

RAPPORT

Research Field 2 – Sensors and measuring techniques: An overview

Strategic Institute Program:

**“Efficient and economic sustainable fish processing
industry”**

Ulf Erikson

SINTEF Fiskeri og havbruk

Foredling

Mars 2006



SINTEF Fiskeri og havbruk AS
Foredling

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse:
SINTEF, Forskningscenteret på Rotvoll
Arkitekt Ebbellsvei 10
Telefon: 73 59 56 50
Telefaks: 73 59 56 60
E-post: fish@sintef.no
Internet: www.fish.sintef.no

Foretaksregisteret: NO 980 478 270 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

**- Research Field 2 –
Sensors and measuring techniques:
An overview
Strategic Institute Program:**

"Efficient and economic sustainable fish processing industry"

FORFATTER(E)

Ulf Erikson

OPPDRAGSGIVER(E)

Norges Forskningsråd

RAPPORTNR. SFH80 A065028	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF.	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN	PROSJEKTNR. 8501010.03	ANTALL SIDER OG BILAG 43
ELEKTRONISK ARKIVKODE ForedlingSipRF2Sluttversjon-Emil.doc		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Ulf Erikson	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Emil Veliyulin
ARKIVKODE	DATO 2006-03-31	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Marit Aursand	

SAMMENDRAG

Rapporten gir en oversikt over ulike måleprinsipper og sensortyper som en kunne tenke seg å anvende i forbindelse med automatisert prosessering av fersk fisk. Aktuelle brukere av slik teknologi er fiskemottak, slakteri- og foredlingsbedrifter (filet). Måling av ferskhet og bederving er således ikke inkludert i denne sammenheng. Med dagens teknologi peker to måleteknikker seg ut som spesielt aktuelle. Dette er maskinsyn og NIR. Maskinsyn er valgt som tema for PhD-kandidat innen RF 2 innen Strategisk Institutt Program 2001-2005.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Prosessering av fisk	Fish processing
GRUPPE 2	Automasjon	Automation
EGENVALGTE	Sensorer	Sensors
	Prosesskontroll	Process control
	Kvalitetskontroll	Quality control

INNHALDSFORTEGNELSE

1. MÅL OG OMFANG	3
2. INNLEDNING	3
3. SENSORER OG MÅLETEKNIKKER.....	7
3.1 Spektroskopi	7
3.1.1 Kjernemagnetisk resonans (NMR).....	8
3.1.2 Nær-Infrarød.....	8
3.1.3 Fluorescens	10
3.1.4 Fiberoptikk	13
3.1.5 Røntgen	13
3.2 Mikrobølger	18
3.3 Elektrokjemiske måleteknikker	19
3.3.1 pH i fiskemuskel.....	19
3.3.2 Oksygenelektoden	19
3.3.3 AC-impedans.....	19
3.4 Billedanalyse.....	19
3.4.1 Maskinsyn – 'Video Image Analysis (VIA)' – 'Computer Imaging'	20
3.4.2 Magnetic Resonance Imaging (MRI).....	23
3.5 Akustiske metoder	25
3.6 Elektronisk nese	27
3.7 Andre teknikker	27
3.8 Temperatur.....	28
3.9 Evaluering av rigor mortis	28
4. BRUK AV SENSORER I NÆRINGSMIDDELINDUSTRIEN	29
5. PROSESSERING AV FISK: SORTERING OG DETEKSJON AV ULIKE PARAMETRE	31
5.1 Sortering og gradering av fisk.....	31
5.2 Deteksjon av bein i fiskefilét.....	31
5.3 Porsjonskutting og trimming	34
5.4 Laserscanning av filet	35
5.4 Deteksjon av nematoder i filet	35
5.5 Måling av farge og fett i filet	36
5.6 Måling av produktkvalitet.....	36
5.7 Hygienekontroll	36
6. KONKLUSJONER	37
7. LITTERATURREFERANSER	38
8. BILAG	43

1. MÅL OG OMFANG

Formålet med denne rapporten er å:

- Gi et sammendrag av potensielle måleteknikker som en kunne tenke seg å benytte i forbindelse med prosessering av fisk (sjømat). Omfanget – dvs. valg av analysemetoder – er således tilpasset problemstillinger der fisken blir prosessert i en prosesslinje like etter avliving (oppdrettsfisk) eller tining (hvitfisk frosset ombord). Analysemetoder for ferskhet og grad av bederving - "produktkvalitet i markedet" - er således ikke behandlet spesielt her.
- Om mulig komme fram til en konklusjon over hvilke målemetoder som er mest relevante i forhold til SINTEF Fiskeri og havbruk sin satsning på måleteknikk og prosesslinje i det Strategiske instituttprogrammet (2001-2005), herunder valg av målemetoder/teknologi for PhD-kandidat under RF 2.

2. INNLEDNING

Sensortechnologi er i dag i rask utvikling og har etter hvert blitt innført i ulik grad innen områder som medisin, farmasøytisk industri, petrokjemi og næringsmiddelindustri. Mange av disse sensorene er baserte på spektroskopiske teknikker (fluorescens, målinger i det infrarøde og nærinfrarøde bølgelengdeområdet), mikrobølger, ultralyd, elektronisk nese eller elektrokjemiske prinsipper. Typiske egenskaper til produktet en ønsker å kontrollere i næringsmiddelsammenheng er eventuelle defekter, tekstur, farge, ferskhet, smak og ernæringsinnhold.

Tildels genereres store mengder data ved analyse som for noen teknikker også er essensielt for å kunne foreta automatiserte, nøyaktige målinger. Ulike teknikker basert på statistikk må ofte benyttes i etterkant.

I "Sensors for the food industry" beskriver Ohashi og Karube (1993) ulike målemetoder som ble utviklet i løpet av et femårig forskningsprogram. I forbindelse med prosessering av fisk er to sensorer beskrevet. En sensor for nøyaktig måling av vanninnhold - i området 75-85 % - i forbindelse med produksjon av surimi. Til dette ble det benyttet et NIR-instrument (refleksjonsmålinger) hvor en oppnådde nøyaktighet bedre enn $\pm 0,3$ %. For samme prosess ble det også utviklet et instrument for automatisk pH-kontroll.

DeSilva (1992) omtaler automasjon av fiskeforedlingsindustrien i Canada i forbindelse med opprettelse av *Industrial Automation Laboratory (University of British Columbia, Vancouver)*. Formålet var å løse de samme oppgavene en nå omtaler for denne industrien i Norge, det vil si: bedre effektiviteten, bedre arbeidsforholdene, bedre råstoffutbytte, gjøre lokal industri mer konkurransedyktig i verdensmarkedet. For å løse disse oppgavene så en for seg å utvikle avansert (lavkost) utstyr for automasjon som var mest mulig fleksibelt. Blant annet ble det utviklet en spesiell "workcell" for utvikling av utstyr i laboratorieskala. Prosesskontroll, maskinsyn og roboter var sentrale elementer i deres strategi.

Ved å benytte sensorer for on-line målinger av biologisk materiale, kan en forvente tildels betydelig variasjon i måleverdiene. Det er derfor vanlig at sensorer ofte knyttes opp mot kunnskapsbasert datateknologi som for eksempel nevrale nettverk eller 'fuzzy logic'.

Innen temaet automatisert kvalitetskontroll i fiskeindustrien har det tidligere blitt utført et betydelig arbeide og det er publisert bøker som for eksempel 'Fish quality control by computer vision' (Anonym, 1991).

Aktuelle sensorteknologier i denne forbindelse er (Henrikson, 1995):

- **Optisk baserte sensorer** – Typisk brukes en lyskilde som fokuseres inn i en fiberoptisk kabel som overfører lys til sensoren. Her registreres endringer i signal når lyset trenger inn i næringsmidlet. Fysiske eller kjemiske endringer reduserer (oftest) signalet, noe som registreres av en detektor. Dataene blir så sammenliknet og prosessert videre. Noen aktuelle måleteknikker er: synlig lys og laser, UV og fluorescens, samt NIR. Maskinsyn (kamerabasert) og fargemålinger er basert på måling av lys.
- **Elektrisk baserte sensorer** – Ofte benyttes keramiske eller polymere materialer som korrelerer spenning, impedans eller dielektrisitetskonstanten til den ønskede parameteren i det aktuelle mediet. Det finnes tre hovedtyper elektrokjemiske sensorer, nemlig ioneselektive elektroder (ISE), ioneselektive felteffekt transistorer (ISFET) og metalloksid gassensorer. En tradisjonell pH-elektrode av glass er et eksempel på først nevnte kategori.
- **Mikrobølge baserte sensorer** – Hittil er metoden forbundet med bulk fuktighetsmåling (avhenger av prøvens tetthet). Dielektrisitetskonstanten og tapsfaktor er egenskaper ved næringsmidlet som egner seg å måle ved denne metoden.
- **NMR** – Basert på målinger av protoners relaksasjonstid (små, mobile molekyler, i praksis vann) kan en f.eks. studere fritt og bundet vann i en gitt matrix som i en fiskemuskel.
- **Ultralyd-sensor** – Ikke-destruktiv måling av faststoffinnhold og fyllingsgrad basert på måling av lydabsorpsjon, refleksjon og faseskift.
- **Sensor for termisk diffusivitet og termisk ledningsevne** – Utviklet for høyviskøse system (deig, ost og emulsjoner). Absorpsjon av varme måles som korreleres til vanninnhold.

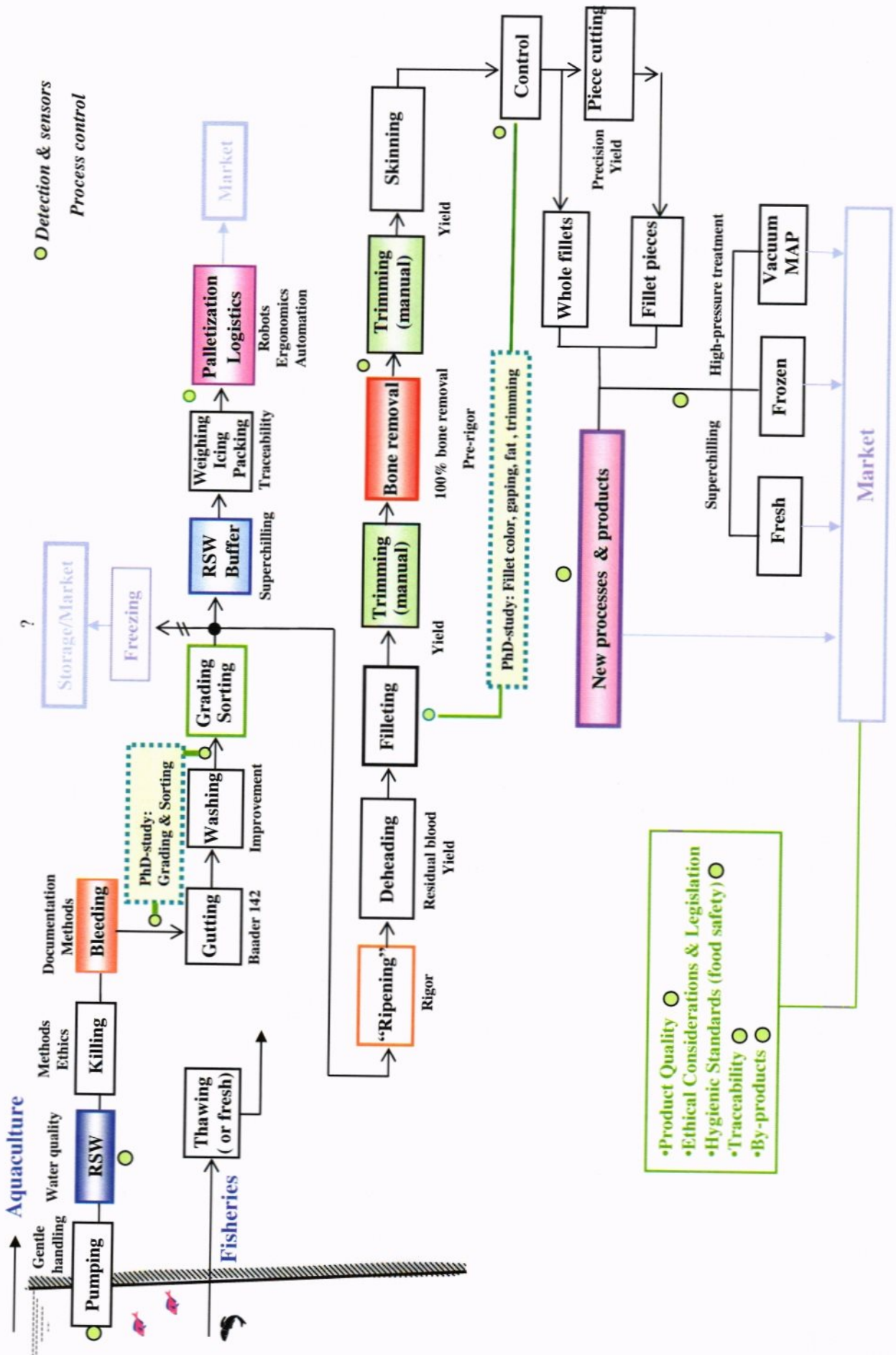
Vanlige parametere som kan måles ved bruk av sensorer for kvalitetskontroll og produktkvalitet er:

- **Fysiske** – temperatur, trykk, vekt, størrelse, form, gass- og væskestrøm, viskositet, væsknivå
- **Kjemiske**
 - **Fysikalsk-kjemiske målinger:** vann, fett, protein, karbohydrat, kjemisk sammensetning, faststoff og farge
 - **Kjemiske målinger:** pH, ioner, lukt, smak, løst oksygen, gassutvikling, ferskhet og modningsgrad.
 - **Biosensorer:** biologisk sensitivt materiale (f.eks. membran) som produserer et biokjemisk signal som omformes av en transduktor til et elektrisk signal. Ett eksempel er immobiliserte enzymer bundet til en membran koplet til en oksygenelektrode. Kjemisk omsetning koplet til forbruk av oksygen kan dermed registreres som endring i elektrisk strøm.
- **Mikrobiologiske** – Off-line bakterie-, sopp- og pestisidtester tas.

I SIP (2001-2005) har vi tegnet skjematisk prosesslinjer for slakting av oppdrettsfisk, landing av frosset hvitfisk og filetlinje med eventuell videreforedling (Fig.1). Inntegnet er mulige kontrollpunkter for automatisk prosesskontroll (sortering på kvalitetsparametre). I et slakteri og foredlingsbedrift kan en se for seg flere kontrollpunkter med hensyn til kvalitetskontroll og sortering. I prinsippet bør en sørge for færrest mulig målestasjoner, men dette vil naturligvis være avhengig av råstoff, antall og type produkter, hvordan en setter sammen de ulike enhetsoperasjonene etc. Vi skal her ta for oss tre sannsynlige kontrollpunkter.

- (a) Mottakskontroll for oppdrettsfisk eller frosset/tint råstoff
- (b) Kvalitetssorteing av sløyd oppdrettsfisk
- (c) Sluttkontroll av filet

Fig. 1 – Se neste side: Generaliserte prosesslinjer (slakte- og filetlinje) for oppdrettsfisk. For hvitfisk tas fisken ofte inn til prosessanlegget i frosset tilstand hvor fisken tines før videre prosessering. Fargende bokser representerer enhetsoperasjoner med spesiell fokus i dette prosjektet. Grønne sirkler symboliserer eksempler på steder hvor sensorer eller spesiell prosesskontroll kan være aktuelle.



Aquaculture

Detection & sensors
Process control

- Product Quality
- Ethical Considerations & Legislation
- Hygienic Standards (food safety)
- Traceability
- By-products

3. SENSORER OG MÅLETEKNIKKER

3.1 Spektroskopi

I løpet av de siste 15-20 årene har spektroskopiske teknikker blitt forbedret i betydelig grad, spesielt ved bruk av *fiberoptikk* og *lasere* og fast-fase komponenter som kan gjøre spektrometrene mindre og mer kostnadseffektive.

Fig. 2 viser en oversikt over det totale elektromagnetiske spekteret. Synlig lys utgjør kun en begrenset del av spektret, fra 390 nm (fiolett) til 750 nm (rødt). Av interesse i forbindelse med sensorer for næringsmidler (kjøtt og fisk) er: *røntgenstråling*, *ultrafiolett (UV) stråling*, *synlig lys*, *infrarød (IR) stråling*, *mikrobølger* og *radiobølger*. I muskelvev er hovedkomponentene som absorberer lys:

- Vann (i alle typer vev)
- Hemoglobin (i blod)
- Melanin (skinn, hår, flekker på hud, etc)

Infrarødt lys absorberes primært av vann, mens synlig og ultrafiolett lys absorberes hovedsakelig av hemoglobin og melanin. Ved avtakende bølgelengde, mot blått-fiolett og UV, vil spredning føre til at det er begrenset hvor langt inn dette lyset kan penetrere i vevet. Ved absorpsjon avgis energi til vevet.

Laser

Ved bruk av laser ("*Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation*") – som er monokromatisk – kan en framskaffe ekstrem hurtig oppvarming i f.eks. vev som kan føre til lokal nekrose. Ved å velge passende bølgelengde og eksponeringstid, kan en selektivt påføre skade på ønsket vev ('*photothermolytic, photomechanical or photochemical effect*', j.fr. ulike operative inngrep). Det som gjør laser lys spesielt er at alle fotonene har samme farge (monokromatisk), i samme fase og er fokusert i en tynn stråle. Ulike medier brukes som medier/kilder for laser lys, som dermed gir ulik farge. Dette kan være gasser (karbon dioksid, argon, krypton) eller krystaller (f.eks. rubin) eller kjemikalier. For å oppnå en ønsket effekt i vev, ser vi følgelig at vi må velge lasermedium deretter (i forhold til bølgelengde). Lavenergi lasere kan benyttes med fordel siden laserstrålen er meget retningsbestemt, koherent, meget intens og har en godt definert diameter som kan fokuseres ned til små størrelser for å kunne detektere meget små defekter.

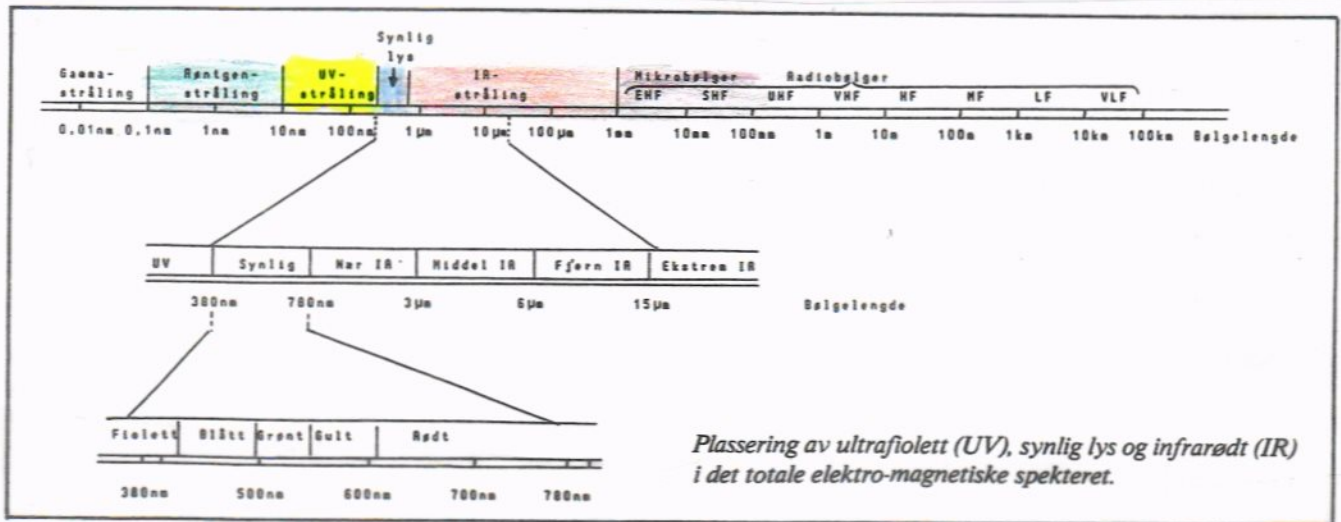


Fig. 2 Det totale elektromagnetiske spekteret (Hansen og Sigholt, 1989). Ulike bølgelengdeområder brukes spesifikt ved forskjellige målemetoder (sensorer).

3.1.1 Kjernemagnetisk resonans (NMR)

I et prosessanlegg er det med dagens NMR teknologi mest aktuelt å bruke en enkel bordmodell for at-line målinger av vann og fett (proton lavfelt NMR). Mulige applikasjoner for lakseindustrien er beskrevet av Aursand et al. (2006). Ved bruk av ny mobil NMR (MOUSE) teknologi kan den permanente magneten erstattes av en liten bevegelig magnet som for eksempel kan måle på overflaten av ulike objekter uavhengig av størrelse. Dette gjør at en kan se for seg at LF NMR (2-25 MHz) på sikt kan brukes i on-line sammenhenger. Metoden er prøvd for *in-vivo* måling av fett i slaktelaks (Veliyulin et al., 2005).

3.1.2 Nær-Infrarød

NIR/avbildende spektroskopi: - Teknikken baserer seg på lysabsorpsjon (i ulike molekylgrupper) og transmisjon i fiskemuskel i bølgelengdeområdet 780 - 2500 nm. Enkelte instrumenter kan også benyttes for analyse i det synlige området fra 400-780 nm. Dette betyr at en også får med fargeverdiene i CIE L*, a*, b*-systemet. De fleste molekylgruppene med absorpsjon i NIR-området er de med atombindingene O-H, C-H og N-H. Ved matematiske modeller omformes signalene videre til kjemiske verdier. NIR kan benyttes enten i forbindelse med:

- **Transfleksjon** – Lyset sendes inn via en optisk probe inn i prøven (fisk) og reflektert lys spres tilbake til detektoren. NIR-spekteret viser hvilke bølgelengder som absorberes i prøven. Best for hel filet.
- **Transmisjon**- Lyset passerer gjennom prøven og detekteres således på motsatt side av prøven. Egner seg for oppmalte prøver.

Metoden er lovende med hensyn til deteksjon av kveis både på overflata og inne i fileten. Teknikken kan tilpasses industrielle krav med hensyn til hastighet (en filet per sekund). Med utgangspunkt i dagens teknologi vil en deteksjonsenhet trolig koste omkring 0,5 – 1 mill. NOK. Det er sannsynlig at metoden er egnet til deteksjon av bein, men dette må verifiseres. NIR teknikkene er avhengige av kalibrering, dette kan bli en begrensning dersom råvaren, type og kvalitet, varierer mye og ofte. Felles for metoder som benytter lys er den kraftige spredningen som skjer igjennom fileten. Dette kan være en kilde til feilvurdering av posisjon og derved påvirke muligheten for å gi koordinater videre til kutteenheten. Ved bruk av avbildende spektroskopi vil dette imidlertid ikke være noe stort problem (Buljo et al., 1999).

NIR er under uttesting i forbindelse med on-line (eks. 20-25 cm over prosesslinjen der instrumentet er utstyrt med 2-10 utvalgte filtre) kvalitetskontroll av kjøttdeig hvor forholdstallet mellom fett, protein og vann bestemmes (SMB-revynen, 2001). Med hensyn til at-line målinger av fett ved NIR, er det i dag mulig å måle fettinnholdet i levende laks. Analysetid er omlag ett sekund og feilmarginen ligger innen $\pm 1,5$ %. NIR-metoden krever et stort kalibreringsunderlag for den aktuelle fiskearten. Korrelasjonen med kjemisk analyse er svært god (Anonym, 2001).

Videre kan ferskheten (alder post mortem) i torskefilet måles hurtig og ikke-destruktivt med en nøyaktighet på vel en dags avvik. Innhold av fett, vann, salt og protein i filet fra laks og torsk kan også bestemmes (Fiskeriforskning, 1998).

NIR har i forbindelse med fisk en rekke anvendelsesområder som måling av vanninnhold i fiskemel; fett og tørrstoff i lodde; vann, protein og pH i torsk; fett, vann og protein i laks. Ved å bruke optiske fibere og plassere sensoren direkte på overflaten på hel laks, lar det seg gjøre å foreta målingene ikke-destruktivt (Solberg, 1997).

Det pågår for tiden FoU for implementering av NIR for automatisk måling av vanninnhold i klippfisk on-line da det i forsøk har vist seg at en ved NIR kan estimere vanninnholdet med en nøyaktighet på ± 1 prosentpoeng, noe som er bedre enn gradering utført manuelt av trent personell (Egelandsdal et al., 2003).

Ved Fiskeriforskning forsøker en for tiden å benytte NIR til å måle kjøttinnhold i levende kongekrabbe for å kunne velge om krabben er egnet for salg. En forsøker også å anvende NIR for deteksjon av nematoder (kveis) i torskefileter. SINTEF har også hatt en aktivitet på dette feltet der en har valgt en annen innfallsvinkel. I stedet for å basere seg på at kveisen absorberer lys, ser en i stedet på hvordan den sprer lyset. Dette krever imidlertid at fiskefileten i liten grad sprer lyset. Ved $\lambda = 1300$ nm har en funnet at kveis sprer lys, mens torskefilet gjør det i beskjedent grad (ved lavere bølgelengder derimot, $500 \text{ nm} < \lambda < 1100 \text{ nm}$, sprer torskefilet lys). Siden IR-lys gir mindre spredning i fiskefilet enn synlig lys, blir dette benyttet til å sende en fokusert stråle (laser) gjennom fileten. Lyset som har passert gjennom filetet registreres av et IR-kamera. Ved å scanne filetoverflaten vil eventuelle kveis gi seg tilkjenne som mørke flekker forårsaket av tap av lysintensitet (spredning).

Det er publisert mye på anvendelse av ulike NIR-metoder på laks. Dette omfatter måling av fett, vann eller protein (Isaksson et al., 1995, Wold et al., 1996; Wold og Isaksson, 1997), måling av fett i levende laks (Solberg et al., 2003) samt ikke-destruktiv måling av fett under huden (Downey, 1996).

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) - Metoden er basert på et Michelson interferometer som brukes til deteksjon i den midtre delen av IR-området hvorpå dataene blir

transformert. Dette gir metoden økt følsomhet. FTIR er en rask og nøyaktig kvalitativ teknikk for å bestemme kjemiske forbindelser i næringsmidler.

UV og synlig lys - Dette omfatter bølgelengder i området 180-900 nm og inkluderes ofte i NIR-instrumenter. I næringsmiddelindustrien er *fargemålinger* vanlig i forbindelse med sortering. Her genereres fargebilder (synlig lys) som så danner grunnlaget for bildebehandling og sortering. UV-området kan også brukes til *fluorescens* i det noen atomgrupper har evnen til utstråling – i motsetning til å absorbere UV-lys ved spesifikke UV bølgelengder.

3.1.3 Fluorescens

Fluorescens er den egenskapen hos lys (luminescens) som oppstår når molekylene i et stoff eksiteres av fotoner (bestråles med en gitt type lys, med kortere bølgelengde enn resulterende fluorescens). Flere levende og døde dyrevæv fluorescerer når de bestråles med UV-lys (360 nm). Dog kan fluorescens også observeres ved bestråling av lys i det synlige, røntgen eller NIR-delen av det elektromagnetiske spekteret. Tilsvarende kan utstrålingen (fluorescensen) observeres også i andre deler (NIR og IR) enn i det synlige området. Intensiteten til spredte elektromagnetiske bølger avhenger av frekvensen til primærbølgen samt spredevinkel. De spredte bølgene blir mer intense når frekvensen til innfallende stråling er lik en av frekvensene i spekteret til et atom eller molekyl. Dette kalles *resonant fluorescens* (når tidsforsinkelsen mellom absorpsjon og emisjon $< 10^{-8}$ sek). Spesielle detektorer (nanosekund fotodetektorer) og CCD-kameraer kan benyttes for fluorescensbilder. Fra disse kan en studere romlig fordeling av fenomenet i prøven.

Parasitter (som nematoder i fisk) kan detekteres med UV-lys selv ved størrelser $\ll 1$ mm. I hovedsak har denne deteksjonsmetoden vært brukt relatert til overflater da inntrengningen i ulike vev ikke er dypere enn omlag 0,5 mm. Imidlertid kan en gå dypere inn i f.eks. muskelvev dersom lysintensiteten økes (Pippy, 1970). Måleteknikken kan også anvendes i forbindelse med matvaretrygghet i og med at nærvær av mycotoksiner (giftige metabolitter fra sopp) kan detekteres ved fluorescens (Wood og Mann, 1984). I forbindelse med lagring og prosessering av sardiner observerte Aubourg og Medina (1997) at fluorescens var godt egnet for deteksjon av reaksjonsprodukter fra reaksjoner mellom delvis degraderte lipider (PUFA) og andre biologiske (aminerte) bestanddeler.

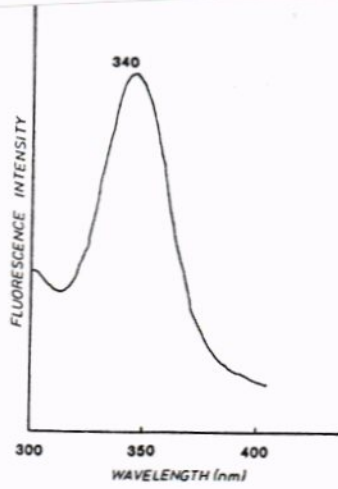
Siden fluorescens er en overflateteknikk, vil det si at bein og kveis som ligger nede i fiskemuskel vil ikke kunne registreres. Teknikken anses dermed ikke god nok for industriell anvendelse. Kommersielt utstyr for denne type deteksjon har vært markedsført tidligere av Lumetech, Danmark, ca 1990, men har ikke fått bred kommersiell anvendelse for det området vi her omtaler (Buljo et al., 1999). Det første kommersielle instrumentet for deteksjon av bein var *Lumetech fishbone detector* (Lumetech AS, København). Filetene går på transportbånd som passerer sensoren og en videoscanner koplet til en datamaskin som kontrollerer sortering i to kategorier (aksepteres eller forkastes) i henhold til en gitt spesifikasjon (antall eller størrelse av bein). Deteksjonssystemet ble så koplet til en vannstråleskjærer som kan skjære ut bein mens båndet fremdeles er i bevegelse. Beinene ble så fjernet mekanisk. Presisjonen ble ansett som høy og utbyttet var flere prosent høyere enn ved manuell beinfjerning.

Huss et al. (1985) fant at fiskebein fra flere arter var fluorescerende og Jensen et al. (1989) beskriver noen anvendelser for metoden i forbindelse med prosessering av fisk. Disse er:

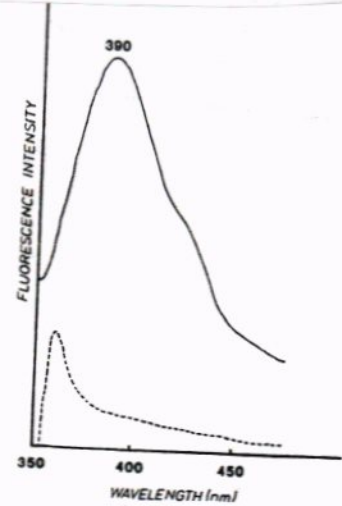
- **Fiskebein** – Ved eksitering av lys med bølgelengde 340 nm, vil fiskebein emitte blå-fiolett lys (390 nm; autofluorescens) i mye større grad enn omkringliggende muskelvev.

Autofluorescensen ved 390 nm var konstant for de testede fiskeartene (torsk, hvitting, hyse, rødspette, skrubbe og tunge). Nakke- og pinnebein i torskefilet kan klart detekteres ved bruk av metoden. Eksitasjon, emisjon og penetreringsdybde ved bruk av fluorescens er vist i Fig. 3. Vi ser at fluorescensintensiteten reduseres med 50 % ved 1 mm filetdybde. Metoden er derfor som sagt egnet for overflate-, eller nær-overflatedeteksjon. En fant det nødvendig å bruke et silikon-intensivert videokamera for å oppnå tilfredsstillende videodeteksjon. Fileter med et uakseptabelt høyt innhold av bein ble automatisk forkastet. Deteksjonsgrensen ligger rundt "noen få" mm². Under testing kan eksempelvis nevnes at ved en frekvens på 41 beindefekter per 100 kg torskefilet ble dette redusert til kun 3 defekter ved bruk av denne type sensor. Fileter med et uakseptabelt høyt innhold av bein ble automatisk forkastet.

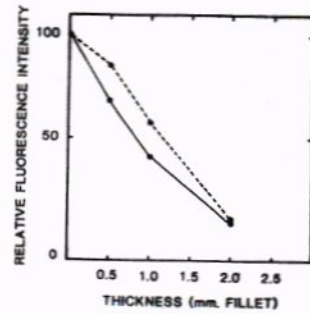
- **Fiskemuskel** – Fluorencensen i fiskefileter er meget lav etter islagring i 2-3 dager. I meget fersk fisk derimot, er fluorescensen betydelig ved 460 nm ved 366 nm eksitering. Dette er antatt å skyldes coenzymet NADH som er fluorescerende. Ved frysning av pre-rigorfisk er muskelen fluorescenserende i lang tid (også etter frysetørking). I full rigor og postrigor fisk var fluorescensen lav. Fluorescens i fersk og frossen muskel, samt som funksjon av lagringstid på is er vist i Fig. 4. Parallelt med reduksjon i fluorescens avtok pH i muskelen fra 7,05 til 6,50 (Manohar, 1971). Wittfogel (1969) fant at bestråling med UV-lys (366 nm) forårsaker blå-hvit fluorescens i meget fersk fisk samt i fisk frosset i pre-rigor eller i-rigor tilstand. Metoden kan benyttes til å skille mellom fisk frosset ombord, på land eller dobbeltfrosset. Torskevev mister sine fluorescerende egenskaper 6-12 timer ved 4°C, dvs. ingen fluorescens post rigor. De fluorescerende egenskapene holdt seg lengst i den tykkeste delen av muskelen. Fettholdig vev i fet fisk viste sitrongulfarget fluorescens med økende intensitet under kjølelagring.
- **Parasitter** – Spesielt i hvitfisk kan en periodevis ha nematoder i muskelen. Disse er autofluorescerende, en effekt som kan videre forsterkes ved frysing. Hvorvidt frysing er nødvendig før deteksjon, er avhengig av type parasitt. Eksempelvis vil parasitten *Anisakis simplex* (i frosset tilstand) ha fluorescensintensitetsmaksimum rundt 325 nm (eksitasjon) ved 390 nm emisjon. Teknikken kan således tenkes brukt i forbindelse med kontroll av parasitter i fisk.
- **Brusk, bein, bindevev og fett** – I gris, kylling og okse kan ulike komponenter detekteres ved bruk av denne metoden {fluorescensintensitet = f (bølgelengde)}, se Fig. 5.



Excitation spectrum for fishbone at emission 390 nm



Emission spectra for fishbone (—) and fish meat (---) at excitation at 340 nm



The penetration effect as visualized by covering bones from cod (—) and plaice (---) with meat slices of various thickness of cod and plaice, respectively

Fig. 3 – Eksitasjons- og emmisjonsspektra for bein og muskelvev i torskefilet. Penetreringsdybde i fileter er også vist (Huss et al., 1985).

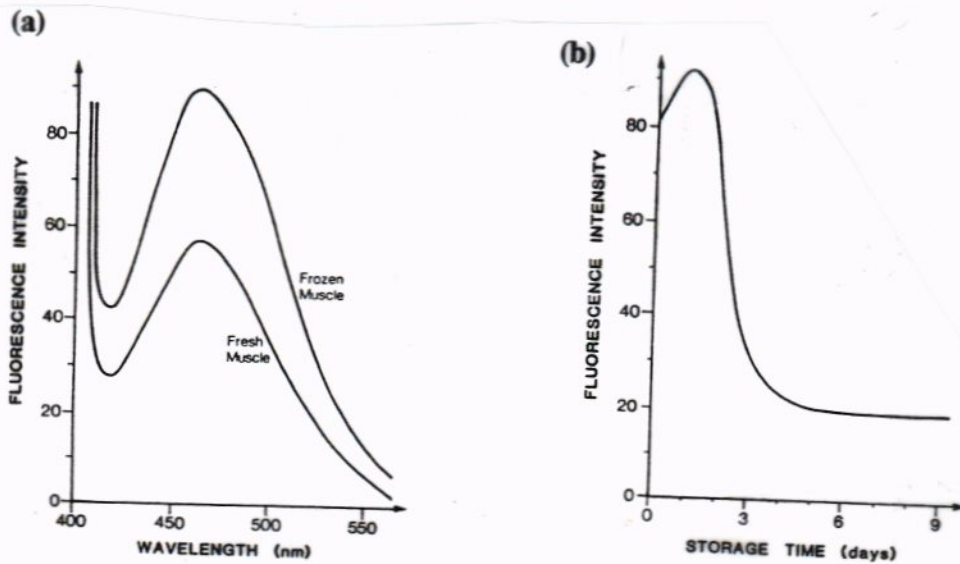


Fig. 4 – (a) Fluorescens i fersk og frossen fiskemuskel ved forskjellige emisjonsbølglengder og (b) Endring i fluorescensintensitet under islagring målt ved 366 nm eksitering/ 460 nm emisjon (Manohar, 1971).

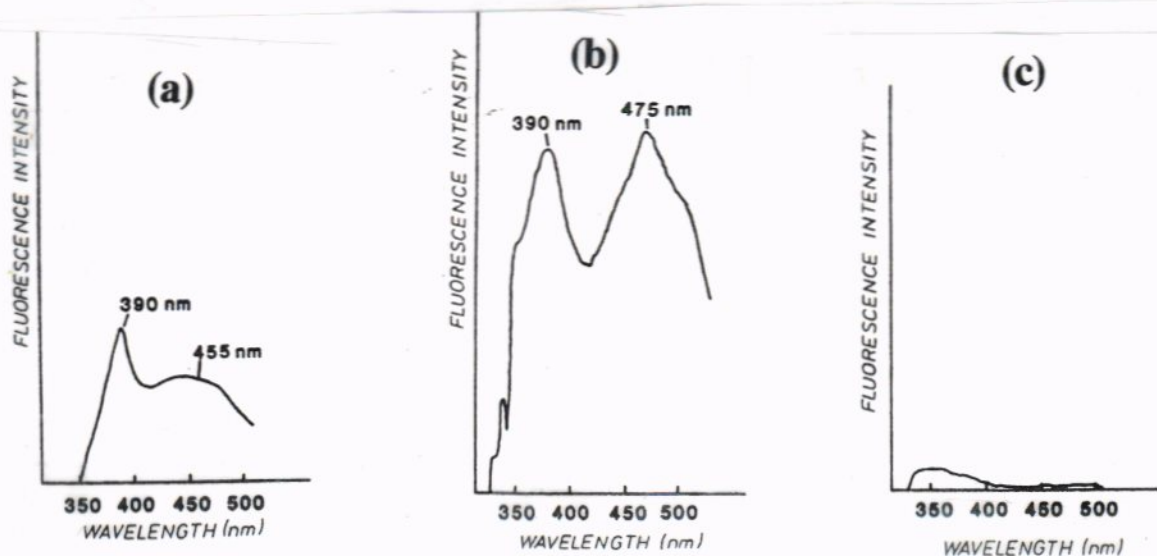


Fig. 5. – Fluorescens i bovint (a) bindevev, (b) fett og (c) kjøtt. Emisjonsspektra ved eksitering ved 340 nm (Jensen et al., 1986).

Hittil (1999) har NIR ikke kunnet måle bindevev i kjøtt, så for å kunne måle både fettinnhold og bindevev samtidig, kan fluorescensmålinger være et alternativ. Wold et al. (1999a) fant ved eksitasjonsbølgelengde 332 og 340 nm, så kan dette være mulig. Ved 300, 365 og 380 (optimum) nm ga derimot informasjon om kun bindevev. Det ble konkludert med at autofluorescens spektroskopi synes å være en lovende on-line analysemetode for bindevev i oppmalt oksekjøtt. Autofluorescens er også blitt benyttet til å bestemme intramuskulært fett (Wold et al., 1999b).

3.1.4 Fiberoptikk

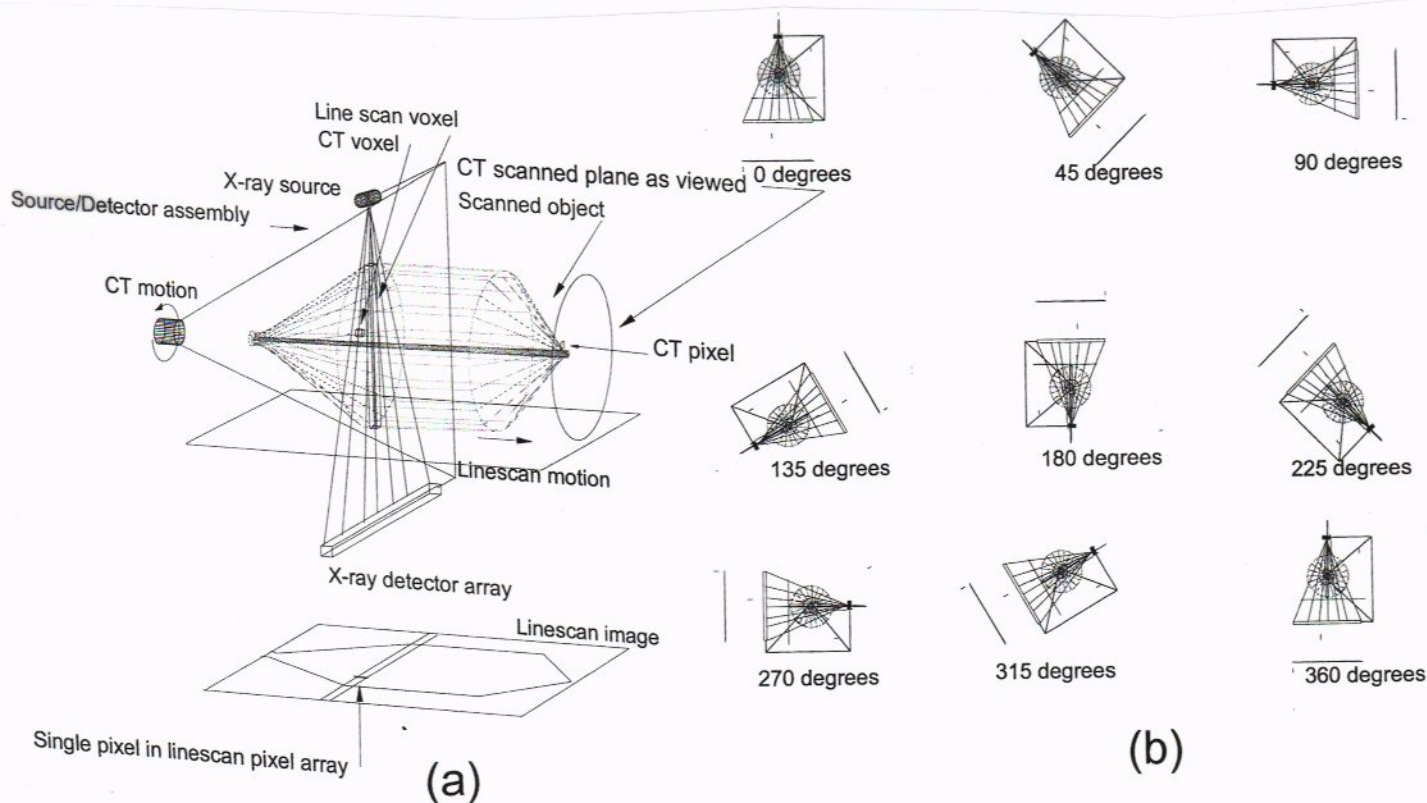
Som en følge av utviklingen av fiberoptikk, lasere etc., har dette gjort bruk av optiske metoder mer aktuelle fordi en kan unngå en del av problemene forbundet med at ulike næringsmidler har ulik form, tekstur og størrelse. En fordel med fiberoptikk er at en kan detektere lys ved meget lave intensiteter fordi en kan eliminere effekt av variasjon i størrelse og avstand mellom lyskilde og prøve. Ved bruk av fiberoptikk målte Swatland et al. (1997) farge (karotenoidinnhold) i røye (målt 1 mm ned i skinn og muskel, fersk, røyket og varmebehandlet). Spektra gir reflektans = $f(\lambda)$ i området 400-700 nm. I muskel var korrelasjonen med manuell, sensorisk skala god ($r = 0.91$) ved bruk av reflektansdata målt ved 520, 580 og 530 nm. Lyskilden var en 12 V halogenlampe (kilde for synlig lys). Sammen med et bildebehandlingssystem kan prinsippet anvendes on-line. Det var dog liten sammenheng mellom farge på skinn og i muskel, dvs. en kan ikke bruke f.eks. billedanalyse av fiskens ytre for å bestemme filetfarge.

3.1.5 Røntgen

Røntgen kan brukes som en teknikk for deteksjon av indre defekter (tverrsnitt). I næringsmiddelsammenheng er dette typisk bein(rester), fremmedelementer, "vannkjerner" og dødt vev i frukt. Automatisert røntgendeteksjon benyttes blant annet for sporing av fremmedlegemer og nivåkontroll i containere. I forbindelse med analyse og prosessering av fisk har røntgen funnet

to anvendelser, nemlig implementert i prosesslinjen for deteksjon av bein samt som et analyseverktøy for prediksjon av fettinnhold.

En skiller mellom to røntgenteknikker, nemlig **Computer Tomography (CT)** og **Line Scan (LS)**. Disse, og grunnelementene i et røntgensystem er vist i Fig. 6. For å framskaffe spektra fra røntgenstråler ($\lambda < 0,1 \text{ nm}$) trengs høy energi (5 – 120 kV). Når røntgenstråler går gjennom et materiale vil de delvis absorberes. Intensiteten svekkes i henhold til *absorpsjonskoeffisienten* $\mu(x, y)$ som avhenger av lokal sammensetning og tetthet i prøven. En datamaskin brukes til å lage tverrsnittsbilder av prøven. Med CT røntgen er det mulig å studere snitt gjennom prøven. Røntgen absorpsjonen er gitt av Beer's lov, se Boks 1. Et CT-bilde er således i realiteten et kart over μ . I matvarer kan en skille mellom μ_g (fast stoff) og μ_w (vann). For de fleste næringsmidlene vil bidraget fra vann dominere (Boks 1) mens bidraget fra fast stoff kan neglisjeres.



Three-dimensional schematic (a) of the x-ray imaging system showing two modes of operation: line scan (LS) and CT scan. In the LS mode, the object moves across stationary source-detector assembly. The LS voxel is indicated along with a corresponding LS pixel in (a). In the CT mode the source-detector assembly rotates around the stationary object as indicated in (b). Fig. (b) is an end view of Fig. (a), rotated the indicated degrees. The CT voxel is indicated, as is the corresponding pixel in (a).

Fig. 6 - To røntgenteknikker, Computer Tomography (CT) og Line Scan (LS).

Boks 1 – Absorpsjon av røntgenstråler (Tollner & Shahin, 2001).
FUNDAMENTALS OF X-RAY IMAGING

The process of x-ray absorption is described by Beer's law given as:

$$I = I_0 e^{-\mu(x,y)L} \rightarrow \mu(x,y) = \frac{\ln(I_0) - \ln(I)}{L}$$

where

I = x-ray photon intensity striking the detectors (photons/s)

I_0 = initial x-ray photon intensity (photons/s)

μ = x-ray absorption coefficient (m^{-1})

L = length of the projection transect through the test object (m)

The measurement of the x-ray absorption coefficient μ (or some parameter related to μ) is of paramount interest in x-ray applications. The image is in effect a map of μ . X-ray absorption in food products is partitioned into solids μ_s and water μ_w components, as shown below:

$$\mu = \frac{\rho_w}{\rho_{gw}} \mu_w + \frac{\rho_s}{\rho_{gs}} \mu_s$$

where

μ_w = x-ray absorption coefficient of water at the specified energy level (m^{-1})

μ_s = x-ray absorption coefficient of the solids at the specified energy level (m^{-1})

ρ_w = mass of water per unit volume of sample (kg/m^3)

ρ_s = dry bulk density of the sample (kg/m^3)

ρ_{gw} = density of water (assumed constant, kg/m^3)

ρ_{gs} = particle density of dry solids (assumed constant, kg/m^3)

- **Røntgen for deteksjon av bein og kveis**

Teknikken er godt egnet til deteksjon av bein. Det er mulig å bruke røntgen med de tidsrammer som er gitt i industriell filetproduksjon (en filet per sekund), og prisen på en deteksjonsenhet vil trolig ligge omkring 1-2 mill NOK. En enkel røntgengjennomlysning vil imidlertid ikke være optimalt med hensyn til å bestemme orientering av bein i fiskemuskelen. Simultan gjennomstråling fra flere vinkler kan gi orientering av bein uten at det går utover hastigheten, men dette vil øke prisen på deteksjonsenheten. Resultatene fra deteksjonen må analyseres og overføres til fjerneenheten for bein. Dersom utbyttet av teknikken skal bli bra, må den optimaliseres for fiskeapplikasjoner, dvs. at bølgelengde og detektor må tilpasses behovet på en optimal måte (Buljo et al., 1999).

Å anvende røntgen for deteksjon av fiskebein har vært kjent siden 1955. Moran et al. (1965) utviklet en prototype for automatisk deteksjon av fiskebein. Uavhengig av beinenes orientering, kunne akseptable signal oppnås når diameteren var større enn ca 0,08 mm.

Med tanke på beinfjerning (utskjæring) er det viktig å kjenne orienteringen til beinet i fileten slik at utbyttetapet kan minimaliseres. To eller flere synsretninger gjennom fileten vil da kreves.

CT røntgen - Ved bruk av CT er det mulig å registrere både bein og kveis og samtidig få informasjon om objektene orientering. Per i dag (2003) er teknikken tidskrevende (scanning av en filèt vil ta ca. 2 – 5 min) og kostnads-krevende (deteksjonsenhet koster ca. 4 – 9 mill. NOK). Vanlig kommersielt utstyr virker derfor per i dag uegnet for å kunne benyttes i filètindustrien på grunn av kombinasjonen av de to nevnte faktorer. Det er imidlertid potensiale i metoden til å gjøre nødvendige målinger raskere samtidig som investeringskostnadene holdes nede. CT og andre røntgenmetoder benytter røntgenstråling, og må installeres slik at ikke arbeidsmiljøet påvirkes. Dertil kommer at noen kan ha motforestillinger til å spise bestrålt mat selv om det ikke foreligger forskning som viser at dette påvirker materialet som er undersøkt (bestrålt). Fig. 7 viser i to snitt hvordan bein kan detekteres i filèt.

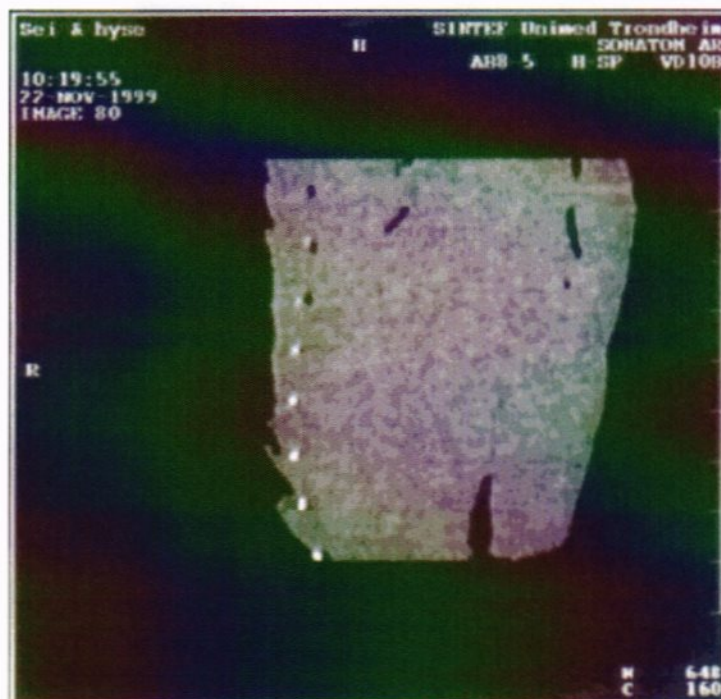
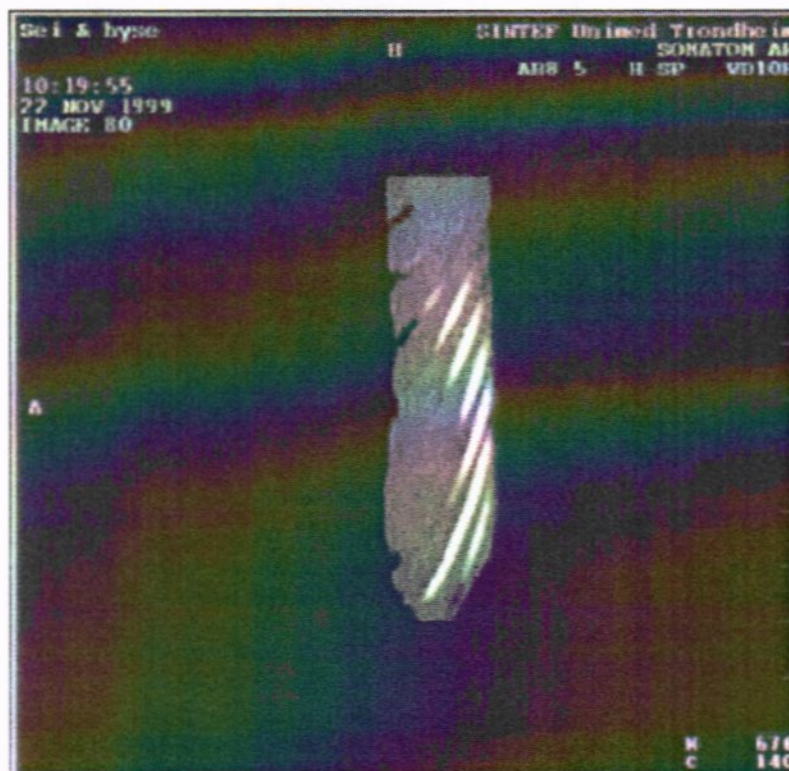


Fig. 7 - Røntgenbilde av bein i seifilet. Fileten ligger på et plant underlag og det er lagt et horisontalt snitt gjennom filèten. Hvite felter (prikker) angir bein (SINTEF Unimed).



Figur 8 - Røntgenbilde av bein i seifilet. Det er lagt et vertikalt snitt langs filetenes lengderetning. Fileten ligger på et plant underlag. Hvite striper angir bein (SINTEF Unimed).

- **Computerized Tomography (CT) for analyse av anatomi, bein, bindevev, fett og tørrstoff**

Bruk av CT gjør det mulig å framskaffe anatomisk informasjon i for eksempel fisk. Bildet er basert på røntgen ('X-ray') transmisjonsdata fra et tverrsnitt av organismen. Et stort antall røntgenpulser fyres av gjennom objektet fra forskjellige vinkler og ikke-absorberte fraksjoner av dette registreres ved et sett av detektorer. Det lages så et to-dimensjonalt pixelbasert bilde. Den tredje dimensjonen i et volumelement er tykkelsen av prøven (CT planet). CT verdiene uttrykkes som Hounsfield Units (HU) på en skala som går fra -1024 (ingen absorpsjon) til + 1023 (fullstendig absorpsjon). Dette danner grunnlaget for en gråskala som vi observerer i bildet. Metoden kan brukes for prediksjon av fettinnhold (fettfordeling), tørrvekt og i en viss grad til proteinbestemmelse i blant annet fisk. En må da først kalibrere mot kjemiske analyser av samme materiale. Ved regresjonsanalyse/multivariat analyse kan en så oppnå gode modeller for bestemmelse av de aktuelle komponentene.

Metoden, som er ikke-destruktiv, er anvendt med godt resultat på laks av Rye (1991) hvor gode korrelasjoner ble funnet mellom kjemisk analyse av fett og tørrstoff, men dog ikke for protein. Noen sentrale data fra analysen nevnes her: Tre vertikale tverrsnitt i fisken (sløyd vekt $5,4 \pm 1,9$ kg; fettinnhold 16,0 %) ble analysert. Disse var nakkeregion, foran ryggfinner og foran fettfinner. Snitt-tykkelsen var 4 mm. Med 512 detektorer ble det totalt registrert 184 320 transmisjoner per scan (5 sek). Kun ett scan viste seg å være tilstrekkelig. Omlag 25 fisk kunne analyseres per time

som krever en bemanning på to personer. Ved å scanne i kun én posisjon vil analysertiden kunne reduseres.

Hittil må dog denne metodikken ansees som et forskningsverktøy, spesielt på grunn av høye investeringskostnader. Bruk av røntgen er ofte ansett som et kontroversielt tema siden denne type stråling representerer et sikkerhets/helse-risiko for personer som arbeider nær slikt utstyr anvendes.

Groeneveld et al. (1984) sammenliknet bruk av CT og MRI. Begge metodene kan ikke-destruktivt måle kroppssammensetningen (muskel, fett, ben og bindevev) til levende dyr. MRI kan i større grad differensiere mellom ulike typer bløte vev.

En regner med at bruken av LS- og CT-røntgen vil øke i årene som kommer. Anvendt sammen med ulike klassifikatorer (Bayes, Fuzzy Logic eller Nevrale nett) ser en for seg at kvalitetskontroll/sortering av f.eks. frukt og grønnsaker vil bli alt mer vanlig. Metoden kan også med fordel benyttes sammen med optiske målemetoder som NIR for *utvendig* kvalitetskontroll (Tollner & Shalin, 2001).

3.2 Mikrobølger

Metoden (j.fr. mikrobølgeovn) er basert på materialets *dielektriske egenskaper* som beskriver hvordan for eksempel et næringsmiddel påvirkes av mikrobølgefelter. Mikrobølgestråling (elektromagnetisk stråling) er en energiform som kan passere både luft og ulike materialer. Et gitt materiales *dielektrisitetetskonstant (permittivitet; ϵ)* beskriver dets evne til å absorbere, transmittere eller reflektere energi (som mellom fasegrensen luft/næringsmiddel) fra den elektriske delen av mikrobølgefeltet. Mikrobølger som transmitteres inn i bulk materialet kan bli absorbert for så å bli omdannet til varme. Merk at $\epsilon = f$ (*frekvens, temperatur, tetthet, vanninnhold, saltinnhold og fasetilstand*).

Som kjent brukes mikrobølgeteknikk til oppvarming og tining av matvarer. Som analysemetode kan mikrobølger anvendes til (Engelder og Buffler, 1991):

- (i) Måling av vanninnhold (% vann i en matvare). Teknikken er ikke-destruktiv og meget rask slik at den egner seg godt for *on-line* prosesskontroll og kvalitetssikring
- (ii) Vannaktivitet. Vannets dielektriske egenskaper varierer med dets mobilitet. Resultatet uttrykker andel mobilt (fritt) vann som er tilgjengelig for eventuell vekst av mikroorganismer
- (iii) Pakking av matvarer. Utvikling og design av egnede pakkematerialer/emballasje for bruk i mikrobølgeovner
- (iv) Standardfrekvens for mikrobølgeovner til hjemmebruk er 2450 MHz. For større ovner til industrielt bruk kan en tenke seg å finne en annen frekvens for optimalisering av kostnadseffektivitet, prosesseringstid og produktkvalitet.

Kent (1990) og Kent et al. (1992) gjorde bruk av pkt (i) ovenfor for design av et portabelt instrument for ikke-destruktiv måling av fett i fisk (Torry Meat Fatmeter Model 1092). Basert på kjent korrelasjon mellom vann og fett i muskel, kan fettinnholdet bestemmes indirekte. Instrumentet kan lagre data slik at et rask kan måle fettinnhold i en batch med fisk. Mikrobølgefrequensen som anvendes er 2,0 GHz \pm 20 MHz. og måleområdet for fett er 0-51 %.

3.3 Elektrokjemiske måleteknikker

3.3.1 pH i fiskemuskel

Initiell pH i hvit muskel (ved død) gir et mål for fiskens aktivitetsnivå (håndteringsstress) under prosessering. Dessuten vil dette – i alle fall tildels - være et indirekte mål på om fisken håndteres på en etisk forsvarlig måte. Vi foreslår følgende retningslinjer:

pH 7,4 ± 0,1: Fisk i hviletilstand (ustresset), f.eks. som i fisk som svømmer rolig rundt i oppdrettsmerd

pH 7,1 ± 0,1: Noe stresset fisk

pH 6,8 ± 0,1: Fullstendig utmattet fisk som har brukt opp alle raskt tilgjengelige energireserver i hvit muskel. Lav pH p.g.a. dannelse av melkesyre (laktat). Dette er laveste muskel-pH som er mulig så lenge fisken er i live (fullstendig utmattet fisk)

pH 6,3 ± 0,1: Slutt-pH i laksefisk. pH synker til dette nivået typisk etter flere timer (opptil ett døgn) på is. Dette nivået holdes mer eller mindre konstant i minst en uke ved islagring

3.3.2 Oksygenelektoden

En tradisjonell Clark type oksygenelektrode anvendes i dag rutinemessing for oksygenering av transportvann under brønnbåttransport og i forbindelse med RSW-levendekjøling av laksefisk. I begge tilfeller overvåkes nivået av løst oksygen i vannet. Oksygennivået bør ligge mellom 70 – 100 % metning i begge tilfeller. Når nivået blir for lavt, åpnes for tilsats av oksygen gass automatisk. Kraftig oksygenovermetning (>200 % metning) over tid (få timer) bør unngås da dette fører til abnorm atferd og i ekstreme tilfeller, 'bløt muskel' (Erikson, 2001b).

3.3.3 AC-impedans

Impedans i fisk er en funksjon av konduktans ($1/R$), kapasitans (j.fr. kondensator) og påtrykt frekvens. Etter død vil biologiske membraner gradvis degraderes slik at det kapasitive bidraget til impedansen vil avta. Autolytiske endringer, og etter hvert mikrobiell aktivitet, fører til at ledningsevnen i biologiske vev gradvis øker. Således ser vi at alle prosesser (f.eks. temperaturøkning) som fører til raskere nedbrytning (dannelse av små, elektrisk ladede molekyler) vil i prinsippet kunne detekteres ut fra AC-impedansmålinger. Metoden kan i hovedsak være egnet i forbindelse med bestemmelse av ferskhet, noe som ligger utenfor målområdet for dette prosjektet. Dog må nevnes at store endringer i kapasitivt bidrag like etter død – påvirket av håndteringsstress under slaktning – kan en ved videreutvikling benytte metoden til enten (1) å måle og dokumentere at fisken ble slaktet uten at fisken ble utsatt for håndteringsstress av betydning (j.fr. *etisk slaktning*), eller (2) måle fiskens rigortilstand (fisk i rigor bør ikke fileteres) (Erikson, 1997).

3.4 Billedanalyse

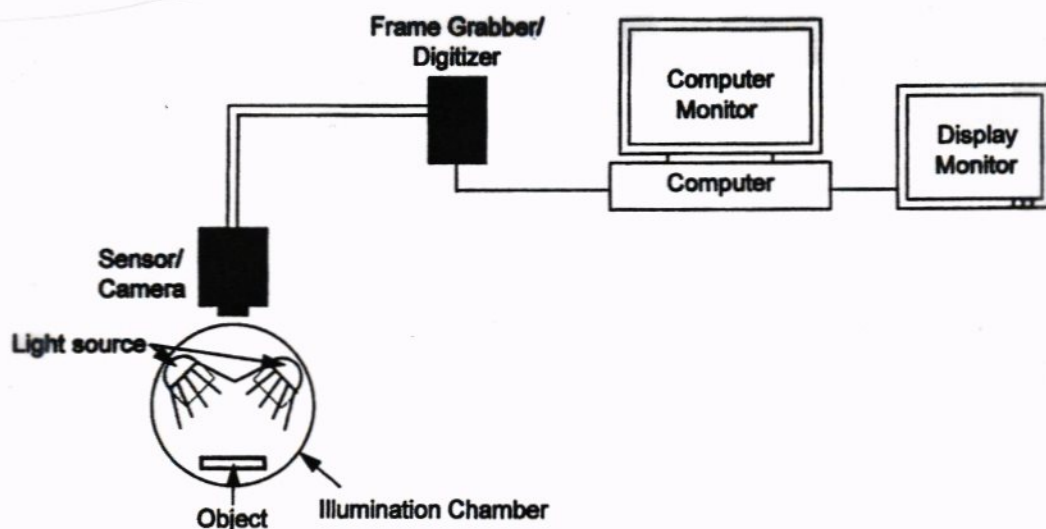
Maskinsyn (*computer vision; Video Imaging Analysis*) er et relativt nytt fagfelt der de første artiklene ble publisert rundt midten av sekstitallet. Eksempelvis har maskinsyn blitt brukt i forbindelse med analyse av røntgen- og mikroskopibilder innen medisinsk diagnostikk. For industriell kvalitetskontroll og sortering kan maskinsyn deles inn i tre faser:

- (a) Måling, bildeopptak
- (b) Bildeprosessering
- (c) Bildeforståelse (tolkning)

Ulike (potensielle) anvendelser av maskinsyn i forbindelse med framtidens fiskeforedlingsbedrift beskrives her. Av aktuelle områder kan nevnes: kutting av porsjonsstykker, størrelsesgradering (omriss, lengde og kondisjonsfaktor) som også kan brukes til prosessering av ensartet fisk, kvalitetssortering (farge, blodflekker, eventuelle kuttesar, størrelse). Informasjonen kan anvendes videre blant annet for *intelligent batching*. Teknologien har blitt anvendt med suksess i rekeindustrien for verifisering av skallede reker. Utstyret bruker laser scanning eller maskinsyn. Ufullstendig skallede reker sorteres ut ved en trykkluftstråle (Gunnlaugsson, 1997).

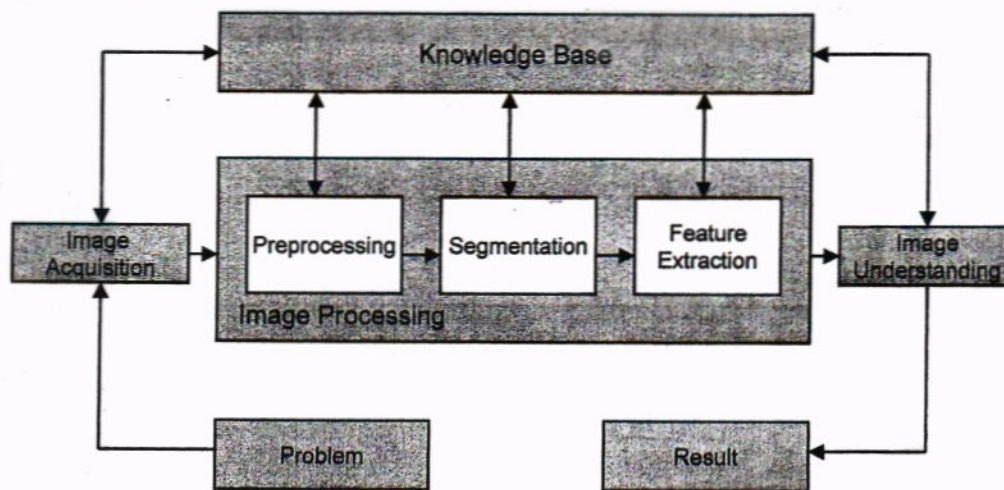
3.4.1 Maskinsyn – 'Video Image Analysis (VIA)' – 'Computer Imaging'

Maskinsyn blir stadig mer utbredt i næringsmiddelindustrien fordi systemene er robuste og forholdsvis billige i anskaffelse. En ny verden av automatiseringsmuligheter har blitt mulig å gjennomføre i tillegg til at elementer som sikkerhet og pålitelighet også har blitt brakt inn. Maskinsyn har flere fordeler sammenliknet med menneskesyn (operatører) fordi maskinsyn kan 'arbeide' i lange perioder der en oppnår objektive og konsistente resultater. Dessuten har mennesket begrensinger med hensyn til sitt syn - øyet vårt 'oppfatter' 380-700 nm og kan skille mindre enn 100 nyanser av grått. Selv om maskinsyn gjerne brukes sammen med kunstig intelligens (f.eks. nevrale nettverk), så har mennesket likevel den fordel at vårt syn er koplet til vår intelligens og beslutningsevne. Maskinsyn (*machine vision, computer vision* eller *computer imaging*) består av enkelte enheter som vist i Fig. 9 og gangen i bildeprosesseringen er vist i Fig. 10.



Schematic of a typical computer vision system.

Fig. 9 – Typiske enheter i et maskinsynsystem. Hovedfunksjonen til en "frame grabber" (digitizer) er å fange et bilde fra kameraet slik at det blir tilgjengelig for datamaskinen (analogt videosignal → sampling → digitalt bilde lagret i pixelform) (Panigrahi & Gunasekaran, 2001).



Basic steps in digital image processing.

Fig. 10 – Grunnleggende trinn i prosessering av digitale bilder (Panigrahi & Gunasekaran, 2001).

Kameraet er sensoren i et VIA-system. "Charged Coupled Device" (CCD) kameraer er blitt brukt i de aller fleste systemene for bildebehandling i løpet av de siste 25 år. Sort-hvitt kameraer er godt nok i næringsmiddelsammenheng dersom en ønsker å måle på andre parametere enn farge. Oppløsning er 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096 eller 8196 pixler per linje. Kamerabasert visuell inspeksjon er et felt som er i rask ekspansjon. Smarte kameraer med integrert datateknikk kan karakterisere gjenstander med en hurtighet som overgår det som kreves i en produksjonslinje. Gode kameraer kan måle ned til en tiendedels pixel med garantert pålitelighet. Eksempelvis kan nevnes utstyr for sanntid maskinsyn fra produsenten DVT: inspeksjon av opptil 9 000 deler per minutt; oppløsning 640 x 480 pixler med CCD og gråskala i 256 nivåer (modell "Legend 540"). Spesialkamera som kan skille ekstremt små fargenyanser finnes også (Spectral Camera). VIA benytter hovedsakelig den synlige del av spekteret. Den ikke-synlige delen av det elektromagnetiske spekteret har imidlertid også et potensial for anvendelse (røntgen, UV, NIR og IR) etterhvert som halvlederbasert detektorteknologi blir mulig til en lav pris.

Eksempler på anvendelse

Billedanalyse med informasjon fra et videokamera kan benyttes for kvantitativ analyse av fettinnhold i kjøtt fra husdyr. Metoden stemmer godt overens med visuell bedømmelse og med kjemisk analyse ($r = 0,96$). Siden metoden er svært rask og har god reproducerbarhet muliggjør dette analyse av et stort antall prøver som gir et godt statistisk grunnlag (Newman, 1984).

Tayama et al. (1982) viste at forskjellige fiskearter kunne skilles fra hverandre ved bruk av maskinsyn. For å kunne sortere marin fisk etter art, utviklet Strachan (1993) algoritmer for å generere deskriptorer for form og farge. Deskriptorene var funksjonelle selv om fisken ble tatt bilde av i bøyd eller deformert tilstand. Atten bunnfiskarter og fem pelagiske arter kunne sorteres

fra hverandre med 98-100 % pålitelighet. Som lyssetting ble brukt kvarts halogenlampe (300 W med fargetemperatur 2854 K) plassert i en lysboks malt matt hvit på innsiden. For å redusere lysrefleksjon fra skinn og øyne ble det benyttet diffust lys. Et Sony DXC 325PK videokamera ble benyttet. Bildene ble tatt ved lyssetting bakfra (silhuett) og forfra (farge). Fargene (rød, grønn og blå) ble digitalisert (8 bits per farge) i en 'frame grabber'. Fargekalibrering ble foretatt daglig mot et Macbeth fargekart. For grovsortering av fisk ble det benyttet to omrissdeskriptorer basert på bredde/lengde-forholdet og arealforholdene fremre halvdel/ bakre halvdel.

Jia et al. (1996) utviklet bildealgoritmer for automatisert prosessering av 'channel catfish' (*Ictalurus punctatus*): (1) deteksjon av orientering av fisken, (2) identifisere hode og de ulike finnene, (3) bestemme kuttelinjer for hodekapping, finkutt og for fjerning av finner

So og Wheaton (1996) brukte maskinsyn i forbindelse med automatisk åpning av østers.

Maskinsyn (CCD Color Video Camera, Sony SSC-S20, 24 bit farge, 480 x 640 pixler der 1 pixel = 0,205 mm²) ble brukt i en lysboks (fluorescerende lys i topp og bunn, 2x15W) for telling av reker og bestemmelse av vekt, ensartethet, farge inklusive *melanose* (dannelse av mørke flekker). Sistnevnte parameter ble korrelert med gradering utført av trenet inspektør ($r = 0,82$). Systemet var i stand til å kvalitetskontrollere hvite reker reproduserbart, objektivt og hurtig (Luzuriaga et al., 1997).

Li et al. (1999) benyttet bildebehandling for å karakterisere biffkjøtt med hensyn til farge, fettmarmorering (basert på bildeareal) og teksturegenskaper (fra romlig fordeling av pixelverdier). Ved bruk av statistikk og neurale nettverk kunne en etablere en korrelasjon (opptil $r = 0,84$) til kjøttets mørhet. Bildeopptak: CCD kamera (Sony XC-711, lysboks, hvitt fluorescerende lys). Tilsvarende fant Gerrard et al. (1996) god korrelasjon for farge (0,93) og fettmarmorering ($r = 0,92$). Oppløsningen i fargebildene var 512 x 483 pixler, tilsvarende 0,134 mm² kjøtt per pixel. Ved å kombinere 'marbling score' (fettmarmorering), bildebehandling, neurale nettverk og multippel regresjonsanalyse, viste Shiranita et al. (2000) at det var mulig å automatisere manuell gradering av kjøttkvalitet. Med tanke på et kostnadseffektivt system ble det funnet at gradering på basis av 4-bits monokromatiske bilder (340 x 212 pixler) var tilfredsstillende for nøyaktig gradering.

For automatisert sortering (*art og størrelse*) av ferskvannsfisk fra en polykultur, utviklet Zion et al. (1999) en bildebehandlingsalgoritme. Algoritmen – 'moment-invariants (MI)' kombinert med geometriske betraktninger - kan sortere tre ulike arter fra hverandre basert på data fra et JVC CCD (colour video camera) plassert i en lysboks. Bildestørrelse var 768 x 576 pixler der hver pixel representerte et areal på ca 1 mm². Meget god korrelasjon ($r = 0,95-0,99$) ble oppnådd mellom bildeareal og fiskevekt.

Marty-Mahe et al. (2004) studerte automatiserte *fargemålinger* (L^*, a^*, b^*) i ørretkoteletter. Ørreten (to grupper) var føret med to fôrtyper (16 og 26 % fett). *Synlig fett* (myocommata/myosepta) ble også målt ved bildebehandling og ble deretter korrelert mot Soxhlet metoden ($r = 0,72$) og MRI ($r = 0,72$). Kamera tri-CCD DXC 930P Sony. Pixelstørrelse i bildene: 0,3 x 0,4 mm. Fargen ble kalibrert mot CIE LAB. L^* blir høyere (lysere) når fisken har gått på fôr med høyt fettinnhold (fett lagres i myosepta, dvs relativt areal større hos feitere fisk, j.fr. 'fettstriper').

Borderias et al. (1999) oppnådde ikke like god korrelasjon ($r = 0,41$) i sitt arbeide hvor VIA ble brukt for å måle *fettinnhold* (4-16 %) i laksefilet. Dog var det signifikant sammenheng mellom prosentandel 'hvite striper' (bindevev + fett) og fett bestemt med Bligh & Dyer sin metode.

Forfatterne konkluderte med at ved videreutvikling av metoden kan den anvendes for on-line kvalitetskontroll av laks (i det minste for grovsortering i ulike fettklasser). Det ble benyttet et B&W CCD Hitachi KP-161 kamera, HD (768 x 512 pixler). Med hensyn til lyssetting, ble det funnet at UV lys (2 x 6 W) i mørke var gunstig for å framheve de hvite stripene.

I Baader 988, en maskin for utskjæring av tykkfiskbein, trimming og porsjonskutting, passerer filetene et kamera som overfører bilder til en datamaskin. Her bestemmes volum/vekt og posisjonen til pinnebeinrekken (areal). Data sendes så til kutteenheten. Ulik oppdeling i porsjonsstykker kan velges. Kapasitet:en er 72 fileter/min og maskinen krever tilsyn av to operatører.

3.4.2 Magnetic Resonance Imaging (MRI)

NMR målinger kan benyttes til å påvise bein og kveis i fiskefilet (Fig. 11). Blodflekker kan muligens detekteres, mens svarthinner neppe vil bli observert. Objektets orientering vil være bestemt. Metoden er dog ikke hurtig nok til å tilfredsstille industrielle krav (måling på en hel filèt vil vare flere minutter). Tilpasning av teknologien kan gjøre den raskere og billigere, men neppe så god som røntgenbaserte metoder (Buljo et al., 1999)

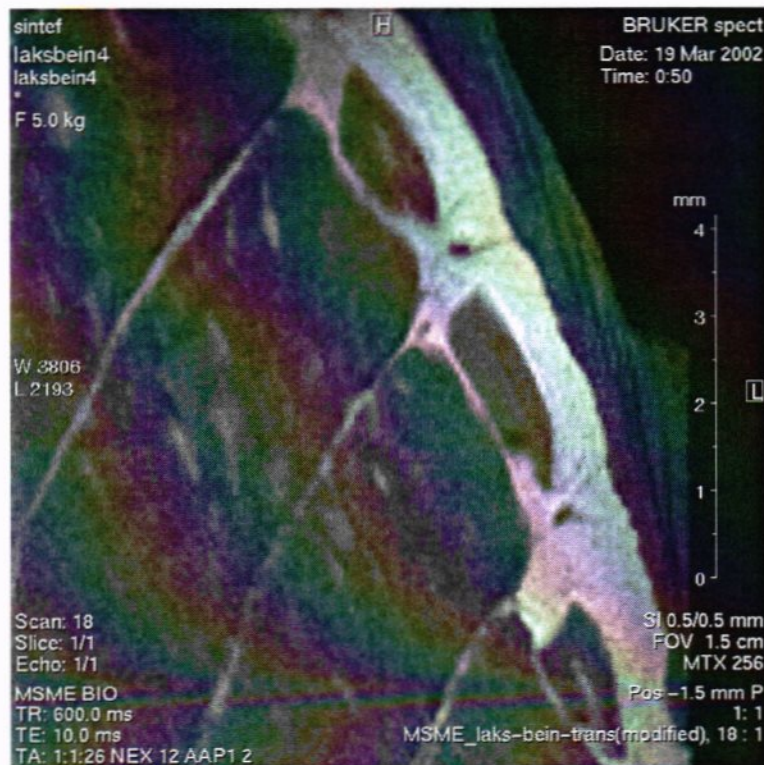


Fig. 11 - Pinnebein i tverrsnitt av post-rigor laksemuskel. Bildene er laget ved bruk av billeddannede kjernemagnetisk resonans (MRI). Posisjon til tre pinnebein (smale lyse striper) mot skinnside. Fettlag under skinn er lyst. (SINTEF Fiskeri og havbruk, 2002)

On-line NMR og MRI

I næringsmiddelsammenheng har MRI blitt brukt i forbindelse med studier av indre strukturer. 'Mapping' av vann og fettfordeling i vev er en standardteknikk. Relaksasjonstidene T_1 og T_2 kan relateres til molekylmobilitet, noe som også kan visualiseres ved 'mapping'. Dette kan være spesielt interessant for inhomogene systemer som en fiskemuskel. Anvendelsene hittil for næringsmidler kan grupperes slik (Ruan og Chen, 2001):

- **Indre strukturegenskaper** (2D og 3D bilder av f.eks. indre organer i fisk)
- **Modningsprosess og vevsskader** i frukt og grønnsaker
- **Vann- og fettfordeling** (sensoriske og mikrobielle problemstillinger). En kan her også skille fett og vann som finnes i samme område. Det kan gjøres ved å ta, for eksempel, utgangspunkt i de ulike resonansfrekvensene for fett og vann [*Chemical Shift Selective imaging (CHESS)*]. På denne måten kan vi få et 'vannbilde' og et 'fettbilde' av samme tverrsnitt i prøven.
- **Vannfaser og holdbarhet**. Bestemmelse av mengde fritt (mobilt) vann tilgjengelig for ulike kjemiske reaksjoner. Slike studier kan bl.a. være aktuelle ved saltings- og tørkeprosesser. For tolking av NMR relaksasjonsdata - for identifisering av ulike vannfaser - har det vist seg at det kan være av betydning hvilken modell en velger å bruke for prosesseringen av data. Følgende diskrete og kontinuum modeller for analyser av relaksasjonstider kan brukes; (1) '*Mono-exponential decay*'; (2) '*Multiexponential decay*'; (3) '*Continuum model*' (*CONTIN*).
- **Glassomvandlingstemperatur og MRI 'mapping' av denne**. Brukes i næringsmiddel-sammenheng i forbindelse med forskning på polymere og matvarer (modellsystem).

Siden NMR er basert på måling i tre dimensjoner samtidig som målemetoden er ikke-destruktiv, er metoden som sådan interessant i næringsmiddelsammenheng. Både overvåking av fordeling av fett, vann og salt (NaCl) i matvarer (fisk) er mulig. Dette kan også gjøres kvantitativt.

I hovedsak har MRI hittil blitt benyttet innen medisinsk diagnostikk og innen forskning innen i ulike felter. Dette har å gjøre med utstyrets beskaffenhet og høye investeringskostnader. Dessuten vil den relativt lange opptakstiden (typisk flere minutter) være en begrensning for mange typer *on-line* målinger. Imidlertid har metoden flere fordeler sammenliknet med andre metoder i det målingene kan gjøres uten direkte kontakt med prøven. Skloss et al. (2000) foreslo å benytte MRI til *on-line* inspeksjon av væske i kartonger. Metoden baserer seg på en korrelasjon mellom NMR spinn-spinn relaksasjonstid (T_2) og pH i et væskeformig naturkostprodukt under potensiell bakteriell bederving. Signalintensiteten 'Free Induction Decay' (FID) økte betydelig når væskens pH begynte å avta som en følge av bakteriell aktivitet (bakterietall $>1 \times 10^4$). Videre er det funnet at ulike mikroorganismer gir forskjellig bedervingsmønster noe som kan detekteres ved bruk av denne type MRI. Magnetens prøverom var elliptisk 69 x 56 cm og en benyttet et samlebånd av naturlig nok, et ikke-magnetisk materiale. Videre må rf-coilene være store nok for å omgi de aktuelle pakkene på samlebåndet. En CPMG pulssekvens ble benyttet. Hver analyse ble foretatt på mindre enn ett sekund. Inklusive posisjonering kunne en analysere 10 esker i minuttet. Dersom T_2 målingen faller utenfor et forutbestemt nivå, blir kartongene klassifisert som bedervet og blir følgelig forkastet. Således ble MRI her benyttet som 'spoilage detector'. Schenz et al. (1999) har kommersialisert et *on-line* MRI-basert deteksjon- og inspeksjonssystem for automatisert bakteriekontroll. Inspeksjon av ferdig pakke de matvarer (aseptisk prosessering) kan gjøres raskt

og ikke-destruktivt, uten direkte kontakt med pakken. Systemet baserer seg på at bakteriell aktivitet i et næringsmiddel endrer pH og relaksasjonstid (T_2). Ut fra MR bildene kan en også identifisere ulike bakterietyper fordi ulike typer organismer viser forskjellige degraderingsmønstre i samme matriks.

Hall et al. (2001) foreslår å bruke MRI på tre ulike områder i prosessammenheng. Disse er: (a) temperatur 'mapping' i forbindelse med oppvarming, kjøling og tining. Dette baserer seg på at MRI temperaturfordelingsbilder kan lages på bakgrunn av måling av relaksasjonstider, (b) kvantifisering av væskestrøm i komplekse geometrier som i porøse media og i ekstrudere og (c) fast fase/væske separasjon (f.eks. studier av ulike filtertyper).

Erikson et al. (2004) viste at LF NMR og både natrium og proton NMR og MRI kunne brukes for å studere og optimalisere saltfiskproduksjonen fra fersk og frosset/tinet råvare (torsk). Videre ble det vist at NMR kan tildels erstatte noen av de mer arbeidskrevende (tradisjonelle) fysikalsk-kjemiske analyseteknikkene.

3.5 Akustiske metoder

Ultralyd er mekaniske vibrasjoner som lyd men de opererer ved høyere frekvenser enn vår hørsel (> 20 kHz). En ultralydbølge som passerer et materiale kan uttrykkes ved dens hastighet og dens svekking. Generelt for å kunne detektere 'noe' med akustiske bølger, må objektets størrelse være minst tre ganger bølgelengden. Videre gjelder: desto kortere bølgelengde, desto større blir svekkingen av signalet og desto kortere blir inntrengningsdybden (Hafsteinsson & Rizvi, 1987). Vi har to typer av akustiske bølger (mekaniske, elastiske), de kan være *longitudinale bølger* (i motsetning til lysbølger som er transversale) som endres med de mekaniske egenskapene til mediet bølgene passerer. Ved fasegrenser der det er signifikante forskjeller i fysikalske egenskaper som tetthet, elastisitet og viskoelastisitet, blir lydbølgene reflektert, avbøyd og spredt. På denne måten kan vi få informasjon om et materiales fysikalske egenskaper, sammensetning og struktur. Denne type bølger er for næringsmidler mest brukt i forbindelse med ikke-destruktive målinger. Den andre typen ultralydbølger, *skjærbølger*, passerer gjennom materialet ved skjærvirkning og forårsaker deformasjoner normalt på bølgefrontens bevegelsesretning. Kombinasjoner av de to bølgetypene er også mulig å anvende. Skjærbølger er lite anvendt for studier av næringsmidler. Videre er det viktig å skille mellom *low-powered ultrasound* (ikke-destruktive målinger) og *high-powered ultrasound* (homogenering, sveising, celledestruksjon, etc.). I praksis er det gassfylte rom i et materiale som begrenser bruken av ultralyd mest. Typisk kan dette være i f.eks. frukt, ost og deig. På den annen side er målingene raske og enkle å utføre, de har god presisjon og kan lett automatiseres for bruk i on-line sammenheng.

Felles for bruk på næringsmidler, har et *ultralydoppsett* følgende komponenter:

- en elektrisk signalgenerator som brukes til å generere vibrasjoner i en ultralyd signalomformer (transduktor)
- signalomformer for å omdanne det akustiske signalet tilbake til et elektrisk signal som så digitaliseres for analyse

Typiske frekvenser for måling i matvarer ligger rundt 10^6 (s^{-1}) med en bølgelengde rundt 1 mm. For nøyaktige ultralydmålinger er god temperaturkontroll viktig ($\pm 0,1^\circ C$). I medisinsk sammenheng er det utviklet en '*in vivo ultralyd imaging*'-teknikk som benyttes for fosterstudier

under svangerskapet. Denne metoden kan være anvendelig for muskelbaserte næringsmidler. Ved å benytte meget høyfrekvent ultralyd, er det mulig å oppnå en oppløsning som nærmer seg optisk mikroskopi (*acoustic microscopy*). Denne metoden er anvendt med godt resultat for deteksjon av kveis og bein i torskefilet (Hafsteinsson & Rizvi, 1987).

I første halvdel av 1990 tallet rapporterte forskningsinstituttet CRIQ i Canada en kommersiell løsning for deteksjon av kveis basert på bruk av ultralyd. Kommersielt har ultralyd siden blitt brukt i flere år for bestemmelse av fettinnhold både i levende husdyr og i slakt. Reflektert signal fra fasegrensen underhudsfett/muskel detekteres. Tykkelsen av fettlaget korrelerer i sin tur med totalt fettinnhold og andre egenskaper hos kjøttet (se Coupland og McClements, 2001). Fettmarmorering i levende storfe kan også bestemmes på 2 - 3 sek ved å kombinerte ultralyd, bildehandling og nevrale nettverk (Brethour, 1994). Ved bruk av *elastografi* kan en lage bilder hvor en kan skille muskel og bindevev (i okse). Videre kan elastisitetsmodulus også bestemmes (se Coupland og McClements, 2001). Muskelvev kan betraktes som en kombinasjon av en proteinløsning og fett. Lydhastigheten ligger vanligvis et sted mellom verdiene for vann og olje (1400 – 1500 m/s). I torskefilet varierer ultralydhastigheten mellom 1575 og 1595 m/s med linearitet med økende vanninnhold. Følgelig kan vanninnholdet (trolig også protein innholdet) i fileten bestemmes (3 - 7 MHz). Imidlertid ble det skjært ut sylindriske filetprøver (25 g) som ble plassert i målecellen. Denne ble så forseglet i en vanntett container som så ble plassert i et termostatert vannbad. Målingene ble foretatt etter temperaturutjevning (>15 min). Dersom metoden videreutvikles ble den ansett for å ha on-line potensiale (Ghaedian et al., 1997). Freese og Makow (1968) gjorde en del grunnleggende studier av bruk av ultralyd i vev hos ferskvannsfisken 'whitefish' (*Coregonus clupeaformis*). En liknende målecelle som nevnt ovenfor ble benyttet. Lydhastighet og impedans i muskel, skjell, bein og skinn ble kartlagt. Videre ble absorpsjonskoeffisienten målt. Absorpsjonsmålingene ved 6,9 MHz resulterte i avtakende verdier fra 4,2 til 3,6 dB/cm når fettinnholdet i muskelen økte fra 7,5 til 11,5 %. Ut fra absorpsjonsfrekvensmålinger i muskel (1-10 MHz) fant en at effekt av ulike frysemetoder tydelig kunne identifiseres. Metoden kan således i prinsipp tenkes å kunne anvendes i forbindelse med kvalitetskontroll.

Bruk av ultralyd krever fysisk kontakt mellom detektor og måleobjekt (eventuelt at objektet er nedsenket i væske), og dette kan være en ulempe med tanke på prosesshastighet og hygiene i filètlinja (Buljo et al., 1999). Basert på ultralydundersøkelser er det mulig å framstille videobilder som så kan digitaliseres for videre prosessering. Innen medisinsk sektor benyttes 2D- og 3D-bilder i forbindelse med hjernekirurgi. Utstyret kombinerer ultralyd, navigasjonsutstyr og datateknologi. Per i dag tar ett 3D-opptak 30-40 sek (TU, 2002). Ultralyd kan også benyttes til å kontrollere koaguleringen under osteoproduksjon ved å dra nytte av at lydhastigheten øker med økende tetthet i medier. På denne måte kan en bestemme når prosessen i ost skal avsluttes for å få best mulig kvalitet (TU, 2001a). Ultralyd er også blitt testet i forbindelse med salting av kjøtt. 'Massering' med salt under vakuumbeskyttelse (30min) og ultralyd (22 kHz, 10 min) ble sammenliknet. Ut fra mikroskopistudier av kjøttets mikrostruktur, viste det seg at ultralydbehandlingen førte til brudd i myofibrillene og til nedbrytning av andre strukturelementer i cellene. Dessuten økte proteolytisk aktivitet i vevene. Vakuumbehandlingen viste seg å være mer skånsom (Dolatowski, 1988).

Respons fra *lav-frekvens* vibrasjoner (1-200 Hz) kan benyttes til å måle stivhet i fisk. Når slike data benyttes som 'input' til neurale nettverk, kan metoden benyttes for (automatisk) klassifisering av laks med hensyn på grad av rigor mortis (Berg et al., 1997). Dette kan være en aktuell problemstilling ved pre-rigor prosessering av fisk.

3.6 Elektronisk nese

Molekyler som relateres til vår persepsjon av lukt er små (MW 20-300 Dalton), polare og kan detekteres av mennesker i svært lave konsentrasjonsområder (< 1 ppb). Et instrument som etteraper den menneskelige nesen, kan skille mellom ulike dufter basert på måling av kreftene mellom atomene i spissen av en mikronål og i overflaten av det materialet (fisk) som skal studeres når nålen føres nesten helt inntil denne overflaten. En måler så bøyningen av bjelken den sitter på. Bjelken har typisk størrelse 500 µm x 100 µm med tykkelse 1-10 µm avhenging av bruksmåte. Bjelkene etses ut av silisium og belegges med gull eller titan. Ved bruke ulike belegg (polymerer) på mange bjelker kan en kunstig nese lages som er følsom for spesifikke molekyler. Når de gitte molekylene adsorberes på materialets overflate skapes en bøyeeffekt. Graden av bøyning registreres så ut ifra hvordan en laser reflekterer fra de ulike bjelkene. Teknologien kan anvendes på væsker og gasser. I dag er metoden primært egnet som et forskningsverktøy, men i framtiden kan metoden bli billig slik at en kan lage biosensorer basert på dette prinsippet. Metoden kan også brukes til å måle endringer i masse og termiske egenskaper (Teknisk Ukeblad, 2001b).

Et system kan trenes opp til å kjenne igjen spesielle lukter ved bruk av en mønstergjenkjennende algoritme som for eksempel 'Artificial Neural Network (ANN)'. Nordic Sensor Technologies (NST) lager instrumenter for bruk på laboratorier.

3.7 Andre teknikker

SQUID - Superconducting Quantum Interference Device - er en meget følsom detektor for måling av magnetisk strøm. Ved induksjon av svake strømfelt i et materiale neddykket i væske, er det mulig å analysere strukturer i blant annet biologisk materiale. Metoden er utførlig beskrevet i en oversiktsartikkel av Jenks et al. (1997). Choudhury et al. (2002) publiserte et forsøk med deteksjon av kveis og bein i torskefilét. Filéten ble senket ned i saltløsning (0,07 M) med tilsvarende ledningsevne som for filéten. Et svakt strømfelt (DC: 7-10 mA og 5 V) ble induert gjennom filéten og SQUID-detektoren skannet så filéten (22 mm/s). Gjennom et 2-dimensjonalt magnetfeltbilde over filétsiden, kunne posisjonen for kveis og bein avleses i x- og y-planet. Det ble oppgitt at bein med lengde på 3 cm og diametre rundt 1 mm klart kunne avleses. Minimum deteksjonslengde og tykkelse ble ikke undersøkt. For kveis var orienteringen relatert til myotomstrukturen noe utslagsgivende på signalresponsen.

Lysspredning - SINTEF ble forespurt om å undersøke mulighetene for alternative, optiske teknikker for deteksjon av kveis. Med tanke på å velge det mest lovende måleprinsippet, ble det studert hvordan fenomener som absorpsjon, spredning og transmisjon varierte i henholdsvis kveis og i fiskemuskel for ulike bølgelengder. Ved bruk av lys i det synlige området var lysspredningen i fiskekjøtt svært stor. Dette medførte at en kveis som ligger midt inne i fiskemuskelen ikke vil synes ved ordinær gjennomlysning. Resultatene fra SINTEF sine studier viste imidlertid at lysspredningen avtok mer ved langbølget, infrarød belysning. Ved lange bølgelengder ble derimot absorpsjonen i vann så høy at man fikk vanskeligheter med å gjennomføre relevante målinger. Ved å benytte bølgelengder mellom ca. 1100-1300 nm, oppnådde en et godt kompromiss. I dette området var det liten spredning i fiskemuskelen, hvilket medførte at lyset gikk tilnærmet rett frem. Lyset som traff kveis ble derimot spredt i alle retninger. Dette ga opphav til en vesentlig kontrastforskjell der kveisen ble lokalisert i et gjennomlysningsbilde. Resultatene så langt er meget lovende, og det er grunn til å tro at også andre uønskede elementer som beinrester kan detekteres på denne måten. Det er laget en video hvor prinsippet er demonstrert.

Deteksjon av mulig beinposisjon i overflaten - SINTEF arbeider med en metode for rask måling av form på fisk ved hjelp av projiserte striper (f.eks. synlig lys) detektert av et kamera plassert i vinkel i forhold til kameraposisjon ovenfor fileten. Med denne teknikken er det mulig å finne posisjonen til begynnelsen på bein i overflaten av fileten. Ved å skille ut små forgroppinger rundt beinene i skjæreflatten av fileten, kan man finne posisjon til hvert enkelt bein. Det vil imidlertid være knyttet en del usikkerhet til dette da form og størrelse på forgroppingen vil variere. Metoden er patentsøkt av SINTEF.

Projiserte striper – Ved SINTEF Fiskeri og havbruk sitt Strategiske Instituttprogram har vi benyttet projiserte striper (lys, laser) som vandrer over fileten (torsk). En får da et topografikart over fileten so viser konturer og høydeforskjeller. Metoden kan blant annet brukes til å kartlegge form(endinger) på filet.

3.8 Temperatur

Rask nedkjøling av fisk og fiskeprodukter er som kjent meget viktig for å oppnå lang holdbarhet og god produktkvalitet. Manuell temperturkontroll (stikkprøver) av kjernetemperatur utføres i dag rutinemessing i fiskeindustrien. Til dette benyttes håndholdte instrumenter (termoelement). Det finnes teknologi for automatisert on-line måling av overflatetemperatur.

3.9 Evaluering av rigor mortis

Rigor mortis (dødstivhet) kan bli aktuelt å måle i forbindelse med pre-rigor prosessering. Det har lenge vært kjent at en bør unngå prosessering av fisk som er i rigortilstand (stikkord: filetspaltning, dårligere teksturegenskaper) dersom en ønsker optimal produktkvalitet. En kan for eksempel tenke seg å sortere ut fisk i rigor dersom en batch skal gå til pre-rigor filetering. Imidlertid må sies at en bedre innfallsvinkel er å lage slakteprosessen så robust (human avliving og lav stressbelastning) slik at pre-rigorfasen blir tilstrekkelig lang for bearbeiding av råstoffet (se nedenfor). Dersom fisken i tillegg har kort gjennomløpstid i prosesslinjen, vil en sensor for måling av dødstivhet være lite aktuell i praksis.

Forløpet av rigor henger nøye sammen med initiell pH i muskelen. Høy initiell pH gir lang pre-rigortid (opptil ett døgn) mens lav initiell pH gir rask (2-4 timer) inntreden i rigor. Ulike målemetoder kan anvendes, som for eksempel bruk av lavfrekvente målinger som i kombinasjon med neurale nettverk har et on-line potensiale (Berg et al., 1997). Videre kan en i forbindelse med pre-rigor prosessering tenke seg å foreta sporadisk prosesskontroll. Her kan en bruke manuell evaluering (krever opplæring) ved Rigor Status metoden gitt nedenfor i kombinasjon med referansefigur (Fig. 12) som beskriver rigorforløpet for ytterpunktene, nemlig fullstendig ustresset fisk og fullstendig utmattet fisk under islagring (Erikson, 2001a). Internasjonalt sett brukes ofte den såkalte Rigor Index metoden (Bito et al., 1983) som nok er enklere å bruke av utreinet personell. Metoden er basert på å måle avbøying av halen når halve fiskelengden er plassert på en bordkant. Disse, samt andre målemetoder for evaluering av rigorforløp er nærmere beskrevet av Erikson (2001a).

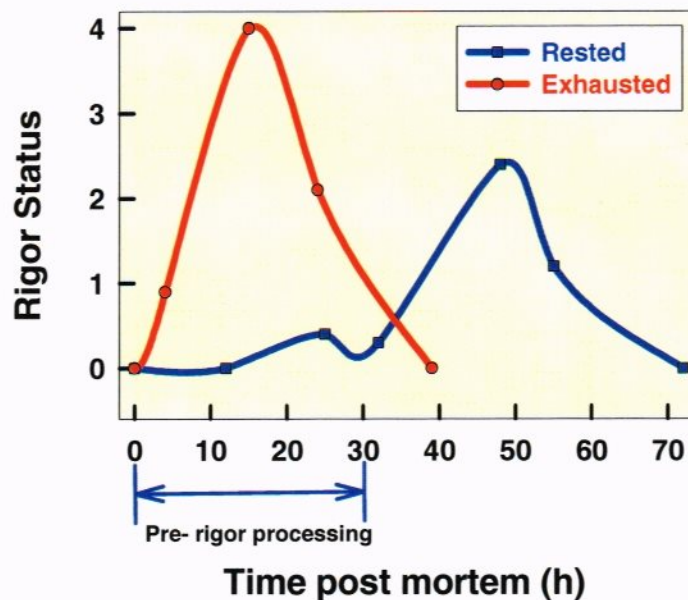


Fig. 12 – Rigorforløp under islagring av fullstendig ustresset laks sammenliknet med for fullstendig utmattet (stresset) laks. Optimal slaktemetode (uten stress) gir pre-rigor tid på opptil ett døgn med mindre intense rigorkontraksjoner som minsker risiko for filetspløtning (Erikson, 2001a).

4. BRUK AV SENSORER I NÆRINGSMIDDELINDUSTRIEN

I forbindelse med forskning for kjøttindustrien er det benyttet flere målemetoder relatert til slaktning (kjøttkvalitet og sortering). Imidlertid er det meste her ikke spesielt egnet for fiskeindustrien. Dette fordi det meste av kvalitetsparametrene en benytter i kjøttindustrien går på tema som er spesifikke for kjøtt, med andre ord knyttet til de ulike iboende egenskapene til henholdsvis kjøtt og fisk. For svinekjøtt ønsker en for eksempel å sortere ut PSE- og DFD-kjøtt. Aktuelle målemetoder her er å måle kjøttets pH (bl.a. relatert til lyshet), lysspredning (fiberoptisk probe) eller å måle dets elektriske ledningsevne ('Quality Meter') (Garrido et al., 1995). Andre kriterier for kjøtt er å bestemme utbytte som er direkte proporsjonalt med skrottens vekt og invers proporsjonal med dens fettinnhold. For enkelte typer kjøtt brukes derfor måling av fetttybde under skinn (NIR og elektrisk ledningsevne).

VIA brukes til bestemmelse av fettmengde og fettfordeling (marmorering). Bruk av røntgen (CT) eller MRI er også mulig her, men disse metodene er per i dag ikke kostnadseffektive (Swatland, 1995). Mengde bindevev (relatert til seighet) kan bestemmes ved bruk av UV (fluorescens, eksitering ved 370 nm) fiberoptisk probe (Swatland & Findlay, 1997).

I oppmalt kjøtt kan en benytte on-line (uten direkte kontakt) NIR reflektans spektroskopi for å måle innhold av fett, vann og protein. NIR-instrumentet ble plassert på utløpssiden av maskinen for oppmaling av kjøtt. NIR-data ble samlet inn og midlet hvert femte sekund. Avhengig av råstoff var prediksjonsfeilene i områdene; 0,8-1,5 % fett, 0,9 -1,3 % vann og 0,4 – 0,7 % protein.

Dette representerte en forbedring av den eksisterende standard for kjøtt og instrumentet er nå implementert ved en norsk bedrift (Isaksson et al., 1996; Tøgersen et al., 1999).

Ved Norges største slakteri for gris og storfe (Gilde Hed-Opp, Rudshøgda) har en etablert en prosesslinje som er datastyrt på sentrale punkter. Det er lagt tilrette for full sporbarhetsmerking. Før partering av slaktet blir det forkuttet av en robot slik at påfølgende skjæring blir lettere. Robotens maskinsyn finner startpunktet. Videre kan nevnes klassifisering av småfe ved bruk av bildeanalyse og robotisert merking (EFTA-merke) av slaktegris. Råstoffet for produksjon av kjøttdeig og farseprodukter blir automatisk kontrollert (røntgenteknologi) med hensyn på fettinnhold (nøyaktighet $< \pm 0,5 \%$). Samtidig blir det kontrollert at det ikke er fremmedlegemer tilstede i råstoffet. I foredlingsanlegget har en automatiske pakkelinjer (automatisk ilegging av produkter). Bedriften har også sentralvakuum som brukes til pakkemaskinene (Bekkevold, 2004).

Ved høsting av frukt og grønnsaker er automatisk kvalitetssortering mulig i stor skala. For eksempel sorteres epler automatisk ved at eplene tømmes i parallelle renner med vannstrøm. Sorteringen med hensyn på ytre flater skjer på bakgrunn av farge (CCD-kamera), fargemønster (ensfarging) og eventuelle sorte flekker (B/W-bilder). Opptil 70 bilder per frukt kan tas. Hastigheten er 12 enheter per sekund per bånd (renne). Ved ett anlegg er det brukt 26 kameraer i parallell. Utstyret er levert av Greefa (NL). Størrelsessortering skjer ved bruk av IR CCD kameraer. Kriteriene er lengde (mm) og forholdet mellom lengde og diameter. Aweta (NL) benytter en kombinasjon av NIR og vanlige fargebilder for fargesortering av epler. Videre kan form og størrelse måles ved bruk av kamera (bildetaking fra flere vinkler).

Modningsgrad i frukt kan måles akustisk, ikke-destruktivt ved bestemmelse av fasthet ('Firmness Index'). For deteksjon av indre defekter i frukt og grønnsaker (bruning og overmodning) har en i forskningssammenheng hovedsakelig anvendt VIS-, NIR-, NMR- og røntgenteknikker. *Thermal Imaging* er en alternativ infrarød teknikk hvor en måler infrarød utstråling fra objektets overflate (registrerer små endringer i overflatetemperatur). Metoden er ikke-destruktiv og det er ikke nødvendig med kontakt mellom sensor og objekt. Basert på måling av temperaturdifferanser (typisk $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$) mellom eventuelle soner med intakt og skadet vev, kan en således benytte denne informasjonen som grunnlag for utsortering (van Linden et al., 2003).

Time-resolved reflectance spectroscopy (TRS) er en ny metode som bruker pulset laser som lyskilde i motsetning til det tradisjonelle, en kontinuerlig lyskilde. Metoden, som er ikke-destruktiv, for fullstendig optisk karakterisering av høy-diffusive media. En måler samtidig mediets absorpsjonskoeffisient (μ_a) og transport spredningskoeffisient (μ_s). Metoden er anvendt på pærer ved 690 og 720 nm. Basert på å sammenlikne disse koeffisientene for frisk frukt, kunne en verifisere eventuell bruning inne i frukten (opptil 2 cm i dybde). Siden akvisisjonstiden er kort, ansees TRS å ha potensial for on-line sortering av frukt.

Søthet ('Brix value') og indre kvalitetskriteria som brunhet og råtning av kjerne kan måles ved bruk av lysbestråling (røntgen) gjennom frukten med påfølgende analyse av spekteret ('Flavour Analyser'). Utstyret er beregnet på tilfeldig testing i verdikjeden.

Modning av frukt og grønnsaker, samt degradering av disse, kan måles ved bruk av ultralyd fordi vevets sammensetning og mekaniske egenskaper endres under disse prosessene. Imidlertid har en hittil hatt en del måletekniske problemer slik at denne metoden befinner seg i øyeblikket på forskningsplanet (se Coupland og McClements, 2001).

On-line måling av fasthet i frukt er ønskelig blant annet for utkast av overmoden, bløt frukt slik at denne kan sorteres fra allerede før transport. Siden frukt (som annet biologisk materiale) er både

et inhomogent og anisotropisk materiale, har en ennå ikke lyktes med å komme fram til en konsistent ikke-destruktiv metode som egner seg for industrielt bruk. Muligens bør en satse på å bruke flere sensorer basert på ulike måleprinsipper for på denne måten å oppnå et mer robust system (Hung et al., 2001).

5. PROSESSERING AV FISK: SORTERING OG DETEKSJON AV ULIKE PARAMETRE

5.1 Sortering og gradering av fisk

Biomassetelling, størrelse og omriss

Siluettsensoren ble utviklet av Vaki (Reykjavik, Island). Sensoren består av to skannerenheter og en kontrollenhet. Hver skanner består av to sensorer, hver med omtrent 100 infrarøde dioder og 'sensing elements'. Når en fisk passerer en skanneenhet blir IR-strålene hindret som så gir grunnlaget for å konstruere et omriss. Dette prinsippet kan derfor benyttes blant annet til å skille (og telle) forskjellige fiskearter fra hverandre (Cadieux et al., 2000) for eksempel i forbindelse med trålfangst.

Første trinn er 'feature extraction' som trekker ut typiske trekk for en gitt fiskeart som så danner grunnlaget for klassifisering. Dette kalles *deskriptorer* og de to mest anvendte i forbindelse med siluettgjenkjenning er de såkalte '*moment invariants*' og '*Fourier Descriptors*' (Cadieux et al., 2000). Datainformasjonen blir så prosessert for å oppnå klassifisering innenfor de valgte gruppene ved bruk av for eksempel nevrale nettverk.

Vaki sin fisketeller (Bioscanner PLC) har kapasitet 40 tonn/time (nøyaktighet 98-100 %) og kan blant annet brukes i forbindelse med sortering ved merd, levendefisktransport (henting av en gitt biomasse) og levering til slakteri. Her kan den samtidig styre dosering (batch) av fisk fra brønnbåt inn til RSW levendekjølingstank. Vaki har også en biomassemåler (rammeformet) som brukes neddykket i merdssystemer hvor data herfra (antall fisk, snittvekt, størrelsesfordeling og kondisjonsfaktor) kan brukes i forbindelse med styring av produksjon og salg. AquaMetric AS (Trondheim) produserer et liknende 'rammesystem' for biomassemålinger i merd. AquaScan (Hafersfjord) er et annet firma som produserer fisketellere, modell CS2500 (20 tonn/time) og CS3150 (30 tonn/time). Telleren er ikke avhengig av at fisken passerer enkeltvis i et vannfylt rør. Nøyaktigheten er som for Vaki sitt system. Sensoren er en 'CCD camera chip'. Det er mulig å kople systemet mot et videosystem slik at en kan følge tellingen 'live'. Andre produsenter av liknende biomassetellere er Brødrene Wingan AS og Flatsetsund Slipp AS, FLS 300 (kapasitet 100 tonn/time) og FLS 350 (kapasitet 200 tonn/time) med feilmargin på 2 %.

5.2 Deteksjon av bein i fiskefilét

Metoder for deteksjon av bein (utdrag fra SINTEF-rapport av Buljo et al, 1999)

Generelt kan bein kan være lokalisert både på overflaten av filèten og inne i muskelen. Felles krav til aktuelle deteksjonsteknikker er derfor at de må kunne se og lokalisere slike objekter forholdsvis dypt under filètoverflaten. For deteksjon av bein og kveis i fiskefilet har flere typer teknologi vært uttestet i løpet av de seinere år (Heia et al., 1997). Disse er:

- Røntgen.
- CT (Computer Tomography) røntgen.
- NMR (kjernemagnetisk resonans).
- Optiske teknikker som for eksempel fluorescens.
- NIR (nær infrarød)/avbildene spektroskopi.
- Ultralyd.
- Måling av ledningsevne (konduktans).

Tabell 1 viser en oversikt over de typer deteksjonsteknologi som har vært vurdert som aktuelle med tanke på automatisk filètproduksjon/beinfjerning. Både prisoverslag og tidsaspekt for kommersialisering er tentativt angitt. I Tabell 2 er det en oversikt over noen aktuelle bedrifter som leverer deteksjonsutstyr

Tabell 1 – Oversikt over aktuelle metoder for deteksjon av bein, kveis og annet (Buljo et al., 1999)

Metode	Anvendelses- område	Prioritering av metode	Deteksjons- hastighet (tid/filet)	Pris ^(a) (MNOK)	Tidsaspekt for utvikling ^(b) (år)
Røntgen	Bein, kveis, orientering	Foretrukket for beindeteksjon og orientering og posisjonsbest.	1 sek.	1	2
CT	Bein, kveis, orientering		Flere minutter	< 10	2
MRI ^(c)	Bein, kveis, orientering, blod (?)		Flere minutter	< 10	3 - 4
Fluorescens inkl. UV-lys	Bein, kveis i overflata av filet, blod (?), svarthinne		1 sek.	Ukjent (antydte: 0,5 - 1)	Lumetech ^(d)
NIR/avbildende spektroskopi	Kveis, svarthinne, orientering, blodflekker, bein?	Foretrukket for kveisdeteksjon. Største potensialet for blod og svarthinne.	1 sek.	0,5 - 1	2 - 3
Ultralyd	Bein, kveis, svarthinne	Mulig metode, men ikke særlig sannsynlig med begrenset økonomi.	Ca 1 - 3 sek.	> 1 - 2	Bein/kveis: 2-3 Svarthinne noe lengre.

(a) Anslagsvis per enhet; (b) For kommersiell teknologi; (c) Her er det NMR bildedannelse som er vurdert inn. Enklere NMR med hovedvekt på kvalitetsvurdering og prosesstyring er både vesentlig billigere og raskere. Slik NMR er egnet i svært mange produksjonssystemer, men ikke til deteksjon av romlige koordinater; (d) Omkring 1990 utviklet firmaet Lumetech (Danmark) utstyr for automatisk trimming av fiskefilet. Deteksjon av bein og parasitter ble gjort ved bruk av fluorescens. Utstyret var kommersielt tilgjengelig, men ble ikke en suksess i industrien.

Tabell 2 - Liste over et lite utvalg av leverandører av utstyr som kan tenkes brukt som sensorer for deteksjon av bein i fisk (Erikson et al., 2003; Buljo et al., 1999).

Maskinleverandør	By, Land	Beskrivelse
Marel	Island	"Sensor X Pinbone Removal", systemet er røntgenbasert. Detekterer bein med rimelig god sikkerhet ned mot 0,3 mm tykkelse.
Spectral Fusion Technologies (SFT)	England	Detekterer pinnebein, ribbein og finnebein ned til 0,4 mm tykkelse ved bruk av røntgen ^(a)
Baader & Canpolar	Tyskland og USA	"Inspektor", avansert kamera-, lys-, bildebehandling og databehandling for automatisk etterkontroll av ulike defekter i filet ^(b)
SR-Instruments Oy	Sodankylä, Finland	Systemer basert på røntgen.
Pulsarr Industrial Research	Eindhoven, Holland	Syn-systemer primært basert på kamerateknikk.
Bruker Analytik	Karlsruhe, Tyskland	NMR utstyr, kundetilpassede systemer
Resonance Instruments	Oxford, England	Lavfelt NMR
Micro Photonics	USA	Røntgen tomografi bordmodeller
Bio-Imaging Research Inc.	-	Bl.a. røntgen for produksjonsbånd (conveyerbelt-scanner)
XYLON International	-	Systemer basert på røntgen
ANDREX	Danmark	Røntgenbasert instrument for deteksjon av bein i fiskefilet (frossen blokk)
Perten Instruments	Sverige m.fl.	Instrumenter basert på NIR-teknologi
Zeiss Group (Hensoldt AG)	Wetzlar, Tyskland	Instrumenter basert på NIR-teknologi
Foss NIR Systems	-	Instrumenter basert på NIR-teknologi

(a) I tillegg detekteres parasitter, blodflekker og metallbiter. Kapasiteten oppgis til inntil 270 fileter/min. Nøyaktighet i drift er 97% og systemet oppgis å gi 80% reduksjon i arbeidsrelaterte kostnader ; (b) Nøyaktig angivelse av type sensor(er) ikke angitt p.t. Beindeteksjon ikke nevnt spesielt. Kapasitet (hvitfisk): 300 fileter/min.

Noen nyutviklede kommersielt tilgjengelige maskiner må nevnes her. Disse er spesialutviklet for fjor deteksjon av pinnebein. Disse er:

- **Spectral Fusion Technologies (SFT)**

Systemet detekterer pinnebein, ribbein og finnebein ned til 0,4 mm i diameter (røntgen). I tillegg detekteres parasitter, blodflekker og metallbiter. Kapasiteten oppgis til inntil 270 fileter pr. min. Nøyaktighet i drift er 97% og systemet oppgis å gi 80% reduksjon i arbeidsrelaterte kostnader.

- **Marel (Island) –Sensor X Pinbone Removal**

Systemet er røntgenbasert og er designet for å kobles sammen med Carnitech sin maskin for fjerning av pinnebein. Maskinen kan registrere bein med rimelig god sikkerhet ned mot 0,3 mm beintykkelse.

- **Baader & Canpolar 820 – Inspektor**

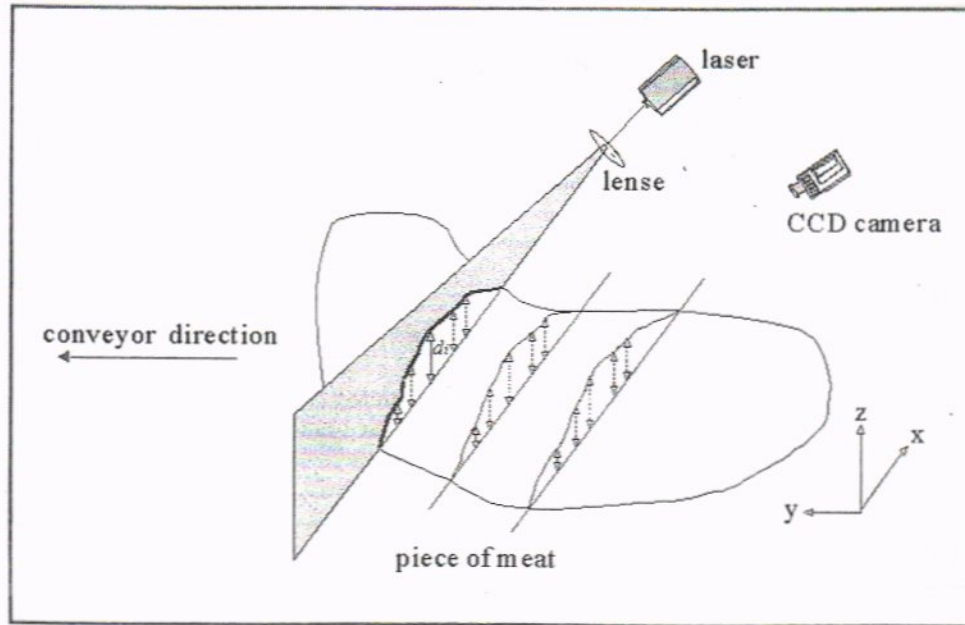
Brosjyremateriell nevner ikke beindeteksjon spesielt, men maskinen er beregnet på automatisk etterkontroll (kamera og bildebehandling) av ulike defekter i filet som feilskjær, finner, membraner, blodflekker, sårskader m.m. i filéer (kapasitet: 300 pr. min). Lite tekniske data oppgis ut over dette.

Oppsummering deteksjon

Basert på tidligere gjennomgang og testing av ulike teknikker (Heia, 1999) og erfaringer fra industriprosjekter synes det klart at *røntgen er den teknikken som i dag er mest egnet til beindeteksjon i filetindustrien*. I dag brukes røntgen til beindeteksjon i frossen filetblokk (ANDREX; Danmark), men denne type utstyr kan ikke benyttes i filetlinjen. Røntgendeteksjon benyttes i dag i annen type næringsmiddelindustri (bakervarer, hermetisk pakkede matvarer etc.), men det vil være behov for videreutvikling/ tilpasning av røntgenteknikken med hensyn til de krav som stilles i fiskeindustrien. I et system for automatisk fjerning/utskjæring av bein fra fileten, er det også behov for registrering, analyse og prosessering av data. Signalene fra deteksjonsenheten må omarbeides til styresignaler for bearbeiding av fileten, som posisjonsbestemmelse og kutting/fjerning av bein. Fiskeriforskning har i prosjektet 'Automatisering av beindeteksjon' (Heia, 1999) utviklet IT-løsninger for identifisering og lokalisering av bein i fiskefilet basert på analyse av røntgenbilder (Buljo et al., 1999).

5.3 Porsjonskutting og trimming

Elrad – CompuScan har utviklet et system egnet for porsjonskutting og trimming (separasjon av fettvev) av fileten. Systemet, foruten samlebandet, består av tre enheter: (1) En optisk skanner ('maskinsyn' bestående av kameraer, optikk, spesiell lyssetting, linser og filtre), (2) Datamasking og bildeprocessor og (3) Robotisert vannstråleskjærer (1,5 m/s, 4G, 2-4 skjærehoder). 3D skanning utføres ved bruk av en laserskanner som gir en profil av filetenes tverrsnitt. Bildene registreres ved bruk av et CCD kamera. Databehandling regner ut nøyaktig hvor en skal kutte og denne informasjonen overføres så til vannstråleskjæreren (Jacobs, 1996). Prinsippet er vist i Fig. 13.



3-D laser and CCD imaging for portioning.

Fig. 5.1 – Prinsippskisse for 3D-maskinsyn. Informasjonen kan så benyttes videre til automatisk porsjonskutting og trimming (Jacobs, 1996).

5.4 Laserscanning av filet

Laserprinsippet er introdusert i porsjonskuttere i fiskeindustrien, nemlig i Marel IPM3 X300 LaserEye. En benytter 3D laser-maskinsyn for å evaluere fileten før kutting. Den mest økonomiske kuttkonfigurasjon beregnes i henhold til gitt informasjon i database. Hastigheten er 8 kutt per sekund (ett-bånds versjonen).

5.4 Deteksjon av nematoder i filet

I marine fiskearter er forekomst av parasittisk rundorm (nematoder) i vev relativt vanlig. For eksempel finnes rundormen *Phocanema decipiens* (tilhører Anisakidae familien) i fordøyelseskanalen hos blant annet torskefisk. Dersom fisken er svært infisert eller den legges på is noen dager før sløyning kan larver infisere muskelvevet (Valdimarsson et al., 1985). Vanlig lengde ligger mellom 30 – 50 mm med diameter 0,3 - 1,2 mm. Cysten til parasitten *Triaenophorus crassus* har typisk lengde 6-25 mm, med diameter 3-4 mm. I en slik cyste ligger en orm oppkveilet, denne kan ha lengde opp til 125 mm (Freese, 1970). Ved frysing og varmetilberedning (70 °C) dør nematodene. Tradisjonelt fjernes rundorm manuelt (utskjæring) etter filetering ved gjennomlysning med hvitt lys (4200 °K; minst 2 x 20 W lysrør; lysbord; Valdimarsson et al., 1985). Statistisk blir kun 75 % av nematodene detektert i foredlingsanlegg (Hafsteinsson & Rizvi, 1987).

Forsøk på automatisk deteksjon har blitt gjort opp gjennom årene. En har funnet at lys (fra UV til IR) ikke synes å være effektivt nok fordi nematodene kan ligge inne i fileten (typisk tykkelse 2-4 cm). Ved gjennomlysning svekkes lyset ved absorpsjon og spredning. Nematoder absorberer lys betydelig mer enn torskemuskel, spesielt i området 400 – 600 nm. (synlig lys). Imidlertid vil lysspredning (mindre kontrast) gjøre at metoden ikke kan brukes uten videre. Ved å ta i betraktning

både absorpsjon og spredning synes 800-900 nm eller 1050-1100 nm å være optimale bølgelengder. Ved å benytte unidireksjonalt hvitt lys ble kontrasten bedre, men maksimal deteksjonsdybde var ikke tilstrekkelig, 0,6 cm (se Hafsteinsson & Rizvi, 1987). Fluorescens kan brukes, men her er deteksjonsdybden kun 0,5 mm (under overflaten) ved bruk av en lyskilde på 15 W (Pippy, 1970). Freese & Markow (1968) og Freese (1970) brukte en ultralydscan puls-ekko teknikk (1 – 11 MHz) for å måle impedans og absorpsjon av akustiske bølger i hvitfisk (*Coregonus clupeaformis*). Ultralydabsorpsjonen i vevene var av størrelsesorden 0,7 dB/cm/MHz. Metoden har så vidt vi vet ikke blitt tatt i bruk kommersielt. Ved å bruke *Scanning Laser Acoustic Microscope* (SLAM) prøvde Hafsteinsson & Rizvi (1987) å detektere nematoder i torskefileter. Både nematoder og bein kunne lett detekteres i fileter med tykkelse opp til 4,5 cm (også gjennom skinn). Det er antatt at det er det høye kollageninnholdet i nematoden som gjør at organismen er synlig i slike tykke fileter. Kollagen spiller en viktig rolle i forplantningen av ultralyd (O'Brien, 1977).

Ved SINTEF Materialteknologi har en testet ut bruk av infrarød transmisjon som en optisk deteksjonsmetode for deteksjon av nematoder (kveis) i torskefilet. Lysspredningen for hvitt lys i fiskemuskel er svært høy (eks. λ 500-900 nm). Imidlertid avtar dette fenomenet ved økende bølgelengder som ved $\lambda = 1300$ nm. Ved denne bølgelengden vil derimot nematoder (*Anisakis simplex*, meget vanlig i torsk) forårsake betydelig lysspredning. Ved å scanne en fokusert laserstråle over fileten, vil eventuelle nematoder kunne detekteres ved at laserstrålen 'slukker ut' når den treffer nematoden som da vil spre den konsentrerte lysstrålen. Dette fenomenet kan så registreres av et kamera som igjen kan koples mot et system for koordinatbestemmelse og egnet verktøy for fjerning (skjæring, utstansing). Prinsippet er vist i Bilag 1.

5.5 Måling av farge og fett i filet

Hos laks har maskinsyn blitt benyttet til å bestemme fettinnhold i filet (summen av fett og bindevev i 'hvite striper') (Borderias et al., 1999) og for fett og farge i ørretkoteletter (Marty-Mahè, 2004).

5.6 Måling av produktkvalitet

Tradisjonelt har måling av produktkvalitet (sløyd, rund eller filet) i hovedsak vært knyttet til evalueringer i forbindelse med logistikkledet, dvs. under kjøle- og fryselagring samt i forbindelse med sluttledet, nemlig forbrukeren. Etter slaktning kan en grovt sett dele post mortem fasen inn i to deler, nemlig (a) tap av ferskhet (ca en ukes islagring) og (b) grad av bederving (mikrobiell nedbrytning som typisk begynner å bli framtrepende etter ti dager på is). Som vi ser, faller slike vurderinger utenfor rammen av SIP 2001-2005 som kun omhandler prosessering av ferske varer, innenfor fabrikkveggene.

5.7 Hygienekontroll

Automatisert hygienekontroll er per i dag ikke mulig. I framtiden kan biosensorer finne en anvendelse her. Ett eksempel på et slikt måleprinsipp benyttes i en viss utstrekning i næringsmiddelindustrien i dag. Dette er et ATP-basert testsett for hygienekontroll (*ATP Bioluminescence Hygiene Monitoring Kit*). For hygienekontroll, matvaretrygghet og produktkvalitet i forbindelse med prosessering av fisk henvises til spesial litteratur (Anonym., 2002).

6. KONKLUSJONER

Det er sannsynlig at maskinsyn er den teknologien som i framtiden vil stadig få en mer framtreddende rolle for ikke-destruktiv kontroll og sortering av næringsmidler, både med hensyn på produktkvalitet og sikkerhet. Dette vil skje som en følge av utvikling innenfor feltene elektronikk, datakraft, 3D-kameraer nettverk for bildeoverføring, mini lasersystem for strukturerte belysnings teknikker for å oppnå 3D-informasjon om ulike matvarer (Panigrahi og Gunasekaran, 2001).

Av optiske teknikker forventes det at spesielt NIR og FTIR vil få stadig nye anvendelser i tiden framover blant annet i takt med datateknologi. Flere applikasjoner kan gi on-line muligheter (Gunasekaran og Irudayaraj, 2001).

For å bringe NMR videre mot det å foreta ikke-destruktive on-line målinger i en prosesslinje er det nødvendig med utvikling på følgende områder: etablere sammenhenger mellom NMR parametre og matvarenes sensoriske egenskaper, NMR hardware må bli billigere og mer avanserte softwaremuligheter må utvikles (Ruan og Chen, 2001). I tillegg bør nevnes at NMR (MRI) må bli raske nok for å kunne egne seg for on-line bruk. I fiskeforedlingsindustrien regner en i mange sammenhenger med en analysetid på maksimalt 1 sekund per fisk.

Forskning på ultralyd og matvarer har foregått i mer enn 40 år uten at dette har ført til særlig mange applikasjoner for industrielt bruk. De viktigste områdene er on-line konsentrasjonsmåler, metode for kvalitetsevaluering av slakt (gris og storfe, se ovenfor) samt instrument får måling av partikkelstørrelse i emulsjoner.

Det har i flere år vært antatt at i framtiden vil biosensorer utgjøre et betydelig bidrag for on-line kvalitetskontroll, spesielt med hensyn til analyse av ulike bestanddeler (molekyler) og hygienekontroll (Deshpande, 2001).

PhD-studium innen sensorteknologi under RF 2 i SIP 2001-2005

Basert på en gjennomgang av de ulike potensielle måleprinsippene diskutert i denne rapporten konkluderer vi med at det i hovedsak er to områder som peker seg ut som spesielt interessante for automatisering av fiskeindustrien. Dette er maskinsyn (computer vision, VIA) og NIR. Blant annet fordi andre forskningsmiljø i Norge i lang tid har konsentrert seg om NIR, har vi satset på at PhD-kandidaten skal konsentrere oppgaven sin om sortering av rund, sløyd laks samt kvalitetskontroll av laksefilet ved bruk av maskinsyn. For rund fisk har følgende temaer vært aktuelle: størrelsesbestemmelse, K-faktor, kvalitetssortering (superior, ordinær, produksjonsfisk). På fillet har innfarging, farge (Roche fargekort, CIE $L^*a^*b^*$), fettinnhold og trimming vært sentrale.

7. LITTERATURREFERANSER

Anonym (1991) *Fish Quality Control by Computer Vision* (L.F. Pau, R. Olafsson, Eds.) Marcel Dekker Inc., New York, 293 pp.

Anonym (2001) Fettanalyse i levende laks på sekunder. *Aquatic* Nr 9, 36-37.

Anonym (2002) *Safety and quality issues in fish processing* (Bremner, H.A., Ed.) CRC Press, Woodhead Publ. Ltd., Cambridge, pp. 495.

Aubourg, S., Medina, I. (1997) Quality differences assessment in canned sardine (*Sardina pilchardus*) by fluorescence detection. *J. Agric. Food Chem.* **45**, 3617-3621.

Aursand, I.G., Veliyulin, E., Erikson, U. (2006) Low field studies of Atlantic salmon (*Salmo salar*). In: *Modern Magnetic Resonance*, G.A. Webb (Ed.). Springer Verlag

Bekkevold, S. (2004) Strømlinjet slakteri. *Teknisk Ukeblad* Nr. 14, 20-21.

Berg, T., Erikson, U., Nordtvedt, T.S. (1997) Rigor mortis assessment of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and effects of stress. *Journal of Food Science* **62**, 439-446.

Bito, M., Yamada, K., Mikumo, Y., Amano, K. (1983) Studies on rigor mortis of fish – I. Difference in the mode of rigor mortis among some varieties of fish by modified Cutting's method. *Bulletin of Tokai Regional Fisheries Research Laboratory* **109**, 89-96.

Brethour, J.R. (1994) Estimating marbling score in live animals using pattern recognition and neural network procedures. *J. Anim. Sci.* **72**, 1425-1432.

Borderias, A.J., Gòmez-Guillèn, M.C., Hurtado, O., Montero, P. (1999) Use of image analysis to determine fat and connective tissue in salmon muscle. *Eur. Food Res. Technol.* **209**, 104-107.

Buljo, J., Erikson, U., Gjerstad, T.B., Skjetne, T., Hveding, A. (1999) Teknologisøk for deteksjon og fjerning av tykkfiskbein i fiskefilet. SINTEF Teknologiledelse rapport nr. STF38 F99236 (Fortrolig), 34 sider.

Cadieux, S., Michaud, F., Lalonde, F. (2000) Intelligent system for automated fish sorting and counting. Proceedings of the 2000 IEE/RSJ International conference on intelligent robots and systems, 1279-1284.

Choudhury, G.S., Jenks, W.G., Wikswo, J.P., Bublitz, C.G. (2002) Effect of parasite attributes and injected current parameters on electromagnetic detection of parasites in fish muscle. *Journal of Food Science* **67**, 3381-3387.

Coupland, J., McClements, D. J. (2001) Ultrasonics. In: *Nondestructive Food Evaluation* (Ed. S. Gunasekaran). Marcel Dekker Inc. New York, pp.217-241.

DeSilva, C.W. (1992) Research laboratory for fish processing automation. *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing* **9**, 49-60.

Deshpande, S.S. (2001) Biosensors in food quality evaluation. In: *Nondestructive Food Evaluation* (Ed. S. Gunasekaran). Marcel Dekker Inc. New York, pp.335-377.

Dolatowski, Z.J. (1988) Utraschall. 2. Einfluss von Utraschall auf die Mikrostruktur von Muskelgewebe bei der Pökellung. *Fleischwirtsch.* **68**, 1301-1303.

Downey, G. (1996) Non-destructive and non-destructive percutaneous analysis of farmed salmon flesh by near infrared spectroscopy. *Food Chemistry* **55**, 305-311.

Egelandsdal, B., Erikson, U., Nilsen, H., Arason, S., Nilsen, B.N., Solgaard, K., Wold, J.P. (2003) On estimating the water content of dried salted fish. 33rd WEFTA and 48th AFTC meetings, 11-14 June, Reykjavik, Island, pp. 133-136.

Engelder, D.S., Buffer, C.R. (1991) Measuring dielectric properties of food products at microwave frequencies. *Microwave World* **12**, 6-15.

- Erikson, U. (1997) Muscle quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) as affected by handling stress. Dr.ing.-avhandling, NTNU, Trondheim.
- Erikson, U. (2001a) Rigor measurements. In: *Farmed Fish Quality* (Eds. S.C. Kestin & P.D. Warriss), pp.283-297. Blackwell Science, Fishing News Books, Oxford.
- Erikson, U. (2001b) Potential effects of pre-slaughter fasting, handling and transport. In: *Farmed Fish Quality* (Eds. S.C. Kestin & P.D. Warriss), pp.202-219. Blackwell Science, Fishing News Books, Oxford.
- Erikson, U., Almås, H., Jansson, S., Westavik, H., Buljo, J. (2003) Utvikling av teknologi for filetering av beinfrie laks- og ørretfileter. SINTEF Fiskeri og havbruk rapport nr. STF80 F035049 (Fortrolig), 38 sider + bilag.
- Erikson, U., Veliyulin, E., Singstad, T.E., Aursand, M. (2004) Salting and desalting of fresh and frozen-thawed cod (*Gadus morhua*) fillets - A comparative study using ^{23}Na NMR, ^{23}Na MRI, Low-field ^1H NMR and physico-chemical analytical methods. *Journal of Food Science* **69**, 107-114.
- Fiskeriforskning informerer (1998) Lys kan måle ferskhet. Nr. 13.
- Freese, M. (1970) Distribution of *Triaenophorus crassus* parasites in whitefish flesh and its significance to automatic detection of the parasites with ultrasound. *J. Fish. Res. Bd Canada* **27**, 271-279.
- Freese, M., Markow, D. (1968) High-frequency ultrasonic properties of freshwater fish tissue. *J. Acoust. Soc. Amer.* **44**, 1282-1289.
- Garrido, M.D., Pedauyè, J., Bañon, S., Lòpez, M.B., Laencina, J. (1995) On-line methods for pork quality detection. *Food Control* **6**, 111-113.
- Gerrard, D.E., Gao, X., Tan, J. (1996) Beef marbling and color score determination by image processing. *Journal of Food Science* **61**, 145- 148.
- Ghaedian, R., Decker, E.A., McClements, D.J. (1997) Use of ultrasound to determine cod fillet composition. *Journal of Food Science* **62**, 500.
- Gill, T.A. (1991) Biochemical and chemical indices of seafood quality.(ref står ikke på artikkelen)
- Groeneveld, E., Kallweit, E., Henning, M., Pfau, A. (1984) Evaluation of body composition of live animals by X-ray and nuclear magnetic resonance computed tomography. In: *In vivo measurement of body composition in meat animals: a workshop in the EEC programme of coordination of research on animal production*. Bristol 30 Nov-1 Dec. 1983, (Ed. D. Lister). Elsevier Applied Science, London.
- Gunnlaugsson, G.A. (1997) Vision technology: Intelligent fish processing systems. In: *Seafood from producer to consumer, integrated approach to quality* (Eds. J.B. Luten, T. Børresen and J. Oehlenschläger), Elsevier Science B.V., pp 351-359.
- Gunaskaran, S., Irudayaraj, J. (2001) Optical methods: Visible, NIR, and FTIR spectroscopy. In: *Nondestructive Food Evaluation* (Ed. S. Gunasekaran). Marcel Dekker Inc. New York , pp.1-37.
- Hafsteinsson, H., Rizvi, S.S.H. (1987) A review of the sealworm problem: biology, implications and solutions. *Journal of Food Protection* **50**, 70-84.
- Hall, L.D., Amin, M.H.G., Evans, S., Nott, K.P., Sun, Li (2001) Magnetic resonance imaging for industrial process tomography. *Journal of Electronic Imaging* **10**, 601-607.
- Hansen, E.H., Sigholt, T. (1989) Hva er lys? *Norsk Fiskeoppdrett* nr. 6, 46-47, 49.
- Heia, K. (1999) Automatisering av beindeteksjon – Røntgen og avbildende spektroskopi. Rapport 23/1999 Fiskeriforskning, Tromsø
- Heia, K., Lauritzen, K., Nilsen, H., Wold, J.P., Wedberg, T. (1997) Studier av metoder for deteksjon og fjerning av nematoder i hvitfisk. Rapport 11/1997 Fiskeriforskning, Tromsø

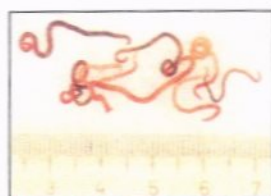
- Rye, M. (1991) Prediction of carcass composition in Atlantic salmon by computerized tomography. *Aquaculture* **99**, 35-48.
- Schenz, T.W., Dauber, B., Nicholls, Gardner, C., Scott, V., Roberts, S.P., Hennesy, M.J. (1999) Online magnetic resonance imaging for detection of spoilage in finished packages. In: *Advances in Magnetic Resonance in Food Science* (Eds. P.S. Belton, B.P. Hills, G.A. Webb). The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Shiranita, K., Hayashi, K., Otsubo, A., Miyajima, T., Takiyama, R. (2000) Grading meat quality by image processing. *Pattern Recognition* **33**, 97-104.
- Skloss, T.W., Nicholls, C., Schenz, T.W. (2000) On-line spoilage detection by magnetic resonance imaging. *The Journal of Process Analytical Chemistry* **5**, 104-107.
- SMB-revyen (2001) Burger under lupen. Nr. 4, side 3.
- So, J.D., Wheaton, F.W. (1996) Computer vision applied to detection of oyster hinge lines. *Transactions of the ASAE* **39**, 1557-1566.
- Solberg, C. (1997) NIR – A rapid method for quality control. In: *Seafood from producer to consumer* (Eds. J.B. Luten, T. Børresen & J. Oehlenschläger). Elsevier Science B.V. pp. 529-534.
- Solberg, C., Saugen E., Swenson, L.-P., Bruun, L., Isaksson (2003) Determination of fat in live farmed Atlantic salmon using non-invasive NIR techniques. *JOURNAL OF THE Science of Food and Agriculture* **83**, 692-696.
- Strachan, N.J.C. (1993) Recognition of fish species by colour and shape. *Image and Vision Computing* **11**, 2-10.
- Swatland, H.J. (1995) Objective assessment of meat yield and quality. *Trends in Food Science & Technology* **6**, 117-120.
- Swatland, H.J., Findlay, C.J. (1997) On-line probe prediction of beef toughness, correlating sensory evaluation with fluorescence detection of connective tissue and dynamic analysis of overall toughness. *Food Quality and Preference* **8**, 233-239.
- Swatland, H.J., Haworth, C.R., Darkin, F., Moccia, R.D. (1997) Fiber-optic spectrophotometry of raw, smoked and baked Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Food Research International* **30**, 141-147.
- Tayama, I., Shimadate, M., Kubota, N., Nomura, Y. (1982) Application for optical sensor to fish sorting. *Refrigeration* **57**, 76-80.
- Teknisk Ukeblad (2001) Nese for molekylar. Nr.13, side 14.
- Teknisk Ukeblad (2001) Bedre ost med ultralydmåling, Nr.44.
- Teknisk Ukeblad (2002) Hjernekirurgi med ultralyd, Nr.5, side 14-15.
- Tollner, E.W., Shahin, M.A. (2001) X-ray imaging for classifying food products based on internal defects. In: *Nondestructive Food Evaluation*, Marcel Dekker Inc. New York, pp.39-98.
- Tøgersen, G., Isaksson, T., Nilsen, B.N., Bakker, E.A., Hildrum, K.I. (1999) On-line NIR analysis of fat, water and protein in industrial scale ground meat batches. *Meat Science* **51**, 97-102.
- Valdimarsson, G., Einarsson, H., King, F.J. (1985) Detection of parasites in fish muscle by candling technique. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* **68**, 549-551.
- Van Linden, V., Vereycken, R., Bravo, C., Ramon, H. (2003) Detection technique for tomato bruise damage by thermal imaging. Proceedings of the International Conference Postharvest Unlimited (Eds. B.E. Verlinden, B.M. Nicolai & J. de Baerdemaeker), Leuven, Belgia 11-14 June 2002, pp.389-394.
- Veliyulin, E., van der Zwaag, C., Burk, W., Erikson, U. (2005) In-vivo determination of fat content in Atlantic salmon (*Salmo salar*) with a mobile NMR spectrometer. *J. Sci. Food Agric.* **85**, 1299-1304.

- Wittfogel, H. (1969) Use of ultra-violet light for determining whether fresh or frozen fish has passed through *rigor mortis*. In: Freezing and Irradiation of Fish (Ed. R. Kreuzer). Fishing News (Books) Ltd., London.
- Wold, J.P., Jacobsen, T., Krane, L. (1996) Atlantic salmon average fat content estimated by near-infrared transmittance spectroscopy. *Journal of Food Science* **61**, 74-77.
- Wold, J.P., Isaksson, T. (1997) Non-destructive determination of fat and moisture in whole Atlantic salmon by near-infrared diffuse spectroscopy. *Journal of Food Science* **62**, 734-736.
- Wold, J.P., Kvaal, K., Egelanddal, B. (1999) Quantification of intramuscular fat content in beef by combining autofluorescence spectra and autofluorescence images. *Applied Spectroscopy* **53**, 448-456.
- Wold, J.P., Lundby, F., Egelanddal, B. (1999a) Quantification of connective tissue (hydroxyproline) in ground beef by autofluorescence spectroscopy. *Journal of Food Science* **64**, 377-383.
- Wood, G.M., Mann, P.J. (1984) Detection of selected mycotoxins in foods by fluorescence. In: *Fluorescence Analysis in Foods*. (Ed. L. Munck). Longman Group, pp.158-170.
- Zerbini, P.E., Grassi, M., Cubeddu, R., Pifferi, A., Torricelli, A. (2002) Nondestructive detection of brown heart in pears by time-resolved reflectance spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* **25**, 87-97.
- Zion, B., Shklyar, A., Karplus, I. (1999) Sorting fish by computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture* **23**, 175-187.

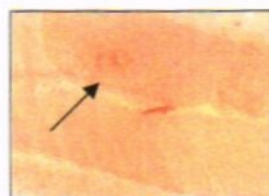
8. BILAG

Optical detection of Nematodes by InfraRed Transmission

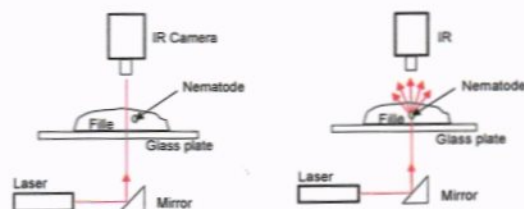
SINTEF Material Technology has carried out extensive studies of the interaction between light and fish. One of the goals has been to develop a better method for optical detection of nematodes. Due to the large scattering of light in fish tissue, it has proven to be very difficult to detect nematodes by candling. SINTEF has found however, that the translucency can be considerably increased by utilizing selected wavelengths in the infrared part of the spectrum. This allows for simple, new detection principles with high confidence and reliability.



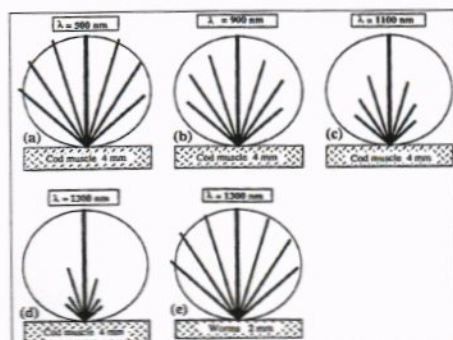
Anisakis Simplex. The nematode most frequently encountered in cod.



Anisakis Simplex in cod fillet (right below surface.)

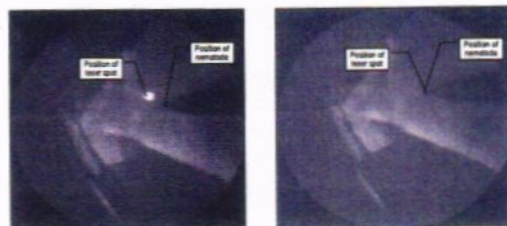


The scattering of light in fish tissue is very high for ordinary, white light. However, it decreases with increasing wavelength. The figure below shows the amount of light scattered in fish tissue at different wavelengths.



The scattering of light decreases with increasing wavelength. The scattering in nematodes is high, even when infrared light is used.

SINTEF's idea for detection is shown above. Due to low scattering in clean tissue, a beam of light of suitable wavelength passes through the fillet without losing its directionality. If the light beam encounters a nematode, the nematode functions as a scattering particle. Due to this phenomenon, the intensity of the laser spot will dim at this point. This becomes visible for the camera as a shadow on the surface.



Experiment performed by SINTEF. (The setup is shown in the topmost figure of this column) Left: The laser beam passes through clean tissue and is clearly visible as a spot