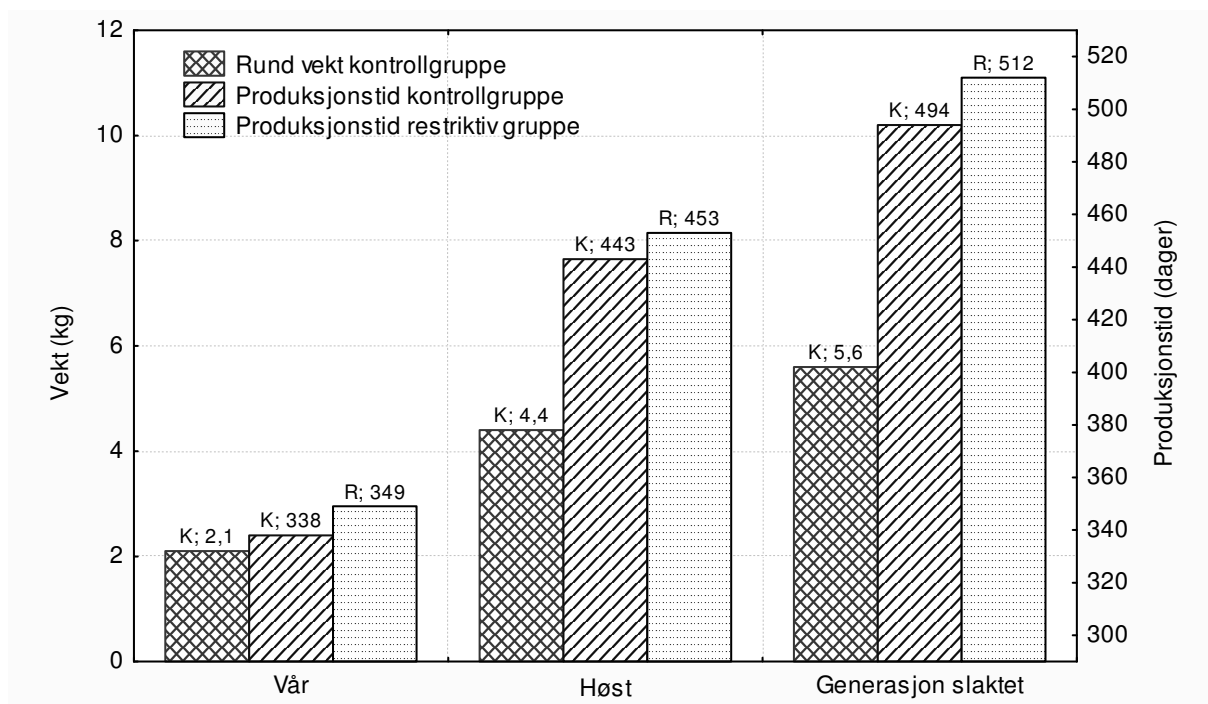


Figur 18: Loading plot høstuttak

Figuren viser hvilke variabler som forklarer grupperingen mellom de to gruppene, samtidig som den viser den multivariate sammenhengen mellom disse variablene.

Produksjonstid og tilvekst

For å produsere laks med rund snittvekt på 2,09 kg om våren er produksjonstiden for et restriktivt fôringsregime 349 dager, 11 dager lengre enn for kontrollgruppen med full appetittfôring (Fig. 19). Produksjonstiden for laks med rund snittvekt på 4,39 kg om høsten er for et restriktivt fôringsregime 453 dager, 10 dager lengre enn for kontrollgruppen. Produksjonstiden for laks på 5,60 kg for hele generasjonen er for et restriktivt fôringsregime (reduksjon 4,2 %) 512 dager, 18 dager lengre enn for kontrollgruppen. Resultatene er beregnet på grunnlag av data fra alle forsøksuttakene og fra slaktedata.

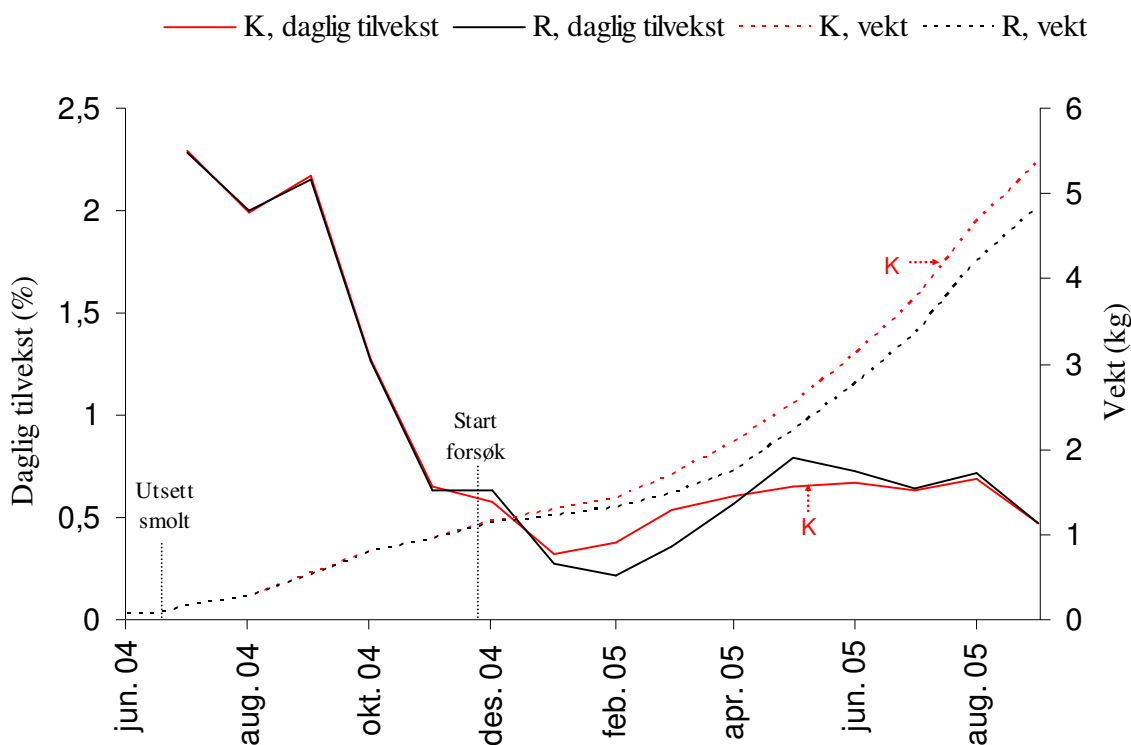


Figur 19: Produksjonstid

Figuren viser produksjonstid i dager for kontrollgruppen (K) og den restriktive gruppen (R) for å oppnå en rund snittvekt på 2,1 kg, 4,4 kg og 5,6 kg, i henholdsvis våruttak, høstuttak, og for hele generasjonen utslaktet. Kontrollgruppen brukes som referansegruppe for fiskens runde snittvekt.

Kontrollgruppen har en kortere produksjonstid enn den restriktive gruppen for en gitt vekt, og betyr at tilveksten samlet for hele perioden er best i kontrollgruppen. Ved å se på utviklingen i daglig prosentvis tilvekst og vektutviklingen i de to gruppene gjennom størstedelen av forsøket, dannes et bilde av når forskjellene oppstod (Fig. 20).

Laksen i de to fôringsregimene har tilnærmet lik vekt og lik prosentvis tilvekst frem til ca. 20. desember 2004. Fra dette tidspunktet vokser den restriktive gruppen dårligere enn kontrollgruppen, noe som gir utslag på tilvekst og vekt (Fig. 20). Fra 20. desember til 5. januar 2005 synker vekstraten i begge gruppene, men mindre i kontrollgruppen. Fra 5. januar begynner vekstraten å øke i kontrollgruppen, men den fortsetter å synke i den restriktive gruppen til den når et bunnivå den 5. februar. Fra 5. februar til 5. mars stiger vekstraten jevnt i begge gruppene, og i dette tidsrommet blir grunnlaget for vektforskjell og lengde på produksjonstiden lagt. Dette kan sees med at de to vektgrafene merkbart øker avstanden til hverandre. I slutten av februar begynner vekstraten til kontrollgruppen å avta noe, mens vekstraten i restriktiv gruppe fortsetter å øke i samme tempo. 10. april har den restriktive gruppen en høyere vekstrate enn kontrollgruppen, noe som gjør at vektforskjellen mellom de to gruppene blir litt mindre, med påfølgende reduksjon i produksjonstiden. Fra midten av juni og ut forsøket har gruppene tilnærmet lik prosentvis daglig tilvekst, men med litt større vektøkning i kontrollgruppen da fisken er litt større enn i den restriktive gruppen.



Figur 20: Tilvekst og vekt gjennom 15 måneders produksjonstid

Figuren viser daglig beregnet tilvekst fra fôrforbruk og kumulativ vektøkning i restriktiv gruppe (R) og kontrollgruppe (K). Forsøket startet 1. desember 2004, og utslakting av fisken startet i september 2005. I perioden 9. januar til 1. april fikk R-gruppen ett måltid annen hver dag, sammenlignet med K-gruppen gitt ett daglig måltid. 1. april gikk R-gruppen over til ett daglig måltid, mens K-gruppen gikk over til 2-3 daglige måltider.

Ved å beregne tilveksten i perioden fra laksen ble satt i sjøen og frem til det første uttaket i mai 2005, vises det at kontrollgruppen hadde samlet størst prosentvis daglig tilvekst og størst daglig vektøkning (Tabell 11). Resultatene for tilvekst i perioden fra utsett og til første uttak stemmer godt overens med de beregningene som ble utført av GIFAS.

Tabell 11: Daglig tilvekst i perioden fra utsett i juni 2004 til våruttak 2005

Fôringsregime	Periode	Antall dager	SGR (%)	Daglig tilvekst (g)
Kontroll	15. jun. 04 – 19. mai. 05	338	1,72	6,0
Restriktiv	15 jun. 04 – 26. mai. 05	345	1,68	5,7

Ved å beregne laksens tilvekst i perioden fra våruttaket og til høstuttaket 2005, vises det at den restriktive gruppen hadde størst prosentvis daglig tilvekst og størst daglig vektøkning (Tabell 12). Forskjellen var ikke signifikant ($p > 0,05$).

Tabell 12: Daglig tilvekst fra våruttak til høstuttak 2005

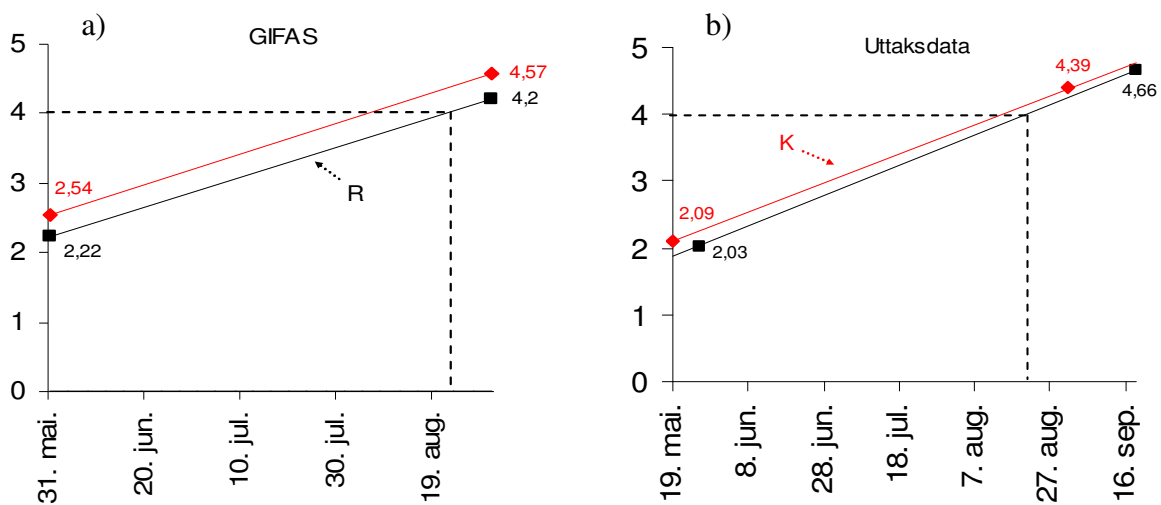
Fôringsregime	Periode	Antall dager	SGR (%)	Daglig tilvekst (g)
Kontroll	mai – sept. 05	105	0,71	21,9
Restriktiv	mai – sept. 05	116	0,73	22,7

Vektrammemålinger fra GIFAS' lokalitet i Stivika bekreftet resultatene om at den restriktive gruppen hadde høyest prosentvis daglig tilvekst gjennom sommeren, der vektrammemålingene ble utført i mai og august 2005 (Tabell 13). Grunnen til at den prosentvise vekstraten er noe høyere i vektrammemålingene, og daglig vektøkning er mindre for den restriktive gruppen enn beregnet fra uttaksdata, er fordi vektrammemålingene ble utført i en kortere tidsperiode enn perioden mellom forsøksuttakene. Samtidig hadde vektrammemålingene ikke med fisken i perioden sist i august og først i september, da prosentvis daglig tilvekst var synkende og daglig tilvekst i vekt var økende.

Tabell 13: Daglig tilvekst gjennom sommeren 2005 (vektrammemålinger fra GIFAS)

Fôringsregime	Periode	Antall dager	SGR (%)	Daglig tilvekst (g)
Kontroll	mai – aug. 05	86	0,74	21,6
Restriktiv	mai – aug. 05	84	0,77	20,1

En sammenligning av laksens runde vekt mellom data utarbeidet av GIFAS og data fra forsøksuttakene vises i figur 21. Det kommer frem at laksen i kontrollgruppen er noe større enn i den restriktive gruppen ved samme tidspunkt. Vektforskjellen mellom de to fôringsregimene er litt større i data fra GIFAS enn i uttaksdataene fra forsøket. Laksen i den restriktive gruppen hadde en rund vekt på 4 kg den 24. august 2005 og noe tidligere for kontrollgruppen, både i data fra GIFAS og i uttaksdata fra forsøket. Figur 21 illustrerer at uttaksdata fra forsøket er fullt representativ for laksens gjennomsnittsvikt i de to fôringsregimene.



Figur 21: Vektrammemålinger og uttak av fisk

De to figurene illustrerer at uttaksdata fra kontrollgruppe (K, rød linje) og restriktiv gruppe (R, sort linje) i forsøket er godt representativ for laksens virkelige snittsvikt, kontrollert med vektrammemålinger av GIFAS. Fig. 21 a) viser GIFAS sin beregning av fiskens runde snittsvikt i de to gruppene ved bruk av vektrammemålinger. Fig. 21 b) viser fiskens runde snittsvikt i de to gruppene fra vår og høstuttaket.

Resultatene fra en detaljert beregning av forskjell i produksjonstid mellom de to gruppene vises i tabell 14-15. Kontrollgruppen ble brukt som referansegruppe. For høstuttaket ble den restriktive gruppen i gjennomsnitt fôret 19 dager lengre enn kontrollgruppen og førte til at den restriktive gruppen hadde en rund snittsvikt på 4,66 kg, mens kontrollgruppen var 4,39 kg ved uttak (Tabell 14). Ved bruk av temperaturmålinger fra GIFAS, og tilveksttabell fra Skretting (2003), ble vekten i den restriktive gruppen regnet tilbake til 4,39 kg. Antallet dager den restriktive gruppen brukte for å vokse fra 4,39 kg til 4,66 kg ble da funnet og var 9 dager. Disse 9 dagene ble trukket fra de 19 dagene, som var gjennomsnittlig tidsforskyvning av uttakstidspunktet for den restriktive gruppen, og forskjellen i produksjonstid på 10 dager ble da funnet (19 – 9 dager).

Tabell 14: Beregning av tidspunkt for lik vekt mellom fôringsregimene, høst 2005

Rund vekt, R2 (kg)	Antall dager	Sjøtemperatur (°C)	Tidspunkt	SGR (%) fra veksttabell
4,660	2	10	19.sept.05	0,60
4,605	3	11	17.sept.05	0,64
4,518	3	12	15.sept.05	0,67
4,429	1	12	12.sept.05	0,74
4,396			11.sept.05	

I våruttaket ble den restriktive gruppen i gjennomsnitt fôret 7 dager lengre enn kontrollgruppen og førte til at den restriktive gruppen hadde en rund snittvekt på 2,03 kg (Tabell 15). Det ble brukt temperaturmålinger fra GIFAS, og tilveksttabell fra Skretting (2003), for å beregne hvor mange flere dager den restriktive gruppen måtte fôres for å oppnå samme snittvekt som kontrollgruppen på 2,09 kg. Beregninger viste at det trengtes 4 dager med ekstra fôring, i tillegg til tidsforskyvningen av uttakstidspunktet på en uke, og betyr at forskjellen i produksjonstid mellom gruppene om våren var 11 dager (7 + 4 dager).

Tabell 15: Beregning av tidspunkt for lik vekt mellom fôringsregimene, vår 2005

Rund vekt, R1 (kg)	Antall dager	Sjøtemperatur (°C)	Tidspunkt	SGR (%) fra veksttabell
2,03	4	8	26.mai 05	0,67
2,08			30.mai 05	

Resultatene som kommer frem når det tas høyde for tidsforskyvningen mellom gruppene i de to hoveduttakene er at den restriktive gruppen har størst prosentvis daglig tilvekst gjennom sommeren grunnet noe lavere vekt, i tillegg til at den viser antydning til kompensasjonsvekst i april når det blir overgang fra; ett måltid annen hver dag, til ett måltid hver dag.

Kontrollgruppen har derimot den største gjennomsnittlige daglige vektøkning gjennom sommeren når det tas hensyn til tidsforskyvningen mellom uttakene.

For hele generasjonen, fra utsett i sjø og til all laksen var slaktet, var produksjonstiden for å oppnå en gjennomsnittlig rund vekt på 5,6 kg 18 dager lengre ved bruk av et restriktivt fôringsregime i forhold til full appetittfôring (Tabell 16).

Fôrfaktor

Samlet gjennom hele produksjonen oppnådde kontrollgruppen en økonomisk fôrfaktor ($FF_{\text{øko}}$) på 1,090 og en biologisk fôrfaktor (FF_{Bio}) på 1,083 (Tabell 16). Den restriktive gruppen som fikk redusert antall måltider, oppnådde en økonomisk fôrfaktor på 1,074 og en biologisk fôrfaktor på 1,067. Forskjellen mellom de to fôringsregimene i økonomisk og biologisk fôrfaktor var ikke signifikant ($p > 0,05$), også når forskjellen i sluttvekt ble korrigert for i den statistiske analysen. Samlet for hele generasjonen hadde den restriktive gruppen lavere fôrfaktor og lavere tilvekst enn kontrollgruppen. De to gruppene oppnådde samme superiorandel ved utslakting.

Tabell 16: Fôrfaktor og slaktedata

Tabellen viser biologisk og økonomisk fôrfaktor for den restriktive gruppen (R) og kontrollgruppen (K), og nødvendig bakgrunnsdata for beregning av disse. I tillegg vises oppnådd SGR og daglig vektøkning for gjennomsnittsfisken i begge fôringsregimene for hele produksjonstiden, samt superiorandel ved slakting.

Merd nr.	Gruppe	Antall forsøksdager	Slaktet biomasse, usløyd (kg)	Gjennomsnittlig slaktevekt (kg)	Døde (kg)	Utfôret mengde (kg)	Utsett (kg)	FF_{Bio}	$FF_{\text{øko}}$	SGR (%)	Daglig tilvekst (g)	Superior (%)
101	K	497	131 857	5,91	798	140 031	1 424	1,067	1,074	0,917	11,8	95
106	K	465	114 177	5,08	552	122 689	1 420	1,083	1,088	0,948	10,8	96
107	K	558	148 132	6,60	1 116	164 690	1 417	1,114	1,123	0,837	11,7	82
112	K	454	108 639	4,93	459	114 325	1 420	1,062	1,090	0,964	10,7	96
Snitt/sum		494	502 805	5,63	2 925	541 735	5 681	1,083	1,090	0,917	11,3	92
103	R	564	143 670	6,46	714	153 021	1 421	1,070	1,076	0,824	11,3	83
104	R	485	115 976	5,20	599	120 656	1 415	1,048	1,053	0,913	10,6	96
108	R	540	126 927	5,70	1 357	139 179	1 455	1,097	1,109	0,837	10,4	95
111	R	457	102 105	4,87	462	105 957	1 420	1,048	1,052	0,955	10,5	95
Snitt/sum		512	488 678	5,57	3 132	518 813	5 711	1,067	1,074	0,882	10,7	92

Diskusjon

Innledende gis det kommentarer på forsøksdesign og gjennomføring av forsøket som er knyttet opp mot praktiske problemstillinger. Etterfølgende diskuteres de viktigste resultatene knyttet til hypotesene som omhandler kvalitet (kjemiske sammensetning, tekstur, farge og muskelfiberstruktur), produksjonstid, fôrfaktor, økonomi og lønnsomhet (salgsinntekt, markedsarbeid, reklamasjonskostnader, produksjonstid, økonomisk fôrfaktor, lønnskostnader, slakteutbytte, likviditetsbehov og kredittkostnader), og til sist hvilken praktisk anvendelse resultatene har.

Forsøksdesign og gjennomføring

Målet med oppgaven er å optimalisere produksjonen av oppdrettslaks med fokus på forbedret kvalitet, økt utnyttelse av fôret og forbedret lønnsomhet. De fleste forskningsresultatene er basert på små og meget kontrollerte forsøk som gjør det vanskelig for oppdretterne å omdanne resultatene til produksjonsstrategier i konvensjonell skala (pers. med. S.J.S. Johansen, GIFAS). Ved å gjennomføre et forsøk i konvensjonell skala vil resultatene være påvirket av alle de faktorer og omstendigheter som råder under slike forhold, og kan gjøre det lettere for oppdretteren å ta i bruk en tilsvarende produksjonsstrategi.

For å unngå pseudoreplikasjon (Oksanen, 2001; Hurlbert, 2004; Oksanen, 2004) ble det i forsøksdesignen sørget for et tilstrekkelig antall replikater (4 merder i hver gruppe).

Det ble benyttet to ulike fôringsregimer der begge gruppene ble fôret til metning. I samsvar med Grayton & Beamish (1977) var det i dette forsøket reduksjonen i antall måltider som gjorde at den restriktive gruppen fikk mindre fôr. Bruk av overvåkningsutstyr (kamera og sensorer) i produksjonen var helt avgjørende for å kunne føre begge gruppene til metning, unngå fôrspill og forhøyet fôrfaktor. Dødfiskhåvene ble også brukt som fôrfelle. Den appetittførede fiskegruppen (kontrollgruppen, 100 % rasjon) ble fulgt opp av røkterne for å påse at fôringen ble minst mulig restriktiv.

Ved restriktiv fôring er det viktig at fiskens tilgang på fôr er best mulig slik at enhver form for aggresjon og konkurranse minimaliseres (Jobling, 2001). Dette ble sikret gjennom fôring med høy intensitet i den restriktive gruppen (måltidsreduksjon) til fisken var mett, samtidig som det ble sørget for størst mulig spredning av fôret utover i merden.

Sinnott (2001) foreslo at et prøveantall på 30 fisk fra hver gruppe/populasjon var tilstrekkelig for å oppnå pålitelige resultater for en oppdretter. I forsøkssammenheng er prøveantallet avhengig av hvor store forskjeller som forventes oppnådd mellom gruppene, der små forskjeller krever et høyere prøveantall (Sall *et al.*, 2005). Prøveantallet er også avhengig av hvor mye arbeidskraft, penger og tid som er tilgjengelig. I dette forsøket ble det benyttet et prøveantall på 40 fisk fra hver forsøksgruppe i hvert hoveduttak. Avgjørelsen ble tatt i samarbeid med veiledere ut fra deres egne erfaringer, ut fra litteratur på området, og hva som var praktisk mulig å bli ferdig med på bakgrunn av de analyser som skulle gjennomføres.

For at uttak av fisk fra oppdrettsanlegget skal være mest mulig tilfeldig og representere populasjonen på en best mulig måte, er gode resultater oppnådd ved bruk av kastenot og andre nettanordninger (Sinnott, 2001). I dette forsøket ble laksen lokket opp til overflaten ved fôring, for så å bli fanget med håv. Sinnott (2001) mener at dette ikke er den optimale utvelgelsesmetoden, men det ble i samråd med GIFAS valgt å bruke metoden da den er skånsom mot fisken (uttatt fisk og gjenværende fisk i merden) ved at stress unngås. I ettertid vises det at fisken var godt representativ for de to gruppene, dette fordi størrelsen var normalfordelt rundt gjennomsnittsvekten, samtidig som uttaksdata stemte godt overens med kontrollmålinger og beregninger av fiskens gjennomsnittstørrelse utført av GIFAS underveis i produksjonen. Størrelsesvariasjon blant den innsamlede fisken gir gode estimat på gjennomsnittstørrelse og vekst, samt utvelgelse av både hurtigvoksende og saktevoksende fisk i begge gruppene. For å kunne sammenligne fisk av lik størrelse er det nødvendig å inkludere vekt som en kovariat i den statistiske analysen.

Kvalitet

Kjemisk sammensetning

Flere studier har funnet at økt vekt gir økt fettinnhold i laks (Shearer *et al.*, 1994; Einen *et al.*, 1999; Mørkøre & Rørvik, 2001; Nordgarden *et al.*, 2003b; Young *et al.*, 2005; Lysfjord & Solberg, 2006). I denne oppgaven ble det også funnet en signifikant positiv korrelasjon mellom vekt og fettinnhold, og på bakgrunn av disse resultatene ble vekt inkludert som kovariat i den statistiske analysen.

Laksens kroppssammensetning ser ut til å være sterkt påvirket av fôrmengde (Rasmussen, 2001). Det er i flere studier funnet at restriktiv fôring (Grayton & Beamish, 1977; Einen *et al.*, 1999; Shearer, 2001; Lysfjord & Solberg, 2006) og sulting (Einen *et al.*, 1998) reduserer

fettinnholdet i laks. Når det ble korrigert for vekt i denne oppgaven hadde restriktiv fôring ingen signifikant innvirkning på laksens fettinnhold, noe som også støttes av PCA. Forklaringen ligger i at reduksjonen i fôrtildelingen som følge av måltidsreduksjon (4,2%) ikke var stor nok til å påvirke fettinnholdet. Resultatene er i overensstemmelse med Young *et al.* (2005) og Johansen & Jobling (1998) som ikke fant sammenheng mellom restriktiv fôring og fettinnhold i laks når det ble korrigert for vekt.

I denne oppgaven ble det funnet en signifikant sterk negativ korrelasjon mellom fettinnhold og vanninnhold i alle uttak. Denne sammenhengen er funnet av flere andre (Shearer, 1994; Young *et al.*, 2005). Dette betyr at resultatene for vanninnhold er tilnærmet lik resultatene for fettinnhold, og ingen effekt av restriktiv fôring på vanninnhold ble da funnet.

Storebakken *et al.* (1991) fant at økende alder og fôringsrate førte til en reduksjon i innvollsprotein i regnbueørret. Einen *et al.* (1999) fant ingen effekt av fôringsrate på proteininnhold i laks, men det var tendenser til lavere protein innhold i fisk som ble sultet lenge (110 dager). I et annet studie fant Einen *et al.* (1998) at sulting reduserer proteininnholdet i laks. I denne oppgaven ble det i våruttaket funnet at kontrollgruppen hadde et signifikant høyere proteininnhold, og det kan komme av at i denne perioden var fôringen mest restriktiv. Gjennom sommeren var fôringen mindre restriktiv og det ble ikke funnet forskjell i fiskens proteininnhold i høstuttaket, ved korrigering for vekt.

Kiessling *et al.* (1991a) rapporterte at proteininnholdet i hvit muskulatur hos regnbueørret økte med størrelsen opp til 1,4 år for så å stabilisere seg, samtidig som det var uavhengig av rasjonsstørrelse. I samsvar med disse resultater ble det i denne oppgaven funnet en signifikant positiv korrelasjon mellom vekt og proteininnhold i begge uttakene.

pH

Det er kjent at pH nivået synker post mortem og gjenspeiler glykogen og laktatnivåene i fiskens muskel (Einen *et al.*, 1999). I laks er en bløtere tekstur forbundet med lavere post rigor pH (Einen *et al.*, 1998; Einen *et al.*, 1999; Bjørnevik, 2003), men det er også indikasjoner på at slutt pH ikke har så store innvirkninger på laksens tekstur (Lavety *et al.*, 1988; Andersen *et al.*, 1997; Bjørnevik, 2003). I samsvar med de nevnte studiene ble det i denne oppgaven funnet en tendens til at bløtere tekstur var forbundet med lavere post rigor pH, men sammenhengen var bare signifikant for hele forsøket samlet, og kan være mer knyttet til fiskens størrelse.

Einen et al. (1999) fant at økende rasjonsstørrelse gir lavere post rigor pH i hvit muskel hos laks. Dette samsvarer med resultatene fra våruttaket i denne oppgaven, der den restriktive gruppen hadde en signifikant høyere pH enn kontrollgruppen, men med motsatt forhold i høstuttaket. Selv om forskjellen var signifikant ble det ut fra PCA funnet at forskjellen var så liten at den ikke var med på å forklare variasjonen i datamaterialet og dermed forskjellen mellom gruppene. Dette indikerer at slutt pH har liten betydning for tekstur og andre kvalitetsfaktorer i laks.

Forklaringen på at forholdet i pH nivå mellom gruppene var motsatt om høsten sammenlignet med våren, kan forklares med at måling av pH er svært følsom for temperaturforhold, samtidig som resultatene kan variere fra dag til dag og fra person til person. Forskjellene som er oppdaget mellom gruppene er likevel for små til å ha noen praktisk betydning for kvalitetsforskjellene mellom gruppene.

Slakteutbytte

Einen et al. (1999) viste at reduksjon i rasjonsstørrelsen 110 dager før slakting gir økt slakteutbyttet og redusert filetutbyttet i laks. I forbindelse med sulting av laks fant Einen *et al.* (1998) at økende lengde på sultingen gav lavere slakteutbytte, der slakteutbyttet økte opp til 30 dagers sulting for deretter å avta. Rasmussen (2001) fant at slakteutbytte i regnbueørret er påvirket av fôrmengde, samtidig som en økning i kroppsfettinnhold er forbundet med en reduksjon i slakteutbytte fordi vekten til innvollene øker i forhold til kroppsvekten. I denne oppgaven ble det ikke funnet noen signifikant innvirkning på slakteutbyttet fra fôringsregimet, men restriktiv fôring viste tendenser til høyere slakteutbytte enn full appetittfôring om høsten (0,7 %), som har en viss økonomisk betydning. Sammenhengen mellom slakteutbytte og restriktiv fôring er påvist tidligere (Einen *et al.*, 1999), men i dette forsøket var det et for lite prøveantall (30) for å finne en tilsvarende sammenheng. Resultatet har likevel en praktisk nytteverdi da en forbedring av slakteutbyttet på 0,7 % gir oppdretteren økte inntekter.

Slakteutbytte hadde en signifikant positiv korrelasjon med vekt for hele forsøket samlet, og betyr at desto større fisken er ved slakting, desto større andel av den produserte biomassen får oppdretteren betalt for.

Tekstur

Det er funnet at avtagende hardhet i laksefilet (bakre del) har sammenheng med økende kroppsstørrelse (Bjørnevik, 2003), men ingen sammenheng ble funnet når teksturen ble målt i forkant av den dorsale finnen (Mørkøre & Rørvik, 2001). Disse to studiene benyttet en standardisert muskelblokk i analysen. I denne oppgaven ble det derimot funnet at økende kroppsstørrelse gav en signifikant hardere tekstur i fileten. Dette kan ha sammenheng med at målingene ble utført direkte på fileten, og at større fisk har tykkere filet som igjen fører til mer arbeid ved gjennomskjæring. For å finne effekten av fôringsregime ble derfor vekt inkludert som en kovariat i den statistiske analysen.

Laks og regnbueørret med høyt fettinnhold har en bløtere tekstur enn fisk med lavt fettinnhold (Dunajski, 1979; Hatae et al., 1990; Hurling et al., 1996; Andersen et al., 1997). Bjørnevik (2003) fant derimot ingen sammenheng mellom fettinnhold og tekstur i laks når kroppsstørrelse ble inkludert som kovariat i den statistiske analysen. Disse resultatene ble bekreftet av Young et al. (2005). Færgemand et al. (1995) fant at fettinnholdet i regnbueørret kunne økes med 20 % uten å ha noen effekt på teksturen. I samsvar med Bjørnevik (2003) og Young et al. (2005) ble det i denne oppgaven ikke funnet sammenheng mellom fettinnhold og tekstur (hardhet) i hele forsøket samlet når vekt ble inkludert i den statistiske analysen. I høstuttaket ble det derimot funnet at mer fett gav en signifikant bløtere tekstur. Denne tendensen ble også sett i våruttaket, men her var den mindre tydelig grunnet lavere fettinnhold i fisken.

Det er funnet at fargen varierer med teksturen (Andersen *et al.*, 1997), der en hardere tekstur er forbundet med økende lyshet og svakere rødfarge i laksefileten (Bjørnevik, 2003). Ved å inkludere vekt i den statistiske analysen ble det i denne oppgaven funnet at økende hardhet gav en svakere rødfarge i våruttaket, mens forholdet var motsatt i høstuttaket. Dette tyder på at det er en sesongmessig effekt som påvirker forholdet mellom tekstur og farge.

Restriktiv fôring (Einen *et al.*, 1999; Lysfjord & Solberg, 2006) og sulting (Einen & Thomassen, 1998; Sigurgisladottir *et al.*, 2001) er funnet å gi en hardere tekstur i laks. I denne oppgaven er tilsvarende resultater funnet, og der restriktiv fôring (måltidsreduksjon) gav en hardere tekstur i laksefileten etter fire dagers lagring på is. Young *et al.* (2005) fant derimot ingen effekt av restriktiv fôring på tekstur og kan ha sammenheng med forskjellig forsøksdesign (forsøksoppsett; småskala vs. storskala, prøveantall per gruppe; 18 vs. 40, analysemetode: probe med flat ende vs. skjærkraft). Sigurgisladottir *et al.* (1999) fant at

skjærkraftmetoden (bruk av knivblad) var mer sensitiv enn bruk av probe med flat ende. Et lite prøveantall gjør det samtidig vanskeligere å detektere små forskjeller (Sall *et al.*, 2005).

Økt muskelfibertetthet har sammenheng med en hardere tekstur (Johnston *et al.*, 2000a; Bjørnevik, 2003), og indikasjoner på dette ble også funnet i denne oppgaven.

Det er kjent at hardere tekstur i fisk har sammenheng med økende kollageninnhold (Sato *et al.*, 1986; Espe *et al.*, 2004), der det er konsentrasjonen av hydroxylsyl pyridinoline (PYD) (proteinbundet hydroxyproline) kryssbindinger som er viktig (Li *et al.*, 2005).

Kollageninnholdet ble ikke undersøkt i denne oppgaven, men Einen *et al.* (1999) fant at ved økende rasjonsstørrelser var det mindre mengde fritt hydroxyprolin og økende mengde proteinbundet hydroxyprolin. Teoretisk skulle dette ha gitt hardest tekstur i kontrollgruppen, men det ble funnet at den restriktive gruppen hadde hardest tekstur. Dette kan bety at ved restriktiv fôring er andre faktorer med på å forklare hvorfor det oppnås en hardere tekstur, blant annet høyere pH, redusert innhold av fett og sarkoplasmatiske proteiner og mindre muskelfiberdiameter (Einen *et al.*, 1999). Det er med bakgrunn i dette behov for mer forskning for å dokumentere sammenhengen mellom kollageninnhold og tekstur ved restriktiv fôring.

Resultater fra denne oppgaven viser at de viktigste faktorene som påvirker tekturen er fôringsregime, kroppsstørrelse, muskelstruktur, og i liten grad pH.

Fargemåling

Minolta fargekamera er vanlig å bruke i vitenskapelig arbeid da dette gir en objektiv måling av den visuelle fargen, samtidig som det er en ikke destruktiv metode (Christiansen *et al.*, 1995). Minolta egner seg derfor godt til å sammenligne fargen mellom ulike forsøksgrupper, men den egner seg også godt til å forkaste laks med dårlig pigmentering (Christiansen *et al.*, 1995).

Det er funnet at økende rødfarge i laksefilet har sammenheng med økende kroppsstørrelse (Bjørnevik, 2003). En tilsvarende signifikant sammenheng ble funnet i denne oppgaven i våruttak, høstuttak og for begge uttakene samlet. Dette gjør det nødvendig med korrigering for størrelse (vekt) i den statistiske analysen for å få frem behandlingseffekten fra fôringsregimet.

I denne oppgaven ble det funnet en signifikant positiv korrelasjon mellom rødfarge og tekstur i september, men ingen signifikant sammenheng i mai (tendens til negativ sammenheng). Bjørnevik (2003) fant en tilsvarende positiv korrelasjon mellom rødfarge og tekstur i juni, men ingen sammenheng mellom variablene resten av året.

I samsvar med Einen *et al.* (1999) ble det i denne oppgaven funnet at restriktiv fôring gav en signifikant kraftigere rødfarge i laks. Restriktiv fôring hadde bare innvirkning på rødfargen i høstuttaket da fisken hadde oppnådd en slakteklar størrelse (4-5 kg).

Økt muskelfibertetthet har sammenheng med kraftigere rødfarge i laksefilet (Johnston *et al.*, 2000a), og tendenser til en slik sammenheng ble også funnet i denne oppgaven. Johnston *et al.* (2000a) fant ingen korrelasjon mellom astaxanthin konsentrasjon og muskelfibertetthet i laks, noe som tyder på at muskelfiberstrukturen har en viss effekt på den visuelle fargen.

På grunn av dårlig korrelasjon mellom rødfargen (a^*) og astaxanthin konsentrasjonen ved høye astaxanthin nivåer (Christiansen *et al.*, 1995), er det i denne oppgaven vanskelig å forklare fargeforskjellen mellom fôringsregimene med forskjell i astaxanthin konsentrasjon, samtidig som astaxanthin konsentrasjon heller ikke er målt.

Det ble funnet en signifikant positiv korrelasjon mellom rødfarge og sløyd vekt. En kraftigere rødfarge i laksen fra høstuttaket kommer da av at fisken har vokst og blitt større, og på den måten har det blitt tatt opp og lagret mer astaxanthin i muskelen som da gir utslag i en rødere farge. Økning i astaxanthin konsentrasjon i laks utover høsten er også sett av andre (Nordgarden *et al.*, 2003b).

Fra de statistiske beregningene som gjelder våruttaket ble det funnet en kraftigere rødfarge hos kontrollgruppen, men ved bruk av PCA kan man si at denne forskjellen ikke gjelder for alle fiskene i uttaket og er bare tendenser innenfor et begrenset størrelsesområde.

Muskelfiber

I denne oppgaven ble muskelprøvene hurtig innfrosset i isopentan nedkjølt til -159°C i flytende nitrogen. Denne metoden er å foretrekke fordi problemer med krymping av vev unngås, samtidig som det blir lettere å sammenligne resultatene med andre studier (Johnston, 2001b).

Det er funnet en signifikant sammenheng mellom kroppsstørrelse og fiberstørrelse i Atlantisk laks (Bjørnevik, 2003) og i regnbueørret (Kiessling *et al.*, 1991b). I samsvar med disse resultater ble det også i dette studiet funnet en signifikant sammenheng mellom kroppsstørrelse (vekt og lengde) og fiberstørrelse (diameter og areal). Bjørnevik (2003) viste også at livsstadie og sesong, i tillegg til kroppsstørrelse, virker inn på muskelfibernes vekstmønster.

Muskelfiberstørrelse og muskelfiberdistribusjon varierer mellom ulike lokasjoner i laksens lengderetning (Johnston, 2001a), og i tverrsnittet av laks (Johnston, 2001a) og regnbueørret (Kiessling *et al.*, 1991b). For å oppnå et godt estimat på fiskens muskelfiberdiameter, -areal og -antall er det viktig å skjære ut et tilstrekkelig antall muskelblokker for å dekke mest mulig av arealet i tverrsnittet (Johnston, 2001a). I denne oppgaven ble metoden standardisert (lokalisering av kotelett; forkant av ryggfinne, og uttak av muskelblokker; 8 stk fra den ene siden på hver kotelett) før forsøket startet, samtidig som analysene ble gjennomført likt på alle prøvene. Til sammenligning tok Bjørnevik (2003) ut fire muskelblokker i laksesmolt og en blokk i voksen laks, Sigurgisladdottir *et al.* (2001) tok ut to muskelblokker fra samme området i laks, mens Kiessling *et al.* (1991b) tok ut tre blokker fra regnbueørret.

Analyse av 800-1000 muskelfiber per laks er tilstrekkelig for å oppnå et godt estimat på fiberdistribusjonen i muskelen (Johnston *et al.*, 1999; Johnston, 2001a). På bakgrunn av dette ble det i denne oppgaven analysert 150 fiber pr. blokk, i alt 1200 fiber fra hvit muskel. Kiessling *et al.* (1991b) analyserte et tilsvarende antall i regnbueørret, men tok prøvene fra andre steder i tverrsnittet. Bjørnevik (2003) analyserte 600 fiber i smolt og 300 fiber i stor laks, mens Sigurgisladdottir *et al.* (2001) analyserte 120-200 fiber i laks. Et slikt antall fiber reduserer arbeidsmengden betraktelig, men gjør det vanskelig å fange opp variasjonen i fiberdistribusjonen. Dette vil kunne føre til et mer usikkert resultat.

Johnston *et al.* (2000a) fant en positiv korrelasjon mellom muskelfibertetthet og tekstur, og der gjennomsnittlig fibertetthet ble målt i fersk filet, mens tekturen ble sensorisk vurdert i

røykt filet. Bjørnevik (2003) fant en positiv korrelasjon mellom fibertetthet og tekstur uten korrigerende for størrelse (Bjørnevik *et al.*, 2004) i pre rigor laksefilet, og når det ble korrigerende for størrelse var det både sammenheng (Bjørnevik *et al.*, 2004) og ingen sammenheng (Bjørnevik, 2003). Studier av flere arter har funnet en negativ korrelasjon mellom gjennomsnittlig fiberdiameter og hardhet i kokt fisk ved bruk av instrumentell måling (Hatae *et al.*, 1990) og sensorisk vurdering (Hurling *et al.*, 1996). Resultatene i denne oppgaven tyder på at det er en svak sammenheng mellom fibertetthet og tekstur, og mellom fiberdiameter og tekstur, i betydning av at økt fibertetthet eller mindre fiberdiameter gir hardere tekstur.

Johnston *et al.* (2000a) fant en sammenheng mellom muskelfiberstruktur og farge, ved at mange små muskelfiber gir en kraftigere visuell rødfarge i laksefilet. Analysene ble utført på fersk filet. I denne oppgaven ble det i våruttaket og i høstuttaket funnet en svak negativ sammenheng mellom muskelfiberdiameter og rødfarge, samt en svak positiv sammenheng mellom fibertetthet og rødfarge i høstuttaket, dette når det ble korrigerende for vekt i den statistiske analysen. Fordi laksen fra den restriktive gruppen hadde kraftigere rødfarge enn fra kontrollgruppen, kan det tenkes at denne forskjellen kommer fra større fibertetthet eller mindre fiberdiameter i den restriktive gruppen, forårsaket av større mengde små fiber og lavere mengde store fiber. Dette kom også frem i PCA. Bjørnevik (2003) fant derimot ingen sammenheng mellom muskelfibertetthet og farge, noe som kan komme av forskjellig analyseprosedyre.

Flere studier er gjennomført uten å finne sammenheng mellom fibertetthet og rødfarge (Sigurgisladottir *et al.*, 2001; Bjørnevik, 2003). Grunnen til sprikende resultater kan være forskjellig uttaksmetode av muskelblokker, lokalisering av kotelett, antall telte fiber, og hvilket produkt analysene ble utført på (fersk, kokt eller røykt). Resultatene i denne oppgaven viser tendenser til at mindre muskelfiberdiameter og økt muskelfibertetthet gir en hardere tekstur og kraftigere rødfarge i fersk laksefilet, og kom frem når vekt ble inkludert i den statistiske analysen. En forklaring på hvorfor sammenhengen er mindre tydelig enn den funnet av Johnston *et al.* (2000a), er at i denne oppgaven ble det benyttet instrumentell måling av tekstur og rødfarge, mens Johnston *et al.* (2000a) benyttet et sensorisk panel til vurdering av tekstur, og fargekort til måling av rødfarge. Johnston *et al.* (2000a) vurderte tekstur i røykt filet og kan være årsak til den sterke signifikante sammenhengen. Tekstur i røykt fisk er forårsaket av en kompleks sammenheng mellom muskelfiberstruktur, bindevev og kjemiske forandringer gjennom røykeprosessen (Johnston, 2001a), der blant annet vann og fett tapes

(Sigurgisladottir *et al.*, 2001). I fersk fisk er muskelfiberstruktur (Johnston *et al.*, 2000a; Bjørnevik, 2003) og kollageninnhold (Sato *et al.*, 1986; Bjørnevik, 2003; Li *et al.*, 2005) viktige faktorer for teksturen. I kokt fisk er muskelfibrene (aktomyosin) funnet som en viktig faktor (Hatae *et al.*, 1990; Hurling *et al.*, 1996; Johnston, 2001a), mens kollagenfibrene er av mindre betydning (Hatae *et al.*, 1986).

Valente *et al.* (1999) og Bjørnevik (2003) fant at høy vekstrate hos laks har sammenheng med økt hyperplasi målt som større fibertetthet, større antall små fiber og lavere gjennomsnittlig diameter på de små fibrene. Kiessling *et al.* (1991b) fant at perioder med rask vekst favoriserte hypertrofi, mens perioder med sakte vekst favoriserte fiberrekruttering hos små regnbueørret. Den kontinuerlige rekrutteringen av muskelfiber i fisk fører til fiber med varierende diameter, der de minste fibrene ble sist rekruttert (Johnston, 2001a). Sees resultatene i de nevnte studiene i tilknytning til resultatene fra denne oppgaven, har den restriktive gruppen frem til våruttaket noe lavere vekstrate (SGR og vektøkning) enn kontrollgruppen. Det er ingen signifikant forskjell i fiberantall, -diameter, -tetthet og -distribusjon mellom gruppene i våruttaket og tyder på liten effekt fra fôringsregimet. Ingen signifikant forskjell i 3 prosentil og 97 prosentil i fiberfordelingen mellom gruppene ble funnet, og betyr at fisken har hatt samme type muskelvekst frem til våruttaket med både nyrekruttering og hypertrofi, men på uttakstidspunktet var nyrekrutteringen stoppet opp. Resultatene samsvarer med Kiessling *et al.* (1991b) som fant at restriktiv fôring hadde liten innvirkning på fiberdiameter i stor fisk. Sammenheng mellom vekstrate og fiberrekruttering/hypertrofi kan ikke trekkes med bakgrunn i forskjellig vekst mellom gruppene frem til våruttaket i denne oppgaven.

Gjennom sommeren hadde den restriktive gruppen (høyest SGR, lavest vektøkning) høyere fiberrekruttering og lavere hypertrofi enn kontrollgruppen, og forklares ut fra et signifikant høyere fiberantall, venstreforskyvning av kurven for fiberdistribusjonen (Fig. 11), signifikant lavere gjennomsnittlig diameter på de 3 % minste fibrene (3 prosentil), og lavere maksimumsdiameter (97 prosentil) i høstuttaket. Kiessling *et al.* (1991b) fant ingen innvirkning av restriktiv fôring på stor fisk, men det var tendenser til at små fisk som fikk mindre mengde fôr hadde større andel små fibrer og signifikant færre store fiber enn fisk av samme størrelse som fikk mer fôr. Det er mange faktorer som kan være årsak til forskjellen i muskelfibrenes vekstmønster, blant annet gener (Johnston, 2001a; Johnston *et al.*, 2003a), hormoner (Johnston *et al.*, 2000b; Johnston, 2001a), næringstilgang (Kiessling *et al.*, 1991b),

aktivitet (Johnston, 2001a), og miljømessige forhold (Johnston *et al.*, 2000b; Johnston, 2001a). I denne oppgaven er hovedårsaken til forskjell i muskelfibrenes vekstmønster forårsaket av fôringsregimet (forskjellig fôringsmengde og tilvekst). Denne konklusjonen trekkes fordi fisken i de to gruppene hadde samme genetiske opphav, aktivitetsnivå og miljømessige forhold (temperatur og fotoperiode), samtidig som ingen kjønnsmodning ble observert.

Fordi den restriktive gruppen hadde høyest tilvekst gjennom sommeren kan dette være en mulig forklaring på høyere fiberrekruttering og mindre hypertrofi enn kontrollgruppen. For hele forsøket samlet vises tendenser til at små fisk med høy prosentvis daglig tilvekst og lav daglig vektøkning har høy fiberrekruttering, mens stor fisk med lavere prosentvis daglig tilvekst og stor daglig vektøkning har lav fiberrekruttering og mer hypertrofi.

Det er vanskelig å knytte muskelfibrenes vekstmønster til vekstraten i dette forsøket da denne ikke er beregnet på individnivå og korrelasjonsanalyse ikke er utført, og er grunnen til at sammenhengene bare blir antydnet. Det er derimot tydelig at fôringsregimet har innvirkning på muskelfibrenes vekstmønster i laks, der måltidsreduksjon gir signifikant mindre hypertrofi og økt nyrekruttering sammenlignet med full appetittfôring.

Undersøkelse av distribusjonen i muskelfiberdiameter i mai 2005 indikerte at fiberrekrutteringen hadde stoppet opp i begge gruppene. Gjennom sommeren ble det derimot rekruttert få, men signifikant flere fiber i den restriktive gruppen enn kontrollgruppen. Fiberrekrutteringen gjennom sommeren kunne ikke detekteres ut fra antall fiber, dette fordi økningen var nokså liten. Samlet sett ble det registrert en nedgang i fiberantallet fra vår til høstuttaket, noe som kan forklares med individuelle forskjeller mellom fisk, samtidig som det er noe analysefeil knyttet til beregning av totalt areal ut fra bildene av laksekoteletten. Johnston *et al.* (2003b) fant samme tendens med reduksjon i fiberantall fra juni til august for laks større enn ca. 3,4 kg, der lysmanipulert gruppe hadde størst reduksjon. Forklaringen på dette var at fiberrekrutteringen stoppet opp i juni.

Restriktiv fôring, sammenlignet med full appetittfôring, fører til høyere fibertetthet og redusert fiberdiameter når laksen nærmer seg slaktevekt (4-5 kg), og bruk av et slikt regime gir hardere tekstur og kraftigere visuell rødfarge i fileten (Tabell 4 og 7, Fig. 17-18), som igjen gir muligheter for å oppnå en bedre markedspris på produktet. Andre strategier som kan brukes for å oppnå tilsvarende effekter er utvelgelse av stamfisk med høyt antall myogene

stamceller (msc, også kalt satellittceller) som igjen kan brukes som avlsmål for å gi større fibertetthet i slakteklar laks (Johnston, 2001a).

En interessant oppdagelse i denne oppgaven er en signifikant positive korrelasjonen mellom slakteutbytte og muskelfiberantall ($r = 0,32$) i høstuttaket. Denne tendensen ble også sett i våruttaket ($r = 0,18$), men var ikke signifikant. Det er ikke funnet andre studier som har påpekt sammenhengen mellom slakteutbytte og fiberantall. En slik sammenheng er av stor interesse da det ut fra et økonomisk perspektiv gjør at oppdretteren får mer penger igjen ved produksjon av samme mengde rund fisk som tidligere, men med bruk av et restriktivt fôringsregime som gir et høyere fiberantall og dermed økt slakteutbytte. Et høyere fiberantall kan også oppnås ved bruk av andre produksjonsmetoder som selektering av fisk i stamfiskproduksjonen ut fra fiberantall eller antall myogene stamceller (Johnston, 2001a), men lysstyring (Johnston *et al.*, 2003a) og temperaturstyring (Johnston *et al.*, 2000d) kan også bidra til økt muskelfiberantall.

NIT analyser

Nær InfraRød (NIR) spektroskopi kan benyttes til å analysere vann-, fett- og proteininnholdet i laks på en rask og nøyaktig måte, og denne metoden er særlig fordelaktig når prøveantallet blir stort (Solberg, 1992; Sollid & Solberg, 1992; Solberg, 1996; Solberg & Fredriksen, 2001; Solberg *et al.*, 2003).

I ugjennomsiktige biologiske prøver, som homogenat fra laksefilet, har NIR stråling en høy energigjennomslippelighet (Solberg, 1992). For å få en representativ analyse er det derfor behov for lite prøvepreparering. Dette gjør analysene billigere og mindre arbeidskrevende enn bruk av kjemiske analyser. NIR har i tillegg en god instrumentpresisjon, gir et høyt signal/støy forhold. NIR spekteret er ikke selektivt og multivariat kalibrering av et visst antall spekter mot målte verdier fra en referansem metode er nødvendig (Solberg, 1992). Det er med bakgrunn i alle fordelene metoden medfører, valgt å benytte NIT til måling av laksens fett-, vann- og protein-innhold. NIR spekter ble funnet med transmisjonsmåling og kalibrert mot et utvalg av kjemisk analyserte prøver for fett-, vann-, og proteininnhold.

PLS regresjon

PLS (Partial Least Squares) er en regresjonsmetode som i hovedsak brukes til å undersøke hvilke faktorer som har mest å si for responsvariablene, og til å prediktere nye verdier for ukjente prøver. PLS kan brukes til å finne sammenhengen mellom NIR-data (X) og de (Y) komponentene (fett, vann, protein) som man ønsker å kalibrere instrumentet mot (Solberg, 1992; Esbensen, 2002).

Under utvelgelsen av kalibreringsprøvene er det svært viktig at disse omfatter all den variasjonen som kan forventes i det framtidige prøvematerialet (Solberg, 1992). I denne oppgaven ble det tatt hensyn til dette ved å velge ut prøver fra alle fiskestørrelsene i hver merd, fra hver gruppe, og i hvert hoveduttak. Resultatet av arbeidet var at det ble oppnådd gode kalibreringsmodeller, som igjen førte til gode prediksjoner (beregninger) av fett-, vann- og proteininnholdet i alle lakseprøvene.

Nøyaktigheten i referansemetoden er helt avgjørende for en god nøyaktighet i kalibreringen (Solberg, 1992). Dette betyr at kalibreringsmodellen aldri blir mer nøyaktig enn nøyaktigheten i referansemetoden, og det er derfor en god investering å være nøye med utførelsen av de kjemiske analysene. De predikterte verdiene vil ofte være en god indikasjon på hvor god referansemetoden var, samt om det var instrumentfeil underveis (pers. med C. Solberg). I denne oppgaven var det god overensstemmelse mellom kalibrerte og predikterte verdier, samtidig som instrumentet fungerte godt i hele analyseperioden.

Ved å benytte NIR-data og PLS regresjon i denne oppgaven har det vært mulig å gjennomføre analyser av kroppssammensetningen til alle fiskene i forsøket på en billig, hurtig, og svært nøyaktig måte.

Det er viktig å bemerke seg at NIR-data kan kalibreres mot både en fysisk og kjemisk målemetode (Solberg, 1992), og betyr at instrumentet har et stort og enda ikke fullt utnyttet potensial. I denne oppgaven ble det bare benyttet kjemiske målemetoder til kalibrering.

PCA

Store multivariate datamatriser kan inneholde mye informasjon som ikke kommer til syne ved bruk av vanlige univariate metoder, dette fordi datasettene blir svært komplekse og vanskelig å tolke. PCA er en projeksjonsmetode som gjør det mulig å visualisere informasjonen som ligger gjemt i datamatriksen (Esbensen, 2002). Det som blir gjort er å trekke ut noen få prinsipale komponenter fra de opprinnelige variablene for å finne hovedtendenser i variasjonen i datamaterialet. En PC ble beregnet om gangen og hver av disse er ukorreletert til den forrige. Den første PC er den mest dominante. Ved å benytte denne analysemetoden i oppgaven ble spredning og gruppering i datamaterialet, samt sammenheng mellom variablene, synliggjort på en bedre måte enn bare bruk av univariat statistikk.

Produksjonstid og tilvekst

Fôringsregimet kan brukes til å styre laksens vekst, der lavere tilvekst er forbundet med redusert fôrinntak eller restriktiv fôring (Johansen & Jobling, 1998; Einen *et al.*, 1999; Einen, 2001; Shearer, 2001; Sinnott, 2001; Lysfjord & Solberg, 2006). Grayton & Beamish (1977) fant at fisk som fikk mange måltider hadde et større fôrinntak enn fisk som fikk få måltider. I samsvar med disse resultatene ble det i denne oppgaven funnet at måltidsreduksjon førte til mindre fôrinntak som igjen gav lavere tilvekst og lengre produksjonstid enn kontrollgruppen. Forskjellen mellom de to gruppene var ikke signifikant og kan være forårsaket av for lav replikasjon ut fra den variasjonen som ble observert både innen og mellom behandlingene. En mer tydelig forskjell kunne vært oppnådd dersom forskjell i fôrtildeling eller antall merder (replikater) hadde vært større. Fôrtildelingen ble ikke redusert ytterligere fordi forsøket ikke har til hensikt å finne det optimale fôrnivået, men å undersøke hvilke innvirkning et definert restriktivt fôringsregime har på tilvekst og fôrutnyttelse.

Johansen (2003) viste at laks som fikk reduksjon i fôringen for en periode, og senere igjen fikk en større mengde fôr, økte fôrinntaket og fikk dermed en kompensasjonsvekst. Kompensasjonsveksten har sammenheng med en "lipostatisk" regulering, som betyr at fisk med lavt fettinnhold får bedre appetitt enn fisk med høyt fettinnhold. I denne oppgaven ble det ved å studere fiskens vekstkurve gjennom 15 måneder av produksjonstiden sett antydning til kompensasjonsvekst for en kortere periode i den restriktive gruppen, og var mest markant like etter overgangen fra ett måltid annen hver dag til ett måltid hver dag. I denne perioden var både prosentvis daglig tilvekst og daglig vektøkning størst i den restriktive gruppen. En måned etter måltidsøkningen begynte vekstraten å avta i denne gruppen, og ble redusert til

sammen nivå som kontrollgruppen i løpet av ytterligere to måneder. Fordi fisken i den restriktive gruppen ikke hentet inn vektforskjellen i denne perioden, fortsatte kontrollgruppen å øke mest i vekt etter dette. Dette er forklaring på hvorfor forskjell i produksjonstid mellom de to gruppene er tilnærmet lik i vår- og høstuttaket og enda større ved utslakting av hele generasjonen.

I denne oppgaven blir rund vekt brukt som grunnlag i beregningene av produksjonstid, dette fordi gjentatte målinger av rund vekt er vanlig å bruke til utregning av totalt produksjonsvolum og fôrfaktor (pers. med. S. J. S. Johansen). Rund vekt brukes også som grunnlag i tilveksttabellen fra Skretting (2003), og gjør at beregningene i denne oppgaven kan gjøres direkte ut fra verdiene i tilveksttabellen.

Fôrfaktor

Reduksjon av fôrtildelingen i forhold til full appetittfôring reduserer fôrfaktoren grunnet bedre fôrutnyttelse (Jobling, 2001; Åseng, 2005). Einen *et al.* (1999) fant at fôreffektiviteten økte med fôrrasjoner opp til rasjonsnivå på 50 % for en periode på 45 dager, opp til rasjonsnivå på 75 % for en periode på 65 dager og for hele forsøket (110 dager), mens ingen signifikante forskjeller ble funnet i fôreffektiviteten for rasjonsnivå mellom 75 % og 100 %. I denne oppgaven ble det funnet indikasjoner på reduksjon i fôrfaktoren ved bruk av restriktiv fôring ($FF_{\text{øko}} = 1,07$ ved rasjonsnivå på 95,8 %), sammenlignet med kontrollgruppen ($FF_{\text{øko}} = 1,09$ ved rasjonsnivå på 100 %). Fordi reduksjonen i fôrtildelingen ikke var større enn 4,2 % er forskjellen i fôrfaktor ikke signifikant, og dette samsvarer med Eienen *et al.* (1999) som ikke fant signifikant forskjell i fôreffektiviteten for rasjonsnivå mellom 75 % og 100 %.

I denne oppgaven er det en forskjell i fôrfaktor på 1,8 % per 4,2 % reduksjon i fôrtildeling, og viser at det er en tydelig effekt av fôringsregimet på fôrfaktor, noe som ikke kunne detekteres ved bruk av hypotesetesting. Det er derfor viktig å presentere resultatene funnet i denne oppgaven, i motsetning til å akseptere nullhypotesen, da dette gir et noe misvisende bilde av resultatenes betydning. Forskjellen i fôrfaktor funnet i denne oppgaven har også en viktig økonomisk betydning. Grunnen til lav sensitivitet i hypotesetestingen er for lav replikasjon ut fra den variasjonen som var innen og mellom behandlingene, samtidig som reduksjonen i fôrtildelingen ikke var stor nok for å detektere forskjellene. Det er likevel tydelige tendenser til at redusert fôring gir lavere fôrfaktor, som også er kjent fra andre (Eienen *et al.*, 1999; Jobling, 2001; Åseng, 2005). Hensikten med dette forsøket var ikke å redusere fortildelingen

til et optimal fôrnivået, men å undersøke hvilke innvirkning et definert restriktivt fôringsregime har på tilvekst og fôrutnyttelse. Det at reduksjonen i fortildelingen er nokså liten, kan gjøre at oppdretterne ønsker å prøve hvordan et tilsvarende restriktivt fôringsregime fungerer på deres anlegg uten at risikoen for dette blir for stor.

Statistikk

I dette forsøket ble det sørget for et tilstrekkelig antall replikater (4 merder) og uavhengighet mellom prøvene for å unngå pseudoreplikasjon (Oksanen, 2001; Hurlbert, 2004; Oksanen, 2004). Oksanen (2001) og (2004) mener det ikke er behov for replikater i forsøk som må utføres i fullskala. Replikasjon for slike forsøk er mange ganger umulig, og pengene kan bli brukt på å ta en større prøvemengde, og heller spre disse over et geografisk område hvor et gitt sett av forutsetninger gjelder. I dette forsøket ble det likevel valgt å benytte seg av replikater, fordi praktiske forhold og økonomi gjorde det mulig, samtidig som det er mye diskusjon rundt hvorvidt resultatene får mindre anseelse dersom replikater ikke benyttes.

Nullhypotesen (H_0) uttrykker at det er ingen forskjell mellom gruppens gjennomsnitt, mens alternativhypotesen (H_A) uttrykker forskjell (Zar, 1999). Med bakgrunn i dette ble de tre alternativhypotesene satt opp. Nullhypotesene ble statistisk testet for å avgjøre om de var sann eller usann. H_0 beholdes dersom den er sann for et definert signifikansnivå (dvs. p-verdi $< 0,05$), og forkastes dersom den er usann, som igjen medfører at alternativhypotesen (H_A) beholdes (Zar, 1999).

Fordi alle kvalitetsvariablene er påvirket av fiskens størrelse er det nødvendig å inkludere størrelsen (vekt) i den statistiske analysen. Dette gir resultater som kan knyttes direkte opp mot behandlingseffekten fra fôringsregimet. Som vedlegg til oppgaven er det vist hvordan resultatene ble når det ikke er korrigert for størrelse. De største resultatforskjellene tilknyttet dette var ved sammenligning mellom vår og høstuttaket, der effekten av sesong kom frem ved korrigering for størrelse. Uten korrigering var det mange tydelige effekter som kom frem grunnet stor størrelsesforskjell mellom uttakene. Fra vår og høstuttaket analysert hver for seg ved korrigering for vekt, og her var det ingen store resultatforskjeller mellom korrigering og ikke korrigering for vekt. Dette har sammenheng med at det var liten forskjell i gjennomsnittsvekten mellom fôringsregimene, samtidig som behandlingseffekten fra fôringsregimet var tydelig. Det var innvirkning fra vekt på alle variablene og kan sees ved å

studere forskjellene i p-verdi mellom de to statistiske analysene (ANCOVA og Student's t-test).

Type I feil gjøres dersom nullhypotesen forkastes når den i virkeligheten er riktig, og betegnes også som en forkastningsfeil eller en alfa feil (Zar, 1999). Type II feil gjøres dersom nullhypotesen ikke forkastes når alternativhypotesen er riktig, og betegnes også som en beta feil (Zar, 1999). Når det gjelder sammenhengen mellom type I og type II feil, vil en senkning av signifikantnivået, fra f. eks 0,05 til 0,01, føre til at sannsynligheten for å gjøre type I feil reduseres, men da øker sannsynligheten for å gjøre type II feil. Dersom signifikansnivået økes vil sannsynlighet for å gjøre type I feil øke, mens sannsynligheten for å gjøre type II feil reduseres. Det er viktig å finne en balanse mellom disse to feiltypene, og da er et signifikansnivå på 0,05 (5 %) det som er mest brukt (Zar, 1999). I denne oppgaven er derfor dette signifikansnivået brukt som grunnlag for hypotesetestingen.

Teststyrken til en statistisk test er definert som sannsynligheten for å forkaste nullhypotesen når den faktisk er usann og skulle vært forkastet (Zar, 1999). Faktorer som bestemmer hvor mange observasjoner som er nødvendig er sannsynligheten for å gjøre type I og type II feil. For et gitt signifikansnivå vil et større prøveantall føre til en statistisk test med større teststyrke (Zar, 1999). Når en test ikke viser forskjell blir analyser av teststyrke viktige. Ved å se nærmere på resultatene i denne oppgaven som har en p-verdi nær signifikansnivået gjøres en vurdering av hvor gode disse er på grunnlag av teststyrke og LSN, samt en vurdering av hvilken feil som kan være gjort. Vurderingen gjøres i tilknytning til vår- og høsttaket hver for seg, da fokuset i oppgaven er på effekten fra restriktiv føring.

Vurdering av statistiske resultater (teststyrke, LSN)

De statistiske resultatene som diskuteres her er fra variabler som har en p-verdi som ligger nokså nært signifikansnivået på 0,05, både lavere og høyere (0,010 - 0,163). Resultatene kommer fra våruttaket og høstuttaket hver for seg. Hensikten er å synliggjøre hvilke resultater som er svakest, vise hvilke feil som kan begås, samt vise hvor stort prøveantall som er nødvendig for å oppnå en signifikant effekt. Alle resultater som viser en signifikant effekt har et tilstrekkelig prøveantall, men det er en viss fare for at type I feil kan begås.

Fra våruttaket blir det sett nærmere på fett, vann, pH, gulfarge og fibertetthet. Fett har en teststyrke på 0,38 og LSN på 112. Dette betyr at det er 38 % sannsynlighet for at testen gir feil resultat og at en type II feil gjøres. For å kunne forkaste nullhypotesen hadde et

prøveantall på 112 fisk vært nødvendig, 32 flere enn brukt i denne oppgaven. Vann har en teststyrke på 0,37 og LSN på 116. Dette betyr at det er en viss sannsynlighet for at testen gir feil resultat og at en type II feil gjøres. For å kunne forkaste nullhypotesen hadde et prøveantall på 116 fisk vært nødvendig, 36 flere enn brukt i denne oppgaven. pH har en teststyrke på 0,73 og LSN på 48. Dette betyr at det er 73 % sannsynlighet for å forkaste nullhypotesen når alternativhypotesen er riktig (73 % sannsynlighet for at resultatet er riktig) Her er det en liten fare for å begå type I feil. For å kunne forkaste nullhypotesen hadde et prøveantall på 48 fisk vært tilstrekkelig, 32 færre enn brukt i denne oppgaven. Gulffarge har en teststyrke på 0,59 og LSN på 66. Dette betyr at det er 59 % sannsynlig for at resultatet er riktig. Her er det en viss fare for å begå type I feil. For å kunne forkaste nullhypotesen hadde et prøveantall på 66 fisk vært tilstrekkelig, 14 færre enn brukt i denne oppgaven. Fibertetthet har en teststyrke på 0,44 og LSN på 48. Dette betyr at det er 44 % sannsynlighet for at testen gir feil resultat og at en type II feil gjøres. For å kunne forkaste nullhypotesen hadde et prøveantall på 48 fisk vært nødvendig, 8 flere enn brukt i denne oppgaven.

Fra høstuttaket blir det sett nærmere på kondisjonsfaktor, slakteutbytte, fett, protein og pH. For kondisjonsfaktoren er det 29 % sannsynlighet for at testen gir feil resultat og at en type II feil gjøres. For å kunne forkaste nullhypotesen hadde et prøveantall på 158 fisk vært nødvendig, 78 flere enn brukt i denne oppgaven. For slakteutbyttet er det 39 % sannsynlighet for at testen gir feil resultat og at en type II feil gjøres. For å kunne forkaste nullhypotesen hadde et prøveantall på 110 fisk vært nødvendig, 30 flere enn brukt i denne oppgaven. For fett er det 30 % sannsynlighet for at testen gir feil resultat og at en type II feil gjøres. For å kunne forkaste nullhypotesen hadde et prøveantall på 149 fisk vært nødvendig, 69 flere enn brukt i denne oppgaven. For protein er det 33 % sannsynlighet for at testen gir feil resultat og at en type II feil gjøres. For å kunne forkaste nullhypotesen hadde et prøveantall på 133 fisk vært nødvendig, 53 flere enn brukt i denne oppgaven. For pH er det 68 % sannsynlighet for at resultatet er riktig. Her er det en liten fare for å begå type I feil. For å kunne forkaste nullhypotesen hadde et prøveantall på 54 fisk vært tilstrekkelig, 26 færre enn brukt i denne oppgaven.

Resultatene viser at det ofte er mulighet for å begå feil, samtidig som prøveantallet er viktig for hvilke resultater som kan oppnås. Fordi signifikansnivået ble satt til 5 % før forsøket startet, må dette opprettholdes med de resultatene dette fører med seg. Det er små forskjeller skal til for å endre resultatene, både med tanke på signifikansnivå og prøveantall. Dette er

faktorer som kan brukes ulikt fra person til person, men spesielt viktig er det at nivåene på disse defineres før forsøket starter, hvis ikke kan den statistiske testen gjøres ugyldig og resultatene blir ikke til å stole på (Zar, 1999).

De variablene som ikke er tatt med i denne vurderingen viser et tydelig signifikant resultat, enten med høy p-verdi, lav teststyrke, og høy LSN, som gjør det riktig å beholde nullhypotesen, eller med lav p-verdi, høy teststyrke, og lav LSN, som gjør det riktig å forkaste nullhypotesen. Det som er interessant å legge merke til er den lille prøvemengden som i mange tilfeller kan benyttes. Dette er viktig kunnskap dersom bare de aktuelle variablene skal studeres, men ulempen med å benytte en redusert prøvemengde er at mange av effektene fra andre variabler ikke kommer frem ved et lavt antall.

Hypotesetesting

I vårutttaket ble en del av den første alternativhypotesen (H_{A1}), som gjaldt farge og proteininnhold i laks, akseptert. Dette betyr at restriktiv fôring gir laksen svakere rød- og gulffarge, samt høyere proteininnhold, enn full appetittfôring om våren. For laksens fett- og vanninnhold, tekstur, og muskelfiberstruktur ble derimot nullhypotesen (H_{01}) akseptert, og betyr at restriktiv fôring har ingen effekt på disse variablene i vårutttaket.

I høstuttaket ble en del av den første alternativhypotesen (H_{A1}), som gjaldt farge, tekstur og muskelfiberstruktur i laks, akseptert. Dette betyr at restriktiv fôring gir laksen kraftigere visuell rød- og gulffarge, hardere tekstur, mindre muskelfiberdiameter og -areal, og høyere fibertetthet og -antall enn full appetittfôring om høsten. For laksens kjemisk sammensetning (fett-, vann-, proteininnhold) ble derimot nullhypotesen (H_{01}) akseptert, og betyr at restriktiv fôring har ingen effekt på disse variablene i høstuttaket.

For hele generasjonen samlet, ble nullhypotesen (H_{02}), som gjaldt produksjonstiden, akseptert. Dette betyr at det ved bruk av hypotesetesting ikke kunne detekteres en økning i produksjonstid ved bruk av restriktiv fôring.

For hele generasjonen samlet, ble nullhypotesen (H_{03}), som gjaldt fôrfaktor, akseptert. Dette betyr at det ved bruk av hypotesetesting ikke kunne detekteres en reduksjon i fôrfaktor ved bruk av restriktiv fôring.

På grunn av beregning av produksjonstiden samlet for begge fôringsregimene i vår- og høstuttaket, uten beregning for hver individuelle merd og fisk, gjør hypotesetestingen til en

dårlig metode for å beskrive effekten av restriktiv fôring. Dette gjelder både resultatene fra produksjonstid og fôrfaktor. Det velges dermed å bruke de resultatene som kommer frem av beregningene, og presentere forskjellene selv om disse var nokså små og ikke signifikante. Dette gjøres med bakgrunn i tidligere dokumenterte effekter som restriktiv fôring har på produksjonstid (Johansen & Jobling, 1998; Einen *et al.*, 1999; Einen, 2001; Shearer, 2001; Sinnott, 2001; Lysfjord & Solberg, 2006) og fôrfaktor (Einen *et al.*, 1999; Jobling, 2001; Åseng, 2005).

Økonomi og lønnsomhet

Innvirkningen av restriktiv fôring på selskapets lønnsomhet blir behandlet med vektlegging av forbedret kvalitet (salgsinntekt, markedsarbeid, reklamasjonskostnader), produksjonstid, økonomisk forfaktor (fôrkostnader), slakteutbytte, lønnskostnader, likviditetsbehov og kredittkostnader. Denne delen er ikke tenkt brukt som dokumentasjon på hvordan økonomi og lønnsomhet påvirkes av restriktiv fôring, men fokuserer på noen viktige kostnader og inntekter som synliggjør noen av de positive effektene. Noen eksempler er tatt med for å illustrere/synliggjøre noen av de økonomiske effektene og vil være av ulik betydning og størrelse fra selskap til selskap.

Forbedret kvalitet

Borch & Aaker (1997) viste hvordan kostnader og inntekter utvikler seg som følge av en kvalitetsforbedring av fisken. Kvalitetsforbedring legger grunnlag for en gradvis høyere pris, økende kvalitetsstyringskostnader og synkende reklamasjonskostnader. Samlet sett vil totalkostnadene synke opp til et bestemt kvalitetsnivå, for deretter å øke gradvis. Det er først og fremst synkende reklamasjonskostnader og økende pris som legger grunnlaget for en forbedret økonomi og lønnsomhet. Bardo (2004) viste at styring av produksjon av laks mot et bestemt fargenivå øker selskapets lønnsomhet.

I denne oppgaven ble det funnet at restriktiv fôring gav hardere tekstur, kraftigere rødfarge og tendenser til lavere fettinnhold, som er kvalitetsfaktorer foretrukket av markedet (Johnston, 2001b; Lie, 2001). Restriktiv fôring gir på bakgrunn av dette en kvalitetsforbedring av produktet, og kan føre til lavere reklamasjonskostnader (Borch & Aaker, 1997), høyere inntekt (Borch & Aaker, 1997; Bardo, 2004), og dermed forbedret økonomi og lønnsomhet. Johnsen & Andreassen (2004) viste at laksens salgspris er svært avgjørende for selskapets resultat, der en reduksjon i salgsprisen på 18,7 % var tilstrekkelig for å gi selskapet et negativt

resultat (selskapets omsetning: 14,1 mill, totale kostnader: 11,5 mill). Fordi flere kvalitetsfaktorer forbedres i en og samme fôringsstrategi er muligheten større for å oppnå positive utslag på økonomien som følge av økt inntekt.

For å utnytte disse positive kvalitetseffektene fra restriktiv fôring er det også nødvendig med et nært samarbeid med markedet og eksportører. Det er vist at en kvalitetsmessig forbedring av et produkt kan føre til åpning av nye markeder som er villige til å betale bedre for produktet (Borch & Aaker, 1997; Bardo, 2004). Erfaringer viser derimot at det foreløpig er vanskelig i praksis å få merpris for investering i bedre kvalitet (pers. med. S. J. S. Johansen), og videre markedsarbeid, relasjonsbygging mot kundene, og inngåelse av langsiktige kontrakter, er derfor nødvendig for å dra nytte av slike investeringer.

Produksjonstid

En kortere produksjonstid i oppdrett av laks er viktig for en raskere omløpstid i produksjonen, mindre lønnskostnader, og inntekter på et tidligere tidspunkt, som kan føre til lavere kredittkostnader og lavere likviditetsbehov (Johnsen & Andreassen, 2004). I denne oppgaven ble det funnet at restriktiv fôring hadde 10 dager lengre produksjonstid enn full appetittfôring for en laks på 4,4 kg. Etterfølgende vises et eksempel som illustrerer hvordan dette påvirker kostnadene:

Lønnskostnader for 10 dager (timelønn 130 kr, arbeidstid 12 timer per dag, 2 røktere) vil i dette eksempelet være på 31 200 kr, men varierer mye fra selskap til selskap. I tillegg kommer sosiale kostnader, etc. Denne forlengede produksjonstid trenger likevel ikke å gi økte lønnskostnader, dette fordi i den første måneden etter slakting er det mye vedlikeholdsarbeid som skal utføres og de ansatte kan derfor brukes til å utføre andre oppgaver. I følge GIFAS utgjør avskrivninger, lønn, etc. vanligvis like mye i måneden etter slakting som måneden før (pers. med. S.J.S. Johansen, GIFAS). Perioder med mindre arbeid kan også brukes til å ta ut oppspart avspasering.

Forhold som berører lønn og arbeidstid er vanskelig å forholde seg konkret til da de ansatte ofte er fast ansatt med fast lønn, og reduksjon i deres lønn og arbeidstid er ikke er en reell situasjon å diskutere. Men det som kan redusere bedriftens lønnskostnader er reduksjon i behovet for innleid arbeidskraft i perioder med mye arbeid, da egne heltidsansatte kan benyttes når de ikke har avspasering som må brukes i denne perioden.

Fôrfaktor

Johnsen & Andreassen (2004) viste at selskapets resultat er mindre følsomt for fôrprisen enn for salgsprisen, da det måtte til en endring på 50,3 % i fôrprisen før resultatet ble negativt (selskapets omsetning: 14,1 mill, totale kostnader: 11,5 mill). Fôrkostnadene utgjør rundt halvparten av produksjonskostnadene i oppdrett av laks (Fiskeridirektoratet, 2005), og en liten reduksjon i fôrfaktor kan derfor ha stor betydning for totale kostnader og lønnsomhet. I denne oppgaven ble det funnet at restriktiv fôring gav en økonomisk fôrfaktor på 1,07, mens full appetittfôring gav 1,09. Ved en fôrpris på 7,40 kr pr. kg (gjennomsnittlig fôrpris i Nordland 2004 (Fiskeridirektoratet, 2005)) og ved et fôrforbruk på 1 060 548 kg (samlet for dette forsøket) er fôrkostnaden ca. 157 000 kr lavere ved bruk av restriktiv fôring. Er fôrforbruket rundt gjennomsnittet for Nordland i 2004 (2 716 000 kg (Fiskeridirektoratet, 2005)), vil disse kostnadene reduseres med ca. 402 000 kr ved bruk av restriktiv fôring. Besparelsen per konsesjon er da på 133 000 kr i Nordland, dette beregnet ut fra at maksimal tillatt biomasse (MTB) er 780 tonn, og fôrfaktor 1,15 (Fiskeridirektoratet, 2005).

Slakteutbytte

I høstuttaket viste den restriktive gruppen en tendens til høyere slakteutbytte enn kontrollgruppen (0,7 %). Ved en samlet produksjon i dette forsøket på 991 483 kg, og en salgspris på 25 kr pr. kg, er det mulig å øke inntektene med ca. 174 000 kr. Dette viser at selv en liten forbedring i slakteutbyttet gir en merkbar forhøyet inntekt.

Det som også er viktig å bemerke er den signifikant positive korrelasjonen som er mellom slakteutbytte og vekt for hele forsøket samlet, der økende vekt gav økende slakteutbytte. Dette betyr at desto større fisken er, desto mer salgbar fisk får oppdretteren etter slakting, noe som gir høyere inntekter.

Lønnskostnader

Det restriktive fôringsregimet som ble brukt i dette forsøket var definert ut fra antall måltider som ble gitt. Ved en temperatur over fem grader ble fisken fôret til metning med ett daglig måltid. Når dette ene måltidet avsluttes er det ikke behov for mer arbeidskraft til røktingen, noe som betyr at lønnskostnadene kan reduseres. Om vinteren (9.jan – 1.april \approx 3 mnd.) ble det fôret annen hver dag i den restriktive gruppen, og betyr at det ikke er behov for røktere halvparten av tiden. I denne perioden kan de ansatte utføre andre arbeidsoppgaver, eller de

kan eksempelvis benytte oppspart avspasering eller avvikle ferien, slik at perioder med mye arbeid møtes på en best mulig måte, noe som også kan gi bedriftene et mindre behov for innleie av ekstra arbeidskraft i disse arbeidskrevende periodene (vår, sommer og høst). På denne måten kan lønnskostnadene reduseres, og i store selskaper kan dette utgjøre nokså store beløp.

Et eksempel for å illustrere forskjellen mellom full appetittfôring og bruk av måltidsreduksjon i fôringen:

Et selskap som har lønnskostnader på 100 000 kr i måneden til røktere, kan om vinteren (januar-april, 3 måneder) redusere lønnskostnadene med 50 000 kr per måned. Totalt for 3 måneder utgjør dette 150 000 kr.

Vår, sommer og høst hvor det fôres ett måltid per dag i restriktiv gruppe, sammenlignet med 2-3 måltider ved full appetittfôring, gir også mulighet for reduserte lønnskostnadene. Dette fordi den daglige fôringsperioden er av kortere varighet ved bruk av ett måltid sammenlignet med 2-3 måltider (4-6 t per dag). Ved en timelønn per røkter på 130 kr, er potensialet for reduserte lønnskostnader på 520-780 kr per dag, eksklusiv sosiale kostnader.

Likviditetsbehov og kredittkostnader

En forlenget produksjonstid vil øke kredittkostnadene for dem som har behov for kassekreditt (Johnsen & Andreassen, 2004), men dette vil variere mye fra selskap til selskap og er samtidig avhengig av hvordan fôrfaktoren påvirkes av fôringsregimet. En forbedret fôrfaktor kan redusere kredittkostnadene dersom produksjonstiden muliggjør dette.

Et eksempel på kassekredittkostnader for et selskap med kassekredittgjeld på 1 mill. kr, 10 dager forlenget produksjonstid, og årlig kassekredittrente på 10 %, vil gi en økt rentekostnad på 10 000 kr. Dette forutsatt at selskapet ikke er i stand til å betale ned gjelden tidligere.

Likviditetsbehovet kan også bli mindre, dette fordi fisken utnytter fôret bedre ved restriktiv fôring, og på den måten er det behov for en mindre mengde fôr for å oppnå samme vekt som den appetittfôrede gruppen. Dette igjen kan gjøre at behovet for kassekredittgjeld blir litt mindre, noe som er tilfellet i denne oppgaven. Fôrkostnadene ble tidligere beregnet redusert med 126 000 kr etter gjeldende forutsetninger, mens kredittkostnadene var 10 000 kr, noe som gir et lavere likviditetsbehov.

Anvendelse

Ved å benytte seg av et definert restriktivt fôringsregime (måltidsreduksjon) kan oppdretterne forbedre flere av laksens kvalitetsfaktorer, øke fôrutnyttelsen og redusere flere av kostnadene, sammenlignet med full appetittfôring. Slike muligheter er viktig i et marked som er preget av store svingninger der lakseprisene til tider er lave i forhold til produksjonskostnadene, samtidig som kundene setter større krav til produktets egenskaper. Det kreves likevel videre forskning for å finne svar på hvor restriktiv fôringen skal være for å optimalisere de positive effektene.

At forsøket er gjennomført i konvensjonell skala kan gjøre det lettere for oppdretterne å ta i bruk en tilsvarende produksjonsstrategi da resultatene er direkte overførbare, dette fordi forsøket har vært påvirket av alle de faktorer og omstendigheter som forekommer i konvensjonell matfiskproduksjon av laks.

Et område som kan være interessant å rette større fokus mot er bruk av NIR-teknologi ved viderebehandling av laksen etter at den forlater oppdrettsanlegget. Det er i de senere årene utviklet sorteringsmaskiner som benytter NIR-teknologi til å sortere laksefileter etter fettinnhold (Solberg *et al.*, 2003). Slike maskiner har også potensial til å sortere etter farge og muskelfiberstruktur dersom gode kalibreringsmodeller kan lages, men det er behov for mer forskning på dette området. Dersom denne teknologien brukes i sammenheng med fôringsstrategi og markedsstrategi, er det store muligheter til å levere et stabilt og godt produkt til industrien og de kunder som etterspør dette.

Konklusjon

I våruttaket gir restriktiv fôring av laks svakere rødfarge, gulfarge og høyere proteininnhold, sammenlignet med full appetittfôring. Restriktiv fôring har ingen effekt på laksens fettinnhold og vanninnhold, tekstur, og muskelfiberstruktur i våruttaket.

I høstuttaket gir restriktiv fôring av laks kraftigere visuell rød- og gulfarge, hardere tekstur, mindre muskelfiberdiameter og muskelfiberareal, og høyere fibertetthet og fiberantall, enn full appetittfôring. Restriktiv fôring har ingen effekt på laksens kjemiske sammensetning (fett-, vann-, protein-innhold) i høstuttaket.

For å produsere laks med snittvekt på 2,1 kg er produksjonstiden for kontrollgruppen 338 dager og for den restriktive gruppen 349 dager (Δ 11 dager). For å oppnå en snittvekt på 4,4 kg trengs henholdsvis 443 og 453 dager produksjonstid (Δ 10 dager), og for slaktevekt på 5,6 kg trengs henholdsvis 494 og 512 dagers produksjonstid (Δ 18 dager).

Restriktiv fôring gir en økonomisk fôrfaktor på 1,07 sammenlignet med full appetittfôring som gir 1,09.

Det vil være flere fordeler med bruk av et restriktivt fôringsregime fra et økonomisk perspektiv da det har potensial for lavere fôrkostnader, reklamasjonskostnader, lønnsutgifter, rentekostnader og likviditetsbehov, samt større slakteutbytte og høyere inntekter.

Referanser

- Andersen, U.B., Thomassen, M.S. & Rørå, A.M.B. (1997). Texture properties of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects of diet, muscle fat content and time of storage on ice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 347-353.
- Bardo, H. (2004). Strategi og styringsinformasjon - en lønnsomhetsbetraktning. Et studie i hvordan valg av strategi og styringsinformasjon påvirker lønnsomheten til et oppdrettsselskap. *Master of science thesis*, Handelshøgskolen i Bodø, Norge, 141 pp.
- Bjørnevik, M. (2003). White muscle fibre distribution in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and Atlantic cod (*Gadus morhua*) as affected by external factors, and relation to flesh quality. *Dr. Scient. thesis*, Department of Zoology, University of Bergen, Norway, 43 pp.
- Bjørnevik, M., Espe, M., Beattie, C., Nortvedt, R. & Kiessling, A. (2004). Temporal variation in muscle fibre area, gaping, texture, colour and collagen in triploid and diploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 530-540.
- Borch, O.J. & Aaker, H. (1997). Markedsdifferensiert produktkvalitet i lakseoppdrett - en analyse av driftstilpasning og økonomi ved produksjon av kundetilpassede produktkvaliteter i norske matfiskanlegg. *NF-RAPP.no*. 6, 94.
- Christiansen, R., Struksnæs, G., Estermann, R. & Torrissen, O.J. (1995). Assessment of flesh colour in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture*, 26, 311-321.
- Dunajski, E. (1979). Texture of fish muscle. *Journal of Texture Studies*, 10, 301-318.
- Einen, O. (2001). Kapittel 12: Vekst og fôrutnyttelse. In: *Fiskeernæring*, (Eds.) R. Waagbø, M. Espe, K. Hamre & Ø. Lie. Kystnæringens Forlag og Bokklubb AS, Bergen, pp. 205-217.
- Einen, O., Mørkøre, T., Rørå, A.M.B. & Thomassen, M.S. (1999). Feed ration prior to slaughter - a potential tool for managing product quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 178, 149-169.
- Einen, O. & Thomassen, M.S. (1998). Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*) II. White muscle composition and evaluation of freshness, texture and colour characteristics in raw and cooked fillets. *Aquaculture*, 169, 37-53.
- Einen, O., Waagan, B. & Thomassen, M.S. (1998). Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*) - I. Effects on weight loss, body shape, slaughter- and fillet-yield, proximate and fatty acid composition. *Aquaculture*, 166, 85-104.
- Esbensen, K.H. (2002). Multivariate data analysis in practice. *CAMO Process AS*, Aalborg University, Esbjerg, 598 pp.
- Espe, M. & Lie, Ø. (2001). Kapittel 16: Kvalitet. In: *Fiskeernæring*, (Eds.) R. Waagbø, M. Espe, K. Hamre & Ø. Lie. Kystnæringens Forlag og Bokklubb AS, Bergen, pp. 269-284.
- Espe, M., Ruohonen, K., Bjørnevik, M., Frøyland, L., Nortvedt, R. & Kiessling, A. (2004). Interactions between ice storage time, collagen composition, gaping and textural properties in fanned salmon muscle harvested at different times of the year. *Aquaculture*, 240, 489-504.
- Fauconneau, B., Alamidurante, H., Laroche, M., Marcel, J. & Vallot, D. (1995). Growth and meat quality relations in carp. *Aquaculture*, 129, 265-297.
- Fauconneau, B., Andre, S., Chmaitilly, J., LeBail, P.Y., Krieg, F. & Kaushik, S.J. (1997). Control of skeletal muscle fibres and adipose cells size in the flesh of rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 50, 296-314.

- Fiskeridirektoratet (2005). Lønnsomhetsundersøkelse for matfiskproduksjon, Laks og Ørret, 2004. *Fiskeridirektoratet*. Bergen. From <http://www.fiskeridir.no>
- Færgemand, J., Rønsholdt, B., Alsted, N. & Børresen, T. (1995). Fillet texture of rainbow trout as affected by feeding strategy, slaughtering procedure and storage post-mortem. *Water Science and Technology*, 31, 225-231.
- Grayton, B.D. & Beamish, F.W.H. (1977). Effects of feeding frequency on food intake, growth and body composition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 11, 159-172.
- Hagen, Ø. (2005a). Prosedyre for poly-L-Lysin behandling av objektglass. *Ikke publisert prosedyre*, Avdeling for Fiskeri og Naturfag, Høgskolen i Bodø, Norge, 1 pp.
- Hagen, Ø. (2005b). Prosedyre for prøvetaking og innfrysing av muskelblokker. *Ikke publisert prosedyre*, Avdeling for Fiskeri og Naturfag, Høgskolen i Bodø, Norge, 1 pp.
- Hagen, Ø. (2005c). Staining section with Harry's Hemotoxylin. *Ikke publisert prosedyre*, Avdeling for Fiskeri og Naturfag, Høgskolen i Bodø, Norge, 1 pp.
- Hatae, K., Tobimatsu, A., Takeyama, M. & Matsumoto, J.J. (1986). Contribution of the connective tissues on the texture difference of various fish species. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 52, 2001-2007.
- Hatae, K., Yoshimatsu, F. & Matsumoto, J.J. (1990). Role of musclefibers in contributing firmness of cooked fish. *Journal of Food Science*, 55, 693-696.
- Hurlbert, S.H. (2004). On misinterpretations of pseudoreplication and related matters: a reply to Oksanen. *Oikos*, 104, 591-597.
- Hurling, R., Rodell, J.B. & Hunt, H.D. (1996). Fiber diameter and fish texture. *Journal of Texture Studies*, 27, 679-685.
- Haard, N.F. (1992). Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish. *Food Research International*, 25, 289-307.
- Jobling, M. (2001). Kapittel 17: Sulting og restriktiv fôring. In: *Fiskeernæring*, (Eds.) R. Waagbø, M. Espe, K. Hamre & Ø. Lie. Kystnæringens Forlag og Bokklubb AS, Bergen, pp. 285-296.
- Jobling, M. & Johansen, S.J.S. (2003). Fat distribution in Atlantic salmon *Salmo salar* L. in relation to body size and feeding regime. *Aquaculture Research*, 34, 311-316.
- Johansen, S.J.S. (2003). Compensatory growth and the lipostat: patterns of growth and lipid deposition in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Dr. Scient. thesis*, Norwegian College of Fishery Science, University of Tromsø, Norway, 88 pp.
- Johansen, S.J.S. & Jobling, M. (1998). The influence of feeding regime on growth and slaughter traits of cage-reared Atlantic salmon. *Aquaculture International*, 6, 1-17.
- Johansson, L. (2001). Eating quality of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). In: *Farmed Fish Quality*, (Eds.) S. Kestin & P. Warris. Blackwells Scientific, Oxford, pp. 76-88.
- Johnsen, C.A. & Andreassen, R. (2004). Muligheter, lønnsomhet og kapitalbehov for oppstart av lakseoppdrett. *Bacheloroppgave i fiskeriøkonomi*, Avdeling for Fiskeri og Naturfag, Høgskolen i Bodø, Norge, 92 pp.
- Johnston, I.A. (1999). Muscle development and growth: potential implications for flesh quality in fish. *Aquaculture*, 177, 99-115.
- Johnston, I.A. (2001a). Genetic and environmental determinants of muscle growth pattern. In: *Muscle development and growth*, (Eds.) I. A. Johnston. Academic Press, London, pp. 141-186.
- Johnston, I.A. (2001b). Implications of muscle growth patterns for the colour and texture of fish flesh. In: *Farmed Fish Quality*, (Eds.) S. Kestin & P. Warris. Blackwells Scientific, Oxford, pp. 13-30.

- Johnston, I.A. (2006). Postembryonic muscle growth in teleosts. *Forelesning 13.3.06*, Avdeling for Fiskeri og Naturfag, Høgskolen i Bodø, Norge, pp.
- Johnston, I.A., Alderson, R., Sandham, C., Dingwall, A., Mitchell, D., Selkirk, C., Nickell, D., Baker, R., Robertson, B., Whyte, D. & Springate, J. (2000a). Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 189, 335-349.
- Johnston, I.A., Alderson, R., Sandham, C., Mitchell, D., Selkirk, C., Dingwall, A., Nickell, D., Baker, R., Robertson, B., Whyte, D. & Springate, J. (2000b). Patterns of muscle growth in early and late maturing populations of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 189, 307-333.
- Johnston, I.A., Hall, T.E. & Fernandez, D.A. (2003a). Genes regulating the growth of myotomal muscle in teleost fish. In: *Aquatic Genomics - Steps Toward a Great Future*, (Eds.) N. Shimizu, T. Aoki, I. Hirono, & F. Takashima. Springer-Verlag, Tokyo, pp. 153-166.
- Johnston, I.A., Manthri, S., Alderson, R., Campbell, P., Mitchell, D., Whyte, D., Dingwall, A., Nickell, D., Selkirk, C. & Robertson, B. (2002). Effects of dietary protein level on muscle cellularity and flesh quality in Atlantic salmon with particular reference to gaping. *Aquaculture*, 210, 259-283.
- Johnston, I.A., Manthri, S., Bickerdike, R., Dingwall, A., Luijckx, R., Campbell, P., Nickell, D. & Alderson, R. (2004). Growth performance, muscle structure and flesh quality in out-of-season Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts reared under two different photoperiod regimes. *Aquaculture*, 237, 281-300.
- Johnston, I.A., Manthri, S., Robertson, B., Campbell, P., Mitchell, D. & Alderson, R. (2000c). Family and population differences in muscle fibre recruitment in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Basic and Applied Myology*, 10, 291-296.
- Johnston, I.A., Manthri, S., Smart, A., Campbell, P., Nickell, D. & Alderson, R. (2003b). Plasticity of muscle fibre number in seawater stages of Atlantic salmon in response to photoperiod manipulation. *Journal of Experimental Biology*, 206, 3425-3435.
- Johnston, I.A. & McLay, H.A. (1997). Temperature and family effects on muscle cellularity at hatch and first feeding in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Canadian Journal of Zoology*, 75, 64-74.
- Johnston, I.A., McLay, H.A., Abercromby, M. & Robbins, D. (2000d). Phenotypic plasticity of early myogenesis and satellite cell number in Atlantic salmon spawning in an upland and a lowland tributary of a river system. *Journal of Experimental Biology*, 203, 2539-2552.
- Johnston, I.A., Straugnell, G., McCracken, M.L. & Johnstone, R. (1999). Muscle growth in normal sex ratio and all-female diploid and triploid Atlantic salmon. *Journal of Experimental Biology*, 202, 1991-2016.
- Kiessling, A., Åsgård, T., Storebakken, T., Johansson, L. & Kiessling, K.H. (1991a). Changes in the structure and function of the epaxial muscle of rainbow-trout (*Oncorhynchus mykiss*) in relation to ration and age. 3. Chemical-composition. *Aquaculture*, 93, 373-387.
- Kiessling, A., Storebakken, T., Åsgård, T. & Kiessling, K.H. (1991b). Changes in the structure and function of the epaxial muscle of rainbow-trout (*Oncorhynchus mykiss*) in relation to ration and age. 1. Growth dynamics. *Aquaculture*, 93, 335-356.
- Lavety, J., Afolabi, O.A. & Love, R.M. (1988). The connective tissues of fish. 9. Gaping in farmed species. *International Journal of Food Science and Technology*, 23, 23-30.
- Li, X.J., Bickerdike, R., Lindsay, E., Campbell, P., Nickell, D., Dingwall, A. & Johnston, I.A. (2005). Hydroxylysyl pyridinoline cross-link concentration affects the textural

- properties of fresh and smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) flesh. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 6844-6850.
- Lie, Ø. (2001). Flesh quality - the role of nutrition. *Aquaculture Research*, 32, 341-348.
- Lynum, L. (1997). Fisk som råstoff. *Tapir Forlag*, Trondheim, 261 pp.
- Lysfjord, G., Jobling, M. & Solberg, C. (2004). Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolt production strategy affects body composition and early seawater growth. *Aquaculture*, 237, 191-205.
- Lysfjord, G. & Solberg, C. (2006). Effect of different production strategies on growth pattern and fillet quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Unpublished*, Bodø University College, Bodø, 35 pp.
- Morris, P.C. (2001). The effects of Nutrition on the composition of farmed fish. In: *Farmed Fish Quality*, (Eds.) S. Kestin & P. Warris. Blackwells Scientific, Oxford, pp. 161-179.
- Mørkøre, T. & Rørvik, K.A. (2001). Seasonal variations in growth, feed utilisation and product quality of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) transferred to seawater as 0+smolts or 1+smolts. *Aquaculture*, 199, 145-157.
- Nickell, D.C. & Springate, J.R.C. (2001). Pigmentation in farmed salmonids. In: *Farmed Fish Quality*, (Eds.) S. Kestin & P. Warris. Blackwells Scientific, Oxford, pp. 58-75.
- Nordgarden, U., Oppedal, F., Taranger, G.L., Hemre, G.I. & Hansen, T. (2003a). Seasonally changing metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) I - Growth and feed conversion ratio. *Aquaculture Nutrition*, 9, 287-293.
- Nordgarden, U., Ornsrud, R., Hansen, T. & Hemre, G.I. (2003b). Seasonal changes in selected muscle quality parameters in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared under natural and continuous light. *Aquaculture Nutrition*, 9, 161-168.
- NS-9401 (1994). Atlantic salmon - Reference sampling for quality measurements. Norges standardiseringsforbund. Oslo.
- NS-9402 (1994). Atlantic salmon - Measurement of colour and fat. Norges standardiseringsforbund. Oslo.
- Oksanen, L. (2001). Logic of experiments in ecology: is pseudoreplication a pseudoissue? *Oikos*, 94, 27-38.
- Oksanen, L. (2004). The devil lies in details: reply to Stuart Hurlbert. *Oikos*, 104, 598-605.
- Rasmussen, R.S. (2001). Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics. *Aquaculture Research*, 32, 767-786.
- Robb, D.H.F. (2001). Measurement of fish flesh colour. In: *Farmed Fish Quality*, (Eds.) S. Kestin & P. Warris. Blackwells Scientific, Oxford, pp. 298-306.
- Roth, B., Johansen, S.J.S., Suontama, J., Kiessling, A., Leknes, O., Guldborg, B. & Handeland, S. (2005). Seasonal variation in flesh quality, comparison between large and small Atlantic salmon (*Salmo salar*) transferred into seawater as 0+or 1+smolts. *Aquaculture*, 250, 830-840.
- Rowlerson, A. & Vagetti, A. (2001). Cellular mechanisms of post-embryonic muscle growth in aquaculture species. In: *Muscle Development and Growth*, (Eds.) I. A. Johnston. San Diego, pp. 103-140.
- Sall, J., Creighton, L. & Lehman, A. (2005). JMP Start Statistics. *Thomson Brooks/Cole*, Belmont, 560 pp.
- Sanger, A.M. & Stoiber, W. (2001). Muscle fiber diversity and placticity. In: *Muscle Development and Growth*, (Eds.) I. A. Johnston. San Diego, pp. 187-250.
- Sato, K., Yoshinaka, R., Sato, M. & Shimizu, Y. (1986). Collagen content in the muscle of fishes in association with their swimming movement and meat texture. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 52, 1595-1600.

- Shearer, K.D. (1994). Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids. *Aquaculture*, 119, 63-88.
- Shearer, K.D. (2001). The effect of diet composition and feeding regime on the proximate composition of farmed fishes. In: *Farmed Fish Quality*, (Eds.) S. Kestin & P. Warris. Blackwells Scientific, Oxford, pp. 31-41.
- Shearer, K.D., Asgard, T., Andorsdottir, G. & Aas, G.H. (1994). Whole-body elemental and proximate composition of atlantic salmon (*Salmo salar*) during the lifecycle. *Journal of Fish Biology*, 44, 785-797.
- Sigurgisladottir, S., Hafsteinsson, H., Jonsson, A. & Lie, Ø. (1999). Textural properties of raw salmon fillets as related to sampling method. *Journal of Food Science*, 64, 99-104.
- Sigurgisladottir, S., Sigurdardottir, M.S., Ingvarsdottir, H., Torrissen, O.J. & Hafsteinsson, H. (2001). Microstructure and texture of fresh and smoked Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fillets from fish reared and slaughtered under different conditions. *Aquaculture Research*, 32, 1-10.
- Sinnott, R. (2001). Carcass quality monitoring at the farm and factory. In: *Farmed Fish Quality*, (Eds.) S. Kestin & P. Warris. Blackwells Scientific, Oxford, pp. 318-334.
- Skretting (2003). Den norske fôrkatologen. *Skretting AS*, Stavanger, 40 pp.
- Solberg, C. (1992). Kvalitetssikring og objektive analysemetoder. *Fiskeriforskning*. Tromsø. NFFR nr. 3001-2800.008.
- Solberg, C. (1996). Use of near infrared transmittance in quality analysis of fish. In: *Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves*, (Eds.) A. M. C. Davies & P. Williams. NIR Publications, Charlton, pp. 591-595.
- Solberg, C. (2004). Influence of dietary oil content on the growth and chemical composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture Nutrition*, 10, 31-37.
- Solberg, C. & Fredriksen, G. (2001). Analysis of fat and dry matter in capelin by near infrared transmission spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 9, 221-228.
- Solberg, C., Saugen, E., Swenson, L.P., Bruun, L. & Isaksson, T. (2003). Determination of fat in live farmed Atlantic salmon using non-invasive NIR techniques. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 692-696.
- Sollid, H. & Solberg, C. (1992). Salmon fat-content estimation by near-infrared transmission spectroscopy. *Journal of Food Science*, 57, 792-793.
- Stead, C.M. & Laird, L. (2002). Handbook of salmon farming. *Praxis Publishing*, Chichester, UK, 502 pp.
- Storebakken, T., Hung, S.S.O., Calvert, C.C. & Plisetskaya, E.M. (1991). Nutrient partitioning in rainbow trout at different feeding rates. *Aquaculture*, 96, 191-203.
- Valente, L.M.P., Rocha, E., Gomes, E.F.S., Silva, M.W., Oliveira, M.H., Monteiro, R.A.F. & Fauconneau, B. (1999). Growth dynamics of white and red muscle fibres in fast- and slow-growing strains of rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 55, 675-691.
- Vieira, V.L.A., Johansen, S.J.S., Bickerdike, R. & Johnston, I.A. (2005). Impact of accelerated smoltification on muscle structure and fillet firmness at harvest in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 246, 197-208.
- Young, A., Morris, P.C., Huntingford, F.A. & Sinnott, R. (2005). The effects of diet, feeding regime and catch-up growth on flesh quality attributes of large (1+sea winter) Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 248, 59-73.
- Zar, J.H. (1999). Biostatistical Analysis. *Prentice Hall*, New Jersey, 660 pp.
- Åseng, J.E. (2005). Fôr til fisk. *Foredrag, Fiskeri- og havbruksdagen, 8.april 2005*, Høgskolen i Bodø, Ewos.

Vedlegg

Tabell 17: Resultater Student's t-test uten vektkorrigering, vår og høst 2005

Våruttak (V) testet mot høstuttak (H). Verdier som er tatt med og beregnet er; forsøksuttak testet mot hverandre med aktuell variabel, antall prøver (fisk) som ligger til grunn for testen, p-verdi, grad av signifikans, teststyrke, og Least Signifikant Number (LSN). Hovedeffekten som kommer frem er fra både vekt og sesong, og betyr at vektforskjellen kan være utslagsgivende. Resultatene viser en signifikant forskjell mellom vår og høstuttaket for alle variablene, unntaket er for pH.

Regime, variabel	Ant	P-verdi	Sign.	Test-styrke	LSN
V/H, rund vekt (kg)	160	<,001	***	1,00	5
V/H, sløyd vekt (kg)	160	<,001	***	1,00	5
V/H, lengde (cm)	160	<,001	***	1,00	5
V/H, kond. faktor (%)	160	<,001	***	1,00	25
V/H, slakteutbytte (%)	160	<,001	***	1,00	10
V/H, fett (%)	160	<,001	***	1,00	5
V/H, vann (%)	160	<,001	***	1,00	5
V/H, protein (%)	160	<,001	***	1,00	20
V/H, pH	160	0,075	IS	0,43	194
V/H, hardhet-F (kg)	160	<,001	***	1,00	5
V/H, arbeid-A (kgs)	160	<,001	***	1,00	5
V/H, L [*] (lyshet)	160	0,034	*	0,57	137
V/H, a [*] (rødfarge)	160	<,001	***	1,00	13
V/H, b [*] (guldfarge)	160	<,001	***	1,00	10
V/H, fiber diameter (µm)	80	<,001	***	1,00	5
V/H, fiber areal (µm ²)	80	<,001	***	1,00	5
V/H, fiber tetthet (mm ⁻²)	80	<,001	***	1,00	6
V/H, fiber antall	80	0,017	**	0,68	54

Tabell 18: Resultater Student's t-test uten vektkorrigerings, vår 2005

Kontrollgruppe (K) testet mot restriktiv gruppe (R) i våruttaket (1). Verdier som er tatt med og beregnet er; fôringsregimer testet mot hverandre med aktuell variabel, antall prøver (fisk) som ligger til grunn for testen, p-verdi, grad av signifikans, teststyrke, og Least Significant Number (LSN). Hovedeffekten som kommer frem er fra både vekt og fôringsregime, og betyr at vektforskjellen kan være utslagsgivende. Resultatene viser en signifikant forskjell mellom gruppene for variablene; protein, pH, rødfarge, og gulfarge.

Regime, variabel	Ant	P-verdi	Sign.	Test- styrke	LSN
K1/R1, rund vekt (kg)	80	0,408	IS	0,13	447
K1/R1, sløyd vekt (kg)	80	0,370	IS	0,14	380
K1/R1, lengde (cm)	80	0,618	IS	0,08	1232
K1/R1, kond. faktor (%)	80	0,141	IS	0,31	142
K1/R1, utbytte (%)	80	0,289	IS	0,18	273
K1/R1, fett (%)	80	0,545	IS	0,09	836
K1/R1, vann (%)	80	0,629	IS	0,08	1310
K1/R1, protein (%)	80	<,001	***	0,98	21
K1/R1, pH	80	0,007	**	0,79	43
K1/R1, hardhet-F (kg)	80	0,403	IS	0,13	438
K1/R1, arbeid-A (kgs)	80	0,524	IS	0,10	753
K1/R1, L [*] (lyshet)	80	0,971	IS	0,05	234435
K1/R1, a [*] (rødfarge)	80	0,001	**	0,92	29
K1/R1, b [*] (gulfarge)	80	0,022	*	0,64	59
K1/R1, fiber diameter (µm)	40	0,382	IS	0,14	199
K1/R1, fiber areal (µm ²)	40	0,312	IS	0,17	149
K1/R1, fiber tetthet (mm ⁻²)	40	0,102	IS	0,37	58
K1/R1, fiber antall	40	0,340	IS	0,16	168

Tabell 19: Resultater Student's t-test uten vektkorrigerings, høst 2005

Kontrollgruppe (K) testet mot restriktiv gruppe (R) i høstuttaket (2). Verdier som er tatt med og beregnet er; fôringsregimer testet mot hverandre med aktuell variabel, antall prøver (fisk) som ligger til grunn for testen, p-verdi, grad av signifikans, teststyrke, og Least Significant Number (LSN). Hovedeffekten som kommer frem er fra både vekt og fôringsregime, og betyr at vektforskjellen kan være utslagsgivende. Resultatene viser en signifikant forskjell mellom gruppene for variablene; pH, hardhet, arbeid, rødfarge, gulfarge, fiberdiameter, -areal, -tetthet og -antall.

Regime, variabel	Ant	P-verdi	Sign.	Teststyrke	LSN
K2/R2, rund vekt (kg)	80	0,188	IS	0,26	177
K2/R2, sløyd vekt (kg)	80	0,132	IS	0,32	135
K2/R2, lengde (cm)	80	0,054	IS	0,49	83
K2/R2, kond. faktor (%)	80	0,371	IS	0,14	383
K2/R2, utbytte (%)	80	0,069	IS	0,45	93
K2/R2, fett (%)	80	0,997	IS	0,05	22511930
K2/R2, vann (%)	80	0,637	IS	0,08	1376
K2/R2, protein (%)	80	0,056	IS	0,48	84
K2/R2, pH	80	0,006	**	0,81	41
K2/R2, hardhet-F (kg)	80	<,001	***	0,93	28
K2/R2, arbeid-A (kgs)	80	0,010	**	0,74	47
K2/R2, L* (lyshet)	80	0,698	IS	0,07	2033
K2/R2, a* (rødfarge)	80	<,001	***	0,99	20
K2/R2, b* (gulfarge)	80	<,001	***	1,00	11
K2/R2, fiber diameter (µm)	40	<,001	***	1,00	10
K2/R2, fiber areal (µm ²)	40	<,001	***	1,00	10
K2/R2, fiber tetthet (mm ⁻²)	40	<,001	***	1,00	10
K2/R2, fiber antall	40	<,001	***	1,00	10