

Automatisk kvalitetsdifferensiering av laksefilet

Karsten Heia, Agnar H. Sivertsen, Jens Petter Wold, Silje Ottestad, Ulrike Böcker, Mats Carlehög, Themistoklis Altintzoglou, Izumi Sone og Bjørn Gundersen





Nofima er et næringsrettet
forskningsinstitutt som driver forskning
og utvikling for akvakulturnæringen,
fiskerinæringen og matindustrien.

Nofima har om lag 470 ansatte.
Hovedkontoret er i Tromsø, og
forskningsevirsomheten foregår på seks
ulike steder: Ås, Stavanger, Bergen,
Sundalsøra, Averøy og Tromsø.

Hovedkontor Tromsø
Muninbakken 9–13
Postboks 6122
NO-9291 Tromsø
Tlf.: 77 62 90 00
Faks: 77 62 91 00
E-post: nofima@nofima.no

Internett: www.nofima.no

Rapport

 ISBN: 978-82-7251-959-8 (trykt)
 ISBN: 978-82-7251-960-4 (pdf)

 Rapportnr.:
 7/2012

 Tilgjengelighet:
Åpen

<i>Tittel:</i> Automatisk kvalitetsdifferensiering av laksefilet	<i>Dato:</i> 16.02.2012
<i>Forfatter(e):</i> Karsten Heia, Agnar H. Sivertsen, Jens Petter Wold, Silje Ottestad, Ulrike Böcker, Mats Carlehög, Themistoklis Altintzoglou, Izumi Sone og Bjørn Gundersen	<i>Antall sider og bilag:</i> 24 <i>Prosjektnr.:</i> 20906
<i>Oppdragsgiver:</i> Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond	<i>Oppdragsgivers ref.:</i> FHF #900340
<i>Tre stikkord:</i> Kvalitet, differensiering, spektroskopi	
<i>Sammendrag:</i> <p>Hovedfokus i dette arbeidet har vært differensiering av laksefilet basert på objektiv instrumentell måling av kvalitetsparametere. Farge og fargeutvikling er viktige kvalitetsparametere for differensiering, og i dette arbeidet har det fremkommet at både konsentrasjon og oksidasjonsnivå av hemeproteiner (hemoglobin/myoglobin) er viktig å kontrollere for å oppnå en god farge og fargestabilitet. Videre er blod- og melaninflekker ofte årsak til nedgradering av laksefileter. I dette prosjektet er det utviklet en objektiv instrumentell metode for påvisning av blod- og melaninflekker på overflaten og inni laksefileter som kan implementeres i en produksjonslinje. I tillegg til å finne flekkene kan også blod og melanin skilles fra hverandre.</p> <p>Fjerning av pinnebein er en ressurskrevende operasjon i forbindelse med produksjon av laksefileter. I dag gjennomføres den i to operasjoner, første maskinell plukking og deretter manuell etterplukking. Et forsøk gjennomført ved en bedrift bekreftet at etterplukking er påkrevd, men ikke tilstrekkelig for å fjerne alle bein. Når den maskinelle plukkingen tilsynelatende fungerer best kan det stå igjen mange knekte bein som ikke den manuelle etterplukkingen kan fjerne. I en sensorisk test ble det vist at pinnebein tykkere enn ca. 0,35 mm og lengre enn 9 mm blir påvist av konsumenten. I testen med maskinell og manuell plukking ville det tilsvart at 83 % av beinene som sto igjen etter manuell plukking ville blitt påvist av konsumenter.</p>	
<i>English summary:</i> <p>In this work it has been shown that color and color stability during storage of salmon fillets depend on the amount and oxidation level of hemeproteins in the muscle. A hyperspectral imaging system has been developed for detecting blood and melanin spots at a conveyor belt speed of 40 cm/second. The results show that melanin spots can be detected with a high degree of accuracy and that blood and melanin spots can be differentiated.</p> <p>The performance of a commercial pin boning routine has been evaluated in one factory. The results show that the performance is not satisfactory with regard to removing pin bones that bothers the consumers. A consumer test reveals that 90 % of the consumers are sensitive to pin bones thicker than 0.35 mm and longer than 9 mm. In the industrial test 83 % of the remaining pin bones after the manual control were above this threshold.</p>	

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Målsetting	1
2	Aktivitet 1: Blod, farge og melanin	3
2.1	Fargeendringer i laksefilet.....	3
2.2	Diffus avbildende reflektansspektroskopi.....	8
2.3	System for påvisning av blod og melaninflekker	10
2.4	Romlig og spektral oppløsning.....	11
2.5	Industritest.....	11
2.5.1	Farge og fargeutvikling	12
2.5.2	Blod og melaninpåvisning.....	13
3	Aktivitet 2: Fjerning av tykkfiskbein i laks	17
3.1	Konsumenttest	17
3.2	Kartlegging av eksisterende kunnskap for maskinell beinfjerning.....	18
3.3	Ytelsen til maskinell beinplukking.....	19
3.4	Ytelsen ved manuell etterkontroll av tykkfiskbein.....	20
4	Konklusjon og veien videre.....	22
4.1	Farge og fargeutvikling i laksefileter.....	22
4.2	Deteksjon av blod- og melaninflekker	22
4.3	Fjerning og forbrukeroppfatning av tykkfiskbein i laks	23
5	Referanser.....	24

1 Innledning

En bedrift har et konkurransefortrinn hvis den klarer å skape bedre lønnsomhet enn konkurrerende bedrifter. Dette kan oppnås gjennom å kutte produksjonskostnadene, det vil si bedre sine marginer i forhold til konkurrentene. Eller så kan bedriften øke betalingsviljen til kundene gjennom å tilby produkter eller produkttegenskaper som er bedre tilpasset kundenes preferanser enn konkurrerende produkter – differensiere seg i forhold til konkurrentene. Det er altså kundenes preferanser som er essensielle for å kunne differensiere produktene, og som legger premissene for hvordan en bedrift kan foreta grep for å imøtekomme disse preferansene. For å kunne skape dette konkurransefortrinnet og kunne differensiere produktene er det viktig å kunne objektivt måle disse produkttegenskapene.

I forprosjektet "Kvalitetsforbedring på laks fra avl til gaffel", finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringen forskningsfond, ble det i 2009 arrangert en workshop på Gardermoen med deltagere fra laksenæringen, FHF og Nofima. Her ble det satt opp en prioritert liste med aktuelle kvalitetsparametere som det er ønskelig å bruke for sortering og differensiering av laks og lakseprodukter. Basert på denne prioriterte listen ble det igangsatt et hovedprosjekt med to arbeidspakker; (1) Muskelfarge inkludert melanin og blod, og (2), beindeteksjon. Innholdet i arbeidspakke 2 ble senere i samråd med styringsgruppen og FHF endret til å fokusere på beinplukking (maskinelt og manuelt) og sensorisk bedømmelse av restbeinproblemet.

Arbeidspakke 1. Farge og pigment

Opplevd farge og fargeutvikling ble prioritert som det viktigste området å jobbe med. Hvordan oppnå en lagrings- og prosesseringsstabil farge. Denne arbeidspakken skulle også fokusere på påvisning av blod- og melaninflekker. Senere i arbeidet har det også kommet frem at ikke bare blodflekker, men også generelt blodnivå i muskelen er viktig å måle da det er med på å påvirke fargeutviklingen.

Arbeidspakke 2. Beinplukking

Etter at prosjektet var startet opp viste det seg vanskelig å få gjennomført arbeidspakke 2 slik den opprinnelig var planlagt. Derfor ble innholdet i arbeidspakke 2 omdefinert i samråd med styringsgruppen og FHF. Fokus i arbeidspakke to ble da å gå inn i en bedrift og registrere hvordan den maskinelle plukkingen og manuelle etterplukkingen fungerte. I tillegg ble det satt i gang et arbeid for å avdekke hvor store bein som kan stå igjen i laksefileter uten at konsumenter vil oppdage dem.

1.1 Målsetting

Målsettingene for **aktivitet 1** i prosjektet var:

1. Formulere og teste hypoteser for fargeendringer i ferske og prosesserte fileter.
2. Avdekke krav til romlig og spektral oppløsning for påvisning av blod og melanin.
3. Utvikle system for påvisning av blod- og melaninflekker i laksefileter.

Etter at fokus i aktivitet 2 ble endret til beinplukking og forbrukernes sensitivitet på pinnebein i laksefilet ble målsettingene i **aktivitet 2** definert til:

1. Hvor mange bein og beinfragmenter står igjen i filetene etter maskinell plukking?
2. Hvor står de og hvor tykke/lange er de?
3. Kan manuell etterplukking fjerne tilstrekkelig av beinene til å løse problemet?
4. Er størrelsen på de gjenstående beinene så stor at de representerer en risiko eller et ubehag for konsumentene?

2 Aktivitet 1: Blod, farge og melanin

Fargen til laksefileten er en av dens viktigste kvalitetsparametere, og en filet med en jevn og dyp rød farge er oppfattet som et kvalitetsprodukt. Tidligere arbeid har vist at fargen til laks endrer seg under lagring. Man har sett at pigmentinnholdet er relativt uforandret under lagring, og en foreslått forklaring for fargetapet er økning av lysspredning i muskelen. Økt spredning vil gi en kortere livsvei, og et mindre absorpsjonsbidrag fra pigment i muskelen. Blod- og melaninflekker er andre faktorer som kan føre til nedgradering av laksefilet.

2.1 Fargeendringer i laksefilet

Endringer i farge under lagring har foreløpig ikke kunnet forklares fullt ut, og lagringsforsøk med laks for å undersøke fargeforandringer har ofte gitt motstridene resultater. Da dette arbeidet startet hadde vi to hypoteser om fargetapet som kan observeres på laksefilet over tid:

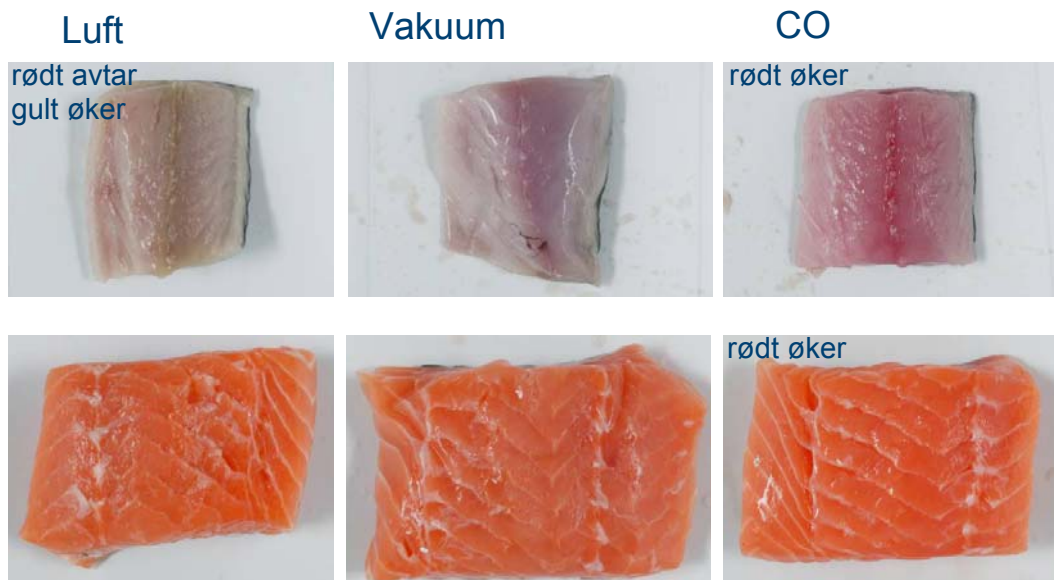
1. At det skyldes fysiske endringer i muskelen som påvirker lysspredning, som igjen vil kunne påvirke fargen.
2. At det skyldes kjemiske endringer, for eksempel at pigmentets binding til protein vil kunne endre seg med lagring, eller at det kunne ha med rester av hemoglobin og/eller myoglobin å gjøre.

I arbeidet vi har gjort har vi ikke funnet systematiske endringer i farge på fersk filet som følge av endringer i lysspredning. Men vi oppdaget at innhold av heme proteiner (myo-/hemoglobin) i laksefilet kan vise seg å være høyt nok til å gi et bidrag til fargen. Dermed vil oksidasjonstilstanden til heme proteinet være av betydning. Dette er en faktor som tidligere ikke har vært tatt med i betraktning når laksefarge har vært analysert. Frem til nå har man stort sett konsentrert seg om konsentrasjon av fargepigmentet astaxanthin.

Det har lenge vært kjent at fiskeslag som inneholder mye myoglobin (tunfisk, makrell og sardin) blir misfarget ved oksidasjon på samme måte som storfekjøtt. Dette skyldes at myoglobinet binder seg til oksygen og danner metmyoglobin som har en brungul farge. Hvis man derimot pakker kjøtt i modifisert atmosfære med karbonmonoksid (CO) bindes myoglobinet til CO og danner carboxymyoglobin som har en lys rødfarge. Konsentrasjonen av myoglobin i laks er relativt lav og fargen er i all hovedsak bestemt av fargepigmentene canthaxanthin og astaxanthin. Det er likevel mulig at oksidasjonstilstanden til heme proteiner, slik som hemoglobin og myoglobin, kan ha betydning for fargen. Dette undersøkte vi ved å pakke laks i ulike atmosfærer (luft, vakuum og CO) og observere fargeforandringer og forandringer i det synlige absorpsjonsspekteret. Vi pakket også makrell på samme måte for å sammenligne resultatene.

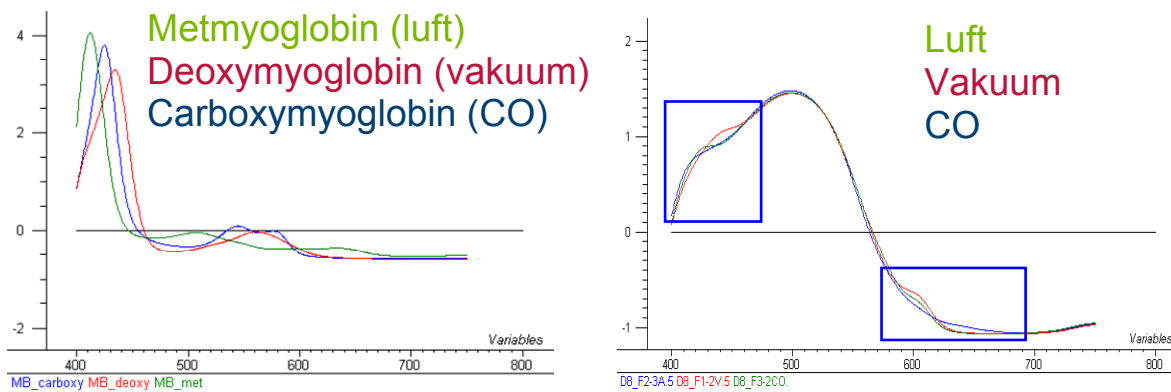
Figur 1 viser for makrell at lagring i luft reduserte rødfargen og økte gulfargen, mens lagring i CO økte rødfargen markant. For laksen så vi tilsvarende at prøvene pakket i CO ga en tydelig rødere laks, lagring i vakuum holdt fargen etter filetering rimelig stabil, mens lagring i luft ga mer gulfarge. Lagring i luft er det som er mest vanlig i industrien i dag. Det kan nevnes at man også har sett at laks som er bedøvet med CO før slakting har en friskere rødfarge på filetene enn dem som er bedøvet på annen måte.

Fargeendringene er dokumentert med bruk av fargemålinger med kamera og Minolta (fargemålingsinstrument). Med disse instrumentene måles signifikante forskjeller på farge i laks mellom både vakuum og luft, og vakuum og CO. Endringene er også påvist av det sensoriske panelet ved Nofima, og det er dermed dokumentert at dette er en effekt som er synlig for mennesker og dermed relevant i kvalitetssammenheng. En vitenskapelig artikkel er skrevet om dette (Ottestad, Sørheim, Heia, Skaret, & Wold, 2011).



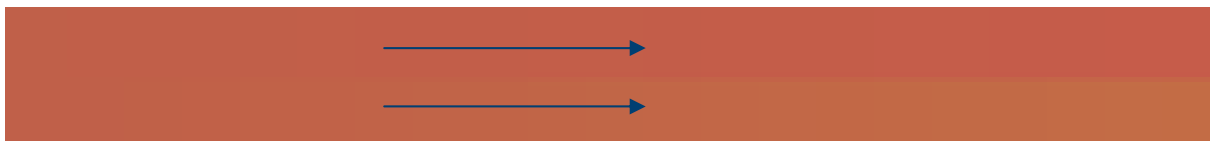
Figur 1 Makrell (øverst) og laks (nederst) endrer farge avhengig av lagringsatmosfære.

Ved bruk av spektroskopiske målinger på laks i det synlige området av spekteret kan man tydelige se forskjeller mellom de ulike lagringsbetingelsene (Figur 2). Denne variasjonen tilsvarer de spektrale endringene man ser på heme proteiner som binder seg til oksygen og til karbonmonoksid. Dette gir en klar indikasjon på at fargeendringene vi ser skyldes endringer i oksidasjonsstatusen til hemeproteiner i muskelen. Et større forsøk ble gjort på laks lagret i modifisert atmosfære ved 4 °C i luft, Vakuum og Nitrogen/CO². Resultatene viser at de største spektrale endringene som skjer over tid skyldes oksidasjon av hemeproteiner (Sone, Olsen, Sivertsen, Eilertsen, & Heia, 2012).



Figur 2 Absorpsjonsspektra av myoglobin i ulike oksidasjonstilstander (venstre) og laks pakket i ulik atmosfære (høyre).

Hvordan små spektrale endringer påvirker opplevd farge har vi også undersøkt ved hjelp av simulering. Man starter med et målt reflektansspekter av en filet med god farge og modifierer det ved å legge inn effekter av ulike absorpsjonskurver. Informasjon om øyets sensitivitet for ulike bølgelengder blir så brukt til å beregne fargeverdier. Simuleringene (Figur 3) viste som observert: en økt gulffarge og redusert rødfarge i laks ved oksidasjon av deoxymyoglobin til metmyoglobin, og en økt rødfarge ved omdannelse av deoxymyoglobin til carboxymyoglobin. Dette stemmer overens med observasjoner gjort på fisk.

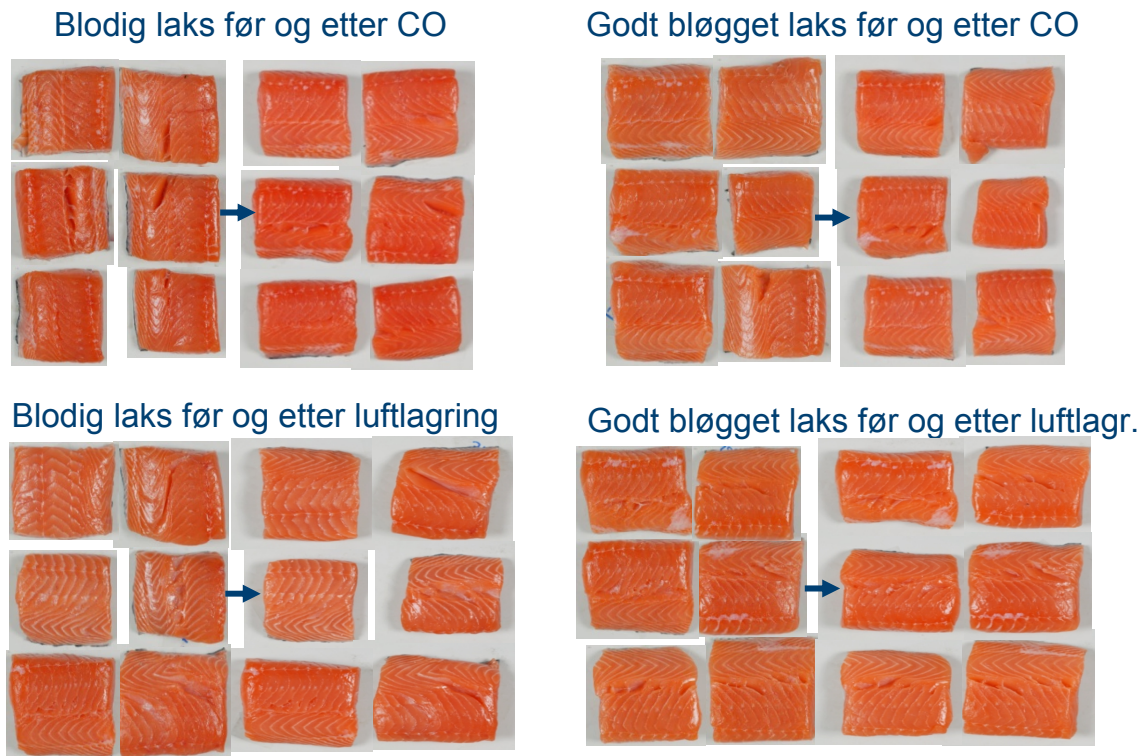


Figur 3 Endring i laksefarge ved en gradvis omdanning av deoxymyoglobin til carboxymyoglobin (øverst) og til metmyoglobin (nederst). Fargene er beregnet ved hjelp av simulering.

Siden hemeproteiner har betydning for farge og fargeendring på laks er det gjort flere forsøk for å studere hvilke utslag dette kan gi i ulike sammenhenger.

Effekt av god vs. dårlig bløgging

Fra havbruksstasjonen på Averøy fikk vi laks som var slaktet og ikke bløgget, slaktet og så bløgget etter 30 minutter, samt slaktet og bløgget umiddelbart. Formålet var å få laks med ulik mengde blod. Stykker av disse fiskene ble så lagret i CO, vakuum og luft for å se om fargeendringene er større i fisk med mye blod enn de med lite. Resultater tyder på dette er tilfelle (Figur 4).



Figur 4 Stykker lav laks før og etter lagring i CO eller luft.

Dårlig bløgget laks har en tendens til å være mørkere på farge også før lagring. Laks med mye blod som lagres i CO blir svært rød etter lagring, mens godt bløgget laks blir svakt rødere. Lagring i luft gir mindre fargeendringer, men et svakt tap av rødhet/økning i gulhet kan observeres.

Dette illustrerer igjen at blod og mengde blod spiller inn på opplevd farge i laks. Fargen på en dårlig bløgget laks vil ved lagring bli mer påvirket av endringer i oksidasjonsstatus for blodet enn en godt bløgget fisk med lite blod. Holdbarheten i en dårlig bløgget fisk vil også bli kortere.

Effekt av mengde pigment

Man kan tenke seg at fargeeffekten av blodet kommer tydeligere frem i en fisk med lite pigment enn i en med mye siden blodpigmentet da vil være mer dominerende.

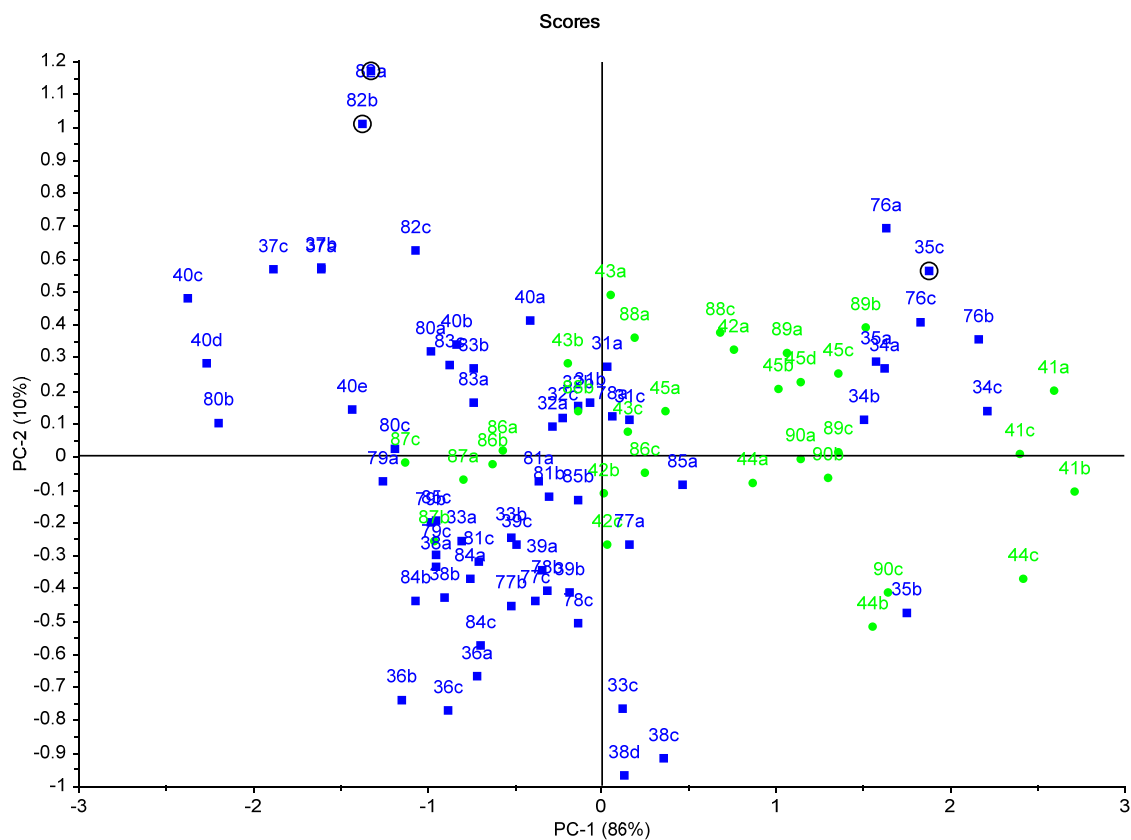
Laks med mye og lite pigment ble pakket i CO, vakuum og luft for å se om fargeendringene var større i fisk med lite pigment. I dette forsøket ble det ikke påvist forskjell i fargeendringer mellom godt og dårlig pigmentert fisk. Men forsøket var lite (få fisk) og kan med fordel gjentas for eventuelt å dokumentere dette bedre.

Effekt av stress før slakting

I et siste forsøk som ble gjort i samarbeid med et tilstøtende prosjekt ("Filet av oppdrettslaks: Kvalitetsavvik og årsakssammenhenger", FHF-prosjekt 900339) ble det målt synlig spektroskopi på laks som hadde vært stressa og ikke-stressa før slakt. Det er tidligere sett at fargen på stressa laks ved slakt er bedre (rødere) enn ikke-stressa, men at kvaliteten over tid

blir dårligere. En hypotese er at det er mer blod igjen i fileten i den stressa fisken. Vi undersøkte først og fremst mengde blod og tilstanden til blodet i de to gruppene.

Figur 5 viser et såkalt PCA-plott basert på de spektroskopiske målingene gjort på hver fisk. Man kan se at det er en trend fra høyre til venstre at de ustressa stort sett ligger til venstre og de stressa til høyre. Denne fordelingen er gitt av mengde blod, målt med spektroskopi, som er i fisken. Det ble gjort 3 målinger på hver fisk på tjukkfisken av fileten, merket med a, b og c i plottet. Det betyr at i tre av de ustressa fiskene, henholdsvis fisk 34, 35 og 76, var det tilsynelatende mye blod, men i de øvrige var det relativt lite blod sammenlignet med de stressa fiskene. Dette kan stemme med tidligere observasjoner, at stressa fisk er rødere enn ustressa fisk på grunn av høyere konsentrasjon av blod. Dette er et interessant resultat både i forhold til generell kvalitet på stressa laks kontra ustressa, og spesielt i forhold til farge. Ytterligere forsøk vil kunne avdekke dette mer tydelig.



Figur 5 Ustressa fisk (blå) og stressa fisk (grønne). Merkene a, b og c indikerer de tre ulike målepunktene fra samme fisk.

Effekt på optiske målinger av astaxanthin i laks

Det er velkjent at det er mulig å måle mengde pigment i laksefilet basert på raske og ikke-destruktive optiske målinger. Man måler da i det synlige området og hovedinformasjonen er intensiteten på absorpsjonstoppen til pigmentet. Dette er publisert og det anvendes til en viss grad i praksis ute i industrien. En målenøyaktighet på $\pm 0,4$ mg astaxanthin/kg fisk er oppnåelig basert på denne metodikken (Ottestad, Isaksson, & Wold, 2012). En forutsetning for å få til disse målingene er at det anvendes såkalt multivariat kalibrering siden det ikke

holder å bruke kun én bølgelengde til disse målingene. I dette prosjektet har vi sett på hvordan lagringstid påvirker nøyaktigheten ved slike pigmentmålinger. Laks ble slaktet og filetene ble målt med optisk spektroskopi hver dag over en lagringsperiode over 6 dager. Det vi kunne observere var at når det ble laget en kalibrering for pigment basert på målinger fra dag 1, så fungerte den bra på målinger fra dag 2, men ikke på dag 6. Prediksjonsfeilen økte fra 0,49 mg/kg til 1.18 mg/kg fra dag 2 til dag 6. Ved nærmere undersøkelse viste det seg at det var endringer i blodet som ga opphav til små endringer i spektrene som igjen førte til dårligere nøyaktighet ved måling av pigment.

Konklusjonen er at det er viktig å inkludere den spektrale variasjonen fra blod for å få robuste og gode prediksjonsmodeller for pigment i laks. Dette arbeidet er nylig publisert i tidsskriftet *Aquaculture* (Ottestad, Isaksson, & Wold, 2012).

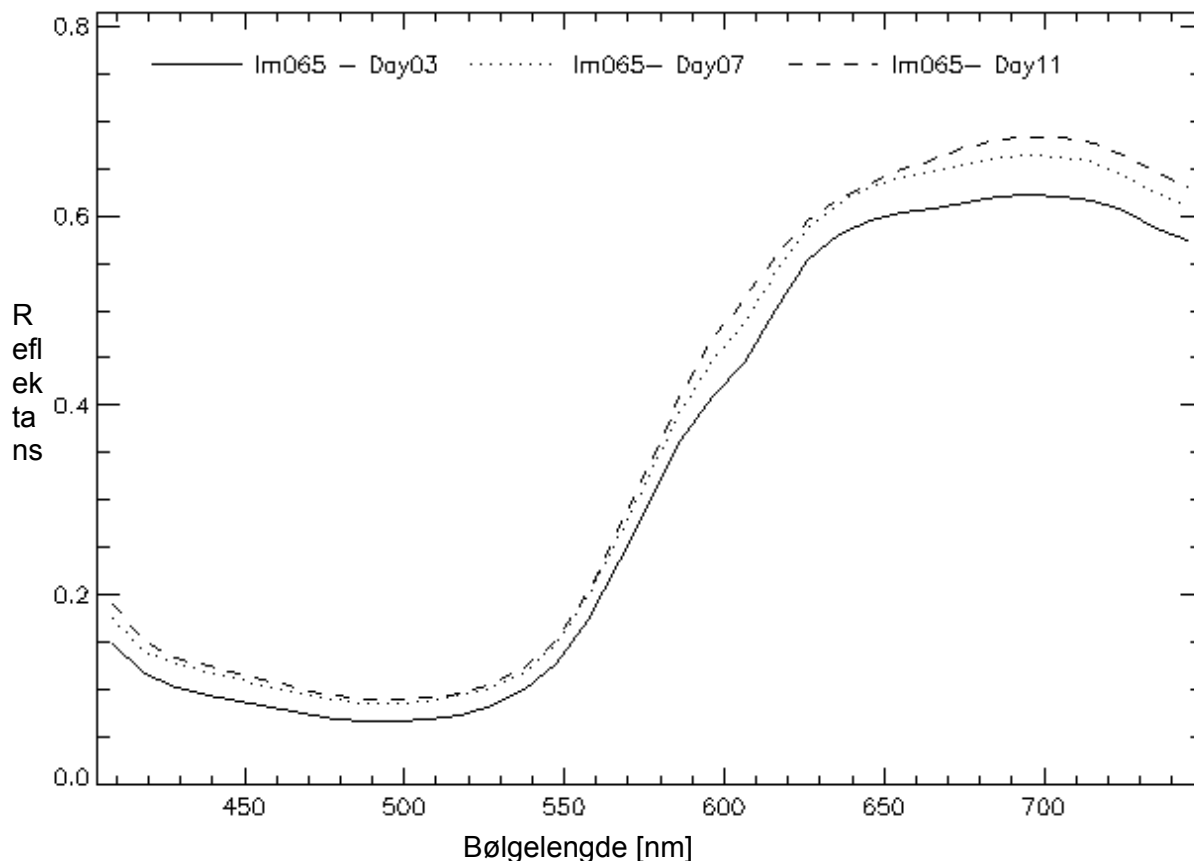
2.2 Diffus avbildende reflektansspektroskopi

Avbildende diffus reflektansspektroskopi baserer seg på å lage et måleoppsett hvor måleområdet belyses med diffust lys. Lyset må være kontinuerlig i det spektrale området, det vil si at det ikke kan benyttes lysstoffrør siden disse har spektrale topper. Vi har valgt å benytte et sett av halogen pærer kombinert med diffusorplater for å oppnå en tilnærmet diffus belysning. For å kalibrere måleoppsettet har vi benyttet en kombinasjon av teflon for å kompensere for ujevn belysning på tvers av transportbandet og en spektraltonplate (99 % refleksjon på alle bølgelengder) for å kompensere for lampekarakteristikker. Ved å bruke denne kalibreringen kan spektrene i diffus reflektansspektroskopi bildene regnes om til reflektansspektre. Reflektansspektrene vil ha verdier mellom 0 og 1 hvor 0 tilsvarer at alt lyset absorberes av prøven og 1 betyr at alt lyset reflekteres. Fra et reflektansspekter er det mulig å regne ut tilsvarende Lab-verdier for ulike belysningsbetingelser. For eksempel er det et krav om at SalmoFan målinger skal gjøres i dagslys (D65) belysning, mens i fotoverden er D50 belysning mer vanlig. Figur 6 viser to fargebilder generert fra en diffus reflektansspektroskopi avbildning av en filet. Figur 6a viser hvordan fileten ville sett ut i dagslys (D65), mens Figur 6 b viser samme filet observert i D50 belysning. Når fileten ble observert i Nofimas forsøkshall i Tromsø lignet den mest på sistnevnte. Dette illustrerer at registrering av SalmoFan verdier på laksefileter i et produksjonslokale ikke er optimalt. Det bør benyttes en tilpasset lysboks for å få ut "riktige" SalmoFan verdier.



Figur 6 To fargebilder av en laksefilet generert fra diffus reflektansspektroskopi måling. a) for dagslys (D65) belysning og b) for D50 belysning.

Reflektansspektrene kan i tillegg til å brukes for å beregne Lab-verdier også gi verdifull informasjon om hvordan fargen til laksefiletene er bygd opp og hvilke underliggende årsaker som kan forårsake fargeendringer. I Figur 7 er det vist reflektansspektra fra tykkfisken på en filet som er fulgt gjennom et lagringsforløp. Diffus reflektansspektroskopi avbildning ble gjennomført på dag 3, 7 og 11 og resultatet fargemessig var at fileten tapte rødhet og ble lysere. Ved å studere reflektansspektrene i Figur 7 er det tydelig at fra dag 3 til 7 er det en generell økning i reflektans som forårsaker fargeendringen, mens fra dag 7 til 11 er det formen på reflektansspektret som endres seg. Dette kan tyde på at for denne fileten blir fargeendringen i første del av lagringsforløpet i hovedsak påvirket av endrede spredningsegenskaper, mens på slutten er det underliggende "kjemiske" endringer som påvirker fargeutviklingen mest.



Figur 7 Utvikling i reflektansspektrum hentet fra tykkfisken på en filet som er fulgt gjennom et lagringsforløp.

2.3 System for påvisning av blod og melaninflekker

Det har blitt utviklet et robust system for påvisning av blod og melaninflekker i dette prosjektet. Systemet er basert på avbildende interaktansspektroskopi hvor ikke bare overflaten til fileten blir inspisert, men flekker kan også påvises inntil 1 cm inn i fileten. I Figur 8 vises det hvordan to lysstriper projiseres ned på fileten mens den passerer på et transportband. Den avbildende spektrografen registrerer hvor mye lys som kommer ut av fileten midt mellom lysstripene på ulike bølgelengder. Lyset er skjermet slik at det lyset som vises mellom lysstripene kommer fra innsiden av fileten. Etter hvert som fileten passerer måleområdet i en hastighet på 40 cm/sekund bygges det opp et bilde av fileten med høy romlig oppløsning ($0,5 \times 1,0 \text{ mm}^2$), hvor hver piksel består av et fullt spektrum som karakteriserer fileten i dette punktet. Basert på dette spekteret er det utviklet modeller for å påvise både melanin- og blodflekker. I tillegg har det vist seg mulig å kunne skille mellom "ferskt" blod og oksidert blod.



Figur 8 Laksefilet med projiserte lyslinjer som viser interaktansoppsettet. Spektrografen registrerer hvor mye lys som kommer ut av fileten midt mellom lysstripene.

Analysen for blod og melanin er basert på å gjennomføre en intern kalibrering på hver filet. I starten av prosjektet prøvde vi å kjøre en felles kalibrering for alle filetene uavhengig av lagringstid og pigmentering, men dette viste seg tidlig å være problematisk. For å løse dette problemet blir det for hver filet gjennomført en internkalibrering som består i å finne et sett med spektre fra fileten som er "typiske" laksespektre uten blod og melanin. Ved å bruke disse spektrene regnes interaktansspektrene om til absorpsjonsspektre som har minimalt med laksemuskelinformasjon, mens blod og melaninsignaturene er bevart. I tillegg blir det kompensert for varierende spredningsegenskaper lokalt på fileten før blod- og melaninflekker blir påvist.

Fordelen med å beregne korrigerede absorpsjonsspektre er at det meste av laksemuskelsignaturen fjernes og man sitter igjen med rene absorpsjonsspektre for blod og melanin. Ved å kjøre denne interne kalibreringen er det mulig å lage robuste modeller for blod og melanin som virker for ulike typer lakseråstoff (variasjon i lagringstid, pigmentering, osv.). I utgangspunktet var denne aktiviteten motivert ut fra å finne flekker i muskelen, men med å øke sensitiviteten til blodanalysen er det også mulig å skille godt og dårlig utblødde fileter.

2.4 Romlig og spektral oppløsning

Krav til romlig og spektral oppløsning stilles ut fra litt ulike ståsted. Romlig oppløsning er avhengig av hvor små blod- og melaninflekker som skal påvises. Typisk vil flekker med en diameter på 1 cm kreve en romlig oppløsning på ca. $3 \times 3 \text{ mm}^2$ for å kunne påvises. Spektralt har det vist seg at det vil være behov for en oppløsning på ca. 10 nm i området fra 550-700 nm pluss 2-3 spektrale band i området 700 til 850 nm, det vil si totalt 18-20 spektrale band.

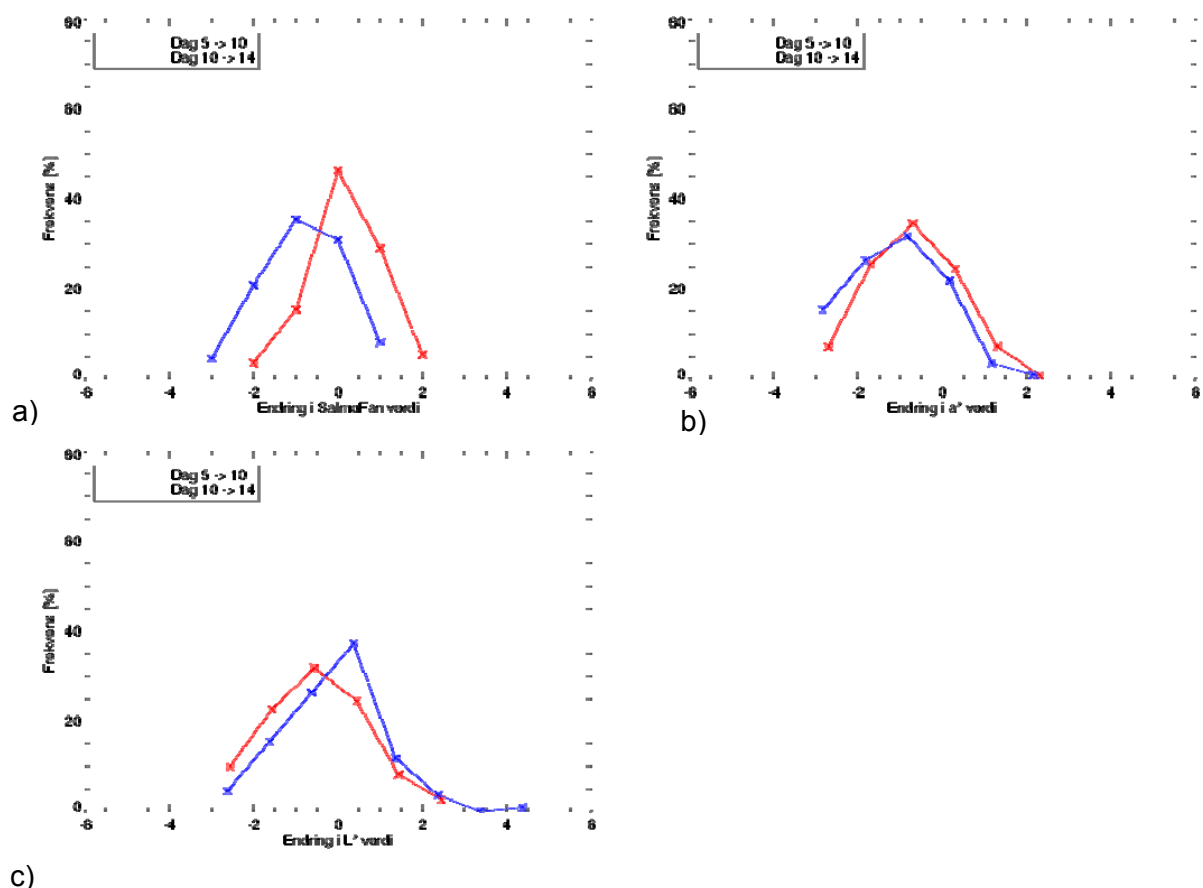
2.5 Industritest

I november/desember 2011 ble det gjennomført en større test ved Nofima i Tromsø basert på råstoff fra en kommersiell aktør. Totalt ble 253 fileter fraktet til Tromsø hvorav en relativt stor andel kom fra kjønnsmoden fisk. Filetene ble plukket ut på anlegget med tanke på at det skulle være mye blod- og melaninflekker. Ved Nofima ble det gjennomført 3 uttak i forsøket; Første måledag var 5 dager etter slakting, og de to påfølgende måledagene var 10 og 14

dager etter slakting. På hver måledag ble det registrert farge av tre personer per filet (SalmoFan), melanin og blodflekker ved manuell inspeksjon, og filetene ble avbildet både ved hjelp av diffus reflektansspektroskopi (farge) og interaktansspektroskopi (blod og melaninanalyse). Basert på resultatene på første måledag ble det valgt ut 110 fileter som gikk videre i forsøket. Når filetene gikk ut av forsøket (143 etter første måledag, og 110 etter siste måledag) ble de grundig inspisert for å avdekke hvor dypt flekkene gikk inn i muskelen. Fokuset i industritesten var dermed todelt, 1) hvordan utvikler fargen seg og 2) hvor godt fungerer påvisning av blod- og melaninflekker.

2.5.1 Farge og fargeutvikling

I prosjektperioden er det gjennomført to store forsøk der farge er vurdert med SalmoFan og ved hjelp av diffus reflektansspektroskopi. Resultatene i denne avsluttende testen underbygger stort sett det som var oppnådd tidligere. En utfordring i dette siste forsøket var at en uforholdsmessig stor andel av filetene var fra kjønnsmoden fisk og dermed hadde en dårlig rødfarge i utgangspunktet. I tillegg førte leveringsproblemer av råstoff til at forsøkets første måledag kom fem dager etter slakting. Vi hadde i vårt forsøksoppsett lagt opp til at vi skulle ha første måledag 2 dager etter slakting. Dette medførte at vi mistet den første delen av fargeutviklingen som vi ønsket å fange opp.



Figur 9 Fargeutvikling på 110 laksefileter målt 5, 10 og 14 dager etter slakting: a) sensorisk (SalmoFan) og instrumentelt ved hjelp av diffus reflektans-spektroskopi regnet om til b) rødhet (CIE a*) og c) lyshet (CIE L).

Det var 110 fileter som ble fulgt gjennom hele lagringsforløpet, det vil si ble målt instrumentelt og ved hjelp av SalmoFan på dag 5, 10 og 14 etter slakting. Den instrumentelle målingen ble gjort med avbildende reflektansspektroskopi, men for sammenligning med SalmoFan registreringene ble det beregnet midlere CIE Lab verdier fra hver filet i samme område som SalmoFan registreringene ble gjort. Det viste seg at det var ingen signifikant endring i SalmoFanverdi fra dag 5 til 10 (rød linje i Figur 9 a). Fra dag 10 til 14 var det derimot en signifikant nedgang, SalmoFanverdien gikk ned med i snitt en enhet (blå linje i Figur 9a). At det ikke var endring i SalmoFanverdi fra dag 5 til 10 er litt merkelig. Ved å se på den instrumentelle målingen (Figur 9 b) er det tydelig at endring i CIE a^* -verdi er like stor fra dag 5 til 10 som fra dag 10 til 14, og i begge tilfellene er det snakk om en signifikant endring. Dette er mer i samsvar med hva som kunne forventes av fargeendringer gjennom lagring.

Det ble ikke observert store endringer i instrumentelt målt lyshet (CIE L^*) under lagringen (Figur 9c). Fra dag 5 til 10 var det ingen signifikant endring, mens fra dag 10 til 14 var det en signifikant økning, men økningen var liten. Det som gjør at vi ikke får den forventede økning i lyshet som naturlig vil følge økning i spredning kan være at første måledag er for langt ut i lagringsforløpet i kombinasjon med et stort antall kjønnsmoden fisk som er lys i utgangspunktet.

2.5.2 Blod og melaninpåvisning

Etter første måledag ble de 110 filetene som det var mest interessant å følge videre i lagringsforløpet valgt ut. Disse filetene hadde en fin miks av svake og sterke blodflekker, og svake og sterke melaninflekker. I den etterfølgende analysen har vi fokusert på disse filetene.

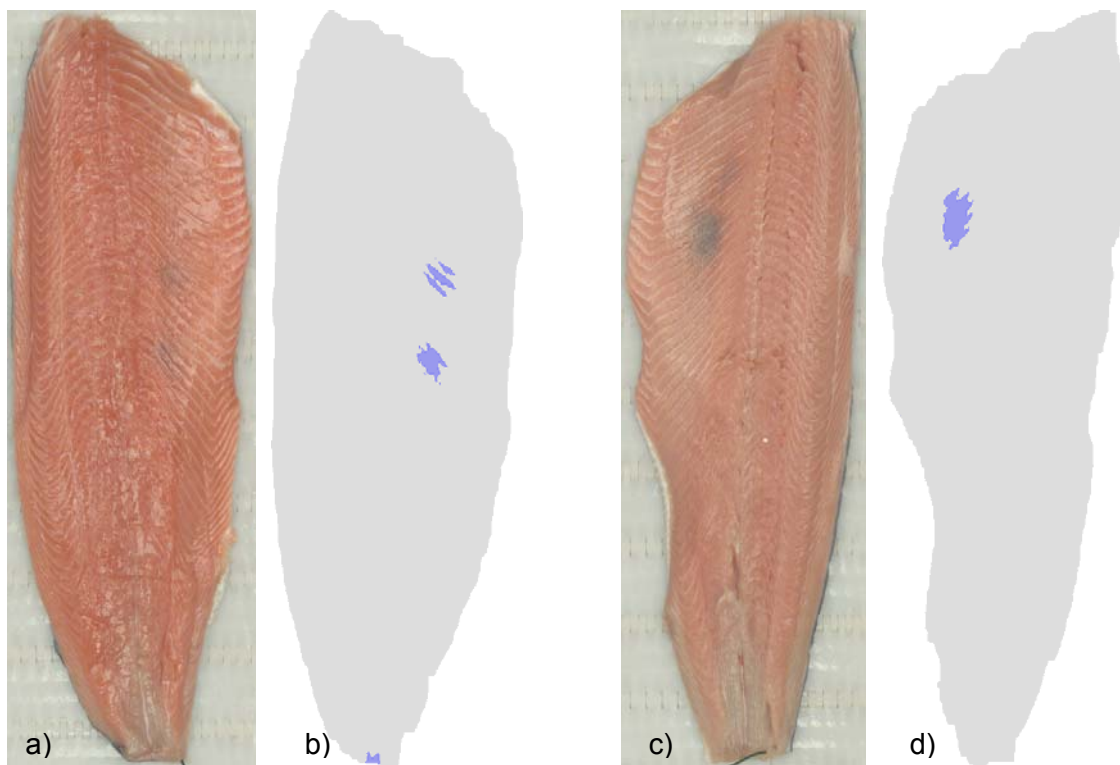
Sensitiviteten til blod- og melaninpåvisningen kan justeres etter ønske. Settes blodsensitiviteten høy vil ikke bare blodflekker påvises, men også forhøyet blodinnhold grunnet dårlig utblødning. I dette forsøket har vi fokusert på å påvise flekker, derfor har blodsensitiviteten blitt satt i forhold til dette kravet. På samme måte kan sensitiviteten til melaninpåvisningen justeres. Det viste seg at det var mulig å påvise selv de svakeste melaninflekkene dersom sensitiviteten ble satt høy nok, men dette medførte også en del falske positive. Derfor satte vi sensitiviteten slik at de 10 % svakeste melaninflekkene ikke ble påvist. Disse flekkene var vanskelig å se når filetene ble manuelt inspisert, slik at det uansett ikke var et stort poeng i å påvise dem instrumentelt.

Med disse grensene for sensitivitet var det mulig å påvise alle blodflekkene i de 110 filetene som ble analysert, og alle synlige melaninflekker. Det var også mulig å skille hva som var melanin og hva som var blod, og i tillegg skille "ferskt" blod (oxy og deoxy Hb) fra oksidert blod (Met Hb).

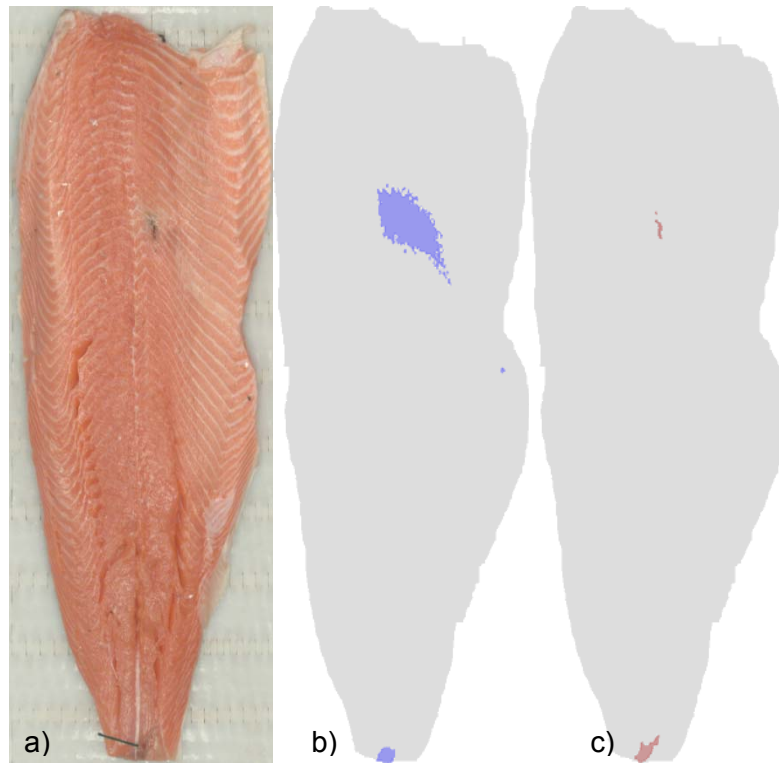
I Figur 10 vises to eksempelfileter som begge har to melaninflekker. De to flekkene som er i fileten vist i Figur 10a er knapt synlige, men blir begge påvist i analysen av interaktansspektroskopibildet (Figur 10 b). Derimot er kun en av flekkene i fileten vist i Figur 10 c påvist (Figur 10 d). Ser man nøyere på fargebildet generert fra diffus reflektansspektroskopi bildet så er det så vidt at man kan skimte en flekk foran den melaninflekk som ble påvist. Dette er en av flekkene som bevisst ble utelatt når sensitiviteten for melanin ble satt i algoritmen. Ingen av melaninflekkene vist i Figur 10 dukker opp som blod i analysen noe som er positivt.

Fileten vist i Figur 11 er litt spesiell. I utgangspunktet så det ut til å være en filet med en relativt liten blodflekk, men i analysen kom det frem en kraftig melaninflekk (Figur 11b) i tillegg til en liten blodflekk (Figur 11c). Dette kan virke som en feil, men under den manuelle inspeksjonen av blodflekken fremkom det at det faktisk var kraftig melaninflekk under blodflekken, noe som ikke var synlig på fileten. Dette var det generelle bildet med påvisning av melanin, melaninflekker kommer tydelig frem og blod kommer kun opp i de tilfellene at det faktisk også er blod i den påviste flekken.

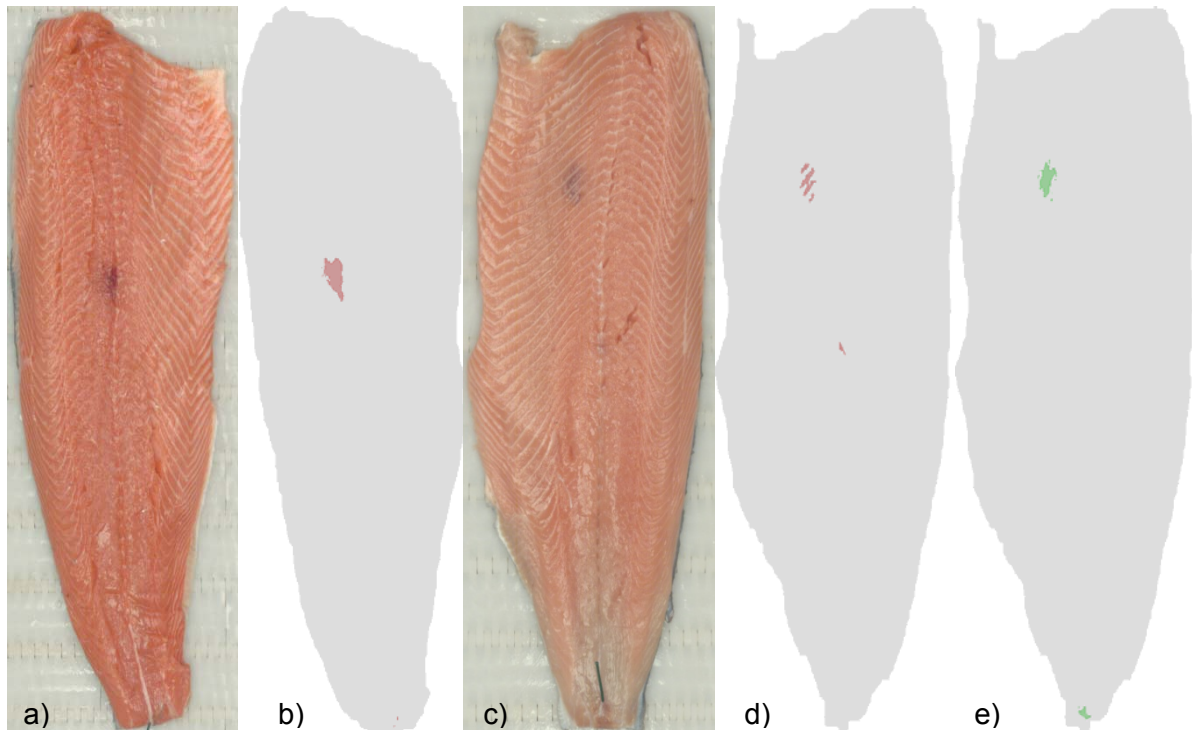
For svake blodflekker er bildet det samme som for melanin, flekken kommer fint opp i analysen som rene blodflekker. Avhengig av oksidasjonsgraden på blodet kommer den opp som oxy-deoxy Hb, Met Hb eller en kombinasjon av disse. I Figur 12 er to fileter vist som begge inneholdt en blodflekk. Flekken i fileten til venstre ble kun påvist som oxy-deoxy Hb, mens fileten til høyre kom kraftigst ut på met-Hb. Visuell inspeksjon av filetene underveis i forsøket samsvarer fint med disse observasjonene.



Figur 10 To fileter med melaninflekker a) og c) viser kalibrert fargebilde basert på diffus avbildende reflektansspektroskopi, og b) og d) viser resultatet av melaninanalysen basert på avbildende interaktansspektroskopi.



Figur 11 Filet med en kraftig melaninflekk som også kommer opp som blod i analysen. a) Kalibrert fargebilde basert på diffus avbildende reflektansspektroskopi, b) påvist melanin og c) påvist oxy-deoxy Hb.



Figur 12 To fileter med blodflekker. a) og c) viser kalibrert fargebilde basert på diffus avbildende reflektansspektroskopi, b) og d) tilsvarende påvist oxy-deoxy Hb, og e) påvist Met Hb.

Tabell 1 Oppsummering av resultater for påvisning av blod- og melaninflekker.

Manuelt klassifisert som:	Ble påvist som:			Ikke påvist
	Melanin	Blod	Blod og melanin	
Melanin	91,9 %	0,0 %	0,0 %	8,1 %
Blod	3,2 %	43,6 %	51,6 %	1,6 %
Blod og Melanin	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %

Tabell 1 oppsummerer resultatene for påvisning av blod- og melaninflekker i laksefilet. For melaninflekker påvises 92 % av flekkene som melanin, og ingenting blir påvist som blod. I analysen ble det bevisst valgt en sensitivitet som utelater de aller svakeste melaninflekkene, se for eksempel Figur 10 c og d. I en del fileter ble det i den manuelle klassifiseringen påvist både blod og melanin i flekkene. I analysen ble alle disse flekkene påvist både som blod og melanin som er riktig i henhold til manuell referanse. Utfordringen kommer i forbindelse med blodflekkene. Det er kun 4,8 % av flekkene som ikke blir påvist som blod, men i 51,6 % av tilfellene påvises flekkene også som melanin. Dette kan være problematisk. Årsakene til at så mange "blodflekker" fremkommer som melanin er sammensatte. Det er vanskelig i den manuelle klassifiseringen å si om en blodflekk er en rein blodflekk eller om det også er melanin i flekken (påviste kun fire slike flekker). De blodflekkene som også fremkom som melanin var kraftige (mørke) flekker som i analysen i hovedsak kom opp som melanin og met-hemoglobin. I disse tilfellene er det ekstra vanskelig å gjennomføre den manuelle klassifiseringen. I de tilfellene at blodflekken er lokalisert langt under overflaten er det også et analysemessig problem å skille blod og melanin på grunn av at lyset når ned til ulike dybder avhengig av bølgelengde. De lengste bølgelengdene går lengst ned i muskelen og påvirkes derfor mest. Dette medfører at den spektrale signaturen til disse blodflekkene blir mer lik melanin. Dette er et problem som bør kunne løses i fremtiden.

To viktige spørsmål som skulle besvares i dette arbeidet var hvorvidt blod- og melaninflekker kan påvises, og om det er mulig å skille mellom blod og melanin. Svaret på begge spørsmålene er ja. Det er tre mulige positive påvisningsresultat på analysen:

1. Påviser kun melaninflekk → Det er en melaninflekk som er påvist
2. Påviser kun blodflekk → Det er en blodflekk
3. Påviser både blod- og melaninflekk → Det er en blodflekk, men det er uvisst hvorvidt det også er en melaninflekk

3 Aktivitet 2: Fjerning av tykkfiskbein i laks

Målet med denne delen av prosjektet var å kartlegge konsumenters evne til å påvise bein i laks samt teste ytelsen på beinfjerning fra post-rigor laksefileter i industrien. Et vanlig oppsett for fjerning av bein i industrien i dag er en linjeløsning der filetene først passerer igjennom en maskinell beinplukker etterfulgt av manuell kontroll og plukking. Denne delen av prosjektet hadde fire delmål:

1. Teste konsumenters oppfatning av laks med bein
2. Kartlegge eksisterende kunnskap angående beinplukking
3. Kartlegge ytelsen ved maskinell beinplukking
4. Kartlegge ytelsen ved manuell etterkontroll

Resultatene fra de tilhørende delaktivitetene er gitt i de følgende fire underkapittel, etterfulgt av en kort oppsummering og konklusjon.

3.1 Konsumenttest

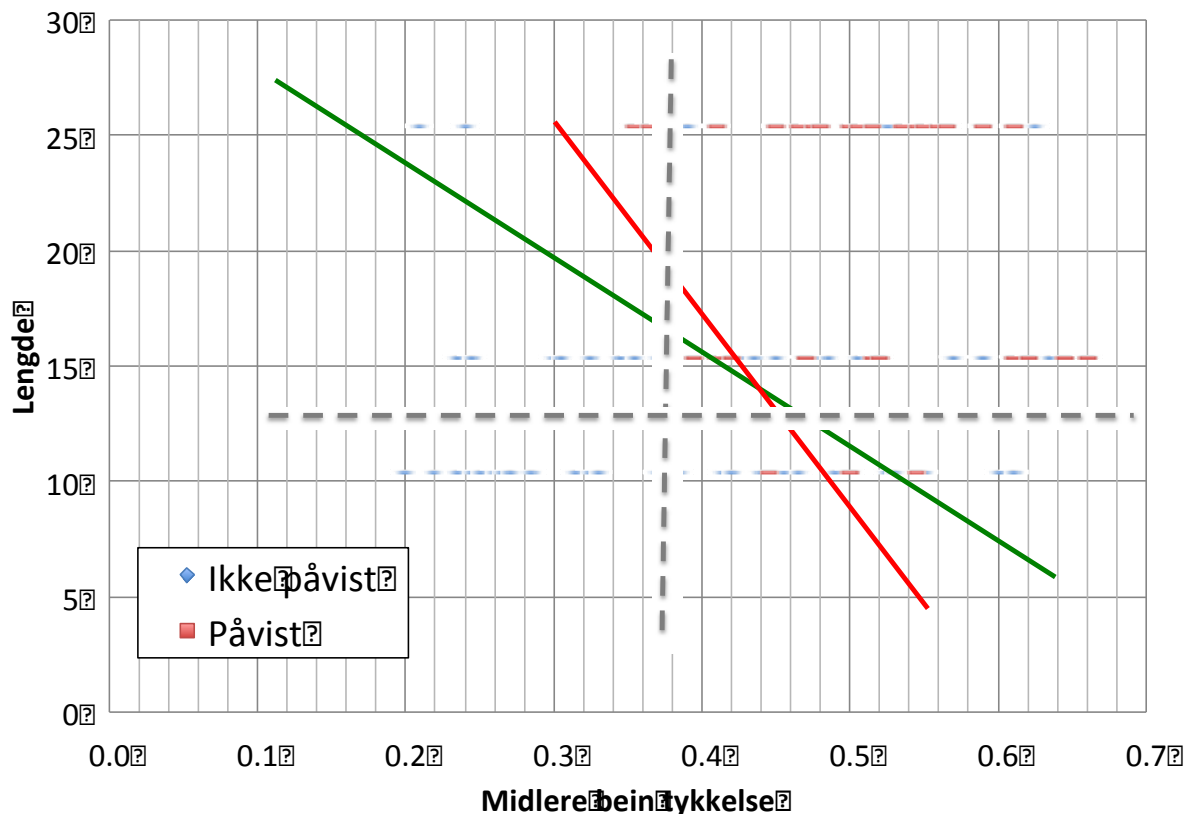
Det ble gjennomført to konsumenttester på ulike lokaliteter i Tromsø, der målet var å teste konsumenters sensitivitet for å finne bein i laksebiten. Laksebitene var alle hentet fra samme plass på fileten (midt på sporden). Tykkfiskbein fra laks ble lagt i vann over natt og deretter klippet i tre ulike lengder: 10, 15 og 25 mm. Tykkelsen på beinfragmentene ble målt i begge ender og et bein ble plassert midt i hver laksebit. Bitene ble deretter varmebehandlet i ovn på 175 °C i 10 minutter. Etter nedkjøling i romtemperatur ble de plassert i plastbeger med lokk og lagret i kjøleskap til konsumenttestene neste og påfølgende dag. Bitene ble servert romtemperert. Hver konsument ble servert tre biter; først en bit som ikke var en del av testen, deretter to biter, hvor en av bitene inneholdt et bein. Rækkefølgene på bit med og uten bein, samt spørsmålene som ble stilt, ble randomisert.

De totalt 97 konsumentene som deltok fordelte seg i tre aldersgrupper: 18-30 år (54,6 %), 31-50 år (25,8 %) og 51-65 år (19,6 %), hvorav 54,6 % var kvinner. Hvor ofte deltagerne spiste laks varierte fra ≤ 1 per måned (23,7 %), 2-3 ganger per måned (48,5 %) og til ≥ 1 ganger per uke (27,8 %). Konsumentene var bedt om å legge til side bein dersom de fant et, og de var ikke klar over at påvisning av bein var en del av undersøkelsen. Basert på hvilke bein som ble påvist kunne man se hvor sensitiv konsumentene var i forhold til beinstørrelse.

Hvorvidt konsumenten påviser beinet eller ikke avhenger av både tykkelsen og lengden. Hvis beinet er kort aksepteres tykkere bein enn om beinet er langt (Figur 13). Resultatene for denne testen er i overensstemmelse med tilsvarende undersøkelse gjort på torsk (se grønn linje i Figur 13). For tynne bein aksepterer konsumentene lengre bein i laks enn tilfelle var for hvitfisk, mens for tykke bein aksepterer konsumentene lengre bein i torsk enn for laks.

Det ble ikke funnet noen signifikante sammenhenger mellom det å finne et bein og vurdering av farge, smak og tekstur i dette studiet. Beinfrie fileter var allikevel vurdert som svært viktig (7,5 i gjennomsnitt på en 1-9 skala). Det var heller ingen klare sammenhenger mellom kjønn,

alder og evnen til å påvise bein. Konsumenter som spiser laks sjelden er signifikant dårligere til å påvise bein enn andre konsumenter.



Figur 13 Plottet viser beinlengde mot midlere beintykkelses for alle bein påvist av konsument (rød firkant) og bein som ikke ble påvist (blå diamant). Stiplede gråe linjer viser separate terskler på beinlengde og bredde for 90 % av alle påviste bein. Rød linje viser separasjonslinje for 90 % av alle påviste bein. Grønn linje viser tilsvarende separasjonslinje fra tidligere arbeid på torsk.

3.2 Kartlegging av eksisterende kunnskap for maskinell beinfjerning

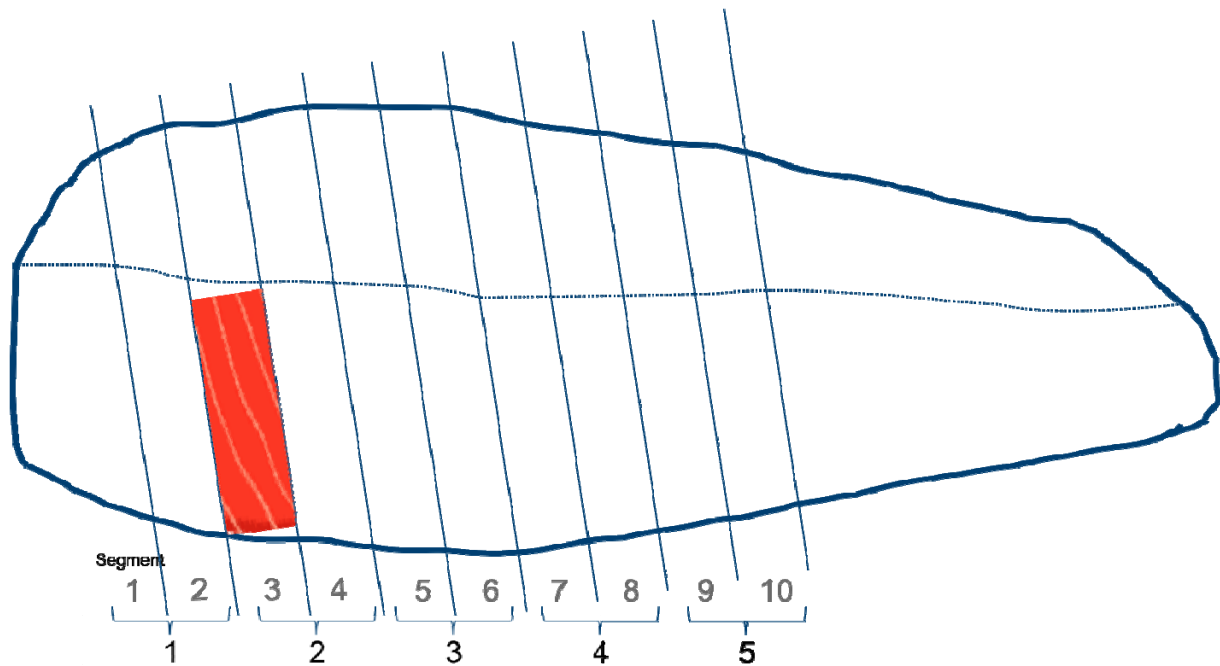
Når man fjerner bein manuelt fra laks prøver man som regel å gjøre dette skånsomt uten å ødelegge muskelen rundt. Man griper beinet med en pinsett eller tang og drar beinet forsiktig i lengderetning ut av fileten, mens man holder igjen fiskekjøttet. Industrielle beinplukkere benytter seg av det samme prinsippet, der roterende tromler griper beina og drar de ut av fileten mens fileten klemmes mot transportbandet. Det finnes en rekke små og store leverandører av beinplukkere, der de største forskjellene ligger i utformingen og posisjonen av trommelen.

Det er en rekke utfordringer med maskinell beinfjerning. Tykkfiskbeina sitter godt forankret i muskelen like etter slaktning, og det er derfor nødvendig å vente til etter rigor før tykkfiskbeina kan dras ut. Så langt er det kun Trio som har utviklet teknologi for maskinell fjerning av tykkfiskbein fra pre-rigor laksefileter.

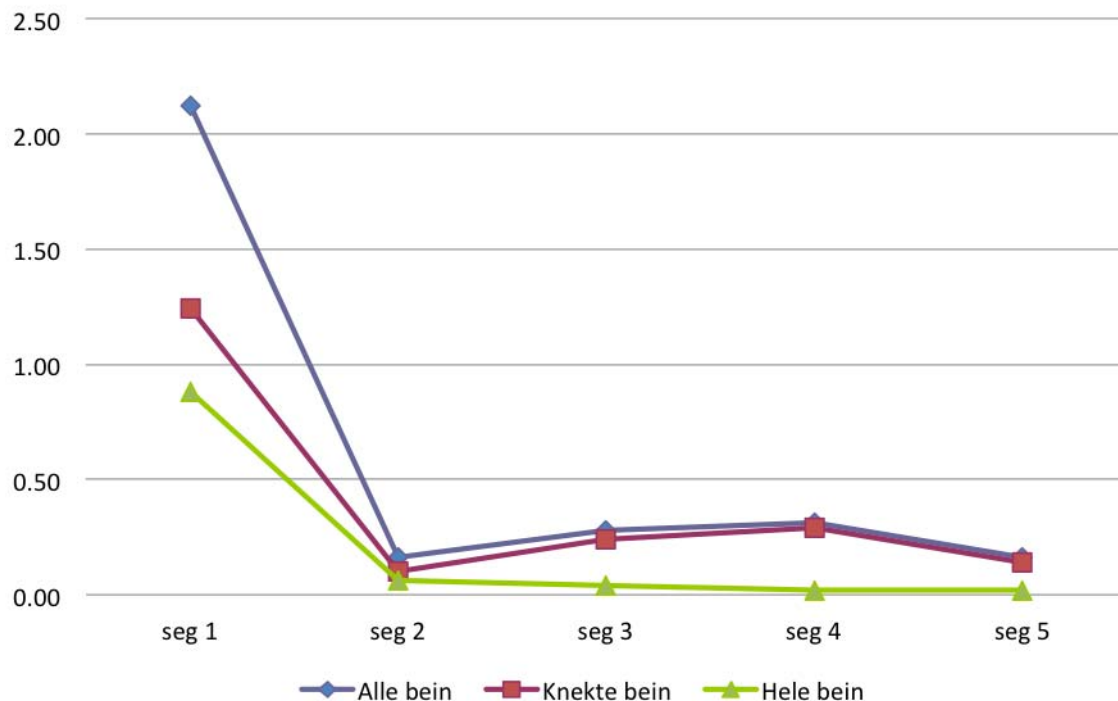
Maskinell beinfjerning er en relativ tøff behandling, og man ser ofte at noe av fiskekjøttet følger med beina samt at noen av beina knekker. I tillegg risikerer man også at den tøffe behandlingen kan indusere spalting av fileten, som igjen fører til nedgradering. Gjenstående bein, spesielt i nakken gjør at alle fileter i dag må etterkontrolleres og plukkes manuelt.

3.3 Ytelsen til maskinell beinplukking

Testen ble utført ved et lakseslakteri (uke 43, 2011) der 100 fileter (filetert og plukket maskinelt 3 dager etter slakting) ble tatt ut for grundig inspeksjon etter den maskinelle beinplukkeren (Carnitech CT2612.25). Hver filet ble snittet i tynne skiver og grundig inspisert for restbein. Tykkelsen og lengden til påviste bein ble målt og registrert, samtidig som posisjonen ble registrert i 1 av 5 segmenter (Figur 14). Den største andelen av restbein, både hele (0,85 bein per filet) og knekte (1,35 bein per filet), ble påvist i den fremre delen av fileten (Figur 15). Dette er svært mange bein, og hovedgrunnen til at alle fileter i dag må etterkontrolleres manuelt. Det ble også påvist et relativt stort antall knekte bein i resten av fileten (Figur 15), og det antas at disse er vanskeligere å påvise enn de hele beina da de knekte beina ikke stikker opp over filetoverflaten.



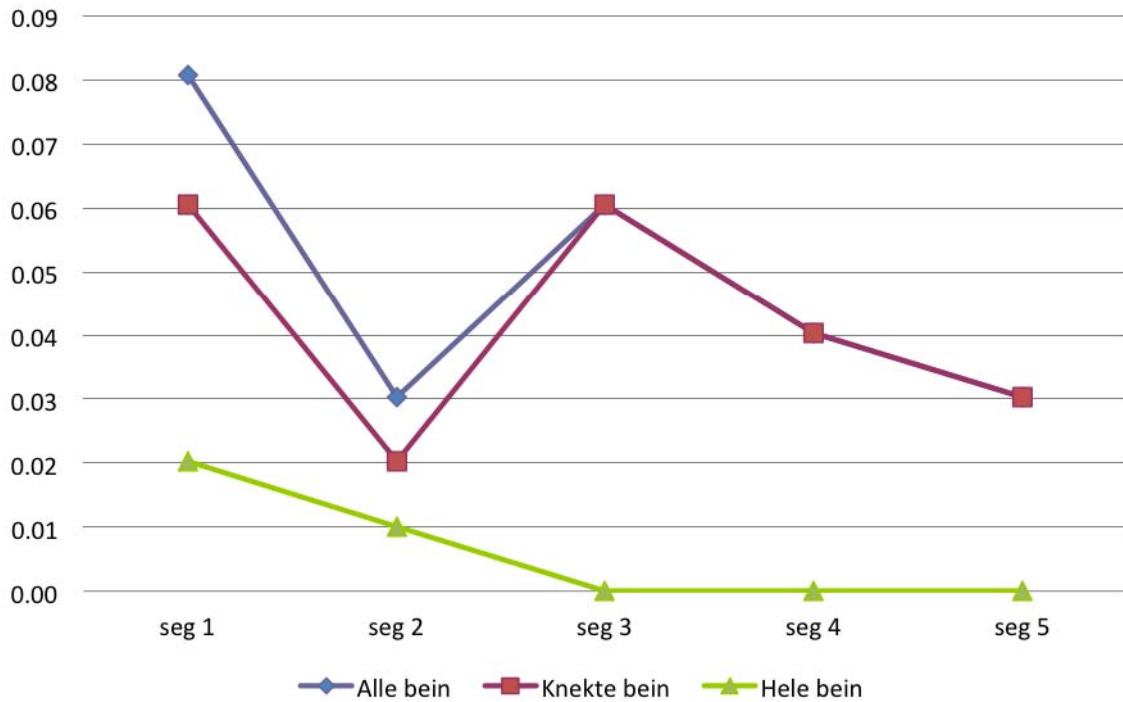
Figur 14 Inndeling av fileten for registrering av posisjonen til påviste tykkfiskbein. Fileten ble delt inn i 10 segmenter med ca. 3 muskelsegmenter i hver. Deretter ble disse 10 segmentene slått sammen til 5.



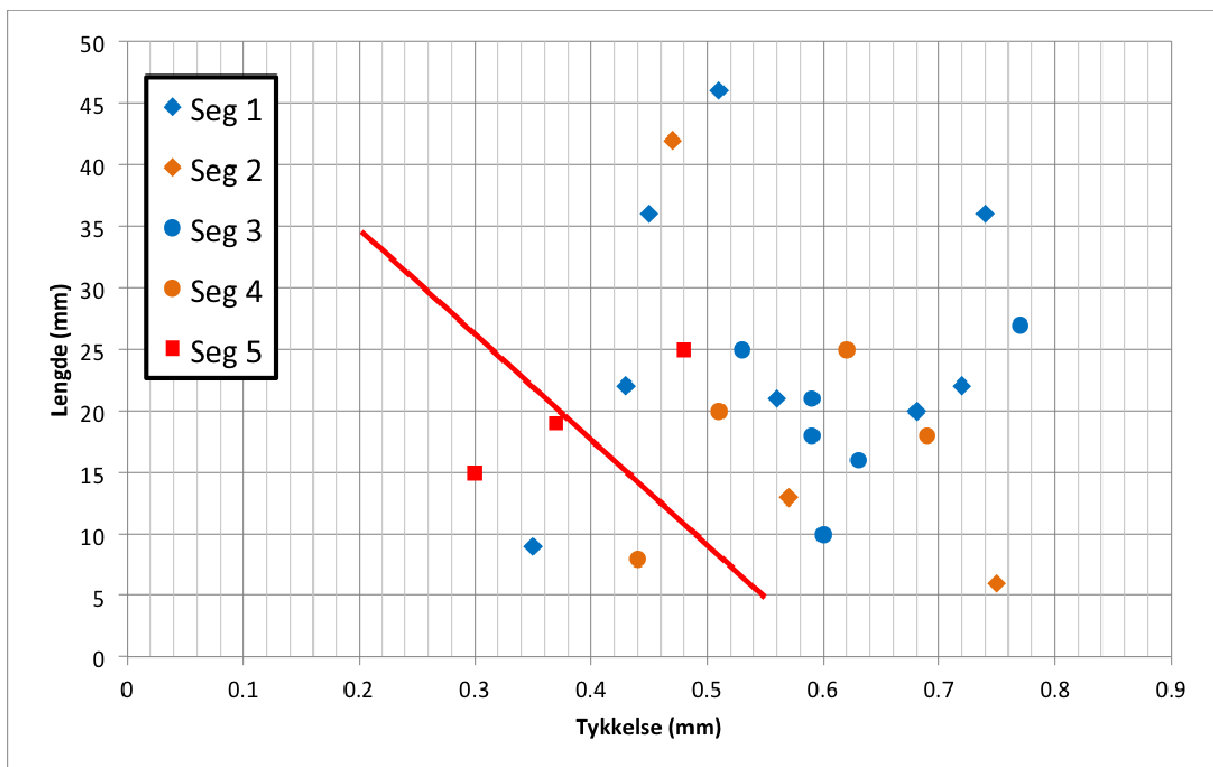
Figur 15 Gjennomsnittlig antall bein per segment etter maskinell plukking.

3.4 Ytelsen ved manuell etterkontroll av tykkfiskbein

Testen ble gjennomført parallelt med testen på den maskinelle plukking som beskrevet over. 99 fileter (filetert 5 dager etter slakting) ble tatt ut etter den manuelle etterkontrollen, og inspisert på samme måte som beskrevet over. Størstedelen av de hele beina blir fjernet i den manuelle etterkontrollen (det ble kun funnet 3 hele bein i de 99 filetene), men en stor andel av de knekte beina blir ikke påvist (Figur 16). Alle gjenstående bein, etter manuell plukking, er plottet som funksjon av tykkelse, lengde og posisjon på fileten i Figur 17. Den røde linjen i plottet viser grensen for hva 90 % av konsumentene er villig til å akseptere (resultat fra konsumenttest beskrevet i avsnitt 3.1). I dette tilfellet ville kun 4 av de 24 restbeina ha blitt akseptert av konsumentene.



Figur 16 Gjennomsnittlig antall bein per segment etter manuell etterkontroll.



Figur 17 Beinlengde som funksjon av tykkelse for alle bein funnet etter manuell beinplukking for de fem inndelte områdene på fileten. Alle bein under den røde linjen indikerer hva 90 % av konsumentene er villig til å akseptere, basert på konsumenttesten beskrevet over.

4 Konklusjon og veien videre

4.1 Farge og fargeutvikling i laksefileter

Gjennom flere forsøk i dette prosjektet har det blitt verifisert at laksefileter taper farge i varierende grad gjennom et lagringsforløp. De mest ekstreme variantene kan tape opp til fire SalmoFan-verdier i løpet av 8-10 dagers lagring, mens det mest vanlige er 1-2 SalmoFan enheter. Tidligere arbeider på farge i laksefileter har fokusert på konsentrasjon av fargepigmentet astaxanthin og endring av spredning som de viktigste bidragsyterne til opplevd farge og fargeutvikling under lagring. I dette arbeidet har vi ikke påvist noen systematiske endringer i farge som følge av endring av spredning, men vi har sett at mengde hemeproteiner (hemoglobin/myoglobin) kan være høyt nok til å gi et vesentlig bidrag til fargen. Dette medfører at oksidasjonstilstanden til hemeproteinet vil være av betydning for opplevd farge, hvor en filet typisk blir mer gul når hemeproteinet oksiderer. God utblødning og god kjølekjede er viktig for å beholde fargen så lenge som mulig. En konsekvens av dette vil være at fileter som har tilsynelatende lik farge under pakking, kan endre fargen forskjellig under lagring pga. forskjellig mengde restblod i fileten. Hvis en produsent pakker fileter i samme kasse med tilnærmet lik rødhet vil fileter med høyt blodinnhold kunne oppfattes som fileter med lav rødhet når de ankommer kunde. En mulighet for å unngå dette vil være å pakke fileter basert på opplevd farge og konsentrasjon av hemeprotein. Fargemåling vha. avbildende spektroskopi er bedre enn bruk av fargekamera. Både med tanke på å kunne gjengi sann farge, men også for å kunne avdekke hvilke underliggende årsaker som forklarer den opplevde fargen. En videreutvikling av avbildende spektroskopi for å kunne kvantifisere mengde hemeproteiner i muskelen er nødvendig for å kunne forutsi fargeutvikling til laksefileter under lagring.

4.2 Deteksjon av blod- og melaninflekker

Blod- og melaninflekker utgjør et relativt stort problem for laksenæringen. Det finnes i dag kommersielle løsninger som kan identifisere melaninflekker på filetoverflaten. Dette er ikke tilstrekkelig for å kunne gjøre bruk av teknologien ute i industrien da en melaninflekk representerer et større problem når den finnes inne i fileten. Det som har vist seg i dette prosjektet, er at påvisning av melanin- og blodflekker ikke kan basere seg utelukkende på overflateinspeksjon. Noen ganger kan melaninflekken være synlig som en svak skygge i overflaten, men samtidig gå hele veien ned til skinnen, og andre ganger vises ingenting på overflaten, mens det er en kraftig flekk inni fileten.

I dette prosjektet har vi utviklet et system for automatisk påvisning av blod- og melaninflekker basert på avbildende spektroskopi. Resultatene viser at blod- og melaninflekker kan påvises med stor nøyaktighet (henholdsvis 95,2 % og 91,9 %). Ingen av melaninflekkene påvises som blod, mens 54,8 % av blodflekkene påvises også som melanin. Det er to hovedårsaker til at så mange blodflekker også påvises som melanin: 1) I den manuelle klassifiseringen av flekken er det feilaktig ikke blitt identifisert melanin i blodflekken, og 2) blodflekken ligger så dypt at lys på "korte" bølgelengder ikke har vekselvirket med blodflekken, og den spektrale signaturen dermed ligner på melanin. Dette skyldes algoritmen som brukes for å påvise blod- og melaninflekker, og vil være mulig å løse i et fremtidig arbeid.

I dag er det mulig å kjøre online avbildning av fileter på 40 cm/sekund, men analysen må gjøres i ettertid. Før metoden kan tas i bruk i industrien bør analysen kunne kjøres online. I motsatt fall vil mye manuelt etterarbeid kreves og det blir vanskeligere å koble analyseresultatene direkte til den fysiske fileten som ble avbildet. Dette er spesielt aktuelt dersom analyseresultatet avviker mye fra manuell inspeksjon slik som illustrert i Figur 11. Slik systemet er i dag kan det brukes for å påvise blod- og melaninflekker med høy nøyaktighet.

I dag er det vanskelig å skille blod- og melaninflekker manuelt noe som er nødvendig for å identifisere årsaken til flekker i laksefileter. Den umiddelbare nytteverdien av å ta i bruk dette systemet i industriell sammenheng vil være å kunne påvise melanin- og blodflekker inne i fileten, og automatisk skille mellom blod- og melaninflekker. Dette vil gi et verdifullt bidrag i det videre arbeidet med å oppnå en optimal og styrt kvalitet på norske filetprodukter.

4.3 Fjerning og forbrukeropfatning av tykkfiskbein i laks

Dette arbeidet har vist at konsumenter kan påvise tykkfiskbein ned til en tykkelse på ca. 0,35 mm og en lengde på 9 mm. Dagens maskinelle beinplukkere levner både hele og knekte bein i fileten. De aller fleste av de hele beina blir fjernet i den manuelle etterkontrollen, mens mange av de knekte beina ikke blir fjernet. I dette forsøket ble det funnet 24 tykkfiskbein i 99 fileter tatt ut etter den manuelle etterkontrollen, hvorav kun 4 av disse var så små at 90 % av konsumentene ville ha akseptert dem.

Gitt at den ene testen som her er gjort er representativ for industriell beinplukking av post-rigor laksefileter, så kan man si at dagens system med maskinell beinfjerning etterfulgt av en manuell etterkontroll er for dårlig med tanke på å kunne tilby konsumentene beinfrie fileter. Den maskinelle beinplukkingen må forbedres, og spesielt med tanke på bein i fremre del av fileten. En mulig måte å forbedre den manuelle etterkontrollen på vil være å bruke røntgen for å påvise bein og beinfragmenter, og deretter presentere posisjonen til restbeina for operatøren. Det gjenstår å evaluere røntgen som metode for deteksjon av beinfragmenter i laksefilet under industrielle betingelser. Et annet interessant poeng er at når den maskinelle beinplukkeren er røff og knekker bein så fremstår den som effektiv, men i virkeligheten lager den problemer som ikke kan rettes opp gjennom manuell etterplukking.

5 Referanser

- Ottestad, S., Isaksson, T., & Wold, J. P. (2012). Effect of varying optical properties on the modeling of astaxanthin concentration in salmon by visible spectroscopy. *Aquaculture*, 333, 116-120. doi:10.1016/j.aquaculture.2011.11.040
- Ottestad, S., Sørheim, O., Heia, K., Skaret, J., & Wold, J. P. (2011). Effects of storage atmosphere and heme state on the color and visible reflectance spectra of salmon (*Salmo salar*) fillets. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(14), 7825-31. doi:10.1021/jf201150x
- Sone, I., Olsen, R. L., Sivertsen, A. H., Eilertsen, G., & Heia, K. (2012). Classification of fresh Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets stored under different atmospheres by hyperspectral imaging. *Journal of Food Engineering*, 109(3), 482-489. doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.11.001



ISBN 978-82-7251-959-8 (trykt)
ISBN 978-82-7251-960-4 (pdf)
ISSN 1890-579X