

Metoder for kvalitetsmåling på hel laks

Karsten Heia, Jens Petter Wold og Martin Hansen Skjelvareid





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

Nofima har om lag 350 ansatte.

Hovedkontoret er i Tromsø, og forskningsvirksomheten foregår på fem ulike steder: Ås, Stavanger, Bergen, Sunndalsøra og Tromsø

Hovedkontor Tromsø:

Muninbakken 9–13
Postboks 6122 Langnes
NO-9291 Tromsø

Ås:

Osloveien 1
Postboks 210
NO-1431 ÅS

Stavanger:

Måltidets hus, Richard Johnsgate 4
Postboks 8034
NO-4068 Stavanger

Bergen:

Kjerreidviken 16
Postboks 1425 Oasen
NO-5844 Bergen

Sundalsøra:

Sjølseng
NO-6600 Sunndalsøra

Felles kontaktinformasjon:

Tlf: 02140
E-post: post@nofima.no
Internett: www.nofima.no

Foretaksnr.:

NO 989 278 835

Rapport

	ISBN: 978-82-8296-357-2 (trykt) ISBN: 978-82-8296-358-9 (pdf) ISSN 1890-579X
<i>Tittel:</i> Metoder for kvalitetsmåling på hel laks	<i>Rapportnr.:</i> 7/2016
	<i>Tilgjengelighet:</i> Åpen
<i>Forfatter(e)/Prosjektleder:</i> Karsten Heia, Jens Petter Wold og Martin Hansen Skjelvareid	<i>Dato:</i> 27. januar 2016
<i>Avdeling:</i> Sjømatindustri	<i>Ant. sider og vedlegg:</i> 17
<i>Oppdragsgiver:</i> Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF)	<i>Oppdragsgivers ref.:</i> FHF 901189
<i>Stikkord:</i> Kvalitet, hel laks, måling	<i>Prosjektnr.:</i> 11481
<i>Sammendrag/anbefalinger:</i>	
<p>I dette prosjektet er det gjennomført en skrivebordsstudie på aktuelle teknologier som kan anvendes for å måle kvalitet på hel laks. Kvalitetsparametere som er vektlagt i studiet er fettinnhold, fettfordeling, fettsammensetning, pigment, farge, blodflekker, restblod, melaninflekker, tekstur og misdannelser. For hver enkelt kvalitetsegenskap er så ulike mulige målemetoder presentert og vurdert med hensyn på egnethet.</p> <p>De teknikkene som er ansett som egnet for måling på hel laks baserer seg hovedsakelig på maskinsyn, synlig og nærinfrarød spektroskopi (VIS og NIR), røntgen, Raman, fluorescens, ultralyd og mikrobølger. For rund fisk eksisterer det ikke ferdige kommersielle løsninger for noen av de kvalitetsegenskapene som er vurdert. Det som er nærmest kommersiell løsning er:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fett og fettfordeling (NIR spektroskopi og røntgen) • Farge/pigment (VIS spektroskopi) • Misdannelser og sår (Maskinsyn og 3D-profilering) 	
<i>English summary/recommendation:</i>	
<p>In this project, different instrumental techniques have been evaluated with regard to their applicability for quality assessment of whole salmon. The quality parameters addressed were fat content and distribution, fat composition, pigmentation, color, blood, melanin, texture and deformations. The techniques considered most suited for measurements on whole fish were machine vision, NIR and VIS spectroscopy, Raman, X-ray, ultrasound and microwaves. There are no commercial solutions ready for quality assessment of whole salmon. The quality attributes closest to be measured in commercial systems are:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fat content and fat distribution (NIR Spectroscopy and X-rays) • Color/pigmentation (VIS Spectroscopy) • Deformation and wounds (Machine vision and 3D-profiling) 	

Innhold

1	Innledning	1
2	Kvalitetsparametere og egnede måleteknikker	2
2.1	Fett og fettfordeling	2
2.1.1	Nærinfrarød spektroskopi (NIR)	2
2.1.2	Røntgen	3
2.1.3	Mikrobølger	4
2.1.4	Ultralyd	4
2.1.5	Raman-spektroskopi.....	4
2.2	Pigment/farge.....	4
2.2.1	Fargekamera.....	4
2.2.2	VIS Spektroskopi	5
2.2.3	Raman-spektroskopi.....	5
2.3	Blod – flekker og restblod.....	6
2.3.1	Avbildende spektroskopi	6
2.4	Melanin.....	7
2.4.1	Avbildende spektroskopi	7
2.5	Tekstur.....	9
2.5.1	VIS-NIR Spektroskopi	9
2.5.2	Fluorescens.....	10
2.5.3	Røntgenspredning	11
2.5.4	Ultralyd	12
2.6	Misdannelser og sår	12
2.6.1	Røntgen	12
2.6.2	3D-profilering og farge	12
2.7	Kjernetemperatur	13
2.8	Restholdbarhet	14
3	Konklusjon	15
4	Referanser	16

1 Innledning

Metoder for kvalitetsmåling på hel fisk uten at fisken må skjæres i vil gjøre det mulig å sortere rund fisk på slakteriene. Dermed vil sortering på kvalitet rett etter slakting kunne danne grunnlag for beslutning om videre bearbeiding. Det jobbes i dag med mange ulike teknikker for kvalitetsmåling på fisk, men i mange tilfeller er disse kun testet på filet og/eller på andre fiskeslag enn laks. Videre finnes det svært mange teknologier som heller ikke har vært forsøkt på fisk før. I dette prosjektet var målsettingen å utarbeide en oppdatert kunnskapsammenstilling over metoder og teknologier som kan benyttes til måling av kvalitetsegenskaper i laks uten å skjære i fisken. I vurdering av egnethet for rund fisk er også krav om hastighet på måling (egnet for on-line måling) vektlagt. Dersom en metode er vurdert som egnet for rund fisk er også dens egnethet for filet kommentert.

Type kvalitetsmål som er vurdert som viktige å måle er følgende:

- Fettinnhold og fettfordeling
- Farge, totalt og fordelt
- Tekstur – bløthet og spalting
- Melanin, flekker i muskel og tørre områder
- Blod, restblod
- Misdannelse, ryggdeformitet, sammenvoksing, vintersår

I tillegg har vi lagt til noen parametere som kan måles med samme teknologi som blir diskutert:

- Kjernetemperatur
- Restholdbarhet

Prosjektet er gjennomført som et skrivebordstudie der aktuelle teknologier som er mulig å anvende på rund laks for å si noe om de ovenfor nevnte kvalitetsparametere er beskrevet. Resultatet fra dette arbeidet er oppsummert i denne rapporten.

2 Kvalitetsparametere og egnede måleteknikker

I påfølgende gjennomgang blir de ulike kvalitetsparameterne diskutert enkeltvis og for hver parameter blir egnede teknologier presentert.

2.1 Fett og fettfordeling

2.1.1 Nærinfrarød spektroskopi (NIR)

Det er velkjent at man kan måle fettinnhold i laks ved bruk av nær-infrarød (NIR) spektroskopi. Både fett, vann og protein har klare absorpsjonstopper i NIR området 760–1100 nm. Det kan derfor utvikles kalibreringer som gjør det mulig å måle disse komponentene svært hurtig. Lyset i dette området trenger relativt dypt inn i laksemuskel (1–2 cm) og det betyr at det er mulig å lage målesystemer som gir et representativt mål på fettinnhold selv om fettene er ujevnt fordelt i laksen.

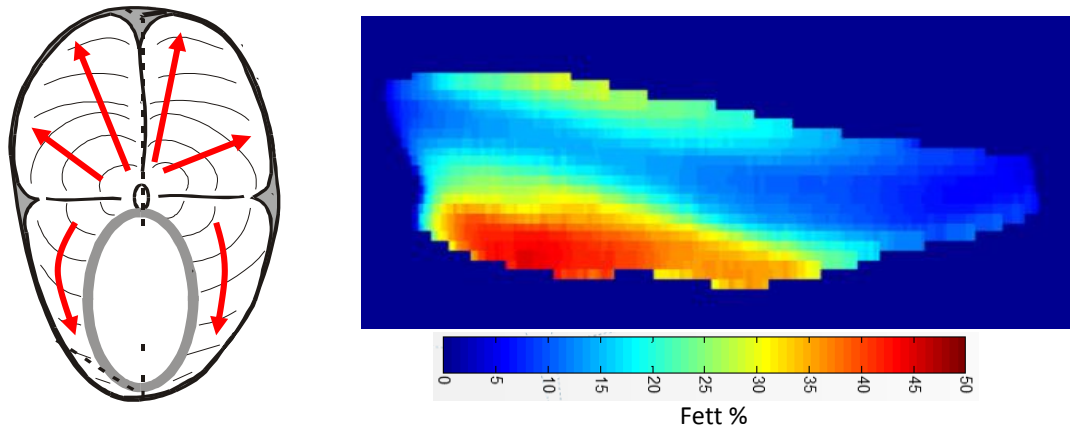
NIR kan anvendes på svært heterogene og komplekse matvarer siden store deler av prøven kan måles, enten ved bruk av avbildende spektroskopi eller ved at man midler spektrale signaler fra store deler av prøven. I Norge har vi de siste årene utviklet on-line NIR-løsninger for måling av vann i klippfisk (Wold *et al.*, 2006), fett og pigment i hel laks (Folkestad *et al.*, 2008) og laksefilet (Segtnan *et al.*, 2009), matinnhold i krabber (Wold *et al.*, 2010) og fett i avskjær av kjøtt (Wold *et al.*, 2011).

I 2005 ble det utviklet en NIR-skanner for måling av fettinnhold i laksefileter. Denne ble utviklet av Titech Visionsort i samarbeid med Sintef IKT og Nofima (da Matforsk). Måleprinsippet var å sende NIR-lys inn i fileten langs en linje på tvers av transportbåndet, mens man målte det lyset som kom opp av fileten langs en parallell linje cirka 1–2 cm unna. Man sikret seg da at lyset som ble målt hadde vært et stykke ned i fileten. Måleprinsippet kalles interaktans. Metoden ble først utviklet for måling av vanninnhold i klippfisk der det også var viktig at lyset hadde vært inne i fisken og ikke bare på den tørre og salte overflata. Instrumentet ble til den kommersielle QMonitor som ble levert av den norske bedriften Qvision. Qvision ble senere kjøpt opp av TOMRA som nå utvikler og selger lignende instrumentering.

Fordelen med QMonitor er at hele transportbåndet blir avbildet og at man dermed får frem ikke bare gjennomsnittlig fettinnhold for hver filet, men også et bilde av fettfordelingen. Dette brukes kommersielt av lakseavlsselskaper. Denne type avbildning går imidlertid utover signal-støy-forholdet i hvert målepunkt, både på grunn av optikken og fordi målingene må gå meget hurtig. QMonitor har blitt forsøkt brukt til måling av fettinnhold i hel laks, men uten gode resultater. Signalene fra NIR-lys som hadde vært gjennom skinnen og inn i muskelen ble for svake til å få tilfredsstillende modeller for fett. Det er imidlertid vist at samme instrument gir ganske gode estimater for fettinnhold i hel makrell ($\pm 3\%$), men det ble poengtert at signalene var støyfulle og at man eventuelt bør forsøke å optimalisere optikken for dette formålet (Wold, 2013). Den samme skanneren ble brukt til påvisning av rogn og melke i hel sild. Dette fungerte også rimelig bra med 95 % rett klassifisering på 170 sild (Wold, 2013). Den samme skanneren er i kommersiell bruk hos Hitramat for måling av matinnhold i hele krabber. Målingene gjøres gjennom det brune skallet på krabbene.

I 2010 ble QMonitor videreutviklet til dagens kommersielle system, QVision500. Måleprinsippet er det samme, men hardware er endret på. Endringen ble gjort for å optimalisere målinger på kjøtt, man ønsket at systemet skulle bli mer robust mot store høydevariasjoner på prøvematerialet. Skanneren

fungerer meget godt til mange formål og er i bruk verden over. Det er gjort enkle forsøk som indikerer at QVision500 gir dårligere signaler enn den gamle QMonitor på vanskelige prøver som hel fisk. Dette går imidlertid an å forbedre ved justeringer i optikk. TOMRA sitter på patentrettigheter til virkemåten til skanneren. Figur 1 viser typisk fettfordeling i hel laks og fettfordeling på filet målt med QMonitor.



Figur 1 Fettfordelingen i laks er viktig å ta hensyn til ved utvikling av måleinstrument. Røde piler angir økende fettinnhold. Mest fett er det i ytre del av filet mot skinnen. Derfor er NIR en egnet metode for måling på hel laks, siden metoden måler cirka 1 cm inn i fisken. Høyre: fettfordeling i laksefilet basert på QMonitor, avbildende NIR spektroskopi.

Siden det på et tidlig tidspunkt ble antatt at skanneren ikke egnet seg til måling av hel laks ble det satt i gang et prosjekt for utvikling av et dedikert NIR instrument for måling av fett og pigment i hel laks. Prosjektet ble finansiert av Forskningsrådet og ble ledet fra Nofima (da Matforsk). Sintef IKT bygget et instrument med en kraftig lyskilde og følsom detektor som målte i området 460–1040 nm, altså i både det synlige og NIR. Instrumentet ble laget robust slik at det kunne flyttes og brukes ute i felt. Dette instrumentet må betjenes manuelt med en PC, og en person må holde laksen inntil instrumentet for best mulige målinger. Instrumentet måler på et begrenset området med diameter på cirka 5 cm og en dybde på cirka 1 cm, og kalles Punktmåleren (sammenlignet med skanneren som måle avbildende). I prosjektet ble det oppnådd kalibreringer for fett i hel laks med en nøyaktighet på $\pm 1,2\%$. Instrumentet står hos Nofima på Ås i dag og brukes jevnlig av lakseavlsselskaper for måling av store mengder laks for fenotyping. I forhold til skanneren omtalt over gir dette instrumentet vesentlig bedre målinger på hel laks med mindre støy. Dette instrumentet ble også brukt til målinger av fett i makrell og kjønn på sild med like bra eller bedre resultater enn QMonitor som nevnt over (Wold, 2013).

Punktmåleren slik den står i dag *kan* brukes til on-line målinger på hel laks, men er ikke godt egnet for dette. Det kommer av den fysiske konstruksjonen. Men måleprinsippet egner seg, og det er nettopp (januar 2016) innvilget midler fra Forskningsrådet (Bionær) til et innovasjonsprosjekt (*Smart sensor for innovative industrial food process control*) som har som målsetting å utvikle et industrielt on-line instrument basert på samme lest. Anvendelsene som skal utvikles i dette prosjektet er fett i hel laks, kjernetemperatur i varmebehandlede kjøttprodukter, samt tørrstoff i potet. TOMRA Sorting Solution er med i prosjektet, sammen med Nofima, Sintef IKT og tre næringsmiddelbedrifter.

2.1.2 Røntgen

Røntgen brukes til on-line målinger av fett i kjøtt. Prinsippet baserer seg på at fett og vann har ulik tetthet og absorberer ulik mengde røntgenstråling. En fordel med røntgen fremfor NIR er at

røntgenstråling kan gjennomlyse tjukke prøver, minst opp til 20 cm, og kan dermed gi meget representative mål for fett selv om prøvene er svært heterogene. Det finnes kommersielle systemer for fettmåling i kjøtt fra både FOSS og Marel. Marel sitt system, SensorX, som også benyttes til beindeteksjon, brukes til å måle fettinnhold i avskjær av kjøtt på transportbånd. Det er ikke kjent om systemet er testet ut for måling av fett i hel laks eller annen fisk, men dersom det fungerer på kjøtt i ulike fasonger så bør det også kunne fungere for laks. Dette er verdt å undersøke.

2.1.3 Mikrobølger

I kjøttindustrien benyttes også mikrobølger til måling av fett. Det vil si, det er vann som måles, og så estimerer man fettinnhold basert på vanninnholdet. Mikrobølger krever at målingene gjøres i et lukket kammer og at hele kammeret er fylt for å ha full kontroll på prøvens størrelse. Dette er mulig å gjøre med kvernet kjøtt, men er ikke en praktisk anvendbar metode for hel laks.

2.1.4 Ultralyd

Ultralyd har blitt undersøkt som teknologi for å måle fettinnhold i ulike matprodukter. Fettinnholdet påvirker lyd hastigheten gjennom produktet, og i laks kan fettinnholdet estimeres indirekte gjennom punktmålinger av lyd hastighet gjennom produktet. Metoden er temperaturavhengig, ettersom lyd hastigheten i fett synker med økende temperatur (Ghaedian *et al.*, 1997). Se avsnitt 2.5.4 for flere detaljer angående målemetode, muligheter og begrensninger.

2.1.5 Raman-spektroskopi

Raman-spektroskopi er vibrasjonsspektroskopi som NIR, men man måler andre og mer spesifikke forbindelser. En begrensning med Raman er at måleområdet tradisjonelt har vært svært lite – maksimum 0.5 mm i diameter. Dette er nå i ferd med å endre seg, man kan måle på områder opp mot 1 cm i diameter og det er vist at det er mulig å måle dypere inn i biomaterialer. Ved Nofima har vi vist at det er mulig å bruke Raman til å måle *fettsammensetning* i både oppmalt laks og filet (Afseth *et al.*, 2006). Det vil si, det er ikke mulig å kvantifisere alle fettsyrer, men man kan måle en del ulike fettsyrer og også måle graden av mettetthet på fett, jodverdien. Dette kan være av spesiell interesse for å evaluere effekt av fôr basert på ulike fettkilder (ulike marine og vegetabiliske oljer).

Ved Nofima har vi også testet ut Raman interaktansmålinger, også kalt SORS (Spatially Offset Raman Spectroscopy), for å se om det er mulig å måle gjennom lakseskinn (Afseth *et al.*, 2014). Det har vist seg at dette er fullt mulig. Man oppnår Raman spektra av god kvalitet og signalene kommer fra muskelen, ikke skinnen. Med Raman vil det derfor være mulig å få et mål på fettsammensetning på hel laks, raskt og ikke-destruktivt. Utviklingen av Raman-instrumenter går raskt, og det finnes allerede bærbare instrumenter og instrumenter som kan anvendes i prosess. Nofima følger denne utviklingen nøye.

2.2 Pigment/farge

2.2.1 Fargekamera

For måling av farge på *filet* kan relativt enkel instrumentering anvendes. Photofish fra Akva-group er et alternativ, ellers så kan det utvikles et system som kan stå i produksjonslinja som baserer seg på

kontrollert diffus belysning og linjefargekamera. Man kan trolig oppnå gode resultater for både pigment og SalmoFan-verdier med denne metoden.

Muskelfarge målt på rund fisk krever en annen tilnærming enn fargekamera.

2.2.2 VIS Spektroskopi

Pigment i laks absorberer i det synlige området og kan følgelig måles med synlig spektroskopi. Dette kan gjøres med QMonitor som er beskrevet over, der både gjennomsnittlig pigment og pigmentfordeling kan måles i laksefileter. Nøyaktighet for filet ligger på typisk $\pm 0,4$ ppm pigment. Forsøk gjennomført ved Nofima viser at kombinasjon diffus belysning og avbildende spektroskopi gir en svært nøyaktig estimering av SalmoFan-verdi.

Måling av pigment i *hel* laks er mer krevende, siden målingene må skje gjennom skinnet. Med Punktmåleren omtalt over kan man få estimater for pigment, men ikke særlig gode. Dersom man kan midle over flere laks slik man gjerne gjør innen avl for å få ett felles estimat per familie, så kan instrumentet vise seg å være nøyaktig nok. Dette er imidlertid ikke undersøkt skikkelig.

De mest aktuelle pigmentene, astaxanthin, idosanthin, cantaxanthin, absorberer alle i det synlige bølglengdeområdet, men ikke i NIR. Om de hadde absorbert i NIR hadde det trolig vært enklere å måle siden NIR-lys lettere transmitteres gjennom skinnet på laksen. Selve skinnet er grått og det er dekket av mørkt melanin på rygg og et lysere pigment på buken. Fisken er også dekket av skjell som kan påvirke målingene. Ved bruk av synlig lys og interaktans er det svært vanskelig å måle pigment på ryggpartiet på grunn av det mørke melaninet i skinnet. Dette absorberer svært mye av lyset og målesignalene blir meget svake og støyfulle. Dersom målinger gjøres på buken der laksen er sølvfarget får man bedre målinger, men en utfordring er uansett at skinnet absorberer mye av lyset, og dette gjør det vanskelig å få til gode kvantitative målinger av pigment. I prosjektet der Punktmåleren ble utviklet ble det funnet at området på buken bak gattet var det beste stedet for måling av pigment på hel laks. Det er mulig å jobbe videre med instrumentering for å se om man kan få til dette bedre.

Pigmentmåling på hel *sløyd* fisk kan gi andre og bedre muligheter. Da kan pigmentet måles fra bukhulen og det er forventet at dette vil gi vesentlig bedre resultater enn måling gjennom skinnet. Da er det kun bukhinnen som må gjennomlyses og den er mer transparent i det synlige. Så vidt vi vet finnes det ikke noe instrument som er tilpasset denne type måling i dag, men det vil være mulig å lage til. Så vidt vi vet er det heller ikke gjort forsøk som kan bekrefte at man får gode målinger av pigment på denne måten, men det kan enkelt gjøres forsøk med 30–50 fisk med varierende pigmentmengde for å avklare dette. Det må også utredes hvordan et slikt instrument kan utformes og tilpasses til en produksjonslinje.

2.2.3 Raman-spektroskopi

Raman-spektroskopi er svært følsom for karotenoider og det er vist at det er en god metode for å kvantifisere pigment i laksemuskel (Wold *et al.*, 2004). Raman er imidlertid ikke interessant å bruke til måling av pigment i filet, fordi vanlig kamera eller VIS-spektroskopi er både raskere, billigere og bedre egnet.

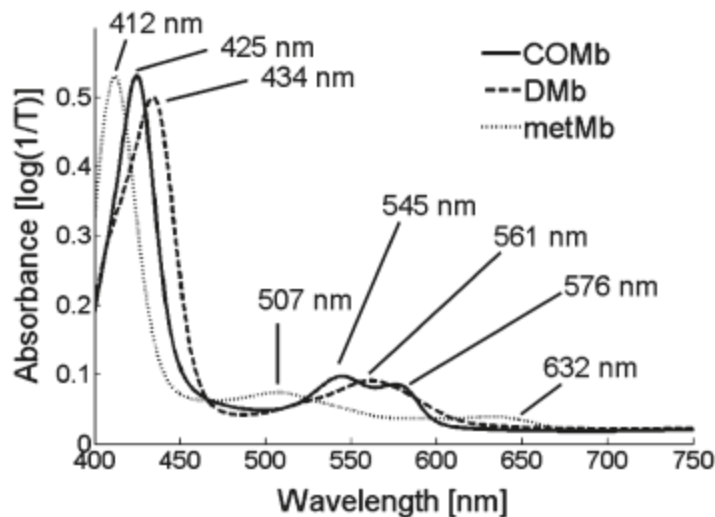
For hel fisk er metoden imidlertid meget interessant. Som nevnt under avsnitt 2.1.5 kan man med Raman måle gjennom lakseskinnet. Det er fordi målingene anvender lys i det nærinfrarøde som ikke

absorberes så sterkt av skinnet som det synlige lyset. Som nevnt over er det vist at man får gode Raman-signaler fra fettene i laksemuskel ved måling på hel laks, men det er ikke forsøkt tilsvarende for pigment. Dette er verdt å undersøke. Det finnes ikke Raman-instrumentering som kan stå på en prosesslinje for laks per i dag, men dette kan komme innen fem år.

2.3 Blod – flekker og restblod

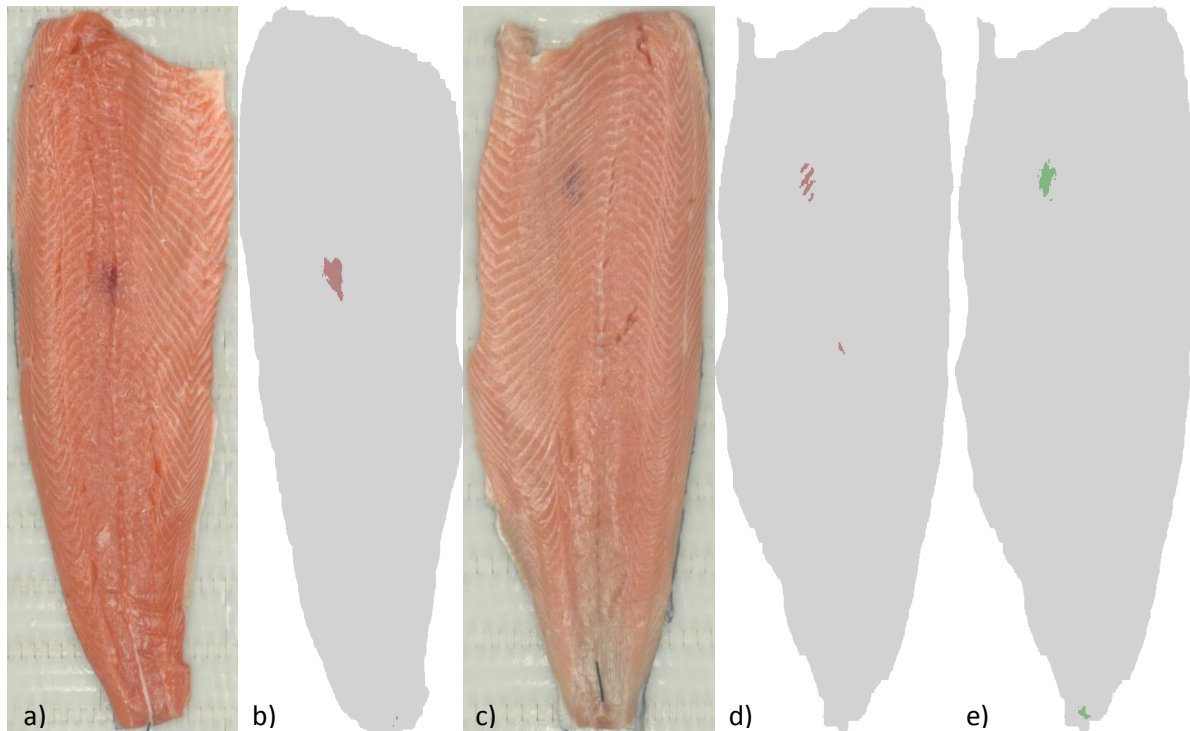
2.3.1 Avbildende spektroskopi

Blod har meget karakteristiske absorpsjonsspektra i det synlige bølglengdeområdet (Figur 2). Det betyr at blodflekker relativt enkelt kan påvises i fileten med vanlig fargekamera. For å skille blod fra andre pigmenter, for eksempel melanin, vil det være en fordel å anvende spektroskopi, altså måling av flere bølglengder/kanaler enn det man har i et RGB-kamera (rød-grønn-blå kamera).



Figur 2 Absorpsjonsspektra for hemoglobin i ulike statuser, oxyhemoglobin, deoxyhemoglobin og met-hemoglobin.

Ved bruk av avbildende spektroskopi i interaktans modus kan man også påvise blod som ligger noe inn i fileten (10–15 mm). Dette ble vist i et prosjekt som ble finansiert av FHF i perioden 2009-2011 (Heia *et al*, 2012).



Figur 3 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.

Som vist i Figur 3 er det mulig å påvise blodflekker i laksefilet i overflaten og inne i filet (Figur 3a og b), og det er mulig å skille mellom oxy/deoxy Hb og met Hb (Figur 3d og e).

Påvisning av blodflekkene gjennom skinnen på rund laks er mer utfordrende. Blod har et karakteristisk absorpsjonsspekter også i NIR opp til cirka 1100 nm. Siden NIR lys transmitteres langt bedre gjennom skinnen enn det synlige lyset, så vil NIR trolig være bedre egnet til å påvise blod i muskelen på hel fisk. Det er vist at det på denne måten er mulig å påvise bloduttredelser i muskel på hel makrell gjennom skinn (Wold, 2013). Skinnen på makrell er imidlertid tynnere enn på laks.

Problemet med å påvise blodflekker er at man må *lete* etter bestemte områder, og det kan være vanskelig i høy hastighet og også få til dette på alle områder på en hel laks. Merk også at spektroskopisk signatur til blod er svært lik signaturen på den mørke muskulaturen i fileten. Det er fordi den mørke muskelen inneholder mye blod. Bloduttredelser i mørk muskel vil dermed være svært vanskelig å påvise. I praksis betyr dette at det er noen mindre områder på hel fisk der det vil være mulig å påvise blod under skinnen. Det er der det kun er et tynt lag med mørk muskel under skinnen.

Som nevnt også for pigment, så vil det være mulig å påvise blodflekker i buken via bukhulen på sløyd fisk.

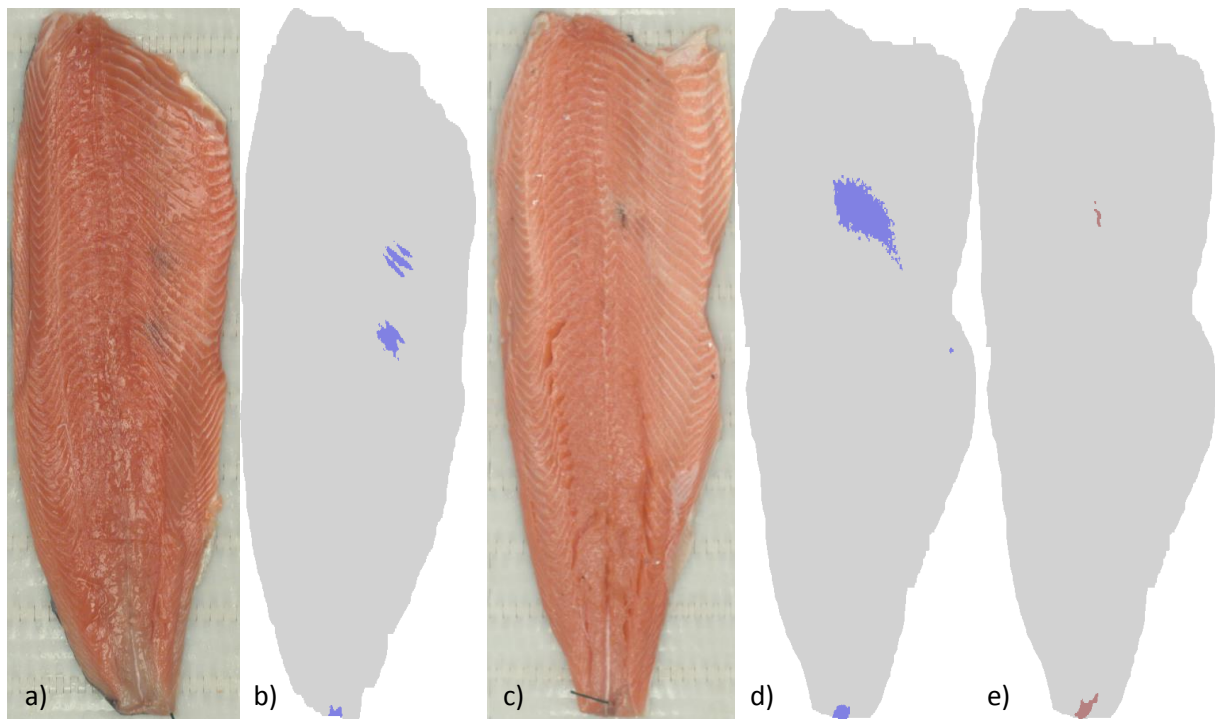
2.4 Melanin

2.4.1 Avbildende spektroskopi

I likhet med blod har melanin et karakteristisk absorpsjonsspekter i både det synlige og NIR. Utfordringen med påvisning av melanin er derimot større enn for blod når det er snakk om rund fisk.

Dette skyldes at skinnen inneholder mye melanin og at det ikke er mulig ut fra en interaktansmåling å si om melaninet som absorberer lys er lokalisert i skinnen eller i muskelen.

I prosjektet som Nofima gjennomførte i 2009–2011 (Heia *et al.*, 2012) ble det dokumentert at melaninflekker kunne påvises både i overflate og inne i filet når målingen ble gjennomført på filet. Eksempel på påvisning av melanin er vist i Figur 4. En filet har melanin i overflaten på buken, mens den andre fileten ser tilsynelatende fin ut, men har en stor innvendig melaninflekk som fremkommer i analysen.



Figur 4 To fileter med melaninflekker a) og c) viser kalibrert fargebilde basert på diffus avbildende reflektansspektroskopi. b) og d) viser resultatet av melaninanalysen basert på avbildende interaktansspektroskopi. e) viser blodanalyse på filet vist i c).

Påvisning av melanin gjennom skinn er som nevnt vanskelig, men det har vært vist at kraftige melaninflekker lokalisert i buken (hvor skinnen er lysere, det vil si mindre melanin) kan påvises ved bruk av synlig lys og NIR (Mørkøre *et al.*, 2015). Som nevnt for pigment og blodflekker vil påvisning via bukhalen på sløyd laks være et alternativ også for melanin. Det som kan være en utfordring, er å skille mellom melanin i bukinnen og i muskelen.

2.5 Tekstur

«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 95 år siden, er fastheten i fiskekjøttet blant de egenskapene som bidrar mest til kvalitetsopplevelsen, og fingertrykk er fortsatt den mest brukte måten å bedømme den på. For en mer presis måling og beskrivelse kan man bruke et sensorisk panel, men dette er kostbart og kan kun gjøres på noen få prøver. Den vanligste instrumentelle metoden for teksturmåling baserer seg på å trykke en sylinder, kule eller kniv ned i fiskekjøttet med en konstant hastighet og måle kraften som skal til for å bryte gjennom overflata på prøven. Denne type metode er tidkrevende og destruktiv, og det er viktig at målingene er standardisert og gjøres på samme sted hver gang for å være sammenlignbare (Mørkøre, 2008). Metoden er ikke egnet for hel fisk.

Fasthet i fiskefilet avtar gradvis ved lagring fra pre-rigor til post-rigor og påvirkes av en rekke ulike faktorer: Årstid, alder og størrelse på fisken, sultetid før slakt, stress, fôring, fettinnhold, slaktemetode, prosessering og lagringstemperatur (Bahuaud, 2009). Mengden og egenskapene til bindevevet er også avgjørende. Bindevev består av blant annet kollagen, og økende mengde kollagen gir fastere fiskekjøtt. Teksturen er ofte fastere mot halen på filetene og dette kommer av både mer bindevev og også en annen type strukturering av muskelfibrene. Ulike enzymatiske prosesser påvirker i hvilken grad, og hvor hurtig, bindevevet brytes ned. Det er observert at laksemuskel med stor muskelfiberdiameter fra fisk som har vokst fort, tenderer til å være løsere enn muskel med mindre fiberdiameter og høyere tetthet av muskelfibre. Tekstur er også knyttet til pH i muskelen, der lav pH tenderer til å gi løs muskel (Rasmussen, 2001). Lav pH er relatert til stress før slakting.

Muskelhistologi har vist at den ekstracellulære matrisen, altså bindevevet rundt muskelfibrene gradvis brytes ned etter slakt og under lagring. Bindevevet som binder muskelfibrene sammen svekkes, og tilsvarende nedbrytes bindevevet som knytter muskelfibrene sammen med myocommata. Sistnevnte prosess fører spesielt til spalting, det vil si at muskelsegmentene faller fra hverandre. Bløt tekstur og spalting forekommer ofte samtidig, men ikke alltid.

Siden tekstur på muskel påvirkes av så mange ulike faktorer er den vanskelig å kontrollere gjennom verdikjeden. Ettersom den også er påvirket av flere ulike egenskaper ved muskelen, både kjemiske, enzymatiske og fysiologiske, sier det seg selv at dette også er krevende å måle. Det er ikke påvist en enkelt målbar markør som kan brukes til å måle eller forutse tekstur i laks. Det har vært foreslått å måle mengden av enkelte enzymer, for eksempel forholdet mellom enzymet calpain og inhibitoren calpastatin, men dette er på forskningsstadiet (Bahuaud *et al.*, 2010). Det er allerede antydnet over at det kan være vanskelig nok å få gode teksturmålinger med de instrumentelle pressemetodene som brukes i dag, fordi prøvens plassering på fileten og lignende påvirker resultatet.

Det kan være mulig å bruke optiske- eller røntgen-teknikker til å måle tekstur. Dersom dette er mulig på filet kan det også være mulig på hel laks.

2.5.1 VIS-NIR Spektroskopi

Som nevnt over er VIS-NIR spektroskopi godt etablert som en hurtigmetode på laboratorier og stadig mer brukt til on-line målinger i industrien.

VIS-NIR har blitt forsøkt brukt til å måle tekstur i laks og dette har gitt lovende resultater (Isaksson *et al.*, 2001). Spektroskopiske målinger utført direkte på hele fileter kunne brukes til å klassifisere fisken

inn i tre klasser; bløt, middels og fast fisk. Dette studiet viste at det var viktig å måle både i det synlige og i NIR-området. De optiske målingene ble gjort på svært begrensede områder på fisken og deretter kalibrert mot en instrumentell teksturmåling (Kramer-celle). Det er også flere publikasjoner som viser at det er mulig å klassifisere kjøtt i 2–3 mørhetsklasser ved bruk av VIS-NIR og et kommersielt instrument er i bruk for dette (Park *et al.*, 1998; Shackelford *et al.*, 2005).

Grunnen til at spektroskopi er en lovende teknikk for måling av tekstur er at både kjemisk variasjon og strukturvariasjon i muskelen kan måles. Med NIR måles fett, vann, protein og til dels proteinstruktur. Det er også indikert at man kan måle pH i kjøtt (Andersen *et al.*, 1999) og vannbindingsevne i laks (Wu & Sun, 2013) med NIR. Vannbindingsevne er knyttet til tekstur ved at kjøtt med fast tekstur gjerne holder godt på vannet. Strukturen i muskelen er for det meste gitt av muskelfibrenes størrelse og tetthet. Det er vel kjent at fiberorienteringen i laks påvirker VIS-NIR spektrene (Wold, 1995) fordi de har ulike lysspredningsegenskaper. Det er gode sjanser for at fibertykkelse og fibertetthet vil kunne måles med spektroskopi siden dette er fysiske egenskaper i vevet som vil endre lysspredningen. Erfaringsmessig vet vi at synlig lys ned mot de fiolette bølgelengdene er sensitive for variasjon i vevsstruktur, og derfor kan det være viktig å ha med VIS i tillegg til NIR i målingene.

Det er mange måter å måle VIS-NIR spektra på. For å få representative målinger er det en fordel at lyset trenger et stykke inn i fileten. Siden teksturen kan variere over en og samme filet vil det også være ønskelig å kunne avbilde hele fileten og om mulig påvise denne romlige variasjonen. Som nevnt over vil det være mulig å måle gode NIR spektra on-line på både fileter og hel laks. Det er en interessant og lovende metode, men det er viktig å huske på at det per i dag ikke finnes noen kjent kausal sammenheng mellom NIR målinger og tekstur på laks. Man bør derfor ha moderate forventninger til hvor godt det vil kunne fungere. Det å kunne påvise fisk som er ekstra bløte, altså det å kunne plukke ut de av dårligst kvalitet, kan være en fornuftig målsetting. Dette er på linje med hvordan man jobber i kjøttindustrien, der man anvender NIR for å luke ut de seigeste biffene.

Man kan også se for seg at det vil være mulig å påvise unormalt bløt/hard fisk som følge av sykdom, parasitter eller feilernæring. Da har trolig muskelen en såpass avvikende kjemiske sammensetning i fett og bindevev at det kan påvises med NIR gjennom skinnet.

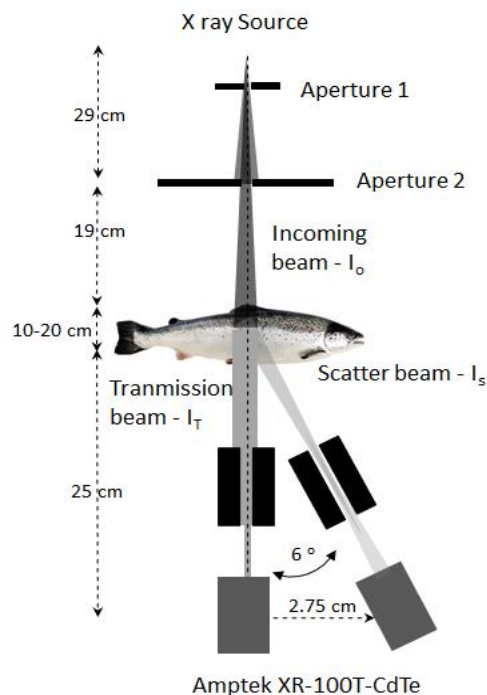
For næringen kan det være nyttig å gjøre teksturmålinger på pre-rigor laks, og basert på disse kunne forutse teksturen i fisken 4–5 dager senere. Det har ikke vært forsøkt å måle dette optisk tidligere. Imidlertid er det flere studier av teksturutvikling over tid som viser at det er en sammenheng mellom tekstur før og etter rigor-forløpet (Bahuaud *et al.*, 2009). Det vil si at en fisk med fast tekstur når den er fersk også har relativt fast tekstur etter 5 dagers lagring, og visa versa.

2.5.2 Fluorescens

En annen interessant og hurtig, spektroskopisk metode i denne sammenheng er fluorescensspektroskopi. Med fluorescens kan man måle mengde kollagen i fisk og kjøtt (Andersen & Wold, 2003; Wold *et al.*, 1999). Det er mulig å måle fluorescens direkte på overflaten av laksefileter, og dermed kan denne metoden bidra til å modellere tekstur. Et enkelt og portabelt instrument for dette ble designet og bygget av SINTEF IKT og Nofima og kan anvendes til dette. Denne metoden er imidlertid kun egnet for filet, siden fluorescens måler på prøvens overflate og vil ikke kunne måle gjennom skinnet.

2.5.3 Røntgenspredning

I løpet av de siste 5 år er det undersøkt om røntgen kan brukes til mørhetsmålinger på kjøtt (forskningsrådsprosjektet INFORMED – Increased Efficiency: Moving from Assumed Quality to Online Measurement and Process, 210516). Resultatene fra dette har vært lovende og røntgen kan dermed være en alternativ metode for å måle tekstur/fasthet i fiskekjøtt. Røntgen kan fungere fordi det kan være mulig å måle kollagenstrukturen med røntgenspredning. Røntgengjennomlysning (transmisjon) med sensorer med høy romlig oppløsning vil kunne måle små endringer i muskelens tetthet og struktur og dermed gi informasjon om muskelfasthet. Figur 5 skisserer hvordan et røntgenoppsett kan være.



Figur 5 Transmisjon- og spredningsmåling med energidispersiv detektor

Røntgendetektorer er i en utviklingsfase og flere systemer tar i bruk såkalte Time Delay Integration (TDI) detektorer. Disse gir samtidig både høy oppløsning og god følsomhet. Det sistnevnte gjør at det trengs lavere røntgenenergi og dermed oppnår man bedre kontrast i bildene. Da kan små og lokale forskjeller i tetthet avbildes. Detektorene er spesielt egnede for å løse oppgaver der mye skal måles på kort tid. Det kan utføres tester for å finne et sett av de best egnede energinivåene for røntgenstrålen og detektoren. Dette er en metode som per i dag lar seg bruke in-line ved spesialtilpassing av eksisterende utstyr. Blant annet leverer InnospeXion utstyr som også er brukt i ulike matanvendelser (<http://www.innospeXion.dk>).

I prosjektet INFORMED ble det med røntgen målt strukturer på nanometerskala – dimensjonene til myosin og actin. Det er vist at disse dimensjonene korrelerer godt med mørhet og vannbinding. Dette kan også være interessant for laks, særlig dersom vi ser at avstand mellom myofilamentene varierer med teksturen på samme måte som påvist for kjøtt. Kollagen gir et noe annet røntgenspekter enn muskel og vann, og mengde kollagen kan også estimeres. Denne metoden er per i dag ikke tilgjengelig for in-line uttesting men kan gi nyttig informasjon om hva som forårsaker bløt tekstur.

2.5.4 Ultralyd

Ultralyd har blitt brukt i flere sammenhenger for å måle egenskaper ved matprodukter, blant annet tekstur og/eller fettinnhold i kjøttprodukter (Llull *et al.*, 2002; Abouelkaram *et al.*, 2000), modenhet og fasthet på avocado og mango (Mizrach, 2000) og måling av fettinnhold og tørrstoff i torsk (Ghaedian *et al.*, 1997). Den vanligste målemetoden er å sende en ultralyd-puls gjennom produktet og måle tidsforsinkelse og dempning for pulsen. Fra tidsforsinkelsen er det mulig å måle lyd hastigheten, som er gitt av tettheten og stivheten (elastisk modulus) til materialet. Lyd hastigheten er derfor ofte korrelert med den opplevde fastheten til objektet man måler på. Metoden er så langt lite brukt i industrien, men forskningsresultater viser at den har potensiale som en rask «on-line» målemetode for tekstur.

I et praktisk måleoppsett for laks vil man enten måtte sende lyden gjennom fiskekjøttet mellom to ultralydtransducere («transmisjon»), eller bruke samme transducer for sending og mottak, og bruke en reflektor slik at ultralyden går samme vei fram og tilbake («puls-ekko»). Merk at ultralyd-målinger generelt krever mekanisk kontakt mellom transducer og måleobjekt, enten direkte eller via et fast eller flytende koblingsmedium (f.eks. vann).

2.6 Misdannelser og sår

2.6.1 Røntgen

Vanlige misdannelser på laks er knyttet til deformiteter på beinstrukturen: Sammenvoksing av beinvirvler, pukkelrygg, korthale og deformert kjeve (Gjerde *et al.*, 2005). Alle disse egenskapene er mulig å se ved bruk av røntgen. Røntgen brukes da også til forskningsformål til påvisningen av disse egenskapene i forbindelse med føringsforsøk og genetiske studier.



Figur 6 Korthale og hakeslepp

2.6.2 3D-profilering og farge

Maskinsyn, altså påvisning av tilsvarende defekter med vanlig kamera og algoritmer for automatisk bildeanalyse, er et alternativ. Det har imidlertid vist seg i flere studier at visuell bedømmelse av hel fisk kan påvise fremtredende deformiteter, men går glipp av mindre indre deformiteter som er av betydning for kvaliteten, for eksempel sammenvoksing av ryggvirvler. Sammenvoksing av ryggvirvler kan gi deformiteter også på fileten og vanskeliggjøre filetering.

Skannerteknologi, basert på maskinsyn, har blitt utviklet for kvalitetsgradering av hel sløyd laks, med hensyn til deformiteter, ytre sår og kjønnsmodenhet (Sture *et al.*, 2016). En prototyp skanner ble bygget og algoritmer utviklet i 2015. Skanneren gjør utvendig avbildning i 3D og farge, med et 360-

graders tversnitt som muliggjør avbildning av alle sidene av laksen. Test med skanner og algoritmer demonstrerte en deteksjonsnøyaktighet for deformiteter og sår på henholdsvis 86 % og 89 %, på et begrenset datasett på i overkant av 100 laks. Test på deteksjon av kjønnsmodenhet ble ikke gjort, grunnet mangel på slik fisk på testtidspunktet. Deformiteter detekteres ved å hente ut et sett med geometriske egenskaper beregnet fra en 3D punktsky. Sår detekteres ved å analysere egenskaper som beskriver farge, form og utstrekning. I 2016 er det planlagt at en industriell versjon av skanneren installeres på et lakseslakteri. Her skal det samles inn et stort datasett med 3D fargebilder av laks med og uten deformiteter, sår og kjønnsmodenhet. Basert på dette datasettet vil deteksjonsalgoritmene trenes opp ved bruk av flere geometriske egenskaper og fargeegenskaper, slik at en nøyaktig prediksjonsmodell kan bygges opp. Kombinasjon av hurtig skannerteknologi og effektive algoritmer gjør det mulig å gjøre robust og sanntidsskanning av laks på transportbånd i hastigheter på mer enn 1 m/s.

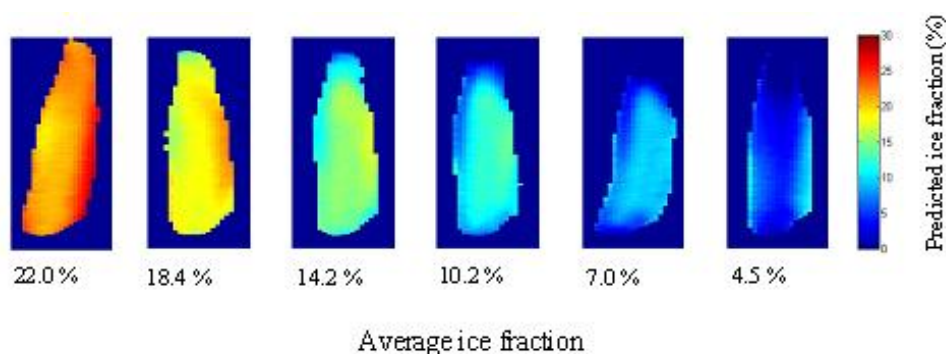
Dersom det er interesse for automatisk påvisning av deformiteter i en prosesslinje er dette mulig på minst to ulike nivå:

1. Synlige deformiteter kan påvises ved bruk av 3D-profilering og maskinsyn
2. Indre deformiteter som ikke kan påvises visuelt kan muligens påvises ved bruk av kommersielle røntgensystemer som normalt brukes til deteksjon av bein.

2.7 Kjernetemperatur

Kjernetemperatur er ingen spesifikk kvalitetsegenskap for laks, men en prosessparameter som av og til er viktig å kunne måle. Det er vist at det er mulig å bruke NIR interaksjon for å måle kjernetemperatur i varmebehandlede pølser, leverpostei (O'Farrell *et al.*, 2013) og fiskekaker (Wold, 2016). Det er også vist at det er mulig å måle temperatur i fiskefileter i en kjølekjede. Dette er mulig fordi absorpsjonstoppen for vann skifter posisjon som funksjon av temperatur. Kjernetemperatur er temperaturen i kjernen på et produkt, og ofte den som er kritisk ved varmebehandling. På større produkter vil det ikke være mulig å måle kjernetemperatur, men temperaturen ned til cirka 1 cm dybde. Dersom man har prosesser der det er kritisk at temperaturen holdes under et bestemt nivå så kan denne type målinger være nyttige. Det finnes per i dag ikke utstyr som er designet spesifikt for formålet, men NIR instrumentering nevnt over, for eksempel Punktmåleren, egner seg til dette.

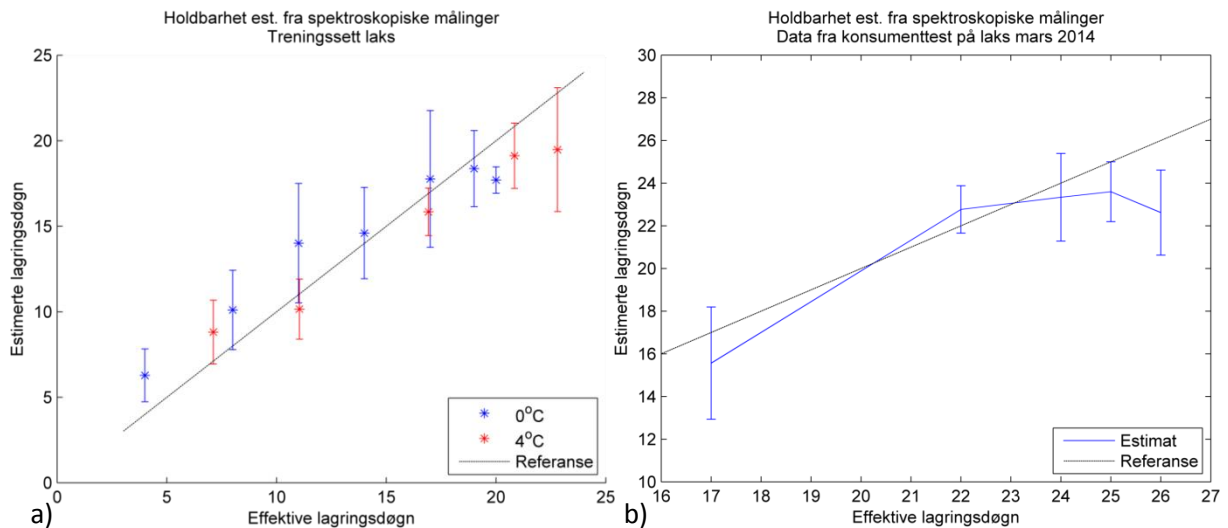
Det er også vist at samme prinsipp kan brukes til måling av isfraksjon i laksefilet etter superkjøling (Ottestad *et al.*, 2009). Dette kan anvendes for å optimalisere infrysingsprosessen.



Figur 7 Fordeling av isfraksjon i en superkjølt laksefilet som tiner. Målt med QMonitor, avbildende NIR spektroskopi.

2.8 Restholdbarhet

Nofima har jobbet med å bruke VIS-NIR spektroskopi, både avbildende og punktmåling, for estimering av restholdbarhet til filet av laks og torsk. I prosjektet «Videreutvikling av VIS-NIR spektroskopi – Bestemmelse av kvalitet» ble det dokumentert at metoden har potensiale til å fungere også med ukjent kjølekjede (Heia *et al.*, 2013). Tilsvarende forsøk i ettertid har også vist at gode resultater kan oppnås på laksefilet (Nilsen *et al.*, 2014), se Figur 8.



Figur 8 Estimerte lagringsdøgn basert på spektral data plottet mot antall effektive lagringsdøgn for laks. a) treningsdata for utvikling av modeller og b) modell testet på ukjente laksefileter.

Etter cirka 20 effektive lagringsdøgn (antall dager korrigert for temperatur, høyere temperatur gir «kortere» dager) er det ingen utvikling i estimat av lagringsdøgn. Dette er fornuftig da laksen har passert holdbarhetsgrensa og de egenskapene i fisken som spektroskopen følger, har blitt avsluttet.

Hvorvidt VIS-NIR spektroskopi også kan anvendes på rund fisk for påvisning av restholdbarhet er ikke testet. Det vil være problem med å måle gjennom skinnen, men metoden har helt klart et potensiale også for rund laks.

3 Konklusjon

Teknikkene som ble vurdert egnet for måling på hel laks baserer seg hovedsakelig på lysmålinger (maskinsyn eller spektroskopi), røntgen, fluorescens, ultralyd og mikrobølger. Spektroskopien kan anvendes både som punktmåling og som et avbildende system. I Tabell 1 er de vurderte kvalitetsparameterne listet med de potensielle teknologiske løsningene. For hver kvalitetsparameter og tilhørende teknologi er status og mulighetsrom for anvendelse på rund laks og filet angitt med fargekode.

- Blå – Eksisterer kommersielt
- Grønn – Er utviklet for annen anvendelse, kan tilpasses
- Gul – Lovende, men krever forskning og testing
- Rød – Har potensiale, men ikke på kort sikt
- Blank – Ikke egnet eller ikke relevant

Tabell 1 Oppsummering av status på teknologi for de forskjellige kvalitetsparameterne

	Eksisterer		
	Kan tilpasses og tas i bruk		
	Lovende, men krever forskning og testing		
	Potensiale på sikt, men ikke mulig på kort sikt		
	Ikke egnet/relevant		
Kvalitetsparameter	Metode	Rund fisk	Filet
Fett og fettfordeling	Nær infrarød spektroskopi		
	Røntgen		
	Mikrobølger		
	Ultralyd		
Fettsammensetning	Raman		
Farge/pigment	Fargekamera		
	VIS-NIR Spektroskopi		
	Raman		
Blodflekker og restblod	Avbildende Spektroskopi		
Melanin	Avbildende Spektroskopi		
Tekstur	VIS-NIR Spektroskopi		
	Fluorescens		
	Røntgenspredning		
	Ultralyd		
Misdannelser og sår	Røntgen		
	3D-profilering og maskinsyn		
Kjernetemperatur	Spektroskopi		
Restholdbarhet	Spektroskopi		

4 Referanser

- Abouelkaram, S., K. Suchorski, B. Buquet, P. Berge, J. Culioli, P. Delachartre & O. Basset (2000). Effects of muscle texture on ultrasonic measurements. *Food chemistry*, **69**:4, pp. 447–455.
- Afseth, N.K., J.P. Wold & V.H. Segtnan (2006). The potential of Raman spectroscopy for characterisation of the fatty acid unsaturation of salmon. *Analytica Chimica Acta*, **572**, pp. 85–92.
- Afseth, N.K., M. Bloomfield, J.P. Wold & P. Matousek (2014). A Novel Approach for Subsurface Through-Skin Analysis of Salmon Using Spatially Offset Raman Spectroscopy (SORS). *Applied Spectrosc.*, **68**:2, pp. 255–262.
- Andersen, J.R., C. Borggaard, A.J Rasmussen & L.P Houmøller (1999). Optical measurements of pH in meat. *Meat Science*, **53**, pp. 135–141.
- Bahuaud, D., M. Gaarder, E. Veisteh-Kent & M.S. Thomassen (2010). *Texture and protease activities in different genetic families of Atlantic salmon (Salmo salar L.)*. *Aquaculture*, **310**:1-2, 22: 213–220.
- Bahuaud, D. (2009). Atlantic salmon flesh quality. PhD-Thesis no. 18, 2009, Univ. of Life Sciences, Norway.
- Andersen & Wold (2003). Fluorescence of Muscle and Connective Tissue from Cod and Salmon. *Journal Agric. Food Chem.*, **51**:2, pp 470–476.
- Folkestad, A., K. Kolstad, J.P. Wold, K.A. Rørvik, J. Tschudi & K.H. Haugholt (2008). Rapid and non-invasive measurements of fat and pigment concentrations in live and slaughtered Atlantic salmon (*Salmo salar L.*), *Aquaculture*, **280**, pp. 129–135.
- Ghaedian, R., E.A. Decker & D.J. McClements (1997). Use of ultrasound to determine cod fillet composition. *Journal of food science*, **62**:3, pp. 500–504.
- Gjerde, B., J.R. Pante & G. Bæverfjord (2005). Genetic variation for a vertebral deformity in Atlantic salmon. *Aquaculture*, **244**, pp. 77–87.
- Heia, K., A.H. Sivertsen, J.P. Wold, S. Ottestad, U. Böcker, M. Carlehög, T. Altintzoglou, I. Sone & B. Gundersen (2012). Automatisk kvalitetsdifferensiering av laksefilet. Rapport 7/2012, Nofima, Tromsø.
- Heia, K., S.K. Stormo, S.H. Olsen, B. Dissing, J.O. Johansen, T.F. Aune & A.H. Sivertsen (2013). Videreutvikling av VIS/NIR spektroskopi – Bestemmelse av kvalitet. Rapport 39/2013, Nofima, Tromsø.
- Isaksson, T., L.P. Swendsen, R. Taylor, S.O. Fjæra & P.O. Skjervold (2001). Non-destructive texture analysis of farmed Atlantic salmon using visual/near- infrared reflectance spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **82**, pp. 53–60.
- Llull, P., S. Simal, A. Femenia, J. Benedito & C. Rosselló (2002). The use of ultrasound velocity measurement to evaluate the textural properties of sobrassada from Mallorca. *Journal of Food Engineering*, **52**:4, pp. 323–330.
- Mizrach, A. (2000). Determination of avocado and mango fruit properties by ultrasonic technique. *Ultrasonics*, **38**:1, pp. 717–722.
- Mørkøre, T. (2008). Tekstur i oppdrettslaks – Kunnskapsstatus og forhold som bidrar til fastere filet. Rapport 32/2008, Nofima, Tromsø.
- Mørkøre, T., T. Larsson, A.S. Kvellestad, E.O. Koppang, M. Åsli, A. Krasnov, J.-E. Dessen, H.M. Moreno, E. Valen, K.H. Gannestad, B. Gjerde, T. Taksdal, G. Bæverfjord, Y. Meng, K. Heia, J.P. Wold, A.J. Borderias, H. Moghadam, O.H. Romarheim & K.-A. Rørvik (2015). Mørke flekker i laksefilet, kunnskapsstatus og tiltak for å begrense omfanget. Rapport 34/2015, Nofima, Tromsø.

- Nilsen, H., M. Esaiassen, J. Østli, B.H. Nøstvold, I.E. Pley, E. Reynisson, M.H. Skjelvareid & K. Heia (2014). Verktøy for å måle fiskekvalitet – basert på forbrukernes oppfatning (Fase 1 – forprosjekt). Rapport 42/2014, Nofima, Tromsø.
- O'Farrell, M., K.A.H. Bakke, J. Tshudi & J.P. Wold (2011). NIR Interactance System for Non-Contact Monitoring of the Temperature Profiles of Baked Liver Pate. *Applied Spectroscopy*, **65**, pp. 1372–1379.
- Ottestad, S., M. Høy, A. Stevik & J.P. Wold (2009). Prediction of ice fraction and fat content in superchilled salmon by non-contact interactance near infrared imaging. *Journal Near Infrared Spectrosc.*, **17**:2, pp. 77–87.
- Park, B., Y.R. Chen, W.R. Hruschka, S.D. Shackelford & M. Koohmaraie (1998). Near-infrared reflectance analysis for predicting beef longissimus tenderness. *ANIM SCI.*, **76**:8, pp. 2115–2120.
- Rasmussen, R.S. 2001. Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics. *Aquaculture Research* 32:767-786
- Segtnan V.H., M. Høy, F. Lundby, B. Narum & J.P. Wold (2009). Fat distributional analysis in salmon fillets using non-contact near infrared interactance imaging: A sampling and calibration strategy. *Journal Near Infrared Spectrosc.*, **17**, pp. 247-253.
- Shackelford, S.D., T.L. Wheeler & M. Koohmaraie (2005). On-line classification of US Select beef carcasses for longissimus tenderness using visible and near-infrared reflectance spectroscopy. *Meat Science*, **69**, pp. 409–415.
- Sture, Ø., E.R. Øye, A. Skavhaug & J.R. Mathiassen (2016). A 3D machine vision for quality grading of Atlantic salmon. *Computers and Electronics in Agriculture*, in press.
- Wold J.P. (1995). *Hurtigmåling av fettinnhold i oppdrettslaks ved nær-infrarød spektroskopi – Faglig sluttrapport*. Rapport 15/1995, Fiskeriforskning, Tromsø (ISBN 82-7251-307-2).
- Wold, J.P., F. Lundby & B. Egelanddal (1999). Quantification of connective tissue (hydroxyproline) in ground beef by autofluorescence spectroscopy. *J. Food Sci.*, **64**:3, pp. 377–383.
- Wold J.P., B.J. Marquardt, B.K. Dable, D. Robb & B. Hatlen (2004). Rapid quantification of carotenoids and fat in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) by Raman spectroscopy and chemometrics. *Applied Spectroscopy*, **58**, pp. 395–403.
- Wold J.P., I.R. Johansen, K.H. Haugholt, J. Tschudi, J.T. Thielemann, V.H. Segtnan, B. Narum & E. Wold (2006). Non-contact transreflectance near infrared imaging for representative on-line sampling of dried salted coalfish (bacalao). *J Near Infrared Spectrosc.*, **14**, pp. 59–66.
- Wold J.P., M. Kermit & A. Woll (2010). Rapid nondestructive determination of edible meat content in crabs (*Cancer Pagurus*) Near-Infrared Imaging spectroscopy. *Appl. Spectrosc.*, **64**:7, pp. 691–699.
- Wold J.P., M. O'Farrel, M. Høy & J. Tschudi (2011). On-line determination and control of fat content in batches of beef trimmings by NIR imaging spectroscopy. *Meat Science*, **89**, pp. 317–324.
- Wold, J.P. (2013). Individbasert kvalitetssortering og kvalitetsmerking av pelagisk fisk – Automatisk sortering basert på indre kvalitetsegenskaper. Rapport 35/2013, Nofima, Tromsø.
- Wold, J.P. (2016). On-line and non-destructive measurement of core temperature in heat treated fish cakes by NIR hyperspectral imaging. *Innovative Food Sci Emerging technol.* In press.
- Wu D. & D.W. Sun (2013). Application of visible and near infrared hyperspectral imaging for non-invasively measuring distribution of water-holding capacity in salmon flesh. *Talanta*, **116**, pp. 266–276.

