

Individbasert kvalitetssortering og kvalitetsmerking av pelagisk fisk

Automatisk sortering basert på indre kvalitetsegenskaper

Jens Petter Wold





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

Nofima har om lag 400 ansatte.

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

Hovedkontor Tromsø:

Muninbakken 9–13
Postboks 6122
NO-9291 Tromsø

Ås:

Osloveien 1
Postboks 210
NO-1431 ÅS

Stavanger:

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

Bergen:

Kjerreidviken 16
NO-5141 Fyllingsdalen

Sunnalsøra:

Sjølseng
NO-6600 Sunndalsøra

Averøy:

Ekkilsøy
NO-6530 Averøy

Felles kontaktinformasjon:

Tlf: 02140
Faks: 64 97 03 33
E-post: post@nofima.no
Internett: www.nofima.no

Foretaksnr.:

NO 989 278 835 MVA

Rapport

	ISBN: 978-82-8296-112-7 (trykt) ISBN: 978-82-8296-113-4 (pdf) ISSN 1890-579X
<i>Tittel:</i> Individbasert kvalitetssortering og kvalitetsmerking av pelagisk fisk Automatisk sortering basert på indre kvalitetsegenskaper	<i>Rapportnr.:</i> 35/2013 <i>Tilgjengelighet:</i> Åpen
<i>Forfatter(e)/Prosjektleder:</i> Jens Petter Wold	<i>Dato:</i> 2. juli 2013
<i>Avdeling:</i> Råvare og prosess	<i>Ant. sider og vedlegg:</i> 21
<i>Oppdragsgiver:</i> Fiskeri- og Havbruksnæringens Landsforening, Oslo	<i>Oppdragsgivers ref.:</i> FHF #900387
<i>Stikkord:</i> Sild, makrell, fettinnhold, kjønnssortering, blodflekker, NIR, spektroskopi, on-line	<i>Prosjektnr.:</i> 4097
<i>Sammendrag/anbefalinger:</i>	
<p>I dette prosjektet har vi utviklet målemetoder som viser at det er mulig å måle sentrale indre kvalitetsegenskaper i sild og makrell med raske og ikke-destruktive on-line metoder. Ved bruk av nær-infrarød spektroskopi (NIR) er det mulig å måle fettinnhold på makrell enkeltvis og i batcher, bestemme om det er rogn eller melke i buken på sild, samt påvise bloduttredelser i muskelen på hel makrell. Dette kan gjøres under prosessering og i de hastigheter som er påkrevet.</p> <p>Målingene og undersøkelsene er gjort med instrumentering som er delvis kommersielt tilgjengelig, men flere av applikasjonen kan løses bedre med instrumentering som er dedikert til formålet. Et annet delprosjekt i <i>Individbasert kvalitetssortering og kvalitetsmerking av pelagisk fisk</i> har utviklet en metode for størrelse og vektsortering av pelagisk fisk basert på vision-teknologi. Dette systemet er under implementering slik at det kan testes og tas i bruk i næringa om kort tid. I dette systemet vil all fisk passere en målestasjon der bilder tas og vekt estimeres. På samme sted i prosessen vil det la seg gjøre å måle fettinnhold og kjønn på fisk slik at de kan sorteres mest mulig hensiktsmessig i henhold til videre prosessering.</p> <p>Pelagisk næring bør selv vurdere nøye hvilke muligheter denne teknologien gir til verdiøkning i forhold til dagens produksjon. Man kan gå fra ren batch produksjon til en produksjon som er optimalisert i henhold til kvaliteten på hver enkelt fisk.</p>	
<i>English summary/recommendation:</i>	
<p>In this project we have shown that it is possible to automatically sort whole pelagic fish (herring and mackerel) according to inner qualities such as fat content, sex (roe or milt in the belly of herring), or blood spots in the muscle. This sorting can be done at high speed based on on-line NIR spectroscopy.</p> <p>Dedicated optical systems or modification of present commercial systems can be used for this purpose. The pelagic industry should carefully consider the possible added value by going from pure batch production to a production that is optimized according to the quality of each individual fish.</p>	

Innhold

1	Optiske målinger og spektroskopi.....	3
2	Kjønnssortering av sild	5
3	On-line måling av fett i makrell	11
4	On-line påvisning av bloduttredelser i makrell.....	17
5	Oppsummering	21

Bakgrunn

I FHF-prosjektet *Individbasert kvalitetssortering og kvalitetsmerking av pelagisk fisk* som gikk i perioden 2010-2012 var en sentral målsetting å utvikle metodikk for automatisk sortering av pelagisk fisk basert på indre kvalitetsegenskaper. Aktivitetene ble delt opp i tre:

1. Automatisk kjønnssortering av hel sild med rogn og melke
2. On-line fettmåling i makrell (enkeltvis og på batchnivå)
3. Automatisk deteksjon av bloduttredelser i hel makrell.

En vellykket industriell implementering av denne type metoder vil kunne gi pelagisk næring betydelige muligheter til å kunne ta ut mer verdi av fisken som produseres og samtidig kunne fremstå med høyere kvalitetsstandard. Det er et uttalt ønske i pelagisk næring om å ta i bruk velfungerende ny teknologi som kan sikre og dokumentere sluttkvalitet og som kan lette prosessering.

Kjønnssortering av sild: Det finnes allerede tilgjengelig utstyr for kjønnssortering av sild som brukes om bord på båter, men disse systemene er ikke tilrettelagt for norsk pelagisk industri der det kreves stor hastighet, store volumer og høy grad av automatikk. Eksisterende metoder baserer seg på gjennomlysning av sildebukken med nærinfrarødt lys. Kjønnssortering av sild muliggjør:

- Sortering av hunn og hannsild til egne fileteringsmaskiner slik at rogn og melke kommer i egne fraksjoner. Både rogn og melke kan så enklere nyttiggjøres i egne produkter
- Det å kunne garantere rogn-sild gir i en del markeder ekstra verdi.
- I perioder av året utgjør melke en større andel av totalvekten på silda. Da vil det være hensiktsmessig å selge hannsilda hel og filetere hunnsilda for maksimering av utbytte

Fettmåling på makrell: Det er vist i tidligere prosjekter at det er mulig å måle fettinnhold i både hel laks og makrell ved bruk av nærinfrarød (NIR) spektroskopi. Dette arbeidet er gjort på en og en fisk og ikke større mengder fisk i bevegelse. On-line måling av fettinnhold muliggjør:

- Sortering av én og én fisk inn i ulike fettklasser
- Måling på hele batcher som kan gi både gjennomsnittlig fettinnhold for batchen samt variasjon i fettinnhold.
- bedre grunnlag for kvalitetssortering av fisken, prisfastsettelse og distribusjon til bestemte markeder/kunder.
- I prosjektet ble det også funnet at makrell med svært løs/grøtete muskel kunne påvises med NIR. Dette kan være viktig for å sortere ut fisk av dårlig kvalitet.

On-line påvisning av bloduttredelser i makrell: Makrell som har vært hardhendt behandlet har ofte bloduttredelser og er av dårligere kvalitet. Det er ikke lett å se dette siden skadene sitter under skinnet. En metode for påvisning av bloduttredelser vil kunne gi et tidlig varsel om at kvalitet på fisken er ikke utmerket og prosess/sluttprodukt kan justeres i henhold til dette.

I dette prosjektet har vi jobbet med optiske metoder for måling og påvisning av de ulike kvalitetsegenskapene. Vi har tatt utgangspunkt i optisk instrumentering som tidligere er utviklet for on-line måling av vanninnhold klippfisk, fett og pigment i hel laks og laksefilet, matinnhold i krabber samt vann, fett og protein i kjøtt. Disse metodene er i dag kommersielt tilgjengelige og i aktiv

industriell bruk. En tanke har vært at samme type måleprinsipp kan brukes til måling av alle de indre egenskapene i pelagisk fisk; blodflekker, rogn/melke og fettinnhold. Dermed kan det være mulig å måle alle disse egenskapene med ett og samme system.

Det å detektere bloduttredelser i muskelen på hel fisk og å skille mellom sild med rogn og melke fordrer at vi kan gjøre målinger gjennom skinnet og inn i fisken. Fra tidligere arbeid på laks vet vi at dette er mulig, men ikke enkelt. Skinnet absorberer mye lys og forstyrrer målingene. Dessuten er det slik at sild og makrell absorberer mye mer lys enn laks, noe som gjør det mer krevende å måle dypt inn. Sild og makrell har også en større andel mørk muskel, noe som også vil kunne være kompliserende. Fra før av er det gjort noe arbeid med NIR for måling av fettinnhold i en og en makrell. Dette fungerte rimelig bra og er rapportert. I dette prosjektet har vi sett på muligheten for å kunne gjøre dette i produksjon med høy hastighet.

Rapporten er delt i fem deler. Første kapittel gir en enkel introduksjon til aktuell optisk instrumentering. Kapitlene 2-4 beskriver resultatene fra de tre delaktivitetene listet over. Rapporten avsluttes med en oppsummering som skisserer muligheter på kort og lengre sikt.

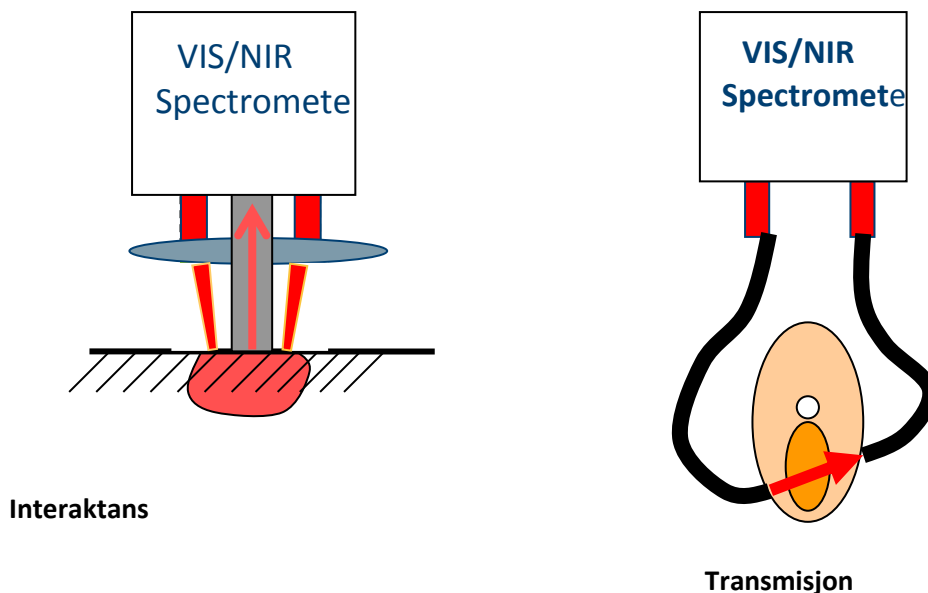
1 Optiske målinger og spektroskopi

I dette arbeidet har vi brukt optisk instrumentering som måler synlig lys (VIS) (400 – 780 nm) og stråling i det nærinfrarøde (NIR) (780 – 1050 nm). Med synlig lys kan man måle farge og ulike pigmenter, for eksempel dem i blod. Med NIR kan man måle kjemisk sammensetning av biologisk vev, primært fett, vann og protein. En del pigmenter absorberer også i NIR området. En viktig egenskap til stråling i NIR området er at den trenger relativt dypt inn i fiskeråstoff. Det betyr at vi med kraftig belysning kan måle gjennom noen cm fisk. NIR stråling transmitteres også gjennom både mørkt og lyst fiskeskinn noe som gjør at det er mulig å "se" gjennom skinnen og inn i fisken.

I dette prosjektet har vi brukt en del ferdigutviklet VIS-NIR måleinstrumentering som tidligere er utviklet for måling på blant annet laks. Noe av denne instrumenteringen kan egne seg direkte til målinger på pelagisk fisk, men først og fremst har målsettingen vært å finne frem til mulige målemetoder for de aktuelle kvalitetskriteriene og hvordan disse best mulig kan implementeres industrielt.

Utstyr som er brukt til disse undersøkende målingene er:

1. NIR punktmåler som tidligere er utviklet for å måle fett og pigment i hel laks. Dette er et fleksibelt instrument der målinger kan gjøres i både transmisjon (at man måler gjennom fisken på tvers) eller i interaktans, der belysning og måling skjer på samme side av fisken. Lyskilden er kraftig og godt egnet til denne type prøver.



Figur 1 Optisk måling i interaktans eller transmisjon

2. Det er brukt en on-line avbildende VIS-NIR scanner som tar multispektrale bilder i. Denne scanneren (QVision som produseres av TOMRA) brukes i dag kommersielt til måling av matinnhold i taskekrabber og fettinnhold i kjøtt. Denne scanneren måler NIR i interaktans. Det betyr at målinger gjøres 1-2 cm inn i produktet. Den er meget rask og kan anvendes on-line med belte hastigheter på 3 m/s. Figur 2 viser en moderne scanner.

Det kan bemerkes at både transmisjon og interaktans slik de er definert er transmisjonsmålinger: i begge tilfeller måles lys som er transmittert gjennom fisken. Så den vesentlige forskjellen slik metodene er omtalt her går på hvorvidt lyskilde og detektor er plassert på samme side eller hver sin side av fisken. Dette vil være av praktisk betydning ved implementering.



Figur 2 NIR scanner QVision 500 fra TOMRA her brukt på kvernet svinekjøtt

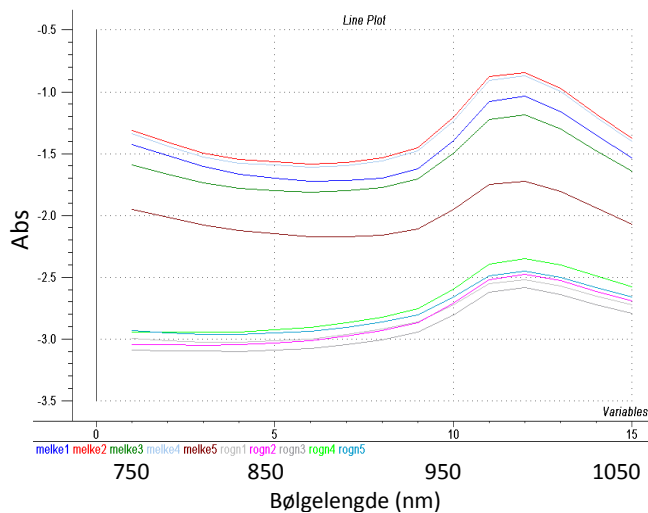
2 Kjønnssortering av sild

Hensikten er å finne frem til en metode som kan brukes til automatisk sortering av sild med rogn og melke. Det er umulig å se på utsiden av en sild om det er en hunn eller en hann; om den inneholder rogn eller melke. Dette kan gjøres ved å gjennomlyse buken på silda siden rogn og melke har ulike optiske egenskaper. Melken er hvitaktig og består av svært små partikler. Følgelig oppstår det en kraftig lysspredning i melken (akkurat som i kumelk) som gjør at mye lys blir absorbert. I rogn er eggene større og den er mer transparent. Mindre lys absorberes og mer slipper følgelig igjennom. Den kjemiske sammensetningen av melke og rogn (fett, vann og protein) er også ulik, noe som vil gi ulik fasong på NIR spektrene.



I løpet av dette arbeidet har vi sett at rogn kan være ulikt utviklet. Lite utviklet rogn er mer hvitaktig og eggene er små. Da er det ikke så lett å skille mellom rogn og melke, hverken visuelt eller med optiske metoder.

Figur 3 viser absorpsjonsspektra fra melke og rogn. Det er tydelig at absorpsjonen i melken er mye kraftigere, og det er også tydelige forskjeller i fasong på spektrene. Dette er grunnlaget for å kunne skille hann og hunnsild. Utfordringen er at målingene skal gjøres gjennom buken, noe som vil gjøre forskjellene mindre tydelige.

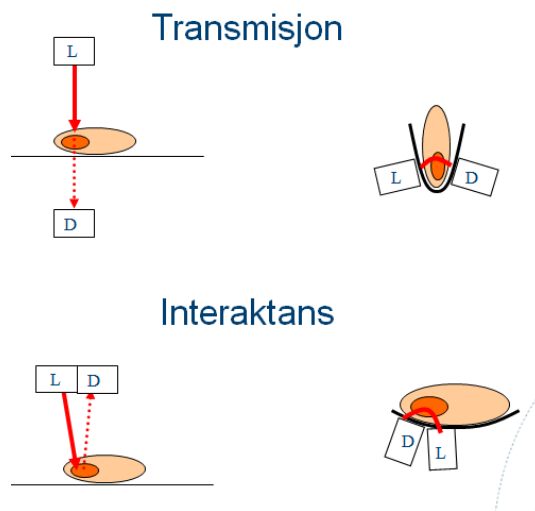


Figur 3 Absorpsjonsspektra av melke og rogn i NIR-området

Selve målingen kan gjøres på ulike måter og figur 4 skisserer noen muligheter. Man kan måle igjennom buken (transmisjon). Da er lyskilde og detektor på forskjellig side av fisken. Eller man kan måle i interaktans der lyskilde og detektor står på samme side av fisken. Man måler da det lyset som har vært et stykke inn i fisken. Valg av målemetode avhenger av hvordan fisken presenteres; på

transportbånd, i renner, eller for eksempel i fritt fall. Fritt fall er noe som brukes mye innen automatisk sortering av frukt og grønt og gir gode muligheter for effektiv måling og utsortering av store volumer.

I dette arbeidet har vi sett at transmisjonsmålinger egner seg godt til å skille mellom hunn og hannsild. Dersom det ligger godt til rette for å måle i transmisjon vil dette være å foretrekke fordi man da oppnår meget tydelige forskjeller i signalene. Vi valgte imidlertid å se mer på andre metoder som vil kunne implementeres enklere, for eksempel over et transportbånd.



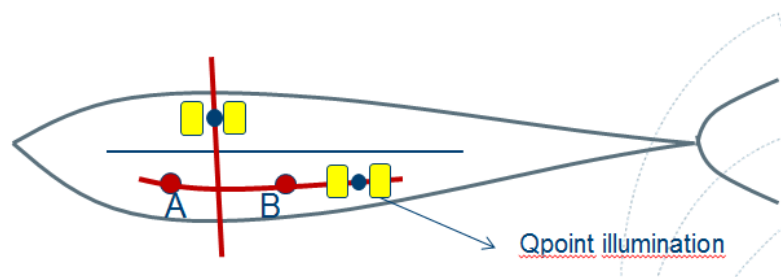
Figur 4 Ulike måter å måle inn i buken på sild. L - lyskilde, D – detektor

Etter en del innledende målinger på sild ble det utført et større forsøk på 320 sild. Silda fikk vi fra ulike leverandører og var av ulike størrelser. De var frosne og ble tint opp før målinger.

Hver fisk ble målt på følgende måter

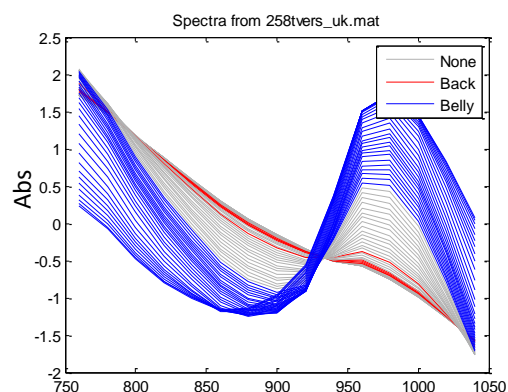
- Med avbildende NIR scanner der fisken ligger på transportbånd. Ingen fysisk kontakt mellom instrument og fisk.
 - Med hode først
 - Med buken først
- Med NIR punktmåler (se Figur 5)
 - Punkt A og B *med* kontakt
 - Scan fra A til B *med* kontakt
 - Scan langs hele buk *med og uten* kontakt
 - Scan på tvers av fisk *med og uten* kontakt

De ulike målemetodene ble brukt for å undersøke hvilke som gir best resultater. Når det måles med kontakt mellom instrument og fisk får man mindre støy i målingene. Med avstand mellom instrument og fisk blir målesituasjonen noe mer usikker og det kan komme inn uønsket strølys. Måling uten kontakt vil absolutt være å foretrekke i industrien.



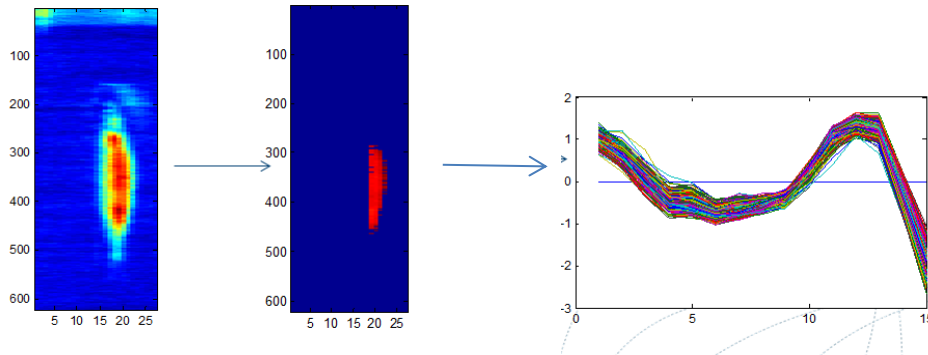
Figur 5 Skisse av silda som angir posisjon og område for de ulike målingene med punktmåler

Punktmåleren gjør ca 70 målinger per sekund. Når silda scannes på tvers som angitt i Figur 5, så vil man få målinger både på transportbånd, ryggen og buken til silda. For kjønnsortering er det kun buken som er interessant. I dette arbeidet ble det laget en algoritme som automatisk plukker ut de målingene som er fra buk. Dette kan også enkelt gjøres i en industriell versjon. Alle spektrene fra buk blir så midlet til et gjennomsnittsspekter som så inngår i en sorteringsalgoritme.

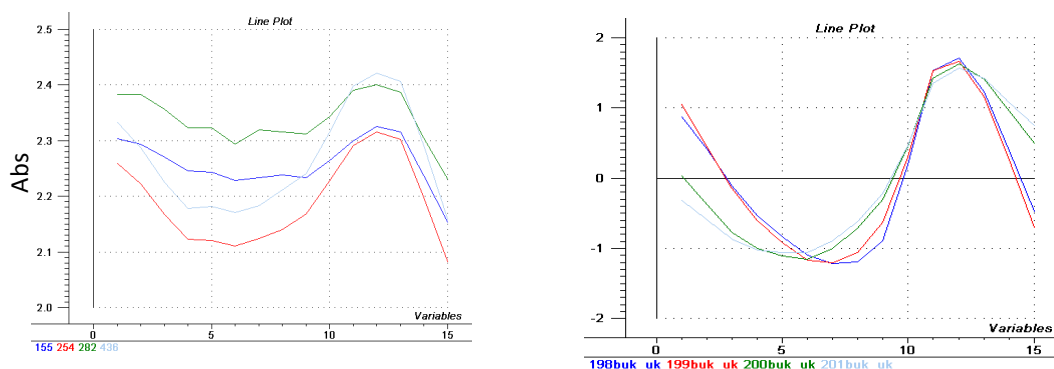


Figur 6 Resultat av automatisk utplukking av spektra fra buk. Blå spektra fra buk, rød fra rygg, grå fra overgang buk-rygg

Fra NIR scanneren får man et multispektralt bilde av hver sild, i hvert pixel er det et helt NIR spekter. Figur 7 viser hvordan spektral informasjon blir automatisk hentet ut av disse bildene. Signalene fra buken er forskjellig fra resten av silda og kan derfor påvises automatisk, spektrene fra denne delen av bildet hentes ut og et gjennomsnittsspekter dannes.



Figur 7 Uthenting av spektrale data fra scannerbilder



Figur 8 Venstre: Typiske spektra fra NIR scanner. Grønt og blått er fra hannsild, rødt og lyseblått fra hunnsild. Høyre: Fra NIR punktmåler uten kontakt: grønn og lyseblå fra hannsild, rødt og blå fra hunnsild

I figur 8 kan det sees at det var systematiske forskjeller mellom spektra fra hann- og hunnsild. Disse spektrene ble brukt til å lage klassifiseringsalgoritmer som automatisk kan bestemme om det er rogn eller melke i fisken.

Til **klassifisering** ble det brukt lineær diskriminantanalyse (LDA).

Det ble gjort PCA (prinsipal komponentanalyse) på treningssettet, og score verdier fra denne ble brukt inn i LDA. PCA modellen ble så brukt til å estimere score verdier for testsettet.

Vi har undersøkt resultatene både for rådata (absorpsjonsspektra) og normaliserte spektra (SNV). Modellen ble validert ved bruk av testsett der 150 prøver ble brukt til å lage modell og 170 ble brukt til test. Resultatene er oppsummert i Tabell 1. Her er det tatt med resultater kun for normaliserte spektra da disse ga best resultater.

Tabell 1 Angir % korrekt klassifisering av kjønn på 170 sild basert på automatisk sorteringsalgoritme

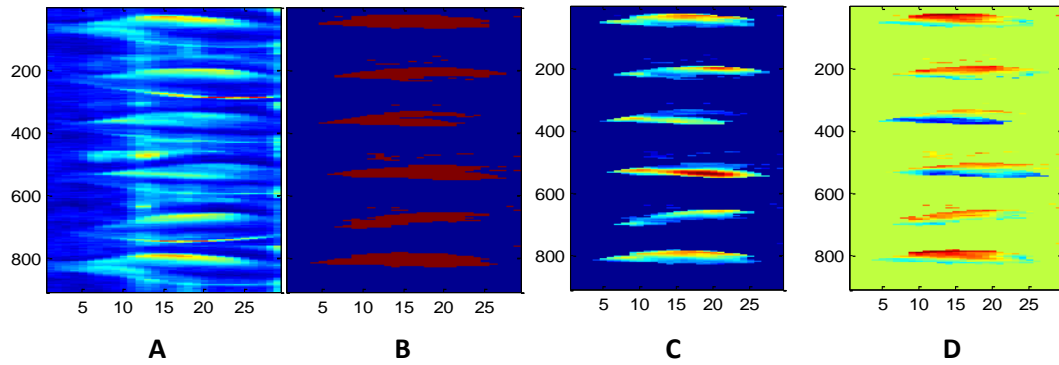
Metode	Sted på fisken	Kontakt/ikke kontakt	Type data	% korrekt klassifisering
Scanner	Hele buk	Ikke kontakt	Rådata	95.0
	Hele buk	Ikke kontakt	Normaliserte	95.0
NIR punktmåler	Punkt A i buk	Kontakt	Normaliserte	97.5
	Punkt B i buk	Kontakt	Normaliserte	98.3
	Scan fra A til B	Kontakt	Normaliserte	97.5
	Scan hele buk	Ikke kontakt	Normaliserte	89.0
	Scan hele buk	Kontakt	Normaliserte	96.0
	Scan på tvers av fisk	Ikke kontakt	Normaliserte	96.5
	Scan på tvers av fisk	Kontakt	Normaliserte	98.5

Resultatene viser at de fleste måleteknikkene gir gode resultater der de aller fleste fiskene blir riktig klassifisert. 98.3 % korrekt betyr i dette tilfellet at 89 ble korrekt klassifisert som rogn, 78 korrekte melke, 2 feil rogn og 1 feil melke. Altså et godt resultat som viser at det ligger godt til rette for å få dette til også industrielt.

Scan på tvers av fisken uten kontakt med punktmåler gir 96.5% korrekt klassifisering som antyder at det vil være fullt mulig å måle på sild når de ligger på transportbånd i fart. I tillegg til denne rapporten er det laget et par videoer som viser at dette virker i praksis.

Også NIR scanneren ga gode resultater med 95% korrekt klassifisering. NIR scanneren er avbildende og vil kunne gi meget fleksible løsninger dersom silda kommer tilfeldig orientert på et transportbånd. Figur 9 viser bilder av seks scannede sild. I hvert piksel i bildet er det et NIR spektrum som vist i Figur 8. Det betyr at det er kjemisk informasjon i hvert piksel. En enkel spektral analyse av bildene viser at det er forholdsvis tydelige forskjeller på sild med rogn og de med melke. Det kan sees at de med rogn har høyere verdier (mer røde) enn buker med melke. Det betyr at det vil være mulig å detektere dette direkte på et transportbånd.

Signalene vi har fått med scanneren er forholdsvis støyfulle og bør kunne forbedres. Systemet gir mulighet for å detektere sild som ligger tilfeldig orientert på et transportbånd, påvise om de inneholder melke eller rogn, og deretter gi informasjonen til en sorteringsenhet.



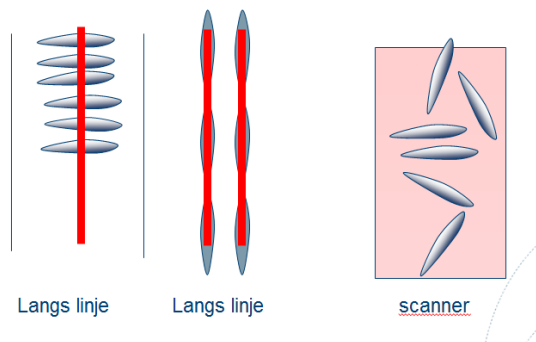
Figur 9 **A)** bilde av 6 sild, rogn i de to øverste og de to nederste, melke i de to i midten. **B)** Automatisk rutine finner buken på hver sild. **C og D** viser variasjonen i to spektrale komponenter. I bilde D sees at buker med rogn har høyere verdier (annen farge) enn buker med melke

Oppsummering Kjønnsortering sild:

Vi får til gode klassifiseringsmodeller for rogn/melke basert på on-line NIR

Resultatene er gode med avbildende scanner, men bedre når man måler langs en linje på tvers eller langs av fisken. Dette kommer av at instrumentet som måler langs en linje har kraftigere belysning og er bedre optimalisert for å måle gjennom skinnen på fisken.

Det oppnås best resultater med kontaktmålinger men gode også uten kontakt. Disse teknikkene muliggjør ulike måter å implementere denne sorteringen industrielt. Figur 10 skisserer noen muligheter der fisken kan måles på transportbånd, tilfeldig orientert, eller i mer kontrollerte former.



Figur 10 Mulige måleoppsett i prosess

3 On-line måling av fett i makrell

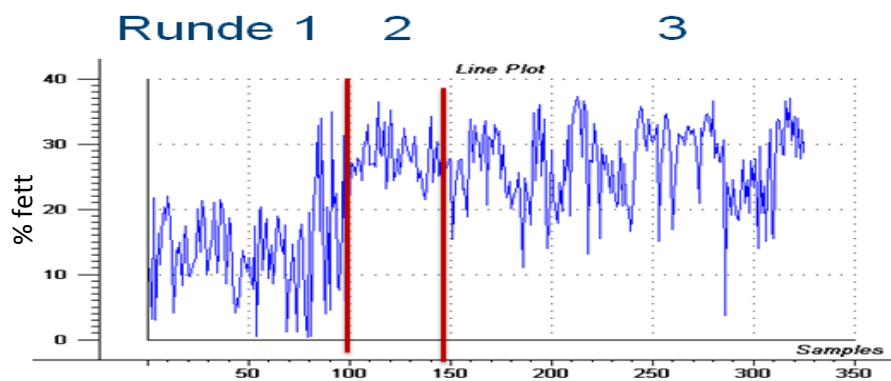
Det er tidligere vist at det er mulig å måle fett i hel makrell med NIR spektroskopi. I dette prosjektet har vi sett mer på hvor godt dette kan la seg gjøre på makrell i bevegelse uten kontakt mellom instrument og fisk.

Som for silda er testene basert på NIR avbildende scanner samt NIR punktmåler. Begge instrumenter måler inn i fisken, ca 1 cm dypt.

Referansemålinger for fett i makrellen ble gjort med et NMR-instrument på homogenater av oppmalte makrellfileter.

Arbeidet gikk i ulike trinn og til sammen ble det målt NIR og fettinnhold på 319 fisk.

Fettinnholdet i fisken varierte fra 1% til 37%. Fisk med svært lave fettprosenten (1-4%) hadde muskel som var nærmest som løs grøt. Muligens var disse syke eller angrepet av en parasitt. Figur 11 viser fettinnhold målt med referansemetoden for alle fisk som inngikk i arbeidet. Det var stor individvariasjon innen hver batch, særlig i batchene 1 og 3.



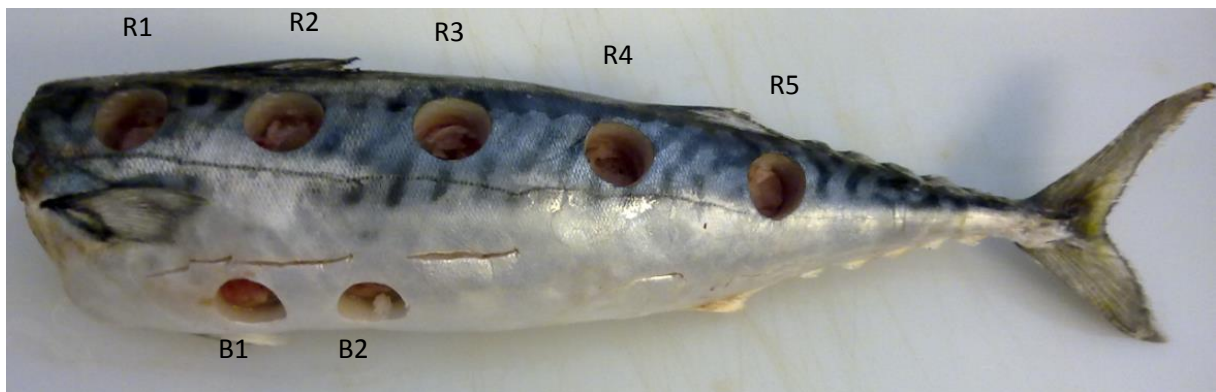
Figur 11 Fettinnhold i filet for alle makrell som inngår i arbeidet. Runde 1, 2 og 3 henviser til tre ulike uttak

Når man skal bruke NIR til å måle fettinnhold i hel fisk er det nyttig å vite hvordan fett er fordelt inne i fisken. Det er mulig å få en god indikasjon på det ved bruk av lavfelts NMR (LF-NMR). LF-NMR blir blant annet brukt for å bestemme total mengde fett og vann i for eksempel prøver av fisk og kjøtt. Det kan også brukes til å bestemme fettfordelingen (fettprofil) i hel fiskemuskel for hver 0,3 millimeter gjennom en sylindrisk prøve (se Figur 12).

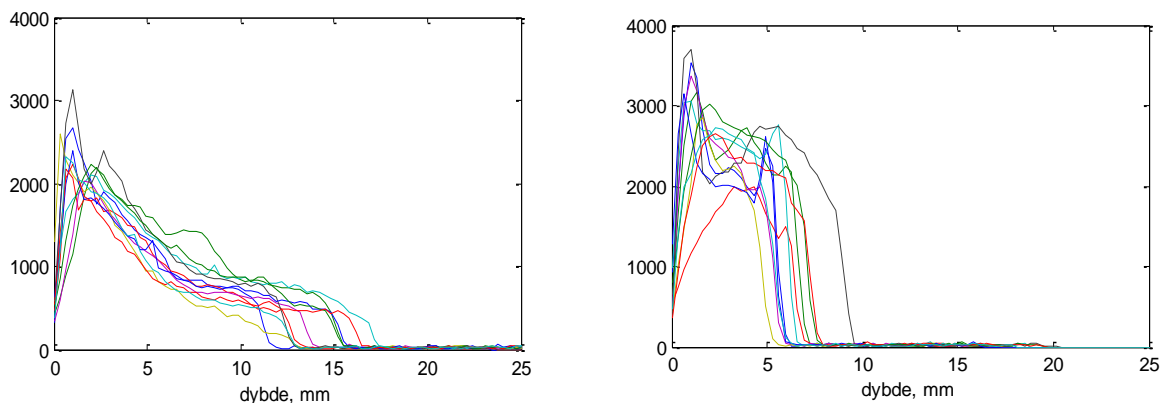


Figur 12 Bildet viser en sylinder (22 mm x 18 mm) med fiskemuskel som er boret ut fra skinnsiden (skinnet ses på toppen av sylindere). Sylindere er plassert i bunnen av et NMR-prøverør av glass. For hver 0,35 mm i høyden måles det en verdi som er proporsjonal med fettinnholdet

Frossen makrell (-20 °C) ble delvis tint for lettere å kunne ta ut sylindre fra fiskekjøttet. Sylindrene ble skåret ut vha. korkbor i messing for å unngå å kontaminere NMR-magneten med magnetiske partikler. Prøvene ble varmet til 40°C før måling for at alt fett skulle være flytende (kan varmes til for eksempel 60 °C hvis det er en mer optimal temperatur).



Figur 13 Bildet viser uttak av sylindre med skinn/fiskemuskel i makrell. Fra henholdsvis høyre og venstre side, ble det tatt ut 5 plugger fra rygg og 2 plugger fra buk



Figur 14 Venstre: Fettprofiler for flere plugger tatt fra posisjon R2 i ryggseksjonen hos makrell. Høyre: Fettprofiler for flere plugger tatt fra posisjon B2 i buken. Målingen av profilen starter fra skinnsiden på venstre side i diagrammet. Verdiene på y-aksen er proporsjonale med fettinnholdet

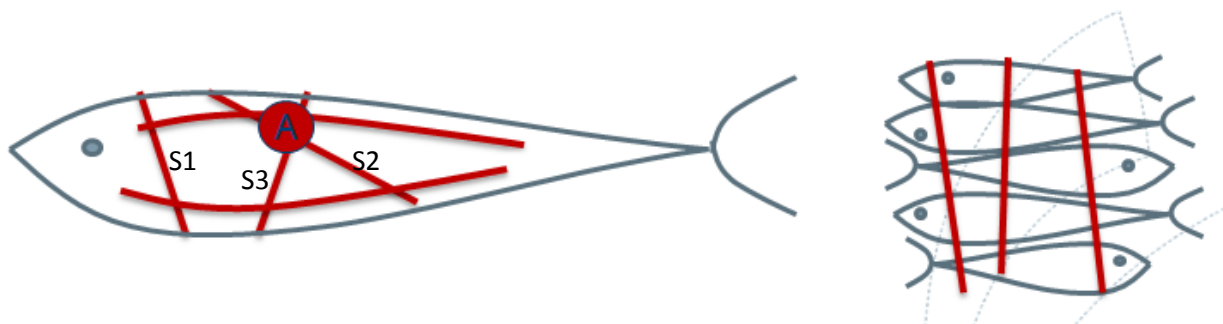
Av Figur 14 fremgår det at fettinnholdet i ryggen er høyest like under skinnet og at det avtar gradvis inn mot ryggbeinet. I buken er det høyt fettinnhold gjennom hele bukveggen. Dette betyr at man kan få gode og representative fettmålinger ved å måle 5-10 mm inn i fisken. Fettinnholdet varierer svært mye med lokalisering på fisken. Fettinnholdet i buken er for eksempel høyere enn i ryggen. Det er derfor viktig å standardisere målesituasjonen slik at man måler samme område på fisken hver gang.

I forsøkene med NIR har vi gjort målinger på ulike måter som simulerer hvordan fisken kan måles i en industriell on-line situasjon. De ulike målingene er vist i figur 15.

Målinger med NIR punktmåler

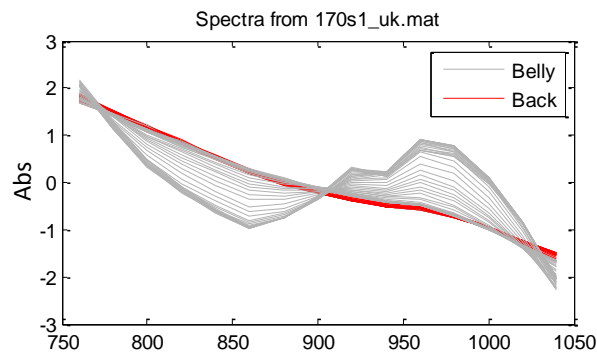
- Punkt A med og uten kontakt
- Scan langs rygg og buk med og uten kontakt
- Målinger på tvers av fisk uten kontakt (som om de kommer i en tilfeldig strøm på transportbånd) (scan S1, S2 og S3)
- Måling av 5 og 5 fisk i grupper for å se på effekten av bulk (batch) målinger

Makrellen ble også scannet med avbildende NIR scanner. De ble da målt liggende flatt på transportbånd eller med buken opp.



Figur 15 Ulike målinger med NIR punktmåler

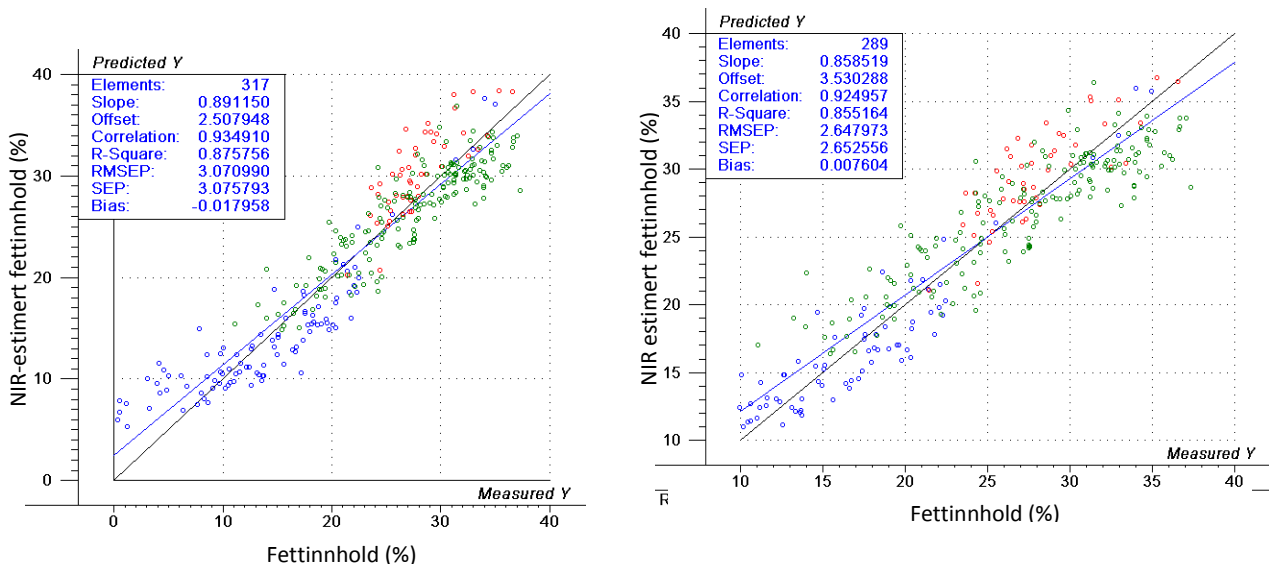
Det ble laget en algoritme som automatisk skiller mellom spektra fra buk og rygg og gjennomsnittet av disse ble brukt i de videre analysene (Figur 16).



Figur 16 Automatisk skille mellom spektra fra buk (grå) og rygg (røde)

Resultater: Generelt kan vi si at resultatene for målinger uten kontakt mellom fisk og instrument ble omtrent like bra som dem med kontakt. Det viser at det er fullt mulig å måle gode NIR signaler fra inne i fisken uten kontakt, hvilket er lovende for industriell implementering.

Resultatene vist i de neste figurene er kun for målinger uten kontakt.



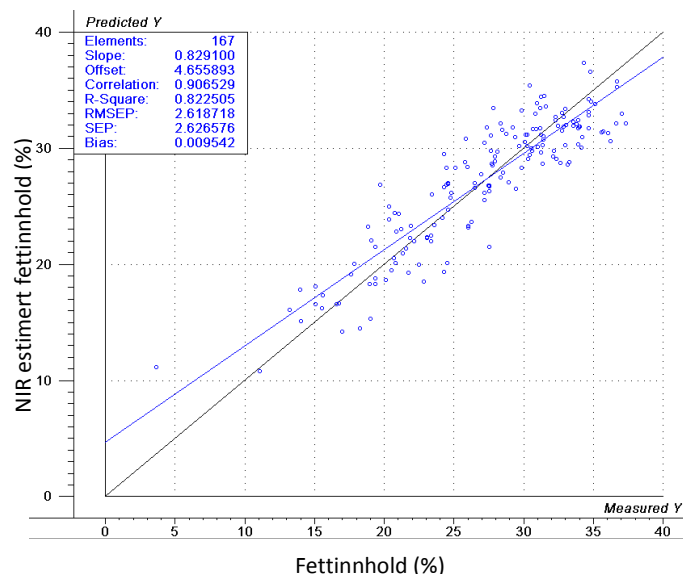
Figur 17 NIR-estimert vs. målt fett i hel makrell basert på målinger i område A på rygg. Venstre: alle fisk er tatt med i modellen. Høyre: Fisk med under 10% fett er utelatt. Fargene på punktene angir fisk fra de tre batchene angitt i Figur 11

Figur 17 viser at det er rimelig god sammenheng mellom målt fettinnhold (med NMR) og det som estimeres med NIR uten kontakt. Vi så at fisk med svært lavt fettinnhold var vanskelig å modellere, og dette kom trolig av at muskelen i disse var svært løs i konsistensen. Fettinnholdet i disse ble estimert til høyere enn det de faktisk var. Da disse prøvene ble tatt ut av datasettet fikk vi en lineær kalibrering med en prediksjonsfeil (RMSEP) på 2.6%. Det vil si at man kan forvente et gjennomsnittlig

avvik på $\pm 2.6\%$ fett. For makrell er dette mer enn godt nok til å kunne sortere fisken inn i for eksempel tre fettklasser; mager, medium og feit.

Dersom punktmåleren ble brukt til å scanne langs med ryggen på makrellen, så ga dette omtrent de samme resultatene som å måle i Punkt A. Målinger langs med buken ga vesentlig dårligere resultater, og dette er rimelig da fettinnholdet i buken neppe korrelerer så godt med gjennomsnittlig fettinnhold som fettinnholdet i tjukkfisken.

Dersom fisken ble scannet på tvers, i "tilfeldig" retning, enten S1, S2 eller S3 (Figur 15) ble det også oppnådd rimelig gode resultater. Vi kunne for eksempel bruke kalibreringen som var basert på punkt A (figur 17) og anvende denne på NIR-målinger fra disse scannene på tvers. Best resultat ble oppnådd for S3 med en prediksjonsfeil på 2.6%, S1 hadde 2.8%, mens S2 hadde 2.9% som prediksjonsfeil. Resultatene viser at det vil være mulig å måle på en strøm av makrell på et transportbånd og få rimelig gode estimater for fettinnhold i hver makrell og også en god gjennomsnittsverdi for en batch eller mindre deler av batchen.



Figur 18 NIR-estimert fettinnhold i scan S3 på tvers av fisken. Har brukt kalibrering basert på målinger i punkt A

Med punktmåleren ble det også forsøk å måle 5 og 5 fisk i ett scan (Figur 15). Fra disse målingene ble NIR spektra fra ryggen av hver fisk plukket ut automatisk og gjennomsnittsspekteret ble brukt til å estimere fettinnholdet. Dette ga bedre nøyaktighet fordi vi midler over et større parti av fisken. En prediksjonsfeil på 1.9% ble oppnådd for 5 og 5 fisk. Dersom det midles over en større mengde fisk, f.eks. 100 så vil prediksjonsfeilen synke ytterligere til kanskje 1.0%, som er meget nøyaktig for batchmålinger. Samtidig kan man få et mål for hvor stor variasjonen innen batchen er.

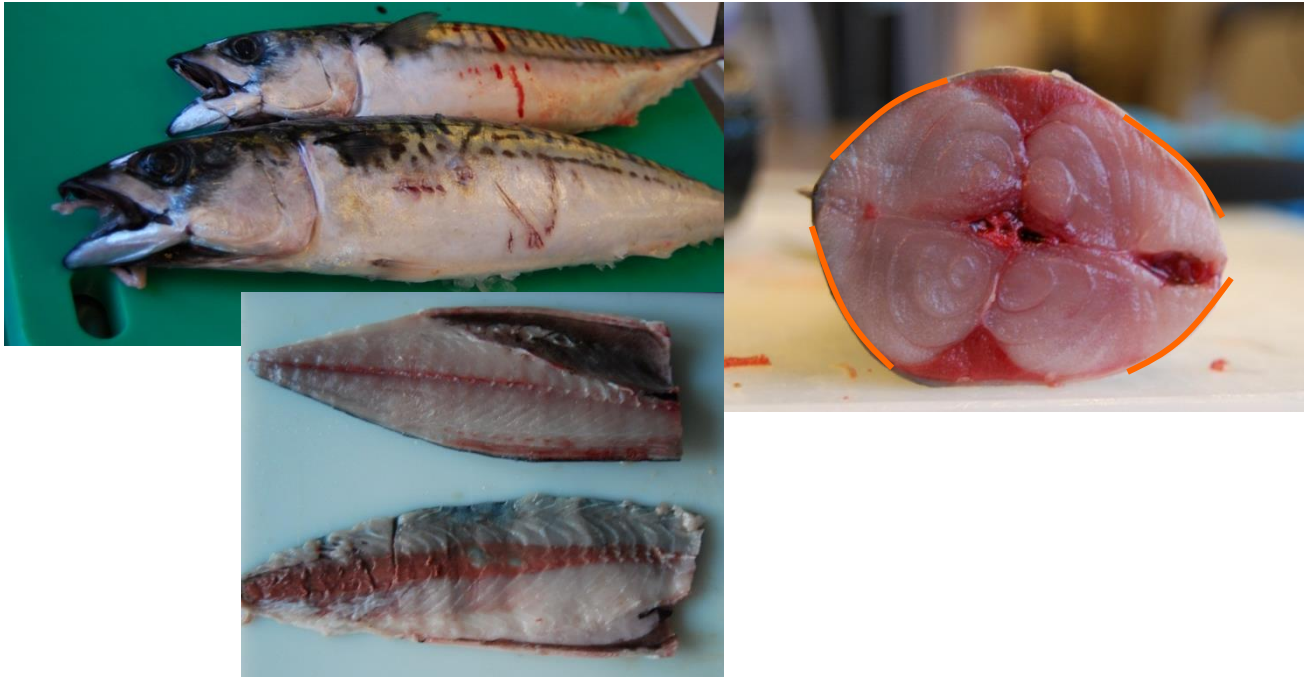
Med NIR imaging scanneren får man omtrent samme nøyaktighet for fettmålinger som ved bruk av punktmåleren. En RMSEP på 2.9% ble oppnådd for fisk som lå flatt (på siden) på transportbåndet. Signalene fra scanneren var imidlertid svake og støyfulle, så en optimering av optikken vil være nødvendig for å gi gode og stabile resultater.

Oppsummering Fettmåling i makrell

Resultatene vi har fått er realistiske. De er oppnådd basert på målinger på et stort sett med fisk (over 300) som spenner ut en naturlig variasjon i både fett og størrelse. Målingene er gjort på realistisk vis, men scanningen er gjort med mindre fart det enn som vil være nødvendig i industrien. Resultatene er likevel overførbare til industrielle forhold.

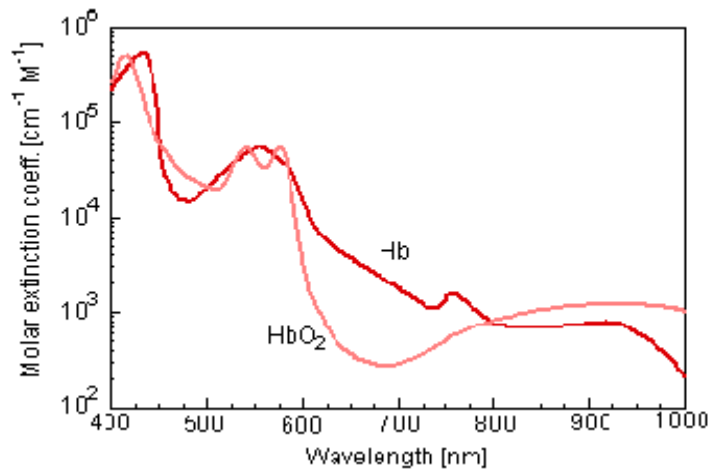
4 On-line påvisning av bloduttredelser i makrell

Hensikten med påvisning av blod og bloduttredelser i makrell er for å kunne sortere ut dårlig fisk eller å kunne raskt fastslå om kvaliteten på et parti er mindre bra. Det å påvise/måle blod i fiskefileter er relativt enkelt. Blod har et bestemt spektralt fingeravtrykk som gjør det mulig å skille det fra for eksempel melanin (aktuelt i laks) eller annen farge/misfarging. Det å påvise blod igjennom skinnet på fisken er imidlertid vanskeligere fordi skinnet absorberer mye av lyset (det er jo derfor vi ikke kan se inn i fisken).



Figur 19 Fysiologien til makrellen bestemmer hvor det er mulig å påvise blod

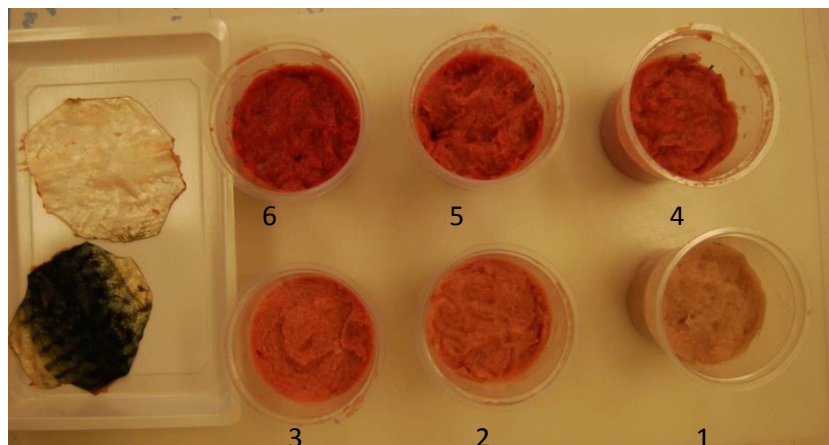
Bloduttredelser kan opptre hvor som helst på fisken avhengig av hvor den har fått slag eller blitt klemt. Lys muskel med bloduttredelse vil ha en farge og en spektral signatur som ligner mye på den mørke muskulaturen. Det kan sees på de to filetene i Figur 19, der øverste filet har bloduttredelse i øvre del av ryggen. Fargen på dette blodet er svært likt fargen på den mørke muskulaturen i fileten under. 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 skinnet. Det er der det kun er et tynt lag med mørk muskel under skinnet. I figur 19 er disse områdene angitt med orange striper.



Figur 20 Absorpsjonsspektra av hemoglobin

Blod (hemoglobin) absorberer mye fiolett, blått og grønt lys, det er derfor det er rødt. Men det absorberer også lys i det nær-infrarøde i området 750-1000 nm. Dette gjør at det vil kunne være mulig å påvise blod gjennom skinn på fisk. Det synlig lyset stoppes i stor grad av skinnet, mens NIR lyset trenger i større grad igjennom. Det er derfor det er mulig å se matinnhold gjennom skallet på krabber med NIR men ikke med synlig lys. Det at NIR stråling trenger dypt inn i biologisk vev gjør at det kan brukes til blant annet å påvise blodansamlinger i hjernen på mennesker, der målingene gjøres tvers gjennom kraniet.

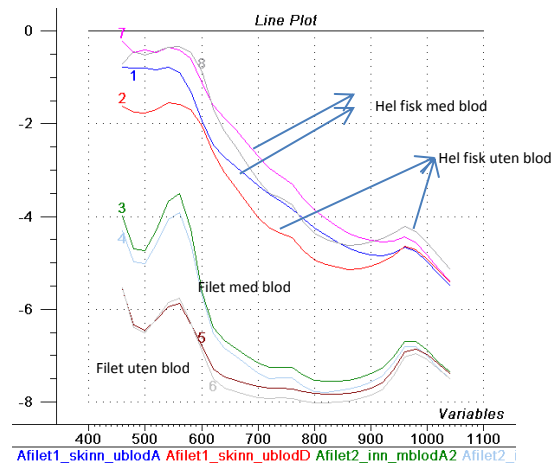
For å undersøke om det var mulig å måle blod gjennom skinnet på makrell ved bruk av NIR gjorde vi et enkelt modellforsøk der vi blandet inn bestemte mengder blod i oppmalt muskel (Figur 21). Vi la enten mørk eller lyst skinn oppå disse prøvene og målte gjennom skinnet med NIR.



Figur 21 Oppmalt makrellfilet med ulike mengder blod. Prøve 1 er uten blod, mens konsentrasjonen øker opp til nr 6. NIR målinger ble gjort gjennom det lyset og mørke skinnet til venstre

Mengden blod i prøvene ga systematiske endringer i NIR spektrene og det var mulig å kvantifisere mengde blod i prøvene basert på målinger gjennom både lyst og mørkt skinn. Det ble målt også i det synlige området, men der var det *ikke* mulig å se forskjell på prøvene gjennom skinnenet.

Det ble så gjort målinger på intakt fisk med og uten bloduttrekninger. Det er fullt mulig å påvise blod i lys muskel gjennom skinnenet på makrellen. Det gjelder både for lyst og mørkt skinn.



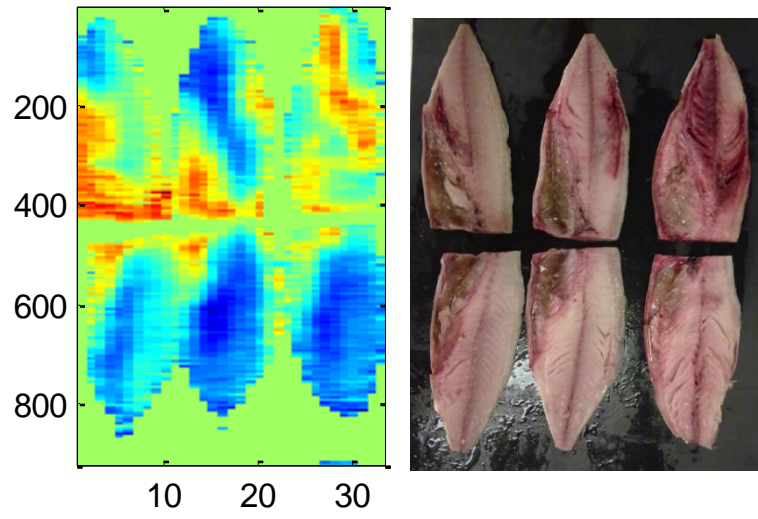
Figur 22 Spektra fra makrell med og uten blod. De øverste er fra hel fisk, de nederste fra filet

I figur 22 ser man at det er stor forskjell på fileten med og uten blod. Blodet absorberer kraftig i det synlige området mellom 450 nm og 600 nm. For hel fisk er denne delen av spekteret forstyrret av skinnenet. For hel fisk kommer forskjellene tydelig frem i NIR området, 800-1050 nm.

Målingene i dette prosjektet viste at det er mulig å påvise bloduttrekninger inne i makrellen. Men dette er ikke enkelt å implementere industrielt på en god måte. Man vet ikke hvor bloduttrekningene vil være lokalisert og de kan variere i intensitet. Man blir nødt til å scanne en større del av fisken for å detektere disse flekkene, og dette må skje i høy hastighet.

Vi valgte – i samråd med styringsgruppa – å ikke jobbe videre med denne problemstillingen, men heller vektlegge fettmåling i makrell og kjønnsbestemmelse av sild.

Det å påvise blod i fileter av makrell er imidlertid langt enklere. Med avbildende scanner fra TOMRA kan dette gjøres on-line i høy hastighet (Figur 23). En begrensning med akkurat denne scanneren er at den har lav romlig oppløsning. Det vil si at blodflekkene må ha en dimeter på ca 1 cm for å kunne detekteres. Men dette kan gjøres bedre med mer høyoppløste kamerasystemer som kan påvise mindre flekker.



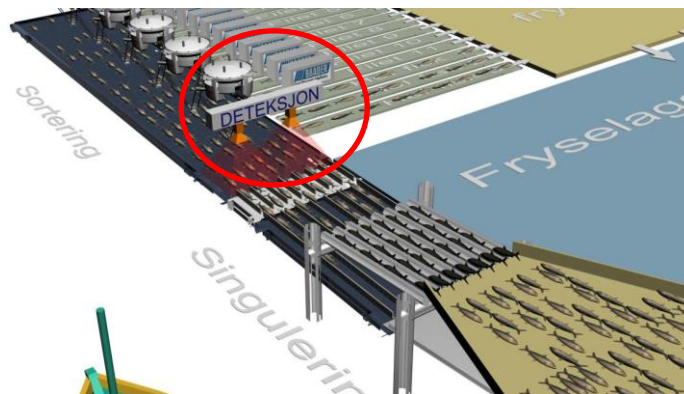
Figur 23 Blod i filet påvist on-line med NIR scanner

5 Oppsummering

I dette delprosjektet har vi sett at det er fullt mulig å måle sentrale indre kvalitetsegenskaper på pelagisk fisk raskt og ikke-destruktivt. Ved å bruke en form for NIR gjennomlysning kan det på brøkdelen av et sekund måles fettinnhold i enkeltfisk og om det er melke eller rogn i buken på sild. Bloduttreddelser kan også påvises.

Målingene og undersøkelsene er gjort med instrumentering som er delvis kommersielt tilgjengelig. TOMRA selger en avbildende NIR scanner, men flere av applikasjonen kan løses bedre med instrumentering som er noe mer dedikert til formålet. NIR punktmåleren som er brukt til vellykket måling av fett i makrell og kjønn på sild er ikke kommersielt tilgjengelig. Det ble konstruert av Sintef IKT/Nofima for å måle fettinnhold i levende/hel laks og brukes til dette i dag. Det er imidlertid ikke designet for bruk i prosesslinje for pelagisk fisk.

Et annet delprosjekt i *Individbasert kvalitetssortering og kvalitetsmerking av pelagisk fisk* har utviklet en metode for størrelse og vektsortering av pelagisk fisk basert på vision-teknologi. Dette systemet er under implementering av MMC slik at det kan testes og tas i bruk i næringa om kort tid. I dette systemet vil all fisk passere en målestasjon der bilder tas og vekt estimeres. På samme sted i prosessen vil det la seg gjøre å måle fettinnhold og kjønn på fisk slik at de kan sorteres mest mulig hensiktsmessig i henhold til videre prosessering. Det kan være å sende sild med rogn til de samme fileteringsmaskinene eller til bestemte kunder og markeder. Eller å sortere makrellen inn i 2-3 fettklasser. Fisken skal uansett sorteres på størrelse, og et utvidet system gir mulighet for å utvide sorteringsklassene til å inkludere ikke bare størrelse men også kvalitet.



Det å utvikle et dedikert NIR-system til denne type målinger kan gjøres av en utstyrsleverandør alene eller i samarbeid med Sintef/Nofima. Det er verdt å merke seg at et og samme NIR system vil kunne brukes til både fettmålinger og kjønnssortering. Muligens også deteksjon av bloduttreddelser.

Pelagisk næring bør selv vurdere nøye hvilke muligheter denne teknologien gir til verdiøkning i forhold til dagens produksjon. Man kan gå fra ren batch produksjon til en produksjon som er optimalisert i henhold til kvaliteten på hver enkelt fisk.

