Rapport 3/2024 • Utgitt januar 2024

# Økt verdiskapning og standardisering av hvitfiskmel basert på restråstoff om bord i norske fabrikktrålere

Faglig sluttrapport

Illustrasjon: Nofima

Åge Oterhals, Jan Vander Roost, Jens Petter Wold, John-Erik Haugen, Oddrun Gudbrandsen

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


| Rapportnummer: | ISBN: | ISSN: |
|---|---|---|
| 3/2024 | 978-82-8296-773-0 | 1890-579X |
| **Dato:** | **Antall sider + sider vedlegg:** | **Prosjektnummer:** |
| 30. januar 2024 | 27 + 0 | 13045 |


*Tittel:*
Økt verdiskapning og standardisering av hvitfiskmel basert på restråstoff om bord i norske fabrikktrålere - Faglig sluttrapport

*Title:*
Increased value creation and standardization of whitefish meal based on residual raw material on board Norwegian factory trawlers - Final report


*Forfatter(e):*
Åge Oterhals[1], Jan Vander Roost[1], Jens Petter Wold[1], John-Erik Haugen[1] og Oddrun Gudbrandsen[2]
[1]Nofima, [2]UiB Klinisk institutt 1

*Avdeling:*
Nofima Ernæring og fôrteknologi, BioLab, Mat og helse, Råvare og prosess / UiB, Klinisk institutt 1



*Oppdragsgiver:*
FHF

*Eksternt prosjektnummer/Oppdragsgivers ref.:*
901619/Lorena Jornet

*Stikkord:*
Hvitfiskmel, fiskeolje, restråstoff, næringsinnhold, proteinnivå, hygienisk kvalitet, oksidasjon, NIR-analyse



*Sammendrag/anbefalinger:*
Prosjektet er gjennomført i nært samarbeid med rederiene Halstensen Granit, Ramoen og Strand Havfiske og har omfattet:
• Kartlegging av næringsstoffer (protein, aminosyrer, vitaminer, mineraler og fettsyrer) i hvitfiskmel og olje
• Dokumentering av lagringsstabilitet og kontroll av bakterieforekomst og oksidasjon
• Vurdering av variasjon i de sensoriske egenskapene lukt og farge
• Kartlegging av fremmedstoffer iht. grenseverdi
• Rutiner for produksjon av hvitfiskmel som sikrer jevn og forutsigbar hygienisk kvalitet
• Kosteffektive alternativer for økt proteininnhold i fiskemelet
Full utnyttelse av alt restråstoff innen hvitfiskindustrien har et verdiskapningspotensiale på 740 mill. NOK og innen havgående flåte alene 400 mill. NOK (basert på hhv. 144.000 og 77.000 tonn ikke utnyttet restråstoff).
Et utvidet sammendrag er gitt i starten av rapporten.

*English summary/recommendation:*
The project has been carried out in collaboration with Halstensen Granit, Ramoen and Strand Havfiske and includes:
i) Survey of nutrients, ii) Documentation of storage stability and control of bacteria levels and oxidation, iii) Assessment of variation in smell and color, iv) Survey of foreign substances in accordance with legislative limits, v) Routines for fishmeal production that ensure uniform and predictable hygienic quality, vi) Cost-effective alternatives for increased protein content in fishmeal.

Full utilization of all residual raw materials within the whitefish industry has a value creation potential of NOK 740 million and within the ocean fleet alone NOK 400 million (based on present 144,000 and 77,000 tons of not utilized residual raw material, respectively). An extended summary is provided at the beginning of the report.

# Innhold


| | | |
|---|---|---|
| **1** | **Sammendrag** | **1** |
| **2** | **Innledning** | **3** |
| 2.1 | Faglig bakgrunn for at prosjektet ble igangsatt | 3 |
| 2.2 | Prosjektets omfang | 3 |
| 2.3 | Prosjektorganisering | 3 |
| **3** | **Problemstilling og formål** | **5** |
| 3.1 | Effektmål | 5 |
| 3.2 | Resultatmål | 6 |
| **4** | **Prosjektgjennomføring** | **7** |
| **5** | **Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon** | **8** |
| 5.1 | Kartlegging av næringsstoffer | 8 |
| 5.1.1 | Aminosyreinnhold | 8 |
| 5.1.2 | Mineralinnhold | 9 |
| 5.1.3 | Fettløselige vitaminer | 10 |
| 5.1.4 | Vannløselige vitaminer | 10 |
| 5.1.5 | Fettsyresammensetning | 11 |
| 5.2 | Lagringsstabilitet | 11 |
| 5.2.1 | Oksidasjonsstabilitet | 11 |
| 5.2.2 | Sensorisk kvalitet | 13 |
| 5.2.3 | Hygienisk kvalitet | 15 |
| 5.3 | Kartlegging av fremmedstoffer | 17 |
| 5.3.1 | Tungmetaller | 17 |
| 5.3.2 | Persistente organiske miljøgifter (POPs) | 18 |
| 5.4 | Produksjonsrutiner for stabil og høy hygienisk kvalitet | 19 |
| 5.5 | Alternativer for fremstilling av hvitfiskmel med høyt og stabilt proteinnivå | 20 |
| 5.6 | NIR-analyse for måling av protein, fett og vann | 22 |
| 5.7 | Forslag til standard dokumentasjon på hvitfiskmel rettet mot definerte markedssegmenter | 24 |
| **6** | **Hovedfunn** | **25** |
| **7** | **Leveranser** | **26** |
| 7.1 | Overordnede leveranser | 26 |
| 7.2 | Industrirettede leveranser | 26 |
| **8** | **Referanser** | **27** |

# 1 Sammendrag

Målsettingen med prosjektet har vært å dokumentere og forbedre prosesskunnskapen for produksjon av fiskemel av høyest mulig kvalitet og for å unngå uønsket avvik. Dette har inkludert:

- Kartlegging av næringsstoffer (protein, aminosyrer, vitaminer, mineraler og fettsyrer)
- Dokumentering av lagringsstabilitet og kontroll av bakterieforekomst og oksidasjon
- Vurdering av variasjon i de sensoriske egenskapene lukt og farge
- Kartlegging av fremmedstoffer iht. grenseverdi
- Etablere rutiner for produksjon av hvitfiskmel som sikrer jevn og forutsigbart hygienisk kvalitet.
- Vurdere ulike kosteffektive alternativer av råstoff eller prosess for å øke proteininnhold og samtidig opprettholde en homogen kvalitet på fiskemelet.

Prosjektet er gjennomført i nært samarbeid med rederiene Halstensen Granit, Ramoen og Havstrand. Prosesstekniske studier er gjennomført basert på uttak av rund fisk (torsk, hyse og sei) og mellomproduktene presskake og limvann fra FT Granit. Kartlegging av variasjon og etablering av NIR-kalibrering er gjennomført basert på uttak av melprøver fra FT Granit, FT Ramoen og FT Havstrand.

Hovedfunn i prosjektet:

- Kartleggingen av protein, aminosyrer, vitaminer, mineraler og fettsyrer i presskake og limvann har dokumentert høy næringsverdi i begge mellomprodukter. Tilsetting av limvann til presskakemel (dvs. produksjon av helmel) vil bidra til økt nivå av protein, jod, kalium og vannløselige vitaminer og aminosyrer (inklusiv taurin) i melet. Inkludering av limvann vil gi et hvitfiskmel med høyere ernæringsverdi både inn mot næringsmiddel og fôrmarkedet.
- Proteinnivå på fettfritt ts-basis viser en systematisk lavere nivå i HG- sammenlignet med filet-basert restråstoff. Det ble funnet et gjennomsnittlig nivå protein på fettfritt ts-basis i presskake og limvann på hhv. 73,5 % og 85,4 %. Inkludering av limvann vil gjennomsnittlig øke proteinnivå i melet med 3,6 %-enheter, med størst effekt på HG-basert restråstoff. Fjerning av store bein før mølle over sikt med lysåpning 4 mm kan øke proteinnivået i melet fra 64 til 73 % med et utbytte på 81 %.
- Limvannfraksjonen utgjør i gjennomsnitt 22 % av fettfritt tørrstoff, 26 % av proteinet, 68 % av vannløselig protein og 18 % av asken i restråstoffet. Inkludering av limvannet vil gi 25 % økt melutbytte sammenlignet med produksjon av presskakemel.
- Restråstoff fra hvitfisk inneholder lave nivå av tungmetaller og organiske miljøgifter og resulterer i mel med nivå godt innenfor gjeldende grenseverdier. Dioksiner og dioksinlignende PCB i fiskeolje kan forventes å ligge noe over gjeldende grenser for noen partier.
- Tilsetting av 350 ppm naturlige tokoferoler før tørke gir god beskyttelse mot oksidasjon i presskakemel. Tilsetting av limvann eller hydrolysert limvann ga ingen antioksidativ effekt.
- Det er utviklet en veileder for prosesshygiene i fiskemelindustrien. Basert på risikoanalyse, er det funnet mulighet for dannelse av kondens på innside av sekker for lagring av hvitfiskmel ved en kombinasjon av dårlig kjøling og høyt vanninnhold i melet. Det anbefales å etablere system for kontinuerlig overvåkning av vanninnhold i mel etter tørke og vurdere muligheter for bedre kjøling av melet før sekking.
- Innhold av vann, fett og protein i hvitfiskmel kan bestemmes med nøyaktigheter på hhv. ±0,27, ±0,34 og ±1,05 %-enheter basert på NIR-analyse. Dette muliggjør etablering av in-line måling om bord i trålerne for overvåkning av prosess og produktkvalitet.
- Basert på mel- og oljepriser i mai-23 på hhv. 16,2 og 40 NOK/kg, vil full anvendelse av ikke-utnyttet restråstoff i havgående flåte (77.000 tonn) tilsvare en verdiskapning på 400 mill. NOK. Innen hvitfiskindustrien totalt er det fortsatt 144.000 tonn restråstoff som ikke-utnyttes med et verdiskapningspotensiale på 740 mill. NOK. Ved fremstilling av fiskemel og olje til petfood eller humant konsum kan det regnes med en premium på toppen av dette.

**English summary:**

The aim of the project has been to document and improve process knowledge to produce fishmeal of the highest possible quality and to avoid unwanted quality deviations. This has included:

- Survey of nutrients (protein, amino acids, vitamins, minerals, and fatty acids)
- Documentation of storage stability and control of bacteria levels and oxidation
- Assessment of variation in the sensory properties smell and color
- Survey of foreign substances in accordance with legislative limits
- Establish routines for fishmeal production that ensure uniform and predictable hygienic quality
- Assess various cost-effective alternatives of raw material or process to increase protein content and at the same time maintain a homogeneous quality of the fishmeal

The project has been carried out in close collaboration with the shipping companies Halstensen Granit, Ramoen and Havstrand. Process studies have been carried out based on round fish (cod, haddock and pollock) and press cake and stickwater from FT Granit. Assessment of variation and NIR calibration has been carried out based on fishmeal samples from FT Granit, FT Ramoen and FT Havstrand.

Main findings in the project:

- The survey of protein, amino acids, vitamins, minerals, and fatty acids in press cake and stickwater has documented a high nutritional value in both intermediate products. The addition of stickwater to presscake fishmeal (i.e. production of whole meal) will contribute to an increased level of protein, iodine, potassium, and water-soluble vitamins and amino acids (including taurine). The inclusion of stickwater will give a whitefish meal with an improved nutritional value for both the food and feed markets.
- Protein level on a fat-free dm-basis shows a systematically lower level in HG compared to fillet-based residual raw material. On average, the level in presscake and stickwater was 73.5% and 85.4%, respectively. Inclusion of stickwater will on average increase the protein level in the fishmeal by 3.6% units, with the greatest effect on HG-based residuals. Removal of large bones before milling by use of a 4 mm sieve aperture, may increase the protein level in the fishmeal from 64 to 73% with a yield of 81%.
- The stickwater fraction represents on average 22% of fat-free dry matter, 26% of the protein, 68% of water-soluble protein, and 18% of the ash in the fish residuals. Inclusion of the stickwater will give a 25% increased fishmeal yield compared to the production of a presscake meal.
- Residual raw material from whitefish contains low levels of heavy metals and organic pollutants and results in fishmeal with levels well within the current legislative limits. Dioxins and dioxin-like PCBs in fish oil can be expected to be above the current limits for some lots.
- The addition of 350 ppm natural tocopherols before drying provides good protection against oxidation in presscake meal. The addition of stickwater or hydrolyzed stickwater gave no antioxidative effect.
- A process hygiene guide has been developed for the fishmeal industry. Based on risk assessments, the possible moisture condensation on the inside of fishmeal bags due to a combination of poor cooling and high moisture content, has been identified. To reduce risk, it is recommended to establish a system for monitoring of the moisture content in fishmeal after drying and to consider possibilities for improved cooling of the fishmeal before bagging.
- The content of moisture, fat and protein in whitefish meal can be determined with accuracies of ±0.27, ±0.34 and ±1.05% units based on NIR analysis. This enables the establishment of in-line measurement on board the trawlers for monitoring process and product quality.
- Based on fishmeal and oil prices in May-23 at 16.2 and 40 NOK/kg, respectively, utilization of at present discarded whitefish residuals in the ocean fleet (77,000 tons) correspond to a value creation of NOK 400 million. Within the whitefish industry in total, there are still 144,000 tons residuals discarded with a potential value creation of NOK 740 million. Manufacture of fishmeal and oil for the pet food or human market will give a premium on top of this.

# 2 Innledning

## 2.1 Faglig bakgrunn for at prosjektet ble igangsatt

Full utnyttelse av restråstoff på land og hav er et viktig tiltak for å øke verdiskapingen i hvitfisknæringen. Produksjon av fiskemel og olje er en av mulighetene for full utnyttelse av restråstoffet. For å øke lønnsomheten i produksjon av fiskemel og fiskeolje kan produksjonsprosessene forbedres og dokumenteres slik at fiskemel får en homogen og stabil kvalitet med høyest mulig proteininnhold gjennom hele året. Med styring av produksjon og kvalitet kan næringen differensiere sine produkter av hvitfiskmel til de ulike markedene.

Målsettingen med FHF-prosjektet har vært å dokumentere og forbedre prosesskunnskaper for å produsere fiskemel av høyest mulig kvalitet og for å unngå uønsket avvik.

Delmål i FHF-utlysning:
1) Karakterisering av sentrale parametere for hvitfiskmel som gir høy verdi i markedet, og sammenligne målinger fra minimum fire perioder gjennom året på sentrale fangstfelt:

- Kartlegge næringsinnhold, med fokus på optimalt proteininnhold
- Dokumentere lagringsstabilitet, med kontroll av bakterieforekomst og oksidasjon og korrelere med de sensoriske egenskapene lukt og farge
- Kartlegge fremmedstoffer iht. grenseverdi

2) Etablere rutiner for produksjon av hvitfiskmel som sikrer jevn og forutsigbart hygienisk kvalitet.

3) Vurdere ulike kosteffektive alternativer av råstoff eller prosess for å øke proteininnhold og samtidig opprettholde en homogen kvalitet av fiskemelet.

## 2.2 Prosjektets omfang

Prosjektet har hatt et totalt budsjett på 3,14 mill. NOK, hvorav 3 mill. fra FHF og 140 000 som egenfinansiering fra Universitetet i Bergen. Prosjektet er gjennomført over 3,5 år og har omfattet 6 arbeidspakker:

- AP1 Kartlegging av næringsstoffer
- AP2 Lagringsstabilitet
- AP3 Kartlegging av fremmedstoffer
- AP4 Produksjonsrutiner for stabil og høy hygienisk kvalitet
- AP5 Alternative prosesser for fremstilling av hvitfiskmel med høyt og stabilt proteinnivå
- AP6 NIR-analyse for måling av protein, fett og vann

## 2.3 Prosjektorganisering

Ansvarlig organisasjon: Nofima
Prosjektleder: Åge Oterhals
Samarbeidende forskningsmiljø: Universitetet i Bergen, Klinisk Institutt 1

Prosjektgruppen har bestått av følgende sentrale fagpersoner:

- Seniorforsker, PhD Åge Oterhals – Prosess- og næringsmiddelteknologi, kjemisk, fysikalsk, bakteriologisk og sensorisk kvalitet
- Forsker, PhD Silje Steinsholm – prosess og næringsmiddelteknologi, sensorisk analyse
- Seniorforsker, PhD Jens Petter Wold - Anvendt spektroskopi, data- og prosessanalyse
- Seniorforsker, PhD Jan Vander Roost – Mikrobiologi og prosesshygiene
- Seniorforsker, MSc Halvor Nygaard – Mikrobiologi og prosesshygiene

- Seniorforsker, PhD John-Erik Haugen - Lipid kjemi, oksidasjon, lukt/smakskjemi
- Professor Oddrun Gudbrandsen, UiB, Klinisk institutt 1 – Klinisk ernæring, biokjemi

**Industripartnere:**
Rederiene Halstensen Granit, Ramoen og Havstrand.

**Referansegruppe:**
- Ola Inge Grønnevet (Halstensen Granit)
- Linda Honningsvåg (Brødrene Sperre)
- Katrine Florvåg / Nils-Ove Giskegjerde (Ramoen)
- Zouhir el Marsni (Seagarden, t.o.m. oktober 2023)
- Geir Åsmund Hansen (Seagarden, f.o.m. november 2023.
- Lorena Gallart Jornet (FHF)

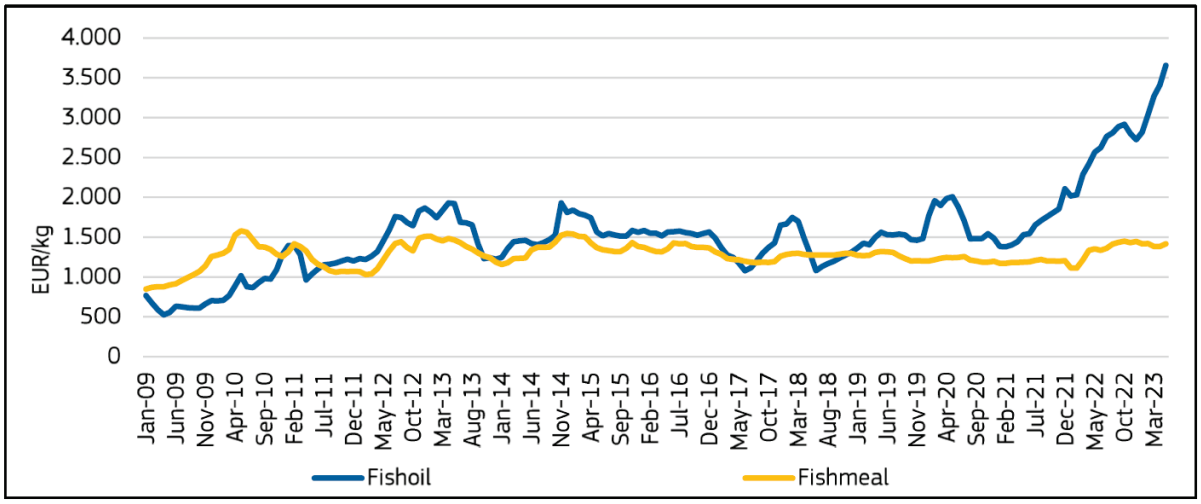
# 3 Problemstilling og formål

## 3.1 Effektmål

Prosjektet vil bidra til bedre utnyttelse av restråstoff om bord på hvitfisktrålere gjennom fokus på kvalitet, produktmuligheter og utbytte inklusiv utnyttelse av limvannet. 100 % utnyttelse av restråstoff gjennom produksjon av hvitfiskmel og olje er en viktig del av sirkulærøkonomien og vil bidra til økt lønnsomhet. De viktigste utfordringene for totalutnyttelse er tilgang på prosessinfrastruktur, pris og varierende kvalitet. Prosjektet vil søke etter løsninger som enkelt kan implementeres i eksisterende og nye prosessanlegg for utnyttelse av restråstoff om bord i fabrikktrålere.

Mulige markeder for hvitfiskmel er hovedsakelig inn mot humankonsum, petfood (hund og katt) eller fiskefôr, hvor ulike markeder har ulike preferanser. I tillegg må man evaluere ny teknologi og alternative metoder for å sikre at man utnytter dagens muligheter på best mulig måte. Standardisering og kvalitetssikring av hvitfiskmel inn mot høyere betalende markeder vil gi økt inntjening og være et insentiv for økt anvendelse av restråstoff i havgående flåte.

Fiskemelprisen har gjennom 2022-23 vært svakt stigende og ble priset rundt 16.200 NOK/tonn i mai 2023 (Figur 1). Basert på leveranse fra Peru m/65 % protein (CIF) ligger prisen i januar 2024 på rundt 20.500 NOK/tonn (https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=fish-meal). Fiskeoljeprisen har de siste par årene blitt presset opp grunnet redusert produksjon i Peru og lå i mai 2023 på rundt 42.000 NOK/tonn (Figur 1). Pris opp mot 60.000 NOK/tonn ble registrert mot slutten av året og det forventes at fiskeoljeprisen vil holde seg høy fremover grunnet økt etterspørsel.




*Figur 1 Utvikling i fiskemel og fiskeolje pris i EU (EUMOFA 2023).*

Dersom dagens ikke-utnyttede restråstoff innen havgående flåte i 2021 (77.000 tonn; Myhre et al., 2022) anvendes, vil dette tilsvare en økt produksjon av presskakemel på ca. 14.000 tonn og en verdiskapning på 225 mill. NOK. Inkludering av limvannfraksjonen vil kunne øke dette med ytterligere 25 % til 280 mill. NOK. Oljeutbytte er basert på statistikk fra 2021, estimert til 20 % av volum presskakemel (Myhre et al., 2022), dvs. 2800 tonn, tilsvarende en verdiskapning på 116 mill. NOK. Summert gir dette et verdiskapningspotensiale på nærmere 400 mill. NOK basert på de mel- og oljepriser som er angitt over for mai 2023 (EUMOFA 2023). Innen hvitfiskindustrien totalt var det i 2021 registrert 144.000 tonn som ikke-utnyttet restråstoff. Anvendes dette til fremstilling av helmel og olje tilsvarer dette et verdiskapningspotensiale på rundt 740 mill. NOK. Ved fremstilling av fiskemel og olje til petfood eller humant konsum kan det regnes med en premium på toppen av dette.

## 3.2 Resultatmål

**Hovedmål:** Dokumentere og forbedre prosesskunnskap for å produsere hvitfiskmel av høyest mulig kvalitet og for å unngå uønsket avvik.

**Delmål:**

1) Karakterisering av sentrale parametere for hvitfiskmel som gir høy verdi i markedet, og sammenligne målinger fra minimum fire perioder gjennom året på sentrale fangstfelt:

- Kartlegge næringsinnhold, med fokus på optimalt proteininnhold
- Dokumentere lagringsstabilitet, med kontroll av bakterieforekomst og oksidasjon og korrelere med de sensoriske egenskapene lukt og farge
- Kartlegge fremmedstoffer iht. gjeldende grenseverdier

2) Etablere rutiner for produksjon av hvitfiskmel som sikrer jevn og forutsigbart hygienisk kvalitet.

- Identifisere kritiske soner med risiko for kontaminering i det anvendte prosessutstyr
- Etablere vask, prosess og kontrollrutiner

3) Vurdere ulike kosteffektive alternativer av råstoff eller prosess for å øke proteininnhold og samtidig opprettholde en homogen kvalitet av fiskemelet.

- Separat prosessering av slofraksjon
- Fjerning av beinfraksjon
- Sortering basert på on-line måling av proteinnivå

# 4 Prosjektgjennomføring

Detaljert informasjon om eksperimentell metodikk anvendt i gjennomføring av prosjektet er beskrevet i de respektive delrapporter. En kort beskrivelse er gitt innledningsvis for hvert avsnitt under Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjoner.

Prosjektet er gjennomført i samarbeid med rederiene Halstensen Granit, Ramoen og Havfisk. Det er gjennomført prøveuttak og analyser av melprøver fra de respektive trålerne FT Granit, FT Ramoen og FT Havfisk. Prøvene er anvendt for å kartlegge mikrobiologisk kvalitet og til etablering av kalibreringskurver basert på NIR-spektroskopi for innhold av vann, protein og fett. Sistnevnte melprøver (totalt 70) har også gitt informasjon om variasjon i sammensetning på hvitfiskmel. I samarbeid med FT Granit er det tatt ut rund fisk av artene torsk, hyse og sei for kartlegging av sammensetning restråstoff, presskakemel og limvann fra vår og høstfanget fisk. Det er også tatt ut mel før mølle fra FT Granit for å undersøke effekt av å sikte fra bein på økt proteinnivå. Fra samme båt er det tatt ut prøver av pesskake/grakse og limvann som er anvendt til uttesting av antioksidanter.

Tett samarbeid og god dialog med de respektive rederier og prosessoperatører om bord i båtene har vært avgjørende for gjennomføring av prosjektet. Dette har også sikret høy industrirelevans på gjennomføring av prosjektet og fremkomne resultater.

# 5 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

## 5.1 Kartlegging av næringsstoffer

Detaljerte resultater foreligger i Nofima-rapport 35-2023 - Utbyttetall og næringsstoffinnhold i hvitfiskmel og olje basert på restråstoff fra torsk, hyse og sei (Oterhals et al., 2023).

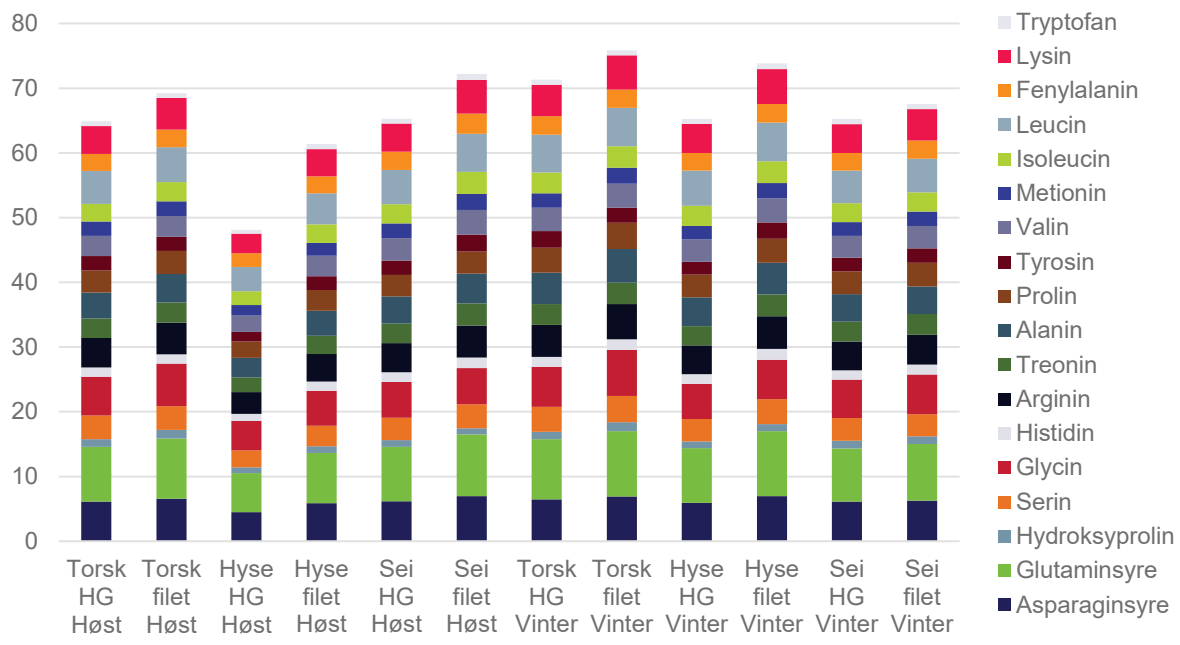
Fiskemel inneholder alle essensielle næringsstoffer og er spesielt rik på essensielle aminosyrer, vitaminer, n-3 fettsyrer og mineraler. Det er i prosjektet gjennomført en kartlegging av variasjon i næringsstoffer i presskakemel og limvann fremstilt basert på kontrollerte prøver av restråstoff fra rene råstofftyper (torsk, hyse, sei) fanget høst (oktober) og vinter (mars) opparbeidet til HG og filet. Kartleggingen har omfattet følgende næringsstoffer:

- Protein, totale aminosyrer og frie aminosyrer
- Lipider og fettsyresammensetning
- Fettløselige vitaminer: retinol (A), cholecalciferol (D), α-tokoferol (E)
- Vannløselig vitaminer: tiamin (B1), riboflavin (B2), niacin (B3), pantotensyre (B5), pyridoksin (B6), biotin (B7), folat (B9), kobalamin (B12)
- Aske og mineralene natrium (Na), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), fosfor (P), kobber (Cu), jern (Fe), jod (I), mangan (Mn), selen (Se), og sink (Zn)
- Tungmetallene arsen (As), cadmium (Cd), kvikksølv (Hg) og bly (Pb)
- Persistente organiske miljøgifter (POPs): dioxiner og furaner (PCDD/F), dioxinlignende PCB (DL-PCB) og ikke-dioxin-lignende PCB (NDL-PCB)

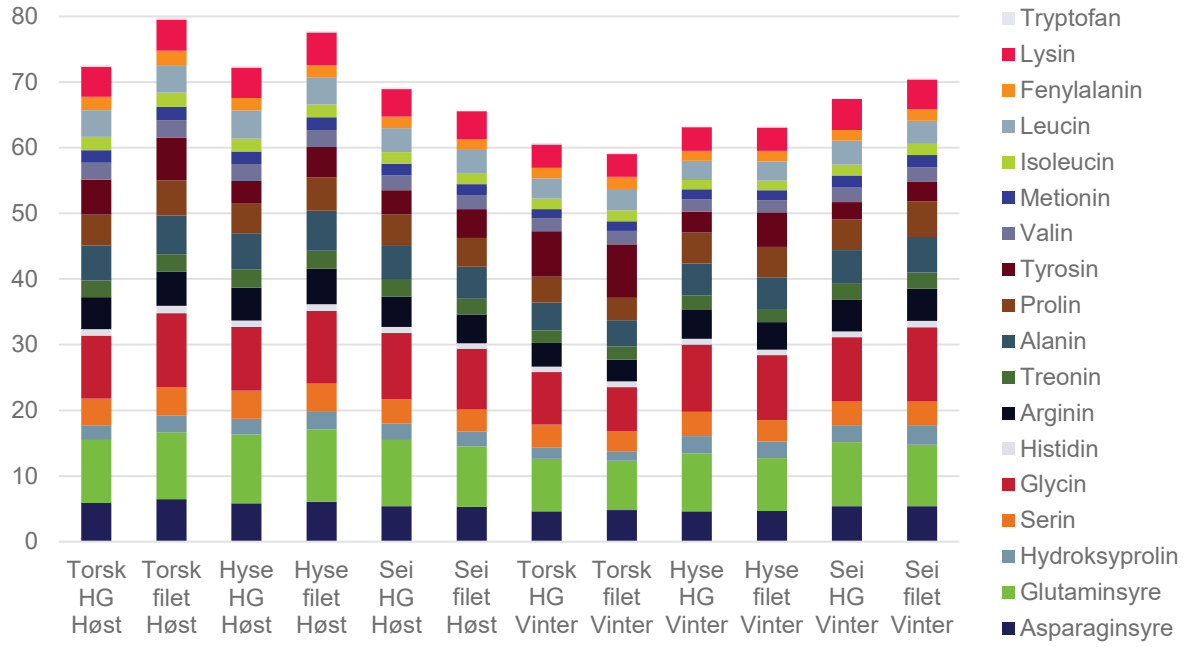
### 5.1.1 Aminosyreinnhold

Presskake og limvann viste generelt liten variasjon i sammensetning av totale (fritt + proteinbundet) aminosyrer på fettfritt tørrstoff-basis (FFTs-basis; Figur 2 og 3). Innholdet av alle individuelle aminosyrer er lavest i høstfanget hyse, hvilket reflekterer et lavere proteinnivå. På proteinbasis (ikke vist) er aminosyresammensetning omtrent likt i alle presskake-prøvene. Det er størst variasjon mellom presskake-melene for den ikke-essensielle aminosyren glutaminsyre. Proteininnholdet i limvann på FFTs-basis er noe høyere enn for presskake (Tabell 9) og dette bekreftes også av totale aminosyrer som varierer mellom 59 og 80 %. Det er noe større variasjon i den relative aminosyresammensetningen mellom limvannsprøvene, særlig for glutaminsyre, alanin, glycin, hydroksyprolin og prolin. Disse aminosyrene er de fem vanligste aminosyrene i det strukturelle proteinet kollagen, og variasjonen skyldes sannsynligvis ulikt innholdet av skinn, bein og bindevev i råstoffet. Eksempelvis er nivået av prolin høyere i alle limvann når filet sammenlignes med HG for samme fisk og fangsttidspunkt, noe som kan forventes siden restråstoff fra filetproduksjon inneholder mer skinn enn fra HG. Sammenlignet med nivå av råprotein (Tabell 9) viser totale aminosyrer noe større variasjon. Dette kan indikere at limvannet inneholder andre ikke-protein N-forbindelser som vil inngå i beregning av råprotein (Nx6,25).

Frie aminosyrer utgjør en svært liten andel av totalt protein i presskaken med nivåer i området 0,08-0,26 g/100 g fettfritt ts. Tilsvarende nivå i limvannet er 8,6-16,6 g/100 g. Variasjonen er stor for mange av aminosyrene, men det er vanskelig å påvise noen klare trender. Taurin er den dominerende komponent i frie aminosyrer både fra limvann og presskake. I limvannprøvene varierte taurin fra 2,7 % basert på restråstoff fra filetering av vinterfanget sei til 4,5 % fra HG av høstfanget sei. Taurin produseres i stor grad i de fleste pattedyr med unntak av kattedyr, og er viktig for blant annet hjertekarsystemet og nervesystemet, og inngår i kolesterolomsetningen.




*Figur 2 Totale aminosyrer (g per 100 g fettfritt tørrstoff) i presskake*




*Figur 3 Totale aminosyrer (g per 100 g fettfritt tørrstoff) i limvann*

### 5.1.2 Mineralinnhold

Det er stor variasjon i mineralinnholdet mellom presskake og limvann (Tabell 1), men gjennomgående høyere nivåer av natrium, kalsium, magnesium og sink i presskake fra HG sammenlignet med fra filet innad for hver type råstoff tatt på samme årstid. Dette kan delvis forklares med et høyere innhold av bein i restråstoff fra HG-produksjon. Innholdet av kalsium, magnesium, kobber, jern og jod er høyest i høstfisket hyse, mens innhold av jern er lavest i høstfanget torsk. En stor andel av vestlige lands befolkning har nivåene av disse elementene som ligger under anbefalingene, og dette øker risiko for tilstander som osteoporose, hjertekarsykdom, mental utviklingshemming og struma, og er nødvendig for et fungerende immunsystem. Opptaket av mineraler fra fiskebein, der eksempelvis kalsium hovedsakelig foreligger i form av hydroksyapatitt, er godt og gir en mindre akutt og mer gunstig økning

i kalsiumnivået i blodet sammenlignet med løselige kalsiumsalter som anvendes i kosttilskudd. Inntak av hydroksyapatitt stimulerer også dannelse av beinvev.

Natrium- og kaliuminnholdet ligger på hhv. 2,3-4,0 og 3,0-4,9 g/100 g FFTs i limvann og er betydelig høyere (5x) sammenlignet med presskake (Tabell 1). Kalsium følger som forventet primært presskake, mens det er funnet gjennomsnittlig 2,7x høyere nivå av fosfor i presskake sammenlignet med limvann. Jern, mangan og sink foreligger med høyest nivå i presskake, mens kobber og jod foreligge i høyeste nivå i limvann. Selen er mer jevnt fordelt basert på FFTs.

*Tabell 1 Mineralinnhold (mg per 100 g fettfritt tørrstoff) i presskake og limvann (gjennomsnittsverdier)*

| Prøve | Natrium (Na) | Kalium (K) | Kalsium (Ca) | Magnesium (Mg) | Fosfor (P) | Kobber (Cu) | Jern (Fe) | Jod (I) | Mangan (Mn) | Selen (Se) | Sink (Zn) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Presskake | 698 | 672 | 9314 | 318 | 4188 | 0,5 | 45 | 1,5 | 1,7 | 0,37 | 10,0 |
| Limvann | 3034 | 3780 | 99 | 120 | 1759 | 1,7 | 4,2 | 7,5 | 0,08 | 0,40 | 2,0 |
| Ratio Pk/Lv | 0,2 | 0,2 | 94,4 | 2,7 | 2,4 | 0,3 | 10,8 | 0,2 | 22,8 | 0,9 | 5,0 |

### 5.1.3 Fettløselige vitaminer

Tre fettløselige vitaminer ble kvantifisert; retinol (vitamin A), kolekalsiferol (vitamin D) og alfa-tokoferol (vitamin E), og innhold er beregnet på fettbasis (Tabell 2). Innmat, og da særlig lever, er rike kilder til fettløselige vitaminer. De fettløselige vitaminene er viktige for fosterutvikling, immunforsvaret, synet og beinbygningen, og vitamin E fungerer som en antioksidant. Leverinnholdet i råstoffet varierer fra ca. 4-5 % i hyse (HG og filet) og filet fra torsk, mens leverinnholdet ligger på 10-11 % i sei (HG og filet) og torsk-HG (Oterhals et al., 2023). Det er funnet stor variasjon mellom fiskeslag, HG/filet og årstid for alle de tre fettløselige vitaminene. Det er ikke funnet noen korrelasjon mellom de fettløselige vitaminene, og det er ingen sammenheng mellom leverinnhold i råstoffet og vitamin A, D og E i presskakene. Det er heller ikke noen gjennomgående forskjell i nivåene av fettløselige vitaminer mellom HG og filet.

*Tabell 2 Fettløselige vitaminer i presskake på lipidbasis (gjennomsnittsverdier)*

| | Retinol (vitamin A) (µg/100g) | Cholecalciferol (vitamin D) (µg/100g) | α- tocopherol (vitamin E) (mg/kg) |
|---|---|---|---|
| Gjennomsnitt | 843 | 98 | 69 |

### 5.1.4 Vannløselige vitaminer

Vannløselige vitaminer ble kun analysert i limvannet. Nivå i presskake er estimert basert på nivå vannløselig tørrstoff som kan antas å ha samme sammensetning som i limvannet (Tabell 3). Nivåene av vitamin B1, B2, B5, B7, B9 og B12 er gjennomgående høyere i limvann og presskake fra HG sammenlignet med filet produksjonen, sannsynligvis fordi slofraksjonen utgjør en større andel i HG-basert restråstoff. For niacin (vitamin B3), som ikke er proteinbundet, er forholdet omvendt i limvann og presskake. B-vitaminene er sentrale for energiomsetningen og dannelse av DNA, og inngår i sentrale prosesser som blant annet omsetning av aminosyrer. Basert på tilgjengelige data for torskefilet, så er nivåene av B-vitaminer i restråstoff gjennomgående høyere for vitamin B1, B2, B3 og B9, lavere for vitamin B12, og omtrent likt for vitamin B6 sammenlignet med filet.

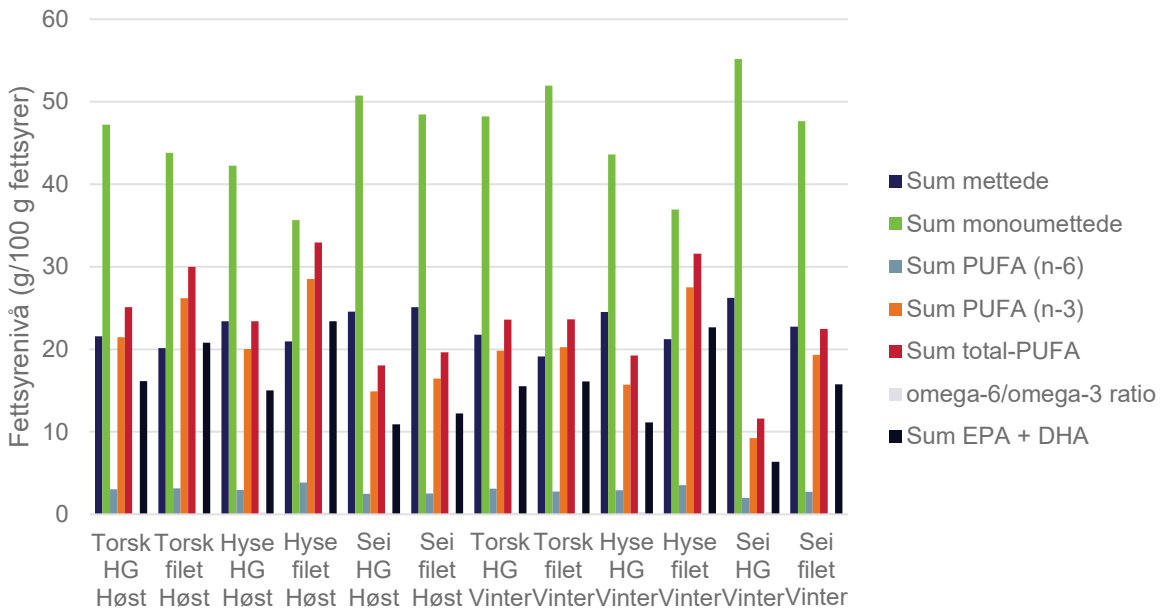
*Tabell 3 Nivå vannløselige vitaminer i presskake og limvann på fettfritt ts-basis (gjennomsnittsverdier)*

| | Tiamin (B1) (mg/kg) | Riboflavin (B2) (mg/kg) | Niacin (B3) (mg/kg) | Pantotensyre (B5) (mg/kg) | Pyridoksin (B6) (mg/100 g) | Biotin (B7) (µg/100 g) | Folat (B9) (mg/kg) | Kobalamin (B12) (µg/100g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Presskake | 3,0 | 2,6 | 3,5 | 9,4 | 0,1 | 3,2 | 0,7 | 8,2 |
| Limvann | 23,1 | 19,7 | 26,2 | 71,2 | 0,9 | 24,9 | 5,6 | 60,6 |

LOQ – kvantifiseringsnivå

### 5.1.5 Fettsyresammensetning

Summert på fettsyreklasse ser vi at mens mengden av n-6 PUFA er lavt og relativt stabilt (2,0-3,9 %), så er variasjonen stor for de andre klassene (Figur 4). Innholdet av mettede fettsyrer (hovedsakelig C16:0) varierer mellom 19 og 26 %, enumettede fettsyrer (hovedsakelig C18:1) ligger på 36-55 %, mens summen av EPA og DHA varierer mellom 6 og 23 %. Det laveste nivået av EPA+DHA finner vi i restråstoff fra HG-produsert sei fanget i mars, og det høyeste i filet-produsert hyse fanget i mars. Det er et systematisk høyere nivå av EPA+DHA i restråstoff fra filet-produksjon sammenlignet med HG for alle tre fiskeslagene og ved begge årstider. En medvirkende årsak kan være et høyere fettnivå i presskakemel fra HG-opparbeidet råstoff og dermed lavere bidrag fra fosfolipider.




Figur 4 *Fettsyrenivå i ekstraherte lipider fra presskake (g/100g fettsyrer)*

## 5.2 Lagringsstabilitet

### 5.2.1 Oksidasjonsstabilitet

Detaljerte resultater foreligger i Nofima-rapport 26-2023 - Uttesting av naturlige antioksidanter i hvitfiskmel (Oterhals og Haugen, 2023).

Hvitfiskmel inneholder typisk 9 % fett og erfaringsmessig har det vist seg vanskelig å hindre oksidasjon og forringelse av sensorisk kvalitet i denne type produkter. Ethoxyquin ble forbudt å bruke i fôr f.o.m. 2020, og det er de senere år blitt gjennomført en rekke studier for å finne frem til en god erstatter basert på naturlige og næringsmiddelgodkjente antioksidanter. Innen denne kategori antioksidanter finnes det

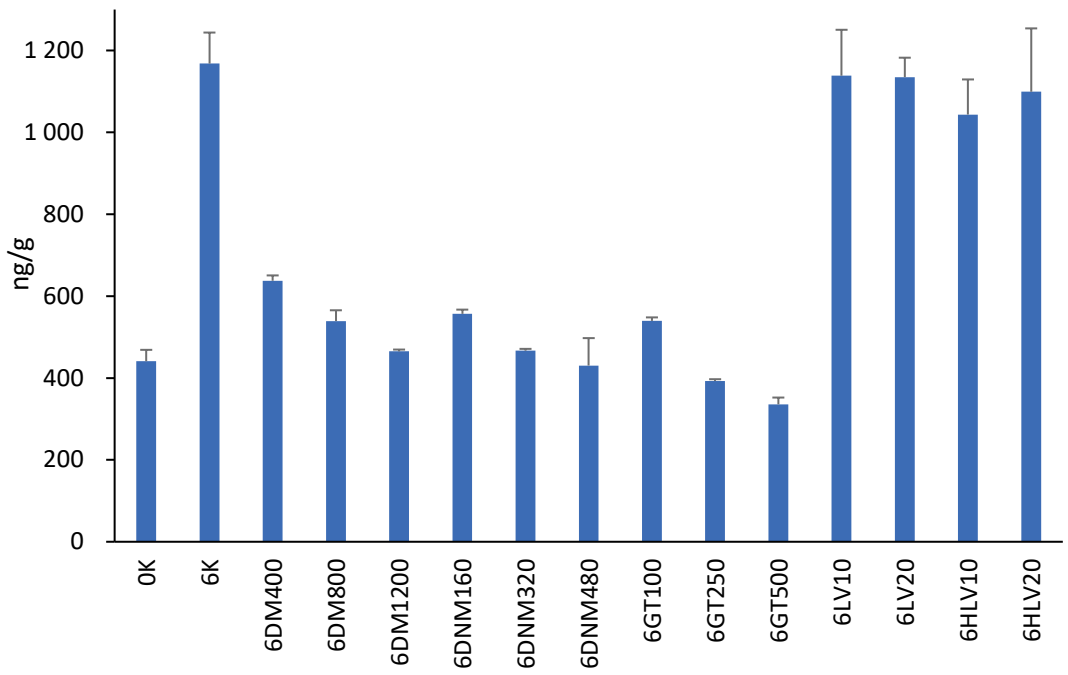
få alternativer og de fleste er basert på naturlige tokoferoler og/eller rosmarinekstrakt. Sitronsyre tilsettes i noen produkter for å kompleksbinde jern og kobber som kan virke som prooksidanter.

Det er i prosjektet gjennomført tester med forskjellige næringsmiddelgodkjente antioksidanter (Tabell 4). Limvann er i *in vitro* studier rapportert å inneholde peptider med antioksidativ effekt. Det er undersøkt om dette også kan påvises i et fiskemel ved tilsetting av limvann og hydrolysert limvann for å øke innholdet av korte peptider (Tabell 4). Effekt av antioksidanter er evaluert basert på akselererte betingelser (40 °C). Etter lagring i 6 uker er dannelse av oksidasjonsprodukter målt ved bruk av headspace GC/MS teknikk.

*Tabell 4 Antioksidanter og nivå (på ts-basis) tilsatt våt presskake/grakse før tørking*

| | Type antioksidant | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Produkt-navn** | **Naturlige tokoferoler** | **Rosmarin ekstrakt** | **Askorbin-syre** | **Sitron-syre** | **Peptider** | **Dosering (ts-basis)** | **Anbefalt dosering fra Leverandør** |
| Kalsec | x | x | x | x | | 400 ppm | 200-400 ppm til råstoffet |
| Duralox | x | x | x | x | | 800 ppm | |
| MANC-213 | x | x | x | x | | 1200 ppm | |
| | | | | | | | |
| Kalsec | x | x | | | | 160 ppm | 100-200 ppm i fiskemel |
| Duralox | x | x | | | | 320 ppm | |
| NM-45 HT | x | x | | | | 480 ppm | |
| | | | | | | | |
| Danisco | x | | | | | 100 ppm | 100-500 ppm i fiskeolje |
| Guardian | x | | | | | 250 ppm | |
| Toco 70 | x | | | | | 500 ppm | |
| | | | | | | | |
| Granit | | | | | x | 10 % | |
| Limvann | | | | | x | 20 % | |
| | | | | | | | |
| Hydrolysert | | | | | x | 10 % | |
| Limvann | | | | | x | 20 % | |

Analyse av flyktige komponenter over melprøver med og uten tilsatt antioksidant viste et stort antall forbindelser dominert av aminer, alkoholer, aldehyder, ketoner, hydrokarboner og furaner. Sekundære lipid oksidasjons-produkter forekom i høyest konsentrasjoner, der 1-penten-3-ol utgjorde 13 % av de flyktige komponentene i fiskemel uten antioksidant (som forventet den mest oksiderte prøven). Fiskemel tilsatt limvann eller hydrolysert limvann viste kun marginalt (10 %) lavere nivå oksidasjonsprodukter sammenlignet med fiskemel uten antioksidant (Figur 5). Dette tyder på at tilsetting av limvann og hydrolysert limvann har liten antioksidant effekt. Best antioksidant effekt ble funnet for fiskemel tilsatt 500 ppm av antioksidanten Guardian Toco 70 (Figur 5). Denne prøven hadde 60 % lavere nivå oksidasjonsprodukter sammenlignet med fiskemel uten antioksidant og kun marginalt forskjellig fra nullprøven (referanseprøven lagret på frys). Resultatene viser også at 1-penten-3-ol, et typisk sekundært lipid oksidasjonsprodukt fra omega-3 fettsyrer, vil være godt egnet til bruk som markør for lipidoksidasjon i hvitfiskmel.



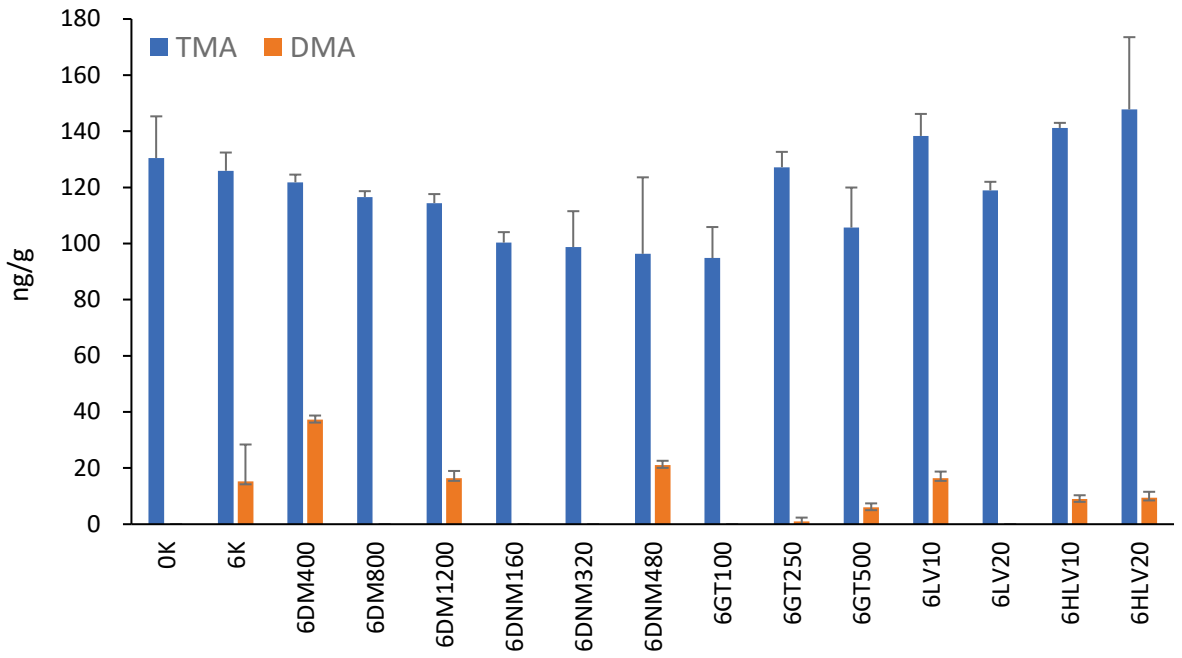

*Figur 5 Mengde 1-penten-3-ol i ikke lagret referanseprøve (OK) og prøver tilsatt antioksidant eller limvann/hydrolysert limvann etter 6 uker lagring ved 40 °C. DM-Kalsec Duralox MANC-213; DNM - Kalsec Duralox NM-45 HT; GT - Danisco Guardian Toco 70.*

### 5.2.2 Sensorisk kvalitet

Detaljerte resultater foreligger i Nofima-rapport 35-2023 - Utbyttetall og næringsstoffinnhold i hvitfiskmel og olje basert på restråstoff fra torsk, hyse og sei (Oterhals et al., 2023).

Hvitfiskmel har en intens lukt og smak av fisk. Nofima sitt smakspanel på Ås består av profesjonelle smaksdommere som er valgt ut basert på strenge krav til lukt- og smakssanser. Basert på innledende forsøk, ble det funnet at prøver av hvitfiskmel hadde en lukt og smaksintensitet som var for kraftig for evaluering av panelet. Planlagte sensoriske undersøkelser kunne ikke gjennomføres og det er i prosjektet kun undersøkt effekt av limvanntilsetting på nivå av flyktige forbindelser, spesielt trimetylamin (TMA) og dimetylamin (DMA) som begge er kjent for å være assosiert med en ubehagelig fiskelukt. De er karakterisert ved en stikkende ammoniakk-lignende lukt.

Det ble funnet betydelige mengder av trimetylamin som utgjorde rundt 3 % av de flyktige komponentene. Trimetylamin dannes enzymatisk fra trimetylaminoksid (TMAO) i saltvannsfisk. Nivåene av trimetylamin og dimetylamin er gjengitt i Figur 6. Høyest nivå ble funnet i prøvene tilsatt limvann og hydrolysert limvann og lavest nivå ble funnet i prøvene tilsatt 100 ppm Guardian Toco 70 og Duralox NM-45, HT. Det kan se ut som tilsetning av økende dose Duralox MANC-213 og limvann kan gi en liten nedgang i mengden TMA under lagring. Men mengden TMA vil fortsatt være såpass høy at den vil bidra til lukt og smak i fiskemelet.




*Figur 6 Mengde TMA og DMA i ikke lagret referanseprøve (0K) g 6 uker lagrede prøver*

Fargevariasjon i hvitfiskmel er visuelt vurdert basert på de 70 melprøvene som ble tatt ut for etablering av NIR-kalibrering. Farge vil avhenge av mange faktorer inklusivt råstofftype, fett- og vann-nivå i melet og formalingsgrad. Dette er faktorer som variere gjennom året og mellom båtene. I de innsamlede prøvene er det ikke funnet melprøver som skiller seg vesentlig ut fra den variasjon i brunfarge som er vist i Figur 7. Det er ikke foretatt noen systematisk kartlegging av farge mot de nevnte variablene, men det er grunn til å anta at høyt fettnivå gir en noe mørkere fargetone. Det er også kjent at finformaling gir et noe lysere pulver. For fôranvendelse er observerte fargevariasjon godt innenfor det som oppfattes som et normalområde, men det kan ikke utelukkes at det finnes kundegrupper innen næringsmiddelmarkedet som prefererer en lys bruntone.

*Figur 7 Eksempler på fargevariasjon i presskakemel basert på hvitfisk restråstoff*

### 5.2.3 Hygienisk kvalitet

Detaljerte resultater foreligger i Nofima-rapportene:

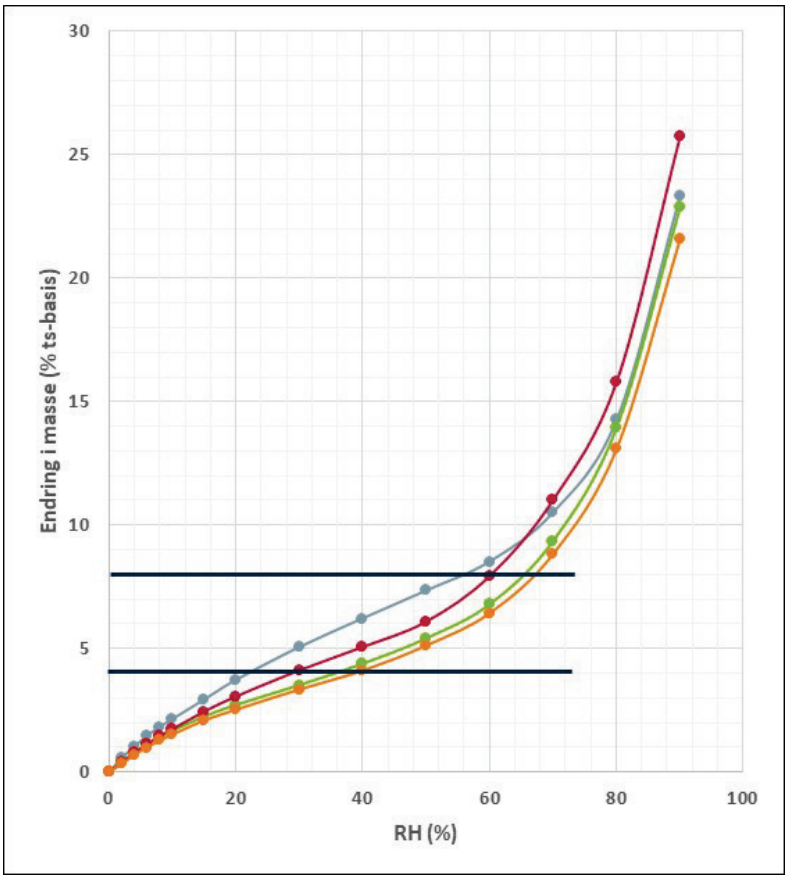
- Kartlegging av produksjonshygieniske forhold i melfabrikken på F/T Ramoen - Konfidensiell rapport K-65/2023 (Vander Roost, J., Oterhals, Å., 2023A).
- Kartlegging av produksjonshygieniske forhold i melfabrikken på F/T Havstrand - Konfidensiell rapport K-66/2023. (Vander Roost, J., Oterhals, Å., 2023B).
- Kartlegging av produksjonshygieniske forhold i melfabrikken på F/T Granit - Konfidensiell rapport K-93/2023. (Vander Roost, J., Oterhals, Å., 2023C).

Fiskemel inneholder mindre enn 10 % vann og er mikrobiologisk stabilt. Mikroorganismer overlever i fiskemel, men kan ikke formere seg. Over tid vil bakterieinnholdet i et tørt mel kunne avta, men evnen til overlevelse varierer. Tilførsel av fuktighet i form av vannlekkasjer, kondensering eller absorbsjon vil kunne føre til at betingelser for vekst er til stede i deler av et melparti. Dette vil føre til umiddelbar formering av bakterier og økt bakterietall i melet. Av særlig interesse for fabrikktrålere er begrenset kjøling av melet og pakking i sekker som deretter lagres i et kaldt lagerrom. Her vil det være mulighet for migrering av fuktighet i melet mot kalde overflater og kondensering. Absorbsjon av fukt i fiskemelprøver er kartlagt ved forskjellig temperatur og fuktbetingelser ved bruk av «dynamic vapour sorption» (DVS) (Figur 8).

Sekkene som normalt anvendes for fiskemel har en tett innerpose i plast som utgjør en diffusjonssperre for vann. Inne i sekken vil det derfor danne seg en fuktig atmosfære som står i likevekt med fuktnivå og temperatur på melet. Utsiden av sekken vil ha en temperatur tilsvarende romluften i lagerrommet og dersom fuktighet i luft på innsiden av sekken er høy nok, vil det kunne danne seg kondens. Slik kondens vil kunne skape lommer med fuktig mel som igjen gir vekstvilkår for bakterier og muggsopp i melet.

Basert på vannisotermene, temperatur-data under sekking, variasjon i fuktnivå i melprøver og temperatur i lagerrom, er det gjennomføres en risikoanalyse for dannelse av fuktige belegg på innsiden av en lukket melsekk i lagerrommet om bord i båten. Det er her satt opp noen senarioer som eksemplifiserer muligheten for dannelse av kondens på innsiden av sekkene (Tabell 5). De målte isotermer for fiskemel viser en del variasjon i det aktuelle måleområdet og det er derfor i analysen valgt å foreta beregning av duggpunkt basert på hhv. øverste og nederste isoterm (Figur 8). Det er i analysen tatt utgangspunkt i mel med hhv. 4 og 8 % vann på ts-basis (tilsvarende 3,8 og 7,4 % på prøvebasis) og en meltemperatur på 25 og 35 °C under sekking.

Analysen viser at det ved den laveste temperatur-fukt kombinasjonen (Tabell 5, case 1 og 2) vil være liten sannsynlighet for dannelse av fukt på innsiden av sekkene. Dersom melet sekkes ved høyere temperatur og fukt (case 4) er man innenfor de betingelser som kan gi risiko for kondensdannelse basert på de temperaturnivå som er registrert i lagerrom. For å minimalisere risiko for dannelse av kondens på innsiden av sekkene kan det enten anvendes sekker som ikke har en fuktsperre, dvs. fuktigheten kan diffundere ut av sekken, eller man kan kjøle melet ned til under 20 °C ved bruk av en melkjøler etter tørke og før dagsilo. Sistnevnte er vanlig praksis på landbaserte fiskemelfabrikker. Luft med temperatur på 20 °C og relativ fuktighet 65 % har et duggpunkt på 13,2 °C. Kjøles melet ned til 18 °C vil dette tilsvare et duggpunkt på 11,3 °C. Kombinert med noe lavere fukt i melet vil dette ytterligere redusere muligheten for dannelse av kondens på innsiden av sekkene.




*Figur 8 Vannisoterm i området 0-90 % relativ fuktighet (RH) for fiskemelprøver (presskakemel) ved 25 °C*

*Tabell 5 T-fukt senarioer for dannelse av kondens (duggpunkt) på innside av melsekker. Relativt fuktnivå (RH%) for luft i likevekt med mel inne sekken er beregnet basert på isotermer for hvitfiskmel (Figur 8).*

| Case # | T i mel (°C) | Vann i mel (%) | Isoterm Lav | Isoterm Høy |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 25 | 3,8 | | |
| | RH i luft (%): | | 21 | 34 |
| | Duggpunkt (°C): | | 1,1 | 8,0 |
| | | | | |
| 2 | 25 | 7,4 | | |
| | RH i luft (%): | | 56 | 65 |
| | Duggpunkt (°C): | | 15,6 | 18,0 |
| | | | | |
| 3 | 35 | 3,8 | | |
| | RH i luft (%): | | 21 | 34 |
| | Duggpunkt (°C): | | 9,4 | 16,8 |
| | | | | |
| 4 | 35 | 7,4 | | |
| | RH i luft (%): | | 56 | 65 |
| | Duggpunkt (°C): | | 24,9 | 27,4 |

For å undersøke muligheten for dannelse av kondens og fuktige belegg på innside av rør for pneumatisk transport av mel fra tørke til dagsilo, må det foretas målinger av temperatur og fuktnivå i luften. Røret er ikke isolert og plassert i samme rom som sekkeanlegget. Pneumatisk transport vil kjøle ned melet, men det vil aldri komme under temperaturen på den luft som anvendes, i dette tilfelle luft fra rom med damptørke. Variasjon i temperatur og fuktighet i den anvendte luften er ikke kjent og bør kartlegges. Luften vil ta opp fuktighet fra melet og kan i kontakt mot kalde flater komme under duggpunktet med dannelse av kondens og fuktige belegg. Et alternativt tiltak vil være å sette inn en melkjøler før mølle (standard på landbaserte anlegg) for å redusere temperatur i melet før transport til dagsilo. Dette vil også gi mulighet for bedre kontroll med temperatur- og fuktnivå i melet etter tørke.

## 5.3 Kartlegging av fremmedstoffer

Detaljerte resultater foreligger i Nofima-rapport 35-2023 - Utbyttetall og næringsstoffinnhold i hvitfiskmel og olje basert på restråstoff fra torsk, hyse og sei (Oterhals et al., 2023).

Havforskningsinstituttet har gjennom oppdrag fra Mattilsynet et pågående program for overvåkning av fremmedstoffer i fisk og fôrmidler av fisk (dvs. fiskemel, ensilasje og olje). Dette inkluderer dioksiner og furaner (PCDD/F), dioksinlignende PCB (DL-PCB), ikke-dioksinlignende PCB (NDL-PCB), polybromerte diphenyletere (PBDE), perfluorerte forbindelser (PFAS), klorerte pesticider, og metaller (kvikksølv, bly, kadmium og arsen). I dette prosjektet er det i et mindre utvalg av prøver undersøkt nivå av tungmetaller og organiske miljøgifter (PCDD/F, DL-PCB, NDL-PCB). Nivået på pesticider og PBDE forventes lave basert på tidligere kartlegging og ble ikke inkluderte. Nivå av PFAS i fiskemel og olje har også vist lave verdier. Det forventes at innholdet av POPs vil være omvendt proporsjonalt med fettnivået i fisken (Oterhals, 2011) og at dette fordeles jevnt mellom fraseparert råolje og restfett i melet. For å bekrefte denne hypotesen er det foretatt analyser i presskakemel og separerte olje fra samme råstoff. Nivåene er sammenholdt med gjeldende grenseverdier i Norge og EU.

### 5.3.1 Tungmetaller

Innhold av tungmetaller er generelt lavt med unntak av arsen som er kjent fra andre studier på sjømat å foreligge i høye nivå (Tabell 6). Det er i EU ikke etablert egne grenseverdier for arsen i muskelkjøtt fra fisk. Toksisitet for dette tungmetallet er i første rekke relatert til uorganisk arsen. I fisk og sjømat foreligger arsen primært i form av vannløselig arsenobetain som har en betydelig lavere toksisitet. På FFTs-basis er arseninnholdet nærmere 8x høyere i limvann (gjennomsnitt 87 mg/kg FFTs) sammenlignet med presskake (11 mg/kg FFTs) (Tabell 6).

*Tabell 6 Nivå tungmetaller (mg per kg fettfritt tørrstoff) i presskake og limvann (gjennomsnittsverdier)*

| Prøve | Arsen (As) | Cadmium (Cd) | Kvikksølv (Hg) | Bly (Pb) |
|---|---|---|---|---|
| Presskake | 11,0 | 0,17 | 0,09 | 0,32 |
| Limvann | 87,1 | 0,36 | 0,05 | --- |
| Ratio Pk/Lv | 0,13 | 0,48 | 1,94 | --- |

Cadmium viser gjennomsnittlig nivå i presskake på 0,17 og i limvann 0,36 mg/kg FFTs (Tabell 6). Nivåene er tilnærmet dobbelt så høye i limvann. Sammenlignet med grenseverdien for muskelkjøtt fra fisk korrigert for en konsentrasjonsfaktor på 5 (= 0,25 mg/kg mel), vil dette være hhv. noe under og over grenseverdien. Korrigeres nivåene for 9 % fett og 5 % vann, blir de gjennomsnittlige verdien 0,15 og 0,31 mg/kg mel. Et presskake- og helmel vil derfor ligge godt under den estimerte grenseverdien, mens et rent limvannbasert mel vil i noen tilfeller kunne komme over. For kosttilskudd og fiskemel til fôr er grenseverdien satt betydelig høyere og korrigert for fett og vann vil alle limvann komme under denne.

Kvikksølv viser omtrent dobbelt så høye gjennomsnittlige nivå i presskake (0,09) sammenlignet med limvann (0,05 mg/kg FFTs) (Tabell 6). Sammenlignet med grenseverdien for muskelkjøtt fra fisk korrigert for en konsentrasjonsfaktor på 5 (= 2,5 mg/kg mel), vil alle nivå være godt under den estimerte grenseverdien, inklusiv de som er angitt for kosttilskudd og fiskemel til fôr.

Bly viser et gjennomsnittlig nivå i presskake på 0,32 mg/kg FFTs (Tabell 6). Sammenlignet med grenseverdien for muskelkjøtt fra fisk korrigert for en konsentrasjonsfaktor på 5 (= 1,5 mg/kg mel), vil dette være godt under grenseverdien. For limvann er alle nivå med ett unntak under kvantifiseringsgrensen. Det er funnet høyest nivå av bly i høstfanget hyse, men også disse ligger godt under den estimerte grenseverdien, inklusivt maksimum nivå i kosttilskudd og fiskemel til fôr.

### 5.3.2 Persistente organiske miljøgifter (POPs)

Relatert til fôrforskriften viser analyser av organiske miljøgifter nivåer godt under alle gjeldende grenseverdier (Tabell 7). For bruk i næringsmidler er det industriell praksis å rense torskeleverolje med bruk av aktivt kull adsorpsjon. Nivå funnet i denne studien for torsk og sei viser nivå under gjeldende grenseverdier med unntak av PCDD/F+DL-PCB i torskeolje, mens olje fra hyse inneholder nivå godt over for både PCDD/F og PCDD/F+DL-PCB.

Sammenlignes nivåene på lipidbasis i presskakemel fra torsk og sei med ren olje separert fra det samme restråstoffet, viser analysene litt høyere nivå i separert olje, spesielt med hensyn på bidraget fra DL-PCB (Tabell 7). Dette er også påvist i andre studier og viser at nivå analysert i olje kan anvendes til å estimere nivået i fiskemel basert på et gitt fettnivå i melet. Med utgangspunkt i 8,3 % fett og 12 % vann (i h.h.t. fôrforskriftene), gir dette nivå i melet godt under fôrforskriftene. Det finnes ikke tilsvarende forskrifter for fiskemel i næringsmiddellovgivningen, men en tilnærming kan baseres på nivå i muskel-kjøtt på våtvektbasis. Nivåene på våtvektbasis er her høyere enn tillatte nivå for fiskemel i fôrforskriften, dvs. uansett konsentrasjonsfaktor vil dette ikke gi regulatoriske problemer med næringsmiddel-anvendelse.

*Tabell 7 Grenseverdier for persistente organiske miljøgifter (POPs) i fiskemel og olje og nivå i presskakemel (Pk-mel med 8,3 % fett og 12 % vann) og olje*

| | | PCDD /PCDF (pg TEQ/g) | PCDD/PCDF +DL-PCB (pg TEQ/g) | NDL-PCB (ng/g) |
|---|---|---|---|---|
| Grenseverdi | Fôr [1] | 1,25 | 4,0 | 30 |
| - fiskemel | Muskelkjøtt (våtvekt) [2] | 3,5 | 6,5 | 75 |
| Grenseverdi | Fôr [1] | 5,0 | 20,0 | 175 |
| - olje | Næringsmidler [2] | 1,75 | 6,0 [3] | 200 |
| | | | | |
| Høst | Sei filet Pk-mel | 0,98 | 3,89 | 29,9 |
| (oktober) | Sei filet olje | 1,16 | 5,05 | 34,7 |
| | | | | |
| Vinter | Torsk filet Pk-mel | 1,16 | 4,81 | 38,7 |
| (mars) | Torsk filet olje | 1,23 | 6,18 | 39,4 |
| | Hyse filet Pk-mel | 3,71 | 15,20 | 81,9 |

1) FOR-2002-11-07-1290
2) FOR-2015-07-03-870
3) Norsk grenseverdi 4,0 (FOR-2015-07-03-870).
PCDD – Polychlorinated dibenzodioxin; PCDF - Polychlorinated dibenzofuran; DL-PCB - Dioxin-like polychlorinated biphenyl; NDL-PCB - Non-dioxin-like polychlorinated biphenyl (sum PCB6: PCB-28, 52, 101, 138, 153 and 180); TEQ – toksiske ekvivalenter.

## 5.4 Produksjonsrutiner for stabil og høy hygienisk kvalitet

Detaljert informasjon foreligger in Nofima rapport 2/2021 - Mikrobiologi og produksjonshygiene i fiskemelindustrien (Nygaard og Vander Roost, 2021).

Nofimas BioLab (akkrediterte laboratorium) har lang erfaring med mikrobiologiske analyser i fisk og fiskemel. Gjennom tidligere samarbeid med industrien om prosessutvikling, smitteveioppklaring, o.l. har vi også god kjennskap til hvordan de ulike leddene i fiskemelprosessen påvirker produkthygiene (Nygaard, 2010). Basert på denne erfaringen, er det i prosjektet utarbeidet et kurshefte innen prosesshygiene/kontroll tilpasset behov for videreutdanning av operatører i fiskemelindustrien (Nygaard og Vander Roost, 2021). Rapporten gir en grunnleggende innføring i mikroorganismenes systematiske inndeling, reproduksjon og forhold til miljøfaktorer som temperatur, fuktighet og næringstilgang. De mest aktuelle patogene bakterier som kan forekomme i fiskemel er beskrevet med data om toleranser og krav.

Levende og nyfanget fisk inneholder bakterier på bl.a. gjeller, hud og i tarm. Floraen består av kulde- og salttolerante bakterier. Under lagring av restråstoff går bakteriene inn i en vekstperiode som er avhengig av bl.a. temperatur. Veksten medfører nedbrytning av næringsstoffer og dannelse av bl.a. flyktige N- og S-forbindelser som påvirker kjemisk og sensorisk kvalitet. Disse bakteriene drepes imidlertid i koker og påvirker ikke fiskemelets hygieniske kvalitet. Forekomst av mikroorganismer i fiskemel skyldes rekontaminering i produksjonslinjen etter koker. Fiskemel har derfor en helt annen bakterieflora enn fisken og kan inneholde patogene tarmbakterier fra varmblodige dyr (Salmonella og *Escherichia coli*) og varmeresistente sporedannende patogener som *Clostridium perfringens* og *Bacillus cereus*.

Rapporten (Nygaard og Vander Roost, 2021) oppsummerer mikrobiologiske krav til fiskemel, herunder regelbundne krav som er basis for godkjenning av ferdigvarepartier, retningslinjer og kundekrav. Rapporten beskriver prøvetaking og analyseprinsipper som benyttes ifm. mikrobiologiske undersøkelser, samt smittemåte og aktuelle forebyggende tiltak. Virksomhetenes forskriftsmessige plikter ifm. mikrobiologi og produktsikkerhet er oppsummert og det er beskrevet metoder for dekontaminering av varer som ikke kan omsettes pga. hygienesvikt.

I prosjektet er det også foretatt kartlegging av produksjonshygieniske forhold i fabrikkene om bord i hvitfisktrålerne Granit, Ramoen og Havfisk. Dette omfatter fysiske målinger (temperatur og fuktighet) i ulike prosessledd og mikrobiologiske analyser i mel etter tørke og ved sekking. Spesifikke funn er rapportert direkte til det respektive rederi og ikke inkludert i denne rapporten.

En damptørke kan fungere som en effektiv barriere for dreping av bakterier, også de mest varmeresistente, sporedannende bakterier. Ved bruk av vakuumtørke, som gir mindre varmebelastning på melet, vil det være behov for å bygge inn andre og/eller supplerende barrierer for å sikre hygienisk kvalitet på melet. Av nyere teknologier ble muligheter for bruk av ultralyd vurdert i prosjektet. Teknologien anvendes i matindustrien for inaktivering av patogene vegetative bakterier og bakteriesporer, sistnevnte i kombinasjon med mild temperatur eller trykk. Drepemekanisme for ultralyd-teknologi bygger på det anerkjente "kavitasjonsfenomenet", ved siden av frigjøring av hydroksylradikaler (·OH). For eksempel er teknologien blitt brukt på kjøttprodukter, grønnsaker og frukt, kornprodukter, honning, matgeler, proteiner og enzymer for mikrobiell inaktivering før frysing, tørking eller ekstraksjon. Basert på tilgjengelig informasjon er det imidlertid konkludert med at denne teknologien ikke kan tilpasses en standard fiskemellinje.

## 5.5 Alternativer for fremstilling av hvitfiskmel med høyt og stabilt proteinnivå

Detaljerte resultater foreligger i Nofima-rapport 35-2023 - Utbyttetall og næringsstoffinnhold i hvitfiskmel og olje basert på restråstoff fra torsk, hyse og sei (Oterhals et al., 2023). Resultater fra sikting av bein er kun gitt i sluttrapporten.

Hvitfiskmel ligger lavt i protein (58-69 %) sammenlignet med helmel basert på pelagisk råstoff (69-73 %) og er derfor mindre preferert inn mot fôr til laks. Fiskemel prises i fôrmarkedet primært basert på proteinnivå. Tidligere ble det gitt en premium for mel tørket ved lav temperatur (LT-mel), men prisdifferensiering mot damptørket mel har de senere år vært marginal. Viktigere er det at melet holder krav til bakteriologi og biogene aminer. Manglende innblanding av limvannfraksjonen og høyt askenivå (bein) trekker også ned. Et presskakemel er også kjent fra tidligere å ha et lavere næringsinnhold og dårligere funksjonelle egenskaper sammenlignet med et helmel. Noe effekt på økt proteinnivå vil også kunne oppnås ved å tørke til et lavere vann-nivå, men dette kan også øke risikoen for varmeskader på melet. Generelt vil 1 % lavere vann-nivå i melet gi 0,6 % høyere proteinnivå.

For å kartlegge effekt på proteinnivå av alternativt råstoff (art, sesong), HG- vs. filet-produksjon og prosess (presskakemel vs. helmel) er det gjennomført produksjonsforsøk i labskala (samme prøver som for kartlegging av næringsstoffer og fremmedstoffer). Basert på massebalanser er det beregnet en fordeling av fettfritt tørrstoff (FFTs), protein, vannløselig protein og aske mellom presskake og limvann i fiskemelprosessen. Limvannfraksjonen tas ikke vare på grunnet manglende inndamper om bord i fabrikktrålerne, men utgjør i gjennomsnitt 22 % av FFTs, 26 % av proteinet, 68 % av vannløselig protein og 18 % av asken i restråstoffet (Tabell 8).

*Tabell 8 Fordeling (%) av totalt tørrstoff (TTs), fettfritt tørrstoff (FFTs), protein, vannløselig protein (Vlp) og aske på mellomproduktene presskake (Pk), limvann (Lv) og olje*

| | | TTs | | | FFTs | | Protein | | Vlp | | Aske | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Pk | Lv | Olje | Pk | Lv | Pk | Lv | Pk | Lv | Pk | Lv |
| Høst | Torsk HG | 62 | 25 | 14 | 72 | 28 | 67 | 33 | 26 | 74 | 81 | 19 |
| (oktober) | Torsk filet | 65 | 26 | 9 | 73 | 27 | 68 | 32 | 27 | 73 | 82 | 18 |
| | Hyse HG | 70 | 22 | 7 | 75 | 25 | 63 | 37 | 23 | 77 | 82 | 18 |
| | Hyse filet | 68 | 27 | 5 | 72 | 28 | 65 | 35 | 21 | 79 | 82 | 18 |
| | Sei HG | 55 | 14 | 32 | 78 | 22 | 74 | 26 | 29 | 71 | 80 | 20 |
| | Sei filet | 56 | 14 | 30 | 77 | 23 | 75 | 25 | 30 | 70 | 78 | 22 |
| Vinter | Torsk HG | 72 | 16 | 12 | 82 | 18 | 81 | 19 | 37 | 63 | 84 | 16 |
| (mars) | Torsk filet | 69 | 13 | 18 | 85 | 15 | 85 | 15 | 50 | 50 | 85 | 15 |
| | Hyse HG | 78 | 16 | 6 | 81 | 19 | 78 | 22 | 31 | 69 | 84 | 16 |
| | Hyse filet | 79 | 15 | 5 | 83 | 17 | 82 | 18 | 40 | 60 | 83 | 17 |
| | Sei HG | 77 | 16 | 8 | 78 | 22 | 74 | 26 | 40 | 60 | 84 | 16 |
| | Sei filet | 77 | 21 | 2 | 77 | 23 | 74 | 26 | 31 | 69 | 79 | 21 |
| Gjennomsnitt | | 69 | 19 | 12 | 78 | 22 | 74 | 26 | 32 | 68 | 82 | 18 |

Inkludering av limvannet vil gi 25 % økt melutbytte (Tabell 8) og bidra til økt nivå av protein, jod, kalium og vannløselige vitaminer og aminosyrer i melet (Tabell 1, 3, 8 og Figur 2 og 3). Proteinnivå på fettfritt ts-basis viser et systematisk lavere nivå i HG- sammenlignet med filet-basert restråstoff (Tabell 9). Gjennomsnittlig er det registrert 73,5 % protein på fettfritt ts-basis i presskake og 85,4 % i limvann. Inkludering av limvann vil gjennomsnittlig øke proteinnivået med 3,6 %-enheter, med størst effekt på HG-basert restråstoff. Inkludering av limvann vil gi et hvitfiskmel med høyere ernæringsverdi både inn

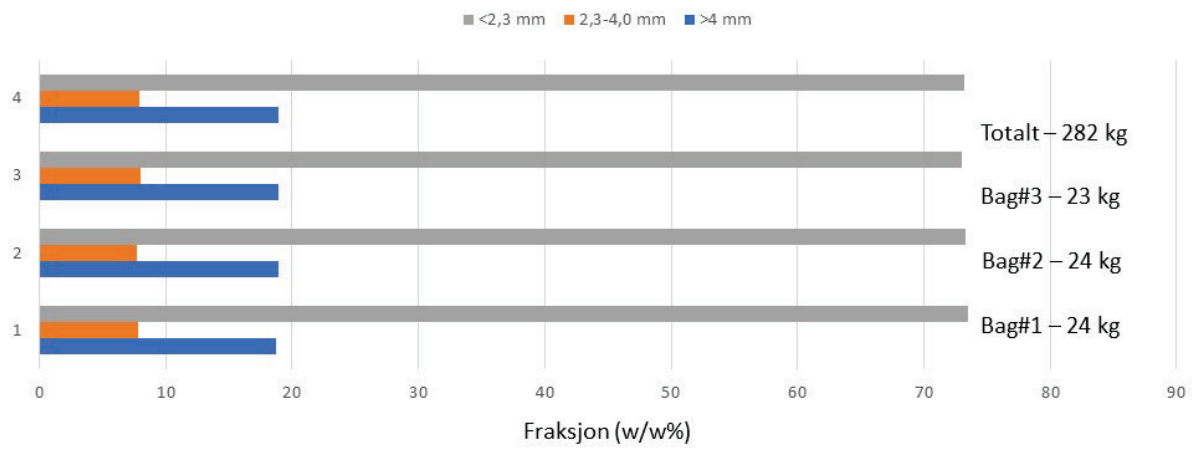
mot næringsmiddel og fôrmarkedet. Innen fôrmarkedet vil et slikt mel også oppnå en merpris grunnet bedre ernæringsmessig sammensetning og ekstrudertekniske egenskaper.

*Tabell 9 Protein på fettfritt ts-basis (FFTs; %) i råstoff, presskake og limvann. Estimert nivå i helmel basert på andel protein i limvannet (Tabell 6), og effekt på protein-nivå i et helmel sammenlignet med presskakemel (Pk-mel).*

| | | Protein/FFTs-basis (%) | | | Estimert | Effekt på |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Råstoff | Presskake | Limvann | helmel | proteinnivå[1] |
| Høst | Torsk HG | 80,0 | 73,5 | 87,6 | 78,1 | 4,6 |
| (oktober) | Torsk filet | 85,3 | 75,5 | 87,8 | 79,4 | 3,9 |
| | Hyse HG | 67,0 | 54,9 | 85,9 | 66,3 | 11,5 |
| | Hyse filet | 72,9 | 67,1 | 87,1 | 74,1 | 7,0 |
| | Sei HG | 82,2 | 75,2 | 86,0 | 78,0 | 2,8 |
| | Sei filet | 85,7 | 79,1 | 85,8 | 80,8 | 1,7 |
| Vinter | Torsk HG | 82,5 | 78,2 | 83,3 | 79,2 | 1,0 |
| (mars) | Torsk filet | 80,3 | 81,9 | 81,5 | 81,8 | -0,1 |
| | Hyse HG | 74,4 | 70,9 | 83,3 | 73,7 | 2,7 |
| | Hyse filet | 82,1 | 79,1 | 83,4 | 79,9 | 0,8 |
| | Sei HG | 78,7 | 67,8 | 86,5 | 72,7 | 4,8 |
| | Sei filet | 78,8 | 78,3 | 86,9 | 80,6 | 2,2 |
| Gjennomsnitt | | 79,2 | 73,5 | 85,4 | 77,1 | 3,6 |

1) Differanse mellom proteinnivå i et helmel sammenlignet med et presskakemel

Et alternativt tiltak for økt proteinnivå er å sikte fra deler av beinfraksjonen etter tørke, men før mølle. Rene bein fra torsk og sei inneholder 34-37 % protein på tørrstoff-basis (Toppe et al., 2007) og vil etter frasikting gi et økt proteinnivå i det resterende melet. Dette vil gi et nytt produkt (beinmel) med et lavere proteinnivå, men som oppnår høyere pris på proteinbasis inn mot markeder som smågris og økologisk fôr. 282 kg mel før mølle ble tatt ut på FT Granit og siktet i pilotskala ved Nofima i Bergen. Etter sikting ble det oppnådd et utbytte av melfraksjon <2,3 mm på 73 % og <4mm på 81% (Figur 9 og Tabell 10), og en økning i proteinnivået fra 64,0 til hhv. 73,3 og 70,1% (Tabell 10). Fraksjonen mellom 2,3 og 4,0 mm utgjorde 7,9 % og hadde et proteinnivå på 40,4 %. Fraksjon >4,0 mm utgjorde 18,9 % og hadde et proteinnivå på 37,8 %. Sikting av tre mindre batcher ga omtrent tilsvarende resultat (Figur 9).




*Figur 9 Fordeling av mel (vekt%) etter sikting mellom fraksjonene <2,3 mm, 2,3-4,0 mm og >4 mm*

*Tabell 10 Nivå protein, aske og vann i presskakemel før og etter sikting*

| Lysåpning Sikt | Protein (%) | Aske (%) | Vann (%) | Utbytte (%) |
|---|---|---|---|---|
| >4 mm | 37,8 | 52,3 | 4,6 | 19 |
| 2,3-4,0 mm | 40,4 | 48,1 | 4,6 | 8 |
| <4,0 mm | 70,1 | 16,6 | 5,1 | 81 |
| <2,3 mm | 73,3 | 13,2 | 5,2 | 73 |
| Presskakemel | 64,0 | 23,3 | 5,0 | 100 |

Etablering av NIR-analyse om bord i trålerne vil muliggjøre analyse av proteinnivå i melpartier og sortering basert på proteinnivå. Prøver innhentet for etablering av kalibreringskurver (jfr. under) viste en variasjon i proteinnivå på 62-69 % i mel basert på filetproduksjon og 58-64 % for HG. Kombinert med god kontroll på vann% i melet, indikerer dette en mulighet for å sortere ut melpartier med høyt proteinnivå.

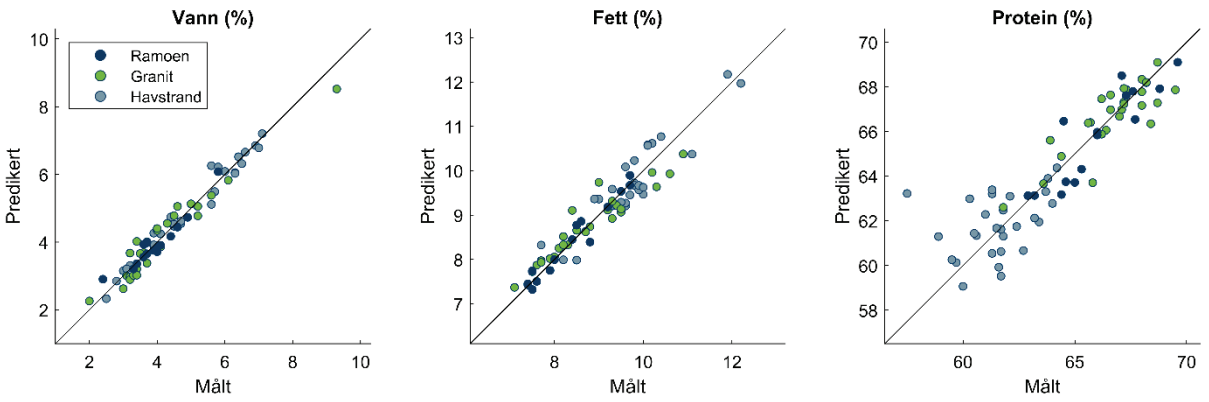
Separat prosessering av slofraksjonen vil også kunne være en mulighet for å øke proteinnivået i melet. Hode og rygg inneholder lite fett med unntak av for rødfisk, og vil gi et mel med lavere fettnivå. Slofraksjonen vil inneholde all fri olje og vil kreve at det etableres en separat prosesslinje for å separere fiskeoljen. Resultater fra et nylig avsluttet prosjekt støttet av Norges Forskningsråd, «Unlocking novel product possibilities and barriers for commercial utilization of whitefish residual raw materials onboard factory trawlers» (WHITEFISH), har imidlertid vist at proteinnivået i restråstoff basert på kun hode og rygg ikke gir grunnlag for økt proteinnivå i melet. Resultater fra disse studiene vil bli publisert i 2024.

## 5.6 NIR-analyse for måling av protein, fett og vann

Detaljerte resultater foreligger i Nofima-rapport 21/2023 - Kvantifisering av vann, protein og fett i hvitfiskmel basert på nær-infrarød spektroskopi (NIR) (Wold et al., 2023).

I løpet av en tur på 4 uker vil det kunne være stor variasjon i sammensetning på restråstoffet fra dag til dag avhengig av sammensetning på fangstene. Dette vil kunne gi uønsket stor variasjon i protein, vann og fett-nivået i melet. For å fange opp denne variasjonen vil det være nødvendig å etablere en teknikk for måling av protein-, vann- og fett-nivå i melet. NIR-måling er en etablert teknikk for overvåkning av industrielle prosesser og har vært anvendt innen landbasert fiskemelindustri i mange år for on-line overvåking av vann-nivå i mel etter tørke. Teknikken kan også anvendes til å måle protein og fett. Dette vil gi et godt bilde av gjennomsnittlig proteinnivå i et gitt parti på dagsilo før sekking og muliggjøre en grovsortering av produsert mel om bord i båten. Etter lossing kan det eventuelt foretas en ytterligere homogenisering av større melparti før salg. Det er i prosjektet etablert en kalibrering for protein, fett og vann basert på NIR-analyse av utvalgte melprøver (totalt 70) innhentet fra samarbeidspartnerne. Prøvene er tatt ut før sekking om bord i båtene og representerer et gjennomsnitt av produksjonen siste timer.

Resultatene viser at det er mulig å bestemme innholdet av vann, fett og protein med nøyaktigheter på hhv. ±0,27, ±0,34 og ±1,05 %-poeng med et NIR laboratorieinstrument. Et håndholdt NIR instrument var noe mindre nøyaktig, men kan likevel være hensiktsmessig i praktisk bruk. Resultatene indikerer også at NIR er robust med tanke på variasjoner i råstoff til melet. Eksempler på kryssvaliderte kalibreringskurver er gitt i Figur 10. Med tanke på den kjemiske variasjonen man har i fiskemel, ser det ut til at nøyaktigheten som oppnås med NIR er god nok til kvalitetsdokumentasjon og eventuell styring og optimering av produksjonsprosessen.




*Figur 10 Prediktert vs. målt vann, fett og protein basert på NIR-målinger med FOSS XDS. Kryssvalidert*

Det finnes en rekke ulike NIR-instrumenter på markedet: Systemer som kan brukes på laboratorier, instrumenter som kan måle direkte på produktstrømmen (in-line) og håndholdte varianter. Det er sannsynlig at man kan finne et instrument som vil dekke behovene i en fabrikktråler. En fordel med in-line måling av vanninnhold er at det kan brukes til å styre tørkeprosessen. Dette anvendes på landbaserte fabrikker. In-line måling av fettinnholdet kan brukes som indikator på at råstoffbehandling og koker-presse kjøres optimalt, og kan anvendes til å forbedre fettseparasjon i prosessen. Indirekte vil dette også gi bedre kontroll på proteininnholdet i melet.

Dersom et NIR-instrument skal komme til nytte om bord i en fabrikktråler, bør det fortrinnsvis kunne anvendes til å følge prosessen direkte (in-line), dvs. baseres på prøver tatt fra produktstrøm etter tørke og før dagsilo. Primært vil dette muliggjøre en bedre styring av tørken og vannprosent i melet. Prøver analysert i denne rapporten viser at vanninnholdet varier betydelig over tid (2-9 %) og det kan forventes enda høyere variasjon rett etter tørke. Vanninnholdet ligger delvis lavt og under det som anvendes som et normalområde for fiskemel (6-10 % vann). For lavt vanninnhold vil øke risikoen for varmeskade på proteinet med redusert proteinkvalitet. Dette er kjent og dokumentert for fiskemel fremstilt basert på pelagisk råstoff ved landbaserte anlegg, men oss bekjent ikke dokumentert for hvitfiskmel tatt ut fra kommersielle anlegg om bord i fabrikktrålere. For et mel med 65 % protein vil én prosent reduksjon av vann øke proteininnholdet med 0,66 %. Proteininnhold inngår i prising av fiskemel, og god prosesskontroll vil kunne gi et positivt bidrag til inntjeningen. Tilsvarende kan også sies om fettinnholdet i melet, men her vil økt oljeutbytte komme i tillegg. Proteininnholdet i melet er direkte avhengig av råstoffsammensetning, mens fettinnholdet også påvirkes av råstoffbehandling i tillegg til koker- og pressetrinnet. In-line måling av fettinnhold i melet vil kunne gi nye muligheter for å optimalisere fettseparasjonen i prosessen.

To prinsipper for transport av mel mellom tørke og dagsilo er i bruk i industrien; pneumatisk transport og skruetransportør. For å få en homogen prøve bør et in-line NIR-instrument plasseres etter mølle. Basert på våre erfaringer med aktuelle prosessanlegg, vil det være mulig å hente ut en sidestrøm av mel fra syklon rett før innløp på dagsilo. Det finnes kommersielt tilgjengelige systemer for dette der melet passerer en skanner som kontinuerlig overvåker NIR-spekteret til produktstrømmen og automatisk overfører disse data til datamaskin for beregning av kjemisk sammensetning. Eksempler på et slikt oppsett er vist i Figur 11.

*Figur 11 Figur 11 In-line NIR måling av potetchips på transportbånd (a) og av mel fra mølle i et rør (b)*

## 5.7 Forslag til standard dokumentasjon på hvitfiskmel rettet mot definerte markedssegmenter

Tabell 11 viser forslag til generelle produktspesifikasjon for hvitfiskmel for anvendelse i næringsmidler og fôr. For bruk innen fiskefôr vil det være preferert å inkludere limvannfraksjonen for å øke nivå vannløselige forbindelser. Det kan forventes at spesifikke kundegrupper har egne krav som må oppfylles. Innen fiskefôr vil oppnådd pris være direkte koblet mot proteinnivå, men det finnes ikke noen spesifikk nedre grense. Farge og lukt er kun relevant for markeder innen næringsmidler og pet food.

*Tabell 11 Forslag til generelle kravspesifikasjoner for hvitfiskmel med anvendelse innen næringsmidler og fôr*

| | Næringsmidler | Fôr |
|---|---|---|
| Farge | Lys brun til brun | --- |
| Lukt | Karakteristisk fisk | --- |
| Protein | 66 ± 5 % | 66 ± 5 % |
| Vannløselig protein (% av totalt protein) | --- | 10 ± 2 %[2] |
| Aske | 23 ± 4 % | 23 ± 4 % |
| Salt | 1,7 ± 1 % | Maks. 3 % |
| Fett | 7 ± 2 % | Maks. 11,5 % |
| Histamin | --- | <500 ppm |
| Cadaverin | --- | <1000 ppm |
| Kimtall (KDE/g) | <50 000 | <500 000 |
| Enterobacteriacea (KDE/g) | <10 | <300[1] |
| Escherichia coli (KDE/g) | Negativ i 1 g | ---- |
| Salmonella (KDE/g) | Negativ i 25 g | Negativ i 25 g |
| Mugg og gjær (KDE/g) | <500 | --- |
| Sulfittreduserende clostridier (KDE/g) | <100 | <100[3] |
| *Clostridium perfringens* (KDE/g) | <10 | --- |
| *Bacillus cereus* | <100 | --- |
| *Listeria monocytogenes* (KDE/g) | Negativ i 25 g | --- |

1) Det analyseres 5 prøver der maksimalt 2 kan overstige 10/g og ingen kan overstige 300/g.
2) Ved tilsetting av limvann vil nivå øke til typisk 18-32 %.
3) Grenseverdi for anvendelse i husdyrfôr; ikke tilsvarende krav for fiskefôr.

# 6 Hovedfunn

- Kartleggingen av protein, aminosyrer, fettsyrer, vitaminer og mineraler i presskake og limvann har dokumenter høy næringsverdi i begge mellomprodukter. Tilsetting av limvann til presskakemel (dvs. produksjon av helmel) vil bidra til økt nivå av protein, jod, kalium og vannløselige vitaminer og aminosyrer (inklusiv taurin) i melet. Inkludering av limvann vil gi et hvitfiskmel med høyere ernæringsverdi både inn mot næringsmiddel og fôrmarkedet. Innen fôrmarkedet vil et slikt mel også oppnå en merpris grunnet bedre ernæringsmessig sammensetning og ekstrudertekniske egenskaper.
- Proteinnivå på fettfritt ts-basis viser en systematisk lavere nivå i HG- sammenlignet med filet-basert restråstoff. Basert på eksperimentelle prøver, er det gjennomsnittlig registrert 73,5 % protein på fettfritt ts-basis i presskake og 85,4 % i limvann. Inkludering av limvann vil gjennomsnittlig øke proteinnivået med 3,6 %-enheter, med størst effekt på HG-basert restråstoff. Fjerning av store bein før mølle ved bruk av sikt med lysåpning 4 mm kan øke proteinnivået i melet fra 64 til 73 % med et utbytte på 81%.
- Limvannfraksjonen utgjør i gjennomsnitt 22 % av fettfritt tørrstoff, 26 % av proteinet, 68 % av vannløselig protein og 18 % av asken i restråstoffet. Inkludering av limvannet vil gi 25 % økt melutbytte sammenlignet med produksjon av presskakemel.
- Restråstoff fra hvitfisk inneholder lave nivå av tungmetaller og organiske miljøgifter og resulterer i mel med nivå godt innenfor gjeldende grenseverdier. Et unntak er innhold av dioksiner og dioksinlignende PCB i fiskeolje som i enkelte partier kan forventes å ligge noe over og kreve bruk av renseteknologi basert på aktivt kull adsorpsjon.
- Tilsetting av 350 ppm naturlige tokoferoler gir god beskyttelse mot oksidasjon i presskakemel. Etter 6 ukers lagring ved 40 °C hadde mel tilsatt denne antioksidanten 60 % lavere nivå oksidasjonsprodukter sammenlignet med fiskemel uten antioksidant og kun marginalt forskjellig fra nullprøven (referanseprøven lagret på frys). Tilsetting av limvann eller hydrolysert limvann ga ingen antioksidativ effekt.
- Mikrobiologiske undersøkelser indikerer at smittmekanismer i fabrikk på båt er de samme som på ordinære landbaserte fiskemelfabrikker. Varmeresistente sporedannende bakterier stammer fra produksjonslinjen foran tørke og kan gjenfinnes i ferdig mel dersom varmebehandlingen i tørke er utilstrekkelig. Andre bakterier stammer fra produksjonslinjen etter tørke, der tilførsel av fuktighet fra kondensering e.l. er direkte årsak til bakterievekst.
- Risikoanalyse for dannelse av kondens på innside av sekker for lagring av hvitfiskmel om bord i trålerne har avdekket at dette kan skje ved en kombinasjon av dårlig kjøling av melet før sekking og høyt vanninnhold i melet. Det anbefales å etablere system for kontinuerlig overvåkning av vanninnhold i mel etter tørke og vurdere muligheter for bedre kjøling av melet før sekking.
- Innhold av vann, fett og protein i hvitfiskmel kan bestemmes med nøyaktigheter på hhv. ±0,27, ±0,34 og ±1,05 %-enheter basert på NIR-analysel. Dette muliggjør etablering av in-line måling om bord i trålerne for overvåkning av prosess og produktkvalitet.

# 7 Leveranser

## 7.1 Overordnede leveranser

- 4 referansegruppemøter med dokumentasjon og referater
- 8 fagrapporter:
    - Hauge, J.-E., Oterhals, Å. (2023). Uttesting av naturlige antioksidanter i hvitfiskmel. Nofima rapport 26/2023
    - Nygaard, H., Vander Roost, J. (2021). Mikrobiologi og produksjonshygiene i fiskemel-industrien. Nofima rapport 2/2021.
    - Oterhals, Å., Steinsholm, S., Gudbrandsen, O. (2023). Utbyttetall og nærings-stoffinnhold i hvitfiskmel og olje basert på restråstoff fra torsk, hyse og sei. Nofima rapport 35/2023.
    - Oterhals, Å. Vander Roost, J., Wold, J.P., Haugen, j.-E., Gudbrandsen, O. (2024). Økt verdiskapning og standardisering av hvitfiskmel basert på restråstoff om bord i norske fabrikktrålere – Faglig sluttrapport. Nofima rapport 3/2024.
    - Vander Roost, J., Oterhals, Å. (2023A). Kartlegging av produksjonshygieniske forhold i melfabrikken på F/T Ramoen Konfidensiell rapport K-65/2023.
    - Vander Roost, J., Oterhals, Å. (2023B). Kartlegging av produksjonshygieniske forhold i melfabrikken på F/T Havstrand. Konfidensiell rapport K-66/2023.
    - Vander Roost, J., Oterhals, Å. (2023C). Kartlegging av produksjonshygieniske forhold i melfabrikken på F/T Granit. Konfidensiell rapport K-93/2023.
    - Wold, J.P., Dankel, K., Oterhals, Å. (2023). Kvantifisering av vann, protein og fett i hvitfiskmel basert på nær-infrarød spektroskopi (NIR). Nofima rapport 21/2023.
- Ppt-presentasjon til bruk for næringen og andre interessenter
- Populærformidling
    - Faktaark
    - Oterhals, Å. (2021). Utnyttelse av restråstoff om bord i fabrikktrålere. Digitalt seminar, «Veien mot full ressursutnyttelse i sjømatnæringen», i regi av Norges Forskningsråd i samarbeid med FHF og NCE Aquaculture, 26. mai 2021.
- Statusrapporter til FHF
- Faglig sluttrapport iht. FHFs retningslinjer
- Administrativ sluttrapport iht. FHFs retningslinjer
- Vitenskapelig presentasjon av resultater på konferanser:
    - Oterhals, Å. (2023). Fish By-Product Utilization in Norway - Challenges and Future Possibilities. 1st Bremerhaven Conference on Blue Economy and Fish Processing, 15-16th March 2023, Bremerhaven, Germany.

## 7.2 Industrirettede leveranser

- Kartlegging av næringsstoffer i hvitfiskmel inklusiv effekt av å inkludere limvannfraksjonen
- Uttesting av alternative antioksidanter og dokumentasjon på oksidasjonsstabilitet
- Effekt av prosess og antioksidanter på luktkvalitet
- Fargevariasjon i melprøver og vurdering av grunnlag for klassifisering mot ulike markeder
- Evaluering av risiko for adsorpsjon av fukt under lagring av fiskemel
- Kartlegging av fremmedstoffer
- Kontroll av hygienisk kvalitet basert på risikoanalyser og kritiske kontrollpunkter (HACCP)
- Kurshefte innen prosesshygiene/kontroll tilpasset behov for videreutdanning av operatører
- Alternative prosesser for fremstilling av mel med høyt og stabilt proteinnivå
- Bruk av NIR-analyse for om bord selektering av mel basert på protein-nivå og overvåkning av vann og fettnivå
- Forslag til standard og dokumentasjon på hvitfiskmel rettet mot definerte markedssegmenter

# 8 Referanser

EUMOFA 2023. Fishmeal and fish oil – Production and trade flows in EU. European Commission, Luxemburg: https://effop.org/wp-content/uploads/2023/10/EUMOFA-Report-2023.pdf

Hauge, J.-E., Oterhals, Å. (2023). Uttesting av naturlige antioksidanter i hvitfiskmel. Nofima rapport 26/2023

Myhre, M, Richardsen, R., Nystøyl, R., Strandheim, G. (2022). Analyse marint restråstoff 2021. Tilgjengelighet og anvendelse av marint restråstoff i fra norsk fiskeri- og havbruksnæring. SINTEF-rapport 2022:00501.

Nygaard, H., Vander Roost, J. (2021). Mikrobiologi og produksjonshygiene i fiskemelindustrien. Nofima rapport 2/2021.

Nygaard, H. (2010). Standard norsk fiskemel- og fiskeoljeprosess. Krav til varmebehandling. Nofima Rapport 35/2010.

Oterhals, Å., Steinsholm, S., Gudbrandsen, O. (2023). Utbyttetall og nærings-stoffinnhold i hvitfiskmel og olje basert på restråstoff fra torsk, hyse og sei. Nofima rapport 35/2023.

Oterhals, Å. (2011). Decontamination of persistent organic pollutants in fishmeal and fish oil - Process optimization and modeling. PhD-thesis, https://bora.uib.no/handle/1956/5129.

Toppe, J., Albrektsen, S., Hope, B., Aksnes, A. (2007). Chemical composition, mineral content and amino acid and lipid profiles in bones from various fish species. Comparative Biochemistry and Physiology, Part B 146:395–401

Vander Roost, J., Oterhals, Å. (2023A). Kartlegging av produksjonshygieniske forhold i melfabrikken på F/T Ramoen Konfidensiell rapport K-65/2023.

Vander Roost, J., Oterhals, Å. (2023B). Kartlegging av produksjonshygieniske forhold i melfabrikken på F/T Havstrand. Konfidensiell rapport K-66/2023.

Vander Roost, J., Oterhals, Å. (2023C). Kartlegging av produksjonshygieniske forhold i melfabrikken på F/T Granit. Konfidensiell rapport K-93/2023.

Wold, J.P., Dankel, K., Oterhals, Å. (2023). Kvantifisering av vann, protein og fett i hvitfiskmel basert på nær-infrarød spektroskopi (NIR). Nofima rapport 21/2023.