

Utvikling, kalibrering og verifisering av håndholdt vannmåler for klippfisk og saltfisk.

Faglig sluttrapport



Illustrasjon: Nofima

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> 33/2023	<i>ISBN:</i> 978-82-8296-767-9	<i>ISSN:</i> 1890-579X
<i>Dato:</i> 19. desember 2023	<i>Antall sider + sider vedlegg:</i> 17 + 0	<i>Prosjektnummer:</i> 13330
<i>Tittel:</i> Utvikling, kalibrering og verifisering av håndholdt vannmåler for klippfisk og saltfisk. Faglig sluttrapport		
<i>Title:</i> Calibrated handheld NIR prototype for water determination in clipfish. Final report		
<i>Forfatter(e):</i> Jens Petter Wold ¹ , Jon Tschudi ² og Marion O'Farrell ² ¹ Nofima, ² SINTEF Digital		
<i>Avdeling:</i> Råvare og Prosess		
<i>Oppdragsgiver:</i> FHF		
<i>Eksternt prosjektnummer/Oppdragsgivers ref.:</i> 901668		
<i>Stikkord:</i> Klippfisk, vannmåling, NIR, instrumentering		
<i>Sammendrag/anbefalinger:</i> I dette prosjektet har en målsetting vært å utvikle et håndholdt instrument for måling av vanninnhold i klippfisk. Det er dokumentert at punkt-målinger med nær-infrarød spektroskopi (NIRS) egner seg godt til formålet. Det er viktig å måle dypt inn i fisken og på flere punkter for å få et godt estimat på gjennomsnittlig vanninnhold. En nøyaktighet på ca. $\pm 1,1$ %-poeng er mulig med NIRS når Tverrsnittsmetoden (Codex) brukes som referansemetode. Dette er vesentlig bedre nøyaktighet enn det man normalt får til ved tradisjonell vraking av fisken. Det er utviklet en prototype av et håndholdt NIRS instrument som egner seg til måling av vanninnhold i klippfisk. Instrumentet er demonstrert for næringa, men er enda ikke et kommersielt produkt. Instrumentet kan brukes til å måle gjennomsnittlig vanninnhold i fisken (Codex) og også vanninnholdet i de enkelte målepunktene. Brukerne må på sikt finne ut hvordan et slikt instrument kan anvendes på hensiktsmessig måte i daglig arbeid.		
<i>English summary/recommendation:</i> In this project, the objective has been to develop a handheld instrument for measuring water content in dried salted cod (clipfish). It has been documented that point measurements using near-infrared spectroscopy (NIRS) are well-suited for this purpose. It is crucial to measure deep into the fish and at multiple points to obtain a good estimate of the average water content. An accuracy of approximately ± 1.1 % points is achievable with NIRS when Cross-section (Codex) is used as the reference method. This is significantly better than what can typically be estimated through traditional manual grading of the fish. A prototype of a handheld NIRS instrument has been developed that is suitable for measuring water content in clipfish. The instrument has been demonstrated to the industry but is not yet a commercial product. The instrument can be used to measure the average water content in the fish (Codex) and the water content at individual measurement points. In the long run, users must determine how such an instrument can be used in the most practical way in daily operations.		

Forord

Denne rapporten er sluttrapporten til FHF prosjekt 901668 – Utvikling, kalibrering og verifisering av håndholdt vannmåler for klippfisk og saltfisk, som ble ledet av Nofima med prosjektpartner SINTEF Digital. Prosjektet hadde oppstart vinteren 2021 og ble avsluttet høsten 2023.

Innhold

1	Sammendrag	1
1.1	Norsk	1
1.2	English	1
2	Innledning	2
3	Problemstilling og formål	3
4	Prosjektgjennomføring	4
5	Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon	5
5.1	Fase 1: Evaluering av ulike teknologialternativer	5
5.2	Fase 2: Utvikling av nytt instrument	6
5.2.1	Fisken	7
5.2.2	Instrumentelle målinger	7
5.2.3	Variasjon i vanninnhold	8
5.2.4	Sammenligning av NIR instrumenter	9
5.2.5	Konklusjon og demonstrasjon	11
5.3	Fase 3: Verifisering av instrument under industrielle forhold	12
5.3.1	Prototype versjon 2	12
5.3.2	Punktkalibrering	13
6	Hovedfunn	15
7	Leveranser	16
8	Referanser	17

1 Sammendrag

1.1 Norsk

I dette prosjektet har en målsetting vært å utvikle et håndholdt instrument for måling av vanninnhold i klippfisk. Det er dokumentert at punkt-målinger med nær-infrarød spektroskopi (NIRS) egner seg godt til formålet. Det er viktig å måle dypt inn i fisken og på flere punkter for å få et godt estimat på gjennomsnittlig vanninnhold. En nøyaktighet på ca. $\pm 1,1$ %-poeng er mulig med NIRS når Tverrsnittsmetoden (Codex) brukes som referansem metode. Dette er vesentlig bedre enn det man normalt klarer å anslå ved tradisjonell vraking av fisken.

Det er utviklet en prototype av et håndholdt NIRS instrument som egner seg til måling av vanninnhold i klippfisk. Instrumentet er demonstrert for næringa, men er enda ikke et kommersielt produkt. Instrumentet kan brukes til å måle gjennomsnittlig vanninnhold i fisken (Codex) og også vanninnholdet i de enkelte målepunktene. Brukerne må på sikt finne ut hvordan et slikt instrument kan anvendes best mulig i daglig arbeid.

1.2 English

In this project, the objective has been to develop a handheld instrument for measuring water content in dried salted cod (clipfish). It has been documented that point measurements using near-infrared spectroscopy (NIRS) are well-suited for this purpose. It is crucial to measure deep into the fish and at multiple points to obtain a good estimate of the average water content. An accuracy of approximately ± 1.1 % points is achievable with NIRS when Cross-section (Codex) is used as the reference method. This is significantly better than what can typically be estimated through traditional manual grading of the fish.

A prototype of a handheld NIRS instrument has been developed that is suitable for measuring water content in clipfish. The instrument has been demonstrated to the industry but is not yet a commercial product. The instrument can be used to measure the average water content in the fish (Codex) and the water content at individual measurement points. In the long run, users must determine how such an instrument can be used in the most practical way in daily operations.

2 Innledning

Vanninnhold i klippfisk er en viktig parameter som definerer kvalitet på klippfisk til eksport. Det er behov for en hurtig og ikke-destruktiv metode for måling av vanninnhold i klippfisk siden denne vil muliggjøre prosessstyring, kvalitetssortering og kvalitetskontroll.

I 2004 finansierte FHF prosjektet **443163: Vannmåling i klippfisk** for å få utviklet et instrumentelt system for in-line vannmåling i klippfisk. Dette FoU-arbeidet endte opp i et prototype-instrument basert på nær-infrarød spektroskopi (NIRS) (Wold, 2004). Instrumentet ble utviklet i et samarbeid mellom Nofima og SINTEF Digital og baserte seg på såkalt avbildende spektroskopi der man i tillegg kunne måle relativt dypt inn i fisken. Systemet fungerte bra og oppnådde målenøyaktighet i området $\pm 0,8 - 1,5$ %-poeng, avhengig av type og størrelse på fisken. Dette var vesentlig bedre nøyaktighet enn det man typisk får ved manuell vraking ($\pm 2,5$ %), dessuten var metoden objektiv og svært rask (mulighet for minst én fisk i sekundet). Begge metoder ble sammenlignet med den etablerte Tverrsnittsmetoden i Codex Stan 167-1989 (referert til som Codex i resten av rapporten).

Bedriften Titech Visionsort (senere QVision) kunne raskt levere instrumenter som kunne tas i bruk. Metoden ble tatt i bruk av et par produsenter, men utstrakt bruk i næringa ble det ikke. Det var ulike grunner til dette. Det krevet en viss investering, det krevet noe tilpasning i prosesslinjene og det var noe usikkerhet rundt nøyaktigheten. Selv om resultatene var tilfredsstillende (raske målinger med en nøyaktighet på $\pm 1,3$ %), hadde ikke næringen investeringsgrunnlag nok for å implementere systemet i produksjonen.

Det å gjøre gode NIRS målinger på klippfisk som gir riktig gjennomsnittlig vanninnhold er krevende av flere årsaker:

- Man må måle dypt inn i fisken (10-15 mm)
- Fisken er ofte dekket av et lag med salt som kan forstyrre målingene
- Fisken varierer mye i størrelse og fasong
- Vannet er ujevnt fordelt i fisken:
 1. Den er tørr på overflata og fuktigere inni
 2. De tynne delene av fisken er tørrere enn de tykke delene
 3. Vanninnholdet kan også variere mye innen tjukkfisken på samme fisk

Prosjektutlysningen til FHF etterspurte en håndholdt metode for måling av vanninnhold i klippfisk. En håndholdt metode kan ha noen fordeler: Et slikt instrument vil trolig være enkelt å ha med seg og det kan være fleksibelt i bruk. Det kan brukes ulike steder i produksjonen. Trolig vil det også være billigere enn en industriell skanner. Ulempen er at det ikke finnes noe håndholdt NIR-instrument som egner seg til vannmåling i klippfisk. Det er som nevnt svært viktig at et slik instrument måler dypt nok inn i fisken for å få gode målinger av vann og det er det ingen kommersielle instrumenter som gjør.

Denne rapporten oppsummerer kort hva som er gjort og resultatene som så langt er oppnådd med en helt ny prototype av et NIR instrument som SINTEF Digital har utviklet og Nofima har testet ut for vannmåling i klippfisk.

Prosjektet har gått i perioden 1. februar 2021- 15. desember 2023 med et totalt budsjett på 3.4 mill NOK.

Prosjektet har vært ledet av Nofima (Divisjon Mat) som har planlagt og utført diverse forsøk og målinger på klippfisk. SINTEF Digital har bidratt med utvikling av ny optisk instrumentering. Anfaco i Spania har bidratt med referanseanalyser av vanninnhold i klippfisk.

En referansegruppe bestående av representanter fra klippfisknæringa har hatt en viktig rolle i prosjektet ved å være med på viktige vurderinger og veivalg.

3 Problemstilling og formål

Hovedmål for prosjektet var:

Utvikle og teste et håndholdt instrument for måling av vanninnhold i klippfisk

Delmål:

- 1) Evaluere og sammenligne ulike teknologialternativer for måling av vanninnhold i klippfisk
- 2) Videreutvikle og kalibrere den mest egnede metoden
- 3) Verifisere bruk og nøyaktighet under industrielle forhold

Enten prosjektet skulle resultere i en velfungerende industriell skanner eller et håndholdt instrument for vannmåling, så er nytteverdien for klippfisknæringa klar. Metoden kan brukes til rask og ikke-destruktiv måling av vanninnhold som muliggjør:

- Prosesstyring: Fisk som ikke er tørr nok kan tørkes mer. Man kan effektivt lære mer om hvordan tørking kan gjøres best mulig.
- Kvalitetssortering: Man kan sørge for best mulig sortering av produkter til ulike kunder og markeder i henhold til ulike krav og spesifikasjoner. Dette kan gjøres mer effektivt og nøyaktig enn det som er mulig i dag.
- Kvalitetskontroll: Vanninnhold kan kontrolleres før eksport slik at man unngår reklamasjoner og straffetoll.

Både en industriell skanner, som effektivt kan måle store kvanta med tilhørende automatisk sortering, og et håndholdt instrument for stikkprøver og målinger rundt i prosess kan være nyttige og også utfylle hverandre i brukernytte.

Øvrig nytteverdi: Dersom vi lykkes med å utvikle et velfungerende håndholdt system så vil dette kunne ha stor nytteverdi også utenfor klippfiskbransjen. Et slikt instrument kan brukes til å måle kjøttfylde i både taskekrabbe og kongekrabbe og det er et stort behov for en slik metode. Fettinnhold i hel laks og pelagisk fisk kan også være interessant.

4 Prosjektgjennomføring

Prosjektet ble delt opp i tre faser der resultatene fra de første fasene var avgjørende for retningen i de påfølgende. Denne tilnærmingen ble valgt for å ha klare milepæler for så å kunne fatte beslutninger basert på oppnådde resultater.

Fase 1: Evaluering av ulike teknologialternativer

Fase 2: Utvikling av nytt instrument

Fase 3: Verifisering av instrument under industrielle forhold

I **Fase 1** testet vi ut fire ulike alternative målemetoder for hurtig vannmåling i klippfisk:

- 1) TOMRAS QVision scanner. Dette er en videreutviklet industriell variant av NIR instrumentet som ble utviklet i 2004.
- 2) NIR prototypen *SmartSensor* ble brukt for å illustrere hvor gode målinger vi kan oppnå med et velfungerende NIR punkt-måle system. For hver fisk ble en rekke målinger gjort, slik at vi kunne anslå hvor mange målinger og hvor på fisken de måtte gjøres for å oppnå tilstrekkelig nøyaktighet. Dette instrumentet ga også viktig informasjon om hvordan en håndholdt sensor burde designes for å gi best mulig målinger.
- 3) Et kommersielt håndholdt NIR-instrument (MicroNIR fra VIAVI solutions) ble inkludert for ikke å gå glipp av en mulig enkel løsning. Dette instrumentet måler på små punkter, men ikke særlig dypt inn i fisken.
- 4) Vi testet også en standard vannmåler fra Claes Ohlson, laget for fuktighetsmåling på treverk.

Alle instrumenter ble testet på 60 klippfisk med stor variasjon i vanninnhold.

Fase 2: Etter Fase 1 ble det bestemt at Fase 2 skulle brukes til utvikling av et håndholdt instrument. SINTEF Digital utviklet da et prototype-instrument (Green-Eye) basert på den teknologien vi anså som best egnet. En viktig del av dette utviklingsarbeidet var å optimere optisk design for å oppnå best mulig signaler på kort måletid. Prototypen ble kalibrert basert på 40 klippfisk med stor variasjon i vanninnhold. Denne delen av arbeidet ble avsluttet med en demonstrasjon for klippfiskprodusenter i Ålesund.

Fase 3 gikk ut på å lage en enda mindre prototype enn den som ble testet i Fase 2. På grunn av Corona-pandemien var det svært store forsinkelser på leveranser av optiske komponenter og dette forsinket arbeidet vårt. Vi fikk ikke tak i de delene vi trengte. Til slutt (april 2023) fikk vi satt sammen et nytt instrument. Dette ble enkelt kalibrert og demonstrert i Ålesund igjen i oktober 2023. Det ble ytterligere kalibrert i desember 2023 basert på 40 fisk med stor variasjon i vanninnhold.

Prosjektgjennomføring har stort sett gått etter plan bortsett fra forsinkelsene på leveranser av optiske komponenter. Kontakten med referansegruppa har vært god. De to demonstrasjonene i Ålesund var spesielt vellykkede med tanke på å få tilbakemelding på hvordan et slikt måleinstrument kan utformes mest mulig hensiktsmessig.

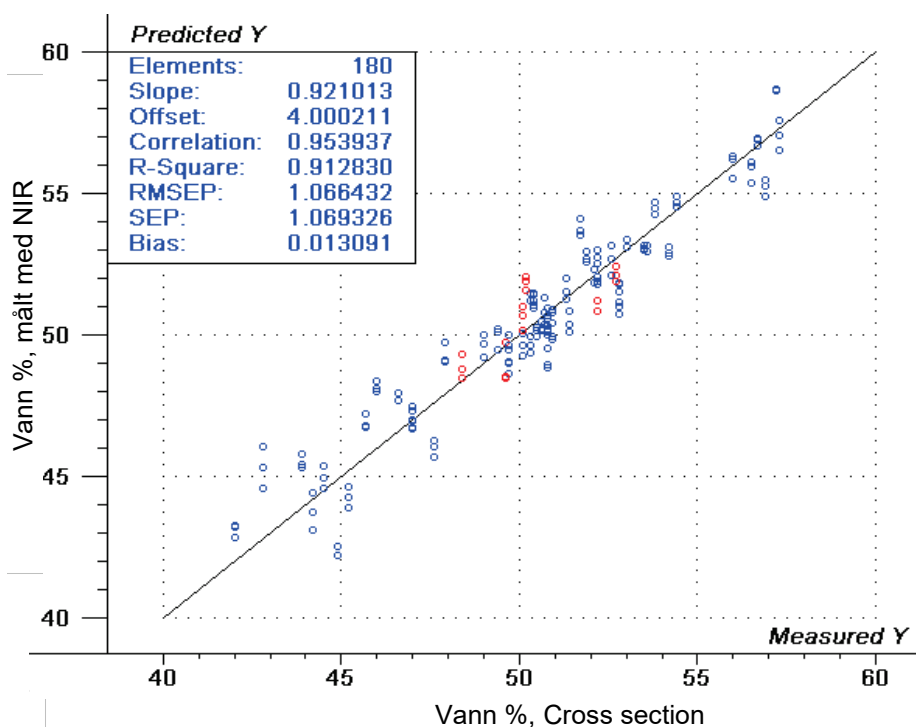
5 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

5.1 Fase 1: Evaluering av ulike teknologialternativer

Av de fire ulike metodene som ble test så fungert de to NIR instrumentene som målte dypt inn i fisken godt.

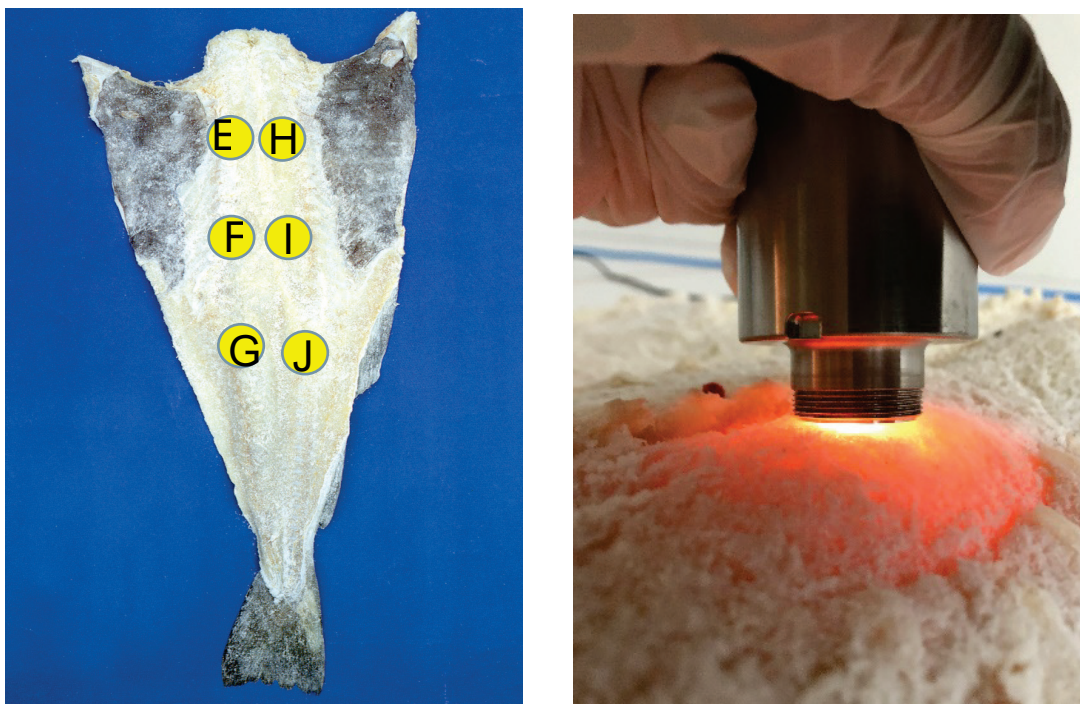
TOMRAs Qvision skanner egner seg godt til måling av vanninnhold i klippfisk. Det vil være vanskelig å finne en rask metode som kan gjøre dette med bedre nøyaktighet. Figur 1 viser at korrelasjonen mellom estimert vann og det målte vannet (Codex) var på 0.95, og en typisk målefeil lå på ca. $\pm 1,0$ %-poeng.

Qvision ble utviklet rundt 2004 og ble da grundig testet ut på klippfisk. Nøyaktigheten varierte noe fra test til test. Systemet er vesentlig forbedret siden den gangen. Det ble videreutviklet for å måle fett i kjøtt og dermed til å håndtere større variasjoner i tykkelse. Disse endringene gjør at den også vil måle klippfisk bedre i dag enn den gang. Instrumentet er kommersielt tilgjengelig, det brukes i dag verden rundt for å måle fett i kvernet kjøtt og avskjær av kjøtt, protein i kyllingfileter og fett i laksefileter. Det kan enkelt kobles til en grader for automatisk sortering på en linje. Marel er nå forhandler av systemet.



Figur 1 Resultat for TOMRA skanner: NIR-estimert vanninnhold mot Codex. Hver fisk ble scannet tre ganger, det er derfor tre punkter for hver fisk. Røde punkter er fra sei.

Det å bruke et NIR punkt-måleinstrument som målte i punktene angitt på Figur 2 ga like gode resultater som vist i Figur 1. Da tok vi en gjennomsnittsmåling fra de seks punktene og brukte en middelværdi av disse. Det var også slik at nøyaktigheten ble dårligere dersom vi brukte f.eks. kun tre målepunkter. Så det er viktig å måle mange punkter for at målingene skal bli representative for det gjennomsnittlige vanninnholdet i fisken. Det viktigste resultatet var imidlertid at et punkt-måleinstrument faktisk vil gi gode resultater. Det åpner for at et håndholdt instrument kan egne seg godt til bruk i industrien.



Figur 2 Venstre: Med punktmåleinstrumentene ble det gjort målinger i områdene E – J på filetsiden. Høyre: Kommersielt NIR instrument som ble testet.

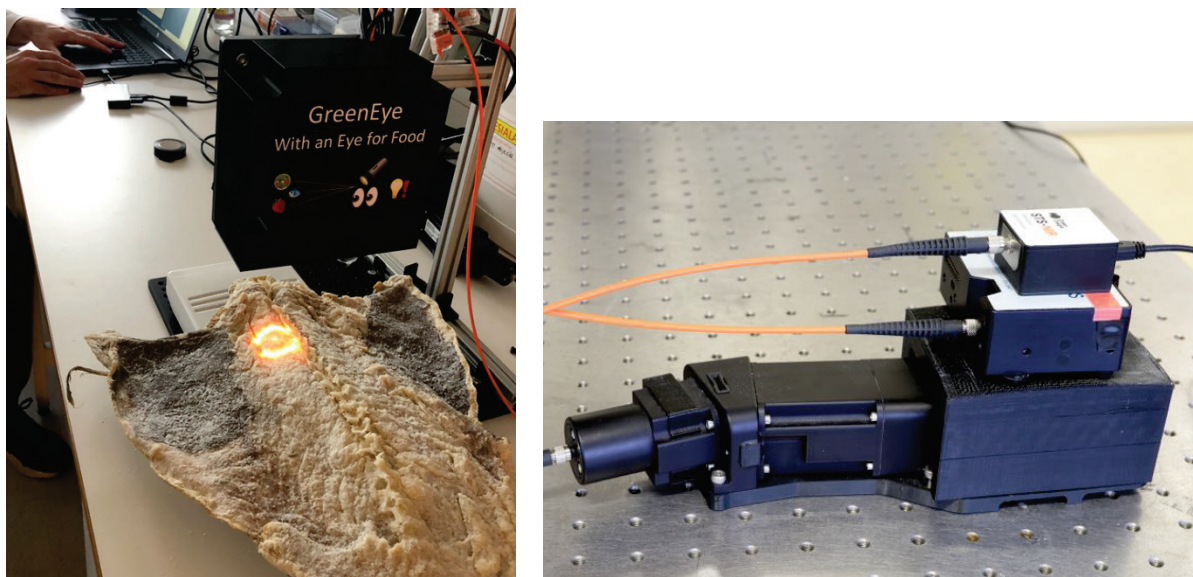
Det kommersielle NIR instrumentet som måler primært på overflata av fisken (Figur 2) fungerte dårlig. Det gjorde også fuktighetsmåler for treverk, blant annet på grunn av saltet i fisken som forstyrrer målingene.

5.2 Fase 2: Utvikling av nytt instrument

I møte med prosjektets referansegruppe i juni 2021 ble det besluttet at vi skulle gå for å utvikle et *håndholdt NIR instrument* for måling av vanninnhold i klippfisk. Dette ble foretrukket siden et slikt instrument vil være mer fleksibelt i bruk.

SINTEF Digital utviklet en spesiell håndholdt belysningsmodul (Figur 3). Denne belysningen gjør at vi måler dypt inn i fisken, noe som er avgjørende for klippfisk, men også for en rekke andre produkter. Belysningsmodulen kobles til et spektrometer og styres av en PC. I Fase 2 brukte vi et relativt stort spektrometer som ikke var spesielt godt egnet til et håndholdt instrument. Vi testet noen mindre spektrometre, men de var ikke gode nok. Vi hadde også identifisert et kompakt spektrometer, med lovende spesifikasjoner, men på grunn av de store forsinkelsene på leveranse av teknologi på den tiden, var det en leveringstid på ett år mot normalt seks uker. Vi valgte da å gå videre med et større spektrometer for å ikke få for store forsinkelser i prosjektet.

Prototypen (Green-Eye) sto ferdig sent i mai 2022 og ble testet i et kalibreringsforsøk med klippfisk i juni. Figur 3 viser instrumentet og antyder størrelsen.



Figur 3 Første prototype av håndholdt NIR instrument for måling av vanninnhold i klippfisk (venstre). Eksempler på spektrometre av forskjellige størrelser (høyre). Vi brukte det største i løpet av Fase 2.

5.2.1 Fisken

Totalt 40 klippfisk/saltfisk ble brukt i forsøket. Disse kom fra tre bedrifter. Bedriftene ble bedt om å levere fisk som varierte i vanninnhold fra ca. 42 – 56 %. Ved hver bedrift ble de ulike tørrhetsgradene plukket ut, pakket i egne kasser og merket med antatt vanninnhold. Fisken var av ulike størrelser og varierte i vekt fra 1,2 – 5,2 kg. Det var 32 torsk og 8 sei. Fisken ble sendt til Nofima på Ås og lå 5 dager på 4 °C før de ble målt med de spektroskopiske instrumentene. Disse målingene gikk over 2 dager. Fisken holdt da stort sett romtemperatur. Da målingene var avsluttet ble hver fisk pakket i vakuumeringspose og forseglet (men uten vakuum) og lagt tilbake i de samme kassene som de kom i. De ble så lagret kjølig i 4 uker før de ble fraktet til ANFACO (Vigo, Spania) for referansemåling av vann.

Codex ble brukt for å måle vanninnholdet. ANFACO har god erfaring med å utføre denne metoden. Båndsgag ble brukt for å skjære av 2 mm skiver på tvers av fisken. Disse stripene ble så klippet opp, blandet og fordelt i to omtrent like store porsjoner. Hver porsjon ble veid, tørket i varmeskap og veid i etterkant. Vanninnholdet ble så estimert basert på de to parallellene.

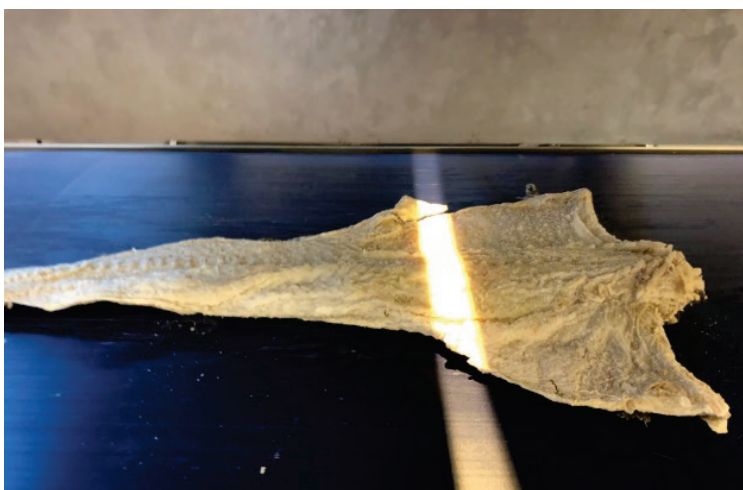
5.2.2 Instrumentelle målinger

Både SmartSensor og Green-Eye måler punktvis, det vil si en belsningsring på omtrent 5 cm i diameter, med et målepunkt i midten. Det betyr at flere punkter på hver fisk må måles for å få representative målinger av gjennomsnittlig vanninnhold. Figur 4 viser punktene A, B, C, D, E, F, G, H som ble målt på hver fisk med disse instrumentene. Hver punktmåling tok ett sekund. Vi vurderte så resultatene når målingene fra disse punktene ble midlet.



Figur 4 Målepunkter for hver fisk (venstre). Måling på ett målepunkt med GreenEye (høyre).

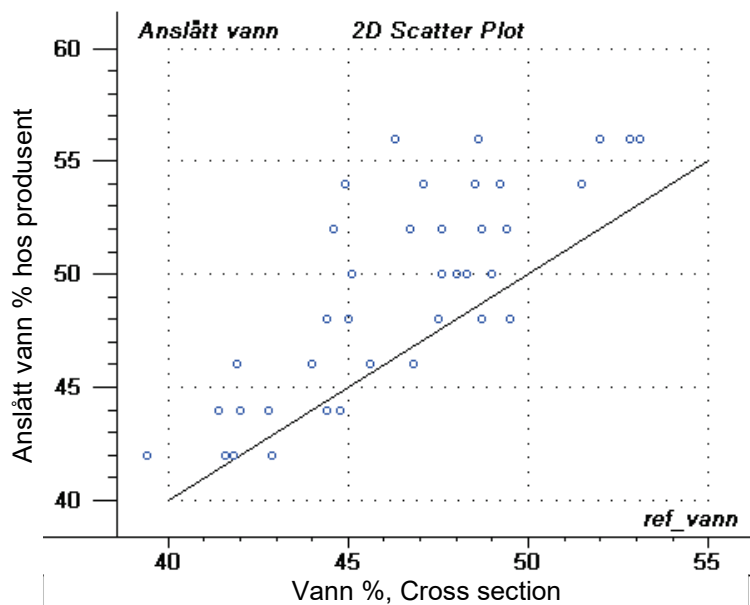
TOMRA skanneren måler hele fisken med et avbildende system (Figur 5). Fordelen med en slik skanner er at hele fisken blir målt, men den måler ikke like dypt som et punktmåleinstrument.



Figur 5 Skanning av klippfisk på transportbånd. Hele fisken måles på ett sekund.

5.2.3 Variasjon i vanninnhold

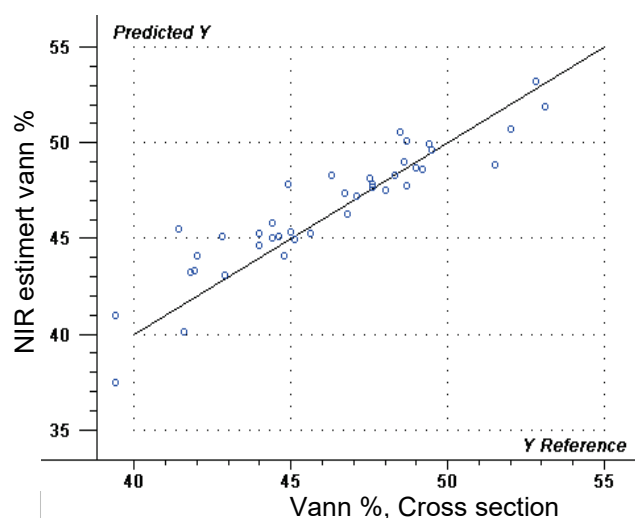
Vanninnholdet i fisken varierte fra 39,4 % til 52,8 %. Figur 6 viser hvordan vrakernes manuelle klassifisering av fisken i bedriftene samsvarer med Codex. Det er til dels store avvik, som vi også har sett i tidligere forsøk. Det er verdt å merke seg at mange av fiskene hadde altfor høye anslag av vanninnhold, noe som ville gitt unødvendig tap ved salg. Gjennomsnittlig anslag av fuktighet lå 2,8 %-poeng over referansemetoden.



Figur 6 Samsvar mellom Codex og anslått vanninnhold av vrakerne i bedrift. Ved perfekt samsvar ville punktene ligget langs den sorte skrå linja.

Figur 7 viser til sammenligning hvordan de samme fiskene ble estimert med NIR-instrumentet SmartSensor. SmartSensor ble kalibrert for måling av vanninnhold i klippfisk i 2021, og det er denne kalibreringen som er brukt her. Gjennomsnittlig prediksjon av fuktighet ligger 0,4 % over referansemetoden, hvilket bør være akseptabelt.

SmartSensor har også noen avvik fra Codex, men er langt mer nøyaktig enn vrakerne som har tatt ut fisken. Dette har vi også sett tidligere, at NIR kan ha en nøyaktighet på rundt ± 1 %, mens vrakerne ligger på $\pm 2,5$ %. Resultatet med SmartSensor bekrefter det vi så i 2021, nemlig at man kan oppnå gode målinger av vanninnhold i klippfisk ved å ta gjennomsnittet av flere punktmålinger.

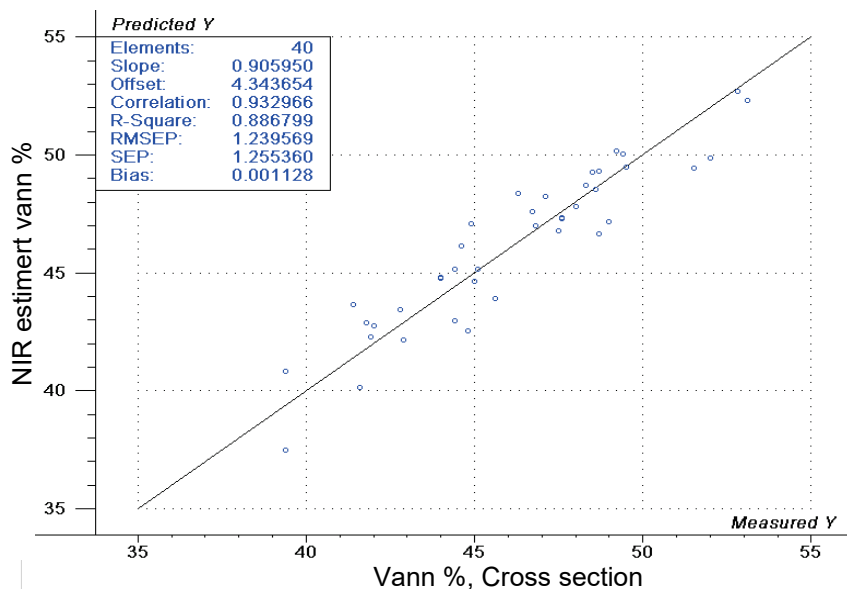


Figur 7 Samsvar mellom Codex og prediktert vann med NIR punktmålinger (SmartSensor, kalibrering fra 2021 benyttet). Ved et 100 % samsvar ville punktene ligget på den sorte skrå linja.

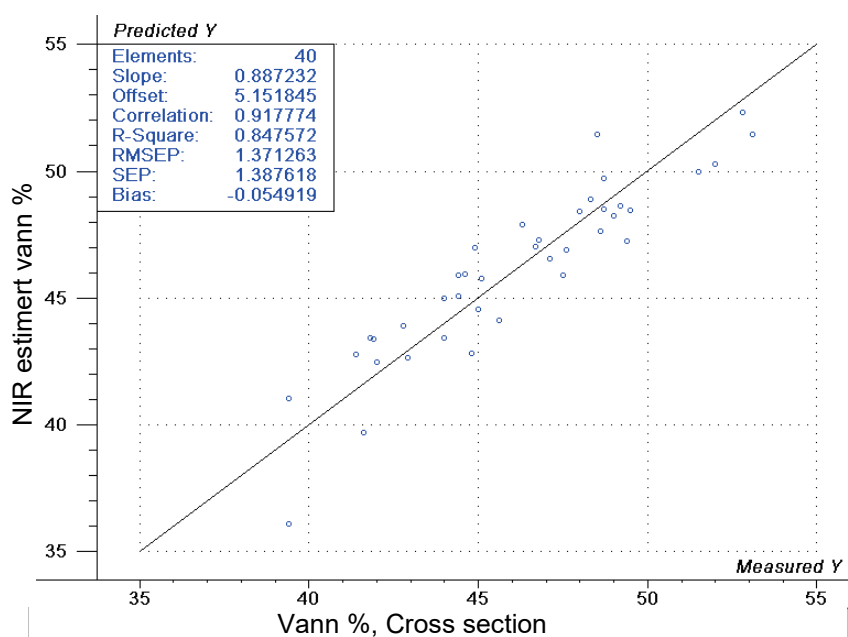
5.2.4 Sammenligning av NIR instrumenter

Da vi laget en ny kalibrering for SmartSensor basert på de nye 40 fiskene (Figur 8), ble resultatet omtrent som da vi brukte kalibreringen fra 2021, med en prediksjonsfeil på 1,2 %-poeng. Men den ble ikke fullt

så nøyaktig som selve kalibreringen fra 2021. Det betyr at samsvaret mellom NIR-målingene og referansemålingene ikke var like gode som da. Dette kan vel så godt skyldes usikkerhet i referansemålingene. Det kan også skyldes at det tok lang tid mellom NIR-målinger og referansemålinger, og at vanninnholdet kan ha endret seg noe. Men måten fisken ble pakket og lagret burde ikke ha gitt store endringer.



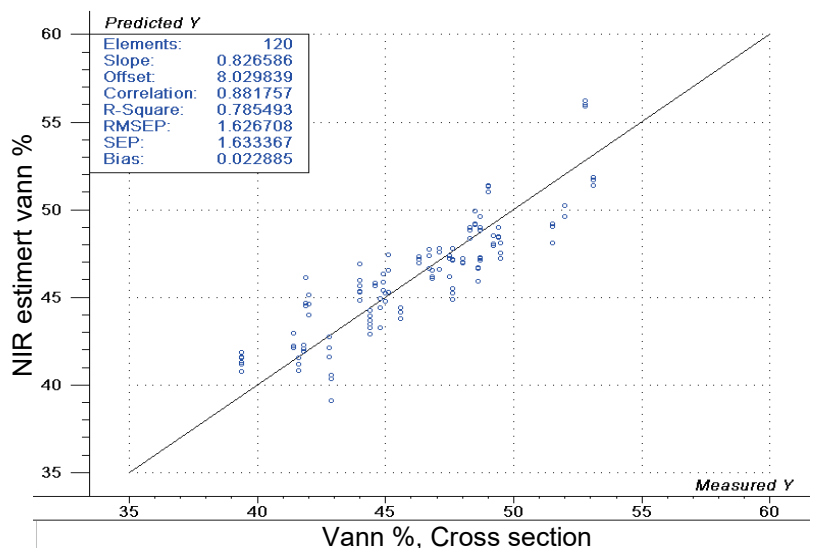
Figur 8 Kalibrering for vanninnhold basert på SmartSensor og de 40 nye prøvene



Figur 9 Kalibrering for vanninnhold basert på det nye håndholdte instrumentet (GreenEye)

Med det nye håndholdte instrumentet fikk vi omtrent samme resultat som med SmartSensor, med en prediksjonsfeil på 1,3 %-poeng (Figur 9). Dette er et meget lovende resultat og indikerer at det håndholdte instrumentet vi utviklet kan egne seg godt til bruk i næringa.

TOMRA skanneren fikk litt overraskende svakere resultater enn de to punktmålingsinstrumentene, med en prediksjonsfeil på 1,6 %-poeng (Figur 10). I 2021 fikk vi en vesentlig bedre kalibrering med en prediksjonsfeil på 1,1 %-poeng.



Figur 10 Kalibrering for vanninnhold basert på TOMRA Qvision500

5.2.5 Konklusjon og demonstrasjon

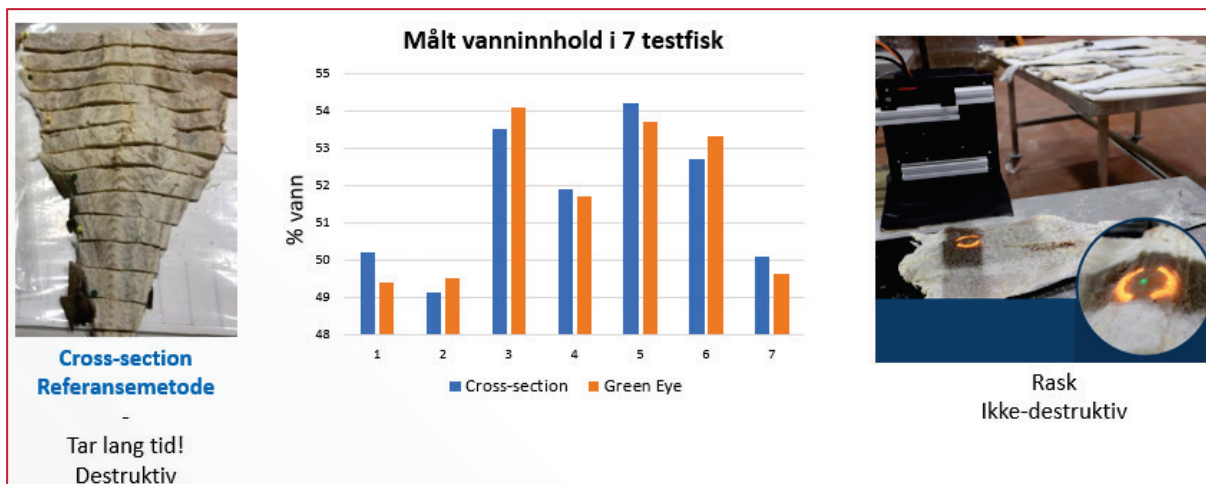
Resultatene fra Fase 2 viser at prototypen av et nytt håndholdt NIR-instrument egner seg godt til måling av vanninnhold i klippfisk.

For både å informere om resultatene og få tilbakemelding på prototypeinstrumentet ble det arrangert en demo i november 2022 hos Brødrene Sperre med godt oppmøte fra mange klippfiskprodusenter (Figur 11). De fremmøtte kunne se instrumentet og selv gjøre målinger og sammenligne med manuell vraking. Responsen var god, og det ble oppfordret til å jobbe videre med å utvikle et mer ferdig håndholdt instrument og få til en form for kommersialisering av dette.



Figur 11 Demo av foreløpig prototype i Ålesund

Syv klippfisk som ble målt med prototypen under demoen i Ålesund ble sendt til Anfaco i Spania for måling av vanninnhold iht Codex. Figur 12 viser at målingene vi gjorde under demoen, under industrielle forhold, stemte godt overens med referansemotoden.



Figur 12 Måleverdier for vann i klippfisk basert på NIR (Green-Eye) og referansemetoden (Codex)

5.3 Fase 3: Verifisering av instrument under industrielle forhold

Etter gjennomført Fase 2 ble det bestemt at prosjektet skulle konsentrere seg om å designe og lage et mindre prototype-instrument basert på det kompakte spektrometeret som hadde forsinket leveranse i fase 2, og en mer hardfør mekanisk design på belysningsmodulen. Denne prototypen ville være nærmere et reelt håndholdt instrument. Dette kompakte instrumentet skulle også testes på ny fisk og om mulig kalibreres.

Det var også interessant å se på muligheten for å måle vanninnholdet i enkeltmålepunkter. For å få et godt estimat for vanninnholdet i hele klippfisken så må man måle over flere punkter, men det er relevant å vite, med tanke på praktisk daglig bruk, hvor bra vi kan måle vanninnholdet i for eksempel tjukkfisken. For en rask screening i industrien kan det være aktuelt å gjøre én måling på tjukkfisken for å få en indikasjon på vanninnholdet akkurat der.

5.3.1 Prototype versjon 2

Prototype versjon 2 ble designet, satt sammen, programmert og testet ut. Den er vist i Figur 13.



Figur 13 Første prototype til høyre. Andre versjon i midten – den er vesentlig mindre. Den kan bygges inn i et håndholdt instrument som det til venstre (som er en foreløpig modell å vise sluttbrukerne den mulige størrelsen).

Dette mye mindre instrumentet ble testet ut på klippfisk, sammenlignet med NIR prototype 1 og den gir tilsvarende resultater. Denne nye prototypen eksisterer fremdeles som løse deler (belysning,

spektrometer, detektor og datamaskin), men kan pakkes inn et integrert håndholdt instrument som vist i Figur 13.



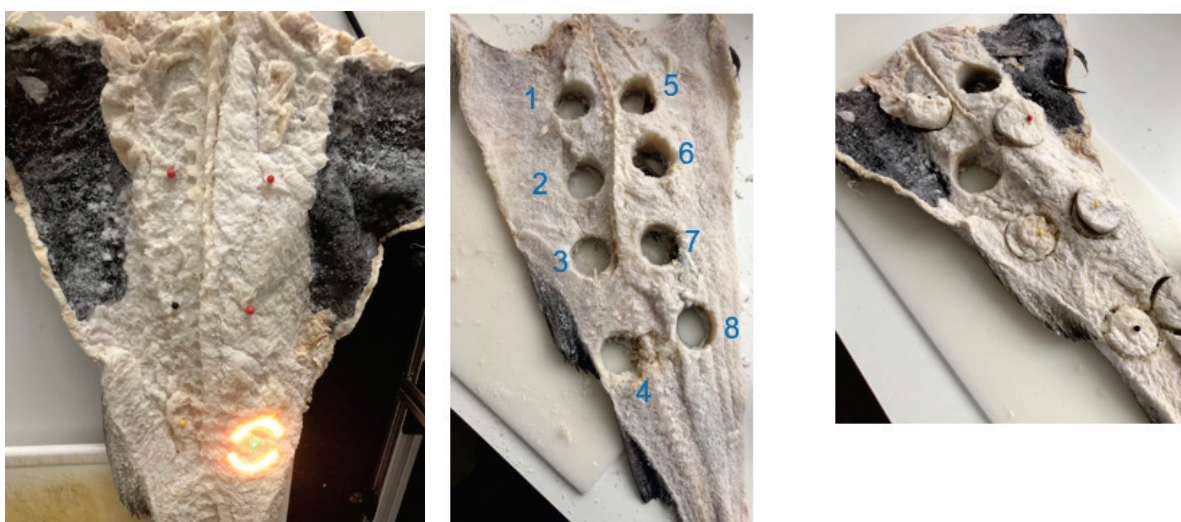
Figur 14 Demonstrasjon hos Brødrene Sperre oktober 2023, med prototype versjon 2

Både den nye prototypen og modellen av et håndholdt instrument ble vist frem og demonstrert for næringa hos Brødrene Sperre i oktober 2023 (Figur 14). Også nå fikk vi konstruktiv respons på hvordan instrumentet bør designes og brukes under praktiske forhold.

Nofima og SINTEF Digital har søkt og fått bevilget et kommersialiseringsprosjekt av Norges Forskningsråd. I dette prosjektet vil instrumentet videreutvikles til et håndholdt instrument som kan testes ut i industri. Dette skal gjøres i tett dialog med næringa. Det skal også gjøres markedsanalyser og forhåpentligvis vil prosjektet føre til en form for kommersialisering av instrumentet slik at det blir tilgjengelig for klippfiskindustrien.

5.3.2 Punktkalibrering

For å undersøke hvor bra det er mulig å måle vanninnhold på bestemte områder på fisken ble 10 klippfisk med ulikt vanninnhold målt på 8 ulike punkter (Figur 15). Vanninnholdet ble målt på sylindre som ble stanset ut fra måleområdene – i hele fiskens tykkelse. Det ble så laget kalibreringer mellom NIR og vanninnhold.

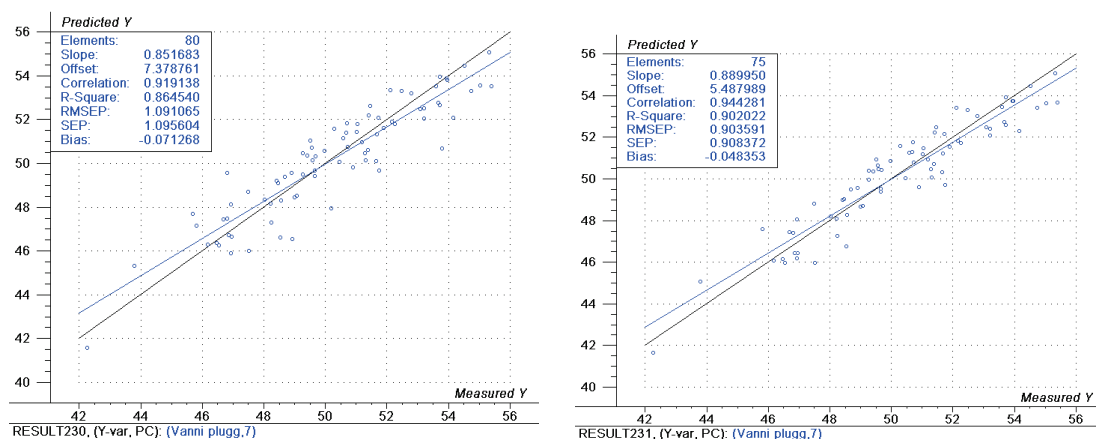


Figur 15 NIR-målinger med ny prototype ble gjort i punktene 1-8. Disse ble så stanset ut og vanninnholdet målt i hver av dem.

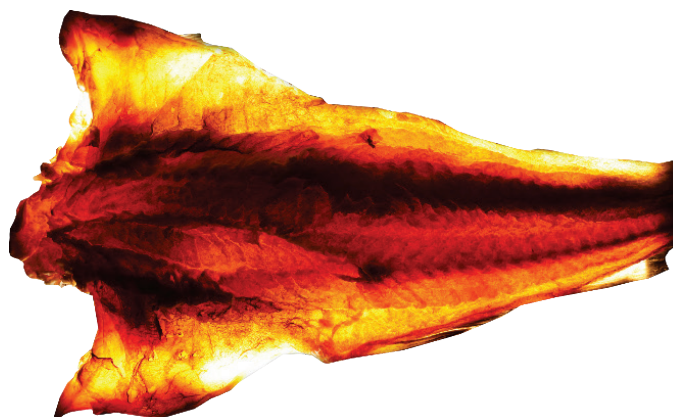
Det ble oppnådd fine kalibreringer for vanninnhold i pluggene. Det var noen målinger som var avvikende, og disse var gjort på nedre del av fisken mot halen. Her er fisken ofte svært tynn, dessuten er det mye

bein som kan forstyrre målingene. Figur 16 viser kalibreringsmodeller for alle 80 pluggar samt for et sett med pluggar der fem målinger fra nedre del er tatt ut av modellen. Dette gir en del bedre nøyaktighet og indikerer en måleusikkerhet på ca. $\pm 0,90$ %-poeng.

Med tanke på å få til gode målinger så er klippfisk svært komplekse prøver. De er heterogene, av ulik tykkelse, de har buklete overflate og er dekket med salt. I dette studiet oppdaget vi enda en kompleksitet som påvirker målingene: På høyre side av fisken ligger skinnen på fisken brettet inn i tjukkfisken. Det vil si, når fisken flekkes og brettes ut så blir høyre del av fisken brettet over ryggmuskelen. Det er derfor høyre side av klippfisken alltid er tykkere enn venstre side. En konsekvens er at det blir en skinnbrett på høyre side. Denne ligger typisk 1 cm under overflata på klippfisken. Dette fører til at muskelen over skinnen blir tørr, mens muskelen *under* skinnen kan være mer fuktig fordi det tar lengre tid å tørke. Dette forklarer hvorfor vi i dette prosjektet har observert at vi konsekvent får estimert lavere vanninnhold på høyre side av fisken sammenlignet med venstre side. Denne kompleksiteten blir modellert inn i kalibreringene på gjennomsnittlig vanninnhold i hel fisk. Når det måles på enkeltpunkter så må dette tas hensyn til. For eksempel ved at man konsekvent måler på venstre side av fisken. Figur 17 viser en gjennomlyst klippfisk. Den mørke stripen langs høyre side skyldes det doble skinnlaget som stopper mye av lyset.



Figur 16 Kalibrering for vann i punkter på klippfisk. Venstre: For alle 80 pluggar. Høyre: Fem pluggar fra tynn fisk med forholdsvis mange bein er tatt ut. Dette gir noe bedre resultater.



Figur 17 Bilde av gjennomlyst klippfisk. Mørkt område langs høyre side av fisken (øvre del på bildet) skyldes et dobbelt lag med skinn som er brettet inn under muskelen. (foto Vilde Vraalstad, SINTEF Digital)

6 Hovedfunn

1. Det er dokumentert at punktmålinger med nær-infrarød spektroskopi (NIRS) egner seg til å måle vanninnhold i klippfisk.
2. Det er viktig å måle dypt inn i fisken og på flere punkter for å få et godt estimat på gjennomsnittlig vanninnhold. En nøyaktighet på ca. $\pm 1,1$ %-poeng er mulig med NIRS når Codex brukes som referansem metode.
3. Det er utviklet en fungerende prototype, med komponenter som er egnet til et håndholdt NIRS instrument til måling av vanninnhold i klippfisk. Instrumentet er demonstrert for næringa, men er enda ikke et kommersielt produkt.
4. Instrumentet kan brukes til å måle gjennomsnittlig vanninnhold i fisken (Codex) og også vanninnholdet i de enkelte målepunktene. Brukerne må på sikt finne ut hvordan et slikt instrument kan brukes på den mest hensiktsmessige måten i daglig arbeid.
5. Nofima og SINTEF Digital har fått innvilget et kommersialiseringsprosjekt av Norges Forskningsråd. I dette prosjektet vil instrumentet videreutvikles til et håndholdt instrument som kan testes ut i industri. Dette skal gjøres i tett dialog med næringa. Det skal også gjøres markedsanalyser og forhåpentligvis vil prosjektet føre til en form for kommersialisering av instrumentet slik at det blir tilgjengelig for klippfiskindustrien.

7 Leveranser

Leveranse 1: Referat fra oppstartsmøte med referansegruppa (30.02.2021). Dette inneholdt føringer og nyttig informasjon for det videre arbeidet.

Leveranse 2: Rapport: Wold JP, Andersen PV, Reboredo RG. Utvikling, kalibrering og verifisering av håndholdt vannmåler for klippfisk og saltfisk. Fase 1: Evaluering av ulike teknologialternativer og anbefalinger for videre arbeid. Nofima rapport 20/2021.

Leveranse 3: Referat og beslutning om valg av retning for Fase 2 fra møte med referansegruppa (30.06.2021).

Leveranse 4: Rapport: Wold JP, Andersen PV, Reboredo RG, Tschudi J, O'Farrell M. Utvikling, kalibrering og verifisering av håndholdt vannmåler for klippfisk og saltfisk: Ferdig kalibrert håndholdt prototype instrument. Nofima rapport 22/2022.

Leveranse 5: Informasjonsvideo om prosjektet: [En liten håndholdt vannmåler kan løse utfordringer ved eksport av klippfisk \(fhf.no\)](https://www.fhf.no/en-liten-handholdt-vannmaler-kan-loese-utfordringer-ved-eksport-av-klippfisk)

Leveranse 6: Demonstrasjon av prototype for vannmåler i klippfisk hos Brødrene Sperre, 23. november, 2022.

Leveranse 7: Demonstrasjon av prototype for vannmåler i klippfisk hos Brødrene Sperre, 20. oktober, 2023.

Leveranse 8: Populærvitenskapelige artikler

Sundnes HM. Steg for steg mot håndholdt vannmåler. Norsk Fiskerinæring nr. 10, 2023.

Mathisen G. Nyutviklet vannmåler vil sikre at klippfisken holder riktig kvalitet. Publiseres tidlig 2024.

Leveranse 9: Administrativ sluttrapport i tråd med FHF's retningslinjer (leveres 15.02.2024)

Leveranse 10: Wold JP, Tschudi J, O'Farrell M. Utvikling, kalibrering og verifisering av håndholdt vannmåler for klippfisk og saltfisk. Faglig sluttrapport. Nofima rapport 33/2023.

8 Referanser

Wold, JP. Objektiv hurtigmåling av vanninnhold i klippfisk – Sluttrapport. Nofima rapport O-8672 Sluttrapport, 2004.