

Rapport 9/2024 • Utgitt april 2024



Teknologi for automatisk sortering av tørrfisk

Faglig sluttrapport



Foto: Frank Gregersen, Nofima

Heidi A Nilsen, Samuel S Ortega, Thomas Nyrod, Amanda K Karlsen, Stein-Kato Lindberg, Karsten Heia og Sjúrdur Joensen

Nofima er et ledende matforskningsinstitutt som driver med forskning og utvikling for akvakulturnæringen, fiskerinæringen og matindustrien. Vi leverer internasjonal anerkjent forskning og løsninger som gir næringslivet konkurransefortrinn langs hele verdikjeden.

«Bærekraftig mat til alle» er vår visjon.

Kontaktinformasjon

Telefon: 77 62 90 00

post@nofima.no

www.nofima.no

NO 989 278 835 MVA



Hovedkontor Tromsø

Muninbakken 9–13

Postboks 6122

NO-9291 Tromsø



Stavanger

Måltidets hus

Richard Johnsensgate 4

Postboks 8034

NO-4068 Stavanger



Sunndalsøra

Sjølsengvegen 22

NO-6600 Sunndalsøra



Ås

Osloveien 1

Postboks 210

NO-1433 ÅS



Bergen

Kjerreidviken 16

Postboks 1425 Oasen

NO-5844 Bergen

Rapport

<i>Rapportnummer:</i> 9/2024	<i>ISBN:</i> 978-82-8296-779-2	<i>ISSN:</i> 1890-579X
<i>Dato:</i> 15. april 2024	<i>Antall sider + sider vedlegg:</i> 25 + 0	<i>Prosjektnummer:</i> 13500
<i>Tittel:</i> Teknologi for automatisk sortering av tørrfisk		
<i>Title:</i> Testing new technology for automatic sorting of stockfish		
<i>Forfatter(e):</i> Heidi A Nilsen, Samuel S Ortega, Thomas Nyrud, Amanda K Karlsen, Stein-Kato Lindberg, Karsten Heia og Sjúrdur Joensen		
<i>Avdeling:</i> Sjømatindustri		
<i>Oppdragsgiver:</i> FHF - Fiskeri og Havbruksnæringens Forskningsfinansiering		
<i>Eksternt prosjektnummer/Oppdragsgivers ref.:</i> FHF 901695		
<i>Stikkord:</i> tørrfisk, kvalitet, automatisk sortering, hyperspektral analyse, maskinlæring		
<i>Sammendrag/anbefalinger:</i> Se kapittel 1		
<i>English summary/recommendation:</i> See chapter 1.1		

Forord

Vraking av tørrfisk er en manuell og tidkrevende prosess. Næringen har etterspurt teknologi for å automatisere kvalitetsvurderingen med fokus på blod i fiskemuskel, frostskafer, mucoso, samt grunnleggende kvalitet på tørrfisk.

Prosjektet svarer på en utlysning fra Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF) med målsetting om å teste og evaluere teknologi for hurtig automatisk kvalitetsvurdering av tørrfisk, og er finansiert av FHF innen fagtema industri/foredling og konvensjonell.

Innhold

1	Sammendrag (både norsk og engelsk)	1
1.1	Summary	1
2	Innledning	3
3	Problemstilling og formål	5
4	Prosjektgjennomføring	6
4.1	Aktiviteter og forsøk	6
4.2	Råstoff og vurdering av kvalitet (vraking)	7
4.3	Målemetode - hyperspektral avbildning	9
4.4	Analyse av hyperspektrale data - metodebeskrivelse	11
4.5	Kost-nytte analyse	15
5	Resultater, diskusjon og konklusjon	16
5.1	Automatisk sortering av tørrfisk ved bruk av hyperspektral avbildning	16
5.2	Kost-nytte analyse for bruk av et automatisk verktøy for kvalitetssortering	20
6	Hovedfunn	23
7	Leveranser	24
8	Referanser	25

1 Sammendrag (både norsk og engelsk)

Tørking av fisk ute på hjell er en tradisjonell og mye brukt metode for konservering av fisk. Kvaliteten på sluttproduktet blir i stor grad avhengig av værforhold under tørking og kvaliteten på råstoffet som henges. Når fisken tørkes ute blir den utsatt for variasjon i temperatur, vind, sol og fuktighet. Til sammen gir dette en tørket og modnet fisk som har karakteristisk lukt, smak og konsistens. Ute-tørking innebærer også at en del fisk ikke får optimale forhold gjennom tørking, for å oppnå ønsket utseende, konsistens, lukt og smak.

Kvalitetsfeil som kan forekomme på en ferdig tørket tørrfisk er frostskafer, blodfeil, spalting i muskel, mucoso makk/fluelarver på innsiden av fisken, og muggvekst på skinnet. Å kvalitetsvurdere tørrfisk, vraking, er en tidkrevende prosess som krever opplæring og erfaring. Kvalitetsfeil på tørrfisk kan være vanskelig å oppdage, og feilene vises ofte først når fisken er ferdig sortert og blir vannet ut. I praksis betyr det at feilene først registreres hos bedrifter og kunder som viderefører fisken.

Tørrfisknæringen har etterspurt teknologi for å automatisere kvalitetsvurdering på tvers av kvalitetsgrupper med fokus på blod i fiskemuskel, frostskafer, mucoso, og grunnleggende kvalitet.

Prosjektet har hatt som hovedmål å utvikle en rask og ikke destruktiv metode for automatisk kvalitets-sortering av tørrfisk. Fokus i gjennomføring har vært på kvalitetsfeilene *blod i muskel* og *frostskafer*. Måling på tørrfisk er gjort ved bruk av Maritech Eye, hyperspektral avbildning, og referansen for disse målingene er sensorisk kvalitetsvurdering av både tørrfisk og utvannet tørrfisk. Det er utviklet modeller basert på maskinlæring som gjør det mulig å finne kvalitetsfeil i tørrfisken. Resultatene så langt viser at dette fungerer best for påvisning av frostskafe i tørrfisk. Det fungerer delvis for påvisning av blodfeil i tørrfisk, men da med større feilmargin. Videre arbeid for å utvikle metodikk for automatisk påvisning av kvalitetsfeil i tørrfisk bør fokusere på å forbedre modellene for påvisning av blodfeil i muskelen.

Det er også gjort en kost-nytte analyse for bruken av et slik verktøy i tørrfisknæringen. Resultatet av analysen indikerer at dette kan være lønnsomt også for en relativt lav grad av reduserte personal-kostnader knyttet til vraking.

1.1 Summary

Outside drying of fish, hanging on wooden racks, is a traditional and well known method of preserving fish. The quality of the final product is largely dependent on the weather conditions during drying and the quality of the fish that is hung. When fish is dried outside, it is exposed to variations in temperature, wind, sun and humidity. These parameters together give a dried and matured fish that has a characteristic smell, taste and texture, the Stockfish. Outdoor drying also means that some fish do not get optimal conditions through drying, in order to get the desired appearance, texture, odour and taste.

Quality defects that may be found on a fully dried stockfish are frost damage, blood defects, muscle gaping, mucoso, maggots or fly larvae on the inside of the fish, and mold on the skin. Assessing the quality of stockfish, "vraking", is a time-consuming process that requires training and experience. It can be difficult to find quality defects in stockfish, and the flaws may appear only after the fish is rehydrated and to be prepared to into a product or a meal. In practical life, this means that the errors may be registered first with the companies and customers who further process the fish.

The stockfish industry has asked for technology that may fully or partly automate quality assessment of stockfish with a focus on blood in fish muscle, frost damages, mucoso, and general quality aspects.

The main aim of this project was to develop a fast and non-destructive method for automatic quality sorting of dried fish. The focus in trials and analysis has been on the quality defects *blood in muscle* and

frost damages. Measurements on stockfish were made using the Maritech Eye, hyperspectral imaging, and the reference for these measurements is sensory quality assessment of both dry fish and rehydrated fish. Analytical models based on machine learning have been developed which make it possible to find quality defects in the dried fish. The results so far show that this applies best on the issue of detecting frost damages in dried fish. It works partially for the detection of blood defects in stockfish, but then with a bigger margin of error. Further work to develop a tool for automatic detection of quality defects in stockfish should focus on improving the models for detecting blood defects in the muscle.

A cost-benefit analysis was also carried out to assess the cost and usefulness of such a tool in the stockfish industry. This analysis indicates that it may be profitable also with a relatively low rate of reduced personnel costs linked to the quality assessment of stockfish.

2 Innledning

Ute-tørking av fisk er en tradisjonell og mye brukt konserveringsmetode der kvaliteten på sluttproduktet i stor grad avhenger av værforholdene under tørkingen, samt kvaliteten på råstoffet før det henges. Ulike fiskeredskap og bruken av disse kan gi ulike typer blodfeil på råstoffet før henging. Slike blodfeil kan være vanskelig å se på en ferdig tørket tørrfisk. Ved ute-tørking av fisk vil fisken utsettes for ulik temperatur, vind, sol og fuktighet. Til sammen gir dette en tørket og modnet fisk som har karakteristisk lukt, smak og konsistens. Naturtørking medfører også at en del fisk ikke har fått de optimale forholdene gjennom tørking, for å oppnå riktig konsistens, utseende, lukt og smak.

Eksempler på kvalitetsfeil som kan forekomme på en ferdig tørket tørrfisk er frostskafer, blodfeil, spalting i muskelen, mucoso (gele-lignende preg på deler av muskelen etter utvanning), makk/fluelarver på innsiden av fisken, og muggvekst på skinnen. Slike kvalitetsfeil kan opptre med ulik forekomst og omfang på hver enkelt tørrfisk. Stor fisk er generelt mere utsatt for kvalitetsfeil, sammenliknet med små fisk. Hengelokalitet og hvor på hjellen fisken henger vil også innvirke på tørrfiskkvaliteten.



Foto: Frank Gregersen, Nofima

Figur 1 Tørking av fisk på hjell, Lofoten

Vurdering av kvalitet og kvalitetsfeil, tørrfiskvraking, er i dag manuelt arbeid hvor hver fisk blir bedømt på synlige ytre og indre egenskaper og lukt. Vraking er derfor et tidkrevende og vanskelig arbeid. Samtidig kan en del av kvalitetsfeilene være vanskelig å påvise med sikkerhet på den tørkede fisken. Ettersom det kan være flere ulike kvalitetsfeil på en tørrfisk og flere av dem kan være vanskelig å bedømme korrekt, er kvalitetssortering av tørket fisk en viktig del av selve produksjonsprosessen. Kvaliteten på produktet kommer først ordentlig til syne etter utvanning, og avhengig av hvor god sorteringen har vært kan tørrfiskprodusenter motta reklamasjoner på tørrfisk som ikke har holdt lovet kvalitet.

Enhver hjelp til objektiv og effektiv vurdering av kvaliteten, enten alle kvalitetsparametere eller noen av de viktigste, vil være en god hjelp i korrekt og effektiv kvalitetssortering.

I FHF-prosjekt 901489 har Maritech sammen med Nofima, Norsk Elektrooptikk og Lerøy utviklet en kommersiell løsning for måling på hel hvitfisk for påvisning av blod på innsiden av fisken, i fiskemuskelen (Johansen & Heia, 2019; Johansen, & Heia 2020). I dette prosjektet ble metode og analyse utviklet ved Nofima tatt i bruk i en kommersiell løsning som har stort potensiale for å kunne benyttes på andre områder. Utstyret som nå er kommersielt tilgjengelig, kalles Maritech Eye¹. Bakgrunnen for nåværende prosjekt er å undersøke hvorvidt denne løsningen egner seg for å sortere tørrfisk basert på kvalitet knyttet til blod i muskelen og frostskafer. Dersom metoden viser seg å fungere tilfredsstillende og potensielt kan være lønnsomt å implementere inn i en linje, vil det kunne brukes som et supplement til manuell vraking. Dette er særlig for å kunne påvise feil som ikke er umiddelbart synlige ved manuell vraking og slik bidra til å gjøre vrakingen mindre tidkrevende og mer pålitelig.

Prosjektet hadde opprinnelig en tidsramme på ett år, med forsøksplan for testing av metode, analyse og evaluering av målinger gjennom en sesong. Dette med forbehold om at forsøk kunne gjennomføres med tilstrekkelig variasjon i betingelser og kvalitet på råstoffet. I gjennomføring ble det nødvendig med økt tidsramme for å skaffe til veie råstoff/tørrfisk med tilstrekkelig variasjon som grunnlag for evaluering. Gjennomføringen har også tatt mer tid enn opprinnelig planlagt på grunn av endringer i prosjektgruppen.

Prosjektgruppen har bestått av:

- Nofima
 - Sjurdur Joensen
 - Samuel Ortega
 - Amanda Karlsen
 - Thomas Nyrud
 - Karsten Heia
 - Stein-Kato Lindberg (prosjektleder fra prosjektstart fram til mai 2023)
 - Heidi Nilsen (prosjektleder fra mai 2023 til prosjektavslutning)

- FHF
 - Lorena Jornet (FHF-ansvarlig)
 - Frank Jakobsen

- Referansegruppe
 - Rolf Jarle Andreassen (Br. Berg AS)
 - Thorvald H. Giæver (Johs. Giæver AS)
 - Tore Ivar Johansen (Røst Sjømat AS)
 - Ole Olsen (Sufi AS)
 - Jonas Walsøe (Berg Seafood AS)

¹ <https://maritech.com/our-solutions-seafood-production/maritech-eye/>, <https://maritech.com/launched-maritech-eye-for-white-fish/>

3 Problemstilling og formål

Hovedmål for prosjektet var å utvikle en rask og ikke destruktiv metode for automatisk kvalitetssortering av tørrfisk.

Dette skulle oppnås gjennom å arbeide med følgende fire **delmål**:

- 1) Teste om hyperspektral avbildning kan benyttes til automatisk kvalitetsvurdering av tørrfisk med kjent kvalitet på tvers av kvalitetsklassene.
- 2) Tilpasse og kalibrere teknologien for automatisk kvalitetsvurdering med hensyn til blod i fiskemuskel og grad av frostskafer.
- 3) Teste muligheter for å sortere tørrfisk med bakgrunn i farge på skinnet, grad av mucoso, form og farge på skinn og grunnleggende sortering i kvalitetsgrupper (prima, sekunda og vrak).
- 4) Gjennomføre kost-/nytteanalyser for vurderinger av lønnsomheten av implementering av teknologien i kommersiell drift.

4 Prosjektgjennomføring

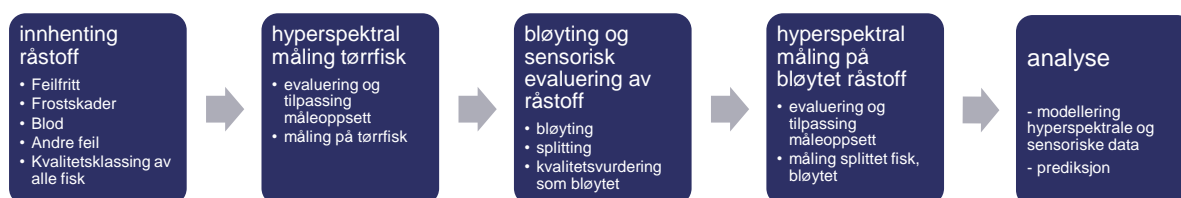
4.1 Aktiviteter og forsøk

Hyperspektral avbildning har i seinere år vist seg anvendelig på flere områder knyttet til vurdering av kvalitetsparametere på mat og sjømat, (Cheng & Sun, 2014; Skjelvareid et al., 2017; Ortega, et al., 2023). Hyperspektral avbildning kan forenklet beskrives som en metode som gir svært detaljert informasjon om egenskaper relatert til form og farge på et produkt. Dette gjelder også strukturer og fargenyanser som ikke kan oppfattes med det menneskelige øyet. Slike detaljegenskaper kan i sin tur knyttes til andre målinger, referansemålinger, på det samme produktet, og ved bruk av matematiske modeller og statistikk undersøker man om det er mulig å etablere en analytisk sammenheng mellom de hyperspektrale målingene og referansemålingen. Dersom en slik modell kan etableres, er det da mulig å bruke den hyperspektrale metoden til å evaluere egenskapen(e) fra referansemålingen. Til forskjell fra vanlige bilder er detaljeringsgraden i hyperspektral avbildning svært stor. Eksempelvis vil et vanlig bilde fra digitalt kamera ha tre spektrale bånd (RGB, rød, grønn og blå), mens en hyperspektral avbildning av det samme produktet, i vårt oppsett, har 88 bånd for fargegjengivelse (bølgelengder) innenfor både synlig og nær infrarødt lys.

For å undersøke og mulig etablere en sammenheng på om hyperspektral avbildning er egnet for kvalitetsvurdering av tørrfisk, ble det satt opp forsøk og plan for å evaluere metoden til dette formålet. Utgangspunktet for arbeidet var å framskaffe råstoff som hadde stor variasjon (fra lite til mye) innen de største/vanligste kvalitetskriterier på tørrfisk, og da i prioritert rekkefølge: 1) feil knyttet til blod i muskel; 2) frost/fryseskade; 3) andre kvalitetsfeil (mucoso, makkfisk, annet). Kvalitetsvurderingen ble utført på både tørrfisk og utvannet tørrfisk.

Det ble gjort hyperspektral avbildning av råstoffet, både som produkt tørrfisk og som produkt utvannet og skinnert tørrfisk. Målingene ble gjort ved bruk av Maritech Eye. Referanse for hyperspektral måling er den kommersielle vurderingen (vraking) av tørrfisk fra bedriftens tørrfiskvraker og sensorisk vurdering av utvannet tørrfisk. En forsker fra Nofima med erfaring fra kvalitetsvurdering av tørrfisk har også bidratt i kvalitetsvurdering av tørrfisk.

Etter hyperspektrale målinger og referansevurdering av råstoffet ble data analysert og modellert for mulige sammenhenger. Dataanalysen ble gjort på sammenheng mellom hyperspektrale data fra tørrfisk og referansedata fra tørrfisk og bløytet tørrfisk. Forenklet diagram for forsøksgjennomføring og målinger, er vist i figur 2.



Figur 2 Skjematisert oversikt over råstoffmåling, vurdering og analyse i prosjektet

Arbeidet med å systematisk vurdere og registrere sensorisk kvalitet på både tørrfisk og bløytet fisk; hvilken type feil og hvor i fisken feilen er lokalisert, er tidkrevende. Det samme gjelder når denne referanseinformasjonen skal overføres til digital gjengivelse for videre analysemodeller og prediksjon av

kvalitet. Innenfor rammen av prosjektet ble det ikke rom for å detaljere analysen på flere kvalitetsfeil enn blod- og frostskeer. Blod- og frostskeer var også de feilene som hadde prioritet i utlysningen.

For å evaluere nytteverdi av et automatisk måleverktøy i kommersiell tørrfiskproduksjon, er det gjennomført en kost-nytteanalyse for bruk av slik metode til vurdering av tørrfiskkvalitet.

4.2 Råstoff og vurdering av kvalitet (vraking)

Ved innhenting av tørrfisk til forsøkene, ble det vektlagt å få tak i råstoff som best mulig skulle gi variasjon med tanke på kvalitetsfeilene «blod i fisk» og «frostskeer fisk». Andre typer kvalitetsfeil ble også registrert, men hovedfokus i prosjektarbeidet gjelder feil knyttet til blod og frostskeer. Tørrfisk til forsøkene ble hentet inn i to omganger:

Tørrfisk, gruppe 1

I september 2021 tok tørrfiskbedriften SUFI AS ut et parti på 105 fisk til forsøk og analyse. Tørrfiskvraker ved bedriften kvalitetssorterte tørrfisk til forsøket (0,8–1,4 kg) med henholdsvis blodfeil, frostskeer og feilfri fisk. Vraking og inndeling av dette råstoffet var henholdsvis 35 tørrfisk klassifisert med blodfeil, 35 tørrfisk klassifisert med frostskeer og 35 tørrfisk klassifisert som (mest mulig) feilfri. Hver av fisken ble nummerert og opplysninger om enkeltfisk registrert med type feil og alvorlighetsgrad ble registrert for hvert område på fisken, se tabell 1:



Foto: Frank Gregersen, Nofima

Figur 3 Ferdig tørket fisk

Tørrfisk, gruppe 2

I mars i 2022 ble det hengt torsk hos Lorentzen Fisk AS på Brensholmen til bruk i forsøkene. For denne forsøksfisken ble det gjort et utvalg av ferskt råstoff som skulle gi variasjon med hensyn til parameter blodfeil. Det ble plukket ut garnfisk med mye blod, enten i form av at fisken var sjøddød, var mangelfullt utblødd, var blodsprengt og/eller hadde alvorlige redskapsmerker. Til sammen 30 fisk ble tatt ut og kvalitetsfeil registrert på individnivå, før tørking.

Tørrfisk ble tatt ned tidlig i juni og deretter kjørt til Nofimas forsøkshall, hvor den ble ettertørket innendørs i 2–3 uker. Sist i juni ble fisken satt på kjølerom ved ti grader frem til kvalitetsvurdering og utvanning i slutten av september.

Kvalitetsvurdering/vraking av tørrfisk gruppe 2 ble utført av en lokal tørrfiskvraker fra Tromsø. Vrakingen ble utført på samme måte som for gruppe 1. Ettersom tørrfisk er et naturprodukt vil det ikke være mulig å få inn fisk med bare en type feil. Det vanlige er at tørrfisk vil ha ulik grad av kvalitet og kombinasjoner av feil. Dermed vil utvalget, av eksempelvis fisk med frostskafer, også kunne omfatte enkeltfisk med ulike andre små/store kvalitetsfeil.

Tabell 1 Kvalitetsskjema for tørrfisk - skjema ble utfyllt for hvert individ, og med gradering i henholdsvis: ingen feil, noe feil og mye feil

Kvalitetsfeil	På tykkfisken	I nakken	I buk	Ved gatt	I spord
Blod					
Frost					
Mucoso/bløt					
Fruoso/spaltet					
Makk					
Sur					

Etter vurdering av tørrfiskkvaliteten ble fisken målt med Maritech Eye, og deretter utvannet før videre vurdering.

Utvanning av tørrfisk

For videre sensorisk referanse og beskrivelse av råstoffet, ble tørrfisk vannet ut. Hel tørrfisk ble lagt i fiskekar på kjølerom og tilført vann/is til all fisk var godt dekket. Vann/is ble byttet ut hver dag. På dag 2 ble tørrfiskene merket i bukklapp på begge sider, for å kunne indentifisere begge fileter fra respektive fisk. Dag 6–7 ble fisken delt midt etter ryggen ved bruk av båndsgag, og så ble ryggbein og svømmeblære fjernet før videre bløyting. På dag 9 ble filetene av utvannet tørrfisk målt ved bruk av Maritech Eye, samt fotografert. Dag 10 ble høyre filet skinnert, og så målt på skinnsiden ved bruk av Maritech Eye. Filetene ble også fotografert. Som bløytet tørrfisk, på dag 11 og 12, ble fisken kvalitetsvurdert på individnivå. Vurderingen ble gjort på muskelsiden på begge filetene og på høyre skinnside. Type feil og grad av feil ble vurdert på hver filet slik som det fremgår av tabell 2.

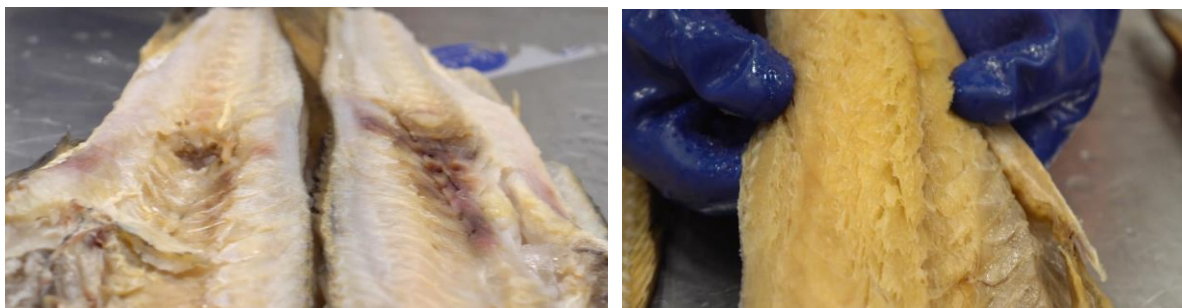
Tabell 2 Kvalitetsskjema for vurdering av bløytet tørrfisk filet. Det ble gjort registrering for høyre og venstre filet. På høyre skinnside ble blod og frost registrert, gradering av hver feil er henholdsvis: ingen feil, noe feil og mye feil.

Kvalitetsfeil	På tykkfisken	I buk	Ved gatt	I spord	Kommentar
Blod					
Frost					
Mucoso/bløt					
Fruoso/spaltet					
Makk					
Sur/oppløst					



Foto: Frank Greersen, Nofima

Figur 4 Utvannet, splittet tørrfisk, hvor svømmeblæren er delvis fjernet på fileten under



Figur 5 Eksempler på hvordan kvalitetsfeilene «blod i muskel» (til venstre), og «frostfisk» (til høyre), kan vises i utvannet tørrfisk (Bildene er hentet fra Geirs videoblogg <https://www.youtube.com/watch?v=MZn3Jb7sp-s>)

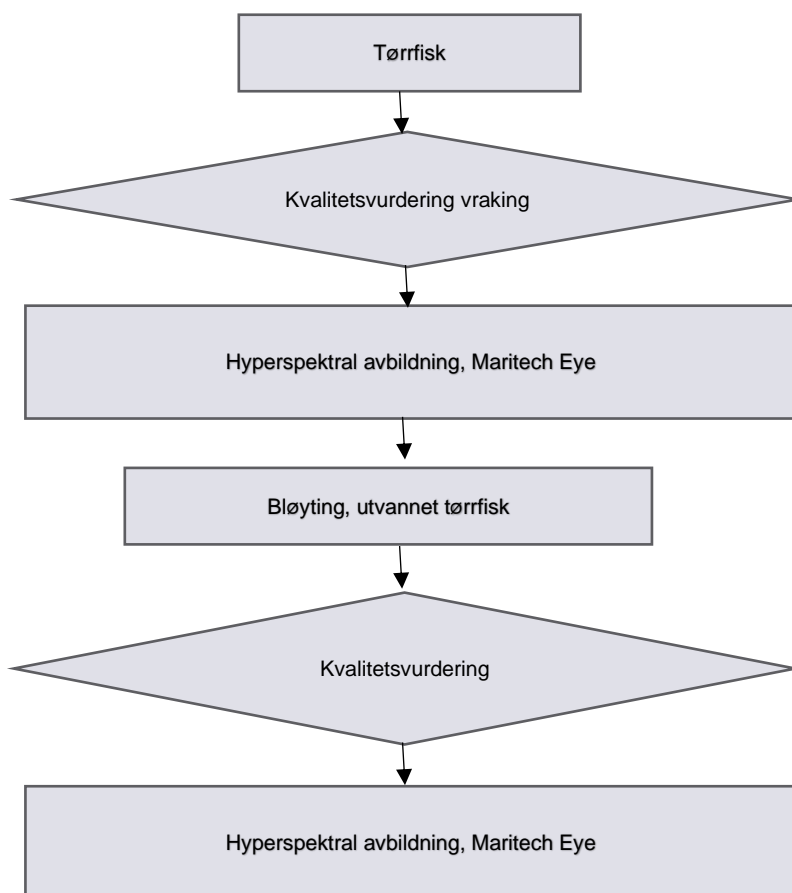
En summarisk oversikt over referansedata; kvalitetsfeil som ble registrert ved vraking av tørrfisken for respektive områder; tykkfisk, buk og spord, er vist i kapittel 4.4, figur 11. Denne oppsummeringen av kvalitetsfeil blir brukt som referanse for de hyperspektrale målingene.

4.3 Målemetode - hyperspektral avbildning

Avbildende spektroskopi, eller også hyperspektral avbildning, kan forenklet beskrives som metodikk som gir svært detaljert informasjon om egenskaper som form, farge og kjemisk sammensetning til et produkt. Mer spesifikt er hyperspektral avbildning en metode for detaljert måling av produktets spektrale egenskaper (det kan også inkludere bølgelengder som ikke er synlige for det menneskelige øyet) og med høy grad av romlig oppløsning (informasjon om form og struktur på produktet). I praksis blir prøvematerialet belyst eller gjennomlyst med en kraftig lyskilde, og det registreres hvor mye lys som absorberes eller sendes tilbake til sensoren. Data fra slike målinger analyseres ved bruk av digitale verktøy, for eksempel med utgangspunkt i multivariate teknikker og/eller maskinlæring.

Hyperspektral avbildning har i seinere år vist seg anvendelig på flere områder knyttet til vurdering av kvalitetsparametere på mat og sjømat, (Cheng & Sun, 2014; Skjelvareid et al., 2017; Ortega, et al., 2023). En fersk fiskemuskel fungerer som en fiberoptisk leder som leder lyset gjennom muskelfibrene, mens de fiberoptiske egenskapene avtar i sammenheng med nedbrytning av muskelen under lagring. Dette kan måles hyperspektralt slik som beskrevet i Skjelvareid et al. (2017). Måling og dataanalyse er basert på en kjemisk modell av hvordan lyset absorberes og spres i fiskemuskel, og slik er det mulig å si noe om muskelsammensetning og egenskaper til prøven. Denne metoden, som Nofima har utviklet for hvitfisk, er utviklet videre til kommersiell sammenheng for kvalitetsvurdering i fiskeindustri (Maritech Eye, 2022); blant annet til å måle blod både på filet og hel fisk (Johansen & Heia 2020; Johansen & Heia, 2019).

I prosjektet ble Maritech Eye brukt til hyperspektral avbildning av tørrfisk og utvannet tørrfisk. Her er målingene basert på lys i bølglengdeområdet 482–968 nanometer (nm) som er både synlig lys og nær infrarødt lys. Teknologien er utviklet i prosjekt FHF 901489, hvor forskningsresultat og erfaring ga grunnlag for kommersielt industriutstyr for hyperspektral avbildning; Maritech Eye. Rekkefølge og sammenheng for hvordan råstoff er målt og evaluert med Maritech Eye er vist i diagram i figur 6.

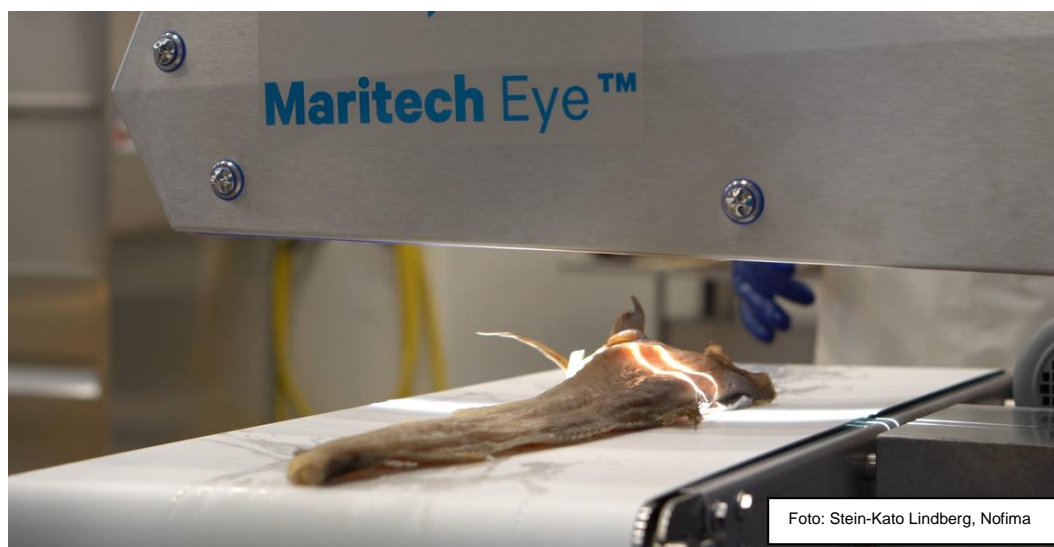


Figur 6 Flytdiagram for måling av råstoff med hyperspektral avbildning med Maritech Eye

Tørrfisken ble skannet med Maritech Eye med orientering høyre- og venstre side. Ettersom tørrfisken kan variere i form etter tørking, måtte det gjøres tilpassing av måleoppsett for å kunne registrere mest mulig representativt av fisken. For enkelte tørrfisk ble det nødvendig å plassere små trebiter som støtte på transportbåndet, for at systemet kunne få en representativ måling av fisken. Fart på transportbåndet ved måling var 15 cm/s, og registrering fra høyre side av tørrfisken ble brukt videre i analysen.



Figur 7 Tørrfisk på transportbånd for måling av egenskaper og kvalitetsfeil ved bruk av hyperspektral avbildning. Fisken belyses med intens lyskilde (de parallelle lysstripene) og sensoren registrerer kontinuerlig lys fra overflate og muskel i området mellom lysstripene. På dette viset blir tørrfisk/prøven scannet fra nakke til spord. Som illustrert i disse bildene, er tørrfisk et utfordrende prøvemateriale ved at den har varierende utforming og geometri. Dette gjør det utfordrende å etablere et standardisert område for måling på fisken.



Figur 8 Bløytet og splittet tørrfisk på transportbånd for måling av egenskaper og kvalitetsfeil med hyperspektral avbildning. Den utvannede prøven har en fleksibel struktur som gjør den enklere å måle, enn tørrfisken.

4.4 Analyse av hyperspektrale data - metodebeskrivelse

Innledende databehandling

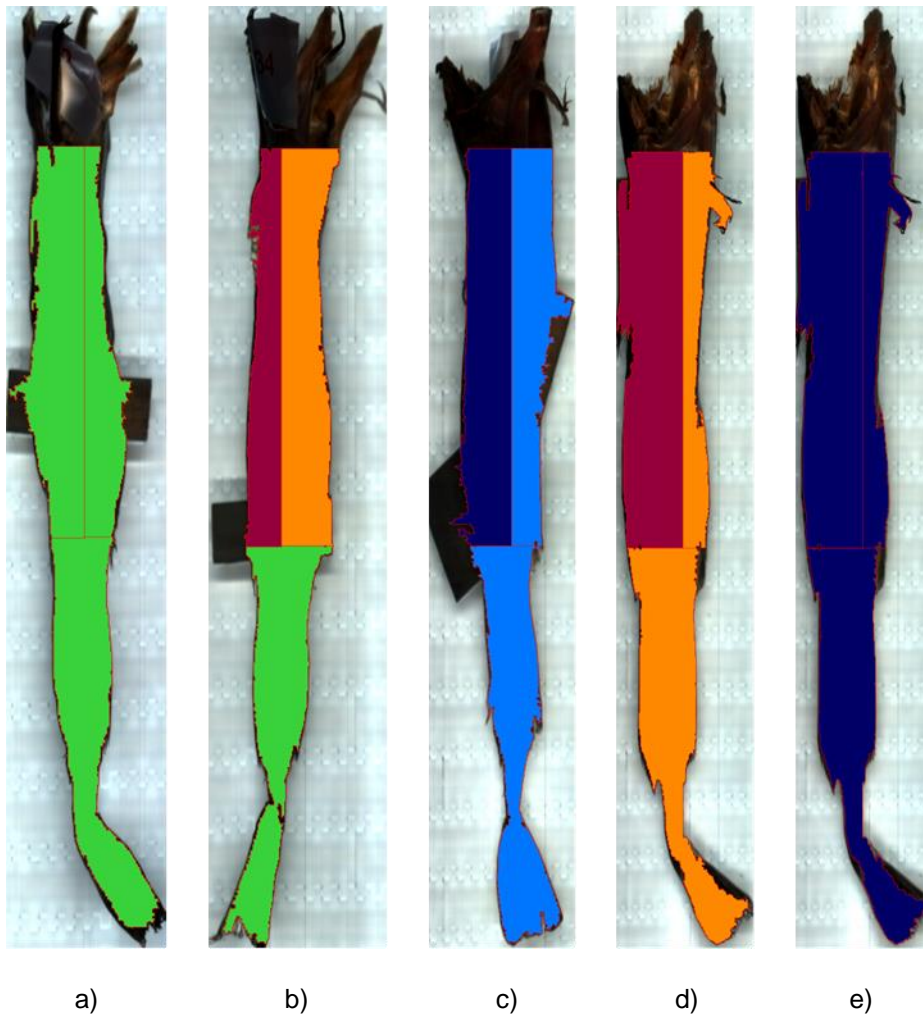
Før man kan utvikle metoder for å analysere de hyperspektrale dataene, må det lages et **datasett** som både inneholder de spektrale dataene og den manuelle vurderingen av de forskjellige kvalitetsfeilene (vraking; blod- og frostskafer). Det første trinnet i denne prosessen består i å automatisk identifisere pikslene (bildeinformasjon) som kjenner igjen prøven fra bakgrunnen i det originale hyperspektrale bildet (Figur 9a). Deretter tilordnes/deles dataene inn i respektive deler av fisken, betegnet som segmentering. Et eksempel på segmentering av en prøve er vist i Figur 9b. Ettersom den manuelle kvalitetsvurderingen ble utført uavhengig for de forskjellige delene av fisken (tykkfisk, buk og spord), ble det utviklet en metode for å identifisere de respektive delene av fisken automatisk innenfor det hyperspektrale bildet. I den videre analysen er data fra tørrfisken delt inn i tre områder, tykkfisk, buk og spord. Figur 9c viser hvordan den automatiske identifiseringen av de forskjellige delene av fisken blir tilordnet, hvor områdene til de respektive delene er fremhevet med henholdsvis kroppsdel/farge: tykkfisk/grønn, buk/blå, spord/gul.



Figur 9 Grafisk fremstilling av arbeidsflyt i analysen; a) RGB-bilde av tørrfisk hentet fra hyperspektrale data, b) Segmentering av tørrfisken mot transportbåndet, og c) Automatisk identifisering av de forskjellige delene av fisken: tykkfisk/grønn, buk/blå, spord/gul

Beskrivelse av datasettet

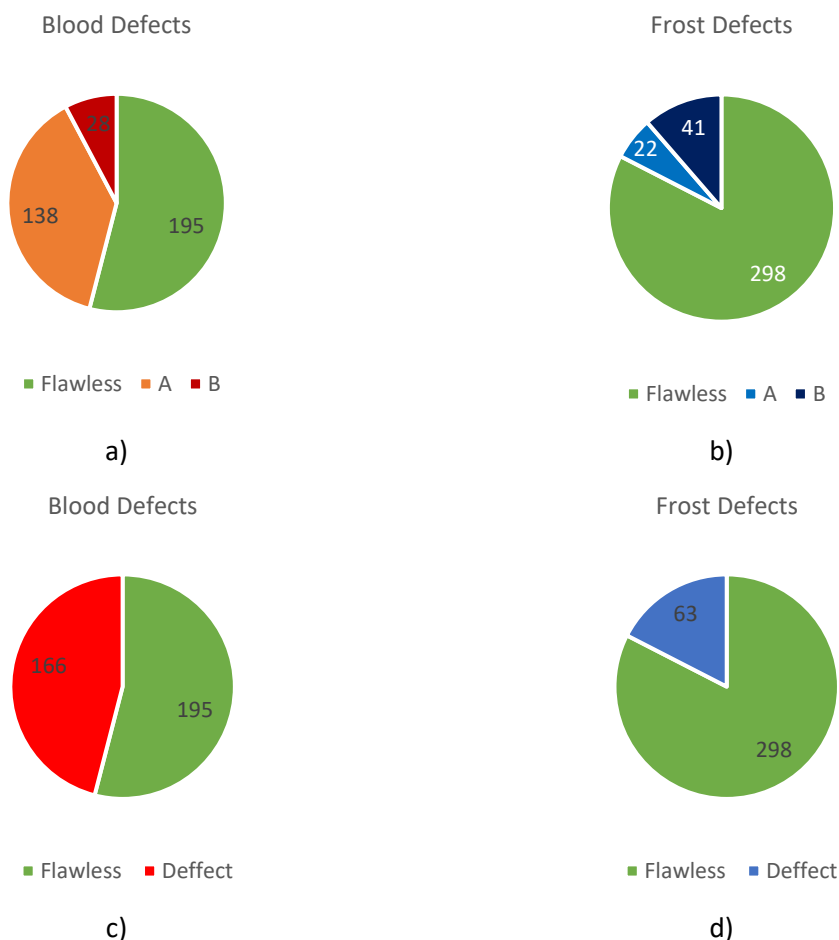
Etter at de forskjellige delene av fisken ble identifisert i de hyperspektrale bildene, ble det tilordnet merknader for hver del basert på den manuelle skåringen (kvalitetsvurderingen) av prøvene. I dette arbeidet ble kvalitetsvurdering både fra tørrfisken og den bløyta tørrfisken brukt. Ved skåring av prøvene ble det brukt tre ulike klasser: ingen kvalitetsfeil, **OK**, moderate kvalitetsfeil, **A**, og alvorlige kvalitetsfeil, **B**. Figur 10 viser et eksempel på registrering og tilordning til noen relevante eksempler hentet fra datasettet. Figur 10a viser en feilfri prøve. Figur 10b viser en prøve som ikke har kvalitetsfeil (grønn) i sporden, men alvorlig blodskade (rød) i tykkfisken og moderat blodskade (oransje) i buken. Figur 10c viser en prøve med alvorlig frostskafer i tykkfisken (mørk blå) og moderate frostskafer (lyseblå) i buk og spord. Til slutt viser figur 10d og figur 10e (samme fisk) eksempel på en prøve som viser begge typer defekter: alvorlig blodskade i tykkfisken, moderat blodskade i buk og tykkfisk, og alvorlig frostskafer i alle delene av prøven.



Figur 10 Eksempler på merknader/tilordning i datasettet; Grønn (feilfri, ingen skader), Oransje (moderat blodskade), Rød (alvorlig blodskade), Lyseblå (moderat frostskafer), Mørk blå (alvorlig frostskafer)

Oppsummeringen av tilgjengelig referansedata er vist i figur 11. Opprinnelig datasett bestod av 135 tørrfisk. Av ulike grunner er 10 tørrfisk ikke med i datasettet brukt for analyse. Dette er delvis på grunn av utfordrende geometri som gjorde det vanskelig å få til en god bilderepresentasjon, og delvis på grunn av manglende referansedata. Av totalt 125 skannet fisk ble 361 områder registrert og tilordnet informasjon om kvalitet/feil, som betyr at det er enkeltprøver som er tilordnet bare en eller to inndelinger. De fleste prøvene er da inndelt i henholdsvis område; tykkfisk, buk og spord. Når det gjelder blodfeil, er antall feilfrie prøver 195, antall moderate feil er 138, og 28 prøver viser alvorlige feil. Dette viser at et begrenset antall prøver i datasettet har alvorlige blodfeil (bare 8 %). Når det gjelder frostskafer, er de fleste prøvene feilfrie (298 av 361), 22 prøver har moderate frostskafer, og 41 prøver har alvorlige frostfeil. I dette tilfellet representerer antallet prøver som viser eventuelle frostskafer kun 21 % av datasettet. Antall prøver i datasettet som har både blod- og frostskafer er 39.

Det tilgjengelige datasettet fra måling og registrering, har en del begrensninger; antall tørrfisk/områder med alvorlige blodfeil og antall fisk med frostskafer er begrenset. Mål med analysen er å utvikle en løsning basert på de hyperspektrale dataene for å forutsi de ulike skadene i tørrfisk. Ved utvikling av analysealgoritmer basert på kunstig intelligens er begrensningene i antall tilgjengelige prøver for å trene modellene en begrensning. For å redusere effekt av denne faktoren ble det også brukt en feilklasse som bygger både på klassene **A** og **B**, til en felles klasse som indikerer om det er noen feil på prøvene, uavhengig av alvorlighetsgraden.



Figur 11 Oppsummering av antall referanseprøver i datasettet med hensyn til referansedata/kvalitetsvurdering fra inndeling tykkfisk, buk og spord; a) Blodfeil etter alvorlighetsgrad, b) Frostskader etter alvorlighetsgrad, c) Totale blodfeil, d) Totale frostskaider - A: Moderate feil, B: Alvorlige feil

Analyse for påvisning av kvalitetsfeil ved bruk av hyperspektral avbildning og kunstig intelligens

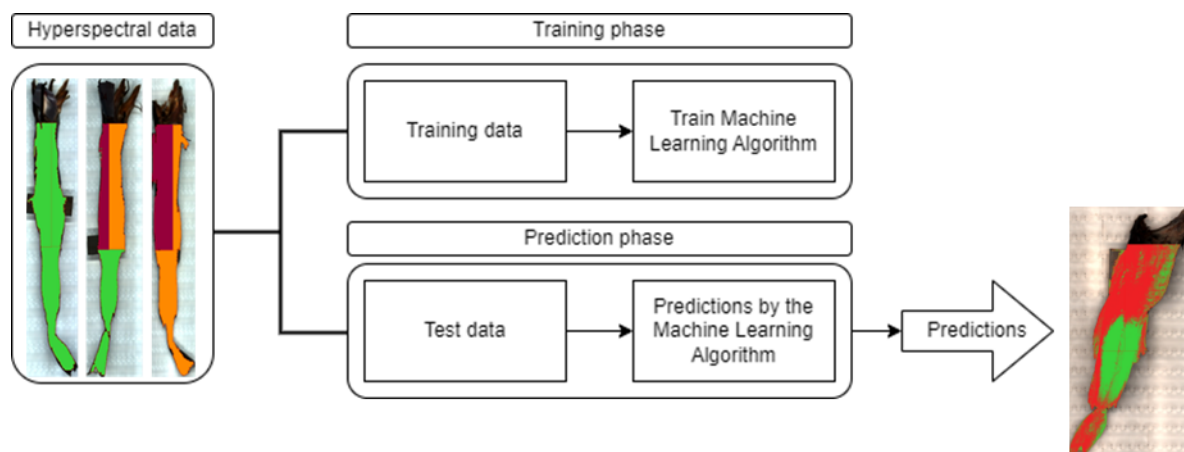
Målsetting for dette arbeidet er å påvise kvalitetsfeil i tørrfisk ved bruk av hyperspektral bildeanalyse. For dette formålet brukes en maskinlæringsmodell, en type kunstig intelligens. Arbeidsflyt for å behandle dataene ved bruk av maskinlæringsmodeller består vanligvis av to faser. I den første fasen, *treningssfasen*, mates algoritmen med hyperspektrale data og de tilhørende referansedata (referansedata er basert på manuell scoring av prøvene) til modellen lærer å skille mellom områder med eller uten kvalitetsfeil. Vanligvis er det nødvendig å ha et høyt antall prøver for å trene modellene, for å oppnå god ytelse på analysen. Den andre fasen, *prediksjonsfasen*, bruker den trente maskinlæringsmodellen for å forutsi kvalitetsfeil fra de hyperspektrale dataene. I prediksjonsfasen bør evalueringen utføres ved å bruke et uavhengig sett med prøver/data, som ikke har vært brukt til å trene modellen. I analysearbeidet er det derfor god praksis å dele de hyperspektrale dataene i et treningssett (brukt i treningssfasen) og et testsett (brukt i prediksjonsfasen).

En oppsummering av denne arbeidsflyten er vist i figur 12, hvor dataene er delt inn i et treningssett og et testsett. Deretter trenes modellen ved hjelp av treningssettet, treningssfasen, og ytelsen evalueres i prediksjonsfasen. For hver prøve er det da mulig å få et «bildekart» som lokaliserer områder på tørrfisk med- (røde) eller uten- (grønne) kvalitetsfeil.

Fra det totale antallet prøver bruk i analysen (125 tørrfisk), ble 103 brukt til å trene modellene, mens data fra de resterende 22 tørrfiskene ble brukt til evaluering. Prøvene som ble brukt til å teste modellen

ble valgt tilfeldig, og det ble kontrollert at både feil knyttet til blod i tørrfisk og frostskafer var representert. På bakgrunn av begrensningene i datasettet er analysen satt opp med hensyn til trening og evaluering av maskinlæringsalgoritmen for å påvise

- 5) blodfeil i tørrfisk
- 6) frostskafer i tørrfisk
- 7) generiske kvalitetsfeil, at det ikke skilles mellom blod- og frostskafer i tørrfisk



Figur 12 Arbeidsflyt for påvisning av kvalitetsfeil basert på hyperspektrale data og maskinlæring. I analyseresultatet/prediksjonen representerer den røde fargen at det er påvist kvalitetsfeil i tørrfisken, mens den grønne fargen representerer områder uten feil.

4.5 Kost-nytte analyse

For vurdering av nytte ved bruk av mulig teknologi for automatisk kvalitetsvurdering av tørrfisk ble det gjennomført analyse av kostnad opp mot nytteverdi ved bruk av et mulig verktøy for kvalitetsvurdering.

De faste kostnadene ved implementering av teknologien vil i hovedsak være knyttet til innkjøp, installasjon og drift av den teknologiske løsningen. Disse kostnadene vil estimeres i samråd med leverandør og erfaringer fra tilsvarende installasjoner. Leverandør og andre prosjektmedarbeidere vil kunne bidra til å estimere de variable kostnadene til drift av oppsettet. Disse vil eksempelvis være knyttet til strøm, personell og vedlikehold. Den praktiske kapasiteten vil være av stor betydning for faste enhetskostnader. Kapasitetsforhold estimeres primært med utgangspunkt i intervju med de samarbeidende bedriftene.

Det er sannsynligvis knyttet størst usikkerhet til nytteverdien av teknologien – både med hensyn på områder og omfang. Teknologien kan bidra til lavere ressursbruk til vraking, bedre og sikrere kvalitetssortering av tørrfisken, prisene som oppnås, reklamasjoner og tillit fra kunder. For å belyse disse er det gjennomført intervju med næringsaktører om bruk av teknologien som støtte i vraking og dokumentasjon av kvalitet. Estimatenes for kostnader, kapasitet og nytte vil danne grunnlaget for et oppsett for totale kostnader og nytte implementert i en eksempelbedrift.

5 Resultater, diskusjon og konklusjon

5.1 Automatisk sortering av tørrfisk ved bruk av hyperspektral avbildning

I dette kapitlet beskrives resultatene av analysemodellene når vi evaluerer ytelse basert på det uavhengige testsettet. Resultatene blir vurdert med hensyn til presisjon og tilbakekalling. I praksis vurderer vi da antall falske positive (FP), falske negative (FN) og sanne positive (TP). I sammenheng med å påvise kvalitetsfeil i tørrfisk, betyr en sann positiv at maskinlæringsmodellen har nøyaktig identifisert en kvalitetsfeil, og det er samsvar mellom analyseresultat og den sensoriske kvalitetsbedømmelsen. På den annen side er en falsk positiv når modellen forutsier en kvalitetsfeil i et område som er feilfritt i henhold til manuell scoring (den sensoriske kvalitetsbedømmelsen). Til slutt er en falsk negativ når modellen ikke klarer å identifisere en feil som er markert i den manuelle scoringen.

Presisjon i analysemodellen er forholdet mellom det faktiske antallet treff med å oppdage kvalitetsfeil og det totale antallet feil som er flagget av modellen. Høy presisjon indikerer en nøyaktig påvisning av kvalitetsfeil med et lavt antall falske positive. *Tilbakekalling i analysemodellen* er forholdet mellom det totale antallet treff med å oppdage kvalitetsfeil og det totale antallet kvalitetsfeil i datasettet. Høy tilbakekalling innebærer en høy deteksjonsrate av kvalitetsfeilene i datasettet, og indikerer modellens evne til å unngå falske negativer.

$$\text{Presisjon} = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$\text{Tilbakekalling} = \frac{TP}{TP + FN}$$

Oppsummeringen av resultatene for de ulike modellene er vist i tabell 3.

Tabell 3 Oppsummering av analyseresultat fra de ulike maskinlæringsmodellene.

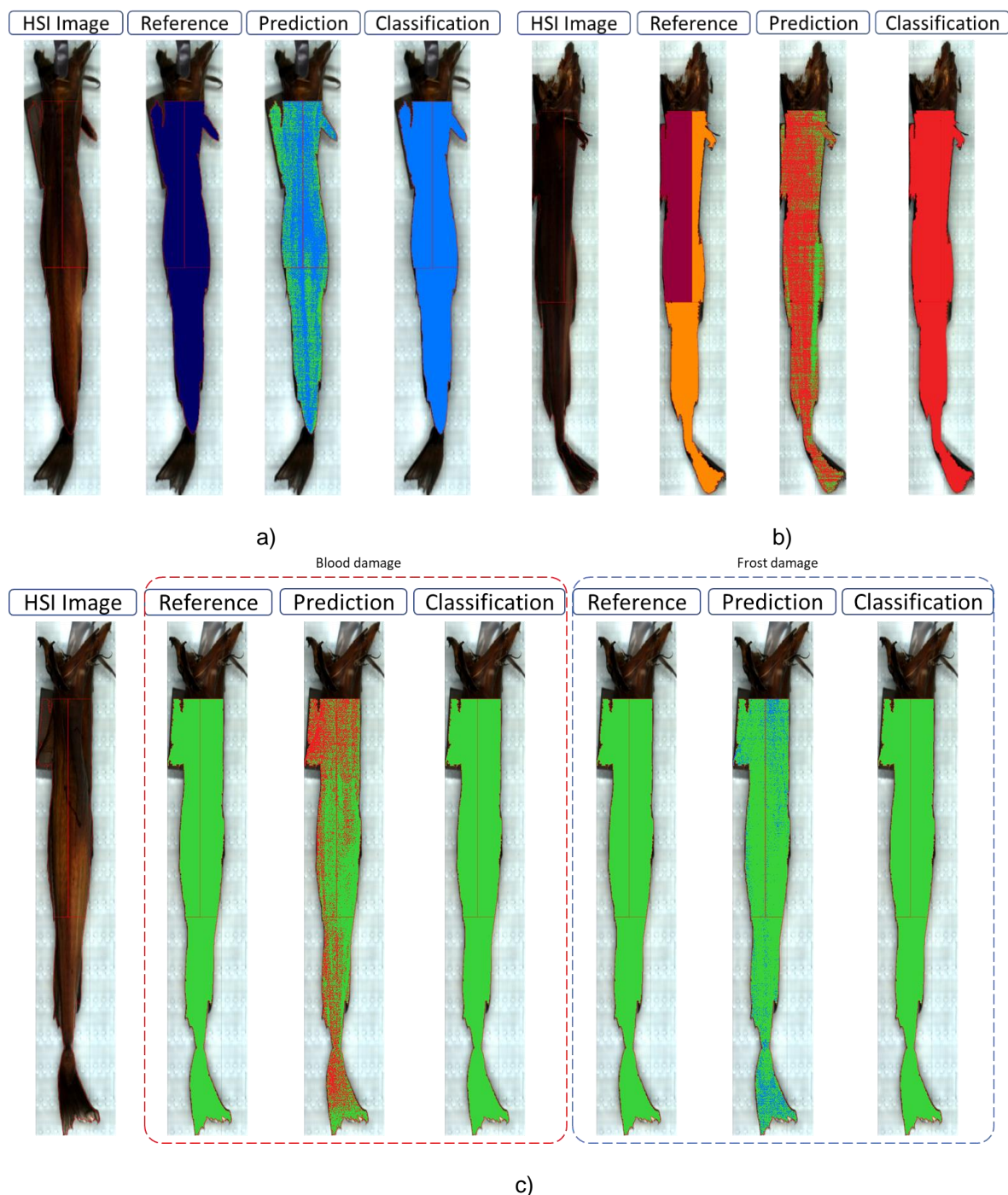
	Blodfeil	Frostskader	Generiske feil
Presisjon (%)	50 %	83 %	63 %
Tilbakekalling (%)	85 %	83 %	69 %

Resultatene av de ulike maskinlæringsmodellene som er brukt i denne studien er lovende, spesielt når det gjelder parameter tilbakekalling. Den høye tilbakekallingsverdien indikerer at hyperspektrale data analysert med maskinlæringsmodeller kan oppnå høy deteksjonsrate av kvalitetsfeil, med et lavt antall falske negativer. Dette er spesielt aktuelt i industrielle applikasjoner, hvor et lavt antall feilvurderinger er avgjørende.

Når det gjelder presisjon, viser de ulike modellene ulike resultater. For kvalitetsfeilen *frostskade* er presisjonen høy (83 %), noe som indikerer en presis påvisning av feil med et lavt antall falske positive. For *blodfeil* og *generiske feil* er imidlertid presisjonen lavere, noe som tyder på at disse modellene gir et høyt antall falske positive (FP), som igjen betyr at modellen forutsier feil som faktisk ikke er på fisken.

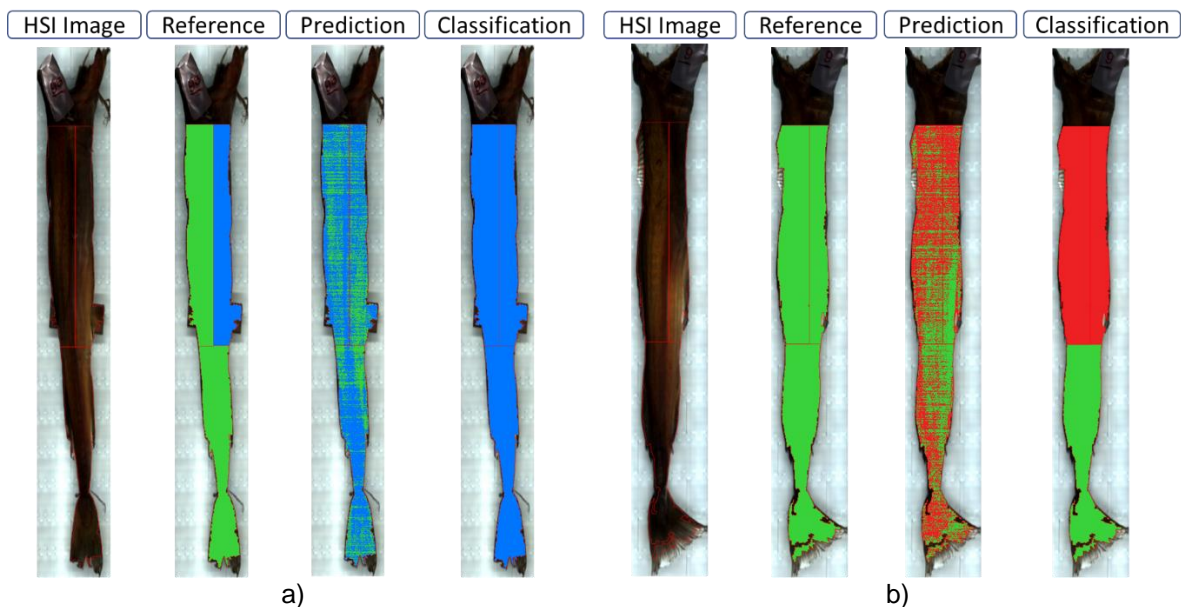
I det videre presenteres grafiske eksempler som viser hvordan algoritmene fungerer for påvisning av kvalitet og feil. De følgende eksemplene viser både korrekt deteksjon og resultat hvor data blir klassifisert feil. Bildene viser det opprinnelige hyperspektrale bildet («HSI Image» – framstilt i forenklet RGB), bilde med den sensoriske vurderingen fra den manuelle scoringen («Reference» – lignende slik det ble vist i figur 10). Resultatene fra maskinlæringsalgoritmen for hver piksel i bildet vises i «Prediction», og den endelige deteksjonen/klassifiseringen, av kvalitet/kvalitetsfeil i respektive deler av tørrfisken (i henhold til flertall av piksler i Prediction) i «Classification». Fargekodene som brukes for prediksjon og klassifisering er grønn for «ingen feil», rød for «blodfeil» og blå for «frostskader».

I figur 13 presenteres vellykkede eksempler fra analysen (TP, sanne positive at kvalitet eller feil er riktig identifisert i datasettet). I figur 13a og figur 13b, vises at frost- og blodmodellene korrekt fant alle kvalitetsfeilene som var påvist gjennom manuell scoring. I figur 13c er et eksempel på en feilfri tørrfisk, hvor det ikke ble funnet feil med hensyn til blod- eller frostskafer.



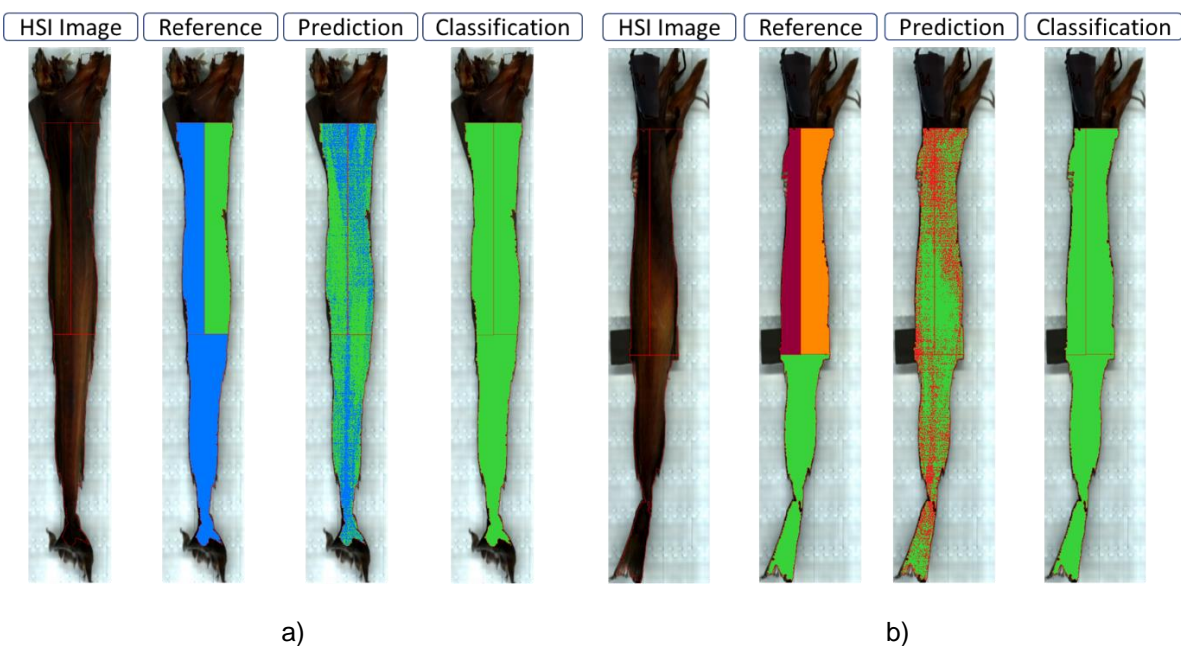
Figur 13 Eksempel på vellykket påvisning av kvalitet/kvalitetsfeil; a) Frostskafer, b) Blodfeil, c) Feilfri. Fargekode som brukes for prediksjon og klassifisering er grønn for «ingen feil», rød for «blodfeil» og blå for «frostskafer».

I figur 14 vises eksempler på falske positive (FP), der modellen feilaktig forutsier en feil i et område av fisken som faktisk er feilfri. Nærmere bestemt, for frostskafer, påviste den manuelle vurderingen kun moderate frostskafer i buken til tørrfisken, mens modellen også spådde frostskafer i tykkfisken og sporden (Figur 14a). Tilsvarende, som vist i figur 14b, avslørte den manuelle skåringen ingen blodfeil, men modellen predikerte blodfeil i tykkfisk- og buk.



Figur 14 Eksempel på falske positive; a) Frostskade, b) Blodfeil

Til slutt ser vi i figur 15 eksempler på falske negative, der modellen ikke klarer å forutsi en kvalitetsfeil nøyaktig (FN). I eksemplet vist i figur 15a fant referanse-skåringen to moderate frostfeil i prøven, men modellen var ikke i stand til å identifisere noen av dem. Når det gjelder blodfeil, viser eksemplet i figur 15b en prøve med to blodfeil (alvorlig blodfeil i tykkfisk og moderat blodfeil i buk). Modellen fant imidlertid ingen av disse.



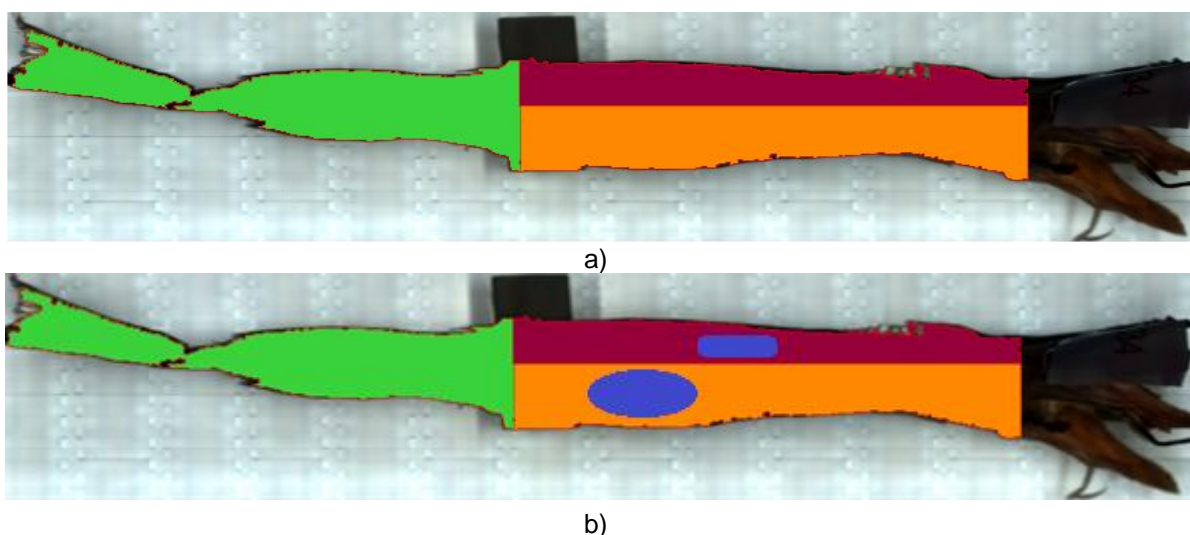
Figur 15 Eksempel på falske negative hvor modellen finner feil, men den sensoriske vurderingen ikke hadde identifisert dette som feil i fisken; a) Frostfeil – feil påvisning, b) Blodfeil – feil påvisning

Konklusjoner og fremtidig arbeid

Resultatene i dette prosjektet indikerer at hyperspektral avbildning kan være et pålitelig verktøy for å oppdage feil hos tørrfisk, selv om resultatene så langt ikke er perfekte. De høye tilbakekallingsverdiene fra analyse gjennom modellene viser at deteksjonen av kvalitetsfeil (frost og blod) er pålitelige, men den lave presisjonen for blod indikerer at modellene gir et for høyt antall falske positive. Altså finner

modellen noen feil som ikke er på produktet. Påvisning av frostskaade er imidlertid mer korrekt i forhold til referansedata.

Gjennom arbeid med analyse og resultat er det også framkommet forslag for å forbedre ytelsen til modellene. Nøyaktigheten til maskinlæringsmodellene er avhengig av kvaliteten på referansedata som brukes til opplæring og trening av modellene. I studien ble alle spektrale data fra de markerte områdene brukt og tilordnet type kvalitetsfeil for å trene modellene, henholdsvis data fra hele tykkfiskområdet, hele bukområdet og hele spordområdet. Det er imidlertid sannsynlig at kvalitetsfeil bare er til stede i et begrenset felt av det inndelte området. Dette gjør at informasjon som blir gitt til maskinlæringsmodellen bare er delvis nøyaktig. For eksempel, i figur 16 illustreres hvordan man kan forbedre tilordning av referansedataene og inndeling. Slik analysen er satt opp og gjennomført i dette arbeidet er hele tykkfisken merket som sterkt påvirket av en blodfeil, og hele buken er merket som moderat påvirket av en blodfeil (Figur 16a). Imidlertid vil det oftest være slik at kvalitetsfeilene bare er til stede i enkelte områder, som indikert av de blå områdene i figur 16b. En mer nøyaktig tilordning av prøvene og referansedata kan bidra til mer presise modeller.



Figur 16 Eksempel på mulige forbedringer i tilordning av referansedata. Mer nøyaktig tilordning av referansedata vil sannsynligvis forbedre ytelsen til modellene.

Tørrfisk er et utfordrende produkt å måle på, ved at det er stor variasjon i form (vinkler og bøyning på spord, finner og buk) etter tørking, samt stor variasjon i størrelse og tykkelse på muskel. Dette er utfordrende både med hensyn til lysgjennomgang og målesignal og hvordan hver fisk blir tilgjengelig for sensoren. I praksis betyr dette at metodeutvikling basert på hyperspektral avbildning må knyttes opp til detaljert og omfattende referansearbeid. Et annet moment som spiller inn, er at kvalitet og feil på tørrfisk er svært sammensatt. Flere ulike feil kan forekomme på hver fisk eller deler av fisken, og hver feil kan variere i omfang med hensyn til hvor små/store områder som er berørt. For å kunne bygge gode maskinlæringsmodeller må det gjøres et omfattende og detaljert arbeid for å få helhetlig beskrivelse av den reelle variasjonen i råstoffet. Dette er tid og ressurskrevende både med tanke på den sensoriske råstoffvurderingen og med hensyn til arbeidet for å måle, digitalisere og tilordne referansedata for modellering.

Samlet sett er vår vurdering at måling med hyperspektral avbildning (her gjennomført ved Maritech Eye) og tilhørende maskinlæringsalgoritmer har potensiale til automatisk påvisning av enkelte kvalitetsfeil i tørrfisk. Resultatene så langt viser at dette fungerer best for påvisning av frostskaade i tørrfisk. Det fungerer delvis for påvisning av blodfeil i tørrfisk, men da med større feilmargin.

Hovedfokus for prosjektet var automatisk påvisning av blodfeil og frostskafer i tørrfisk. Arbeid med denne problemstillingen har vært tidkrevende, og det var dermed ikke midler til analyse og modellering knyttet til overordnet kvalitet og andre kvalitetsfeil. Videre arbeid for å utvikle metodikk for automatisk påvisning av kvalitetsfeil i tørrfisk bør fokusere på å forbedre modellene for påvisning av blodfeil i muskelen. Slik gjennomføring kan trolig forenkles noe ved at tørrfisken produseres fra råstoff hvor blodflekker allerede er kartlagt ved bruk av hyperspektral måling.

5.2 Kost-nytte analyse for bruk av et automatisk verktøy for kvalitetssortering

I forbindelse med prosjektet er det gjennomført en kost-nytte analyse for å vurdere lønnsomheten av å implementere teknologi for automatisk sortering av tørrfisk i kommersiell drift.

Kostnadene ved investeringen vil i hovedsak være knyttet til innkjøp, installasjon, og drift av den teknologiske løsningen, i tillegg til andre faktorer som strøm, personell, og vedlikehold. I denne sammenhengen vil også praktisk kapasitet ha betydning, da den påvirker størrelsen på faste kostnader per produsert enhet. Fra leverandør har vi fått opplyst anskaffelseskost for teknologien, i tillegg til anslag på månedlig lisenskost og årlige kostnader knyttet til drift og vedlikehold. Disse tallene kan vi dermed legge inn på kostnadssiden i regnestykket.

Teknologien har også forventet nytteverdi – innen flere områder og i ulikt omfang. Den kan gi lavere ressursbruk til vraking, bedre og sikrere kvalitetssortering av tørrfisken, i tillegg til å påvirke bedriftens prisopptilnærning, mengde reklamasjoner, og tillit fra kundene. Disse faktorene er ofte vanskeligere å kvantifisere.

Fra et utvalg av aktørene i næringen har vi fått informasjon om gjennomsnittlige kostnader per kilo ved vraking og knyttet mot reklamasjoner. Som et gjennomsnitt av disse dataene anslår vi kostnadene med vraking til 4,5 kr/kg, mens gjennomsnittlige reklamasjonskostnader anslås til 50 øre/kg. Individuelle aktører kan naturlig nok ha resultater som tidvis avviker mye fra dette, men vi velger å benytte disse som et «beste estimat». Disse tallene vil utgjøre en del av inntektssiden i regnestykket, i form av sparte kostnader etter omlegging til (delvis) maskinell sortering.

Vi antar at teknologien vil ha en økonomisk levetid på 10 år fra den tas i bruk². I en analyse fremover i tid må man hensynta at en krone i dag ikke er verdt det samme som en krone om 1, 2, eller 10 år. Fremtidige kostnader og inntekter må justeres til en forventet nåverdi gjennom en såkalt diskonteringsrente. Denne reflekterer bedriftens avkastningskrav, altså hva de tror de kan tjene på alternativ plassering av investeringsbeløpet (for eksempel i bank, eller andre investeringer i bedriften). Sammenstillingen av fremtidige inntekts- og kostnadsstrømmer omregnet til nåverdi gir oss dermed investeringens forventede lønnsomhet.

For å teste og sammenstille disse tallene ser vi i det følgende for oss en eksempelbedrift med et gitt årlig produksjonsvolum. Fra landingsstatistikken til Fiskeridirektoratet og en populasjon av tørrfiskprodusenter hentet fra Nofimas årlige driftsundersøkelse, så anslår vi at en «gjennomsnittsprodusent» av tørrfisk kjøper rundt 1 500 tonn råstoff per år. Om vi videre antar at hele råstoffvolumet går til tørrfiskproduksjon, så utgjør dette omtrent 230 tonn ferdig produkt. Det er imidlertid stor variasjon mellom produsentene, og størrelsen på produksjonen kan ha stor betydning for lønnsomheten i investeringen siden de faste kostnadene vil gi en viss skalafordel. Derfor gjennomfører vi i det følgende beregningen med flere ulike potensielle produksjonsvolum, fra 100 tonn til 600 tonn per år.

² Økonomisk levetid anslår hvor lenge det vil være lønnsomt å bruke en gitt teknologi før den må oppgraderes eller byttes ut. Dette er vanligvis kortere enn den rent tekniske levetiden til driftsmidlet. Median økonomisk levetid for «maskiner og utstyr til bergverk og industri» kan ifølge undersøkelser gjort av SSB anslås til 10 år (<https://www.ssb.no/184994/gjennomsnittlig-%C3%B8konomisk-levetid-antall-%C3%A5r>)

Med produksjon av eksempelvis 300 tonn tørrfisk får vi en årlig personalkostnad knyttet til vraking på $(4,5 \times 300\,000) = 1\,350\,000$ kroner og en årlig reklamasjonskostnad på $(0,5 \times 300\,000) = 150\,000$ kroner. Forventningen er at innføring av teknologien vil redusere disse kostnadene. For dette eksemplet antar vi at teknologien utgjør såpass økt kvalitetskontroll at reklamasjonskostnadene reduseres med 50 %.

Maskinen vil utføre en grovsortering av tørrfisken, og vi må derfor anta at noe bemanning fortsatt vil trenge blant annet til å etterkontrollere og finsortere ved bruk av stikkprøver. Nøyaktig hvor stor reduksjonen i personalkostnad vil være er vanskelig å tallfeste, så i tabellene nedenfor viser vi resultatet av en nåverdiregning med ulike anslag på hvor stor andel av personalkostnaden forbundet med vraking som faller bort, og for ulike produksjonsvolum. Dette for tre ulike diskonteringsrenter/avkastningskrav: 4, 6, og 8 %. I beregningen er de overnevnte installasjons- og driftskostnadene tatt med på kostnadssiden, og den nevnte reduksjonen i personal- og reklamasjonskostnad på inntektssiden. Andre potensielle nytteverdier som høyere prisopptak og økt tillit i markedene er ikke tatt inn, men kan antas å ha en positiv effekt på investeringens lønnsomhet. Man kan også anta at teknologien vil ha en viss gjensalgsv verdi etter 10 års levetid, noe som også vil redusere kostnadssiden og bidra positivt til lønnsomheten.

Tabell 4 Nåverdi av investeringen med henholdsvis 4, 6, og 8 % avkastningskrav. For ulike anslag på reduksjon i personalkostnad og ulike produksjonsvolum (Tall i millioner kroner)

Avkastningskrav på 4 %:		Produksjonsvolum i tonn					
		100	200	300	400	500	600
Prosent reduksjon av personalkost	80 %	-0,9	2,2	5,4	8,5	11,6	14,7
	70 %	-1,2	1,5	4,3	7,0	9,8	12,6
	60 %	-1,6	0,8	3,2	5,6	8,0	10,4
	50 %	-2,0	0,1	2,1	4,1	6,1	8,2
	40 %	-2,3	-0,7	1,0	2,7	4,3	6,0
	30 %	-2,7	-1,4	-0,1	1,2	2,5	3,8
Avkastningskrav på 6 %:		Produksjonsvolum i tonn					
		100	200	300	400	500	600
Prosent reduksjon av personalkost	80 %	-0,9	1,9	4,7	7,6	10,4	13,2
	70 %	-1,3	1,2	3,8	6,3	8,8	11,3
	60 %	-1,6	0,6	2,8	4,9	7,1	9,3
	50 %	-1,9	-0,1	1,8	3,6	5,4	7,3
	40 %	-2,2	-0,7	0,8	2,3	3,8	5,3
	30 %	-2,6	-1,4	-0,2	1,0	2,1	3,3
Avkastningskrav på 8 %:		Produksjonsvolum i tonn					
		100	200	300	400	500	600
Prosent reduksjon av personalkost	80 %	-1,0	1,6	4,2	6,8	9,4	12,0
	70 %	-1,3	1,0	3,3	5,6	7,9	10,1
	60 %	-1,6	0,4	2,4	4,4	6,4	8,3
	50 %	-1,9	-0,2	1,5	3,2	4,8	6,5
	40 %	-2,2	-0,8	0,6	2,0	3,3	4,7
	30 %	-2,5	-1,4	-0,3	0,7	1,8	2,9

Feil! Fant ikke referanseilden. viser at hvilket av de tre avkastningskravene som velges har begrenset betydning for konklusjonene. Ifølge beregningen vil investeringen gi negativ avkastning for bedrifter med et årlig produksjonsvolum på 100 tonn eller mindre, selv i tilfeller der teknologien reduserer personalkostnader forbundet med vraking med opp mot 80 %. Som nevnt er da ikke potensielle omdømme-/kvalitetseffekter og lignende tatt med i beregningen da disse er vanskelige å tallfeste. Heller ikke eventuell gjensalgsværdi er tatt inn. Slike effekter vil i så fall løfte lønnsomheten. For bedrifter som produserer rundt 200 tonn vil investeringen være lønnsom såfremt man gjennom investeringen klarer å kutte personalkostnader forbundet med vraking med 60 % eller mer. For bedrifter med årlig produksjon på 300 tonn vil investeringen være lønnsom hvis personalkostnadene kuttes med minimum 40 %, mens investeringen vil være lønnsom i alle scenarioene for bedrifter med en årlig produksjon på 400 tonn eller mer, selv om man klarer å kutte bare 30 % av personalkostnadene.

6 Hovedfunn

- Hyperspektral avbildning, som testet i kommersielt utstyr Maritech Eye, har potensiale til automatisk påvisning av enkelte typer kvalitetsfeil i tørrfisk, i hovedsak frostskafer og blodflekker.
- Så langt er metoden mest lovende for påvisning av frostskafer i tørrfisk. Det er også mulig å påvise blodflekker i tørrfisken, men da med større feilmargin.
- Treffsikkerhet for å påvise frostskafer og blodfeil kan trolig forbedres gjennom måling på et større antall fisk og mer detaljert referansearbeid/kvalitetsvurdering enn hva som er gjort i dette prosjektet.
- Resultat av kost-nytte analysen; av å implementere bruk av automatisk kvalitetssortering i tørrfiskproduksjon, indikerer at dette vil være lønnsomt også for en relativt lav grad av reduserte personalkostnader knyttet til vraking.

7 Leveranser

Opprinnelig avtalte leveranser i prosjektet var følgende

- 30.08.2021 – L1: Referat fra referansegruppemøte
- 28.02.2022 – L2: Referat fra referansegruppemøte
- 31.03.2022 – L3: Medieoppslag
- 31.03.2022 – L4: Presentasjon på konvensjonell samling i regi av FHF
- 30.04.2022 – L5: Videoblogg/demo-film
- 30.06.2022 – L6: Webinar for næringsaktører
- 31.08.2022 – L7: Referat fra referansegruppemøte
- 31.08.2022 – L8: Faglig sluttrapport i tråd med FHF's retningslinjer
- 31.08.2022 – L9: Administrativ sluttrapport i tråd med FHF's retningslinjer

Som beskrevet i innledning ble forsøk og analyse forsinket. Dato for innhold og ferdige leveranser er:

- L1: Referat fra referansegruppemøte
Lvert 19.09.2021
- L2: Referat fra referansegruppemøte
Ikke avholdt pga. forsinkelse i gjennomføring.
- L3: Medieoppslag
<https://nofima.no/pressemelding/teknologi-for-automatisk-sortering-av-torrfisk/>
Lvert 13.01.2023
- L4: Presentasjon på konvensjonell samling i regi av FHF
Ikke invitasjon til konvensjonell samling i prosjektperioden.
- L5: Videoblogg/demo-film
<https://www.youtube.com/watch?v=MZn3Jb7sp-s>
Geirs videoblogg om sjømatkvalitet, 18.11.2023
- L6: Webinar for næringsaktører
Gjennomføring i sammenheng med referansegruppemøte, mars 2024
- L7: Referat fra referansegruppemøte
April 2024
- L8: Faglig sluttrapport i tråd med FHF's retningslinjer
April 2024
- L9: Administrativ sluttrapport i tråd med FHF's retningslinjer
April 2024

8 Referanser

- Cheng, J.-H. & Sun, D.-W. (2014). Hyperspectral imaging as an effective tool for quality analysis and control of fish and other seafoods: Current research and potential applications. *Trends in Food Science & Technology*, **37**, 2, p 78–91. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.03.006>
- Johansen, A.-M. & Heia, K. (2019). Revolusjonerende ny teknologi blir «hyllevare». Retrieved from <https://nofima.no/pressemelding/revolusjonerende-ny-teknologi-blir-hyllevare/>
- Johansen, A.-M. & Heia, K. (2020). Vil revolusjonere kvalitetskontrollen av hvitfisk. Retrieved from <https://nofima.no/nyhet/2020/11/vil-revolusjonere-kvalitetskontrollen-av-hvitfisk/>
- Maritech AS. Maritech Eye. 2022. <https://maritech.com/our-solutions-seafood-production/maritech-eye/>, <https://maritech.com/launched-maritech-eye-for-white-fish/>
- Ortega, S., Lindberg, S.-K., Anderssen, K.E. & Heia, K. (2023). Perspective Chapter: Hyperspectral Imaging for the Analysis of Seafood. In *Hyperspectral Imaging - A Perspective on Recent Advances and Applications*, Huang, J. (editor) DOI: 10.5772/intechopen.108726
- Skjelvareid, M.H., Heia, K., Olsen, S.H., Stormo, S.K. (2017). Detection of blood in fish muscle by constrained spectral unmixing of hyperspectral images. *Journal of Food Engineering*, 212, p 252–261. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.05.029.