

A20153 - Åpen

Rapport

Automatisk sortering av klippfisk ved hjelp av maskinsyn: Forprosjekt

Ulf Erikson, Ekrem Misimi og John A Fossum



Rapport

Automatisk sortering av klippfisk ved hjelp av maskinsyn: Forprosjekt

EMNEORD:
Klippfisk
Sortering
Automatisering
Maskinsyn
Røntgen

VERSJON
Sluttversjon

DATO
2011-08-22

FORFATTER(E)
Ulf Erikson, Ekrem Misimi og John A Fossum

OPPDRAKSGIVER(E)
FHF

OPPDRAKSGIVERS REF.
Lorena Gallart Jornet/Frank
Jakhsen

PROSJEKTNR
85035201

ANTALL SIDER :
31

SAMMENDRAG

Automatisk klassifisering av klippfisk

Muligheten for automatisert kvalitetssortering av klippfisk er vurdert. Et parti klippfisk ble klassifisert av en erfaren vraker og resultatene ble sammenliknet med resultatene fra det samme partiet fisk analysert ved bruk av 2D og 3D maskinsyn. Selv om maskinsyn trolig kan bidra til å kunne sortere med hensyn på de fleste kvalitetsparametrene, viste det seg nødvendig å benytte røntgen i tillegg for å kunne detektere lengden av ryggbeinet (viktig kvalitetsparameter). Prosjektet ble derfor utvidet og finansiert av egne midler for å vurdere bruk av røntgen på klippfisk. En enkel algoritme er utviklet for klassifisering etter lengden på ryggbeinet. I prinsippet viste det seg at en kan bruke eksisterende røntgen on-line maskiner til dette formålet. Dersom en legger alle vænlige kvalitetskriterier til grunn for klassifisering, er det nødvendig å kombinere flere deteksjonsteknologier for å kunne erstatte den manuelle kvalitetssorteringen slik den forgår i klippfiskindustrien i dag. Disse teknologiene er baserte på 2D/3D maskinsyn, røntgen, og nær-infrarød spektroskopi (sistnevnte metode ble ikke evaluert her).

UTARBEIDET AV
Ulf Erikson

SIGNATUR

KONTROLLERT AV
John Reidar Mathiassen

SIGNATUR

GODKJENT AV
Marit Aursand (forsknings sjef)

SIGNATUR

RAPPORTNR
A20153

ISBN
978-82-14-05204-6

GRADERING
Åpen

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Forord

Vi ønsker å takke Jangaard Export AS ved Knut Haagensen som på vegne av klippfisknæringen gjorde det mulig oss gjennomføre dette prosjektet under kommersielle forhold. Stor takk også til Jon Aarseth som arbeidet sammen med oss for å klassifisere klippfisk etter bedriftens rutiner.

Innholdsfortegnelse

1. Bakgrunn	4
2. Målsetting	5
3. Forutsetning	5
4. Sortering av klippfisk hos Jangaard Export AS	5
4.1 Kriterier for sortering av klippfisk.....	6
5. Materialer og metoder	9
5.1 Forsøk ved Jangaard Export AS.....	9
5.2 Valg av analysemetoder.....	10
5.3 2D og 3D maskinsyn.....	11
5.3.1 Opptak av 2D- og 3D-bilder.....	11
5.3.2 Prosessering av 2D- og 3D-bilder.....	12
5.4 Røntgen.....	13
5.4.1 Online linjescan røntgen.....	13
5.4.2 Planrøntgen.....	14
5.4.3 Røntgentomografi (CT).....	14
6. Resultater og diskusjon	15
6.1 Manuell klassifisering.....	15
6.2 2D maskinsyn.....	16
6.2.1 Farge.....	16
6.2.2 Segmentering.....	16
6.2.3 Fasong.....	17
6.2.4 Flekker.....	17
6.3 3D maskinsyn.....	18
6.3.1 Scatterbilder, hull.....	18
6.3.2 3D-profilbilder.....	19
6.4 Røntgen.....	20
6.4.1 Planrøntgen.....	20
6.4.2 Online linjescan røntgen.....	22
6.4.3 CT røntgen.....	23
6.4.4 Røntgenstråling, dose og helse.....	25
6.5 Er automatisk sortering av klippfisk mulig?.....	26
7. Konklusjoner	28
8. Videre arbeid	29
9. Referanser	30
10. Epilog	31

1. Bakgrunn

I klippfiskindustrien er det et ønske om å gå over til automatisk sortering av klippfisk ved pakking. Denne operasjonen krever trent personell som bedriften er helt avhengig av over tid. Imidlertid er det i dagens situasjon ikke alltid enkelt å finne personer som er villige til å ta nødvendig opplæring for et langvarig arbeidsforhold. Innføring av et robust system for automatisk kvalitetssortering vil kunne bidra til å løse denne utfordringen. Dessuten vil bedriftenes lønnsomhet kunne øke fordi et automatisert system kan erstatte flere av personene som er involvert i den manuelle kvalitetssorteringen.

Temaet *automatisert kvalitetssortering* representerer også et kortsiktig, prioritert satsningsområde gitt i FHF sin handlingsplan for FoU (2010-2013).

Det er tidligere utviklet kommersielt tilgjengelig utstyr (Q-vision) for automatisert måling av vanninnhold i klippfisk. Teknologien er basert på NIR, det vil si instrumentet foretar spektroskopiske målinger i det nær-infrarøde området. Dersom en ønsker å måle på farge, er også det mulig ettersom instrumentet kan leveres med en VIS-sensor (synlig lys). Instrumentet til Q-vision fungerer tilfredsstillende for måling av vanninnhold. I tillegg er det som kjent flere parametre enn vannhold og farge som er viktige for kvaliteten av klippfisk. Dette er parametre som ofte er forbundet med det visuelle inntrykket av produktet. For full automatisering er det nødvendig å ha et system som raskt kan analysere og klassifisere bilder av klippfisk som passerer en målestasjon på prosesslinjen. Maskinsyn kan være et egnet system for å kunne gjennomføre en slik oppgave. I korthet består et slikt system av et kamera som tar i bilder on-line under kontrollert belysing, samt algoritmer for gjenkjenning av kvalitetsfeil og påfølgende klassifisering. Signalet overføres til en datamaskin som sorterer fisken i ulike klasser. Dersom denne oppgaven kan løses, vil instrumentet for automatisk analyse av vanninnhold bli meget aktuelt å integrere i et automatisert system.

På et møte mellom Jangaard Export AS, FHL og SINTEF Fiskeri og havbruk i Ålesund 24. september 2010 ble temaet automatisert kvalitetskontroll av klippfisk diskutert. Siden dette er et tema som opptar flere i klippfisknæringen, var det enighet om å fremme en søknad til FHF på vegne av næringen om støtte til et prosjekt som i første omgang skal vurdere muligheten for å utvikle et system for automatisert kvalitetssortering av klippfisk.

2. Målsetting

Formålet med forprosjektet var å vurdere om maskinsyn kan erstatte manuell kvalitetssortering av klippfisk. Resultatene fra dette forprosjektet skal tjene som et beslutningsgrunnlag for en eventuell videre utvikling av et slikt system.

3. Forutsetning

Klippfiskens *vanninnhold* er et viktig kvalitetskriterium ved sortering før pakking. Vi forutsetter her at problemstillingen 'automatisert sortering basert på vanninnhold' er løst. Q-vision sitt kommersielt tilgjengelige instrument *QMonitor* basert på NIR, fungerer tilfredsstillende for måling av vanninnhold i klippfisk.

4. Sortering av klippfisk hos Jangaard Export AS

I henhold til prosjektplanen skulle det gjennomføres et forsøk ved en klippfiskbedrift. På vegne av klippfiskindustrien, ble forsøket gjennomført 22. februar 2011 ved Jangaard Export AS på Kleivane i Ålesund. I korthet prosesseres fisken som følger. Ved dette anlegget benyttes i all hovedsak torsk som råstoff. Saltfisk fra ulike produsenter transporteres med båt eller trailer fra Nord-Norge. Ved ankomst settes fisken på kjølelager i 1 til 12 uker. Deretter flyttes fisken til prosesshallen hvor den skylles i sjøvann (bemanning: 2 personer) før fisken legges på rist før tørking ved omlag 24° C i 2–7 døgn. Deretter settes fisken på kjølelager en tid slik at den kan pakkes i nedkjølt tilstand. Etter sortering og pakking settes produktet igjen på kjølelager før transport med trailer til Oslo. En stor del av fisken eksporteres til Portugal, eller via Gøteborg og Hamburg, til Brasil.

Prosesslinjen for sortering og pakking er som følger (se også Figur 1 a og b):

Fisk fra kjølelager – Manuell sortering (1-3 personer) – Automatisk veiing og merking ('Bacalhau da Noruega' fra Jangaard) – Automatisk sortering (utkast) med hensyn på vekt – Manuell pakking av klippfisk i esker à 25 kg (ca 3-4 personer) – Automatisk stropping – Manuell stabling av esker på palle (1 person)

(a)



(b)



Figur 1 a og b – Pakkelinjen ved Jangaard Export AS sitt anlegg på Kleivane i Ålesund. (a) Klippfisk av godkjent tørrhet, klassifisert som 'superior' eller 'sortido', legges på båndet for automatisk veiing, merking (maskin vist midt i bildet), og sortering med hensyn på vekt i fire vektklasser; (b) Enden av prosesslinjen hvor eskene stropes før de stables på paller.

4.1 Kriterier for sortering av klippfisk

I henhold til Norsk bransjestandard for fisk (NBS 20-01) 'Standard saltfisk- og klippfiskprodukter' oppgis tre handelsklasser for klippfisk som skal sorteres med hensyn på kvalitet. Disse er: (1) 'imperial/superior', (2) 'universal', og (3) 'popular'. I tillegg skal fisk som er uegnet som menneskeføde vrakes. En klippfisk av god kvalitet skal være godt utblødd, godt rensset, tilstrekkelig tørr, fri for flekker, ha høy grad av lyshet, og ha en naturlig form. Følgende parametre vurderes i forbindelse med mulig nedklassing: tørrhet, blod i buk og ved ørebein, rifter, sprekker, spaltning, dårlig rensing, jevnhet av salting, jevnhet etter pressing under tørking, dårlig flekking, rundspord, for lang virvelsøyle, og flekker (blod, galle og lever). Med hensyn til muligheten for automatisk sortering, synes oppgaven umiddelbart ut til å være kompleks.

Hos Jangaard Export AS blir fisken først vurdert manuelt med hensyn på vanninnhold. Dersom fisken blir funnet for lite tørr, blir den lagt tilside på pall for tørking på nytt. Vanninnholdet kan grovt klassifiseres slik: (a) *kassetørr*, meget tørr fisk, forekommer relativt sjelden; (b) '7/8'-akseptabel tørrhet (Portugal), vanligvis en stor andel av fisken; (c) *bløt* – tørkes om igjen, opptil flere ganger.

Videre blir vrakfisk (fisk med store kvalitetsfeil, uegnet for eksport) lagt til side på pall. Utover dette benytter bedriften følgende to klassifiseringer på kvalitet (1) '*superior*' (fisk med ingen, eller ubetydelige feil), og (2) '*sortido*' (fisk med ulike feil, men likevel akseptabel for eksport). Eksempler på klippfisk i de ulike klassene er vist i Figur 2. Fisk klassifisert som '*superior*' eller '*sortido*' blir lagt på pakkelinjen. Deretter blir fisk i begge klassene sortert automatisk i følgende vektklasser: *Especial* 3 - 4.5 kg; *Graúdo* 2 – 3 kg; *Crescido* 1 - 2 kg; *Corrente* 0,5 – 1 kg.

(a) '*Superior*'



(b) '*Sortido*'



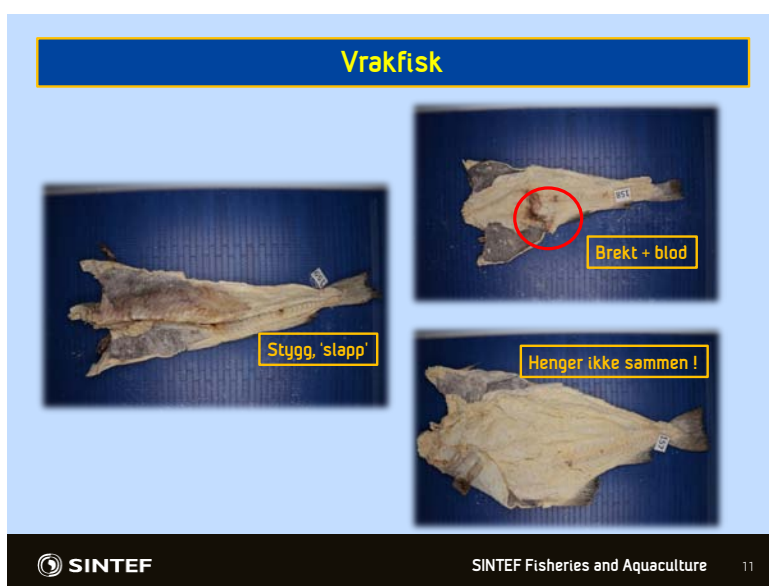
Sortido - Årsak: sprekker + leverflekk



Sortido - Årsak: rundhale



(c) 'Vrakfisk'



Figur 2 – Eksempler på klippfisk fra torsk sortert i klassene (a) 'superior'; (b) 'sortido', nedklassert på grunn av at ryggbeinet ikke fullstendig fjernet foran, tilstedeværelse av sprekker, leverflekk, og 'rundhale'; (c) ulike typer vrakfisk.

5. Materialer og metoder

5.1 Forsøk ved Jangaard Export AS

Hovedforsøket forgikk i bedriftens prosesshall. Klippfisk med typiske kvalitetsfeil hadde blitt lagt til side dagen før forsøket. Totalt ble 103 fisk klassifisert, enten som 'sortido' (99 stk), eller 'vrakfisk' (5 stk). I tillegg ble det fra dagens produksjon tatt ut klippfisk av 'superior'-kvalitet (16 stk) som i det følgende ble ansett som fisk uten kvalitetsfeil av betydning.

Oppsettet for maskinsyn (kamera og lystelt for kontrollert belysning) ble montert opp og deretter ble fisken forløpende klassifisert av en erfaren vraker. Fisken ble nummerert og begrunnelsen for vrakerens bedømmelse (en eller flere kvalitetsfeil for hver enkelt fisk) ble notert for senere sammenlikning med automatisk klassifisering av de samme individene (Figur 3). Fisken ble så nummerert før den ble lagt i lysteltet for fotografering. Prosedyren ble så gjentatt for alle fiskene. Hensikten var å vurdere hvorvidt maskinsyn kunne klassifisere fisken i de samme kvalitetsklassene som ble angitt av vrakeren. Vrakerens bedømming var således å betrakte som fasit. Klippfiskens lengde, maksimale bredde ('vinge'-til-vinge'), og vekt ble senere målt ved SINTEF Fiskeri og havbruk (Tabell 1).



Figur 3 – Typiske kvalitetsfeil som resulterte i vrakerens nedklassing av klippfisk fra 'superior' til 'sortido' ble notert for senere sammenlikning med bilder behandlet ved bruk av maskinsyn. Vrakerens bedømming representerte **fasiten** for den etterfølgende automatiserte klassifiseringen.

Tabell 1 – Klippfiskens størrelse og vekt for de ulike kvalitetsklassene (Middelverdi \pm SD).

Klasse	n	Lengde (cm)	Bredde, 'vinge-til-vinge' (cm)	Vekt (g)
'Superior'	16	74 \pm 5	35 \pm 2	2197 \pm 326
'Sortido'	99	69 \pm 8	33 \pm 4	1793 \pm 619
'Vrakfisk'	5	65 \pm 7	32 \pm 6	1958 \pm 744

5.2 Valg av analysemetoder

I utgangspunktet skulle forprosjektet omfatte ett forsøk, der klippfisk, sortert manuelt på tradisjonelt vis under kommersielle forhold, skulle sammenliknes med automatisk sortering basert på 2D maskinsyn. I løpet av dagen forsøket ble utført, ble det etter hvert klart at vrakeren ofte la stor vekt på eventuell tilstedeværelse av ryggbein foran på fisken, og på sprekker i fisken (Tabell 2). Som en kan tenke seg ut fra bildene disse kvalitetsfeilene (Figur 2b), ville det trolig kunne bli vanskelig å detektere og sortere på disse to egenskapene ved bruk av 2D maskinsyn. Vi besluttet derfor å kjøpe prøvematerialet (totalt 120 klippfisk) for senere analyse i Trondheim ved SINTEF Fiskeri og havbruk AS og Curato Røntgen AS. Hensikten med å ta fisken til Trondheim var å undersøke om andre målemetoder kunne brukes for analysere på de nevnte to kvalitetsfeilene. Disse metodene var 3D maskinsyn (nytt utstyr kjøpt inn ved SINTEF våren 2011) og forskjellig røntgenutstyr, både ved SINTEF (vi leide våren 2011 en kommersielt tilgjengelig on-line røntgenmaskin fra Ishida Co., Ltd.) og ved Curato (medisinsk utstyr med god oppløsning, planrøntgen og CT røntgen). Røntgendelen, som vist i denne rapporten, ble finansiert av et annet prosjekt ved SINTEF Fiskeri og

havbruk, 'Novel sensor technology and automation for improved quality and process control' støttet av Norges forskningsråd (prosjektnummer 199581/I10).

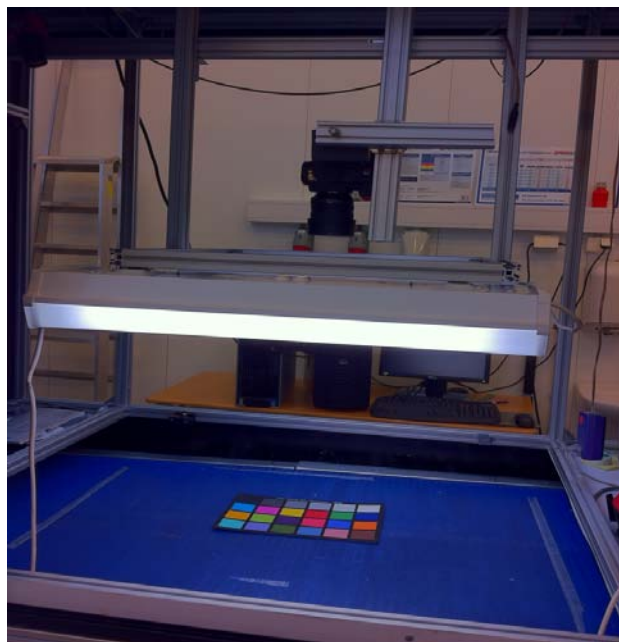
5.3 2D og 3D maskinsyn

5.3.1 Opptak av 2D- og 3D-bilder

Oppsettet for 2D og 3D maskinsyn er vist i Figur 4 og 5. Oppsettet i Figur 4 viser nytt utstyr ved SINTEF Fiskeri og havbruk. På grunn av at det viste seg at en stor del av fisken ved Jangaard Export AS ble manuelt nedgradert på grunn av kvalitetsfeil som 'ryggbein foran' og 'spalter', ønsket vi å kjøre analysene om igjen i Trondheim, ved bruk av nytt og bedre utstyr. 2D-bildene tatt med et Nikon D700 digitalkamera, i et belyningsoppsett som ble montert over transportbånd. Disse bildene ble deretter fargekalibrert med et Macbeth Color Checker kort før de ble behandlet og analysert (Figur 5). 3D-bildene ble tatt ved bruk av et Color Ranger E 3D-kamera (Figur 4). Kameraet måler 3D-formen av fisken ved bruk av laser triangulering. I tillegg til 3D bilder, måler/lager kameraet også intensitets-, farge-, og scatterbilder. Scatterbildet måler fordeling av lys under fiskeoverflaten og kan brukes til å detektere defekter som for eksempel spalter, kutt og hull i overflaten.



Figur 4 – 2D og 3D on-line maskinsyn. For 2D maskinsyn benyttes et kamera (rød sirkel), mens ved 3D maskinsyn benyttes det samme kameraet (samtidig) i kombinasjon med en laser (grønn sirkel). Laseren lager en høydeprofil av produktet (klippfisken). 'Topografien' for hele fisken fremkommer ved linjescan (se blå/grønn stripe i bildet) samtidig som fisken beveger seg på transportbåndet (on-line).



Figur 5 - Belysningsoppsett for 2D avbildning av klippfisk bestående av 4 lysrør med hvitt lys (fargetemperatur 6500 K). Fargekalibrering ble gjort med et MacBeth Color Checker kort (vist i sentrum av bildet).

5.3.2 Prosessering av 2D- og 3D-bilder

Etter kalibrering og pre-prosessering av bildene ble de segmentert ved å lage en binær maske som definerte området en ønsket å studere (klippfisk = bilde – bakgrunn). Basert på algoritmene rapportert tidligere (Misimi et al., 2007, Misimi et al., 2008, Erikson & Misimi 2008, Mathiassen et al. 2011) ble følgende parametre vurdert:

- (1) Klippfiskens grunnfarge (minus svarthinne) (CIE $L^* a^* b^*$)
- (2) Tilstedeværelse av flekker (blod-, lever-, eller andre flekker)
- (3) Fasong (omriss)
- (4) Spalter og hull

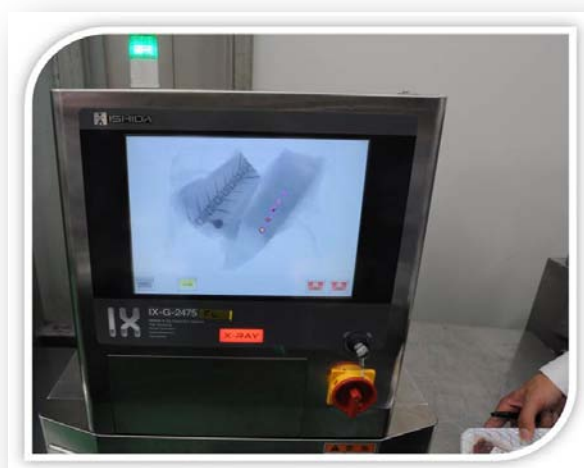
En statistisk klassifikator, basert på 'linear discrimination analysis' (LDA), ble brukt til å evaluere metoden. Beskrivelse av LDA-anvendelse på et datasett fra analyse av fisk er beskrevet tidligere av Misimi et al. (2008).

5.4 Røntgen

En skiller mellom to typer røntgen, nemlig 'Line Scan' (LS) og 'Computer Tomography' (CT). Høy energi (5-120 kV) må til for å framskaffe spektra fra røntgenstråler (bølgelengde < 0,1 nm). Når røntgenstråler går gjennom et materiale vil de delvis absorberes (intensiteten svekkes i henhold til absorpsjonskoeffisienten μ for de ulike komponentene i prøven). Med CT røntgen kan en studere ulike snitt gjennom prøven. I fisk (og andre matvarer) kan en ved bruk av røntgen skille mellom fast stoff (f.eks. bein) og vann (i muskel). Teknikken er godt egnet for deteksjon av bein og til å framskaffe anatomisk informasjon om prøven. Tidligere har en funnet, uavhengig av orientering, at akseptable signal kan oppnås når diameteren på beinene er større enn ca 0,08 mm (Moran, 1965).

5.4.1 Online linjescan røntgen

Klippfisk (n = 32) ble analysert on-line med et LS røntgen instrument fra Ishida Co., Ltd. *X-ray Inspection system*, modell IX-GA-2475 (Figur 6). På dette instrumentet er spenningen og strømstyrken over røntgenrøret er henholdsvis 25 – 75 kV og 1 – 8 mA. Strålingsdosen (lekkasje til omgivelsene) oppgis til $\leq 1\mu\text{Sv/h}$. Objektet som skal belyses med røntgenstråler kan (denne modellen) ha en maksimal lengde og høyde på henholdsvis 240 og 120 mm. Objektet legges på et transportbånd som passerer røntgenenheten der en linjesensor ligger under transportbåndet. Etter passering genereres et transisjonsbilde av objektet. Instrumentet er opprinnelig laget for å detektere fremmedlegemer i ulike objekter.



Figur 6 – Ishida modell IX-GA-2475 (Japan) beregnet på røntgen on-line deteksjon av fremmedlegemer i ulike produkter. På grunn av begrenset størrelse av deteksjonsområdet på denne modellen, var det nødvendig å scanne hver fisk flere ganger. Røntgenbildene ble i etterkant 'sydd sammen' til et større bilde som representerte en hel klippfisk. (Referanse: www.ishidaeurope.com).

5.4.2 Planrøntgen

For å få en oversikt over hvordan røntgen best kan benyttes ved sortering av klippfisk – ved høy oppløsning og god bildekvalitet – besluttet vi å analysere et utvalg av fisken ved å bruke et instrument beregnet på medisinsk bruk. Analysen ble foretatt ved Curato Røntgen AS i Trondheim, den 17 mars 2011. Fisken hadde etter ankomst fra Jangaard Export AS blitt lagret i originalemballasjen i kjølerom (ca 5°C). Instrumentet som ble brukt var fra Siemens (Axiom Aristos FD-X, Siemens AG, Erlangen, Tyskland) og benyttes til daglig i forbindelse med diagnose av pasienter. Opptak av bilder skjer ved at objektet (klippfisken) legges på en plate med et areal på 43 x 43 cm som kan høydejusteres. Da arealet på klippfisken var større enn dette, ble det derfor tatt 2 bilder per fisk. Innledningsvis ble det tatt noen bilder hvor ulike energinivåer ble testet for å optimalisere ulike parametrene som ga best mulig kontrast mellom bein, spalter og kjøtt. Egnede røntgenparametre viste seg typisk å være: spenning 40 kV, dose: 2,20 mAs, og opptakstid: 500 ms. Det ble tatt røntgenbilder av 14 'superiorfisk', 17 'sortidofisk' og 1 'vrakfisk'.

5.4.3 Røntgentomografi (CT)

Etter en del vurdering av datamaterialet fra forsøket med planrøntgen, ble det besluttet å foreta en tilleggsstudie på 10 fisk ved bruk av CT. Dette var typisk fisk som manuelt hadde blitt klassifisert å ligge i grensesonen mellom 'superior' og 'sortido'. Spalter og bein var i fokus. Vi ville studere spaltene i flere dimensjoner, noe som er mulig med CT. Analysen ble foretatt ved Curato den 5 april 2011. Instrumentet som ble benyttet var av type Simens CT Somaton Sensation 16 (Siemens AG). Da analysen hadde til hensikt å vurdere anvendeligheten av metoden for best å få fram spalter i fisken (3D), ble det tildels brukt ulike maskininnstillinger under opptak av røntgenbildene. Typiske verdier var: spenning: 120 og 140 kV, strømstyrke: 100 mA, 'scan time': 0,2 sek og 'slice': 0,2 og 2 mm.

6. Resultater og diskusjon

6.1 Manuell klassifisering

Før analyse ved bruk av maskinsyn ble klippfisk (n = 104) klassifisert av erfaren person ved bedriften. Tørrhet (vanninnhold) ble ikke spesielt tatt med i betraktningen, men de fleste fiskene hadde akseptabel tørrhet (7/8). Tolv fisk ble vurdert som for bløte. Normalt sett ville disse ha blitt tørket på nytt. Generelt ble det hevdet at fisk med høy lyshet ofte er synonymt med en høy grad av tørrhet. Flere fisk ble ansett for å være på grensen mellom 'superior' og 'sortido'. Dette var fisk som med små forbedringer (trimming) kunne oppgraderes til 'superior'. Bortskjæring av små blodflekker er et eksempel på dette.

Fordelingen av kvalitetsfeil på dette partiet 'sortidofisk' (99 stk) er vist i Tabell 2. På en god del fisk var det flere enn én kvalitetsfeil som førte til at fisken ble nedklassert til 'sortido'. Tabellen viser en oversikt over praktisk talt alle kvalitetsfeil som ble kommentert. Vi ser at de to oftest forekommende kvalitetsfeil, begge på rundt 20 % av tilfellene, var 'ryggbein foran' og 'spalter, sprekker eller hull'. Deretter følger 'blodflekker', 'brettet eller vridd fisk', 'leverflekker', 'rundspord', 'skade i buk eller hale', 'skadet eller stygt nakkekutt', og 'ujevn eller stygg overflate', der hyppigheten av hver av disse feilene utgjorde 6-9 % av det totale antall feil. 'Avrevet ørebein' og 'tynn fisk' utgjorde hver for seg kun 2 % av feilene.

Tabell 2 – Manuell kvalitetssortering. Oversikt over parametre som førte til nedklassing av et parti klippfisk (n = 99). I mange tilfeller var det flere parametre som til sammen medførte nedklassing fra 'superior' til 'sortido'.

Kvalitetsfeil	Antall fisk	Prosent av alle feil (avrundet)
Avrevet eller skadd ørebein	2	2
Blodflekker	16	13
Brettet eller vridd fisk	8	6
Leverflekker	11	9
Ryggbein (foran)	26	21
Rundspord	10	8
Skade i buk eller hale	10	8
Skadet eller stygt nakkekutt	8	6
Spalter, sprekker eller hull	25	20
Ujevn eller stygg overflate	9	7
Tynn fisk	2	2

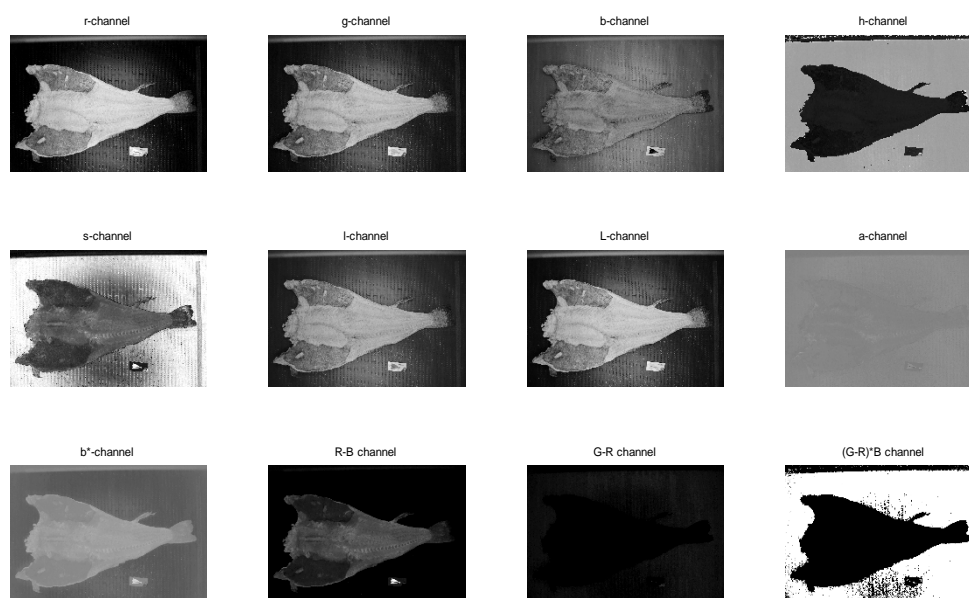
6.2 2D maskinsyn

6.2.1 Farge

Klippfiskens grunnfarge (minus svarthinne) alene, viste seg å være en for svak egenskap til å kunne brukes for klassifisering. Selv om det var en antydning til at 'superiorfisk' var lysere enn de andre to klassene, viste det seg at dette ikke var statistisk signifikant ($P > 0,05$). Verken lyshet (L^*), a^* , b^* , fargetone (*hue*), eller fargemetning (*chroma*) var statistisk signifikant forskjellig mellom de ulike klassene ($P > 0,05$). Forklaringen til dette ligger nok i at metoden baseres seg på gjennomsnittlige fargeverdier (hele fisken – svarthinne) slik at eventuelle lokale variasjoner i farge på ulike fisker ikke kom fram etter at fargen ble midlet over hele fisken.

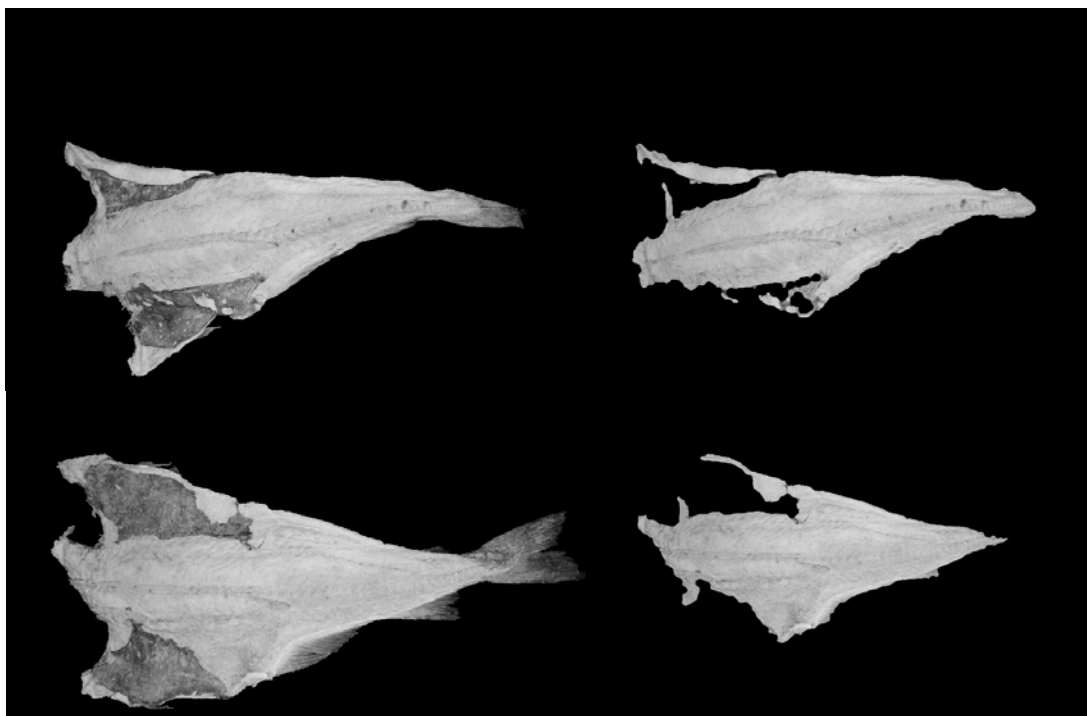
6.2.2 Segmentering

Det var relativt enkelt å segmentere hele klippfisken fra bakgrunnen (Figur 7) ved flere fargekanaler eller kombinasjon av disse. Dette er viktig når en skal analysere hele fisken (inklusive svarthinne) som ved for eksempel 2D fasong og klippfiskens morfologi.



Figur 7 – Segmentering av klippfisk fra bakgrunn. Bruk av fargetone (*hue*), b^* , R-B, (G-R) x B muliggjør robust segmentering av hele klippfisken fra bakgrunnen.

Segmentering av svarthinne fra 2D-bildene var noe mer utfordrende, men ved å velge en riktig tersklingssteknikk så ble resultatene meget gode (Figur 8). Scatterbildet fra 3D-kameraet var også en effektiv måte å segmentere klippfiskens grunnfarge (minus svarthinne) på (se Kap. 7.3).



Figur 8 – Segmentering av svarthinne fra et opprinnelig 2D-fargebilde av to klippfisk. Bildene til høyre viser de segmenterte, svarte områdene.

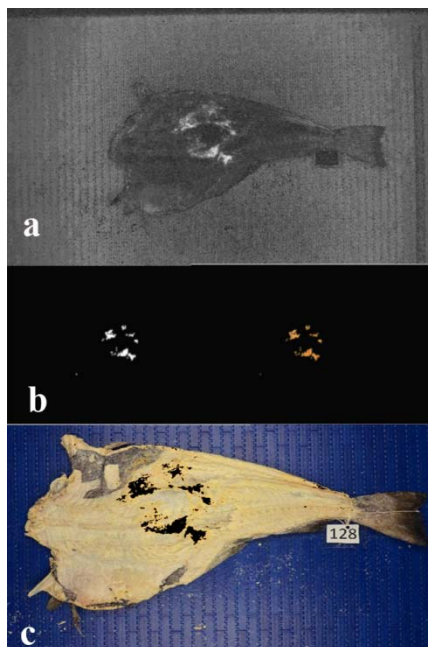
6.2.3 Fasong

Klassifisering med hensyn på mulige forskjeller i fasong mellom 'sortido-' og 'superiorfisk' var blant annet basert på geometriske parametere (rundhet, areal, lengde, bredde, og forholdet mellom disse) resulterte i en god nøyaktighet (90 % av fisken ble klassifisert riktig). Det var relativt enkelt å kvantifisere geometriske parametere og fiskens morfologi ved hjelp av bildeanalyse. En høyere nøyaktighet kan oppnås ved bedre detaljering av forskjellene som ble brukt som '*ground truth*' ut fra manuell analyse (vraker hos Jangaard Export AS). Mye tyder på at fiskene med vridd hale kan detekteres best ved å bruke 3D-kameraet, i og med at man både får en effekt på både scatterbildet (skinn er forskjellig fra muskel) og på 3D-profilbildet (høydeforskjell).

6.2.4 Flekker

Fargeanalysen av 2D-bildene var robust nok for deteksjon av flekker (lever- og blodflekker). Delta-E metoden, beregnet fargeforskjell mellom de 'gode' og de 'dårlige' pikslene som tilhører flekkene,

viste seg å fungere bra. De pikslene som tilhørte flekkene ble automatisk markert i det originale bildet (Figur 9c).

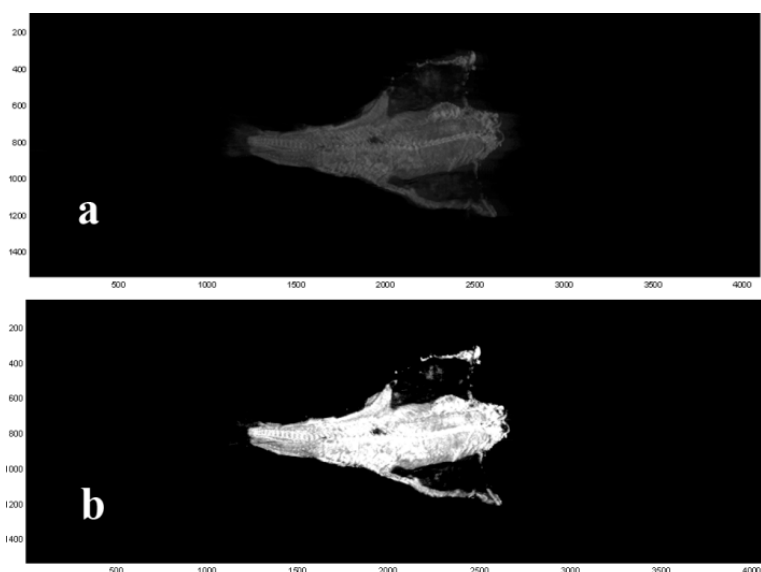


Figur 9 – Deteksjon av flekker fra et 2D-fargebilde, (a) Delta-E bilde som fremhever pikslene med størst differanse i forhold til gjennomsnittet, (b) segmentering av flekker, og (c) automatisk markering av flekkene på originalbildet.

6.3 3D maskinsyn

6.3.1 Scatterbilder, hull

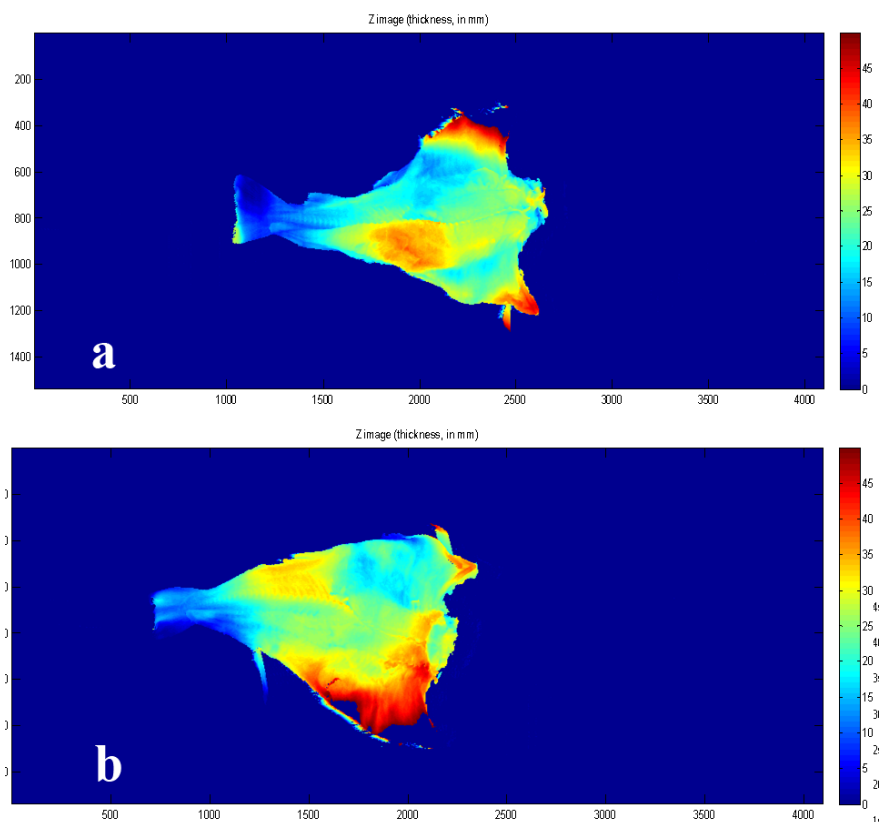
Bruk av scatterbilder viste seg å være en effektiv metode for deteksjon av forskjellige typer vev og defekter i overflaten. Forskjeller mellom for eksempel muskel og hull, skinn (vridde hale), eller andre strukturer (vev) kan visualiseres som vist i Figur 10.



Figur 10 – Et eksempel på et scatterbilde generert fra 3D-kameraet. (a) Det originale scatterbildet som i utgangspunktet viser forskjell mellom muskelvev og svarthinne, og (b) prosessert bilde for å tydeliggjøre forskjellene, samtidig kommer et hull til syne i midten av fisken. Metoden kan anvendes til klassifisering av klippfisk.

6.3.2 3D-profilbilder

Andre eksempler fra analyse av 3D-bildene er vist i Figur 11. Bildene er kalibrerte i dimensjon 'mm' og de er også fargekodet etter lokale høydeforskjeller på fisken. Foreløpig analyse viser at 3D-bildene kan være et effektivt hjelpemiddel for å detektere ujevnheter i overflaten. Disse kan, i kombinasjon med scarterteknikken, detektere hull og muligens spalter i klippfisken. Metodikken krever videre arbeid før vi kan si noe sikkert om nøyaktigheten av slike målinger. Som nevnt tidligere, synes deteksjon av spalter å være en viktig parameter for å kunne lykkes med automatisk sortering av klippfisk, jfr. Tabell 2.



Figur 11 – Kalibrert 3D-bilde i dimensjon 'mm'. Bildet er fargekodet for å vise lokale høydeforskjeller på klippfisken. Økende rødhet betyr større høydeforskjeller, mens de blå fargetonene betyr lavere høydeforskjeller (transportbåndet har nivå lik 0 mm). (a) En 'superiorfisk', og (b) en 'sortidofisk'.

6.4 Røntgen

6.4.1 Planrøntgen

På grunn av klippfiskens størrelse, måtte en ved bruk av en 'Planar X-Ray Imaging' maskin fra Siemens ta to røntgenbilder av hver fisk, der hvert bilde dekket et område på 43x43 cm (maksimalt deteksjonsområde). Det ble derfor laget en algoritme som i etterkant 'sydde' sammen segmentene til ett bilde, som så representerte en hel klippfisk. På grunn av varierende oppløsning (mm pr. piksel) i de forskjellige bildene, ser vi fra Figur 12 at bildesammensetningen ikke passet sammen optimalt. Det ble derfor valgt å prioritere sammensetningspunktet i ryggraden, og ikke langs hele den vertikale delelinjen i bildet. Det ble utarbeidet en algoritme som automatisk satte disse delene sammen rundt et felles punkt i begge bilder. Et eksempel på et slikt bilde er vist i Figur 12. Videre ble det laget en algoritme som filtrerte ut intensiteten og gjenkjente mønsteret i ryggbeinet ('pattern matching') (eksempel øverst i Figur 13). Som siste ledd i bildebehandlingen ble det utarbeidet en algoritme som regnet ut lengden på ryggbeinet (LR, se Figur 12) og som deretter sammenliknet LR med lengden av hele klippfiskens. Da lengden av ryggbeinet er en viktig kvalitetsparameter, ble det

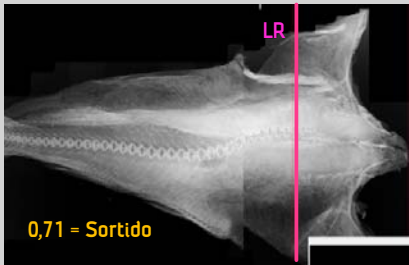
laget et kriterium for automatisk kvalitetsgradering basert på forholdet mellom lengden av klippfisk (L) og lengden på ryggbeinet (LR):

'Superior': $LR < 0,6 L$

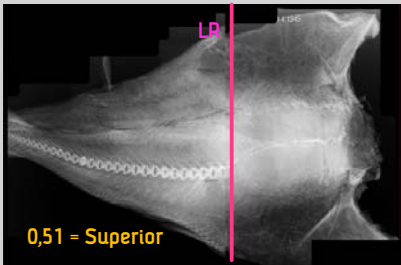
'Sortido': $LR > 0,6 L$

Grensene ble satt ved å sammenligne med 'fasit', i dette tilfellet vrakerens gradering av forsøksfisk. Ut i fra det begrensede antallet fisk som ble analysert ($n = 32$), kan vi konkludere med at både automatisk deteksjon ($n = 32$) og gradering ('superior' ($n = 4$) eller 'sortido' ($n = 5$)) fungerte godt ved bruk denne røntgenmaskinen i kombinasjon med de gitte algoritmene.

Røntgen : Sortering basert på lengde av ryggbein
Siemens Axiom Aristos FD-X 'Planar X-Ray Imaging'




0,71 = Sortido



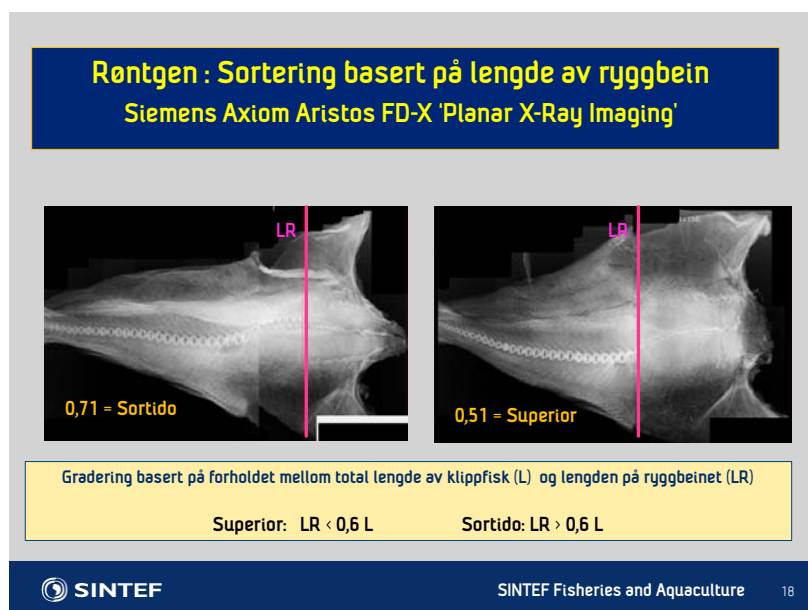
0,51 = Superior

Gradering basert på forholdet mellom total lengde av klippfisk (L) og lengden på ryggbeinet (LR)

Superior: $LR < 0,6 L$ Sortido: $LR > 0,6 L$



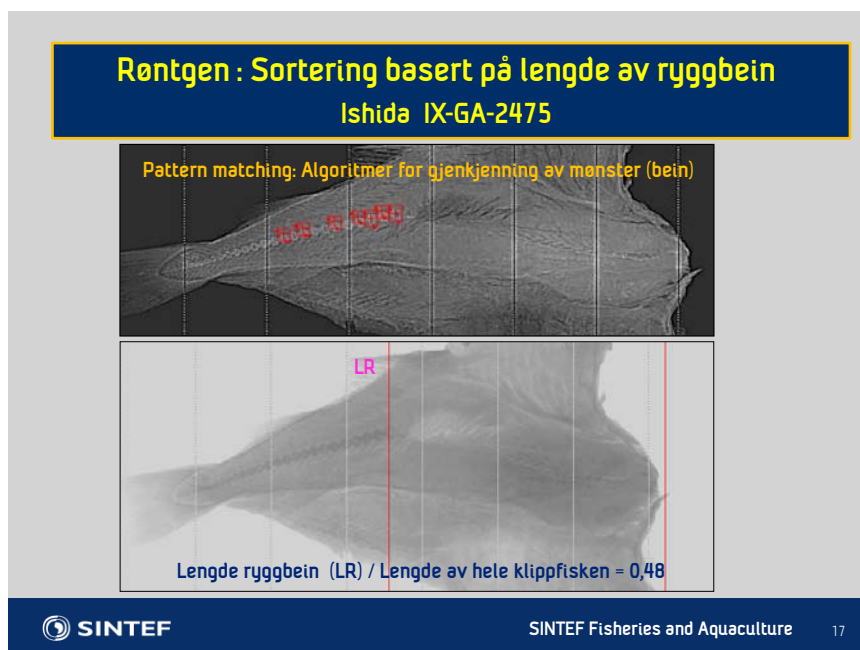
SINTEF Fisheries and Aquaculture 18



Figur 12 – Deteksjon av ryggbein for automatisk gradering av klippfisk ('superior' eller 'sortido'). Røntgenbilder fra Siemens 'Planar X-ray Imaging' (medisinsk planrøntgen). Bildene viser eksempler på 'superiorfisk' (til høyre) og 'sortidofisk' (til venstre) klassifisert på grunnlag av ryggbeinets lengde i forhold til lengden av hele klippfisken.

6.4.2 Online linjescan røntgen

Det ble også tatt bilder med en linjescan røntgenmaskin av typen Ishida IX-GA-2475. Denne maskinen tok flere røntgenbilder av hver fisk, der hvert segment dekket en bredde på 24 cm (maksimal deteksjonsbredde). Det ble også her laget en algoritme som i etterkant 'sydde' sammen de ulike segmentene til ett bilde av en hel klippfisk (Figur 13). Resultatet ble deretter behandlet av de samme algoritmene for automatisk deteksjon av ryggrad og videre gradering. Resultatet (Figur 13) viser at bildekvaliteten er betydelig dårligere enn vist i Figur 12, noe som kan forklares med den lave oppløsningen i linjescanmaskinen. Dette resulterte i at vi ikke fikk den samme kontrasten i beindeteksjonen. Dette gjorde det vanskeligere å ta i bruk teknikken med fremheving av ryggbeinene, slik som i planrøntgenbildene. På bakgrunn av dette, ble det i utgangspunktet vanskeligere å detektere riktig lengde av ryggbeinet (LR) noe som igjen kunne tenkes å gi en mer usikker klassifisering. Likevel må det sies at optimalisering av algoritmene trolig vil kunne gjøre det mulig å benytte bilder av dårligere oppløsning (som i Figur 13) for tilfredsstillende sortering på grunnlag av ryggbeinets lengde. Dersom en skal basere seg on-line instrumenter av denne typen, må naturligvis maskinens deteksjonsbredde økes slik at klippfisken kan analyseres med kun ett scan mens fisken ligger på transportbåndet.



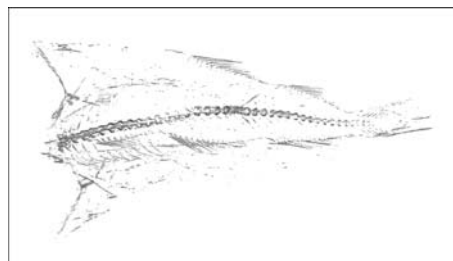
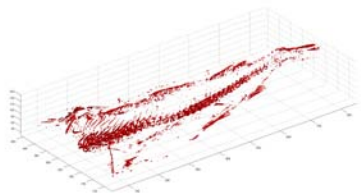
Figur 13 – Deteksjon av ryggbein for automatisk gradering av klippfisk ('superior' eller 'sortido'). Røntgenbildene er fra 'on-line maskinen' Ishida IX-GA-2475. Bildet øverst viser at mønsteret av ryggraden gjenkjennes og i bildet nederst ser vi at ryggradens lengde LR sammenliknes med lengden av hele fisken. Da forholdet LR/L i dette tilfellet var 0,48 (dvs $< 0,6$), ble denne fisken klassifisert som 'superior'.

6.4.3 CT røntgen

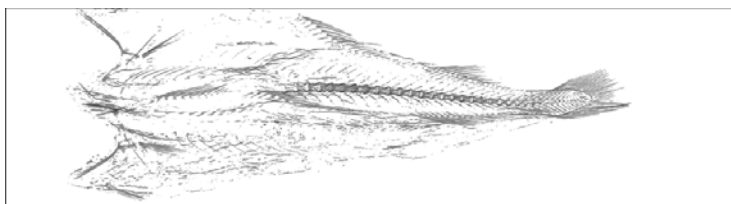
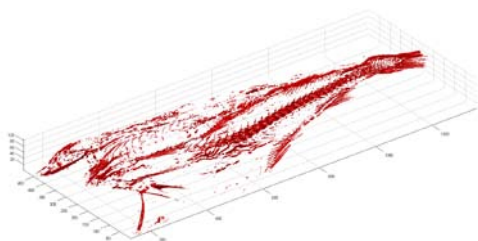
Bruk av CT røntgen er lite aktuelt til vårt formål her fordi en måling per fisk tar 2-5 min og fordi instrumentet koster flere millioner kroner. Metoden er likevel benyttet her for på generelt grunnlag å kunne vurdere hvilke muligheter en har for å studere ulike organer og for å klassifisere fisk basert 3D bilder.

Basert på CT-bilder i ulike plan gjennom klippfisk er det laget 3D-bilder som viser som viser ryggbein og bein i finner. Bildene er laget ved SINTEF Fiskeri og havbruk ved bruk av MATLAB (MathWorks, MA, USA) ved å sette en terskelverdi på densiteten som tilsvarer bein, og dermed visualisere beina. Dette er vist i rødt i Figur 14 der en sammenlikner to 'sortidofisk', en som ble nedgradert på grunn av lengden på ryggbeinet (a), mens den andre ble nedgradert på grunn av restblod langs ryggraden og at den hadde for høyt vanninnhold (b).

(a)

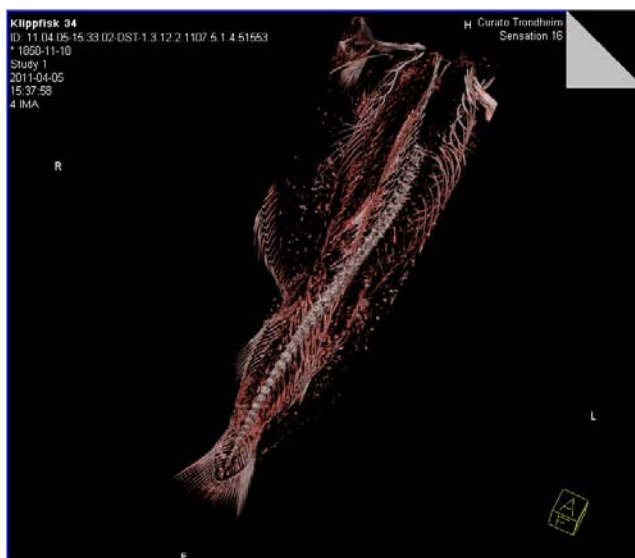


(b)



Figur 14 – Visualisering av CT-scan av klippfisk, med (a) og uten (b) ryggbein i fremre halvdel. Bildene i venstre kolonne er tersklede CT-scan og bildene i høyre kolonne er projiserte 2D bilder som kun viser beina.

Figur 15 viser røntgen 3D-bilder av en 'sortido' klippfisk hvor bildet er generert ut i fra CT-maskinens egen software (Siemens) ved Curato Røntgen AS. På grunn av ryggbeinets lengde ble fisken opprinnelig klassifisert som 'sortido'. Ut i fra bildene er det også laget en virtuell 3D-modell i 'avi'- filformat der fisken kan roteres fritt i rommet.



Figur 15 – To eksempler på røntgentomografi (CT)-bilder av en 'sortido' klippfisk. Bildene er laget ved bruk av CT-maskinens egen software (Siemens). Vi ser tydelig ryggbein, ørebein, ribbein og bein i finnene (lyse partier).

6.4.4 Røntgenstråling, dose og helse

Bruk av røntgen kan være forbundet med helsefare og røntgenstråling er av WHO klassifisert som et karsinogen (kreftframkallende). Dersom røntgen brukes i forbindelse med automatisert sortering av fisk, må enheten skjermes slik at personell i produksjonen ikke utsettes for stråling. Et annet

tema som kommer inn i denne forbindelse er det helsemessige aspektet ved bestråling av matvarer. Spesielt brukes røntgen og gammastråler for å redusere eller eliminere patogene mikroorganismer. Maten blir ikke radioaktiv ved slik bestråling, og når det gjelder det ernæringsmessige innholdet, så blir dette ikke påvirket. Bestrålt mat blir av WHO (1981, 1999) ikke ansett som en helserisiko. Dessuten må det påpekes at røntgenstråledosen, som anvendes i forbindelse med analyser slik som beskrevet i denne rapporten, er betydelig lavere enn den som brukes ved bestråling av matvarer (DeRuiter og Dwyer, 2002). Vi konkluderer med at det ikke er viktige helsemessige aspekter som forhindrer bruk av røntgen til sortering av klippfisk. Likevel bør en være klar over det faktum at en del mennesker har motforestillinger mot å spise mat bestrålt med røntgen.

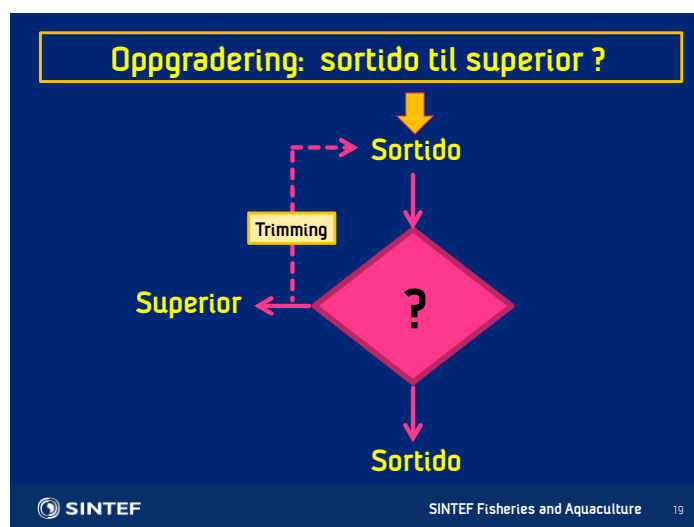
6.5 Er automatisk sortering av klippfisk mulig?

I dette forprosjektet har vi vist at det er mulig å detektere og automatisk sortere klippfisk med hensyn på form (omriss), og kvalitetsfeil som blodflekker, leverflekker, misfargede områder, lyshet og farge ved bruk av 2D maskinsyn. Imidlertid viste forsøket ved Jangaard Export AS at tilstedeværelse av ryggbein i den fremre delen av klippfisken, samt spalter/sprekker i fisken, var to kvalitetsfeil som ofte gikk igjen ved manuell nedklassing til 'sortido'. Dette er kvalitetsfeil som ikke enkelt lar seg detektere ved bruk av 2D maskinsyn. Som vist i dette forprosjektet kan imidlertid on-line røntgenutstyr relativt greit kunne detektere for lang ryggstøyle, mens 3D maskinsyn har potensialet til å kunne detektere spalter. Dermed kan vi konkludere med at det i prinsippet synes mulig å erstatte vrakerne med teknologi for automatisk sortering av klippfisk. Dog må en regne med å måtte kombinere 3-4 måleteknikker for å få dette til (Tabell 3). Når det gjelder kostnader forbundet med innkjøp av de ulike måleteknikkene, så kan nevnes at innkjøpsprisen for 2D/3D maskinsyn (hyllevare) ligger på omlag 150 kNOK. Kommersielt tilgjengelig utstyr for on-line røntgen (som for eksempel fra Ishida Co., Ltd.) ligger rundt 200-1200 kNOK, avhengig av applikasjon. Muligens vil en ikke kunne finne et kommersielt tilgjengelig røntgeninstrument som uten videre passer med hensyn til klippfiskens størrelse, i så fall må et slikt instrument tilpasses/ produseres. Passasjen (og transportbåndet) gjennom røntgeninstrumentet må være > 40 cm (Tabell 1). En kan tenke seg et system der en for eksempel sentrerer fisken langs en akse i lengderetningen slik at en kun scanner et gitt område langs ryggbeinet i det fisken passerer gjennom røntgenmaskinen. Videre trengs QMonitor fra Q-vision (pris anslagsvis rundt 500 kNOK) for å bestemme vanninnholdet i klippfisken. QMonitor kan utstyres med en UV/VIS-enhet som trolig kan detektere tilsvarende parametre som vist for 2D maskinsyn i denne rapporten. I tillegg til deteksjonsenhetene og klassifiseringsalgoritmene beskrevet her, må disse enhetene naturligvis koples opp mot et system for utkast av fisk i de ulike klassene.

Tabell 3- Måleteknikker som i kombinasjon kan gjøre det mulig å kvalitetssortere klippfisk on-line

Måleteknikk (bølgelengdeområde)	Deteksjon av
NIR (nær-infrarød stråling)	Vanninnhold
Røntgenstråling	Lengde av ryggbein
2D maskinsyn (synlig lys)	Farge, lyshet, flekker, misfarging og fasong
3D maskinsyn (laser = monokromatisk lys)	Overflatestruktur, hull og spalter

Ved manuell sortering hos Jangaard Export AS ble det ofte kommentert av vrakeren at enkeltfisk relativt enkelt kunne oppgraderes til 'superior' ved trimming eller ved å skjære bort enkelte mindre områder med tydelige kvalitetsfeil. Dersom klippfisk skal kunne sorteres automatisk, bør det lages algoritmer som gjør det mulig at fisk med relativt små kvalitetsfeil kan sorters fra for trimming og oppgradering (Figur 16). Noen ganger er det kun en type kvalitetsfeil som fører til nedklassing, mens andre ganger er det to eller flere feil som i sum fører til nedklassing. Vi ser for oss at problemstillingen kan løses blant annet ved at en kan gjøre det mulig å sette passende grenseverdier for hver enkelt kvalitetsparameter, som eventuelt kan vektas for en totalvurdering av fisken. Disse grenseverdiene bør være justerbare slik at de kan tilpasses den enkelte bedrifts behov.



Figur 16 – Ved manuell kvalitetssortering av klippfisk vurderes også muligheten for å oppgradere fisk med små kvalitetsfeil opp til 'superiorkvalitet'. Dette kan gjøres ved enkel trimming eller ved å skjære bort små områder med tydelige kvalitetsfeil. Denne problemstillingen bør også tas i betraktning for automatisk sortering ved å lage algoritmer som kan vurdere og vekte summen av ulike kvalitetsfeil.

7. Konklusjoner

- Ved manuell sortering av det aktuelle partiet klippfisk viste det seg at de to hyppigst forekommende kvalitetsfeil var *'for langt ryggbein'* og *'områder med sprekker/spalter'* (hver på ~ 20 % av det totale antall kvalitetsfeil). Da disse egenskapene er vanskelig å detektere med 2D maskinsyn, besluttet vi derfor å *'utvide'* prosjektet ved å inkludere måleteknikkene 3D maskinsyn og røntgen.
- Klippfiskens grunnfarge, farge og lyshet integrert over hele klippfisken (minus svarthinne), syntes ikke å være egnet sorteringskriterium.
- Kvalitetsfeil relatert til fasong (omriss) og flekker av ulike slag (blod, lever, etc) kan detekteres relativt enkelt ved bruk av 2D maskinsyn.
- Hull i klippfisk, og forskjeller mellom ulike typer vev, kan detekteres ved bruk av 3D maskinsyn (scatterteknikk).
- Graden av ujevnheter (høydeforskjeller) i klippfiskens overflate kan kvantifiseres ved bruk av 3D maskinsyn.
- Videre arbeid kreves for å kunne si noe sikkert om hvorvidt det er mulig å detektere spalter og sprekker i klippfisk med tilstrekkelig nøyaktighet for effektiv klassifisering. Resultatene tyder så langt på at det er mulig ved å bruke 3D maskinsyn (kombinasjon av profil- og scatterbilder).
- Det er laget algoritmer som gjenkjenner og detekterer ryggbeinets lengde (sorteringskriterium) ut i fra røntgenbilder.
- Sortering med hensyn på ryggbeinets lengde kan i prinsippet gjøres relativt enkelt med kommersielt tilgjengelig on-line utstyr (Ishida Co., Ltd.), men bruk av medisinsk planrøntgenutstyr (Siemens) ga bilder med høyere oppløsning som gjorde klassifiseringen enklere.
- På grunn av klippfiskens størrelse må en finne on-line røntgenmaskiner som tillater at fisken (bredde > 40 cm) kan passere gjennom maskinen.
- Et system for automatisert sortering av klippfisk bør kunne vurdere muligheten for å oppgradere *'sortidofisk'* til *'superiorfisk'* ved trimming.
- Teknikkene basert på 2D og 3D maskinsyn i kombinasjon med røntgen for fullstendig klassifisering av klippfisk må prøves ut og verifiseres i større skala.

8. Videre arbeid

FASE I

- Finne egnet leverandør av on-line røntgenutstyr der maskinen har tilstrekkelig stor bredde for at klippfisken kan passere gjennom maskinen.
- Optimalisere algoritmene for 2D/3D maskinsyn ved å analysere på store serier klippfisk.
- Etablere justerbare grenser for ulike kvalitetsfeil, og finne et system for hvordan disse samlet sett skal gi riktig klassifisering av klippfisken.
- Lage algoritmer som 'vurderer' om fisken skal oppgraderes ved trimming til 'superiorkvalitet'.

FASE II

- Samkjøring av de ulike måleteknikkene NIR (QMonitor), maskinsyn og røntgen.

9. Referanser

Erikson U, Misimi E (2008) Atlantic salmon skin and fillet color changes as effected by perimortem handling stress, rigor mortis, and ice storage. *J. Food Sci.* **73**: C50-C59.

DeRuiter FE, Dwyer J (2002) Consumer acceptance of irradiated food: dawn of a new area? *Food Serv. Tech.*: 47-58.

Mathiassen JR, Misimi E, Toldnes B, Bondø M, Østvik SO (2011) High-speed weight estimation of whole herring (*Clupea harengus*) using 3D machine vision. *J. Food Sci.* (in press).

Misimi E, Erikson U, Skavhaug A (2008) Quality grading of Atlantic salmon (*Salmo salar*) by computer vision. *J. Food Sci.* **73**: E211-E217.

Misimi E, Mathiassen JR, Erikson U (2007) Computer vision-based sorting of Atlantic salmon (*Salmo salar*) according to their color level. *J. Food Sci.* **72**: S030-S035.

Moran JM, Wise DP, Tetrault R, Carver JH (1965). Prototype automatic fish-bone detector. *Food Technol.*, May issue: 46-51.

World Health Organization (1981). Report of the joint FAO/IAEA/WHO expert committee. Wholesomeness of irradiated food. Geneva: WHO Technical Reports Series 659.

World Health Organization (1999) High dose radiation: wholesomeness of food irradiated doses above 10 kGy. Geneva: WHO Technical Report Series 890.

10. Epilog



Automatisk klassifisert klippfisk fra SINTEF Fiskeri og havbruk (innkjøpt fra Jangaard Export AS) brukt som kullisser i Vikingspelet 'Håkon og Kark' i Korsvika 23–24 juni 2011.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no