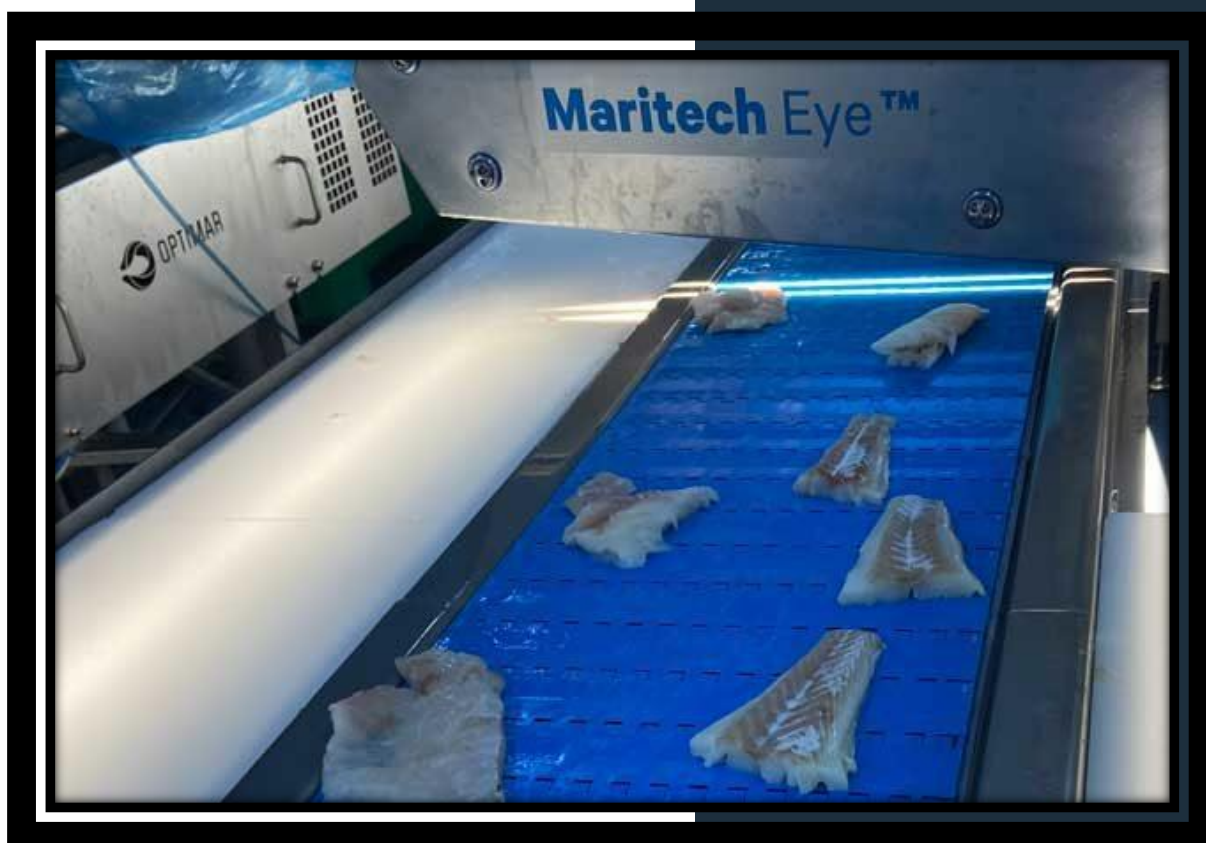


# Kommersiell kveisdeteksjon på hvitfisk



## Forfattere:

Per Alfred Nordaune Holte, Maritech

Karsten Heia, Nofima

Nils Petter Farstad, Maritech

31.01.2023

## Faglig sluttrapport

*Dato:*

24. januar 2023

*Antall sider:*

13

*Prosjektnummer:*

FHF 901614

*Tittel:*

Kommersiell kveisdeteksjon på hvitfisk

*Title:*

Commercial detection of nematodes in white fish

*Forfattere:*

Per Alfred Nordaune Holte, Maritech; Karsten Heia, Nofima; Nils Petter Farstad, Maritech;

*Stikkord:*

Kvalitetsmåling, hvitfisk, hyperspektral, sanntid, kveis.

## **Innhold**

|           |                                    |           |
|-----------|------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Sammendrag</b>                  | <b>1</b>  |
| <b>2</b>  | <b>Innledning</b>                  | <b>3</b>  |
| <b>3</b>  | <b>Prosjektets omfang</b>          | <b>4</b>  |
| <b>4</b>  | <b>Problemstilling og formål</b>   | <b>5</b>  |
| <b>5</b>  | <b>Hovedmål i prosjektet</b>       | <b>6</b>  |
| <b>6</b>  | <b>Prosjektgjennomføring</b>       | <b>6</b>  |
| <b>7</b>  | <b>Forventet nytteverdi</b>        | <b>10</b> |
| <b>8</b>  | <b>Hovedfunn</b>                   | <b>11</b> |
| <b>9</b>  | <b>Videre arbeid og anvendelse</b> | <b>12</b> |
| <b>10</b> | <b>Leveranser</b>                  | <b>12</b> |
| <b>11</b> | <b>Referanser</b>                  | <b>13</b> |

## 1 Sammendrag

Kveis i fiskeprodukter er et estetisk problem. Påvisning av kveis i fiskekjøtt har vært og er fortsatt en stor utfordring innenfor norsk fiskerinæring. Dette gjøres i dag som regel manuelt av personer som legger typisk en hvitfisk-filet på et lysbord. I de siste årene har dette aktualisert seg gjennom problemer med eksport av norske salt- og klippfiskprodukter til Brasil. Synlig kveis blir ikke akseptert. Dette utgjør en stor utfordring for næringa, både for saltfisk-, klippfisk- og filetprodusenter. Det er av stor betydning å kunne tilby kveisfrie produkter for å sikre trygg markedstilgang og unngå reklamasjoner. Ideelt sett skulle kveisen kunne påvises allerede i sløyd fisk, men dette er en større utfordring enn påvisning av synlig kveis i filet, flekket fisk, saltfisk og klippfisk. For å utvikle en løsning for sløyd fisk kreves en større innsats og mer utviklingsmidler for å komme i mål enn det som kan søkes om nå. Derfor ble sløyd fisk utelatt fra dette prosjektet.

Utvikling av teknologi for påvisning av kveis har pågått over mange år. I 2010 ble det gjennomført en industritest med bruk av hyperspektral avbildning (HSI) for påvisning av kveis (FHF 900419). I en videreføring av dette arbeidet ble det i FHF-prosjektet QCod (FHF 901246) jobbet med både HSI, fluorescens og røntgen for påvisning av kveis (Heia et al., 2017). I disse prosjektene har krav til påvisning vært målt opp mot all kveis i hvitfiskfileten, både synlig og ikke synlig kveis. Dette har vist seg vanskelig å få til med tilstrekkelig deteksjonsrate. I forsøket på å nærme seg ønsket deteksjonsrate har også antall falske positive blitt for høyt.

Fokuset i dette prosjektet har vært på sikker deteksjon av synlige kveis. Tilnærmingen har vært å ta utgangspunkt i det som foregår av manuelle inspeksjoner av råstoffet på filetlinja, og se på hvordan disse inspeksjonene kan automatiseres. Det er en styrke for prosjektresultatene relevans og overførbarhet at all data og modeller er tatt opp, testet og verifisert i en fullskala filetproduksjon. Gjennom 3 fabrikkbesøk i Portugal har det fra desember 2021 til juni 2022 blitt utviklet og demonstrert en sanntidsanalyse som fungerer med høy presisjon til deteksjon av kveis i skinnfrie buk- og halestykker på torsk. Det er god grunn til å anta at disse resultatene er anvendbare med noe tilpasning til helfilet, som er et naturlig utgangspunkt for kontroll av produkter som foredles videre til fersk, fryst eller saltfiskprodukter.

## English summary

Nematodes in fish products is an aesthetic issue. The detection of nematodes in fish meat has been and continues to be a major challenge in the Norwegian fisheries industry. Today, this is usually done manually by people who typically place a whitefish fillet over a light table. In recent years, this has become relevant through problems with the export of Norwegian salted and clipfish products to Brazil. Visible nematodes are not accepted. This poses a major challenge for the industry, both for salted fish, clipfish and fillet producers. It is of great importance to be able to offer nematodes-free products to ensure safe market access and avoid complaints. Ideally, the nematodes could be detected already in gutted fish, but this is a greater challenge than the detection of visible nematodes in fillets, spotted fish, salted fish and clipfish. In order to develop a solution for gutted fish, a greater effort and more development funds are required to reach the goal than can be applied for now. Therefore, gutted fish are omitted from this project application.

The development of technology for the detection of nematodes has been going on for many years. In 2010, an industrial test was conducted using hyperspectral imaging (HSI) for the detection of nematodes (FHF 900419). In continuation of this work, the FHF project QCod (FHF 901246) worked on HSI, fluorescence and X-ray for the detection of nematodes (Heia et al, 2017). In these projects, detection requirements have been measured against all nematodes in whitefish fillets, both visible and not visible nematodes. This has proven difficult to achieve. In trying to approach the desired detection rate, the number of false positives has also become too high.

The focus in this project has been on precise detection of visible nematodes. The approach has been to take as a starting point the manual inspections of the raw material on the filleting line, and look at how these inspections can be automated. It is a strength for the relevance and transferability of the project results that all data and models have been recorded, tested and verified in a full-scale fillet production. Through 3 factory visits in Portugal, from December 2021 to June 2022, a real-time analysis has been developed and demonstrated with high precision for the detection of nematodes in skinless belly and tail pieces of cod. There is good reason to assume that these results are applicable with some adaptation to the whole fillet, which is a natural starting point for controlling products that are further processed into fresh, frozen or salted fish products.

## 2 Innledning

Forekomst av kveis i muskel hos hvitfisk er vanlig, men en forutsetning for at dette ikke ender opp på kjøkkenbordet hos forbrukerne er at denne fjernes når fisken blir industrielt bearbeidet. En forutsetning for å kunne fjerne kveisen er å kunne detektere den. Dette prosjektet er et Prosjekt i Bedrift, som ble initiert etter tilsagn gitt i starten av 2020.

Som følge av Covid-19 ble prosjektets tidsplan betydelig påvirket. Prosjektet er basert på å bruke avbildende spektroskopi for å detektere kveis i kjøttet på hvitfisk. Denne type bruk av avbildende spektroskopi for kvalitetsmålinger på fisk og fiskeprodukter har lenge vært et fokusområde ved Nofima. Allerede i 2001 var Karsten Heia og Heidi Nilsen ute med forskningsrapporten *Deteksjon av kveis i fiskemuskel* (Heia og Nilsen, 2001) med bruk av avbildende spektroskopi som metode. Nofima har en lang historie med å jobbe med påvisning av kveis. Avbildningen som ble brukt var basert på avbildende spektroskopi, det vil si at man får et bilde av fisken der hver piksel i bildet viser hvordan lys på ulike bølgelengder absorberes av fisken som passerer under kameraet på et transportband.

I tillegg til analysen var det spesielle med løsningen som var forsket frem hvordan belysningen var satt opp. Ved å benytte interaktans, det vil si å belyse fisken et stykke fra der målingen ble utført, kunne man tvinge lyset til å bevege seg et stykke ned i fisken før den kom ut av fisken igjen og ble målt.

Problemstillingen med å kunne påvise kveis i fiskefilet har vært diskutert og forsøkt løst siden midten av 1900-tallet (Heia and Nilsen, 2001). En rekke forskningsinstitutter og andre miljøer har testet og vurdert ulike teknikker og måleprinsipp, uten at det har vært mulig å finne en metode med tilsvarende kvalitet og effektivitet som manuell kveisfjerning. Det menneskelige øye identifiserer parasitter både på grunn av farge, form og lokalisering i fiskemuskel, og kan samtidig skille kveisen fra muskelstrukturer, blodflekker og annet vev. Dette innebærer en høy grad av kompleksitet som har vist seg vanskelig å erstatte med en instrumentell metode.

### 3 Prosjektets omfang

Prosjektet startet 1. kvartal 2020 og var iht. opprinnelig fremdriftsplan planlagt fullført 4. kvartal 2022. Underveis i prosjektet var spesielt Covid-19 og restriksjoner rundt reise avgjørende for at prosjektets oppstart ble utsatt som medførte at en del av de innledende aktivitetene måtte skyves lengre ut i tid. Omfanget av prosjektet bygger på å gjenbruke mye av teknologisk utstyr og kompetanse som Maritech og flere av prosjektmedlemmene har utviklet gjennom KVASS-prosjektet (Prosjektnr 901489).

Prosjektet ble organisert med følgende prosjektgruppe:

| Rolle                  | Navn   | Organisasjon          |
|------------------------|--|-----------------------|
| Prosjektleder Maritech | Nils Petter Farstad  |                       |
| Prosjektleder Nofima   | Karsten Heia   |                       |
| Prosjektdeltagere      | Stein Kato Lindberg<br>Sjurdur Joensen<br>Tatiana Ageeva<br>Shaheen Syed<br>Samuel Ortega      | Nofima                |
|                        | Per Alfred Holte<br>Jan Rune Herheim<br>Nils Petter Farstad<br>Andre Lillebakk<br>Håvard Løvik | Maritech              |
|                        | Trond Løke<br>Andrei Fridman<br>Julio Hernandez<br>Lars Lierstuen<br>Pesal Koirala             | Norsk Elektrooptikk   |
|                        | Oscar Jonsson  | Prediktera            |
|                        | Roy Martin Martinsen   | Lerøy Norway Seafoods |

## Referansegruppe:

| Navn                 | Organisasjon             |
|----------------------|--------------------------|
| Frank Jakobsen       | FHF                      |
| Odd Arne Kristengård | Maritech                 |
| Heidi Nilsen         | Nofima AS                |
| Trond Løke           | Norsk Elektro Optikk AS  |
| Roy Martin Martinsen | Lerøy Norway Seafoods AS |

## 4 Problemstilling og formål

Avbildende spektroskopi i det synlige og nær infrarøde området i sammenheng med multivariate analyseteknikker kan til en viss grad sammenlignes med metoden som benyttes ved manuell deteksjon (Heia et al., 2007). Ved bruk av spektroskopi er det mulig å registrere kjemiske forskjeller (Stormo et al., 2007; Stormo et al., 2004) avbildningen dokumenterer form og plassering og multivariat analyse kan sees på som en analog til menneskelig gjenkjennelse og tolkning av data. I så henseende har teknologiutviklingen gått i retning av et system som etterligner manuell deteksjon. I det siste året av prosjektet har en analyseløsning basert på preprosesering (Sivertsen et al., 2012), videreutvikling og trening av maskinlæring og neurale nett.

Av fisk som landes i dag tas det prøver på et utvalg for å avdekke kveis. Det er tidkrevende og kostnadsdrivende å utføre disse oppgavene. Det er også en del fisk som selges utenlands som rundfisk, og det gir en risiko for at større og mindre parti av dette vil gi tapt inntekt som følge av deteksjon av kveis etter ankomst til kunde. Problemet med kveis gjelder ikke bare blant eksportører i Norge, men i høy grad også hos importører utenlands som mottar råstoff fra Norge. Importører utfører mottakskontroll for kveis, og synlig kveis skader ryktet på norsk eksportert fisk.

En endelig teknologi for kveisdeteksjon vil kunne integreres som helhet med produksjonslogistikken, og gi stor verdi for automatisk trimming av kveis og sluttkontroll for å garantere kveisfrie produkter.



## 5 Hovedmål i prosjektet

Målsetningen med prosjektet er å videreutvikle hyperspektral avbildning og fluorescens for automatisk påvisning av synlig kveis i filet, flekket fisk og saltfisk/klippfisk av fryst/tint og fersk hvitfisk.

### Delmål i prosjektet

- Utarbeide en omforent kravspesifikasjon. Hva skal defineres som en synlig kveis som skal påvises med utviklet teknologi?
- Optimalisere fluorescensavbildning for påvisning av kveis. Dvs. å finne den optimale eksitasjonsbølgelengden for å skille kveis fra fiskekjøtt.
- Utvikle algoritmer for deteksjon av synlig kveis basert på HSI.
- Kombinere HSI og fluorescens for økt deteksjonsrate og lavest mulig falskt positiv-rate.
- Lage en kommersiell prototype for måling, kveisanalyse og styring av grader / automatisk fjerning av kveis.

## 6 Prosjektgjennomføring

I starten av 2020 ble det jobbet med å få på plass en kravspesifikasjon, der også Lerøy Norway Seafood hadde en viktig rolle. Det var viktig at sjømatnæringen fikk fremmet sine ønsker med tanke på hva som skulle defineres som synlig kveis og hvordan den nye løsningen kunne integreres i næringen. I 2020 ble det også testet hvorvidt fluorescens kunne være en viktig del av påvisning av kveis. Fluorescens ble testet for påvisning av kveis, men ingen entydige resultater ble funnet. På grunn av forsinkelse av aktivitet på HSI, der endelig løsning først var på plass i 2022, så ble det ikke kjørt sammenlignende tester hvor både 3D-profilering, HSI og fluorescens ble gjennomført på samme tid og dermed kunne testes med tanke på om fluorescens øke ytelsen til systemet. Da HSI alene fungerte så bra ble det konkludert med at videre testing med fluorescens og 3D-profilering ikke var nødvendig. 3D-profilering var kun tenkt som et hjelpemiddel for å koble fluorescens og HSI.

I HSI løsningen som ble realisert av Maritech, i Maritech Eye, for avbildning og analyse på rund torsk for å bestemme mengde blod under skinnet ble interaktans brukt som

belysningsoppsett. I en tidlig fase ble det undersøkt om en alternativ belysningsløsning kunne bli brukt. LED basert belysning viste seg å ha utfordringer med stabilitet over tid noe som vanskeliggjorde å bruke denne belysningen. Neste alternativ som ble testet ut var å bruke en hvit laser. Dette fungerte fint som belysning og ble testet på torskefilet med gode resultater. Utfordringene med denne belysningen var todelt. Prisen var for høy til at dette kunne bli en del av Maritech Eye, og krav til sertifisering av en slik lyskilde var vanskelig å få på plass i forhold til bruk i sjømatindustrien.

For HSI løsningen ble det også testet et annet hyperspektral kamera, et såkalt SWIR kamera, som måler på frekvenser som ikke er synlig for mennesker. Etter som VNIR kameraet, som sitter Maritech Eye, fungerte så bra ble det besluttet at å erstatte det med et SWIR kamera, som er mye dyrere, ikke var en løsning som kunne forsvares.

Våren 2021 ble Maritech kontaktet av Maredeus mht. mulig bruk av Maritech Eye til kveisdeteksjon. Maredeus foredler torsk ved et anlegg i Portugal til lettsaltede forbrukerprodukt som omsettes i Spania og Portugal gjennom Mercadona kjeden.

Bakgrunnen for initiativet var økt oppmerksomhet fra Mercadona på metoder som mer sikkert, effektivt og automatisk identifiserer kveis. Juni 2021 ble det enighet om en prosjektavtale for gjennomføring med en maskin på produksjonslinja, men på grunn av forsinkelser på deleleveranse ble maskinen først mobilisert i november 2021.

Første installasjon, rådataopptak og referansemålinger ble gjennomført av Maritech på anlegget i desember 2021, som dannet grunnlag for Nofima sin digitalisering av referansedata og utvikling av deteksjonsmodell. Fokuset var på bukstykket av torsken, siden forekomsten av kveis er desidert høyest her.

Analyse og modellutvikling ble utført i flere iterasjoner fra desember 2021 til juni/juli 2022. Maskinlæringslogikk ble her anvendt for utvikling av modellen, og et relevant positivt funn var at HSI sin kombinerte spektrale og romlige informasjon muliggjør utvikling av slagkraftige modeller på forholdvis små datasett.

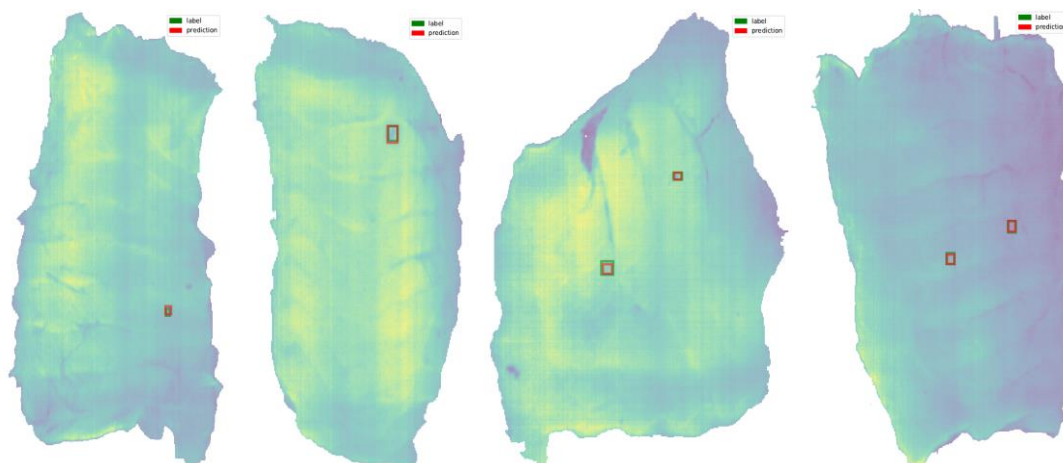
Plan for verifikasjon og forbedring av modell ble gjennomført i forkant av 2. mobilisering til anlegget i april 2022. Her deltok Nofima med 2 ressurser, og det ble gjennomført en grundig testing med opptak av nye rådata som ble annotert digitalt på med bistand fra Maredeus. (se bilde 1) Modellen var fortsatt på dette tidspunktet ikke mulig å kjøre i sanntid, dvs. at data måtte først samles inn og kjøres på egen pc etterpå. Resultat ble her først analysert, og dersom det var avvik i digital annotering og modellens prediksjon ble disse undersøkt en gang til. Ved flere tilfeller var modellen i stand til å finne kveis som ble oversett ved første grundige manuelle inspeksjon/annotering (se bilde 2). Ved besøket i april ble muligheter for

industriell integrasjon/ automatisk utsortering diskutert med utgangspunkt i eksisterende linje.



*Bilde 1: Grundig inspeksjon og digital annotering av kveis på linja ved besøk i April 2022.*

Neste steg i prosjektet var parallelt å starte forbedring av deteksjonsmodell og jobben med implementering av sanntidsanalyse i Breeze (Prediktera, Sverige). På sistnevnte aktivitet var Prediktera sentral i tilpasning av maskinlæringsmodell i Breeze i samarbeid med Maritech og Nofima. Her ble det avdekket behov for økt prosesseringskapasitet og forbedringsbehov i måten modellens logikk ble satt opp i Breeze (preprosessering av bilder, maskinlæring og neurale nett). Maritech oppgraderte pc og kjørte flere simuleringer på denne i forkant av live-demo på anlegget i juni, 2022.



Bilde 2: Analyseresultat som viser god modellpresisjon sammenlignet med identifisert/annotert kveis.

I medio juni 2022 var Nofima og Maritech igjen på produksjonslinja for å teste presisjon av deteksjonsmodellen som var oppgradert med referansedata fra April, og med demonstrasjon for Mercadona og Maredeus på sanntidsanalyse. Dette ble vellykket, og responsen fra prosjektdeltakeren var god. Det ble også diskutert her mulige endringer i oppsett på fabrikken for å muliggjøre automatisk utsortering av stykker med kveis, og Maritech har hatt dialog med flere utstyrsleverandører for å utvikle konkrete løsningsforslag. Før hjemreise ble det gjennomført noen få testscan av hele fileter både med og uten skinn i ulike kuttensnitt for å utforske videre anvendelse på helfilet. Reduksjon i etterspørsel på sjømatprodukt og usikkerhet som følge av Russlands invasjon av Ukraina satte en brems på videre kommersiell implementering hos Maredeus, men prosjektresultatene er både anvendbare og direkte overførbare til foredling av torsk andre steder i Norge, Island og Europa.



Bilde3: Live demonstrasjon av sanntidsanalyse for Maredeus og representanter fra Mercadona i juni 2022

## 7 Forventet nytteverdi

Hvorvidt kunder er villig til å betale ekstra for et eventuelt garantert kveisfritt produkt, vites ikke, men i enkelte deler av markedet vil kveisfrie produkter representere en stor gevinst for norsk fiskerinæring. Om ikke betalingsvilligheten vil øke, så vil det uansett øke tillit og minske tilbakekallinger – noe som påvirker eksportørene direkte på bunnlinjen. Økt effektivitet vil også være en oppside ved kveisdeteksjon. Det er helt avgjørende med slik deteksjon som overfører data for å kunne nyttiggjøre automatisk/maskinell trimming eller sortering. Regelverket for kontroll og inspeksjon av kveis er skjerpet i flere land (f.eks. Brasil)

Kveis er i utgangspunktet en visuelt sjenerende skapning som kan medføre en aversjon mot å innta fiskeproduktet. I tillegg kan den representere en helseisiko om produktet ikke varme-/fryse-behandles tilstrekkelig. Man kan altså ikke konsumere produkter med fare for kveis rå – typisk for sushi. Fremtiden for hvitfisknæringen er automatisering, og skal dette lykkes

trengs det sikker deteksjon og avbildning som videre fører til trimming/maskinell fjerning eller å sende produktet videre til bi-produkt for eksempelvis dyrefôr.

Ved at konsumenten mottar et produkt som er tiltalende vil han/hun i større grad nyttiggjøre seg av hele produktet, men en større fortjeneste er at man gjennom sikker deteksjon har mulighet til å fjerne et mindre område av fileten når denne fjernes manuelt.

Mengden av kveis, og spesielt synlig kveis, i fiskeprodukter er en viktig faktor i bedømmelse av kvalitet. I henhold til regelverk vil produkter med avdekket synlig kveis ikke kunne selges for humant konsum, og dette får store konsekvenser for eksport av fisk og fiskefileter fra Norge. Dette medfører et behov for å kunne dokumentere kveisinnholdet i hvitfiskprodukter. Fisk med dokumentert fravær av synlig kveis vil da uproblematisk kunne selges som filet, klippfisk og lignende, mens fisk med noe synlig kveis kan gå videre til trimming, og de verste tilfellene kan benyttes til andre typer produkter.

## 8 Hovedfunn

Under har vi løftet frem viktige resultater fra prosjektet:

1. Modell for kveisdeteksjon i torskefileter (bukstykker og spord) er utviklet og testet i sanntid/industriell hastighet på et kommersielt produkt – Maritech Eye.
2. Industriell integrasjon / automatisk sortering er tilgjengelig for et bredt spekter av utstyr som industrien anvender i dag. (grader/droppbånd etc.)
3. Det forventes å være høy biologisk variasjon av kveis i villfanget torsk fremover, og ved å scanne store mengder filetdata som kombineres med fangstdata vil dette kunne utløse muligheter for ny innsikt om fenomenet.
4. For videre anvendelse på helfilet og eventuelt andre fiskeslag bør flere strukturerte referanseanalyser gjennomføres.
5. Automatisk/maskinell fjerning av kveis fremstår som en krevende utviklingsoppgave som eventuelt må adresseres i egne fremtidige prosjekt. Industriell effekt ved automatisk trimming og kostnadsbesparelse for å eliminere inspeksjonsbehovet fremstår imidlertid som et attraktivt verdiforslag.

## 9 Videre arbeid og anvendelse

Arbeidet og resultatene i dette prosjektet har tydelig vist at kombinasjonen av avbildende spektroskopi og avansert digital analyse, slik det fremkommer i dette prosjektet, har potensiale for å bidra i industriell sammenheng i hvitfisknæringen. Påvisningsmetoden (HSI) viste gode resultater og videre er det i stor grad snakk om tilpasning av teknologi og bruk for å komme nærmere verdiskapning for sluttbrukeren. For selv om resultatene viser at teknikken er god og lovende for industrielt bruk, må dette tilpasses den enkelte aktørs bruk og behov.

Fremtidig anvendelse av avbildende spektroskopi som teknologi for påvisning av synlig kveis, og tilhørende verdiskapning for sluttbrukeren i industrien vil kunne, forbedres ved å integrere analyseresultatene fra hver filet med maskineri for automatisk trimming.

Et område for videre forskning kan være å jobbe sammen med for eksempel Robot Norge for å teste ut muligheten å automatisk trimme bort den avdekkede kveisen ved bruk av en robot som for eksempel bruker et verktøy som kan stanse ut kveisen og fjerne den ved hjelp av vakuum. Det kan gi minimalt med belastning på selve hvitfisk-fileten og maksimere inntjening per filet. Det er bedre med et hull i bukklappen enn å skjære ut en større del av fileten. Kveis i tykkfisk/sporden må håndteres på en annen måte for å ikke redusere utbyttet på de mest verdifulle delene av fileten.

## 10 Leveranser

Oversikt over leveranser i prosjektet:

01.03.2020 - Notat Kravspesifikasjon "Synlig kveis"

15.08.2020 – Faktaark til Nor-Fishing, «Status kveisdeteksjon»

15.12.2020 – Faglig delrapport, «Status påvisningsteknologier»

30.06.2021 – Prototype utviklet og klar for testkjøring

15.10.2021 – Feilrettet prototype integrert mot grader er klar for test

01.04.2022 – Kommersielt produkt klart for test

15.08.2022 – Lansering av kommersielt produkt (Norfishing)

31.01.2023 – Faglig sluttrapport

## 11 Referanser

- “Detection of blood in fish muscle by constrained spectral unmixing of hyperspectral images”, M.H. Skjelvareid, K. Heia, S.H. Olsen, S.K. Stormo, *Journal of Food Engineering*, 2017.
- “Automatisk kontroll for innvendige kvalitetsfeil i torsk – resultater for hyperspektral, ultralyd og røntgen avbildning“, K. Heia, K.Anderssen, M. Skjelvareid, *Nofima Rapport 28/2017*.
- “Automatic nematode detection in cod fillets (*Gadus morhua* L.) by hyperspectral imaging”, A.H. Sivertsen, K. Heia, K. Hindberg, F. Godtlielsen, *Journal of food engineering*, 2012.
- “Automatic nematode detection in cod fillets (*Gadus morhua*) by transillumination hyperspectral imaging”, A.H. Sivertsen, K. Heia, S.K. Stormo, E.O. Elvevoll, H. Nilsen, *Journal of Food Science*, 2011.
- “Deteksjon av kveis I fiskemuskel – evaluering av avbildende spektroskopi som metode”, K. Heia, H. Nilsen, *Fiskeriforskning*, 2001.
- “Detection of Nematodes in Cod (*Gadus morhua*) Fillets by Imaging Spectroscopy”, K. Heia, A.H. Sivertsen, S.K. Stormo, E. Elvevoll, J.P. Wold, H. Nilsen, *Journal of Food Science*, 2007.
- “Effects of Single Wavelength Selection for Anisakid Roundworm Larvae Detection through Multispectral Imaging”, S.K. Stormo, A.H. Sivertsen, K. Heia, H. Nilsen, E. Elvevoll, *Journal of Food Protection*, 2007.
- “Compounds of Parasitic Roundworm Absorbing in the Visible Region: Target Molecules for Detection of Roundworm in Atlantic Cod“, S.K. Stormo, A. Ernstsen, H. Nilsen, K. Heia, A.H. Sivertsen, E. Elvevoll, *Journal of Food Protection*, 2004.