

Tekstur i oppdrettslaks

Kunnskapsstatus og forhold som bidrar til fastere filet

Av Turid Mørkøre

Innholdsliste

1. Tekstur og filetspalting	s. 2
2. Målemetoder	s. 3
3. Biologisk variasjon	s. 5
4. Variasjon over tid, 1995-2007	s. 8
5. Genetisk opphav og smoltttype	s. 10
6. Tilvekst, fôr og fôring	s. 11
7. Helsetilstand	s. 14
8. Slakting	s. 17
9. Oppsummering/ tiltak	s. 17
10. Litteratur	s. 18

1. Tekstur og filetpalting

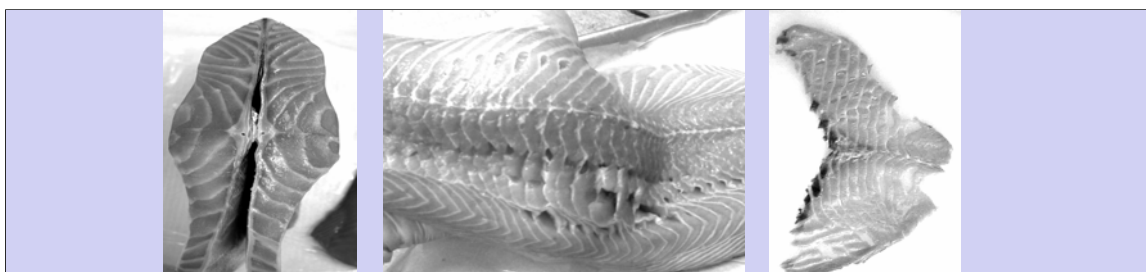
Tekstur er en fellesbetegnelse for de egenskaper som kan fornemmes med fingrene og i munnen. Et eksempel er hardhet som oppfattes både med fingrene og i munnen. Et annet eksempel er saftighet som kun oppleves i munnen. Noen andre uttrykk som beskriver tekturen i fiskemuskel er listet i Tabell 1. Begrepene tekstur og konsistens brukes ofte om hverandre.



Fiskefileter er bygget opp av muskelsegmenter som er festet til hverandre med bindevev. Filetpalting oppstår når bindevevet mellom muskelsegmentene sprekker. Begrepene filetpalting og gaping brukes ofte om hverandre. Kvalitetslaks har kjøtt med god fasthet og spenst, mens bløt tekstur og filetpalting fører til redusert utbytte og nedklassing – i noen tilfeller også reklamasjoner fra markedet. Ofte er det en sammenheng mellom bløt tekstur og filetpalting, men det trenger nødvendigvis ikke å være det. Årsaker til avvikende tekstur og filetpalting kan være knyttet til oppdrettsfasen (miljøforhold, fôr/fôring, helsetilstand), slakteprosessen (stressnivå ved opptak, transport, pumping, bedøvelse) og lagring (temperatur, hygieniske forhold, varighet), eller en kombinasjon av disse faktorene.

Tabell 1. Noen uttrykk som beskriver teksturegenskaper i fiskekjøtt

Hardhet	Bløthet	Tørthet
Fasthet	Mykhet	Saltighet
Mørhet	Klebrighet	Fethet
Elastisitet	Fibrighet	Tyggbarhet
Seighet	Tråhet	Smørbarhet



Figur 1. Laksekotelett med god spenst og fast tekstur (Birkeland&Akse), fersk laksefilet med spalting og skive av røkt laksefilet med spalting (Mørkøre)

2. Målemetoder

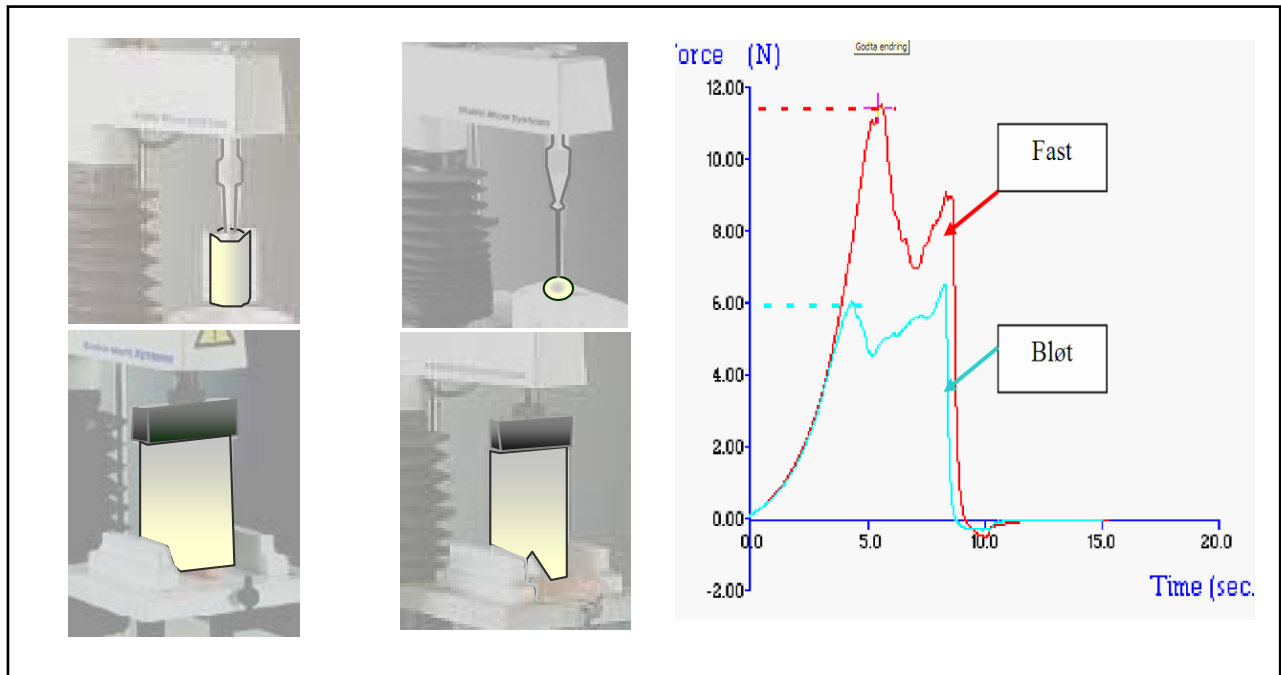
Sensoriske målemetoder

”Damernes Haandbok” fra 1918 gir følgende definisjon på god fisk: ”God fisk skal være fast i kjøttet, saa fingertryk straks går ut av sig selv”. Akkurat som for 90 år siden, er fastheten i fiskekjøttet blant de egenskapene som bidrar mest til kvalitetsopplevelsen, og fingertrykk er fortsatt den mest brukte måten å bedømme fastheten i fiskekjøttet på. Fasthetsvurderinger basert på fingertrykk er unøyaktige og personavhengige, og derfor lite egnet dersom man ønsker et objektivt, nøyaktig mål på fiskens fasthet. Sensoriske panel kan utføre teksturmålinger ved kontrollerte betingelser og analysene kan derved gjøres mer objektivt. Det finnes ulike typer sensoriske målemetoder, og dommerne i panelet kan være mer eller mindre trente. Sensoriske analyser kan omfatte evaluering av flere egenskaper samtidig, der både munnfølelse og fingerfølelse kan inngå. Det vil imidlertid finnes begrensninger for hvor mange prøver hver dommer klarer å bedømme. Videre kan det være vanskelig å sammenligne resultater fra en sensorisk undersøkelse med en annen. Forbrukerundersøkelser benyttes også til vurdering av fiskens tekstur. Slike undersøkelser kan bestå i å vurdere om fisken oppfyller forventningene til produktet, eller om en tilfeldig forbruker er i stand til å skille mellom fisk som har fått ulik behandling (ulikt fôr, slaktebetingelser mm).

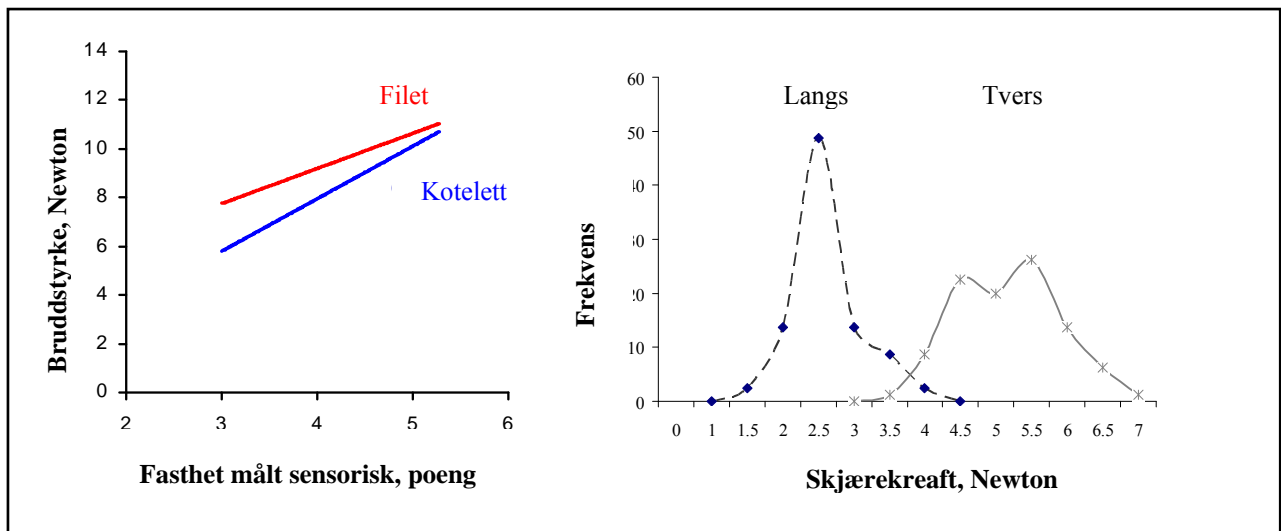
Instrumentelle målemetoder

Fordeler med instrumentelle metoder, er at målingene kan utføres raskt og kostnaden er gjerne lavere enn for sensoriske analyser. Instrumentene som benyttes er generelt stabile, hvilket gjør det mulig å sammenligne resultater fra målinger tatt ved forskjellige tidspunkt og ved forskjellige laboratorier. Målingene påvirkes ikke av menneskelige faktorer, slik som produktpreferanse, og det er mulig å utføre mange påfølgende målinger uten at resultatene påvirkes av dette. Instrumentelle analyser vil imidlertid være begrenset til å beskrive enkeltegenskaper, for eksempel fasthet. Forskjellige metoder benyttes i dag, men prinsippet består for de fleste metoder i å trykke en sylinder, kule eller kniv ned i fiskekjøttet med en konstant hastighet. Fisk som er bløt i kjøttet yter liten motstand ved trykk eller skjæring, mens fisk som er fast i kjøttet vil yte større motstand. Ved norske laboratorier benyttes ofte en sylinder med en diameter tilsvarende størrelsen på en jeksel, eller en uskarp kniv ved teksturmålinger (Figur 2). Flere undersøkelser har vist godt samsvar mellom sensorisk bedømt fasthet og den kraften som skal til for å trykke en sylinder gjennom overflaten på fileten eller kotelett (Figur 3). Denne teksturparameteren betegnes ofte ”bruddstyrken”, og bruddstyrken målt på fersk laks har vist godt samsvar med sensorisk opplevelse av fasthet i både rå og røkt laks. I praksis innebærer det at instrumentelle teksturmålinger av rå laks kan benyttes til å forutsi den sensoriske opplevelsen av fasthet i røkt laks. Figur 3 viser et eksempel på grafer fremkommet ved instrumentell måling av laks med hhv bløt og fast tekstur ved bruk av en slik sylinder. Også skjærekraften ved bruk av en såkalt WarnerBratzler kniv (Figur 2, nederst th) har vist seg å gi et godt mål på fastheten i fersk laks, mens målinger med kule eller kniv med et flatt blad (Figur 2, nederst tv) har vist en svakere sammenheng til sensorisk teksturopplevelse.

Det er viktig at instrumentelle målinger utføres ved en gitt temperatur og på et utvalgt område på fileten for at resultatene skal være sammenlignbare mellom ulike undersøkelser. Fiskefileten er oppbygget av muskelceller (muskelfibre) som er organisert i bunter som kan sees som tynne tråder som går i fiskens lengderetning. Det er viktig at fiberretningen alltid er den samme ved teksturmåling. Figur 3 til høyre nedenfor viser at kraften som skal til for å skjære gjennom fersk laksemuskel er lavere når analysen utføres på langs av fibreene heller enn på tvers av fibreene. Det arbeides med å identifisere biokjemiske markører med nær sammenheng til teksturen i laks, og med kartlegging av metoder som kan gi et mål på teksturen uten å skjære i fisken (on-line måling).



Figur 2. Eksempler på utstyr som benyttes ved instrumentelle teksturmålinger (venstre, Sigurgisladottir m.fl, 1999), og resultat fra teksturmåling av laks med fast og bløt tekstur (målt ved bruk av sylindere på fersk laks) (høyre, Mørkøre og Rørå 1999).



Figur 3. Sammenheng mellom fasthet målt sensorisk og instrumentelt ved bruk av sylindere (venstre, Mørkøre og Rørå 1999) og skjærekraft målt ved WarnerBratzler kniv på langs eller på tvers av muskelfiberne (høyre, Mørkøre, Ruohonen, Kiessling 2008).

Måling av filetspalting

Det finnes ingen standardmetode for måling av filetspalting, og flere forskjellige metoder blir benyttet ved ulike laboratorier og av industrien. Nedenfor er det vist to poengskalaer som er mye brukt (her definert som Kiessling metoden og Andersen metoden). Kiessling metoden har en poengskala som går fra 1 - 4, der 1 poeng tilsvarer ingen spalting mens fileter som har spalting i områder på mer enn 10 cm av filetoverflatens lengderetning, får 4 poeng. Andersen metoden har en poengskala som går fra 0 – 5, der 0 poeng tilsvarer ingen spalting, mens 5 poeng tilsvarer ekstrem spalting. Hovedforskjellen mellom metodene er at Kiessling metoden beskriver hvor stort områder av fileten har spalter, mens Andersen metoden tar hensyn til antall spalter og størrelsen av disse. Det finnes ingen tilgjengelig instrumentell metode for måling av filetspalting.

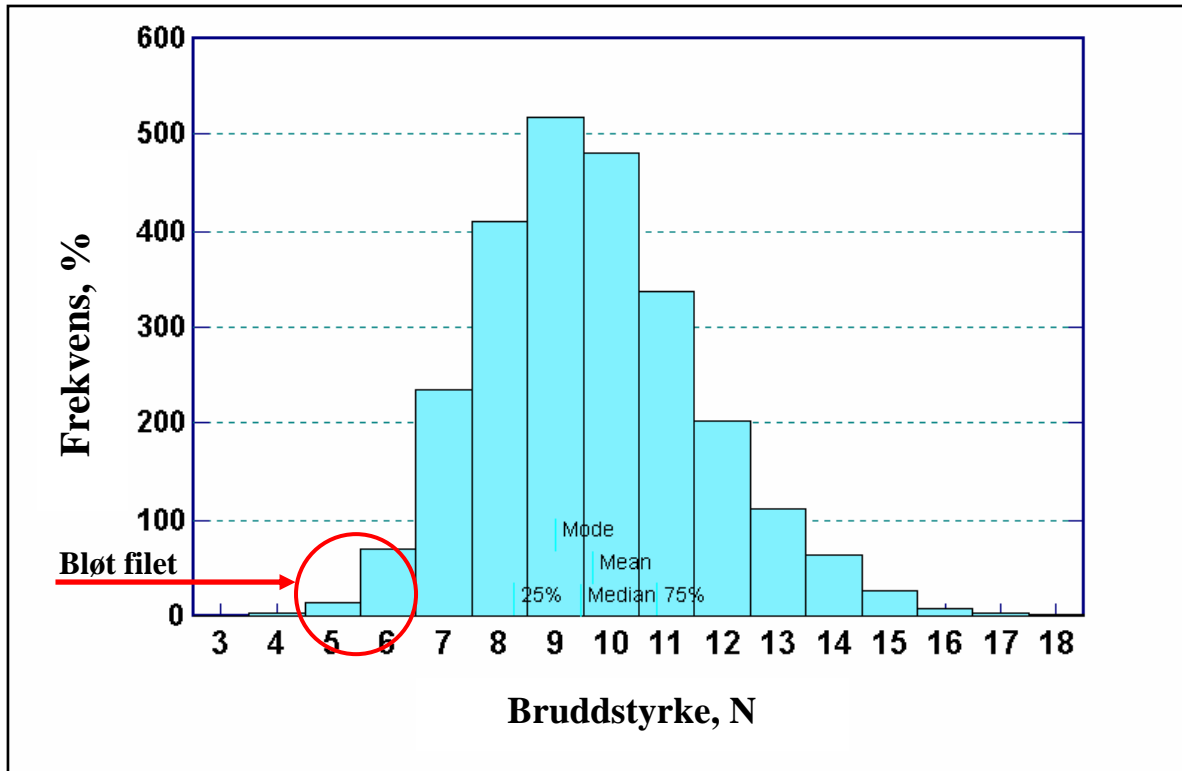
Tabell 2. To metoder som ofte benyttes for måling av filetspalting i laksefilet

Kiessling Metoden (Kiessling m.fl. 2004)	Andersen Metoden (Andersen m.fl. 1994)
Poeng <ul style="list-style-type: none">• 1 = <u>ingen spalting</u>• 2 = 1 – 5 cm• 3 = 6 – 10 cm• 4 = > 10 cm• Av fileten har spalting	Poeng <ul style="list-style-type: none">• 0 = <u>ingen spalting</u>• 1 = < 5 små spalter (< 2 cm)• 2 = < 10 små spalter• 3 = > 10 små spalter, evt noen store (> 2 cm)• 4 = mange store spalter• 5 = <u>ekstrem spalting</u>

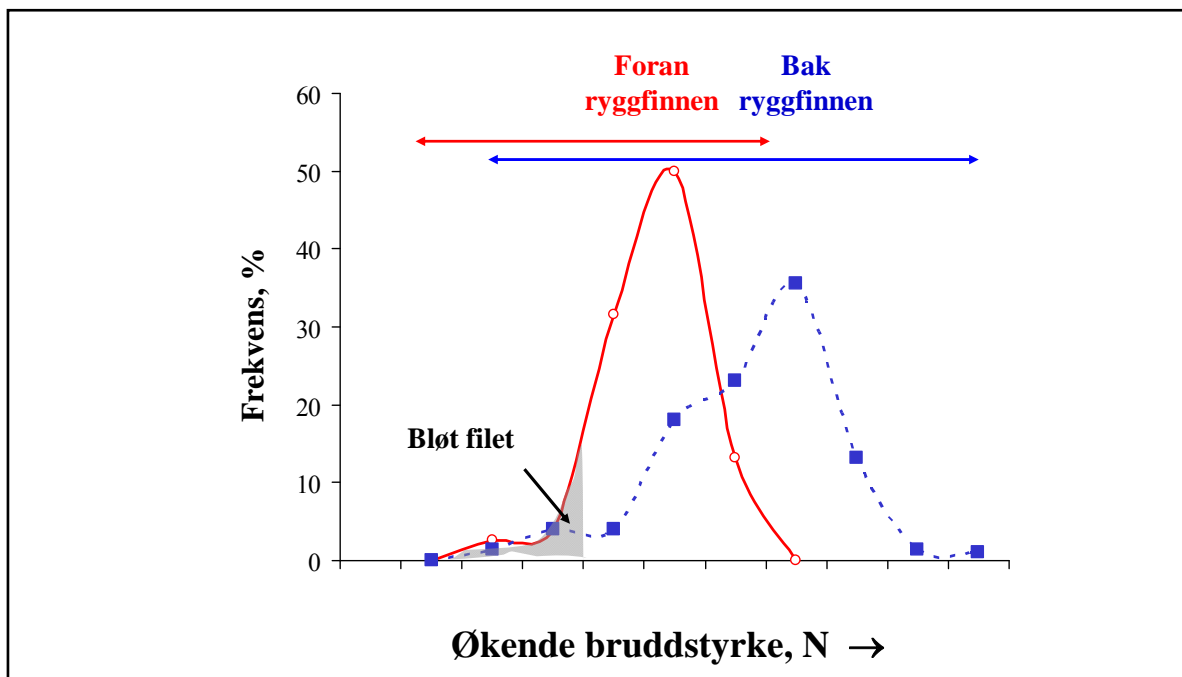
3. Biologisk variasjon

Variasjon mellom individer

Teksturegenskaper hos laks varierer betydelig mellom individer fra samme merd. Figur 4 viser variasjon i tekstur mellom individer fra samme populasjon (målinger av 2500 laks, 4kg i gjennomsnitt). Det fremgår av figuren at mesteparten av laksen har en bruddstyrke på 8 - 11Newton, som er helt normalt. En viss andel av laksen har imidlertid en bruddstyrke som er lavere enn 6Newton. Erfaringsmessig er en bruddstyrke på 6Newton ensbetydende med bløt filet (når teksturen måles med sylinder i ryggen). Det vil si at i underkant av 4% av fisken i denne populasjonen hadde bløt tekstur. Med dagens produksjonsform, må vi nok forvente at en viss andel av fisken vil ha bløt tekstur. Målet må være å redusere denne andelen til et absolutt minimum.



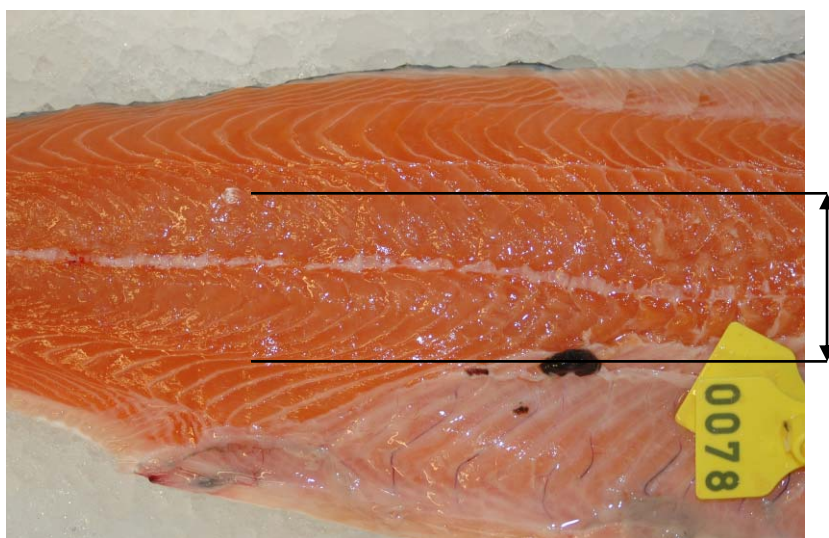
Figur 4. Variasjon i bruddstyrke hos 2500 laks fra samme populasjon (upubliserte resultater).



Figur 5. Variasjon i fasthet (bruddstyrke) målt i ryggen foran ryggfinner (rød, ubrutt linje) og over sidelinjen mellom bakre del av ryggfinner og gattet, NKS (blå stiplet linje) i 80 oppdrettslaks (3.5 kg i gjennomsnitt) (Mørkøre, Ruohonen, Kiessling, 2008).

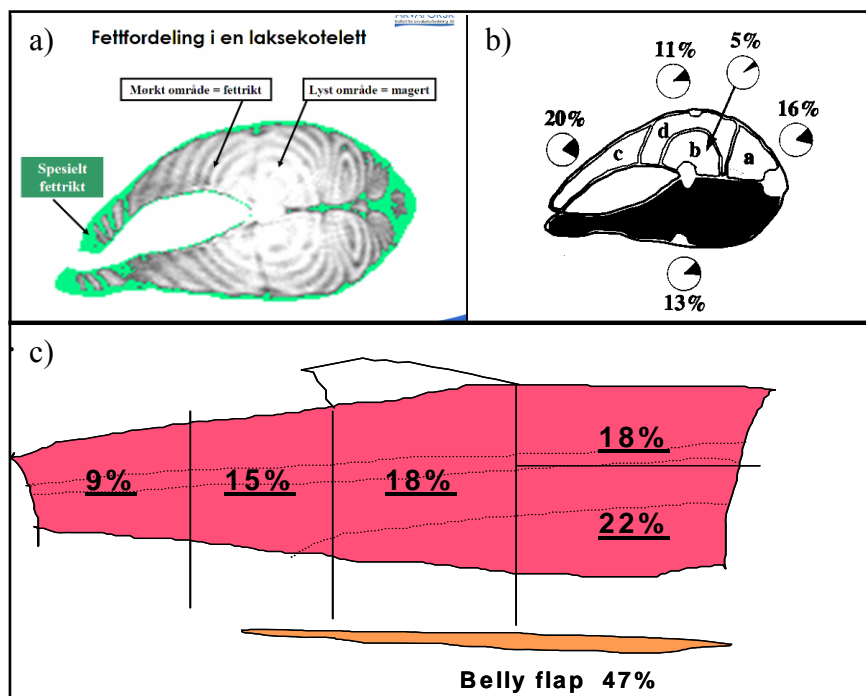
Variasjon mellom ulike deler av samme filet

Fastheten øker generelt i retning hode → spore. En studie av 80 laks fra samme merd viste at filetene i gjennomsnitt var fastere i sporeregionen enn foran ryggfinnen, men fastheten varierte mer i sporeregionen og bløt tekstur forekom omtrent like ofte i sporen som i ryggen (skravert område i Figur 5). Målet er at fastheten skal være god i hele fileten, men av og til kan enten hele fileter eller deler av fileten ha bløt tekstur. Dersom dette gjelder området langs midtlinjen i sporeregionen, er bløt tekstur ofte sammenfallende med at strukturen i fileten er utflytende og at skillet mellom muskelsegmentene er utydelig (Figur 6).



Figur 6. Bildet illustrerer område på fileten som synes å være utsatt for å utvikle bløt tekstur: Bløt stripe 4-5 cm bred mot ryggbeinet. Mest typisk: haleparti fram mot ryggfinnen (1/2 fileten) (Foto U.Erikson)

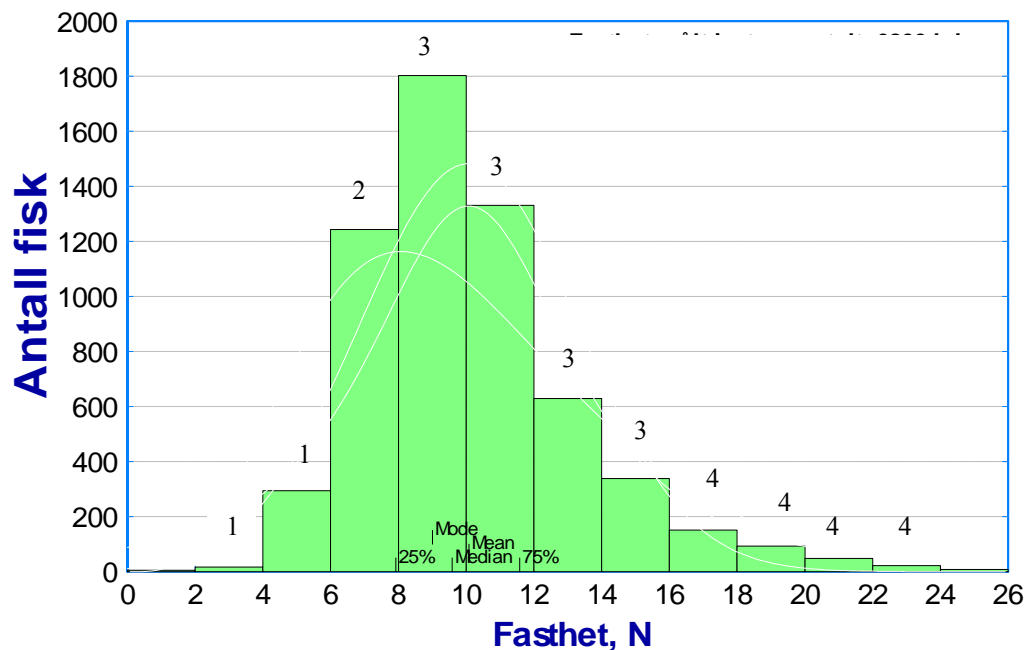
Årsaker til variasjonen innen samme filet er sammensatte. Bredden av muskelsegmentene er størst og bindevevmengden er lavere i ryggpartiet. Fettinnholdet er avtakende mot sporen og muskelcellene er ulikt organisert foran og bak på fileten. Også innen samme kotelett kan det være betydelig forskjell i fastheten. Nedenfor er det vist et bilde av en laksekotelett, tatt ved data-tomografering, i forkant av ryggfinnen av en 4 kilos laks (Figur 7). Bildet illustrerer hvordan fettinnholdet varierer mellom ulike deler av samme kotelett, og slik vil det også være med mengden og sammensetning av andre kjemiske komponenter, f.eks. bindevevet. Muskel med mye bindevev er fastere i teksturen, mens lavt innhold av bindevev kan gi bløt tekstur. I tillegg har sammensetningen og styrken (grad av kryssbindinger) av bindevevet betydning for fastheten. Laks med høyt fettinnhold er ofte mykere, men dette vil ikke oppfattes som noe problem for laks med et gjennomsnitts fettinnhold lavere enn 19-20%. Aktiviteten til ulike muskelgrupper innen samme filet er også varierende, der for eksempel muskelgruppene i sporeregionen vil være annerledes involvert i svømmeaktivitet enn de lenger fremme på fileten. Variasjonen i aktivitet mellom ulike deler av fileten, vil påvirke energiomsetning og de biokjemiske prosessene. Det er kjent at enzymaktiviteten i laks og andre fiskeslag har betydning for nedbrytning av muskel ved lagring, men det er et uttalt behov for mer kunnskap om hvilken betydning årstid, veksthastighet, fysiologisk status osv har for enzymaktivitet i laksemuskel. Videre mangler vi kunnskap om variasjon i enzymaktivitet mellom ulike filetdeler av laks. Hos regnbueørret er det vist at sporen mister spensten raskere enn ryggpartiet ved islagring og frysing. Slik dokumentasjon foreligger ikke for laks.



Figur 7. Kjemisk sammensetning varierer betydelig mellom ulike deler av samme filett – her illustrert ved variasjon i fettinnhold som vi har mest kunnskap om. a) Bilde av laksekotelett tatt ved datatomografering, illustrerer hvordan muskelsegmentene er organisert og fettdistribusjon (upublisert), b) Fettinnhold i ulike deler av samme kotelett målt ved kjemisk analyse (Bæverfjord&Rye 1994), c) Fettinnhold målt kjemisk i ulike deler av samme filett (Einen m.fl. 1998)

4. Variasjon over tid

For å få et bilde av hvordan teksturen har utviklet seg over tid, er sammenlignbare resultater fra instrumentelle teksturanalyser sammenstilt for perioden 1995 – 2007 (bruddstyrke målt i ryggpartiet ved bruk av sylindrisk probe). Til sammen inngår analyseresultater av 6675 individer i datamatriksen. Laksen i matriksen stammer fra ulike kommersielle anlegg og fra ulike forsøk i regi av AKVAFORSK. Det er kun benyttet analyseresultater fra ”normal” laks, dvs at syk fisk eller fisk med spesielle avvik er utelatt fra datamaterialet. Gjennomsnittsvekten er 4 kg rundvekt, og alle analyseresultater er av laks filetert post-rigor 4 – 7 dager etter slakting. Resultater for variasjon over tid, er kun vist der det foreligger mer enn 500 registreringer per år (Figur 8).



Figur 8. Teksturvariasjon (bruddstyrke, N) i norsk laks. Målingene er utført instrumentelt av laks i perioden 1995-2007 av 6675 laks med en gjennomsnittsvekt på 4kg (rundvekt). Tallene over søylene indikerer: 1) Bløt, 2) God fasthet, men utsatt for å bli bløt ved f.eks. stress i slakteprosessen, 3) Fast og fin, optimal, 4) Hard (upublisert).



Figur 9. Variasjon i fasthet (bruddstyrke) av laksefilet i perioden 1995-2007. Antall fisk analysert er >500 per år, gjennomsnittsvekt 4 kg rund.

Teksturen synes å variere betydelig fra år til år (Figur 8). Ut fra foreliggende resultater ser det ut til at årene 1995, 1996 og 2000 utmerket seg med lavest fasthet, mens laksen var særdeles fast i kjøttet i 1998, men også i 1997 og 2006 viste resultatene god fasthet i fileten. Fjorårets resultater viser at laksen var middels fast sammenlignet med tidligere år, i gjennomsnitt. Fastheten avtok for laks fra samtlige regioner fra 2006 til 2007. Graden av filetspalting økte også noe fra 2006 til 2007, og det kan tyde på at fettinnholdet i laksen også økte i samme periode.

Teksturen varierer også gjennom året, men variasjonen ser ut til være ulik langs kysten. En oppdeling av Norge i region Sør, Midt (Nordland – Bergen) og Nord, viser at den kritiske perioden mht tekstur for 2007 var i 1. og 4. kvartal i region Nord, mens den kritiske perioden for region Midt og Sør Norge var i 2. kvartal. En bedre og mer systematisk oppfølging av variasjonene i tekstur for ulike regioner kunne gitt et bedre grunnlag for igangsetting av tiltak for å sikre fast tekstur gjennom hele året.

5. Genetisk opphav og smolttype

Både utenlandske og norske undersøkelser har vist at teksturen kan variere betydelig mellom laksestammer. Disse forskjellene har til dels vært satt i sammenheng med størrelsen på muskelfibrene i fileten. For eksempel fant skotske forskere betydelige forskjeller i fasthet mellom en seint voksende og en hurtigvoksende laksestamme, og disse forskjellene mente de var knyttet til ulik fiberstørrelse mellom stammene, der fiberstørrelsen var mindre hos den seintvoksende stammen med fastere tekstur. De samme forskerne mener også å ha dokumentasjon på at miljøforholdene i ferskvann har betydning for teksturen ved slakting. Også i Norge har man lenge hatt mistanke om at smoltkvaliteten har betydning for kvalitetsegenskapene ved slakting, også teksturen. En slik sammenheng er ikke tilstrekkelig dokumentert. For ca. ti år siden ble det gjennomført en studie av norsk laks av NLA stammen, fordelt på mer enn 200 avkomsgrupper. Resultatene viste at teksturen (bruddstyrken) varierte mellom familier, hvilket i praksis innebærer at det er mulig å gjennomføre avlsarbeid for bedre tekstur med rimelig god respons. Ugunstige genetiske sammenhenger med andre produksjonsegenskaper ble ikke påvist.

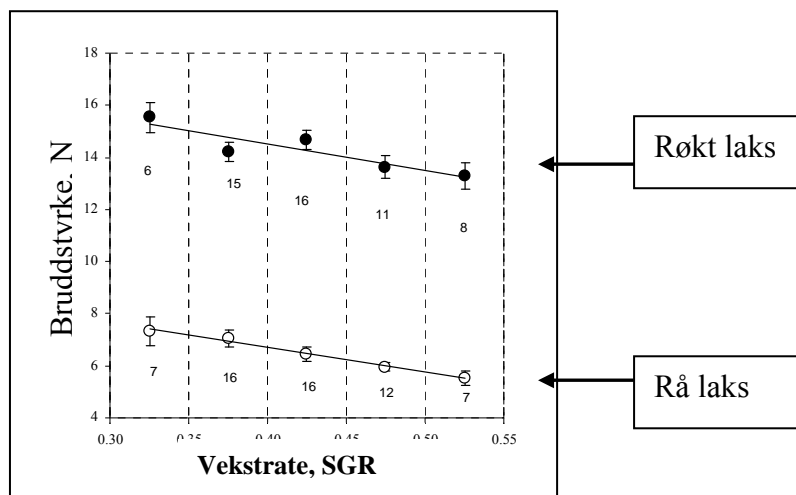
Det har vært spekulert i om teksturen varierer mellom høst og vårsmolt. Hittil har dette ikke vært påvist. I forsøk der en har funnet forskjell mellom smolttypene, har disse vist seg å være knyttet til andre faktorer enn smolttypen per se, for eksempel vekstmønsteret hos fisken.

6. Tilvekst, fôr og fôring

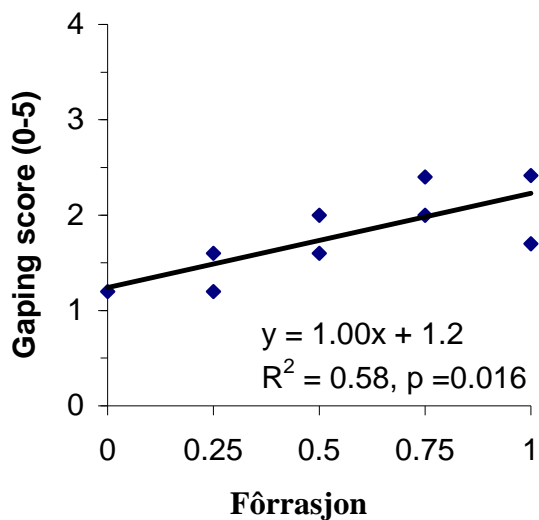
Tilvekst og fôrstyrke

Teksturen i oppdrettsfisk kan variere betydelig gjennom året. Flere årsaker spiller inn, men det er dokumentert i flere forsøk at rask vekst i perioden før slakting kan gi bløtere tekstur (Figur 10). Spesielt ser dette ut til å gjelde laks som er i en spurtvekstperiode etter en periode med lav vekst (kompensasjonsvekst). Generelt trenger veksten for hele produksjonsperioden i sjø ikke å samvariere med fastheten i fileten, men vi trenger mer kunnskap om sammenhengen mellom veksthastighet til ulike tider gjennom produksjonen og fastheten i fileten ved slaktetidspunktet.

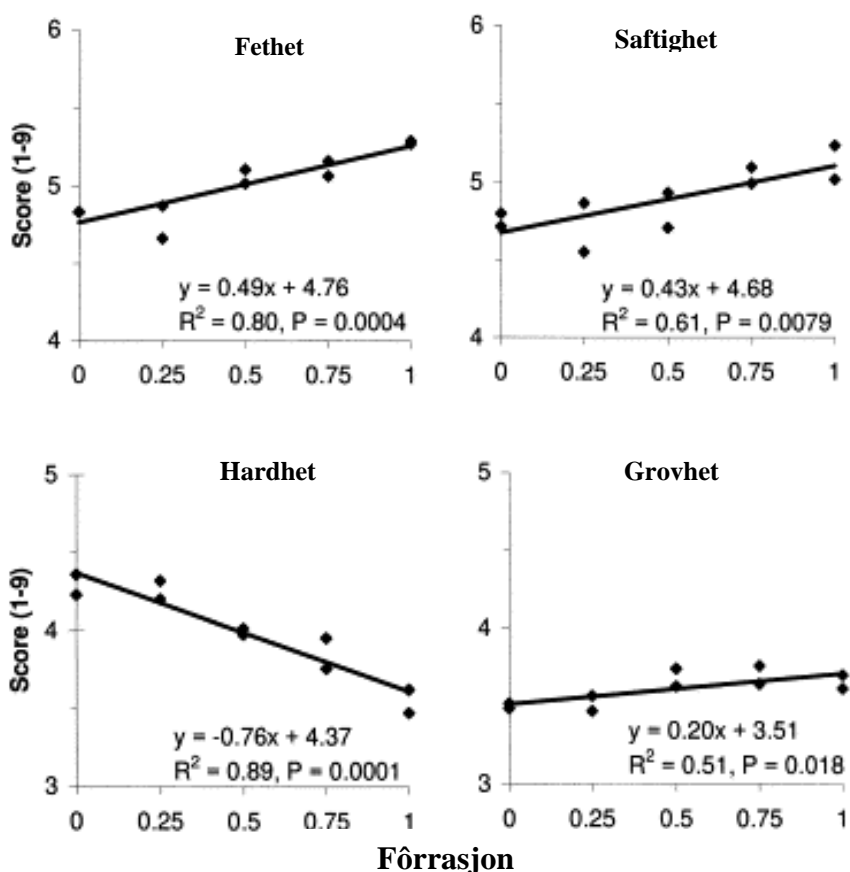
Redusert fôring kan gi vesentlige endringer i muskelstrukturen som igjen har vist seg å gi økt fasthet og redusert filetpalting (Figur 11-12). Ved sulting eller begrenset fôring øker produksjonskostnadene i form av økt produksjonstid og økt fôrforbruk til vedlikehold. En slik strategi for kvalitetsendringer kan derfor medføre urealistisk høye priser på slaktet laks. Vi har for liten kunnskap om i hvilken grad sulting eller restriktiv fôring kan begrense eventuelle negative konsekvenser av rask tilvekst på filetteksturen. Det er derfor behov for kartlegging av optimale fôringsstrategier/sultetider i perioden før slakting for laks ved ulike årstider og ved ulike geografiske lokaliteter for å sikre fast tekstur gjennom hele året.



Figur 10. Sammenheng mellom vekstrate de to siste månedene før slakting (mars-mai) og fasthet (bruddstyrke) i rå og røkt laks (rundvekt 4kg). Tallverdiene inne i figuren viser antall laks analysert (Folkestad m.fl. 2008).



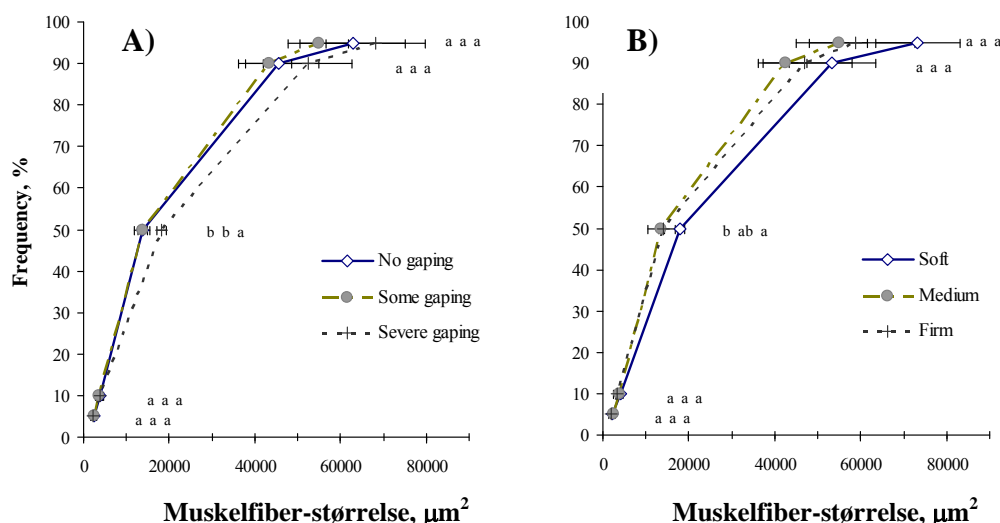
Figur 11. Filetspalting vurdert i ihht Andersen gaping skala av rå fileter av laks gitt ulike fôrrasjoner i 110 dager før slakting. Hvert punkt er gjennomsnitt av 5 laks/merd (Einen m.fl. 1999)



Figur 12. Sensorisk bedømming av røkte fileter av laks gitt ulike fôrrasjoner i 110 dager før slakting. Hvert punkt er gjennomsnitt av 5 laks/merd (Einen m.fl. 1999)

Muskelfiberstørrelse

De senere årene har mye oppmerksomhet vært knyttet til betydningen av muskelfiberstørrelse (størrelse på muskelcellene), og teksturen og grad av filetspalting i fisk. I motsetning til pattedyr og fugl, som kun vokser ved at muskelfibrene øker i størrelse (hypertrofi), vokser fisk både ved hypertrofi og ved nydannelse av muskelfibere, hyperplasi. Flere undersøkelser tyder på at laks med tynnere muskelfibre er fastere i kjøttet med lavere grad av filetspalting. For eksempel viste en studie av 80 laks fra samme merd, at laks med bløt tekstur og mye spalting hadde en større andel av middels store og store muskelfibre (Figur 13). Hos kveite og regnbueørret har man registrert at nydannelse av muskelfibre varierer gjennom året. For laks er det behov for kunnskap om sesongmessige variasjoner i muskelvekst. Sammenhengen mellom tekstur og fiberstørrelse er imidlertid ikke entydig, men generelt kan vi konkludere at muskelfiberstørrelsen er en av mange faktorer som har betydning for teksturegenskapene i laksefilet. Andre faktorer som også har betydning er bindevevsmengden og sammensetningen, glykogeninnholdet (pH og hvor raskt pH faller ved slakting), mineralstatus mm. Det er likevel et uttalt behov for ytterligere kunnskap om betydningen av oppdrettsforhold (også i ferskvann), årstid, fysiologisk status, vekstmønster osv. for muskelutvikling og muskelvekst; dannelse av nye muskelfibre vs. vekst av eksisterende fibre.

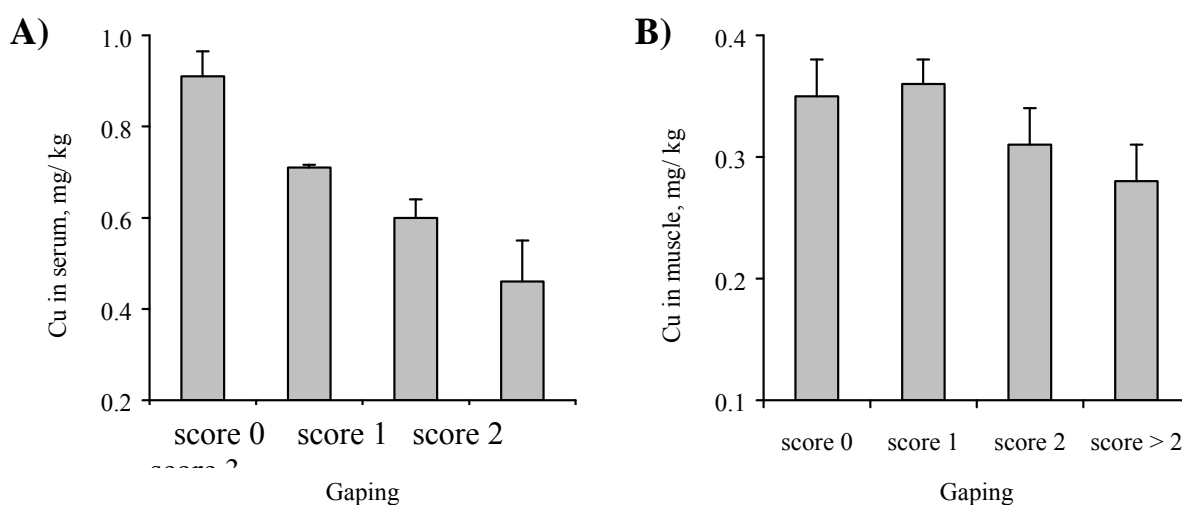


Figur 13. Sammenheng mellom fordeling i fiberstørrelse og grad av filetspalting og tekstur i rå laks (rundvekt 3,5kg) (Mørkøre, Ruohonen, Kiessling upublisert).

Fôrsammensetning

Det har vært spekulert i om høyt fettinnhold i fôret kan gi bløtere tekstur. I et forsøk der laks fikk fôr med 20 – 40% ble det ikke funnet noen forskjell i fasthet, men laks som fikk høyt fettinnhold fikk høyere poeng for fethet ved sensorisk bedømmelse. Likevel bør en være oppmerksom på at laks med høyt fettinnhold i fileten (>19%) kan være utsatt for å få bløt tekstur og væskeslipp ved lagring av fersk og røkt filet. De senere årene har innblanding av fôrmidler fra planteriket økt. En rekke forsøk med laks har vist at innblanding av planteoljer eller planteprotein gir fileter med god tekstur, forutsatt at den ernæringsmessige sammensetningen dekker fiskens behov. Likevel er det grunn til å være oppmerksom på at vi kun har begrenset kunnskap om konsekvensene av innblanding av alternative fôrråvarer. Spesielt kan det være vanskelig å forutsi konsekvensene for muskelkvaliteten når mange ”nye” råvarer blandes inn i fôret samtidig. Videre er det viktig å være oppmerksom på betydningen av fôrsammensetningen ved ulike temperaturer der spesielt lave og høye temperaturer kan tenkes å være kritiske. Vi vet også at fettinnsetningen påvirkes av

vanntemperaturen slik at en bør være spesielt oppmerksom på konsekvensene av innblanding av visse planteoljer ved lave temperaturer da muligheten for at det kan oppstå betennelseslignende tilstander vil være tilstede. Slike tilstander kan gi alvorlige følger for fisken, bl.a. nedbrytning av muskelvev. Når det gjelder proteinsammensetningen i fôret, så har vi begrenset kunnskap når det gjelder sammenheng til teksturen. Det er imidlertid nærliggende å tenke at sammensetningen av proteinenes byggesteiner, aminosyresammensetningen, har betydning. For optimal dannelse av bindevev i muskelen, er det avgjørende at de komponentene som er nødvendige finnes i riktige mengder i fôret og at fisken er i stand til å nyttiggjøre seg disse. Dette gjelder også vitamin og mineralnivå og sammensetningen. Vi har for eksempel sett at nivå av kobber, og til dels også zink, er lavt i laks med mye filetspalting (Figur 13). Siden det er et uttalt samspill mellom de ulike næringsstoffene (mikro og makro), må en også ha fokus på dette. Dersom innholdet av et vist næringsstoff/byggesten er for lavt, kan det føre til at fisken ikke klarer å utnytte andre næringsstoffer selv om nivået av disse kan anses som tilstrekkelig.



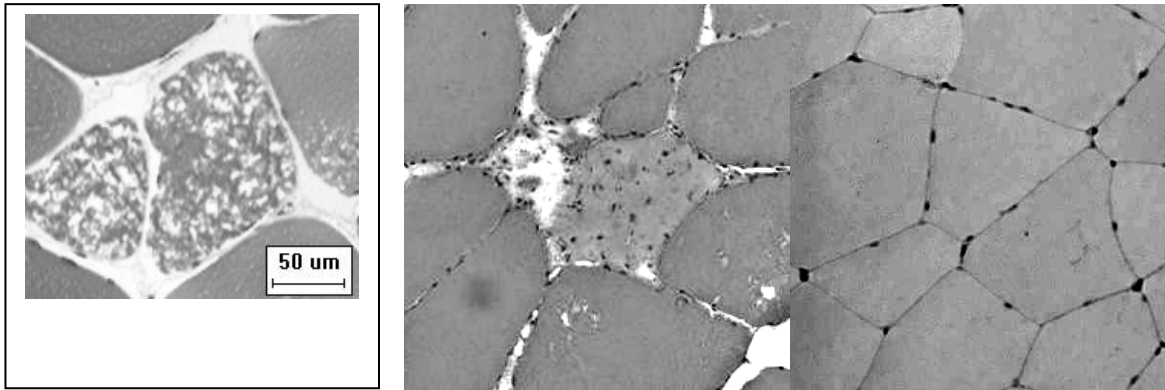
Figur 14. Nivå av kobber i serum (A) og muskel (B) hos laks med varierende grad av muskelspalting (Mørkøre&Austreng 2004).

7. Helsetilstand

Hos laks med bløt tekstur vil en ofte kunne påvise avvikende cellestruktur. Nedenfor (Figur 15) er det vist eksempler på mikroskopiske endringer uten at det er påvist infeksjoner forårsaket av bakterier eller virus. Hos laks har man også mistanke om at feilernæring, stress knyttet til ugunstige miljøforhold (store variasjoner i saltinnhold, temperatur) osv, kan bidra til endringer i cellestruktur. En rekke sykdomstilstander kan gi avvikende muskelkvalitet. For eksempel har det vært spekulert i om sirkulasjonsproblemer som følge av for eksempel hjerte- og karlidelser kan medføre avvikende tekstur som følge av muskelnedbrytning. Nedenfor er det skissert hvordan fettinnhold/ fettinnhold i fôr kan ha en indirekte sammenheng til tekstur.

- Betennessstilstander i muskel kan ha sammenheng til fettinnhold og fettsyresammensetning i fôret under gitte forhold
 - Betennelse kan gi akkumulering av melanin og kan også medføre forstyrrelse/ feildannelse av celler (bindevev, muskel, fett, bein, celledød)
 - Melaninceller og andre betennesceller kan gi indikasjon på betennessstilstander
 - Fett og muskelceller kommuniserer med betennesceller

I det følgende vil kun infeksjon forårsaket av kudoa og pankreas sykdom (PD) bli omtalt.

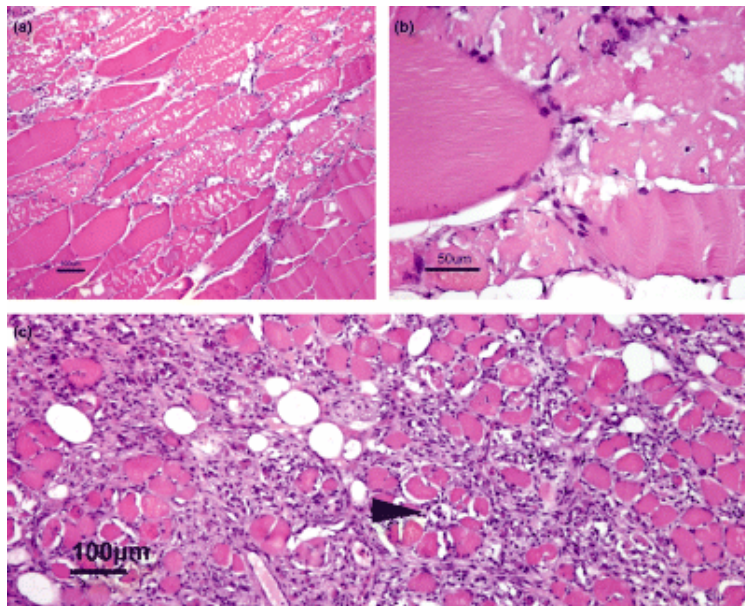


Figur 15. Lysmikroskopi av laksemuskel. Bildet ytterst til høyre viser normal muskel rett etter slakting.

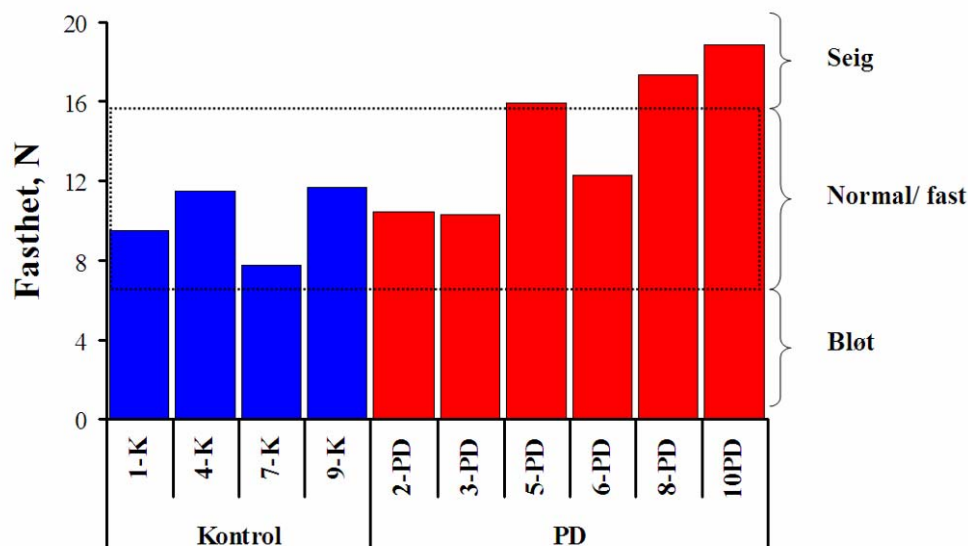
Pankreas sykdom

P

D er en virussykdom som kan forårsake alvorlige muskelendringer hos laks (Figur 16). I etterkant av en infeksjon vil muskelen ofte bli hard, mest sannsynlig som en følge av opphopning av bindevev, men laks med en tidligere PD diagnose kan også ha normal tekstur (Figur 17). Grad av teksturavvik vil avhenge av hvor hardt fisken er angrepet, men også tid etter infeksjonen synes å ha betydning. Liten fisk med lav kondisjonsfaktor har som regel de alvorligste tekstur- og fargeavvikene (skjolding og melanin i filet).



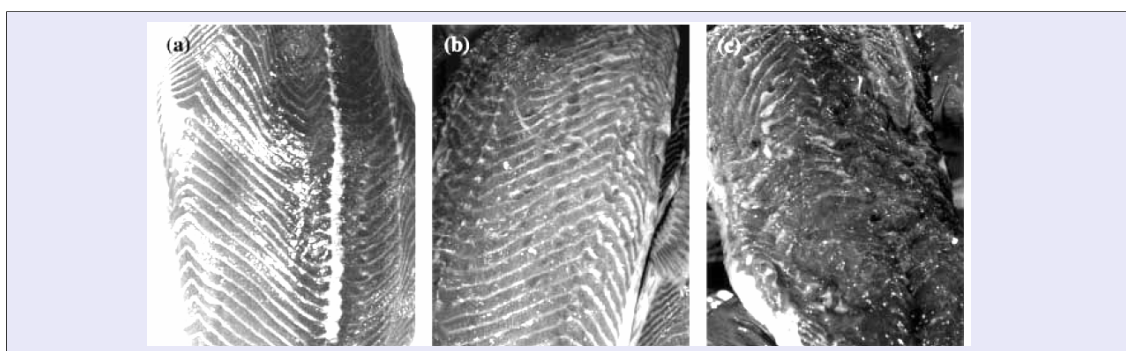
Figur 16. Pankreas sykdom (PD) i Atlantisk laks og regnbueørret. Lysmikroskopi av skjelett muskel. (a) Alvorlig nedbrytning og celledød av hvit muskel hos regnbueørret. (b) Større forstørrelse av lignende nedbrytning i laksemuskel. (c) Alvorlig betennelse i rød muskel av laks (Taksdal m.fl. 2007).



Figur 17. Fasthet (Bruddstyrke, N) målt i rå laks fra 6 anlegg med en tidligere PD diagnose og 4 anlegg med frisk fisk (n=16 laks per anlegg)

Kudoa

Det er velkjent at parasitten kudoa kan forårsake bløt filet hos laks. Den er ikke funnet i norsk laks, men i Canada har de hatt problemer med denne parasitten. Laks som er, eller har vært kjønnsmoden synes å være spesielt mottakelig for smitte. Smittet laks kan være fast og fin i kjøttet rett etter filetering, men etter noen dagers lagring kan fileten begynne å gå i oppløsning, strukturen blir svakere eller i verste fall helt borte. Parasitten er gjerne ujevnt fordelt i muskulaturen, men er det gjennomsnittlige antallet av sporer på $4.0 \times 10^5 \text{ g}^{-1}$ vev (0.3 mm^{-2}), er risikoen stor for at laksen utvikler bløt tekstur. Det er indikasjoner på at stress ved slakting kan forverre følgene av kudoa smitte. Hos sterkt angrepet fisk vil en også se cyster, eller små blærer i muskulaturen.



Figur 18. Bilder som viser laks med varierende grad bløthet og varierende grad av infeksjon forårsaket av kudoa (*K. thyrsites*) (Dawson-Coates m.fl. 2003)

8. Slakting

For å bevare en god og fast tekstur i fiskekjøttet er det avgjørende at fisken håndteres skånsomt gjennom hele slakteprosessen. Dersom fisken blir stresset ved mye trenging eller lignende, vil det medføre økt risiko for å få bløt tekstur, graden av filetspalting øker og lagringsstabiliteten avtar (raskere bakterievekst og negativ luktutvikling). Særlig alvorlig er det om fisken blir stresset over tid. Hvor ømfintlig fisken er for handteringsstress har i flere forsøk vist seg å variere i henhold til fiskens helsestatus, energistatus/ sultetid, vanntemperatur mm. Har laksen for eksempel høye glykogenlagre, vil stress medføre en rask nedbrytning av glykogenet til melkesyre (pH faller raskt). Et slikt raskt pH fall kan ha spesielt negative konsekvenser for tekturen og økt risiko for filetspalting. Videre er det sannsynlig at stress ved slakting kan gi fremskyndet enzymatisk nedbrytning av muskelvevet. Vi har i nyere forsøk påvist at laks som var sultet i fem uker var bedre i stand til å takle stress sammenlignet med laks som var sultet i to dager (tarmtømming).

9. Oppsummering/ tiltak for å oppnå fastere filet

Kunnskapen om faktorer av betydning for tekturen i laksfilet er mer begrenset enn for andre kvalitetsegenskaper som farge og fettinnhold. En grunnleggende kartlegging med fokus på å avdekke forhold og faktorer av betydning for tekturen ville gitt et godt grunnlag for å igangsette målrettede tiltak for å oppnå jevn og god fasthet i fileten.

Det er viktig å unngå at laksen blir stresset i slakteprosessen da stress øker risikoen for bløt tekstur og filetspalting. Fisken må alltid lagres kaldt og håndteres varsomt, spesielt når den er dødsstiv. Rask vekst i perioden før slakting synes å øke risikoen for bløt tekstur, mens redusert fôring og sulting gir fastere tekstur og mindre spalting. Det er imidlertid behov for mer kunnskap om sammenhengen mellom tekstur og tilvekst, fôr og fôring/sulting. Det er grunn til å anta at vekstmønsteret til muskelfibrene varierer gjennom året og mellom ulike deler innen samme filet. Vekstmønsteret (hyperplasi vs. hypertrofi) og muskelfibrenes tilstans påvirker tekturen og ømfintlighet for handteringsstress. Sulting utover tiden som er nødvendig for tarmtømming brukes av og til for å oppnå bedre tekstur. Effekten av slike tiltak er uviss. Optimal sultetid geografisk og ved ulike årstider burde derfor vært dokumentert. Høy aktivitet av nedbrytende enzymer fører til bløtere tekstur, men det finns lite kunnskap om faktorer som påvirker aktiviteten. Det er få holdepunkter for at innblanding av planteoljer i fôret påvirker fastheten. Det er likevel behov for å teste hypotesen om at betennelseslignende tilstander i muskel, som igjen kan medføre avvikende tekstur, kan knyttes til fôrets fettinnhold og sammensetning, muligens i samspill med sjøtemperatur. Skreddersydd slaktefôr er et annet alternativ som kunne bidratt til bedre slaktekvalitet og fastere tekstur. Laks som er infisert av bakterier eller virus kan ha avvikende tekstur, men vi har liten kunnskap om teksturegenskaper hos laks med avvikende fysiologiske/morfologiske tilstander. Ugunstige miljøforhold rundt slaktetidspunktet (f.eks. forurensing, svingninger i temperatur og saltinnhold) kan føre til bløt tekstur, og det er indikasjoner på at også miljøforhold tidligere i fiskens liv påvirker muskelstrukturen. Videre er det sikre holdepunkter for at det er mulig å oppnå fastere filet gjennom avl.

10. Litteratur

- Aidos, I., Lie, Ø., Espe, M., 1999. Collagen content in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). J. Agric. Food Chem. 47, 1440-1444.
- Aksnes, A., Gjerde, B., Roald, S.O., 1986. Biological, chemical and organoleptic changes during maturation of farmed Atlantic salmon, *Salmo salar*. Aquaculture 53, 7-20.
- Andersen, U.B., Strømsnes, A.N., Steinholt, K., Thomassen, M.S., 1994. Fillet gaping in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). Norwegian J. Agric. Sci. 8, 165-179.
- Andersen, U.B., Thomassen, M.S., Rørå, A.M.B., 1997. Texture properties of farmed rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*): Effects of diet, muscle fat content and time of storage on ice. J. Sci. Food Agric. 74, 347-353.
- Ando, M., 1999. Correspondence of collagen to the softening of meat during refrigeration. In: Sato, K., Sakaguchi, M., Bremner, H.A. (Eds.), Extracellularmatrix of fish and shellfish. Research Signpost, Trivandrum, India, pp. 69-79.
- Ando, M., Toyohara, H., Shimizu, Y., Sakaguchi, M., 1991. Post-mortem tenderization of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) muscle caused by gradual disintegration of the extracellular matrix structure. J. Sci. Food Agric. 55, 589-597.
- Ando, M., Toyohara, H., Sakaguchi, M., 1992. Post-mortem tenderization of rainbow trout muscle caused by the disintegration of collagen fibers in the pericellular connective tissue. Nippon Suisan Gakkaishi 58, 567-570.
- Ando, M., Yoshimoto, Y., Inabu, K., Nakagawa, Y., Makinodan, Y., 1995. Post-mortem change in three-dimensional structure of collagen fibrillar network in fish muscle pericellular connective tissues corresponding to post-mortem tenderization. Fish. Sci. 61, 327-330.
- Azam, K., Mackie, I.M., Smith, J., 1989. The effect of slaughter method on the quality of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) during ice storage. Int. J. Food. Sci. Technol. 24, 69-79.
- Barosso, M., Careche, M., Borderias, A.J. 1998. Quality control of frozen fish using rheological techniques. Trends Food Sci. Technol. 9: 223-229.
- Bjerkeng, B., Refstie, S., Fjalestad, K.T., Storebakken, T., Rødbotten, M., Roem, A.J., 1997. Quality parameters of the flesh of Atlantic salmon (*Salmo salar*) as affected by fat content and full-fat soybean meal as a partial substitute for fish meal in the diet. Aquaculture 157, 295-307.
- Bremner, H.A., 1992. Fish flesh structure and the role of collagen - its post-mortem aspects and implications for fish processing. In: Huss, H.H, Jakobsen, M., Liston, J. (Eds.) Quality Assurance in the Fish Industry. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 39-61.
- Bugeon, J., Lefevre, F., Fauconneau B., 2004. Correlated changes in skeletal muscle connective tissue and flesh texture during starvation and re-feeding in brown trout (*Salmo trutta*) reared in seawater. J. Sci. Food Agric 84, 1433-1441.
- Cardinal, M, Knockaert, C., Torrissen, O., Sigurgisladottir, S., Mørkøre, T., Thomassen, M., Vallet, J.L., 2001. Relation of smoking parameters to the yield, colour and sensory quality of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*). Food Res Int 34, 537-550.
- Christiansen, J.S., Martinez, I., Jobling, M., Amin, A.B., 1992. Rapid somatic growth and muscle damage in a salmonid fish. BAM 2, 235-239
- Dawson-Coates, J.A. , Chase, J.C., Funk, V., Booy, M. H., Haines, L.R., Falkenberg,, C.L., Whitaker, D. J., Olafson, R W., Pearson, T.W., 2003. The relationship between flesh quality and numbers of *Kudoa thyrsites* plasmodia and spores in farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L. J. Fish Diseases 26, 451-459.
- Dunajski, E., 1979. Texture of fish muscle. J. Texture Studies 10, 301-318.
- Einen, O., Skrede, G., 1998. Quality characteristics in raw and smoked fillets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed high energy diets. Aquacult. Nutr. 4, 99-108.
- Einen, O., Thomassen, M.S., 1998. Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon. II. Effects during ice storage on white muscle composition, texture and colour of raw and sensory assessment of cooked fillet. Aquaculture 169, 37-53.
- 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
- 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 farmed salmon muscle harvested at different times of the year. Aquaculture 240, 489-504.
- 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. J. Fish Biol. 50, 296-314.
- Fevolden, S.-E, Fjalestad K.T., Røed K.H., 1999. Selective breeding for stress tolerance in Aquacultured fish. Fourth Annual report EC Contract No. FAIR-CT95-0152.
- Foegeding, E.A., Lanier, T.C., Hultin, H.O., 1996. Characteristics of edible muscle tissues. In: Fennema, O.R. (Ed.), Food Chemistry. Marcel Dekker, Inc., New York.

- Folkestad, A., Rørvik, K-A., Kolstad, K., Mørkøre, T., 2008. Growth rates of individual farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) influence the texture of raw and smoked fillets. *Aquaculture Research* 39, 329-332.
- Færgemand, J., Rønshold, B., Alsted, N., Børresen, T., 1995. Fillet texture of rainbow trout as affected by feeding strategy, slaughtering procedure and storage post mortem. *Water Sci. Tech.* 31, 225-231.
- Guillou, A., Soucy, P., Khalil, M., Adambonou, L., 1995. Effect of dietary vegetable and marine lipid on growth, muscle fatty acid composition and organoleptic quality of flesh of brook charr (*Salvelinus fontinalis*). *Aquaculture* 136, 351-362.
- Haard, N.F., 1992. Control of chemical composition of food quality attributes of cultured fish. *Food Res. Int.* 25, 289-307.
- Hansen, A.Å., Unander, E., Mørkøre, T., 2000. Tekstur i regnbueørret (Texture in rainbow trout). *Norsk Fiskeoppdrett* 1/99, 24-25.
- Hardy, R.W., Scott, T.M., Harrell, L.W., 1987. Replacement of herring oil with menhaden oil, soybean oil, or tallow in the diets of Atlantic salmon raised in marine net pens. *Aquaculture* 65, 267-277.
- Hatae, K., Yoishimatsu, F., Matsumoto, J.J., 1990. Role of muscle fibers in contributing to firmness of cooked fish. *J. Food Sci.* 55, 693-696.
- Haugen, T., Kiessling, A., Olsen, R-E., Rørå, M.B., Slinde, E., Nortvedt, R., 2006. Seasonal variations in muscle growth dynamics and selected quality attributes in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) fed dietary lipids containing soybean and/or herring oil under different rearing regimes. *Aquaculture*, 261 565-579
- Hultmann, L., Rørå, A.M.B., Steinsland, I., Skåra, T., Rustad, T., 2004. Proteolytic activity and properties of proteins in smoked salmon (*Salmo salar*) - effects of smoking temperature. *Food Chemistry* 85, 377-387.
- Jerret A.R., Stevens, J., Holland, A.J., 1996. Tensile properties of white muscle in rested and exhausted Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *J. Food Sci.* 61, 527-532.
- Jerrett, A. R., Stevens, J., Holland, A. J. 1996. Tensile properties of white muscle in rested and exhausted Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *J. Food Sci.*, 62, 527-532.
- Johnston, I.A., Alderson, R., Sandham, C., Mitchell, D., Selkirk, C., Dingwall, A., Nickell, D., Baker, R., Robertson, B., Whyte, D., Springate, J., 2000. Patterns of muscle growth in early and late maturing populations of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 307-333.
- 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., Li, X., Vieira, V.L.A., Nickell, D., Dingwall, A., Alderson, R., Campbell, P., Bickerdike, R., 2006. Muscle and flesh quality traits in wild and farmed Atlantic salmon. *Aquaculture* 256, 323-336.
- Johnston, I.A., Bickerdike, R., Li, X., Dingwall, A., Nickell, D., Alderson, R., Campbell, P., 2007. Fast growth was not associated with an increased incidence of soft flesh and gaping in two strains of Atlantic salmon (*Salmo salar*) grown under different environmental conditions. *Aquaculture* 265, 148-155.
- Joya, de Grace, 2003. Pacific hake fishmeal as a vector of *Kudoa thyrsites* infection in farmed Atlantic salmon. Abstract, Graduate Seminar in Food Science and Nutrition 2002-2003. University of British Columbia, Faculty of land and food systems.
- Kiessling, A., Storebakken, T., Åsgård, T., Kiessling, H-K., 1991. Changes in the structure and function of the epaxial muscle of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in relation to ration and age: I. Growth dynamics. *Aquaculture*, 93, 335-356
- Kiessling, A., Espe, M., Ruohonen, K., Mørkøre, T., 2004. Texture, gaping and colour of fresh and frozen Atlantic salmon flesh as affected by pre-slaughter iso-eugenol or CO₂ anaesthesia. *Aquaculture* 236, 645-657.
- Korneliussen, S.O., 1997. Undersøkelse av metode for måling av tekstur: Et lagringsstudium. *Cand. Agric. Thesis, Dep. Food Science, Agric. Univ. Norway, Ås-NLH, Norway*, 64 p.
- Lavéty, J., Afolabi, O. A., Love, R.M., 1988. The connective tissues of fish. IX. Gaping in farmed species. *Int. J. Food Sci. Tech.* 23, 23-30.
- Lavéty, J., Love, R.M., 1972. The strengthening of cod connective tissue during starvation. *Comp. Biochem. Physiol.* 41A, 39-42.
- Lavéty, J., Afolabi, O. A., Love, R.M., 1988. The connective tissues of fish. IX. Gaping in farmed species. *Int. J. Food Sci. Tech.* 23, 23-30.
- Love, R.M., 1980. Biological factors affecting processing and utilization. In: Connell, J.J. (Ed.), *Advances in Fish Science and Technology*. Fishing News Books Ltd, Farnham, Surrey, UK, pp. 130-138.
- Love, R.M., 1988. *The food fishes - their intrinsic variation and practical implications*. Farrand Press, London.
- Mitchie, I., 2001. Causes of downgrading in the salmon farming industry. In: Kestin S.C., Warris, P.D. (Eds.), *Fishing News Books, Blackwell Science Ltd, Oxford, UK*. pp. 129-136.
- Montero, P., Borderias, J., 1990. Effect of rigor mortis and ageing on collagen in trout (*Salmo irideus*) muscle. *J. Sci. Food Agr.* 52, 141-146.
- Mørkøre, T. 1998. Filetspalting; er ørret mindre utsatt enn laks? *Nytt fra AKVAFORSK* no.5.
- Mørkøre, T., Rørå, A.M.B., 1999. Hvordan måle tekstur? *Norsk fiskeoppdrett*, 24(5A), 38-39.
- Mørkøre, T., Solbakken, R. 1999. Product quality in Atlantic salmon in relation to production strategy. *Fish Farming Int.* 5, 23.

- 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, 147-159.
- Mørkøre, T., Vallet, J.L., Cardinal, M., Gomez-Guillen, M.C., Montero, P., Torrissen, O.J., Nortvedt, R., Sigurgisladottir, S. and Thomassen, M.S., 2001. Fat content and fillet shape of Atlantic salmon: Relevance for processing yield and quality of raw and smoked products. *J. Food Sci.* 66, 1348-1354.
- Mørkøre, T., Hansen, A.Å., Unander, E., Einen, O. 2002. Composition, liquid holding capacity and mechanical properties of farmed rainbow trout: Variation between fillet sections and the impact of ice and frozen storage. *J. Food Sci.* 67, 1933-1938.
- Mørkøre, T., Einen, O. 2003. Relating sensory and instrumental texture analysis of Atlantic salmon. *J. Food Sci.*, 1492-1497.
- Mørkøre, T., Austreng, E., 2004. Temporal changes in fillet texture, gaping, composition and copper status of Atlantic salmon (*Salmo salar*, L) fed moist feed or extruded dry feed. *Aquaculture* 230, 439-455.
- Mørkøre, Rohunen, K., Kiessling, A., 2008. Variation in texture of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L). Relevance of muscle fibre diameter. *Innsendt*
- Mørkøre, T., Mazo, P.I., Tahirovic, V., Einen, O., 2008. Impact of starvation and handling stress on rigor development and quality of Atlantic salmon (*Salmon salar* L). *Aquaculture*. In press.
- Ofstad, R., Kidman, S., Myklebust, R., Hermansson, A-M, 1993. Liquid holding capacity and structural changes during heating fish muscle: Cod (*Gadus morhua* L.) and salmon (*Salmo salar*). *Food structure* 12, 163-174.
- Refsgaard, H.H.F., Brockhoff, P.B., Jensen, B., 1998. Sensory and chemical changes in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) during frozen storage. *J. Agric. Food Chem.* 46, 3473-3479.
- Regost, C., Jacobsen, J.V., Rørå, A.M.B., 2004. Flesh quality of raw and smoked fillets of Atlantic salmon as influenced by dietary oil sources and frozen storage. *Food Res. Int.* 37, 259-271.
- Roth, B., Johansen, S.J.S., Suontama, J, Kiessling, A., Leknes, O., Guldberg, 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.
- Roth, B., Slinde, E., Arildsen, J., 2006. Pre or post mortem muscle activity in Atlantic salmon (*Salmo salar*). The effect on rigor mortis and the physical properties of flesh. *Aquaculture* 257, 504-510.
- Rød, H., Mørkøre, T., Rørvik, K.-A., Rørå, A.M.B., 1997. Målemetoder for teksturegenskaper. *Norsk fiskeoppdrett* 22(10), 34-45.
- Rørå, A.M.B., Kvåle, A., Mørkøre, T., Rørvik, K.A., Steien, S.H., Thomassen, M.S. 1998. Process yield, colour and sensory quality of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*) in relation to raw material characteristics. *Food Res. Int.* 31, 601-609.
- Rørå, A.M.B., Einen, O., 1999. Frysing før og etter røyking. (Freezing before and after smoking). *Norsk fiskeoppdrett*, 24(5A): 26-28.
- Rørå, A.M.B., Regost, C., Lampe, J., 2003. Liquid holding capacity, texture and fatty acid profile of smoked fillets of Atlantic salmon fed diets containing fish oil or soybean oil. *Food Res. Int.* 36, 231-239.
- Rørå, A.M.B., Ruyter, B., Skorve, J., Berge, R.K., Slinning, K.E., 2005. Influence of high content of dietary soybean oil on quality of large fresh, smoked and frozen Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquacult. Int.* 13, 217-231
- Røsjø, C., 1988. Effects of rapeseed- and soybean oil in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Cand. Scient.-thesis, Dep. Nutr., Univ. Oslo, Oslo*, 111p.
- Skjervold, P.O., Fjæra, S.O., Østby, P.B., 1999. Rigor in Atlantic salmon as affected by crowding stress prior to chilling before slaughter. *Aquaculture* 175, 93-101.
- Skjervold, P.O., Rørå, A.M.B., Fjæra, S.O., Synstad, A., Einen, O., 2000. Pre-rigor filleting of live chilled salmon improves final product quality. *Aquaculture*.
- Skjervold, P.O., Fjæra, S.O., Østby, P.B., Einen, O., 2001 Live-chilling and crowding stress before slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 192, 265-280.
- Sigholt, T., Erikson, U., Rustad, T., Johansen, S., Nortvedt, T.S., Seland, A., 1997. Handling stress and storage temperature. *J. Food. Sci.* 62, 898-905.
- Sigurgisladottir, S., Jonsson, A., Hafsteinsson, H., 1995. Texture as quality parameter for Atlantic salmon and importance of the sampling method. In: J.B. Luten (Ed.) *Proceedings of the WEFTA International Seafood conference, The Netherlands 13-16 November 1995.* pp. 1-6.
- Sigurgisladottir, S., Torrissen, O., Lie, Ø., Thomassen, M.S., Hafsteinsson, H., 1997. Salmon quality: Methods to determine the quality parameters. *Rev. Fish. Sci.* 5, 223-252.
- Stickland, N., 1983. Growth and development of muscle fibres in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Anatomy* 137, 323-333.
- St-Hilaire, S., Ribble, C., Whitaker, D.J., Kent, M., 1998. Prevalence of *Kudoa thyrsites* in sexually mature and immature pen-reared Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in British Columbia, Canada. *Aquaculture* 162, 69-77.
- Taksdal, T., Olsen, A.B., Bjerås, I., Hjortaa, M.J., Dannevig, B.H., Graham, D.A., McLoughlin, M.F., 2007. Pancreas disease in farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), in Norway. *J. Fish Diseases*, 30, 545-558

- Waagbø, R., Sandnes, K., Torrissen, O.J., Sandvin, A., Lie, Ø., 1993. Chemical and sensory evaluation of fillets from Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed three levels of n-3 fatty acids at two levels of vitamin E. *Food Chem.* 46, 361-366.
- Wathne, E., 1995. Strategies for directing slaughter quality of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) with emphasis on diet composition and fat deposition. Dr. Scient. Thesis 1995:6, Agricultural University of Norway, Ås, Norway.
- Weatherley, A.H., Gill, H., Rogers, S.C., 1980. The relationship between mosaic muscle fibres and size in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish Biol.* 17, 603-610.
- Weatherley, A.H., Gill, H., Lobo, A.F., 1988. Recruitment and maximal diameter of axial muscle fibres in teleosts and their relationship to somatic growth and ultimate size. *J. Fish Biol.* 33, 851-859.