

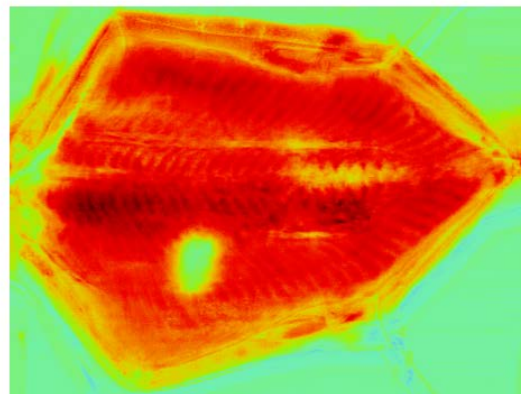
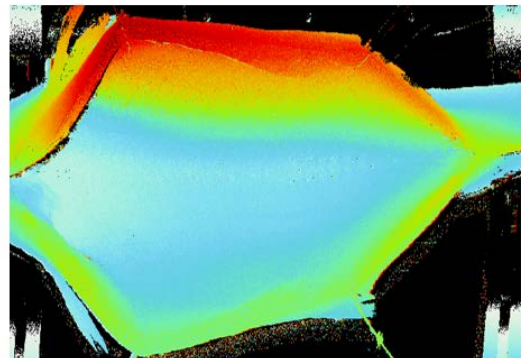
Faglig Sluttrapport

Automatisk bukinspeksjon av sløyd laks: Forprosjekt

Forfatter(e)

Elling Ruud Øye

Karsten Heia, Bendik Toldnes, Cecilie Salomonsen, Harry Westavik



Rapport

Automatisk bukinspeksjon av sløyd laks: Forprosjekt

EMNEORD:Laks,
bukinspeksjon,
maskinsyn**RAPPORTNR**

OC2017 A-135

VERSJON

1.0

DATO

2017-06-29

FORFATTER(E)

Elling Ruud Øye

Karsten Heia, Bendik Toldnes, Cecilie Salomonsen, Harry Westavik

OPPDRAAGSGIVER(E)

Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond FHF

OPPDRAAGSGIVERS REF.

Kristian Prytz

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

26+ vedlegg

GRADERING

Unrestricted

GRADERING DENNE SIDE

Unrestricted

ISBN

978-82-7174-304-8

SAMMENDRAG

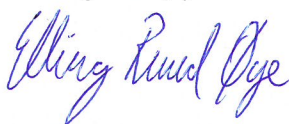
I dette forprosjektet har det blitt presentert mulige løsninger for maskinsynbasert automatisk bukinspeksjon av laks. Leveransen kan deles i to:

For selve maskinsynet ble det bygget og testet en fungerende, men manuell, prototype som har vist potensialet til å detektere melaninflekker, blod og objekter inne i buken med en kapasitet som er innenfor hva som er akseptabelt på et industrielt nivå. Det er likevel flere utfordringer som ikke er ferdig løst. Bukens geometri fører til at prototypen ikke alltid leser like verdier for hele buken, noe som kan føre til feildeteksjon (f.eks. at deler av muskel kan tolkes som melanin). Det har blitt presentert forslag til videreutvikling av maskinsynet for å håndtere disse utfordringene.

For den mekaniske delen har det blitt gjennomført en workshop med deltagere fra industri, utstyrsleverandører og forskere. Fra denne workshopen ble det lagt fram fire alternative metoder for å åpne buken automatisk og presentere den for maskinsynet. Av disse fire anbefales to konsept for testing i en eventuell videreføring av prosjektet.

**UTARBEIDET AV**

Elling Ruud Øye

**KONTROLLERT AV**

Ulf Erikson

**GODKJENT AV**

for Marit Aursand

**PROSJEKTNR**

302002533

RAPPORTNR

OC2017 A-135

VERSJON

1.0

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2017.06.02	Førsteutkast. Sendes til styringsgruppe for innspill.
1.0	2017.06.29	Ferdig rapport med innspill fra styringsgruppe.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	4
2	Problemstilling og formål	4
3	Prosjektgjennomføring	5
3.1	AP1: Kartlegging.....	5
3.2	AP2: Multispektral avbildning.....	5
3.3	AP3: Avbildning i stor skala, validering av lab. modell.....	5
3.4	AP4: Mekanisk konseptualisering	5
4	Resultater, diskusjon og konklusjon	6
4.1	AP1: Kartlegging.....	6
4.2	AP2: Multispektral avbildning.....	8
4.2.1	Konklusjon	9
4.3	AP3: Avbildning i stor skala, validering av lab. modell.....	10
4.3.1	Maskinsynoppsett.....	10
4.3.2	Skanning av laksebuk.....	11
4.3.3	Analyse.....	13
4.3.4	Kapasitet til skanning.....	16
4.3.5	Deteksjon av objekter i dybdebilde	17
4.3.6	Konklusjon	18
4.4	AP4: Mekanisk konseptualisering	19
4.4.1	Valg foretatt under workshop	19
4.4.2	Konseptualisering	19
4.4.3	Scoring av griperverktøy.....	20
4.4.4	Konklusjon	24
4.5	Oppsummering av resultater	25
5	Leveranser	26

BILAG/VEDLEGG

Spektral karakterisering av kvalitetsfeil sett i bukhinne på laks [Vedlegg 1]

Notat mekanisk konsept [Vedlegg 2]

1 Innledning

Arbeidet med kvalitetssortering, singulering og orientering av hel laks på lakseslakteri er meget arbeidsintensivt. Per skift er det vanligvis fire-fem personer som gjør denne jobben i et lakseslakteri. I hovedsak utføres følgende manuelle arbeidsoppgaver:

1. Singulering og orientering.
2. Kvalitetsgradering basert på ytre trekk.
3. Kvalitetsgradering basert på bukinspeksjon.

SINTEF Ocean har gjennom flere tidligere forskningsprosjekt utforsket automatiske løsninger for de to første oppgavene, men fullstendig automatisering av kvalitetssorteringen av hel laks vil ikke være mulig før også tredje og siste oppgave er automatisert. Det er i dag et ønske fra industrien om at også denne operasjonen automatiseres.

Hovedmålet er å utvikle automatisert kvalitetsgradering av hel sløyd laks basert på innvendig inspeksjon av buken. I dette inngår maskinsyn med algoritmer for automatisk klassifisering av de forskjellige kvalitetsklassene, samt mekanisk posisjonering av laksen slik at bukhulen kan inspiseres.

I dette forprosjektet ønsker man å kartlegge og dokumentere kriterier for inspeksjonen, samt komme fram til mulige konsepter for både maskinsyn og automatisk åpning og klargjøring av bukhulen for inspeksjon

Prosjektets deltagere er delt inn i en prosjektgruppe, en referansegruppe og en styringsgruppe:

Ansvarlig FHF
Kristian Prytz

Utførende prosjektleder
Elling Ruud Øye (SINTEF)

Prosjektgruppe
Karsten Heia (Nofima), Aleksander Eilertsen, Harry Westavik, John Reidar Mathiassen, Ekrem Misimi, Cecilie Salomonsen, Bendik Toldnes (alle SINTEF)

Referansegruppe
Frode Kjølås (Optimar), Vidar Olsen (Avanti Engineering).

Styringsgruppe
Ståle Høyem (Suempol Norge), Kolbjørn Jektvik (Marine Harvest), Brynjulf Kristensen (Nova Sea), Ragnar Sæternes (Sinkaberg-Hansen), Arne Andersen (Nordlaks).

2 Problemstilling og formål

Automatisk kvalitetsgradering av hel laks basert på inspeksjon av bukhulen vil for det første redusere arbeidskostnadene og ressursbruk siden dette i dag er en manuell oppgave. Behovet for manuell håndtering av laksen under inspeksjon vil reduseres, og dermed minskes risikoen for menneskelig kontaminering av laksen eller belastningsskader hos operatøren.

En programmert algoritme som skiller mellom de forskjellige kvalitetsklassene vil også gi et klarere og fastsatt skille mellom de forskjellige klassene. Dette gir større mulighet for dokumentasjon av hver enkelt

laks og legger til rette for sporbarhet fremover og bakover i systemet. Måledata fra bukinspeksjonen kan lagres og være med på å gi et bedre datagrunnlag for videre prosessoptimalisering.

I dette forprosjektet er målet, ut fra de resultater som har blitt oppnådd, å kunne gi en anbefaling på hvorvidt en slik automatisk bukinspeksjon er gjennomførbar og, om så, hvordan et slikt system best kan realiseres.

3 Prosjektgjennomføring

Prosjektet ble gjennomført med fire hovedaktiviteter som skulle gi et godt grunnlag til å vurdere om automatisert bukinspeksjon er realiserbart og hvordan dette kan gjøres:

3.1 AP1: Kartlegging

Første arbeidspakke gikk ut på å kartlegge hvilke ønsker industrien har for automatisk bukinspeksjon. Hvilke kriterier skal sorteres på, hvilke objekter, feil og mangler skal detekteres. Kartleggingen ble gjort gjennom et utvidet første styringsgruppemøte hvor medlemmene i styringsgruppa fikk legge fram sine ønsker og kriterier for inspeksjonen. Ut fra denne tilbakemeldingen ble det så bestemt hvilke av disse kriteriene det skulle fokuseres på videre i prosjektet for å best kunne demonstrere systemets potensiale innenfor prosjektets økonomiske ramme.

3.2 AP2: Multispektral avbildning

Forskjellige materialer i fisken (som blod, muskel og melanin) absorberer og reflekterer lys på forskjellige måter. Ved hjelp av multispektral avbildning som dekker lys i et stort spekter av bølgelengder kan man finne bølgelengder som gir sterkest kontraster mellom de forskjellige materialene og dermed gjør det mulig for maskinsynet å skille disse. I denne arbeidspakken ble det utforsket hvilken maskinsynteknologi som trengs for bukinspeksjon. Egnede bølgelengder ble vurdert i laboratoriet hos Nofima ved hjelp av multispektral avbildning av innsiden på et mindre utvalg av laksebucker med de aktuelle kvalitetsfeilene definert fra AP1.

3.3 AP3: Avbildning i stor skala, validering av lab. modell

Ut fra resultatene fra Nofima i AP2 ble det designet en maskinsynrigg i laboratoriet hos SINTEF. Denne riggen utgjorde en prototype for en endelig versjon i en eventuell videreføring av prosjektet og gav muligheten for realistisk testing av skanning av bukhalen. Et mindre antall laks ble analysert i riggen for å kunne gjøre vurderinger av kapasitet, kvalitet og deteksjonsmuligheter av trimmeobjekter i laksen.

3.4 AP4: Mekanisk konseptualisering

Siste arbeidspakke gikk ut på å komme fram til konsepter for den mekaniske åpningen av laksebuken. For at maskinsynet skal kunne analysere laksen er det svært viktig å komme fram til en robust og repeterbar metode for å presentere buken for maskinsynet. Det ble gjennomført en workshop med deltagere fra både industri og utstysleverandører for å komme fram til konsepter som kunne utføre denne oppgaven.

4 Resultater, diskusjon og konklusjon

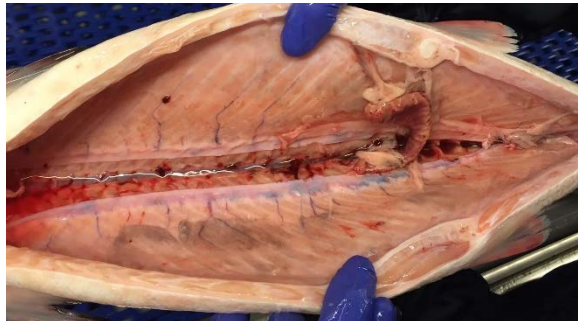
4.1 AP1: Kartlegging

Under det utvidede styringsgruppemøtet ble det lagt frem hvilke aspekter det var ønskelig at systemet skulle se etter. Det ble gjort en løpende vurdering gjennom prosjektet hvor mange av disse kriteriene man fikk testet maskinsynet på innenfor prosjektets budsjettamme. De tre første (rengjøring, blødninger og melanin) ble ansett som de viktigste og derfor ble det fokusert på disse tre under forprosjektet. Ut fra møtet ble det likevel klart at man ønsker seg en inspeksjon som tar hensyn til flere enn disse kriteriene og det er derfor en målsetning at en eventuell videreføring av prosjektet vil dekke flere av disse sorteringskriteriene. Under følger en liste over sorteringskriteriene som ble lagt fram under møtet:

- Rengjøring
 - Slorester
 - Blodrester
- Blødninger
- Melanin
- Sløyefeil/kuttskader
- Hinner
- Farge i laksemuskel
- Buktykkelse
- Gallemissfarging
- Bruskdannelse

Rengjøring

Superior fisk skal være godt rengjort og fri for alle innvollsrester. Noen blodrester kan aksepteres. Man bør se på muligheten for at maskinsynet detekterer objekter inne i bukhulen som skiller seg ut fra selve buken.



Blødninger

Maskinsynet bør lete etter bloduttredelser i hele buken. Det må utforskes om det er mulig å skille mellom blod under bukinnen og blødninger i selve muskulaturen. En annen utfordring blir å skille mellom blodrester som kan skylles vekk og faste bloduttredelser. I tillegg kan man se om det er mulig å detektere bloduttredelser som kommer fra ryggknekk.



Melanin

Maskinsynet bør lete etter melaninflekker i hele buken.



Sløyefeil/kuttskader

Her kan man se på et bredt spekter. Fra store sløyefeil (se bildet til høyre) til mindre kuttskader i hinne. De største sløyeskadene vil kanskje være så ødeleggende at den mekaniske åpningen av buken ikke lar seg gjøre.



Hinner

Maskinsynet bør kontrollere buken for hinnerester.

Farge i laksemuskel

Det bør testes ut at man kan benytte maskinsynet til å måle farge på laksemuskel. Det må da sees på teknikker som kan kompensere for den hvite bukhinna.

Buktykkelse

Man kan se på muligheten for å inspisere buktykkelsen ved hjelp av kamera. Tynn buk kan være et tydelig sykdomstegn. Det bør vurderes om dette gjøres best før eller etter at buken åpnes.

Gallemissfarging

Dersom gallemissfargingen blir så brutal som på bildet til høyre burde det også være mulig å finne fargeforskjeller inne i buken. Det kan også testes for mindre alvorlige tilfeller.



Bruskdannelse

Suempol ser en økende trend av bruskdannelse. Det er usikkert om dette kan observeres direkte fra en bukinspeksjon, men det er mulig at bruskdannelsen kan detekteres med røntgen. Dette er foreløpig utenfor prosjektets omfang, men kan vurderes senere i prosjektet.



4.2 AP2: Multispektral avbildning

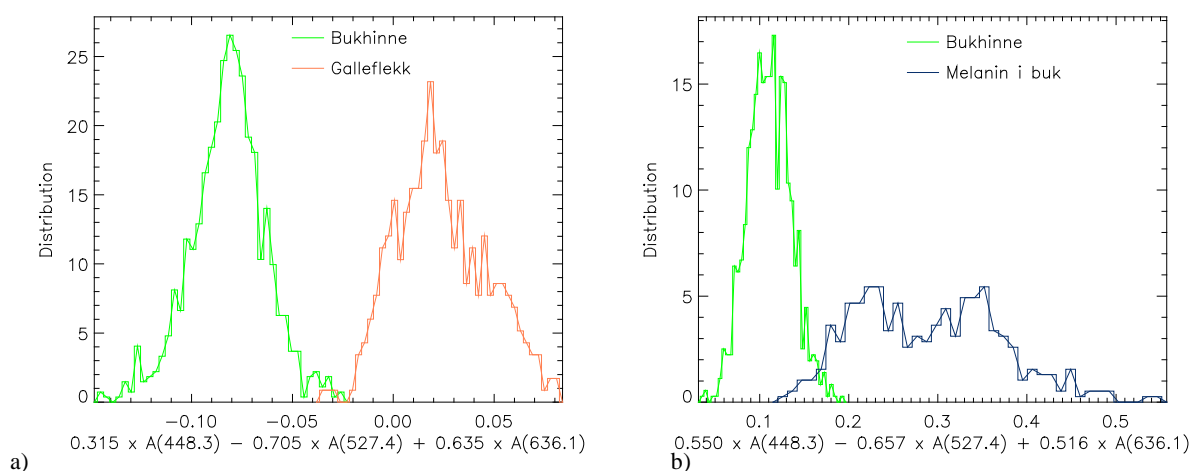
Dette avsnittet oppsummerer arbeidet som ble gjort hos Nofima for å komme fram til optimale bølgelengder for deteksjon av trimmeobjekt. Vedlegg 1 inneholder den fullstendige rapporten. For å kunne designe et optimalt oppsett for bukinspeksjon er det viktig å designe et egnet måleoppsett som kan implementeres i en produksjonsflyt med sløyd laks. For å kunne utvikle et enkelt avbildningssystem med en overkommelig pris er det viktig å finne et begrenset antall bølgelengder som er egnet for å påvise de aktuelle trimmeobjektene. Det arbeidet som her presenteres hadde til hensikt å finne et begrenset antall bølgelengder som kan inngå i et slikt avbildningssystem.

I dette notatet oppsummeres resultatene av spektral karakterisering av trimmefeil og bukhinne/buklist. Videre er det kjørt en Fisher Lineær Diskriminant Analyse for å bestemme hvilke bølgelengder som bør inngå i instrumentet som skal utvikles. I valg av spektrale band er det også tatt hensyn til hva som er kommersielt tilgjengelig dersom dette skal implementeres ved hjelp av linjelasere.

I gjennomgangen av de ulike trimmeobjektene det er aktuelt å påvise (blod, melanin og galle) fremkom 4 ulike bølgelengder som var optimale for å påvisning. Disse var **488, 537, 587 og 616 nm**. I en implementasjon av dette inspeksjonssystemet er det begrenset hvilke bølgelengder, i form av lasere og led-lamper, som er tilgjengelig å få kjøpt. For å redusere systemets kompleksitet er det også ønskelig å bruke færrest mulig bølgelengder. John Reidar Mathiassen og Ekrem Misimi ved SINTEF Ocean har funnet frem en liste med alternative led-lamper og linjelasere som kan tenkes brukt i den foreslåtte implementasjonen. Ut fra den listen er linjelasere mest aktuelt da det er flere bølgelengder å velge mellom. De linjelaserne som er aktuelle har følgende bølgelengder:

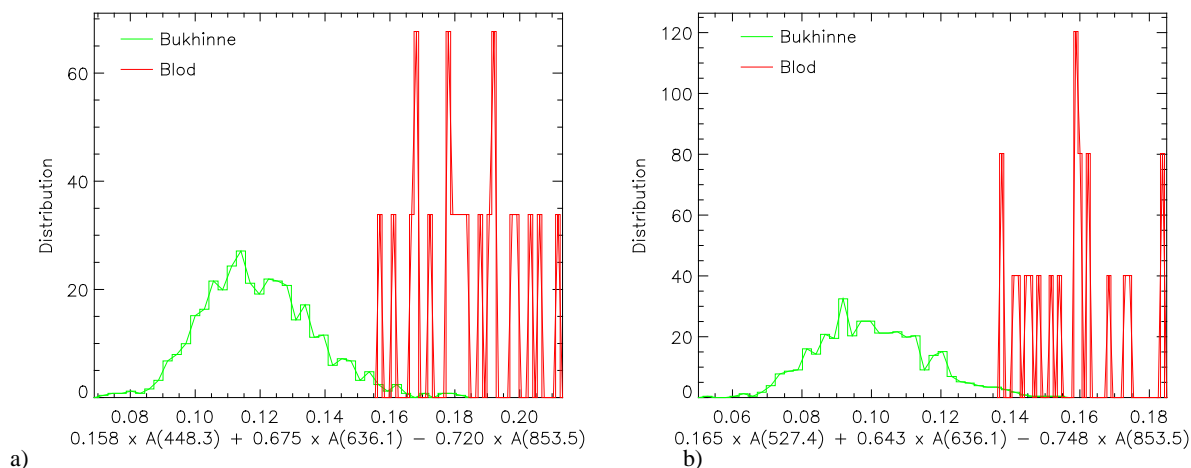
405, 450, 520, 532, 635, 640, 643, 660, 785, 808, 830, 850 og 980 nm

De linjelaserne som er nærmest de optimale bølgelengdene er 450, 532 og 635 nm. Disse tre bølgelengdene fungerer fint til å skille galleflekker og melanin fra «feilfri» bukhinne, men ikke så bra for blod. Egnethet for å skille melanin og galle fra bukhinne basert på tre kommersielt tilgjengelige bølgelengder er vist i Figur 1. Selv om ikke dette er de optimale bølgelengdene så klarer kombinasjonen av disse tre bølgelengdene å oppnå en Fisher Discriminant Ratio (FDR – se vedlegg 1, avsnitt 2.4) som er i samme størrelsesorden som to optimale bølgelengder.



Figur 1: Egnethet for påvisning av a) galle (FDR = 13.0) og b) melanin (FDR = 4.5) basert på tre kommersielt tilgjengelige bølgelengder, 450, 532 og 635 nm.

Selv om det foreligger lite blod i prøvematerialet, viser en Fisher Lineær Diskriminant Analyse at 846 nm er en god bølgelengde å inkludere i analysen. Siden det eksisterer en laser på 850 nm er det undersøkt hvordan denne laseren sammen med de tre andre valgte laserne fungerer for blodpåvisning.



Figur 2: Egnethet til å skille blod fra «feilfri» bukhinne basert på en lineærkombinasjon av absorpsjon på tre bølgelengder, a) 450, 635 og 850 nm og b) 532, 635 og 850 nm.

Som det fremkommer i Figur 2 vil 850 nm i kombinasjon med de andre tre tilgjengelige bølgelengdene være egnet for å skille blod fra «feilfri» bukhinne. Plottene her ser litt rare ut, men det skyldes at det er så få spektrale med blod som inngår i analysen.

4.2.1 Konklusjon

Tre typer «feil» som kan observeres i bukchulen på laks har blitt analysert, galle, melanin og blod. Felles for blod og melanin er at de kan opptre i bukkinne og/eller i muskelen under bukchinnen. Selv om avbildningen skjer i diffus refleksjon som i utgangspunktet er en overflatemåling er det ikke mulig å si om påvist flekk kun sitter i bukchinnen eller også sitter i muskelen. For sluttproduktet er kun blod og melanin i muskelen av interesse. Galleflekker sitter i utgangspunktet i bukchinnen, men kan forringe muskelkvaliteten og må derfor påvises.

Dersom det velges å bruke en kontinuerlig lyskilde i kombinasjon med bandpassfiltre så finnes det et stort utvalg av bandpassfiltre som kan benyttes som ligger nært de optimale bølgelengdene funnet i Fisher Linear Diskriminant Analysen:

488, 537, 587 og 616 nm.

Ved bruk av linjelasere og de gitte begrensningene på hvilke bølgelengder som er tilgjengelig så er anbefalingen at følgende linjelasere bør inngå i et inspeksjonsoppsett for bukchule på laks:

450, 532, 635 og 850 nm (linjelasere).

4.3 AP3: Avbildning i stor skala, validering av lab. modell

4.3.1 Maskinsynoppsett

Maskinsynkonseptet som ble designet består av et USB3.0-kamera og fire linjelasere med forskjellige bølgelengder. Hver laserlinje trigges sekvensielt sammen med kameraet som henter ut farge og 3D-informasjon for hver linje. Laksen føres forbi laserlinjen mens kameraet tar bilde. Alle bildene settes så sammen til et multispektralt bilde med 3D-informasjon over hele bukhulen som så kan analyseres.

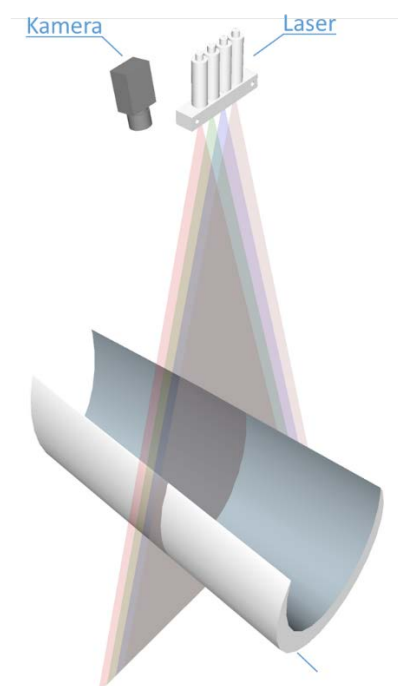
Kamera

Kamera som benyttes er et FLIR Grasshopper3 USB3.0-kamera (GS3-U3-23S6M-C). Dette kameraet oppnår en hastighet på 163 bilder per sekund (fps) på full oppløsning (1920x1200) og kan ved å redusere bildestørrelsen (som ved laserskanning) oppnå betydelig større hastighet.

F.eks. vil en oppløsning på 1920x100 piksler gi en hastighet på 1000 fps. Med ett bilde per bølgelengde gir dette 250 fps som betyr at et objekt som passerer forbi maskinsynet med en hastighet på 250 mm/s vil bli avbildet med en nøyaktighet på 1 mm per piksel.

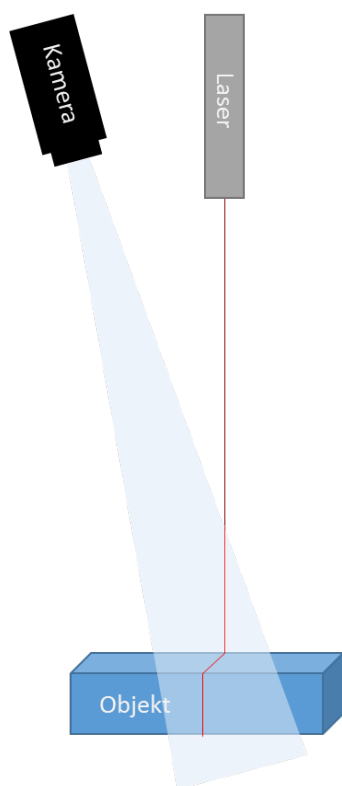
Laser

I arbeidspakke 2 ble det funnet et sett med optimale bølgelengder for å skille mellom blod, melanin og muskel. Ved fritt valg av bølgelengder ble følgende anbefalt: 488, 527, 587 og 616 nm. Siden linjelasere leveres i et mindre antall bølgelengder ble det så funnet en kombinasjon av disse som gir best resultat: 450, 532, 635 og 850 nm. Siden man i tillegg ønsker å trigge laserne hurtig for å kunne skanne med flere lasere samtidig ble det nødvendig å bytte ut 532, 635 og 850 nm med 520, 640 og 830 nm da laserne med de førstnevnte bølgelengdene ikke hadde denne muligheten.



Figur 3: Illustrasjon av maskinsynkonsept

Beskrivelse av metode



Figur 4: Lasertriangulering

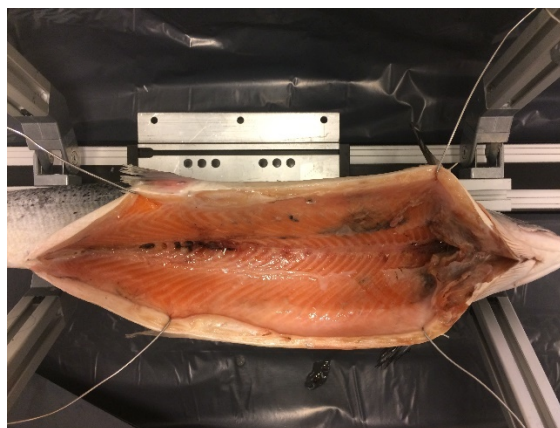
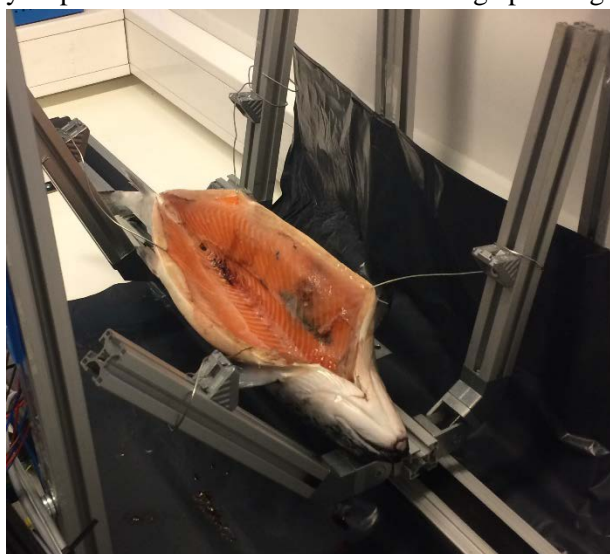
Maskinsynet benytter lasertriangulering for å finne dybdeinformasjonen i hvert bilde. Som illustrert i Figur 4 ser kameraet på området av objektet som er belyst med laserlinjen. Høydeprofilen beregnes ut fra hvor laserlinjen befinner seg i synsfeltet til kameraet. Samtidig som man finner posisjonen på laserlinjen måler man også refleksjonen til laseren langs objektet for å få fargeinformasjon. Denne prosessen gjentas sekvensielt for alle fire lasere mens objektet flyttes forbi og alle linjeskanningene settes sammen til et totalbilde av objektet.

Resultatet blir fire gråskalabilder (ett for hver bølgelengde) samt et dybdebilde som gir 3D-informasjon for hvert punkt i de fire andre bildene.

Analysen vil så deles i to: En del som detekterer objekter som er synlig som misfarginger (f.eks. blod og melanin) og en del som detekterer rester som ligger igjen i buken ut fra 3D-informasjon (f.eks. slorester).

4.3.2 Skanning av laksebuk

Seks laks ble levert fra Marine Harvest med en varierende grad av melaninflekker og noe blod i buken. Laksen ble manuelt plassert i en slede med fire stenger som hver hadde en metallkrok som ble festet i fire ytterpunkt for å holde buken tilstrekkelig åpen. Figur 5 viser hvordan fisken er plassert før skanning.



Figur 5: Buk klar til skanning

Etter at laksen ble plassert startes en steppermotor som driver sleden framover samtidig som kamera og laser trigges i sekvens. På bildet i Figur 6 vises laserlinjen i bukhalen mens laksen passerer kameraet. På bildet ser laserlinjen hvit ut. Dette kommer av at laserne skrues av og på i høy hastighet som fører til at kameraet som tar bildet summerer de forskjellige laserne til en hvitfarge. Kameraet som brukes til maskinsynet er derimot synkronisert til laserne og tar derfor bare bilde som viser en laser om gangen.

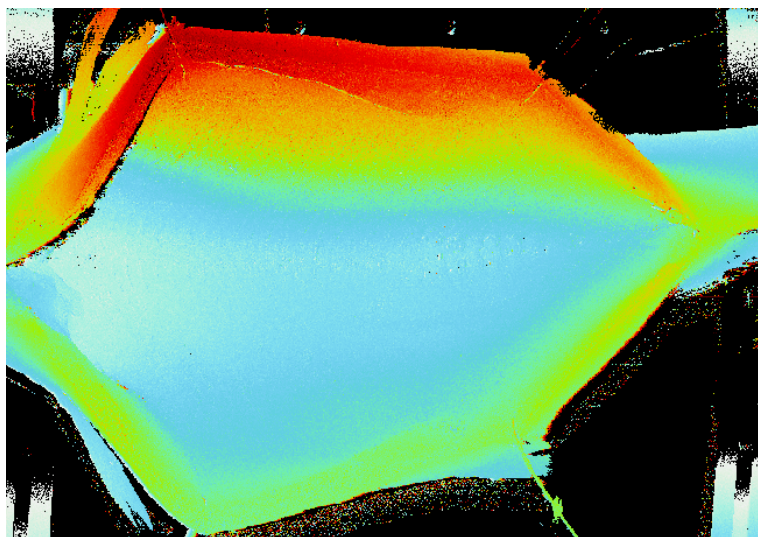
Skanningen ble i første omgang gjort i et rolig tempo tilsvarende 2 laks i minuttet for å kunne dokumentere hva som er mulig å detektere med høy oppløsning på bildet. I ettertid ble det gjort forsøk i større hastighet som er beskrevet i avsnitt 4.3.4.

Når hele laksen har passert laserlinja settes bildene sammen slik man kan visualisere laserrefleksjonen i de forskjellige bølgelengdene. Som man kan se i Figur 8 er det store forskjeller på bildene fra de forskjellige bølgelengdene. Blå og grønn laser (450 og 520 nm) reflekterer lite av laksekjøttet og det er vanskelig å skille melaninflekken nede til venstre i bildet. Rød og infrarød laser (640 og 830 nm) reflekterer derimot mye av muskelen og lite av melaninflekken noe som fører til at kontrasten mellom muskel og melanin blir betraktelig tydeligere.



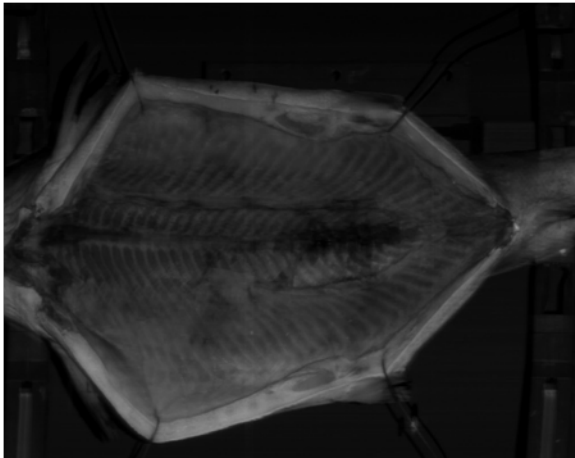
Figur 6: Laserlinje i buk

I tillegg til å visualisere refleksjonen fra laserne settes det også sammen et dybdebilde etter metoden beskrevet i avsnitt 4.3.1. Dybdeinformasjonen hentet fra hver laser er svært lik siden laserne ligger i samme linje. I Figur 7 vises dybdebildet til en laksebuk. Bildet er fargekodet slik delene av laksen som ligger nærmest kamera er farget rødt mens delene som ligger lengst unna er farget lyseblått.

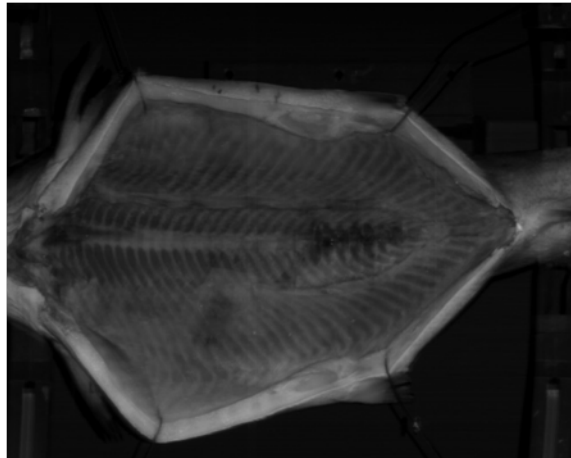


Figur 7: Dybdebilde av laksebuk

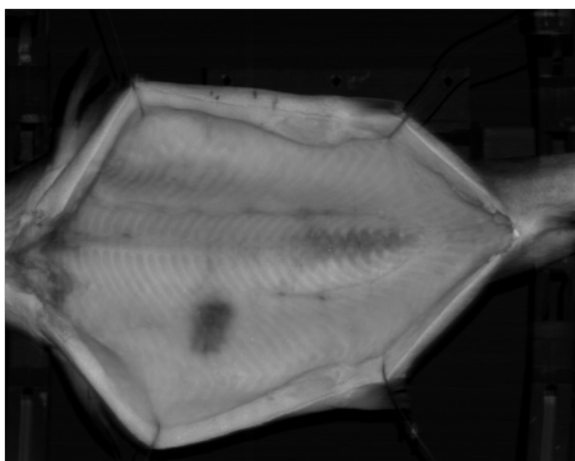
450 nm



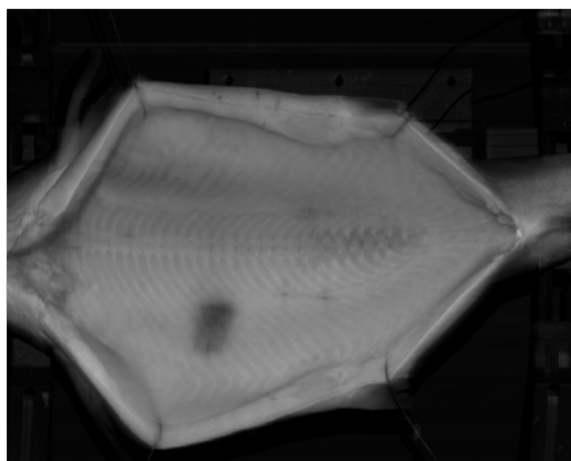
520 nm



640 nm



830 nm

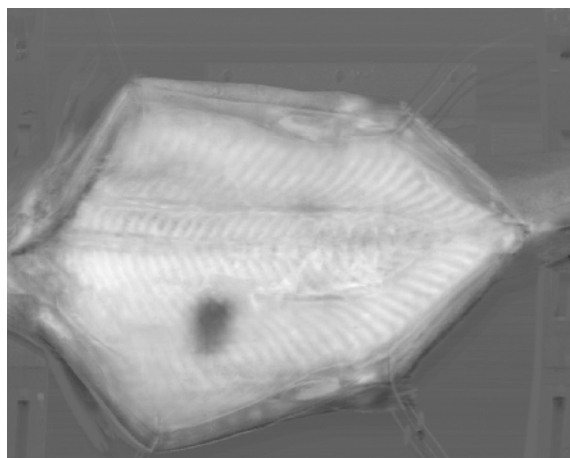


Figur 8: Laserrefleksjon i de forskjellige bølgelengdene for best deteksjon av trimmeobjekt

4.3.3 Analyse

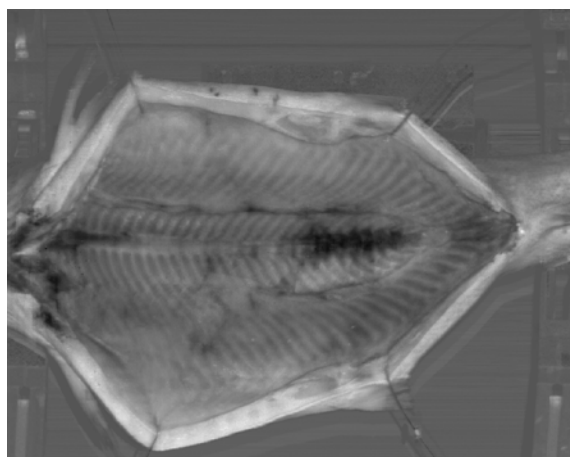
Det ble fokusert på å detektere blodflekker og melanin i hver av laksene som ble skannet. For å teste maskinsynets evne til å skille blodflekker og melanin fra muskel ble Lineær Diskriminant-Analyse (LDA) for to klasser brukt. Ved å analysere verdier fra to klasser (f.eks. melanin og muskel) kombinerer denne metoden data fra de fire forskjellige bølgelengdene til et resultatbilde som best skiller de to klassene.

I Figur 9a kan man se resultatet av LDA på laksen vist i Figur 8 hvor man ønsker å skille ut melanin fra resten av buken. Denne laksen har en svært tydelig melaninflekk med klar kontrast til muskelen i området rundt flekken.



a)

I Figur 9b er det igjen benyttet LDA, men denne gangen for å skille ut blod fra resten av buken.



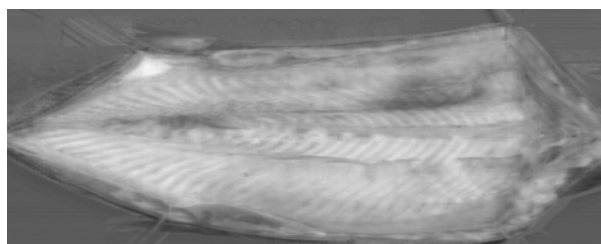
b)

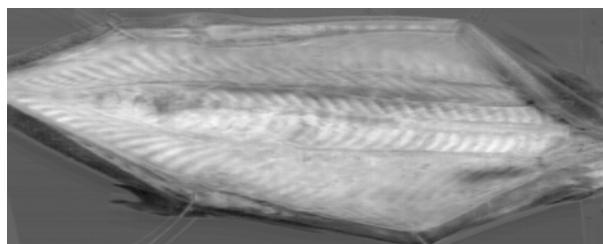
Figur 9: Resultatbilder etter LDA a) svarte flekker = melanin b) svarte flekker = blod

Melaninflekken i Figur 9a er svært markant. Dette gjør den forholdsvis enkel å skille ut for maskinsynet. I Figur 10 kan man se eksempler på forskjellige melaninflekker. I a) og b) er flekkene såpass tydelige at maskinsynet, ved å sette en felles terskelverdi for hva som skal detekteres som melanin, greier å skille ut flekkene fra resten av buken uten store støykilder. For c) er derimot flekken såpass svak at det er vanskelig for maskinsynet å skille mellom melanin og de mørkeste delene av muskelen.

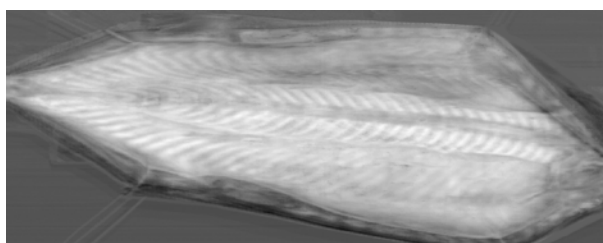


a) Melaninflekk oppe til høyre i bildet





b) Melaninflekk nede til høyre i bildet



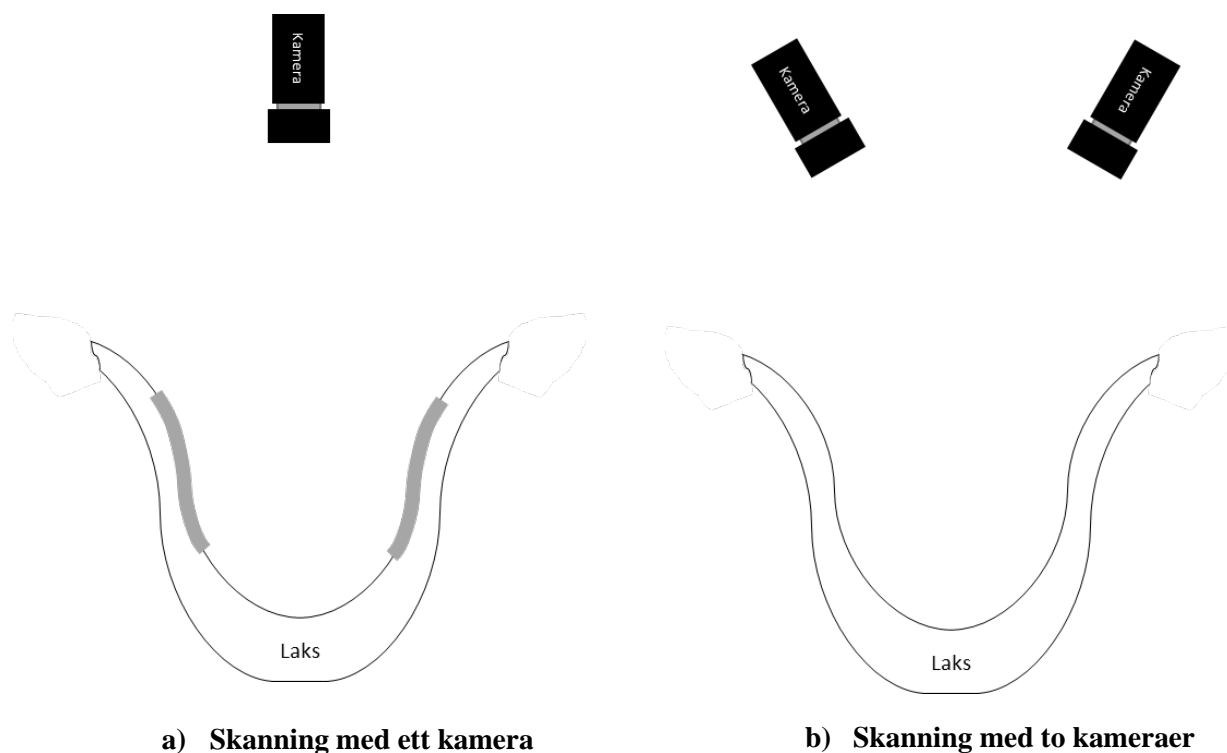
c) Antydning til svak melanin oppe til høyre

Figur 10: Eksempler på forskjellig grad av melanin

Resultatene fra skanningen viser også hvor viktig den mekaniske åpningen er for å sikre gode bilder. Dersom buken ikke ble åpnet vidt nok (dvs. at den øvre delen av buksida har en bratt vinkel i forhold til kamera og laser) ble det observert "skygger" langs sidene i buken. Dette kommer av at laseren ikke reflekterer like godt mot kameraet i de områdene av buken som vinkler laseren vekk fra kameraet (se brede grå linjer i Figur 11a).

For å motvirke denne effekten kan det gjøres to tiltak. For det første bør den mekaniske metoden for å åpne buken kunne ta tak i mer enn bare den øverste delen av buken. Måten laksen ble festet til maskinsynriggeren i dette forsøket (se Figur 5) fører til at den øverste delen av buken strekkes tilfredsstillende, men man risikerer at bukveggen lengre inne i buken fremdeles står bratt. En mekanisk løsning som konsept 1 eller 2 presentert i avsnitt 4.4.3 vil kunne ha muligheten for å dra eller skyve i større del av bukveggen.

I tillegg er det mulig å utvide maskinsynenheten til å inneholde to kameraer som vist i Figur 11b. Ved å la hvert kamera ta bilde av hver sin side av bukveggen og samtidig overlape bildet i bunnen av buken begrenser man hvor bratt bukveggen står i forhold til kameraet og vil derfor begrense "skygge"-effekten man ser ved bruk av bare ett kamera.



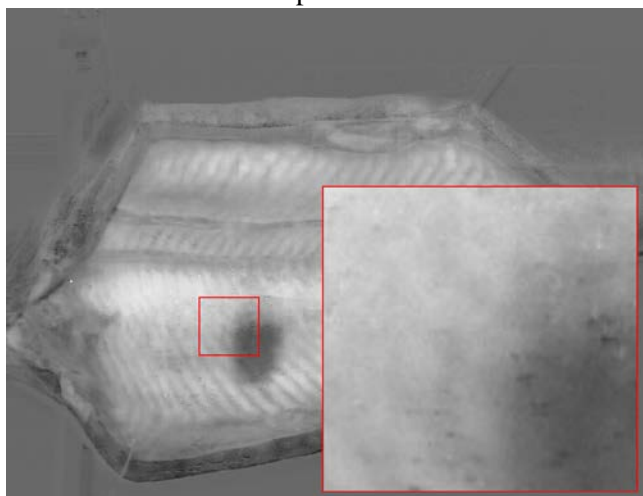
Figur 11: Effekt av bratt vinkel mellom bukside og kamera

4.3.4 Kapasitet til skanning

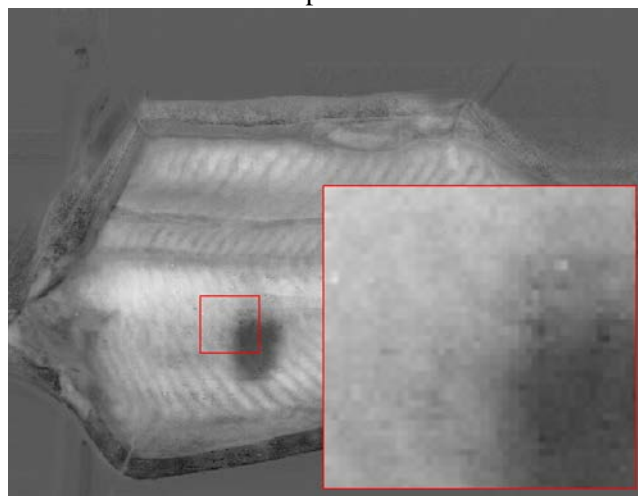
Et annet svært viktig aspekt ved skanningen er hvor fort systemet tåler at fisken sendes gjennom uten at bildekvaliteten gjør analysen dårligere. Under workshop i arbeidspakke 4 ble det forutsatt at systemet skulle greie 25 fisk per minutt. Dette er samme kapasitet som Baaders nye sløyemaskin. Med utgangspunkt i skanning av fisk i hastighet som tilsvarer 2 og 10 fisk per minutt er så skanningene resamplet for å simulere større hastigheter. Det er en betraktelig forskjell i oppløsning ved de forskjellige hastighetene: Ved 30 fisk i minuttet er oppløsningen på bildet 4 mm per piksel, ved 2 fisk er oppløsningen 0,25 mm. I Figur 12 vises endringen i oppløsningen (mm per piksel) på bildene etterhvert som hastigheten økes.

Med en oppløsning på 4 mm per piksel vil det fremdeles være mulig å finne melaninflekker og blodflekker med en diameter over ca. 2-3 cm. For små blodflekker vil det derfor bli vanskelig å detektere med god sikkerhet. To mulige tiltak for å forbedre oppløsning samtidig som man beholder samme kapasitet er å senke hastigheten på fisken som passerer og heller ha flere parallelle maskinsyn-enheter, eller å finne et kamera som kan ta bilder i større hastighet.

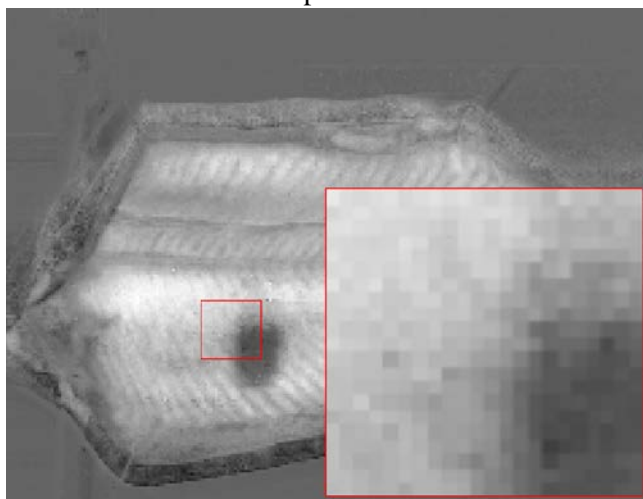
2 fisk per minutt



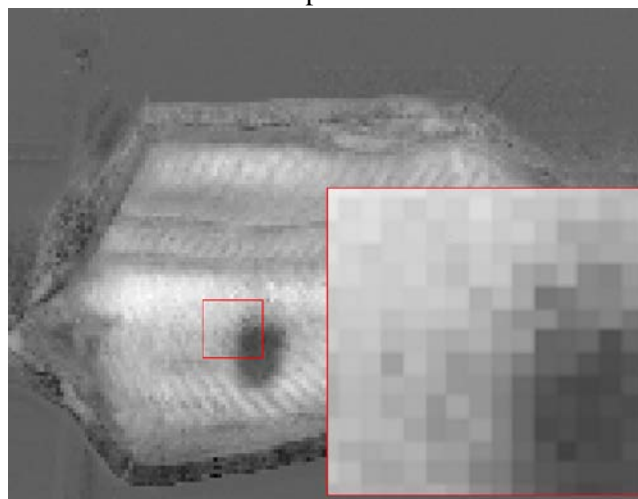
10 fisk per minutt



20 fisk per minutt

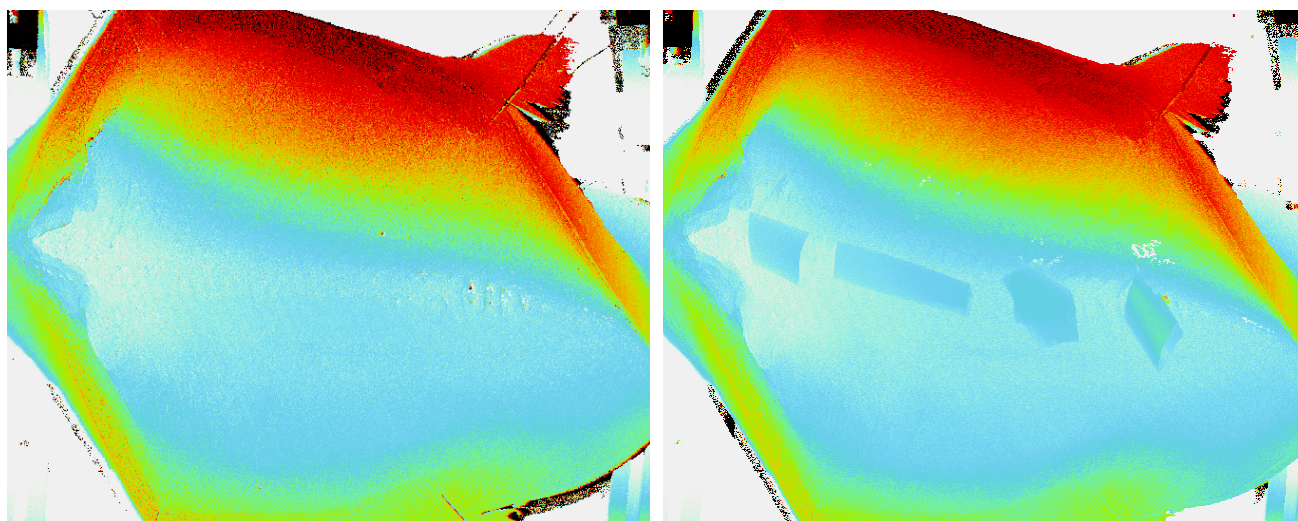


30 fisk per minutt


Figur 12: Skannhastighet og bildeklarhet

4.3.5 Deteksjon av objekter i dybdebilde

For å simulere innvollsrester eller andre objekt som skiller seg ut fra resten av buken ble det plassert objekter i forskjellige fasonger for å se på potensialet for å detektere disse. I Figur 13a ser man en ren buk mens i Figur 13b er det lagt inn fire objekt langs bunnen av buken. For å kunne detektere objektene utnyttet det at de lokalt stikker ut fra resten av buken. Ved å først prosessere dybdebildet med Niblack's adaptive tersklingsmetode slik at delene av bildet som skiller seg ut blir igjen, for å så redusere bildet for støy, gir resultatet som kan sees i Figur 13c. Her skiller objektene seg ut og det er lite annet målestøy å finne i buken.



a) Dybdebilde av ren buk

b) Dybdebilde av buk med objekter



c) Niblocks tersklingsmetode kombinert med morfologi for å redusere støy i bildet

Figur 13: Dybdebilde for deteksjon av uønskede objekt

4.3.6 Konklusjon

Maskinsynet som har blitt designet har blitt testet for deteksjon av melanin, deteksjon av objekter i buk og hvorvidt det kan oppnå en kapasitet som er høy nok til at systemet kan brukes i fabrikk. Ut fra de resultatene som er oppnådd viser maskinsynsystemet potensiale for å kunne utføre disse oppgavene, men som det er nevnt i avsnittene over er det fremdeles behov for videreutvikling. Her nevnes spesielt et oppsett med to kameraer (Figur 11) hvor kameraene har kapasitet til å ta flere bilder per sekund enn kameraet som er brukt i dag.

4.4 AP4: Mekanisk konseptualisering

Dette avsnittet oppsummerer arbeidet som ble gjort under og etter workshop. Den fullstendige rapporten kan leses i Vedlegg 2.

Den 17. november 2016 ble det gjennomført en workshop med følgende deltakere:

- Kolbjørn Jektvik, Marine Harvest AS
- Jim Lervik, Marine Harvest AS
- Frode Kjøllås, Optimar AS
- Ronny Andersen, Avanti Engineering AS
- Johan Moflag, Avanti Engineering AS

Workshopen ble ledet av Bendik Toldnes og Cecilie Salomonsen (referent).

Under denne workshopen ble både forutsetninger, morfologi og kravspesifikasjon presentert og diskutert før man satte i gang med idemyldring rundt ulike konsepter, først for verktøy for bukåpning og deretter for helhetlige konsepter for bukinspeksjon.

4.4.1 Valg foretatt under workshop

Fisken bør inspiseres i samme hastighet som den nye Baader sløyemaskin: 25 fisk per minutt

Konseptene som presenteres baserer seg på at det gjøres rett etter sløyemaskin. Da utnytter man singuleringen, orienteringen og kontrollen på fisken som man har i sløyemaskinen. Når fisken kommer ut av sløyemaskina har den sporen først og buken i været. Når all fisken blir likt presentert forenkler dette mekanikken som bukinspeksjonsenheten består av.

Når fisken kommer ut av sløyemaskina kan båndet forlenges slik at fisken fortsatt er fiksert med en haleklemme og sidestøtte. Da har man allerede klargjort fisken for inspeksjon.

4.4.2 Konseptualisering

I løpet av workshopen og som følge av scoringen av griperverktøy kom det fra fire hovedkonsepter. Disse konseptene blir presentert i delkapittel 4.4.3. I tillegg kom det fram to konsepter som man av ulike årsaker ikke går videre på.

Dette er:

- 1) Et konsept der man inspiserer laksen liggende på flatt bånd på et vilkårlig sted etter sløyemaskina. Dette konseptet utgår på grunn av den høye kapasiteten det vil kreve av bukinspeksjonsenheten. Her kan det for eksempel være snakk om 125 fisk/minutt (slik som hos Marine Harvest på Ulvan) på et bånd som går mellom sløyemaskin og sortering og dette anses som for utforende å løse. Da er det mer hensiktsmessig å foreta bukinspeksjon på et sted der laksen er delt opp i flere strømmer fra før. Et slikt egnet sted er umiddelbart etter sløyemaskinene.
- 2) Det andre konseptet som ble diskutert er å bygge om Baaders nye sløyemaskiner slik at man kan sette inn et kamera i tillegg som inspiserer buken etter at Baaders eget kamera har detektert om etterrensinga er god nok eller ikke. Alternativt kan man få Baader til å utvide funksjonaliteten på sitt maskinsyn. Dette konseptet blir ikke utdypet i dette notatet.

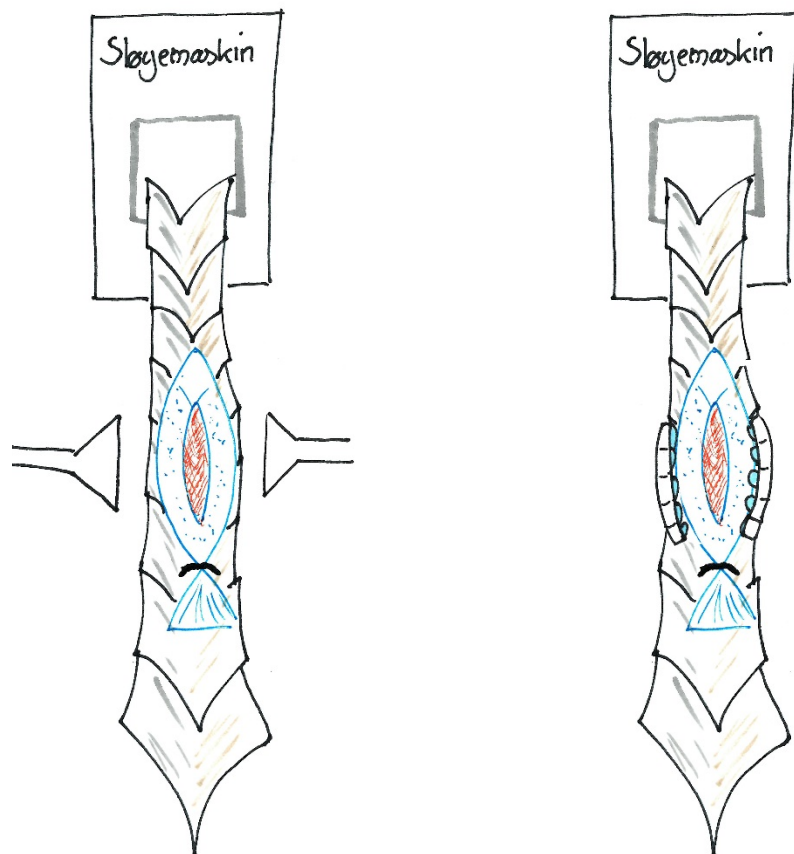
4.4.3 Scoring av griperverktøy

På workshopen kom det fram en rekke alternative griperverktøy. Disse ble vurdert av deltakerne ved hjelp av scorecard i etterkant av workshopen:

Gripeverktøy	Scoreoppnåelse av 25 mulige poeng (snitt)
Bryståpner (også under hel bukåpning): En anordning som griper tak i buklappene og drar de til siden, enten med krok eller heker.	10,8
Plate (også under hel bukåpning) som presser buken ned før gripere så tar tak i buklappene. Da sikrer man seg å vite hva som er senter på fisken	10,0
Vakuumbgriper (også under hel bukåpning): Vakuum (sugekopper) utvendig som drar ut buken.	19,3
Omvendt "pøseklype": Omvendt "pøseklype" over fisken som føres inn i bukåpningen og utvider seg for å åpne buken	14,8
Fjærbelastet V-form: Fjærbelastet V-form som ved hjelp av tyngdekraften og trykk i fjæra presser seg selv ned i buken på fisken.	14,5
Mekanisk arm med V-form: Mekanisk arm som fører en V-form ned ved gattåpningen og deretter presser ut buken fortløpende som fisken trekkes framover.	15,8
Sug fra sidene: Vakuumsug montert på siden av fisken (ikke i inngrep med fisken) som åpner en liten del av buken.	19,8
Trykkluft ovenfra: Trykkluft ovenfra som presser ut buklappene.	14,0
Bukfinneheker: Verktøy som tar tak i bukfinnene og spiler ut buken ved å dra i finnene.	6,0
Gjennomsiktig V-skål: Gjennomsiktig V-skål som presses ned i buken	7,0

Ut i fra scoringen har man valgt griperverktøy for de ulike konseptene.

Konsept 1: Delvis bukåpning med sug fra sidene eller vakuumbriper



Figur 14: Konsept 1

Når fisken kommer ut av en Baader sløyemaskin er den singulert, orientert, sentrert og holdt fast av en haleklemme. Mens fisken blir holdt fast kommer enheten som åpner buken delvis mens den føres framover og man bruker maskinsyn ovenfra for å ta fortløpende bilder av buken.

Åpningsmetoder

Sug fra sidene: Vakuumsug montert på siden av fisken (ikke i inngrep med fisken) som åpner en liten del av buken. (Denne åpningsmetoden må testes før man kan si hvordan den vil fungere i praksis.)

Vakuumbriper: Vakuum (sugekopper) utvendig som drar ut buken dersom det ikke fungerer å bruke sug fra sidene.

Når de nødvendige bilder er tatt blir de analysert og fisken klassifisert.

Utfordringer med konseptet:

Det er et problem med støy i lakseslakteriene. Når vakuum ikke tetter tilstrekkelig vil det være en kraftig ulelyd i lokalene og lakseslakteriene må forholde seg til lovverk angående dette.

En annen ulempe er at fisken også må holdes fast mens bukinspeksjonen pågår. Enten må det gjøres i sløyemaskina, eller så må det lages et arrangement etter sløyemaskinen som drar fisken videre gjennom suget slik at fisken ikke skal hope seg opp. I og med at fisken sjelden er symmetrisk må man også sjekke hvordan et identisk vakuumsug på begge sider vil påvirke en usymmetrisk fisk.

Konsept 2: Delvis bukåpning med mekanisk griper

Når fisken kommer ut av en Baader sløyemaskin er den singulert, orientert, sentrert og holdt fast av en haleklemme. Mens fisken blir holdt fast kommer enheten som går ned og åpner buken delvis mens den føres framover og man bruker maskinsyn ovenfra for å ta fortløpende bilder av buken.

Av verktøyene scorer omvendt "pølseklype" best og denne er skissert til høyre. Det er ikke gitt at dette er den eneste løsningen som vil fungere. Det er opp til videreutvikling av konseptet å definere utforming av griperverktøyet.

Alternative åpningsmetoder:

Bryståpner: En anordning som griper tak i bukklappene og drar de til siden, enten med krok eller hekter.

Plate som presser buken ned før griper så tar tak i bukklappene. Da sikrer man seg å vite hva som er senter på fisken.

Omvendt "pølseklype": Omvendt "pølseklype" over fisken som føres inn i bukåpningen og utvider seg for å åpne buken.

Fjærbelastet V-form: Fjærbelastet V-form som ved hjelp av tyngdekraften og trykk i fjæra presser seg selv ned i buken på fisken.

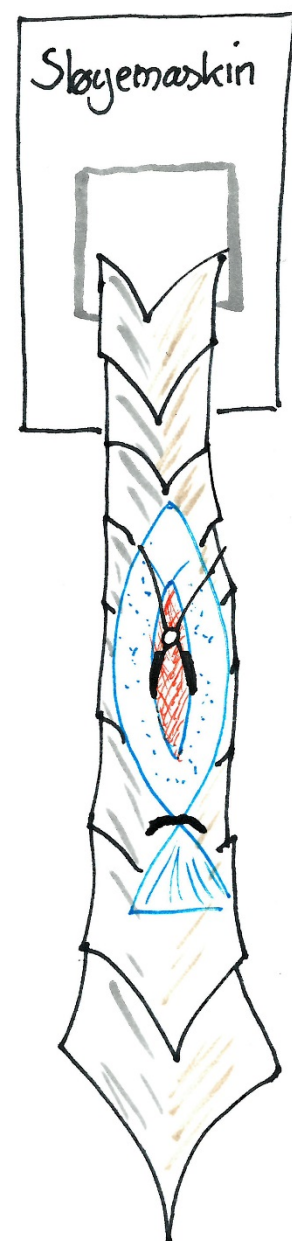
Mekanisk arm med V-form: Mekanisk arm som fører en V-form ned ved gattåpningen og deretter presser ut buken fortløpende som fisken trekkes framover.

Når de nødvendige bilder er tatt blir de analysert og fisken klassifisert.

Utfordringer med konseptet:

Gripeverktøyet er i kontakt med fisken og må holdes rent. Dette krever et hygienisk design og mye renhold.

Dette konseptet har flere bevegelige deler og krever derfor mer finmekanikk enn konsept 1.



Figur 15: Konsept 2

Konsept 3: Hel bukåpning

Når fisken kommer ut av en Baader sløyemaskin er den singulert, orientert, sentrert og holdt fast av en haleklemme. Mens fisken blir holdt fast kommer enheten som går ned og åpner buken helt.

Alternative åpningsmetoder:

"Bryståpner": En anordning som griper tak i bukklappene og drar de til siden, enten med krok eller heker.

Plate før griper: Plate som presser buken ned før gripere så tar tak i bukklappene. Da sikrer man seg å vite hva som er senter på fisken.

Vakuumbgriper: Vakuum (sugekopper) utvendig som drar ut buken.

Når buken så er åpen kan maskinsynet ta et bilde av hele innsiden av buken. Bildet blir deretter analysert og fisken klassifisert.

Utfordringer med konseptet:

Når hodet sitter på fisken er det ikke mulig å brette fisken helt flatt ut. Dermed må maskinsynet likevel ta hensyn til skråstilte bukvegger. Derfor utgår dette konseptet til fordel for delvis bukåpning, konsept 1 og 2.

Vi har fortsatt med konseptbeskrivelsen fordi man kan se for seg at noen vil bruke bukinspeksjon på et sted der hodet er kappet av. Da kan man muligens bruke en enklere form for maskinsyn på fisk som kan brettes helt ut.

Konsept 4: Lukket buk, men kamera føres inn

Når fisken kommer ut av sløyemaskinen er den singulert, orientert, sentrert og holdt fast av en haleklemme. Deretter detekteres senter på fisken samt gattåpningen. Her kan man f.eks. ta i bruk en styrepinne før maskinsynenheten.

Deretter føres maskinsyn inn i sløyekuttet uten at buken åpnes. Fisken trekkes fram mens kameraet/sensoren står i ro og tar bilder gjennom buken. Maskinsynet inspiserer buken, tar bilder som analyseres og deretter kategoriseres fisken.

Utfordringer med konseptet:

Per i dag så vil kostnadene med å utvikle egnet maskinsyn til dette formålet være store. Det finnes kikkhullsteknologi for 360 graders avbildning av den menneskelige bukhole, men denne type avbildning opererer med en mye lavere hastighet enn hva som er aktuelt for bukinspeksjon av laks.

Scorecard og vurdering av konsept 1 og 2

Konsept 1 og 2 ble vurdert av workshopdeltakerne, styringsgruppa og internt på SINTEF. Resultatene av vurderingen vises i tabellen under.

Egenskaper (fra kravspesifikasjon):	Vekting	Relevans	Konsept 1 - Åpne buk delvis med vakuumsug	Konsept 2 - Åpne buk delvis med mekanisk verktøy
Oppdage alle feil i hele buken	2,5	10,9 %	4,2	3,8
Evne til å treffe sløyekutt	3,0	13,1 %	4,3	3,6
Åpning av buk (gitt riktig verktøy)	3,0	13,1 %	3,7	4,2
Hastighet/kapasitet	2,7	11,6 %	3,7	4,3
Brukervennlighet mht drift og vedlikehold	2,4	10,5 %	3,5	3,8
Hygiene og renhold	2,9	12,7 %	3,6	3,7
Kort nedbetalingstid	1,6	6,9 %	2,8	3,6
Tar liten plass	1,8	8,0 %	2,8	3,6
Realiserbarhet av konsept	3,0	13,1 %	3,4	4,1
Total score:	22,9	100 %	32,0	34,8
Relative Score			362,5	389,2

Når man så på verktøy alene scoret vakuum høyest, men når man ser på hele konseptet fremgår det av tabellen at en mekanisk åpning av buk har en bedre måloppnåelse på flere viktige punkter enn vakuummetsoden. Begge løsningene vil ventelig kunne fungere i praksis, men begge krever utvikling og testing på hver sine områder.

4.4.4 Konklusjon

Dersom forprosjektet videreføres bør det gjøres tester på både konsept 1 og 2. Begge konseptene har som tidligere nevnt ulike utfordringer knyttet til seg. Det må særlig sees på om vakuumsug klarer å åpne buken i tilstrekkelig grad. Dersom dette går så kan dette konseptet få et bedre hygienisk design enn om man må bruke en griper som er i direkte kontakt med fisken. Både vakuumsuger og mekanisk griper vil være i kontakt med fisken. I tillegg må man se på hvor mye støy et vakuumsug vil skape og om det vil være nødvendig å gjøre tiltak for å redusere problemet. En annen utfordring med å bruke vakuumsug er at fiskerester som blir sugd inn i maskinen må håndteres. Dette kan medføre resurskrevende renhold og vedlikehold.

Endelig utforming og detaljering av griper gjenstår. Der kom det ikke fram et entydig svar selv om det er en viss preferanse for vakuum, mekanisk arm eller "pøseklupe". Hovedfunnene som bør tas med videre er hvor bukinspeksjon bør gjøres; umiddelbart etter bukinspeksjon, på grunn av fordelene med en gitt makskapasitet samt at fisken kommer singulert og orientert.

4.5 Oppsummering av resultater

I dette forprosjektet har det blitt presentert mulige løsninger for maskinsynbasert automatisk bukinspeksjon av laks. Leveransen kan deles i to:

For selve maskinsynet ble det bygget og testet en fungerende, men manuell, prototype som har vist potensialet til å detektere melaninflekker, blod og objekter inne i buken med en kapasitet som er innenfor hva som er akseptabelt på et industrielt nivå. Det er likevel flere utfordringer som ikke er ferdig løst. Bukens geometri fører til at prototypen ikke alltid leser like verdier for hele buken, noe som kan føre til feildeteksjon (f.eks. at deler av muskel kan tolkes som melanin). Det har blitt presentert forslag til videreutvikling av maskinsynet for å håndtere disse utfordringene.

For den mekaniske delen har det blitt gjennomført en workshop med deltagere fra industri, utstyrsleverandører og forskere. Fra denne workshopen ble det lagt fram fire alternative metoder for å åpne buken automatisk og presentere den for maskinsynet. Av disse fire anbefales to konsept for testing i en eventuell videreføring av prosjektet.

For en eventuell videreføring av prosjektet anbefales det å kjøre to parallelle løp:

- Det ene løpet tar utgangspunkt i maskinsynet som er testet i arbeidspakke 3 og videreutvikler dette basert på de forslagene som er presentert i denne rapporten.
- Det andre løpet går ut på å teste konsept 1 og 2 fra arbeidspakke 4 og fra disse testene vurdere om det er mekanisk løsbart å presentere laksebukken til kameraet på en slik måte at maskinsynet kan gjøre jobben uten manuell innblanding.

De to løpene er selvsagt avhengig av hverandre. Selv om man etter videreutvikling av maskinsynet oppnår en kvalitet og robusthet som er egnet for industriell bruk, er kameraene avhengig av en mekanisk løsning som kan erstatte den manuelle plasseringen og oppstrammingen av buken som prototypen benytter i dag. Det er også ønskelig at man under oppstarten av en eventuell videreføring tar kontakt med leverandører av sløyemaskiner for å se på muligheten for å kombinere maskinsynet som utvikles sammen med allerede kommersielt tilgjengelige sløyemaskiner. En slik løsning, hvor maskinsynet kan plasseres i allerede eksisterende maskiner, vil redusere behovet for plass til en ny maskin og kanskje også fjerne behovet for å utvikle en ny mekanisk løsning for bukåpning gitt at bukåpningen i sløyemaskinen gir maskinsynet god nok tilgang til bukhulen.

Det vil være for tidlig å si noe relevant med hensyn til prisen på et komplett system som vil kunne ha mange ulike konfigurasjoner. Når det gjelder maskinsyndelen vil den bestå av ett eller kanskje to kameraer. Det kameraet som ble brukt i dette prosjektet, se avsnitt 4.3.1, har per dags dato en pris av ca. NOK 8 500,- og de fire anvendte laserne har en total kost på ca. NOK 40 000,-. Sannsynligvis vil ikke disse komponentene være mest fordyrende del av systemet. Programvareutvikling er en førstegangskostnad for utvikling og vil bli fordelt på antall solgte enheter/lisensiert ut, men må nødvendigvis være gjenstand for oppdateringer og videreutvikling. Den mekaniske enheten for å tilgjengeliggjøre bukhulen for kamera og lys antas å utgjøre den største kostnaden, gitt at maskinsynet ikke kan plasseres direkte inne i en allerede eksisterende sløyemaskin. I tillegg kommer kostnader med ombygging av produksjonslinjen, implementering og opplæring av personell.

5 Leveranser

- Referat fra styringsgruppemøte med dokumentasjon av krav til inspeksjon
- Kort notat om multispektral bildeanalyse
- Referat fra statusmøte med styringsgruppen
- Kort notat med konseptskisse for maskinsyn og mekanisk løsning
- Referat fra styringsgruppemøte hvor konseptskissen er behandlet
- Presentere resultatet fra prosjektet for FHF's faggruppe for havbruk (Tidspunkt avtales med FHF)
- Faglig sluttrapport med anbefaling til et hovedprosjekt
- Populærvitenskapelig sammendrag



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no

VEDLEGG 1

Notat

<i>Tittel:</i> Spektral karakterisering av kvalitetsfeil sett i bukhinne på laks	<i>Tilgjengelighet:</i> Konfidensiell
	<i>Dato:</i> 21.10.2016
<i>Forfatter(e)/Prosjektleder:</i> Karsten Heia	<i>Ant. sider og vedlegg:</i> 15
<i>Avdeling:</i> Sjømatindustri	<i>Prosjektnr.:</i> 11684
<i>Oppdragsgiver:</i> SINTEF Fiskeri og havbruk AS	<i>Oppdragsgivers ref.:</i> Elling Ruud Øye
<i>Kommentarer:</i> Formålet med arbeidet beskrevet her var å finne et sett med anbefalte bølgelengder for bruk i et synssystem for bukhuleinspeksjon på laks.	

Innhold

1	Innledning	1
2	Materiale og metode	2
2.1	Råstoff	2
2.2	Hyperspektral avbildning i diffus refleksjonsmodus	3
2.3	Kalibrering av hyperspektral data	3
2.4	Fisher Lineær Diskriminant-Analyse (LDA)	4
3	Spektral karakterisering av buk og trimmeobjekter	6
3.1	Bukhinne og buklist	6
3.2	Galleflekker.....	7
3.3	Melanin.....	8
3.4	Blod.....	10
3.5	Optimale bølgelengder for påvisning av trimmeobjekter.....	11
4	Konklusjon.....	13

1 Innledning

I dette prosjektet skal det utvikles teknologi og løsninger for automatisk bukinspeksjon på sløyd laks. Typiske kvalitetsfeil som skal påvises er galleflekker, melanin og blod. For å kunne designe et optimalt oppsett for bukinspeksjon er det viktig å designe et egnet måleoppsett som kan implementeres i en produksjonsflyt med sløyd laks. For å kunne utvikle et enkelt avbildningssystem med en overkommelig pris er det viktig å finne et begrenset antall bølgelengder som er egnet for å påvise de aktuelle trimmeobjektene. Det arbeidet som her presenteres hadde til hensikt å finne et begrenset antall bølgelengder som kan inngå i et slikt avbildningssystem.

I dette notatet oppsummeres resultatene av spektral karakterisering av trimmefeil og bukhinne/buklist. Videre er det kjørt en Fisher Lineær Diskriminant Analyse for å bestemme hvilke bølgelengder som bør inngå i instrumentet som skal utvikles. I valg av spektrale band er det også tatt hensyn til hva som er kommersielt tilgjengelig dersom dette skal implementeres ved hjelp av linjelasere.

2 Materiale og metode

2.1 Råstoff

Nordlaks, Stokmarknes, sorterte ut ni laks med kvalitetsfeil synlig i buken. Disse ble pakket med is og sendt med hurtigruten til Nofima, Tromsø. Ved ankomst Tromsø ble fisken splittet uten at bukbein/bukhinne ble fjernet. Dette ble gjort for å forenkle avbildningsgeometrien siden utfordringen som skulle adresseres var spektrale forskjeller, ikke hvordan selve avbildningen av buken skal gjøres.

Etter at fisken var splittet ble alle filetene inspisert og synlige kvalitetsfeil registrert. Filetene ble så avbildet (hyperspektralt) før de ble trimmet og manuelt inspisert en gang til. Dette var viktig for å se om feilene lå i bukinnen eller i muskelen under bukinnen. Det som ble fjernet i trimming tilsvarer det som normalt vil fjernes i selve fileteringsoperasjonen, det vil si bukhinne, samt buklist.

I Tabell 1 er de manuelle registreringene oppsummert for alle fiskene, før og etter «filetering» (fjerning av bukhinne). Som det fremkommer i tabellen kan en feil som er synlig i buken på en sløyd fisk bli fjernet i en fileteringsprosess. For eksempel hadde laks nummer 2 melanin i bukinnen, men etter «filetering» var melaninet borte. Derimot i laks nummer 1 er det fortsatt melanin i produktet etter «filetering».

Tabell 1. Manuell registrering av trimmefeil i buk på laks.

Laks	Høyre filet		Venstre filet	
	Før trimming	Etter trimming	Før trimming	Etter trimming
1	Galle og melanin	Store melaninskygger	Galle og melanin	Litt melanin
2	Melanin	Feilfri	Melanin	Feilfri
3	Stor melanin i buk	Stor melanin	Feilfri	Feilfri
4	Melanin ved gatt	Litt melanin	Melanin med gatt	Litt melanin
5	Melanin/blod i buk	Blod/melanin	Melanin i buk	Blod/melanin
6	Melanin	Feilfri	Melanin	Litt melanin
7	Melanin i hinne	Feilfri	Melanin i hinne	Feilfri
8	Feilfri	Feilfri	Feilfri	Feilfri
9	Galle og melanin	Litt melanin	Galle og melanin	Litt melanin

2.2 Hyperspektral avbildning i diffus refleksjonsmodus

Etter splitting og før trimming ble filetene avbildet hyperspektralt. Avbildningen ble gjort i diffus refleksjons oppsett, som vist i Figur 1 for å kunne karakterisere overflatefeil i bukområdet.



Figur 1. Hyperspektralt system for diffus refleksjonsavbildning.

I hvert punkt på fileten, (x, y) , registreres det gjennom måling et intensitetsspekter, $I_{raw}(x, y, \lambda)$, som kan regnes om til et absorpsjonsspekter $A(x, y, \lambda)$. Absorpsjonsspekteret forteller hvor mye lys som ble borte i punktet (x, y) på bølgelengde λ . For de målte filetene var romlig oppløsning $1 \times 1 \text{ mm}^2$ og spektral oppløsning 10 nm. Det spektrale området som ble målt var fra ca. 430 til 970 nm.

Basert på de målte filetene ble det hentet ut et større antall absorpsjonsspektre fra typisk feilfri laksebuk (bukhinne og buklist) samt fra ulike trimmeobjekter. Deretter ble disse analysert grundig for å påvise hvilke kombinasjoner av bølgelengder som er best egnet for å skille trimmeobjektene fra laksemuskelen.

2.3 Kalibrering av hyperspektral data

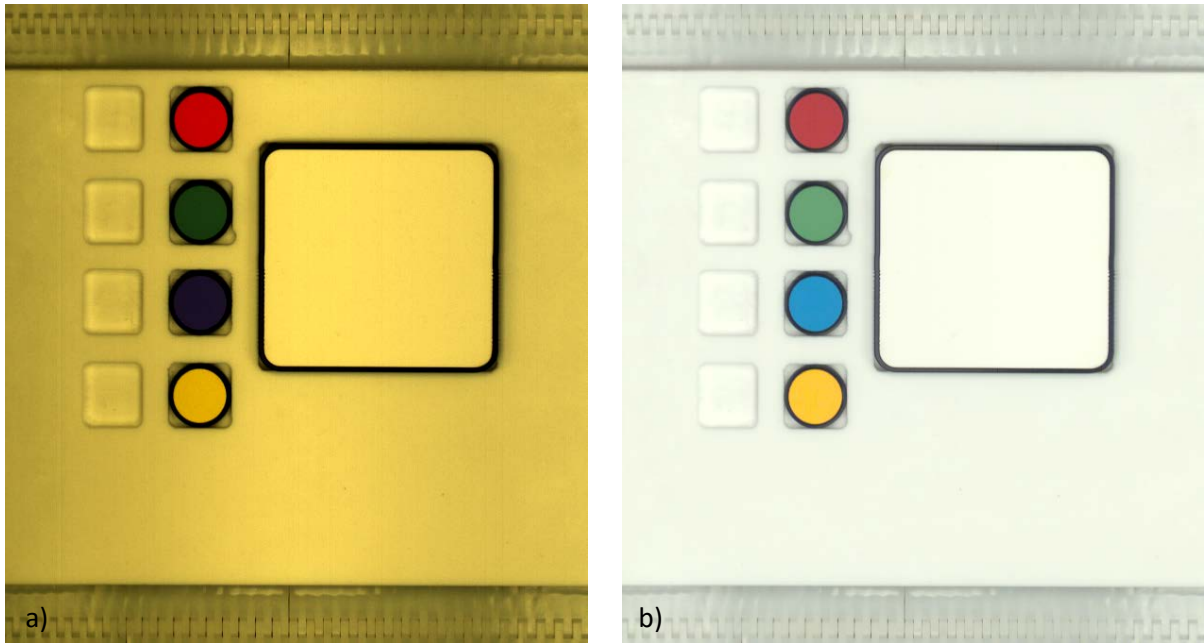
For å finne absorpsjon som funksjon av bølgelengde ble det gjennomført en kalibrering av rådataene. Etter at instrumenteringen (belysning og hyperspektral avbilder) hadde stabilisert seg ble en kalibreringsstandard avbildet. Som kalibreringsstandard er det brukt teflon plate med innsatt Spektralon og fargestandarder som vist i Figur 2a. Teflon ble brukt til å korrigere for at belysningen på tvers av transportbandet ikke var uniform. Teflonkalibreringen kan oppsummeres som følger:

$$I_{Tcal}(x, y, \lambda) = \frac{I_{raw}(x, y, \lambda)}{I_{Tef}(x, \lambda)}, \quad (1)$$

der $I_{raw}(x, y, \lambda)$ er målt intensitet i posisjon (x, y) på bølgelengde λ , mens $I_{Tef}(x, \lambda)$ er målt intensitet på teflon hentet fra referansemåling (retning x tilsvarer på tvers av transportbandet). Spektralon har oppgitt refleksans på 99 % i hele det synlige området og ble brukt til å kalibrere de teflonkalibrerte bildene i forhold avbildningssystemet. Refleksans ble beregnet som følger:

$$R(x, y, \lambda) = \frac{I_{Tcal}(x, y, \lambda)}{I_{TcalSp}(\lambda)}, \quad (2)$$

der $I_{TcalSp}(\lambda)$ referansemåling hentet fra teflonkalibrert spektralon i kalibreringsbildet. Reflektansspekteret, $R(x, y, \lambda)$, har verdier mellom null og en, der $R(x, y, \lambda) = 0$ tilsvarer at alt lyset på den bølgelengden i det punktet er absorbert, mens $R(x, y, \lambda) = 1$ tilsvarer at alt lyset er reflektert. I Figur 2b er effekten av kalibrering basert på ligning 1 og 2 illustrert. Her er det beregnet kalibrert fargebilde basert på reflektansspekter, daglysbetingelser og øyets fargesensitivitet¹.



Figur 2. Kalibreringsplate avbildet med diffus reflektansspektroskopi. a) kunstig fargebilde basert på tre enkeltbølgelengder fra rådata og b) kalibrert fargebilde beregnet fra kalibrert data.

I det videre arbeid er resultatene presentert i forhold til absorpsjon, ikke refleksjon. Absorpsjonsspekteret beregnes fra refleksjonsspekteret som følger:

$$A(\lambda) = -\ln(R(\lambda)) \quad (3)$$

2.4 Fisher Lineær Diskriminant-Analyse (LDA)

Fisher lineær diskriminantanalyse for to klasser baserer seg på å finne den lineærkombinasjonen av 2 eller flere egenskaper (bølgelengder) som maksimaliserer «Fisher Discriminant Ratio» (FDR). Når FDR er høy, er klassene enkle å skille fra hverandre. Man forsøker derfor å finne parameterne $[a_1, a_2, \dots, a_N]$ i følgende formel:

$$y = \sum_{i=1}^N a_i A(\lambda_i) \quad (4)$$

som maksimaliserer FDR mellom trimmeobjekt og laksemuskel.

FDR mellom klasse 1 og 2 er definert som:

$$FDR = \frac{(\mu_1 - \mu_2)^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}, \quad (5)$$

¹ <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0471399183.html>

der μ_k og σ_k^2 er henholdsvis middelværdi og varians til lineærkombinasjonen y for klasse k , for $k = 1, 2$. FDR er maksimalisert når middelværdien til klassene er lengst fra hverandre og spredningen i y er minimalisert for hver av klassene. Lineærkombinasjonen som maksimaliserer FDR kan kalkuleres direkte, se for eksempel i Theodoridis og Koutroumbas (2008)².

FDR er et nyttig redskap for å finne hvilke bølgelengder som gir best separasjon mellom to klasser, og hvordan disse bølgelengdene skal kombineres for å gjøre klassifisering. Dette kan gjøres etter følgende prosedyre:

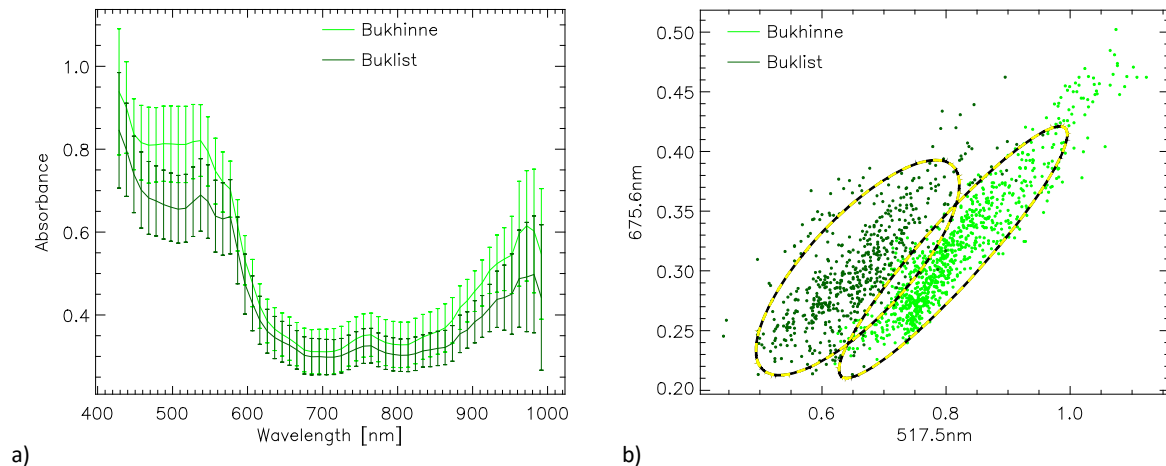
1. For alle mulige kombinasjoner av bølgelengder, gjør følgende
 - a. Finn koeffisientene a_i som maksimaliserer FDR mellom de to klassene
 - b. Logg FDR-verdien for lineærkombinasjonen
2. Velg den kombinasjonen av bølgelengder som gir høyest FDR
3. Bruk koeffisientene a_i for å beregne den endimensjonale lineærkombinasjonen y .
4. Sett en terskel T slik at $y < T$ tilsvarer klasse 1 og $y \geq T$ tilsvarer klasse 2.

² Theodoridis, S., & Koutroumbas, K. (2008). *Pattern Recognition* (4th ed.). Academic Press

3 Spektral karakterisering av buk og trimmeobjekter

For å kunne velge de optimale bølgelengdene for påvisning av trimmeobjekter må både trimmeobjektene og typisk laksemuskel karakteriseres.

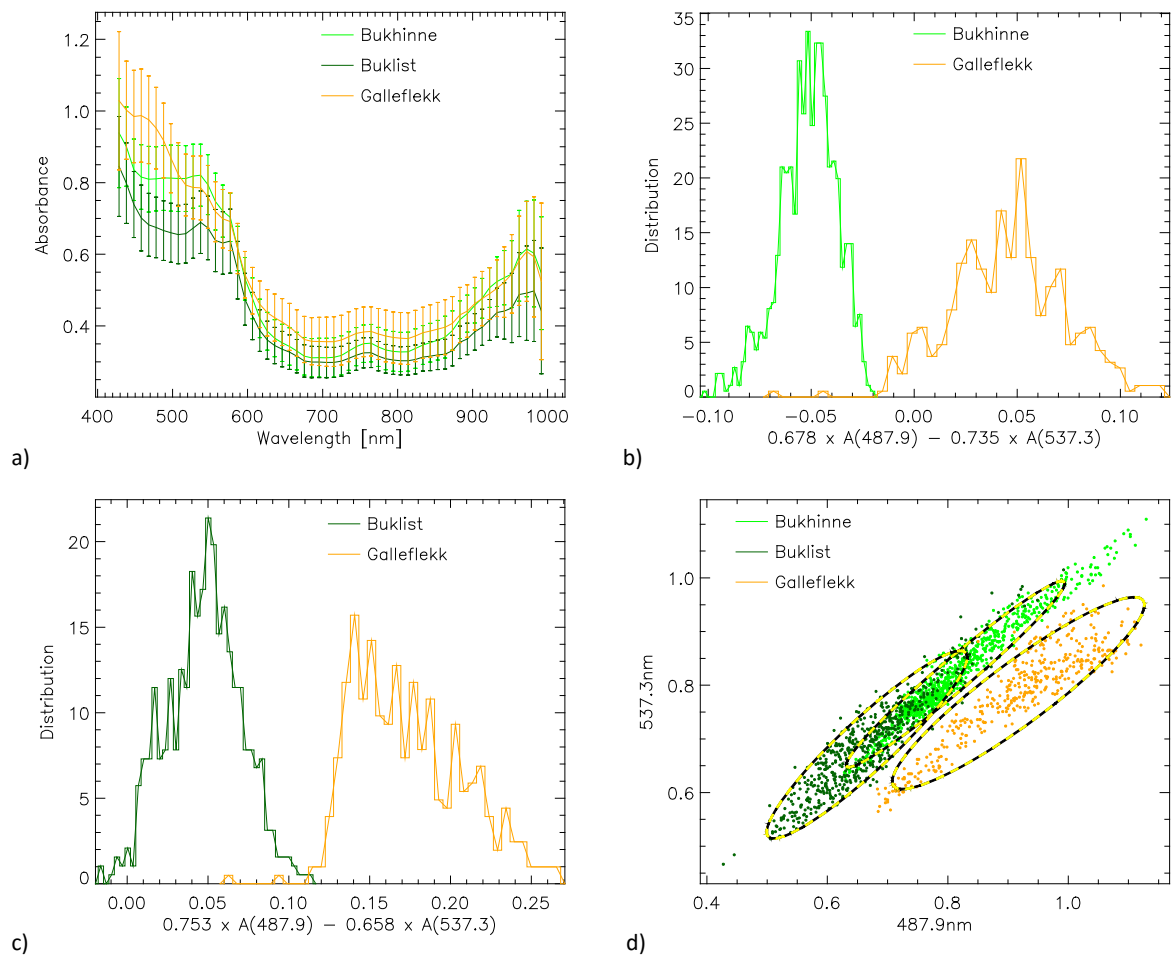
3.1 Bukhinne og buklist



Figur 3. Absorbsjonsspektrum målt på feilfri bukhinne (lys grønn) og buklist (mørk grønn). a) middelspekter med standardavvik og b) punktplott som viser de to beste bølgelengdene for å skille buklist og bukhinne.

Sammenlignes absorpsjonsspektrene for bukhinne og buklist, Figur 3a, er det tydelig at det er spektrale forskjeller mellom bukhinne og buklist som må tas hensyn til i valg av optimale bølgelengder for påvisning av trimmeobjekter. Det fremkommer også at det er stor variasjon i absorpsjon innenfor begge gruppene. Figur 3b viser at ved valg av to bølgelengder er det mulig å skille bukhinne og buklist ganske bra fra hverandre. I den videre analyse vil det kjøres Fisher Lineær Diskriminant Analyse opp mot både bukhinne og buklist for valg av optimale bølgelengder.

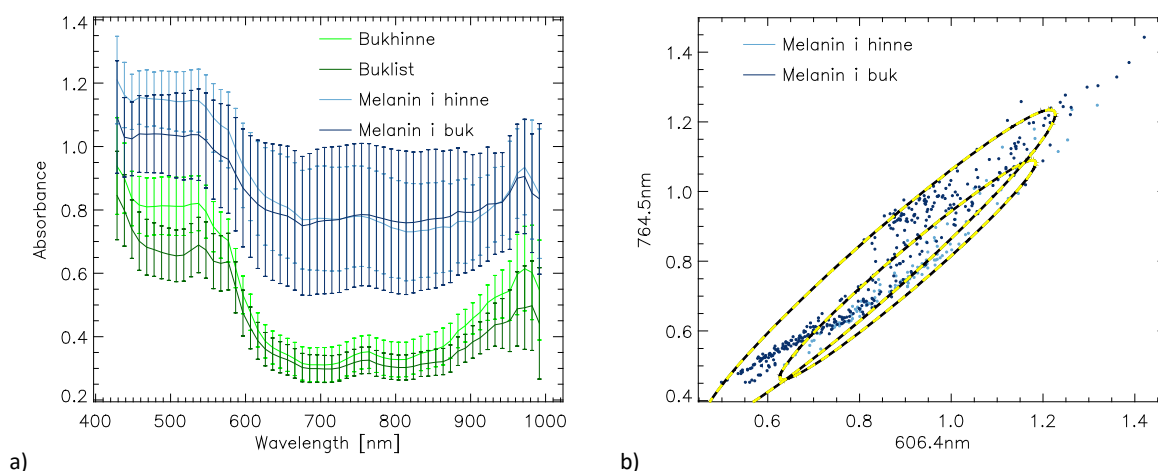
3.2 Galleflekker



Figur 4. a) Absorpsjonsspektrum målt på galleflekk sammenlignet med spektre målt på feilfri bukhinne og buklist. b) bukhinne versus galleflekk (FDR = 9.6) og c) buklist versus galleflekk (FDR = 9.5). d) punktplott som viser hvordan galleflekk skiller seg fra bukhinne og buklist.

Når absorpsjonsspektrene målt på galleflekker sammenlignes med tilsvarende spektre hentet fra buklist og bukhinne, Figur 4a, fremkommer det at det er forskjeller i middelspektrene, men også store standardavvik. Ved å kjøre Fisher LDA for påvisning av galleflekker på henholdsvis bukhinne og buklist fremkom det at de to bølglengdene som var optimale for å skille galleflekker fra buklist også fungerte bra for å skille galleflekker fra bukhinne. I Figur 4b og c vises hvordan en lineærkombinasjon av absorpsjon på 488 og 537 nm kan brukes til å skille mellom galleflekk og henholdsvis bukhinne og buklist. Hvorfor dette fungerer så bra med disse to bølglengdene kommer tydelig frem når du ser på punktplottet i Figur 4d. Mens buklist og bukhinne overlapper skiller galleflekkpunktene seg tydelig ut i en egen sverm av punkter.

3.3 Melanin



Figur 5. a) Absorpsjonsspektrum målt på melaninflekker i bukhinne og muskel sammenlignet med spektre målt på feilfri bukhinne og buklist. b) punktplott av melanin i bukhinne og melanin i muskel for de to bølgelengdene best egnet for å identifisere for melaninet sitter.

I motsetning til galleflekker, som er fremtredende i bukinnen, så kan melanin forekomme både i bukinnen og i muskelen under bukinnen. Melanin som kun sitter i hinnen utgjør ikke et problem for sluttproduktet, mens det som sitter i muskelen må trimmes bort. Som vist i Figur 5a er stor forskjell i absorpsjon mellom bukhinne/buklist og melanin uavhengig av om melaninet sitter i bukinnen og/eller i muskel under bukinnen. Derimot er det vanskelig å kunne skille mellom hvor melaninet sitter (muskel eller bukhinne), se Figur 5b. Det er stor grad av overlapp mellom punktskyene som representerer henholdsvis melanin i bukhinne og melanin i muskel. Det er også tydelig at punktskyen som representerer melanin i buken ser ut som om den er satt sammen av to ulike klasser. Dette er riktig i den forstand at noe av buken som inneholdt melanin også inneholdt blod, men andre deler bare hadde melanin. Dette gjør at det blir to undergrupper av melanin.

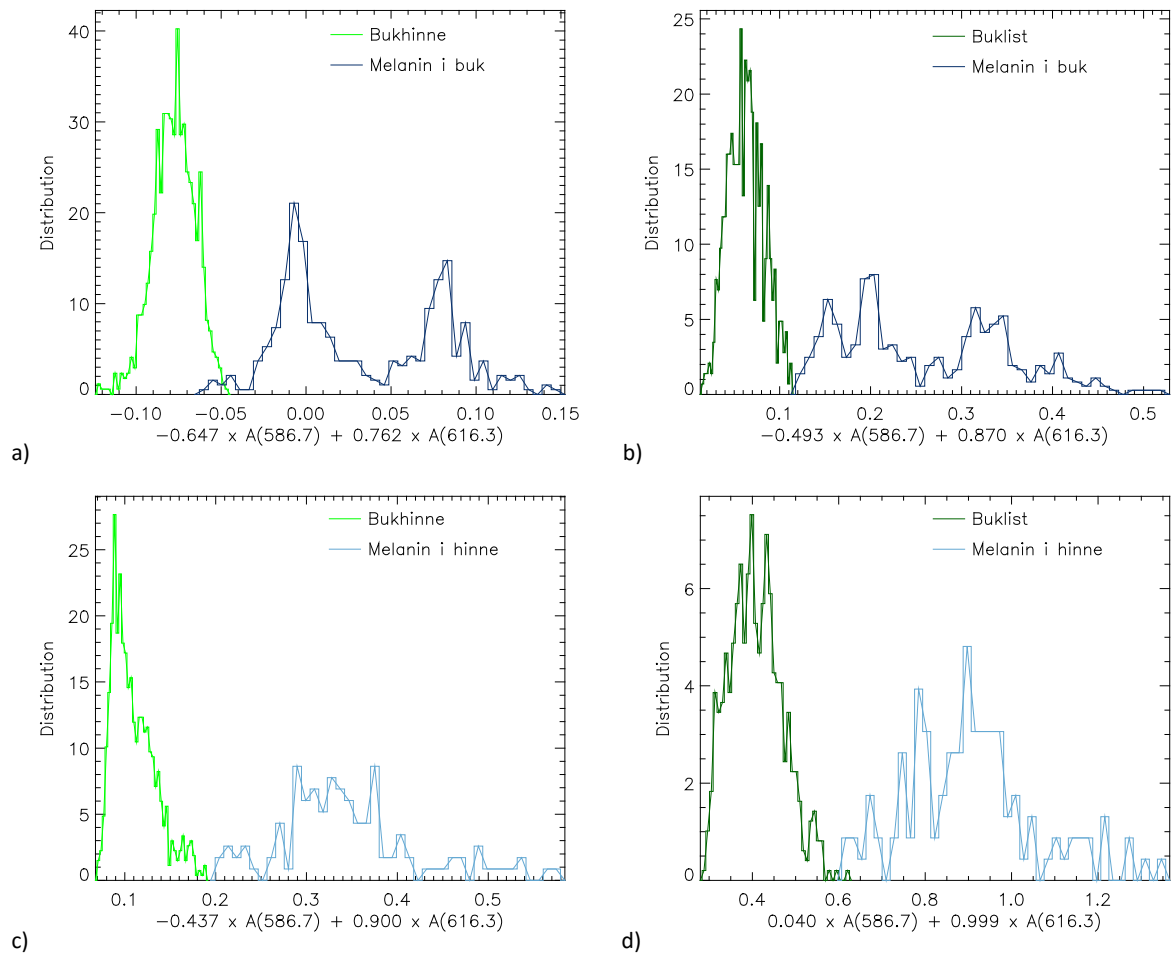
Ved å kjøre Fisher Linear Diskriminant Analyse for melanin i hinne og melanin i muskel mot henholdsvis bukhinne og buklist ble de mest robuste løsningene funnet ved bruk av bukhinne. Fisher Diskriminant Ratio for skille mellom melanin og feilfri bukhinne/buklist er oppsummert i Tabell 2.

Tabell 2. FDR for å skille mellom melanin og feilfri bukhinne og buklist avhengig av hvor melaninflekken er lokalisert (i bukinnen eller i muskel under bukinnen).

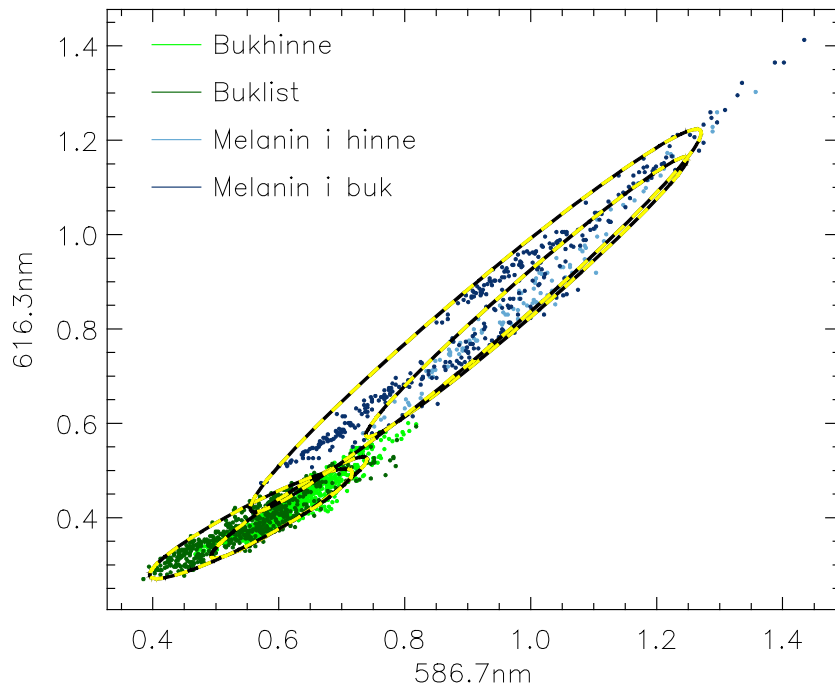
	Feilfri bukhinne	Feilfri buklist	Bølgelengder
Melanin i bukinnen	10.4	8.9	676 & 755 nm
Melanin i muskel	5.2	4.5	587 & 616 nm

Som det fremgår av Tabell 2 er det enklest å påvise melanin som sitter i bukinnen. Det er spesielt vanskelig å påvise svake flekker i muskelen under bukinnen. Siden melanin i muskel er mest kritisk og vanskeligst å påvise er det naturlig å velge de optimale bølgelengdene for muskelmelanin i det videre arbeidet. I Figur 6 illustreres hvor godt de valgte bølgelengdene (587 & 616 nm) fungerer for å skille melanin fra feilfri bukhinne og buklist.

Som vist i Figur 7 grupperer feilfri bukhinne og buklist seg sammen, mens melanin i bukhinne og muskel grupperer seg sammen et stykke unna de feilfrie prøvene.

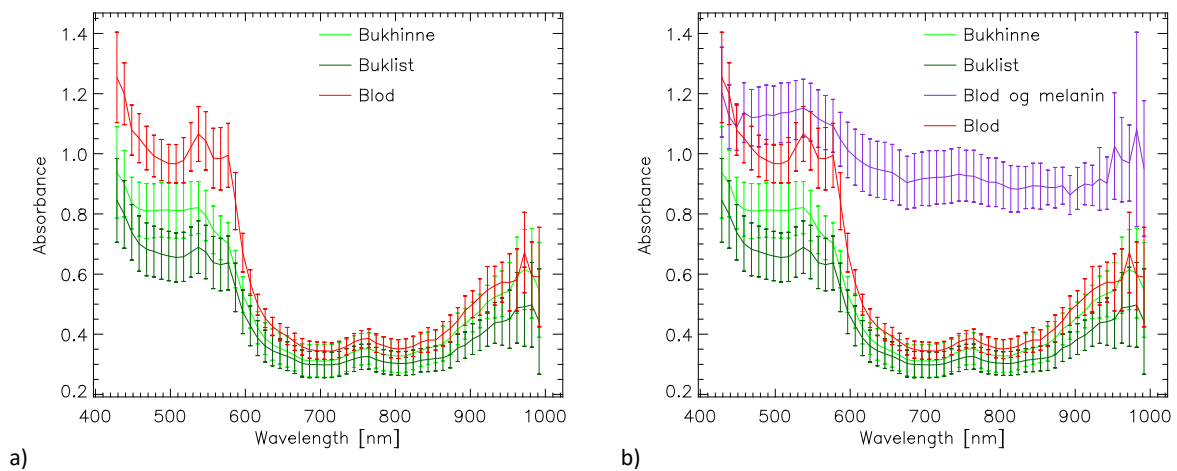


Figur 6. Egnethet for påvisning av melanin når bølgelengder er valg for å skille melanin i buk fra feilfri bukhinne. a) Melanin i buk versus feilfri bukhinne (FDR = 5.2), b) melanin i buk versus feilfri buklist (FDR = 4.5), c) Melanin i bukhinne versus feilfri bukhinne (FDR = 8.3) og d) melanin i bukhinne versus feilfri buklist (FDR = 9.2).



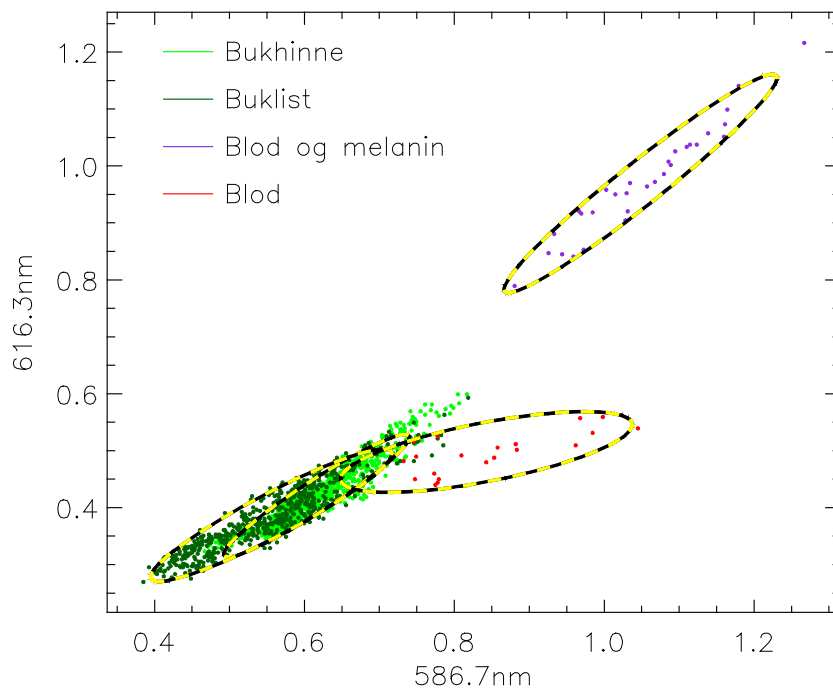
Figur 7. Punktplott med bukhinne, buklist og melanin i hinne og muskel.

3.4 Blod



Figur 8. a) middelspekter for blodflekk sammenlignet med feilfri buklist og bukhinne og b) samme plott, men med pålagt absorpsjonsspekter for flekk med både melanin og blod.

Blod i buken var vanskelig å finne i de laksene vi hadde tilgjengelig. Det var noen små blodflekker som ble identifisert og i Figur 8a vises midlere absorpsjonsspekter for disse blodflekkene sammen med middelspekter for feilfri bukhinne og buklist. Det var også en kraftig flekk som inneholdt både blod og melanin, som er karakterisert og vist i Figur 8b. Denne flekken hadde så mye melanin i seg at de karakteristiske blodsignaturene ikke ble synlig.



Figur 9. Punktplott med bukhinne, buklist, blod og kombinert blod/melanin med bruk av bølgelengder funnet optimale for melaninpåvisning.

Da det fantes så lite blod i prøvematerialet ble det ikke kjørt en egen Fisher Lineær Diskriminant Analyse, men det ble testet hvordan de optimale bølgelengdene for melanin fungerte på blod. Figur 9 viser punktplott av bukhinne, buklist, blod og kombinert blod/melaninflekk. Ikke overraskende viser det seg at den kraftige blod/melaninflekken legger i samme område som rene melaninflekker, se Figur 7. De «rene» blodspektrene grupperer seg også fint i lag, men nærmere bukhinne og buklist. Overlappet er derimot svært lite og sannsynliggjør at de to bølgelengdene valgt for melanin også kan brukes i blodanalysen.

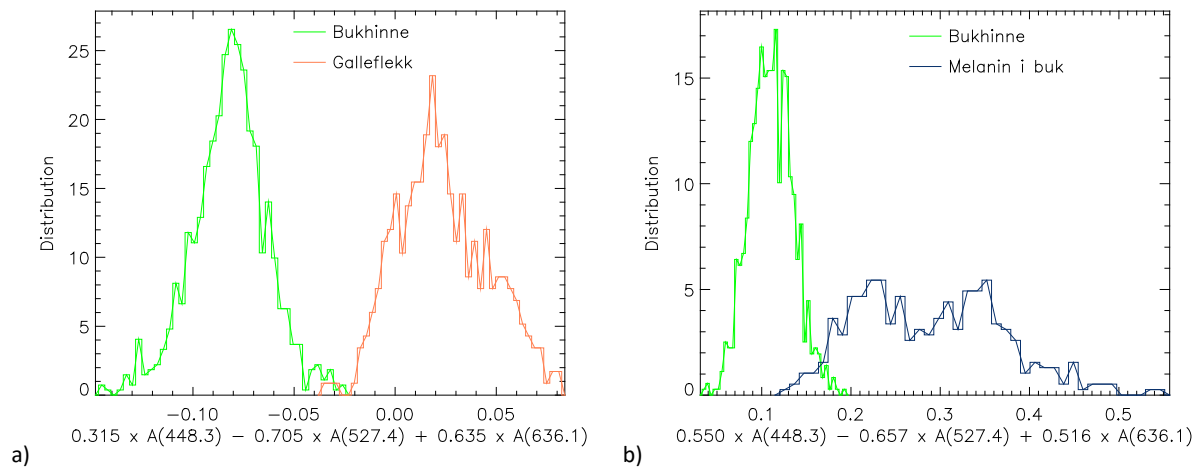
3.5 Optimale bølgelengder for påvisning av trimmeobjekter

I gjennomgangen av de ulike trimmeobjektene det er aktuelt å påvise, avsnitt 3.2-3.4, fremkom 4 ulike bølgelengder som var optimale for å påvisning. Disse var **488, 537, 587 og 616 nm**. I en implementasjon av dette inspeksjonssystemet er det begrenset hvilke bølgelengder, i form av lasere og led-lamper, som er tilgjengelig å få kjøpt. For å redusere systemets kompleksitet er det også ønskelig å bruke færrest mulig bølgelengder. John Reidar Mathiassen og Ekrem Misimi ved SINTEF Fiskeri og havbruk har funnet frem en liste med alternative led-lamper og linjelasere som kan tenkes brukt i den foreslåtte implementasjonen. Ut fra den listen er linjelasere mest aktuelt da det er flere bølgelengder å velge mellom. De linjelaserne som er aktuelle har følgende bølgelengder:

405, 450, 520, 532, 635, 640, 643, 660, 785, 808, 830, 850 og 980 nm

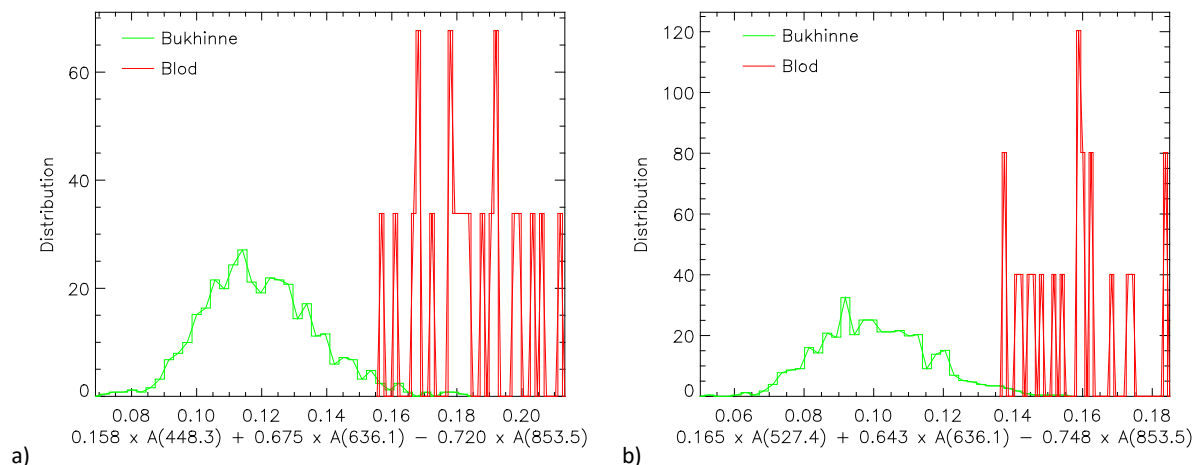
De linjelaserne som er nærmest de optimale bølgelengdene er 450, 532 og 635 nm. Disse tre bølgelengdene fungerer fint til å skille galleflekker og melanin fra «feilfri» bukhinne, men ikke så bra for blod. Egnethet for å skille melanin og galle fra bukhinne basert på tre kommersielt tilgjengelige bølgelengder er vist i Figur 10. Selv om ikke dette er de optimale bølgelengdene så klarer

kombinasjonen av disse tre bølgelengdene å oppnå en FDR som er i samme størrelsesorden som to optimale bølgelengder, se Figur 4 og Tabell 2.



Figur 10. Egnethet for påvisning av a) galle (FDR = 13.0) og b) melanin (FDR = 4.5) basert på tre kommersielt tilgjengelig bølgelengder, 450, 532 og 635 nm.

Selv om det foreligger lite blod i prøvematerialet, viser en Fisher Lineær Diskriminant Analyse at 846 nm er en god bølgelengde å inkludere i analysen. Siden det eksisterer en laser på 850 nm er det undersøkt hvordan denne laseren sammen med de tre andre valgte laserne fungerer for blodpåvisning.



Figur 11. Egnethet til å skille blod fra «feilfri» bukhinne basert på en lineærkombinasjon av absorpsjon på tre bølgelengder, a) 450, 635 og 850 nm og b) 532, 635 og 850 nm.

Som det fremkommer i Figur 11 vil 850 nm i kombinasjon med de andre tre tilgjengelige bølgelengdene være egnet for å skille blod fra «feilfri» bukhinne. Plottene her ser litt rare ut, men det skyldes at det er så få spektre med blod som inngår i analysen.

4 Konklusjon

Tre typer «feil» som kan observeres i bukhalen på laks har blitt analysert, galle, melanin og blod. Felles for blod og melanin er at de kan opptre i bukhinne og/eller i muskelen under bukinnen. Selv om avbildningen skjer i diffus refleksjon som i utgangspunktet er en overflatemåling er det ikke mulig å si om påvist flekk kun sitter i bukinnen eller også sitter i muskelen. For sluttproduktet er kun blod og melanin i muskelen av interesse. Galleflekker sitter i utgangspunktet i bukinnen, men vil forringe muskelkvaliteten og må derfor påvises.

Dersom det velges å bruke en kontinuerlig lyskilde i kombinasjon med bandpassfiltre så finnes det et stort utvalg av bandpassfiltre som kan benyttes som ligger nært de optimale bølgelengdene funnet i Fisher Linear Diskriminant Analysen:

488, 537, 587 og 616 nm.

Ved bruk av linjelasere og de gitte begrensningene på hvilke bølgelengder som er tilgjengelig så er anbefalingen at følgende linjelasere bør inngå i et inspeksjonsoppsett for bukhole på laks:

450, 532, 635 og 850 nm (linjelasere).

VEDLEGG 2

Automatisk bukinspeksjon av sløyd laks - forprosjekt

Mekanisk konseptualisering

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Cecilie Salomonsen og Bendik Toldnes

	BEHANDLING	UTTALELSE	ORIENTERING	ETTER AVTALE
GÅR TIL				
Styringsgruppe Automatisk bukinspeksjon av sløyd laks - forprosjekt				X
Kristian Prytz (FHF)				X

PROSJEKTNR
302002533**DATO**
2017-02-20**GRADERING**
Intern

Sammendrag

Som en deloppgave under utvikling av maskinsyn for bukinspeksjon er det sett på mulige konsepter for utforming av mekanismen som skal presentere innsiden av buken for maskinsyn.

Det er satt opp en kort kravspesifikasjon og en morfologi med delfunksjoner og delløsninger. Delfunksjoner er innmating, singulering, orientering hode/hale, orientering buk/rygg, åpning av buk og avbildning. Deretter ble det gjennomført en workshop med deltakere fra styringsgruppen og leverandørene i prosjektet, Avanti Engineering AS og SeaSide AS, slik at synspunktene til både brukere, leverandører og forskere er representert i det videre arbeidet.

Som resultat fra workshopen er det utarbeidet to helhetlige konsepter for bukinspeksjon. To andre mulige konsepter som med dagens teknologi ennå ikke er egnet er også kort beskrevet.

Begge de prefererte konseptene baserer seg på bukinspeksjon tett ved eksisterende sløyemaskin, der fisken allerede er singulert, orientert og fiksert/under kontroll. Begge konsepter baserer seg også på kun delvis bukåpning med maskinsyn ovenfra, fordi hodet sitter på og umuliggjør hel utbretting av buken. Konsept 1 nyttiggjør vakuumsug enten fra sidene eller vakuumgriper, og konsept 2 nyttiggjør mekanisk verktøy for å åpne buken tilstrekkelig til avbildning.

Det er behov for både testing og videreutvikling/detaljering for å etablere hvilket konsept som vil være mest egnet i praksis.

Innhold

1	Innledning	3
2	Kravspesifikasjon	4
3	Morfologi	5
4	Workshop	6
4.1	Valg foretatt under workshop	6
5	Konseptualisering	7
5.1	Scoring av griperverktøy	7
5.2	Konsept 1: Delvis bukåpning med sug fra sidene eller vakuumbriper	8
5.3	Konsept 2: Delvis bukåpning med mekanisk griper	9
5.4	Konsept 3: Hel bukåpning	10
5.5	Konsept 4: Lukket buk, men kamera føres inn	10
6	Scorecard og vurdering av konsept 1 og 2	11
7	Konklusjon	11

1 Innledning

Følgende arbeidspakkeformulering finner man i søknaden:

For at maskinsynsystemet skal fungere må innsiden av buken på laksen gjøres tilgjengelig for kamera og belysning. Dette gjøres av operatør ved manuell inspeksjon i dag. For å sikre riktig kvalitet på bildene må det ved en automatisk inspeksjon være en konsistent posisjon på objektet som skal avbildes. Dette vil være en krevende oppgave å løse mekanisk fordi laks er et biologisk materiale med stor naturlig variasjon. I samarbeid med utstyrsleverandører og næringen skal det, hensyntatt de ulike fabrikkdesignene, skisseres konsept(er) for hvordan bukområdet kan åpnes opp automatisk, slik at innsiden av buken kan avbildes optimalt ved hjelp av riktig type kamera og belysning.

Ut i fra denne problemstillingen er det definert følgende forutsetninger og delfunksjoner:

Forutsetninger

- Typen fisk som skal bukinspiseres er laks.
- Bløgget og sløyd laks med hodet på.
- "Princess cut" der buken ikke er helt åpnet i kverken kan vanskeliggjøre bukinspeksjon. Derfor forutsettes det at det ikke er utført "princess cut".
- Størrelsesbegrenset til standard slaktelaks ca 3-5 eller 4-6 kg, men siden den nye Baader sløyemaskin takler et spenn på 2-11 kg (28-110 cm lang) bør også bukinspeksjonsenheten takle denne variasjonen.
 - o En gjennomsnittsfisk er hos Marine Harvest 4,6 kg og 78 cm lang.
- Fisk kan tas fra forskjellige steder i prosessen, men må tas fra et sted den befinner seg på transportbånd eventuelt i sløyemaskin eventuelt i V-bånd.
- Fisken er singulert.
- I utgangspunktet skal fisken være rensert for innvoller og innenfor rimelighetens grenser; følgelig skal slorester detekteres.
- Bløggekutt og sløyekutt må være riktig gjennomført og innenfor rimelighetens grenser.
- Prosjektet gjelder *deteksjon* av feil og ikke feilretting; det ligger utenfor prosjektet å fjerne slorester.

Mekanisk bukinspeksjon kan inndeles i følgende delfunksjoner:

- Innmating til bukinspeksjon
- Orienterer fisken hode-hale
- Orienterer fisken buk-rygg
- Åpne buken for å gjøre innsiden tilgjengelig
- Avbilde hele innsiden av buk
- Renhold av kameralinse

Neste skritt (utenfor prosjektet/ avhengig av videreutvikling):

- Sortere ut fisk med feil eller sortere fisk i superior/ordinær/produksjon
- Alternativt tagge fisk med merking for manuell håndtering
- Eventuelt rette feil med robot/utgraver for innvoller










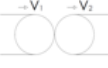





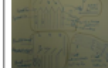








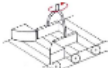












2 Kravspesifikasjon

Kravspesifikasjon bukinspeksjonC48C33B1:C45B1:C50B1:D48B1:E48B1:F46

Punkt	Beskrivelse	SKAL	BØR	KAN
A	Overordnede krav			
A.1	Enheden skal presentere innsiden av buken slik at det kan tas gode bilder av hele buken	x		
A.2	Blir en del av en inline prosesslinje		x	
1	Funksjonskrav			
1.1	<i>1. Innmating til bukinspeksjon</i>			
1.1.1	Fisk føres fra transportbånd inn i bukinspeksjonsenhet	x		
1.1.2'	Alternativ: Fisken tas direkte fra v-bånd i sløyemaskin	x		
1.2	<i>2. Orientering</i>			
1.2.1	Hode-hale: Fisk orienteres med hodet først/i én og samme lengderetning			x
1.2.2	Buk-rygg: Fisk orienteres med buken mot avbildingsenhet	x		
1.2.3'	Alternativ: Fisk orienteres slik at avbildingsenhet kan føres inn i buken			x
1.3	<i>3. Bukåpning</i>			
1.3.1	Åpne buken for å gjøre innsiden tilgjengelig	x		
1.3.2'	Alternativ: Buken gjøres tilgjengelig for inspeksjonsverktøy som føres inn i buken	x		
1.4	<i>4. Avbildning</i>			
1.4.1	Avbilde hele innsiden av buken	x		
1.4.2'	Mekanismen må ikke dekke til noe av buken der kamera tar bilder.	x		
1.5	<i>Renhold av kameralinse</i>			
1.5.1	Kameralinsen/innhusing rengjøres ved behov for å sikre god kvalitet på bilder	x		
2	Operasjonelle krav			
2.1	<i>1. Driftskrav</i>			
2.1.1	Kapasitet: Antall fisk per minutt skal være 25		x	
2.1.2	Kapasitet: Antall fisk per minutt kan være 60			x
2.1.2	Driftstid: Ta høyde for rengjøring/stopp/vedlikehold/uforutsett		x	
2.1.3	Renhold: Enheden konstrueres slik at den kan holdes ren (humankonsum)	x		
2.2	<i>2. Vedlikeholds krav</i>			
2.2.1	Kompetanse: Daglig vedlikehold kan utføres av operatører		x	
2.2.2'	Innstillinger i systemet må være raske å endre for operatør			x
2.3	<i>3. Pålitelighetskrav</i>			
2.3.1	Minst 95 % av fisken må presenteres slik at det kan tas gode nok bilder	x		
2.4	<i>4. Sikkerhetskrav</i>			
2.4.1	Faremomenter: Anlegget må ikke være farlig for liv og helse	x		
3	Omgivelseskrav			
3.1	<i>1. Materialkrav</i>			
3.1.1	Materialer: Må tåle våte og salte omgivelser samt vaskemidler	x		
3.1.2	Matproduksjon: Produktet skal brukes til humankonsum og må behandles skånsomt	x		
3.2	<i>2. Miljøkrav ytre miljø</i>			
3.2.1	Ytre miljø: Prosessen må ikke påføre ytre miljø større belastning enn dagens linje (spesielt vas	x		
4	Designkrav			
4.1	Visuell design: Form følger funksjon			x
5	Kostnadskrav			
5.1	Investering: Ikke aktuelt på nåværende tidspunkt (men rimeligst mulig)			
6	Dokumentasjonskrav			
6.1	Dokumentasjon er foreløpig ikke aktuelt			

3 Morfologi

De ulike funksjonskravene kan løses på ulike måter. I morfologien under er det satt opp mulige deløsninger til hver delfunksjon.

Delfunksjon \ Deløsning	Eksisterende løsninger								
		1	2	3	4	5	6	7	8
1. Innmating	Hender	Rør	Band	Renne	Avsilt beholder	Plukking (robot)	Gripere (hvis robot)		
									
2. Singulering?	Hender	Baner	Akselerasjonsbånd	Innboksing	Karusell	Plukking (Robot)	Sperreriull	Fartsdumper	Passiv spredder
									
3. Orientering Hode-Hale	Hender	Vertikal vender	Horisontal vender	Ristebrett	Baneskille	Robot			
									
4. Orientering Buk-Rygg	Manuelt	Mekanisk arm	Horisontal vender	Klaff					
									
5. Åpne buk	Manuell	Mekanisk arm	Kroker	Klype	V-formet glass	Oppi V-form			
									
6. Avbildning	Manuell inspeksjon	2D maskinsyn	3D maskinsyn	Røntgen	Spektroskopi	Fotoakustikk			
									

4 Workshop

Den 17. november 2016 ble det gjennomført en workshop med følgende deltakere:

- Kolbjørn Jektvik, Marine Harvest AS
- Jim Lervik, Marine Harvest AS
- Frode Kjøllås, Seaside AS
- Ronny Andersen, Avanti Engineering AS
- Johan Moflag, Avanti Engineering AS

Workshopen ble ledet av Bendik Toldnes og Cecilie Salomonsen (referent).

Under denne workshopen ble både forutsetninger, morfologi og kravspesifikasjon presentert og diskutert før man satte i gang med idemyldring rundt ulike konsepter, først for verktøy for bukåpning og deretter for helhetlige konsepter for bukinspeksjon.

4.1 Valg foretatt under workshop

Fisken bør inspiseres i samme hastighet som den nye Baader sløyemaskin: 25 fisk per minutt

Konseptene som presenteres baserer seg på at det gjøres rett etter sløyemaskin. Da utnytter man singuleringen, orienteringen og kontrollen på fisken som man har i sløyemaskinen. Når fisken kommer ut av sløyemaskina har den sporen først og buken i været. Når all fisken blir likt presentert forenkler dette mekanikken som bukinspeksjonsenheten består av.

Når fisken kommer ut av sløyemaskina kan båndet forlenges slik at fisken fortsatt er fiksert med en haleklemme og sidestøtte. Da har man allerede klargjort fisken for inspeksjon.

5 Konseptualisering

I løpet av workshopen og som følge av scoringen av griperverktøy kom det fra fire hovedkonsepter. Disse konseptene blir presentert i delkapittel 5.1-5.4. I tillegg kom det fram to konsepter som man av ulike årsaker ikke går videre på.

Dette er:

- 1) Et konsept der man inspiserer laksen liggende på flatt bånd på et vilkårlig sted etter sløyemaskina. Dette konseptet utgår på grunn av den høye kapasiteten det vil kreve av bukinspeksjonsenheten. Her kan det for eksempel være snakk om 125 fisk/minutt (slik som hos Marine Harvest på Ulvan) på et bånd som går mellom sløyemaskin og sortering og dette anses som for utførende å løse. Da er det mer hensiktsmessig å foreta bukinspeksjon på et sted der laksen er delt opp i flere strømmer fra før. Et slikt egnet sted er umiddelbart etter sløyemaskinene.
- 2) Det andre konseptet som ble diskutert er å bygge om Baaders nye sløyemaskiner slik at man kan sette inn et kamera i tillegg som inspiserer buken etter at Baaders eget kamera har detektert om etterrensinga er god nok eller ikke. Alternativt kan man få Baader til å utvide funksjonaliteten på sitt maskinsyn. Dette konseptet blir ikke utdypet i dette notatet.

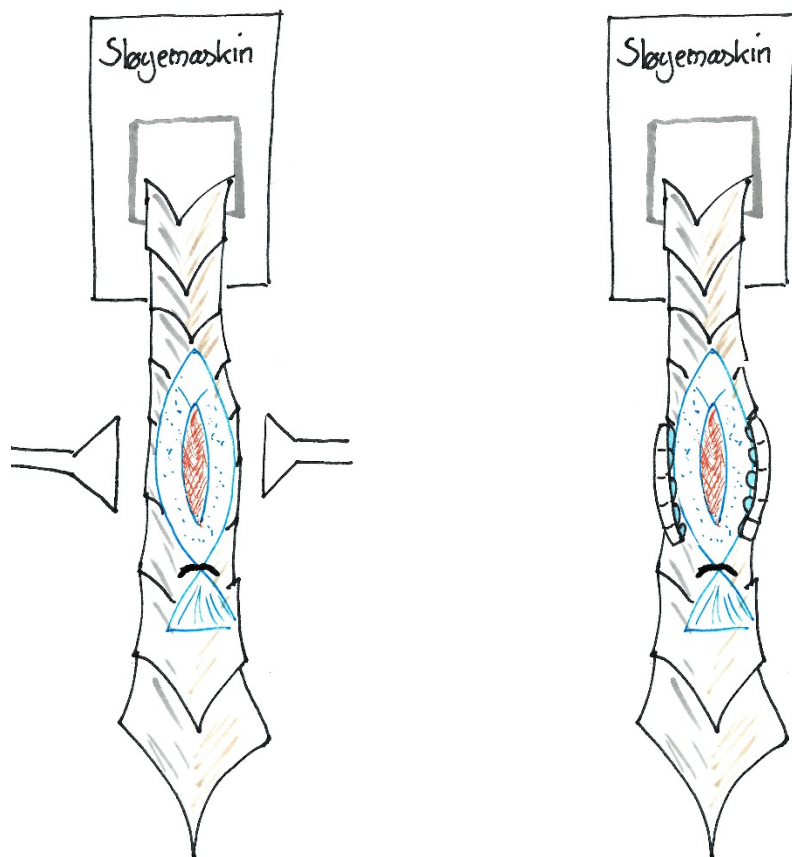
5.1 Scoring av griperverktøy

På workshopen kom det fram en rekke alternative griperverktøy. Disse ble vurdert av deltakerne ved hjelp av scorecard i etterkant av workshopen:

Griperverktøy	Scoreoppnåelse av 25 mulige poeng (snitt)
Bryståpner (også under hel bukåpning): En anordning som griper tak i bukflappene og drar de til siden, enten med krok eller heker.	10,8
Plate (også under hel bukåpning) som presser buken ned før griper så tar tak i bukflappene. Da sikrer man seg å vite hva som er senter på fisken	10,0
Vakuugriper (også under hel bukåpning): Vakuum (sugekopper) utvendig som drar ut buken.	19,3
Omvendt pølseklype: Omvendt pølseklype over fisken som føres inn i bukåpningen og utvider seg for å åpne buken	14,8
Fjærbelastet V-form: Fjærbelastet V-form som ved hjelp av tyngdekraften og trykk i fjæra presser seg selv ned i buken på fisken.	14,5
Mekanisk arm med V-form: Mekanisk arm som fører en V-form ned ved gattåpningen og deretter presser ut buken fortløpende som fisken trekkes framover.	15,8
Sug fra sidene: Vakuumsug montert på siden av fisken (ikke i inngrep med fisken) som åpner en liten del av buken.	19,8
Trykkluft ovenfra: Trykkluft ovenfra som presser ut bukflappene.	14,0
Bukfinneheker: Verktøy som tar tak i bukfinnene og spiler ut buken ved å dra i finnene.	6,0
Gjennomsiktig V-skål: Gjennomsiktig V-skål som presses ned i buken	7,0

Ut i fra scoringen har man valgt griperverktøy for de ulike konseptene.

5.2 Konsept 1: Delvis bukåpning med sug fra sidene eller vakuumbgriper



Når fisken kommer ut av en Baader sløyemaskin er den singulert, orientert, sentrert og holdt fast av en haleklemme. Mens fisken blir holdt fast kommer enheten som åpner buken delvis mens den føres framover og man bruker maskinsyn ovenfra for å ta fortløpende bilder av buken.

Åpningsmetoder

- Sug fra sidene: Vakuumsug montert på siden av fisken (ikke i inngrep med fisken) som åpner en liten del av buken. (Denne åpningsmetoden må testes før man kan si hvordan den vil fungere i praksis.)
- Vakuumbgriper: Vakuum (sugekopper) utvendig som drar ut buken dersom det ikke fungerer å bruke sug fra sidene.

Når de nødvendige bilder er tatt blir de analysert og fisken klassifisert.

Utfordringer med konseptet:

Det er et problem med støy i lakseslakteriene. Når vakuum ikke tetter tilstrekkelig vil det være en kraftig ulelyd i lokalene og lakseslakteriene må forholde seg til lovverk angående dette.

En annen ulempe er at fisken også må holdes fast mens bukinspeksjonen pågår. Enten må det gjøres i sløyemaskina, eller så må det lages et arrangement etter sløyemaskinen som drar fisken videre gjennom suget slik at fisken ikke skal hope seg opp. I og med at fisken sjelden er symmetrisk må man også sjekke hvordan et identisk vakuumsug på begge sider vil påvirke en usymmetrisk fisk.

5.3 Konsept 2: Delvis bukåpning med mekanisk griper

Når fisken kommer ut av en Baader sløyemaskin er den singulert, orientert, sentrert og holdt fast av en haleklemme. Mens fisken blir holdt fast kommer enheten som går ned og åpner buken delvis mens den føres framover og man bruker maskinsyn ovenfra for å ta fortløpende bilder av buken.

Av verktøyene scorer omvendt pølseklype best og denne er skissert til høyre. Det er ikke gitt at dette er den eneste løsningen som vil fungere. Det er opp til videreutvikling av konseptet å definere utforming av griperverktøyet.

Alternative åpningsmetoder:

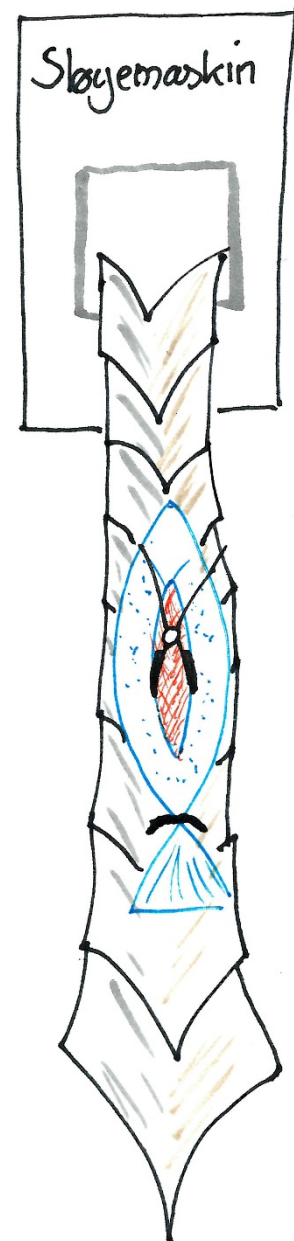
- Bryståpner: En anordning som griper tak i bukflappene og drar de til siden, enten med krok eller heker.
- Plate som presser buken ned før griper så tar tak i bukflappene. Da sikrer man seg å vite hva som er senter på fisken.
- Omvendt pølseklype: Omvendt pølseklype over fisken som føres inn i bukåpningen og utvider seg for å åpne buken.
- Fjærbelastet V-form: Fjærbelastet V-form som ved hjelp av tyngdekraften og trykk i fjæra presser seg selv ned i buken på fisken.
- Mekanisk arm med V-form: Mekanisk arm som fører en V-form ned ved gattåpningen og deretter presser ut buken fortløpende som fisken trekkes framover.

Når de nødvendige bilder er tatt blir de analysert og fisken klassifisert.

Utfordringer med konseptet:

Gripeverktøyet er i kontakt med fisken og må holdes rent. Dette krever et hygienisk design og mye renhold.

Dette konseptet har flere bevegelige deler og krever derfor mer finmekanikk enn konsept 1.



5.4 Konsept 3: Hel bukåpning

Når fisken kommer ut av en Baader sløyemaskin er den singulert, orientert, sentrert og holdt fast av en haleklemme. Mens fisken blir holdt fast kommer enheten som går ned og åpner buken helt.

Alternative åpningsmetoder:

- "Bryståpner": En anordning som griper tak i bukflappene og drar de til siden, enten med krok eller hekter.
- Plate før griper: Plate som presser buken ned før gripere så tar tak i bukflappene. Da sikrer man seg å vite hva som er senter på fisken.
- Vakuugriper: Vakuum (sugekopper) utvendig som drar ut buken.

Når buken så er åpen kan maskinsynet ta et bilde av hele innsiden av buken. Bildet blir deretter analysert og fisken klassifisert.

Utfordringer med konseptet:

Når hodet sitter på fisken er det ikke mulig å brette fisken helt flatt ut. Dermed må maskinsynet likevel ta hensyn til skråstilte bukvegger. Derfor utgår dette konseptet til fordel for delvis bukåpning, konsept 1 og 2. Vi har fortsatt med konseptbeskrivelsen fordi man kan se for seg at noen vil bruke bukinspeksjon på et sted der hodet er kappet av. Da kan man muligens bruke en enklere form for maskinsyn på fisk som kan brettes helt ut.

5.5 Konsept 4: Lukket buk, men kamera føres inn

Når fisken kommer ut av sløyemaskinen er den singulert, orientert, sentrert og holdt fast av en haleklemme. Deretter detekteres senter på fisken samt gattåpningen. Her kan man f.eks. ta i bruk en styrepinne før maskinsynheten.

Deretter føres maskinsyn inn i sløyekuttet uten at buken åpnes. Fisken trekkes fram mens kameraet/sensoren står i ro og tar bilder gjennom buken. Maskinsynet inspiserer buken, tar bilder som analyseres og deretter kategoriseres fisken.

Utfordringer med konseptet:

Per i dag så vil kostnadene med å utvikle egnet maskinsyn til dette formålet være store. Det finnes kikkhullsteknologi for 360 graders avbildning av den menneskelige bukhole, men denne type avbildning opererer med en mye lavere hastighet enn hva som er aktuelt for bukinspeksjon av laks.

6 Scorecard og vurdering av konsept 1 og 2

Konsept 1 og 2 ble vurdert av workshopdeltakerne, styringsgruppa og internt på SINTEF. Resultatene av vurderingen vises i tabellen under.

Egenskaper (fra kravspesifikasjon):	Vekting	Relevans	Konsept 1 - Åpne buk delvis med vakuumsug	Konsept 2 - Åpne buk delvis med mekanisk verktøy
Oppdage alle feil i hele buken	2,5	10,9 %	4,2	3,8
Evne til å treffe sløyekutt	3,0	13,1 %	4,3	3,6
Åpning av buk (gitt riktig verktøy)	3,0	13,1 %	3,7	4,2
Hastighet/kapasitet	2,7	11,6 %	3,7	4,3
Brukervennlighet mht drift og vedlikehold	2,4	10,5 %	3,5	3,8
Hygiene og renhold	2,9	12,7 %	3,6	3,7
Kort nedbetalingstid	1,6	6,9 %	2,8	3,6
Tar liten plass	1,8	8,0 %	2,8	3,6
Realiserbarhet av konsept	3,0	13,1 %	3,4	4,1
Total score:	22,9	100 %	32,0	34,8
Relative Score			362,5	389,2

Når man så på verktøy alene scoret vakuum høyest, men når man ser på hele konseptet fremgår det av tabellen at en mekanisk åpning av buk har en bedre måloppnåelse på flere viktige punkter enn vakuummetsoden. Begge løsningene vil ventelig kunne fungere i praksis, men begge krever utvikling og testing på hver sine områder.

7 Konklusjon

Dersom forprosjektet videreføres bør det gjøres tester på både konsept 1 og 2. Begge konseptene har som tidligere nevnt ulike utfordringer knyttet til seg. Det må særlig ses på om vakuumsug klarer å åpne buken i tilstrekkelig grad. Dersom dette går så kan dette konseptet få et bedre hygienisk design enn om man må bruke en griper som er i direkte kontakt med fisken. Både vakuumsuger og mekanisk griper vil være i kontakt med fisken. I tillegg må man se på hvor mye støy et vakuumsug vil skape.

Endelig utforming og detaljering av griper gjenstår. Der kom det ikke fram et entydig svar selv om det er en viss preferanse for vakuumsug, mekanisk arm eller pøseklype. Hovedfunnene som bør tas med videre er hvor bukinspeksjon bør gjøres; umiddelbart etter bukinspeksjon, på grunn av fordelene med en gitt maks kapasitet samt at fisken kommer singulert og orientert.