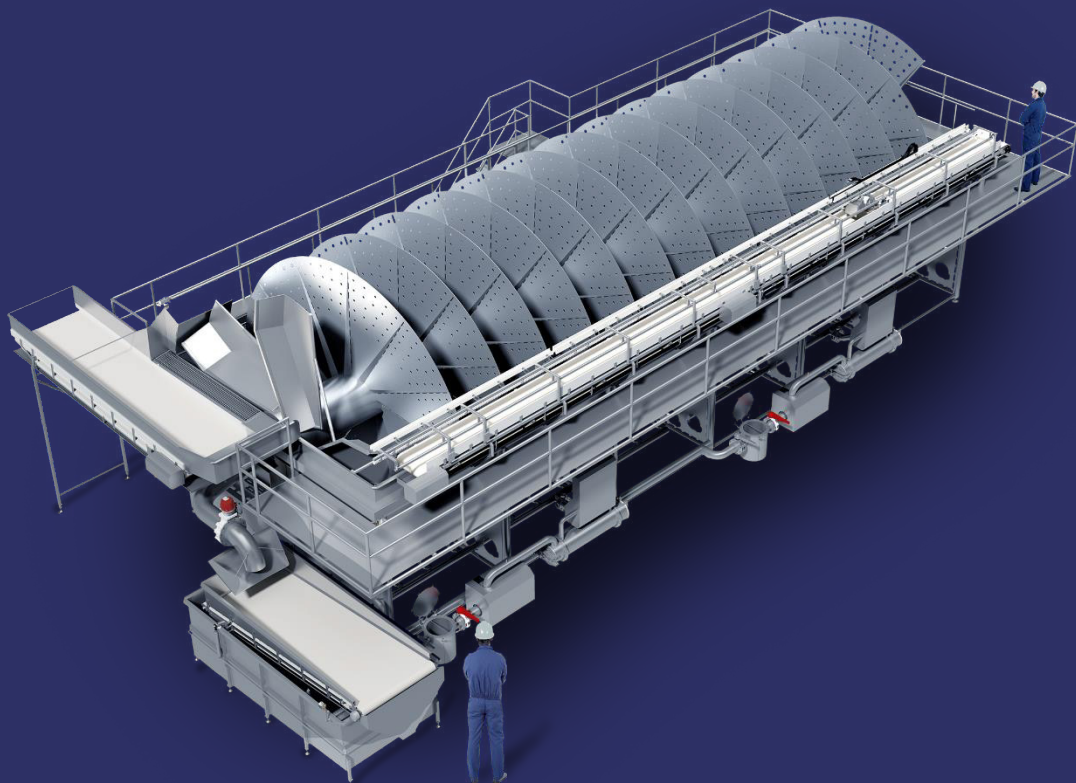


Rapport 30/2022 • Utgitt desember 2022

Industriell løsning for tining og nedkjøling av makrell til filetering

Faglig sluttrapport



Illustrasjon: Baader

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> 30/2022	<i>ISBN:</i> 978-82-8296-732-7	<i>ISSN:</i> 1890-579X
----------------------------------	-----------------------------------	---------------------------

<i>Dato:</i> 14. desember 2022	<i>Antall sider + sider vedlegg:</i> 25 + 1	<i>Prosjektnummer:</i> 13441
-----------------------------------	--	---------------------------------

Tittel:
Industriell løsning for tining og nedkjøling av makrell til filetering

Title:
Industrial solution for thawing and chilling of mackerel for filleting

Forfatter(e):
Kai Einar Jensen Bystrøm¹, Viktor Mevold², Torstein Skåra³ og Bjørn Tore Rotabakk³
¹Baader Norge [tidligere Skaginn 3x], ²Vikomar, ³Nofima

Avdeling:
Skaginn 3x, Vikomar og Nofima v/Prosessteknologi

Oppdragsgiver:
Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF)

Eksternt prosjektnummer/Oppdragsgivers ref.:
FHF 901665

Stikkord:
Fryst makrell, tining, kjøling

Sammendrag/anbefalinger:
Se kapittel 1

English summary/recommendation:
See Chapter 1.1

Forord

Skaginn 3X AS er prosjekteier og – ansvarlig. Vikomar og Nofima er samarbeidspartnere. Nofima har egen rapportserie og denne rapporten er for alle gode formål publisert gjennom deres systemer.

Prosjektet omhandler undersøkelser knyttet til tining og kjøling av fryst makrell, samt kjøling av fersk makrell for filetering hos Vikomar. Prosjektet var finansiert av FHF, samt med egenfinans fra Skaginn 3X (nå Baader) og Vikomar, og ble utført i perioden januar 2021 - desember 2022.

Innhold

1	Sammendrag	1
1.1	Summary	1
2	Innledning	2
2.1	Valgt teknologi	2
2.2	Prosjektets omfang	3
2.3	Prosjektorganisering	3
3	Problemstilling og formål	4
4	Prosjektgjennomføring	6
4.1	Bakgrunn og tilnærming	6
4.2	Metoder	7
4.2.1	Logging av temperatur i fisk	7
4.2.2	Temperaturmåling (stikkprøver)	7
4.2.3	Prøver av filet	8
4.2.4	Bedømming av filet	8
4.2.5	Utseende	8
4.2.6	Væskeslipp	8
4.3	Gjennomføring	9
4.3.1	Fase 1: Produksjon/Installasjon	9
4.3.2	Fase 3: Testing av Temperaturheving/Utjevning	9
4.3.3	Fase 2: Testing av Nedkjøling	9
5	Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon	10
5.1	Produksjon/Installasjon (Fase 1)	10
5.1.1	Design	10
5.1.2	Innstilling av produktflyt og logging av prosessparametere	12
5.1.3	Datafangst	13
5.2	Testing av Temperaturheving/Utjevning (Fase 3)	14
5.2.1	Vurdering av filet	19
5.2.2	Væskeslipp	19
5.3	Testing av nedkjøling (Fase 2)	20
5.3.1	Vurdering av filet	21
5.3.2	Væskeslipp	21
5.4	Mulige tekniske oppfølgingspunkter	22
6	Hovedfunn	23
7	Leveranser	24
8	Referanser	25
Vedlegg i		
Vedlegg 1: Gaping score frossen makrellfilet		i

1 Sammendrag

For å utvikle og justere tining og kjøleteknologi tilpasset produksjon av makrellfilet, for eksport til markeder i Asia, har Skaginn 3X gjennomført et FHF-finansiert Prosjekt i Bedrift, i nært samarbeid med den pelagiske foredlingsbedriften Vikomar, og med støtte fra Nofima.

Utvikling av teknologi, prosess og kunnskap om filetering av makrell i Norge har hatt høy prioritet i norske foredlingsbedrifter i en årrekke. Flere prosjekter har blitt gjennomført på dette området, men det gjenstår fortsatt å forbedre deler av prosessen som kan bidra til reduserte produksjonskostnader og/eller økt kvalitet på det ferdige produktet. Hovedmålsetningen er at norsk-produsert makrellfilet skal bli konkurransedyktig i forhold til tilsvarende produksjon i lavkostland.

Det var en stor fordel å kunne bygge på teknologi og utstyr som er i bruk kommersielt til tilsvarende delprosesser, om enn for andre fiskeslag enn makrell. Med utgangspunkt i Skaginn 3x (Baader's) Rotex tanker, med vann/saltlake som tining/kjølemedium, og god kontroll på hastigheten til mediet, samt produktflyt og oppholdstid, var mye på plass ved oppstarten av prosjektet. Ved å kombinere løsninger for tining og kjøling, blir resultatet et rasjonelt anlegg som fungerer industrielt både til fersk og fryst makrell.

Forsøkene ble gjennomført i tilnærmet full skala. Dette gir mest mulig realistiske betingelser og lar seg dessuten kombinere med regulær produksjon, som er avgjørende når råstoffmengden som inngår i et fullt anlegg er anslagsvis 10-20 tonn. Vikomar's eget utviklingsarbeid, med kontinuerlige justeringer og tilpasninger, har medført at anlegget kom i bruk til kommersiell filetproduksjon, like etter at alle tekniske mangler og innkjøringsproblemer var løst.

1.1 Summary

In order to develop and adjust thawing and cooling technology adapted to the production of mackerel fillets, for export to markets in Asia, Skaginn 3X has carried out an FHF-funded Project in Business, in close collaboration with the pelagic processing company Vikomar, and with support from Nofima.

Development of technology, process and knowledge about filleting mackerel in Norway has had a high priority in Norwegian processing companies for a number of years. Several projects have been carried out in this area, but still it remains to improve parts of the process that can contribute to reduced production costs and/or increased quality of the finished product. The main objective is for Norwegian-produced mackerel fillets to become competitive in relation to similar production in low-cost countries.

It was a great advantage to be able to build on technology and equipment that is in commercial use for similar sub-processes, albeit for fish species other than mackerel. Based on Skaginn 3x (Baader's) Rotex tanks, with water/brine as thawing/cooling medium, and good control over the speed of the medium, as well as product flow and residence time, much was in place at the start of the project. By combining solutions for thawing and cooling, the result is a rational plant that works industrially for both fresh and frozen mackerel.

The experiments were carried out at almost full scale. This provides the most realistic conditions possible and can also be combined with regular production, which is crucial when the amount of raw material included in a full plant is estimated to be 10-20 tons. Vikomar's own development work, with continuous adjustments and adaptations, has resulted in the facility being used for commercial fillet production, soon after all technical deficiencies and run-in problems had been resolved.

2 Innledning

Utvikling av teknologi, prosess og kunnskap om filetering av makrell i Norge har hatt høy prioritet i norske bedrifter i en årrekke, og flere prosjekter har blitt gjennomført på dette området (Karlsdottir et al., 2018; Sone et al., 2017; Washausen & Lind Olsen, 2018). Men det gjenstår fortsatt å forbedre deler av prosessen, som kan bidra til reduserte produksjonskostnader og/eller økt kvalitet på det ferdige produktet. Hovedmålsettingen er at norsk-produsert makrellfilet skal bli konkurransedyktig i forhold til tilsvarende produksjon i lavkostland.

Den norske fangstsesongen for makrell er kort, og produksjon av filet må derfor baseres på både ferskt og fryst råstoff. For ferskt råstoff må temperaturen senkes noe i forhold til temperaturen ved landing. For fryst råstoff må temperaturen heves til riktig nivå, som for en type filetmaskiner som er konstruert for makrell, ligger på cirka $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Her er det lite slingringsmonn.

Produksjon av IQF-frosset makrellfilet stiller altså store krav til at råstoffet holder riktig temperatur ved filetering. Og temperaturen må være jevn gjennom hele fisken. Dette har man vært kjent med lenge, og i en rapport fra FHF-prosjektet «Pelagisk løft: Pilotlinje for filetering av makrell», blir det pekt på at temperatur og oppholdstid i både blokkdelingsfasen og utjevningsfasen er viktige (Nordtvedt & Widell, 2018).

En optimalisering av temperaturforløpet i tinemediet og i fisken, samt styring av dette, blir derfor en sentral del av dette prosjektet. Balansen mellom de to trinnene av tine-prosessen; bryting av blokk og tining av enkelt-fisk og kombinasjonen med utjevning/superkjøling er selvsagt viktig for både energiforbruk og for kvalitet.

En faktor som ikke var detaljert beskrevet i søknaden var forekomsten av «bananfisk». En betydelig andel (66 %) av styrtpakket makrell innfrys i kartong, blir i noen grad bøyd i prosessen (Vik, 2018) (og blir betegnet som «bananfisk»). Når bananfisk bare delvis tines, beholder den formen. Dette skaper problemer under innføringen i filetmaskinen, og kan medføre et betydelig redusert filetutbytte.

2.1 Valgt teknologi

Tining er en kompleks og energikrevende prosess, og det er mange parametere som påvirker tinehastigheten. Blant de viktigste er tinemedium (f.eks. vann eller luft), temperaturforskjellen mellom produkt og tinemedium, hastighet på tinemediet, overflate/geometri, vanninnhold og teknologi. De fleste fiskeslag har også den utfordringen at høye temperaturer (over kjøletemperatur) kan medføre uønsket kvalitetsreduksjon, som setter begrensninger på temperaturen på tinemediet.

Spesifikk smeltevarme er et uttrykk for hvor mye energi som kreves for å smelte en gitt mengde av et produkt. For makrell, som kan ha fettinnhold som varierer mellom 5 og 30 %, og dermed tilsvarende svingninger i vanninnholdet, kan dette gi betydelige utslag. For eksempel kreves det cirka 200 kJ for å tine 1 kg makrell med 25 % fett (fra $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $-2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Haugland, 2002). Hvis det skal skje i løpet av en time [3600 s], trenger vi en energitilførsel på $200\ 000\ \text{J}/3600\ \text{s} = 56\ \text{W}/\text{kg}$. Eller 56 kW/tonn. For makrell med 5 % fett, er den spesifikke smeltevarmen ca 270 kJ, og energibehovet tilsvarende høyt.

Det var en stor fordel å kunne bygge på teknologi og utstyr som er i bruk kommersielt, til tilsvarende delprosesser, om enn for andre fiskeslag enn makrell. Men vann som tine/kjølemedium, og god kontroll på hastigheten til mediet, samt produktflyt og oppholdstid, var mye på plass ved oppstarten av prosjektet.

For ferskt råstoff forelå kommersielle løsninger for superkjøling, som blant annet brukes på torsk og laks, som kunne brukes på makrell. For fryst råstoff kan det være utfordrende å ha full kontroll på temperaturutviklingen helt fram til filetering, samtidig som krav til effektivitet og skånsom håndtering opprettholdes. Men ved å kombinere løsninger for tining og kjøling, blir resultatet et rasjonelt anlegg som fungerer industrielt både til fersk og fryst makrell.

2.2 Prosjektets omfang

Den totale kostnadsrammen i prosjekt 901665 - Industriell løsning for tining og nedkjøling av makrell til filetering er på kr 6 760 000,- fordelt som følger:

Tilskudd fra FHF AS	kr 3 566 000
Egeninnsats Vikomar AS	kr 2 017 000
Egeninnsats Skaginn 3X AS / Baader Norge AS	kr 1 177 000

2.3 Prosjektorganisering

Prosjektgruppen hadde følgende organisering:

- Kai Einar Jensen Bystrøm – Skaginn 3X AS/Baader Norge AS
- Torstein Skåra – Nofima
- Viktor Mevold – Vikomar AS
- Frank Kongshaug – Vikomar AS

Styringsgruppen hadde følgende organisering:

- Magni Veturlidason – Skaginn 3X AS/Baader Norge AS
- Kristofer Reiten – Vikomar AS
- Kai Einar Jensen Bystrøm – Skaginn 3X AS/Baader Norge AS
- Torstein Skåra – Nofima
- Viktor Mevold – Vikomar AS
- Lars R. Lovund – Fagsjef Industri/Pelagisk FHF

3 Problemstilling og formål

På kort sikt er nytteverdien åpenbar for foredlingsbedriften Vikomar: En skreddersydd tine- og kjøleløsning, som gir fisk med optimal temperatur for filetering i spesialtilpassede makrellfileteringsmaskiner. Nytteverdien vil også være betydelig for utstyrsprodusenten Baader (Skaginn 3x), som vil kunne tilby en ferdig utviklet og gjennomprøvd løsning for tining og kjøling av makrell til filetering. På litt lengre sikt vil resultatene fra prosjektet bidra til at alle bedriftene som driver med eller planlegger filetering av makrell, vil ha tilgang til gode og rasjonelle løsninger for tining og kjøling.

Økt filetering av makrell bidrar til økt bearbeidingsgrad og økt lønnsomhet for industrien. En annen betydelig oppside er økt tilgang på restråstoff. Restråstoff fra makrellfiletering inneholder mye fett med en stor andel umettede fettsyrer, og det er et svært ettertraktet råstoff. Og gode systemer for håndtering og utnyttelse av restråstoff sikre optimal ressursutnyttelse. Dessuten blir transportvolum, kostnader – og dermed karbonavtrykket betydelig redusert, ved at mengden vare som transporteres blir bortimot halvert.

Temperaturen på fisken inn i filetmaskinen er avgjørende for filetkvaliteten. Produsenten av maskinen for filetering av makrell har angitt et spesifikt temperaturområde, og desto mindre temperaturen varierer fra denne – i hver fisk, desto jevnere blir filetkvaliteten.

Det viktigste elementet i forhold til produksjonskapasiteten, er knyttet til mulighetene for å filetere fryst/tint makrell. Dette utvider produksjonssesongen til hele året, og man kan i teorien filetere så mye som råstofftilgang og fileteringskapasitet tillater. Temperaturhevingen på råstoffet til $-2,7\text{ °C}$, i forkant av filetering kan gjennomføres på en rekke ulike måter. Men målsettingen var at blokkene skulle splittes og at gjennomsnittstemperaturen i fisken skulle heves i skrutank 1 og utjevnes til $-2,7\text{ °C}$ i hele fisken i skrutank 2.

Spesielt i skrutank 1 inngår det flere parametere som er avgjørende for prosessen. For å minimere variasjonen i gjennomsnittstemperatur mellom hver fisk, er det avgjørende at blokkene brytes opp så tidlig så mulig. Desto lengre blokkene forblir intakte, desto mer varmeeeksposering vil de fiskene som ligger ytterst i blokkene få. I tillegg til uønsket temperaturvariasjon mellom individer, kan dette medføre at fisk blir helt tint og må fryses igjen før filetering, noe som tar mye tid og energi. En slik «dobbeltfrysing» kan også være ugunstig for kvaliteten. Normalt vil dobbeltfrysing medføre økt væsketap, og redusert kvalitet på det ferdige produkt.

Skaginn 3x sine tanker (RoteX) har styring av vannsirkulasjon og lufthastighet i hvert segment i tank 1 som kan brukes til å tilpasse betingelsene, spesielt i tank1, for å bryte blokkene. Og i påfølgende segmenter vil betingelsene være fokusert på å oppnå en temperaturheving.

Prosjektet hadde også som målsetting å avstemme de to delene av prosessen som foregår i hver tank, mot hverandre. For tiningen innebar dette å først undersøke temperaturhevingen i tank 1, og finne de betingelsene som mest effektivt kan bryte blokkene og gi en gjennomsnittstemperatur på $-2,7\text{ °C}$, med minst mulig variasjon mellom individer. Og så undersøke hvilke parametere som skulle brukes i tank 2 for å oppnå $-2,7\text{ °C}$ gjennom hele fisken.

Tradisjonell tining av fiskeblokker innebærer normalt mye manuell håndtering og tunge løft. I Skaginn 3x-løsningen blir en pall fiskeblokker satt på et saksebord før blokkene blir av-emballert og puffet rett ned i RoteX tinetank. Dette eliminerer tunge løft og reduserer risiko for belastningsskader, klemskader og slagskader.

Hovedmål

Hovedmålet med prosjektet er å få automatiserte prosesser for kjøling av ferskt råstoff, og temperaturheving på fryste blokker til ønsket temperatur (f.eks. $-2,7\text{ °C}$).

Delmål:

- Kjøling av ferskt råstoff til ned mot $-2,7\text{ °C}$ gjennom hele fisken
 - Kjøling fersk: Begge tankene brukes til kjøling ved hjelp av SUB CHILLING™ teknologi fra Skaginn 3X (Vil medføre redusert tid fra lossing til oppstart av filetering)
- Temperaturheving (opptining) av fryste blokker med makrell, til ca $-2,7\text{ °C}$ gjennom hele fisken
 - Tank 1: Starte tineprosessen og splitte opp blokkene i enkeltfisk.
 - Tank 2: Utjevne temperatur til $-2,7\text{ °C}$ gjennom hele fisken
- Optimalisering av kjøle/tine-kapasitet i forhold til fileteringskapasitet.
- Utvikling av system for styring av flow for optimal fordeling i skrutankene.
- Forene løsningene for opptining og kjøling i ett styresystem som styrer og overvåker prosessene.

4 Prosjektgjennomføring

4.1 Bakgrunn og tilnærming

Forsøkene gjennomført i tilnærmet full skala, som gir mest mulig realistiske betingelser. Forsøkene lar seg dessuten kombinere med regulær produksjon, som er avgjørende når råstoffmengden som inngår i et fullt anlegg er anslagsvis 10–20 tonn. Med slike mengder er det utfordrende å gjøre vesentlige justeringer, og risikoen for å kunne påføre produktene redusert kvalitet må være minimal, ettersom man må unngå økonomisk tap og ha en garanti for at man får avsetning på produktene.

Det er også svært tidkrevende å endre innstilte temperaturer i så store volumer som det her er tale om. I forhold til justering av flow/kapasitet, må man også ta hensyn til produksjonen; produktene skal fryses og pakkes, og mange av Vikomars medarbeidere er engasjert i dette arbeidet.

Vikomar's eget utviklingsarbeid med kontinuerlige justeringer og tilpasninger, har medført at anlegget kom i bruk til kommersiell filetproduksjon, like etter at alle tekniske mangler og innkjøringsproblemer var løst. De kom for eksempel svært raskt i gang med en god løsning for fryst råstoff, og deres innstillinger ble brukt i forsøkene hvor Nofima var involvert.

Så, heller enn å fungere som forsøk for å undersøke de ulike parameterneffekt på temperaturforløp og kvalitet, var Nofima's rolle snarere å dokumentere prosessene som ble testet/brukt under forsøkene. Det er imidlertid vår hensikt og vårt håp at denne dokumentasjonen kan gi grunnlag for forbedringer av prosessene og dessuten til å konkludere i forhold til prosjektets målsettinger.

Forsøkene med tining ble gjennomført i Rotex tankene, og omfattet både temperaturhevings (tine-trinnet) og temperaturutjevningstrinnet for fryst råstoff. Som dokumentasjon av tineprosessen ble det foretatt temperaturlogginger på 5–10 individer, og loggingen fortsatte inn i utjevningsprosessen fram til filetering. Vi undersøkte spesielt effekten av fiskens plassering i blokken, og effekten av økt oppholdstid (tinetid) på temperaturutviklingen i fisken. I tillegg til de kontinuerlige loggingene, ble det også foretatt temperaturmålinger i kjerne og under skinn, etter tinetanken og på ulike tider i tine og utjevningsforløpet.

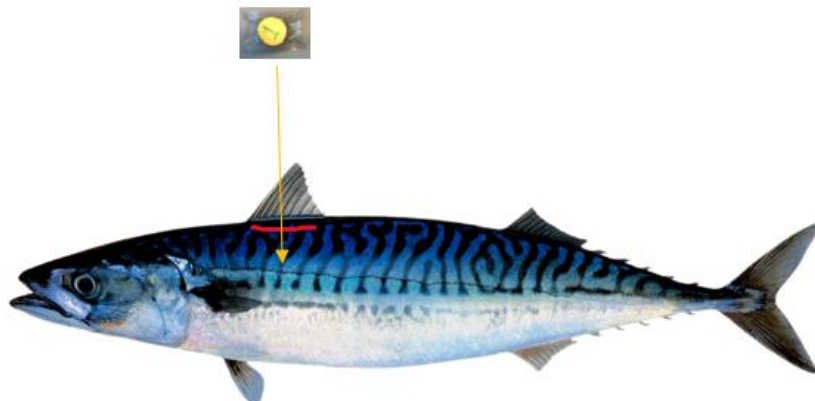
Som dokumentasjon av kjøleprosessen ble det foretatt temperaturlogginger på 10 individer, under nedkjølings- og utjevningsprosessen. Ulike problemer knyttet til råstofftilgang og temperaturstyringen i Rotex-tankene, begrenset dessverre mulighetene for innsamling av mer dokumentasjon fra disse forsøkene.

Filetkvaliteten ble bedømt ut fra vurdering av snittflate, og væsketap.

4.2 Metoder

4.2.1 Logging av temperatur i fisk

Temperaturloggere (Signatrol SL52T, Signatrol, Tewkesbury, UK) vakumpakket i krympeplast ble plassert langs ryggbeinet, i et kutt under ryggfinnene, som indikert i figur 1.



Figur 1 «Montering» av temperaturlogger i hel makrell

Utenpå hver fisk med logger ble det trukket et «stekenett» som ble lukket i begge ender. Dette for å forhindre at loggere «falt ut» av fisken under tineprosessen, og dessuten for å kunne identifisere fisk med logger ved slutten av tineprosessen, slik at loggerne kunne tas ut og avleses.

4.2.2 Temperaturmåling (stikkprøver)

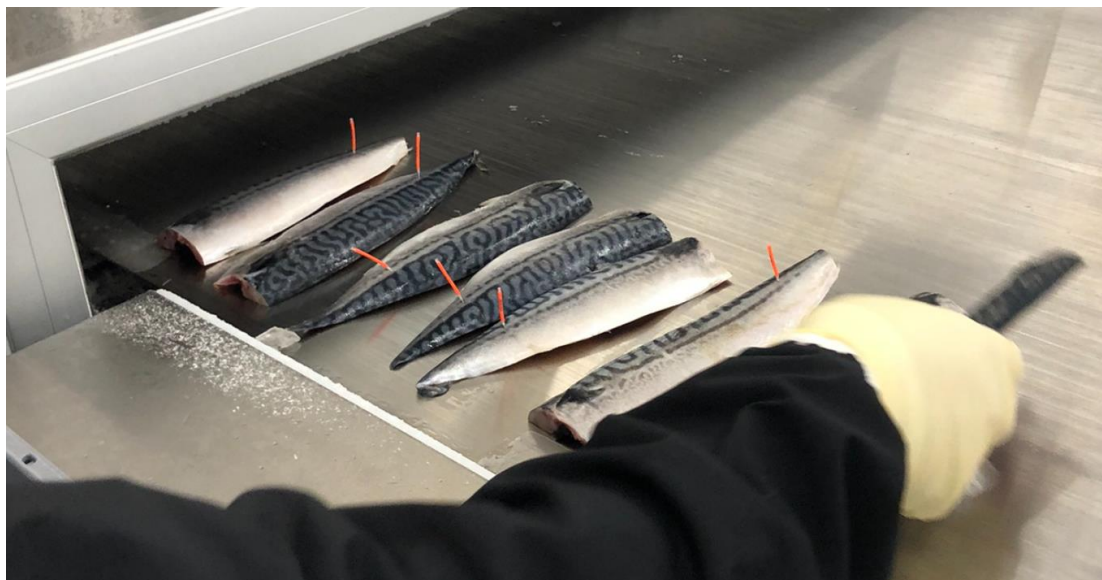
I tillegg til logginger ble det gjennomført temperaturmålinger i fisk (Figur 2) sporadisk under tining og utjevning, men også systematisk ved utløpet av tinetanken.



Figur 2 Temperaturmålinger med termometer (testo 176T4) med to temperaturfølere. Den ene føleren ble ført til kjernen (under ryggfinnen, ved ryggbeinet), mens den andre målte temperaturen cirka 1 mm under skinnet.

4.2.3 Prøver av filet

Merkede fisk ble samlet opp for filetering. Dette for å ha best mulig temperaturdokumentasjon på filetene. Fileteringen ble foretatt på en separat filetmaskin, som ikke ble brukt i produksjon de dagene forsøkene ble gjennomført. Det innebar blant annet at det ikke ble foretatt noen som helst rengjøring av filetene før innfrysing. Fileter ble merket med unikt nummer – koblet til fisk nr. – umiddelbart etter filetering, før innfrysing (Figur 3).



Figur 3 Innfrysing av «taggede» fileter

Disse ble samlet opp etter frysing; «wrappet» i PE-posere før fryselagring og bedømming. Filet som ble fryst inn i mai, ble dessuten glasert for å sikre holdbarhet fram til bedømming (sammen med filet fra fersk fisk) – høsten 2022.

4.2.4 Bedømming av filet

Filetene ble sendt til Nofimas avdeling i Stavanger, sammen med temperaturloggerne, som fortsatt registrerte temperaturen under transporten. Avleste verdier viste at temperaturen holdt seg under -20°C gjennom hele transporten.

4.2.5 Utseende

Alle filetene ble fotografert i frosset tilstand, i en boks med standardisert dagslys (6400 K) og med et kalibrert digitalkamera (Nikon D80, 35 mm objektiv, Nikon, Japan). Bildene fra dette gir et korrekt inntrykk av farge, og gir også grunnlag for analyse av farge, dersom det skulle være ønskelig.

Bedømmingen ble foretatt med utgangspunkt i disse bildene, og filetoverflaten ble bedømt med tallkarakter på en skala fra 1 til 4; der 1 representerer «Ingen filetspalting», 2 representerer «få spalter», 3 representerer «Mange spalter» og 4 representerer «Oppløst filet». Bilder som illustrerer de ulike karakterene, er gjengitt i Vedlegg 1.

4.2.6 Væskeslipp

Alle filetene var «wrappet» i fryseposer, som fanget opp væskeslipp etter tining. For de glaserte filetene måtte glaseringen fjernes før bestemmelse av væskeslipp. Dette ble gjort ved at filetene ble dyppet i 20°C vannbad i 30 s som beskrevet av Vanhaecke et al. (2010). Eventuelt gjenværende is ble fjernet og filetene ble forsiktig tørket med en klut, før de igjen ble lagt på frys, og siden tint.

4.3 Gjennomføring

4.3.1 Fase 1: Produksjon/Installasjon

Prosjektet var opprinnelig planlagt startet i februar 2021 med produksjon av prototyp utstyr beregnet for industriell testing i prosjektet, med en anslått produksjonstid på cirka 4 måneder. Men på grunn av koronapandemien samt forsinkelser fra øvrige leverandører på annet utstyr for å kunne starte industriell fullskalatesting på en komplett produksjonslinje så ble ikke linjen operativ før i begynnelsen av mars 2022. Det innebar at vi måtte begynne med tineforsøkene (Fase 3).

Linjen består av to RoteX skrutanker, hver med et volum på 50m³. En tank skal fungere både som tinetank for fryste blokker gjennom året, og som nedkjølingstank i fangst-sesongen. Etter tining og splitting av blokker med makrell, går fisken opp i neste RoteX skrutank som er en kjøletank med påkoblet superkjølingsteknologi. Her blir temperaturen i makrellen utjevnet og stabilisert til den er klar for filetering. I fangsts sesongen var det meningen at begge tankene skulle fungere som nedkjølingstanker med påkoblet superkjølingsteknologi.

4.3.2 Fase 3: Testing av Temperaturheving/Utjevning

Forsøkene i Fase 3 omhandlet i hovedsak optimalisering av temperaturheving i fryst råstoff og utjevning av temperaturen til -5 °C. Etter den første temperaturhevingen, som ble gjennomført i en tinetank, gikk fisken over i neste RoteX kjøletank. Disse forsøkene ble gjennomført i tilnærmet full skala. Som dokumentasjon ble det foretatt temperaturlogginger på 5–10 individer, under temperaturhevingen og utjevningsprosessen, som dessuten indikerte temperatur ved filetering. Filetkvaliteten ble bedømt ut fra vurdering av snittflate, og væsketap.

Testing av utstyret med tining og utjevning/nedkjøling av makrell til filetering var opprinnelig planlagt i perioden desember-februar 2021, men på grunn av forsinkelser i leveransen etc. ble ikke disse gjennomført før i mai 2022. Det ble gjennomført fortløpende testinger og evalueringer gjennom hele prosjektperioden. Faglige delrapporter ble utarbeidet i henhold til leveranseliste.

4.3.3 Fase 2: Testing av Nedkjøling

Forsøkene ble gjennomført som beskrevet under «Fase 3». Forsøkene i Fase 2 omhandlet optimalisering av nedkjøling av ferskt råstoff. I dette arbeidet ble begge tankene brukt til nedkjøling, og forsøkene ble gjennomført i tilnærmet full skala.

Som dokumentasjon av kjøleprosessen ble det foretatt temperaturlogginger på 10 individer, under nedkjølingsprosessen, som også indikerte temperatur ved filetering. Filetkvaliteten ble bedømt ut fra vurdering av snittflate, og væsketap.

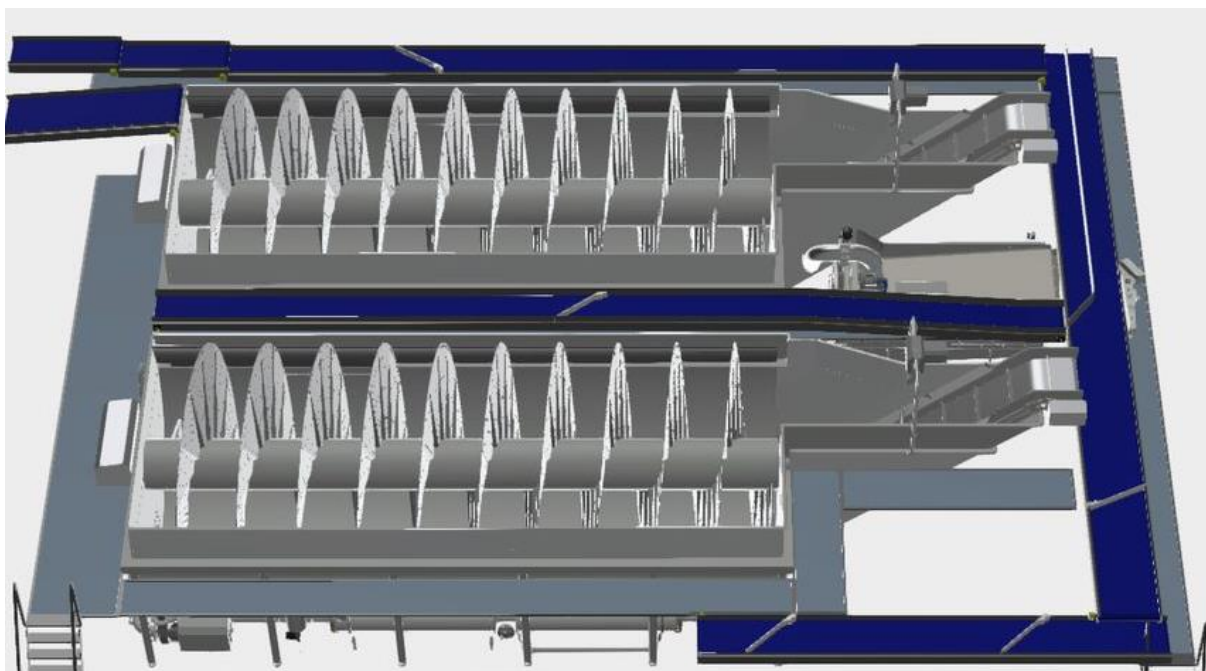
5 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

5.1 Produksjon/Installasjon (Fase 1)

5.1.1 Design

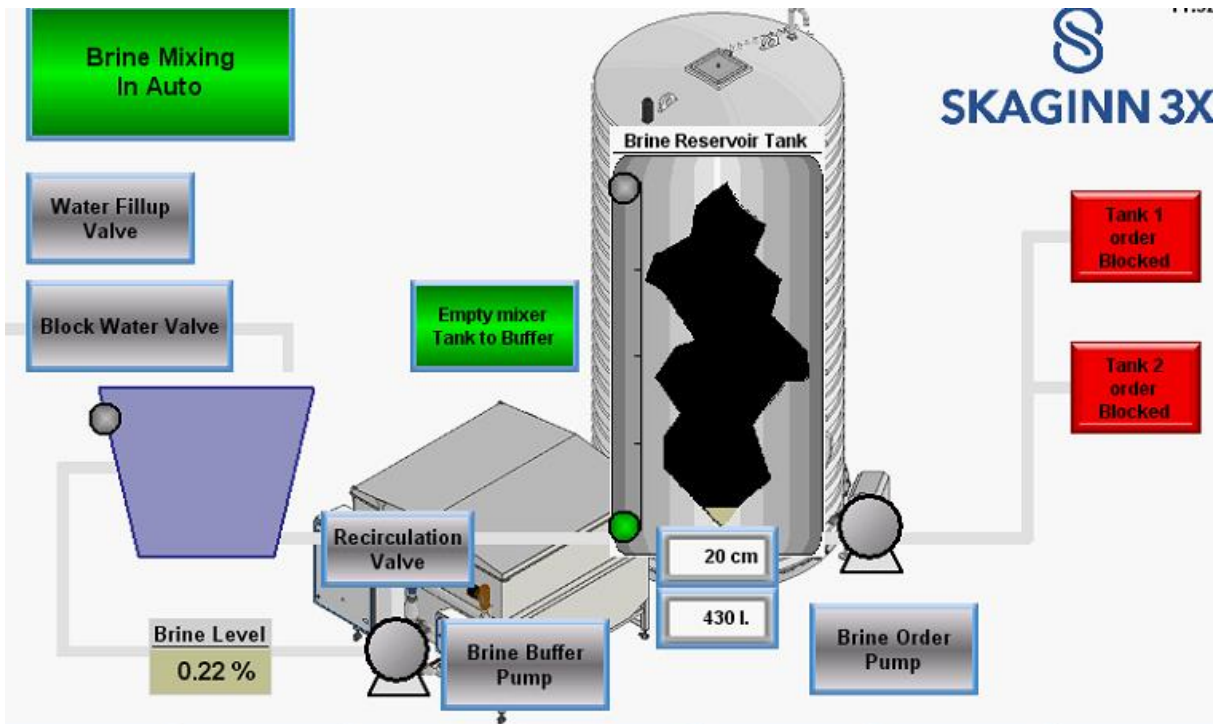
Anlegget består av to skrutanker som vist i figur 4. En RoteX skrutank på 50m³ som skal fungere både som en tine-tank og som nedkjølingstank i ferskesesongen. Etter start opptining og oppsplitting av blokker med makrell, går fisken opp i neste RoteX skrutank på 50m³ som er en kjøletank med påkoblet superkjølingsteknologi. Her blir temperaturen i makrellen utjevnet og stabilisert til ca -2,7 °C og er klar for filetering.

I fangstsesongen kan begge tankene fungere som nedkjølingstanker med påkoblet superkjølingsteknologi.

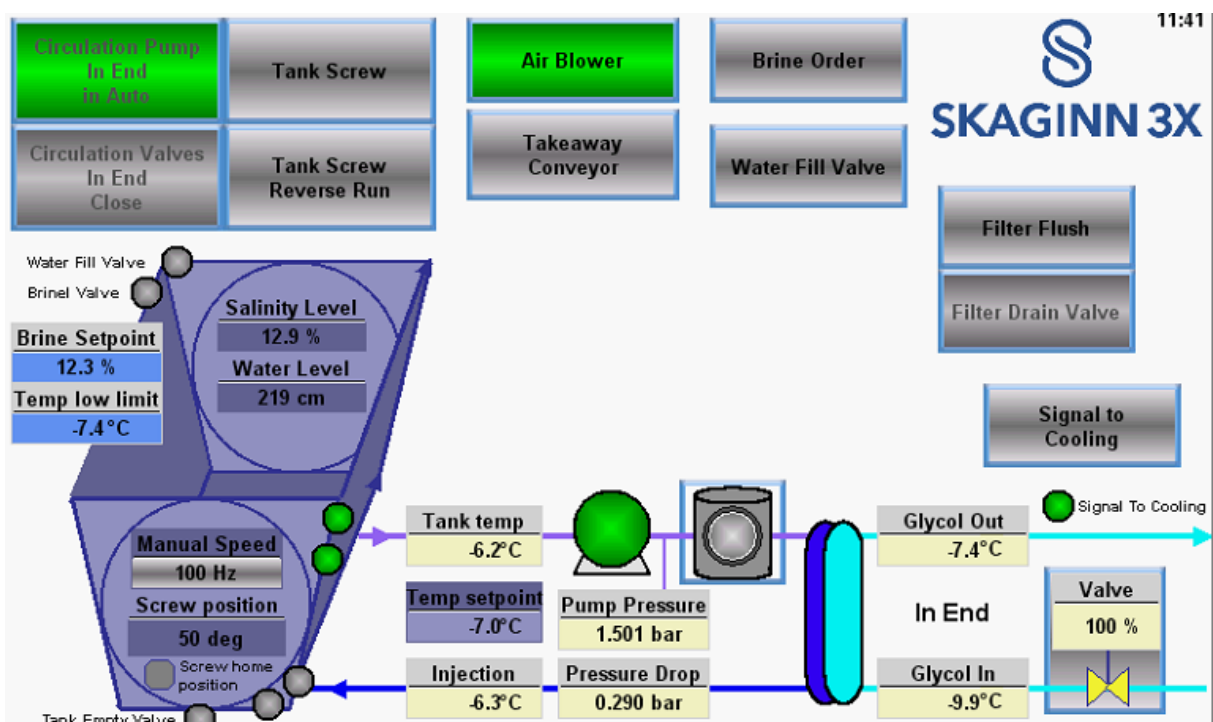


Figur 4 3D tegning av tine/kjøletank (øverst), og utjevningstank (nederst)

En sentral del i anlegget er laketanken. Innstilling av riktig lakestyrke og temperatur i varmeveksleren er avgjørende for at kjølingen skal fungere. Alle parametere relatert til lakestyrke og temperaturkontroll, innstilles på kontrollpanelet, som vist i figur 5 og 6.



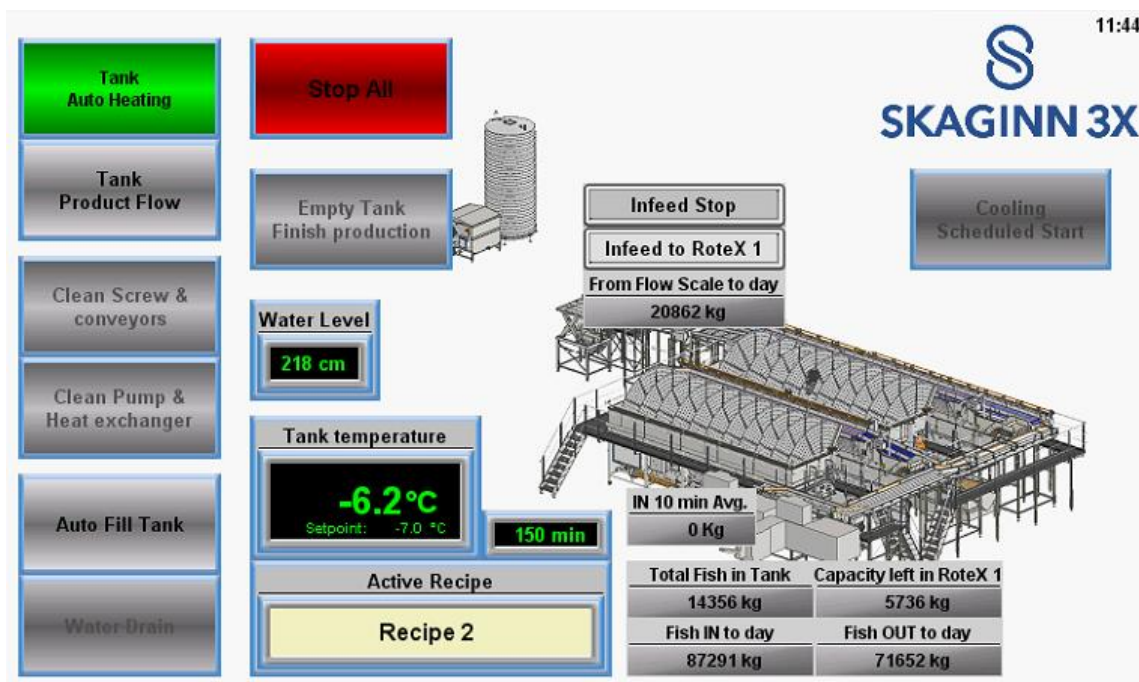
Figur 5 Laketank



Figur 6 Styling av kjøling

5.1.2 Innstilling av produktflyt og logging av prosessparametere

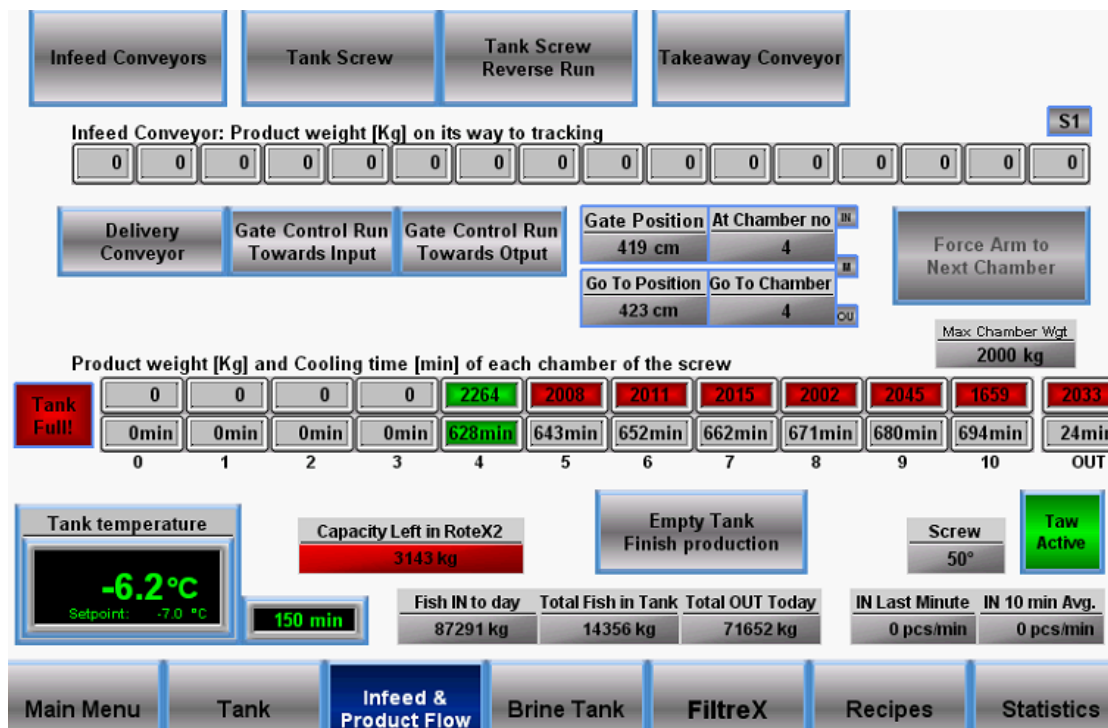
De viktigste prosess-flyt parameterne styres fra hovedmenyen, som er vist i figur 7.



Figur 7 Hovedmenyen

I hovedmenyen innstilles temperatur og oppholdstid. På skjermbildet finner man også informasjon om væsknivå i tanken, hvor mye fisk som befinner seg i tanken, og eventuell restkapasitet.

Man kan se mer detaljert på innmatingen i skjermbildet «Infeed & Product Flow», som vist i Figur 8.



Figur 8 Innmating og produktflyt

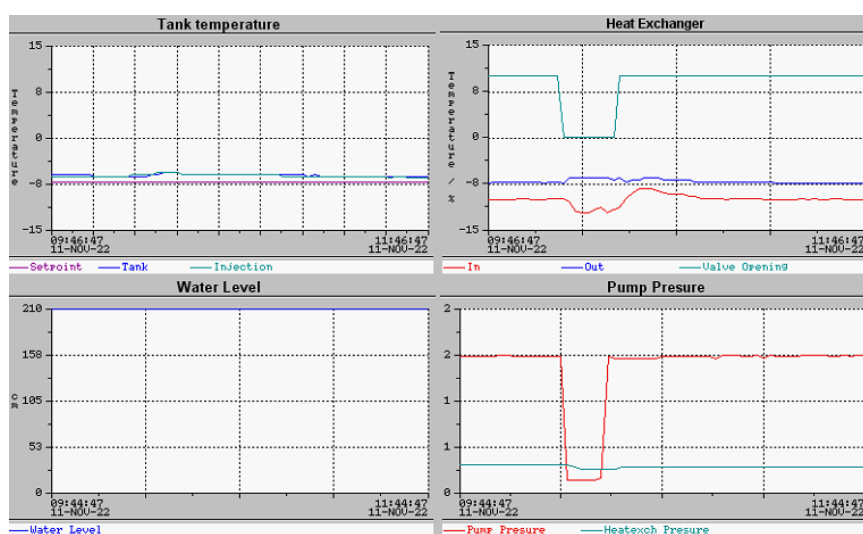
5.1.3 Datafangst

Data som logges hvert sekund i Rotex-tankene

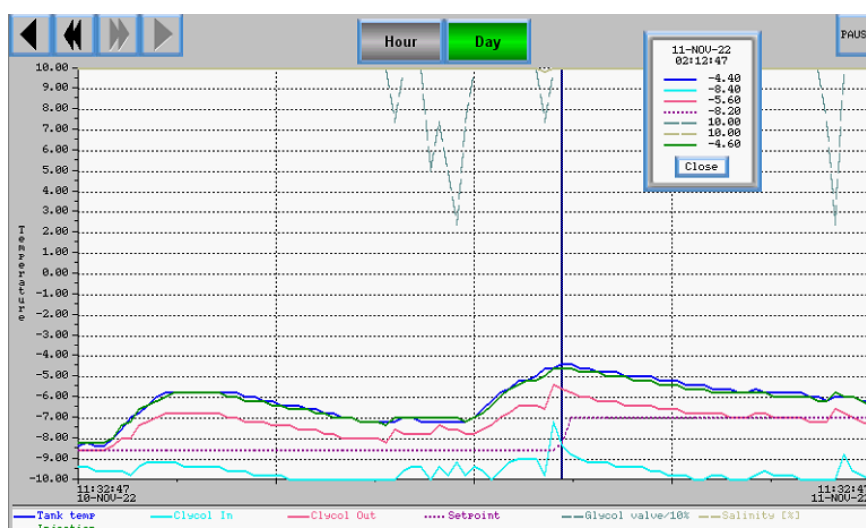
Rotex Data

Date	Glycol Valve 1/10	Pressure drop
Time	Salinity %	ProdCnt/10.000
Temperature	Tank In	Product count
Glycol In Temperature	Water level [cm]	Salinity setpoint
Glycol Out	Water level [m]	Temp low limity
Temperature Setpoint	In End Pump Pressure	

Disse kan man visualisere på 2 ulike skjermbilder, som vist i figurene 9 og 10.



Figur 9 Trender i tank- og varmeveksler-temperatur, væskeniå og pumpetrykk



Figur 10 Tank og glycol temperatur

Dessuten kan alle data lastes ned på minnepinne, og analyseres separat. Dette er imidlertid ikke helt enkelt, og ettersom alle data logges hvert sekund blir filstørrelsen betydelig (> 30 Mb/døgn)

5.2 Testing av Temperaturheving/Utjevning (Fase 3)

For å undersøke temperaturutviklingen i fisk som ligger i ytterkant av en blokk, som forventes å «slippe» tidlig i tineforløpet, og som derfor mest sannsynlig blir varmere enn fisk inne i blokken, som kan være omgitt av fisk under mesteparten av tineforløpet, ble det gjort to forsøk med loggere plassert i fisk – i midten av og i ytterkant av til sammen 5 blokker. Som prøvemateriale ble det brukt fryste blokker av makrell som ble tint. Etter at loggerne var «montert», ble 2 fisk med loggere plassert henholdsvis i midten av og ytterst på 5 ulike blokker, som ble fryst inn på nytt.

Batch 1 (11. mai, kl. 11.10 - 12. mai)

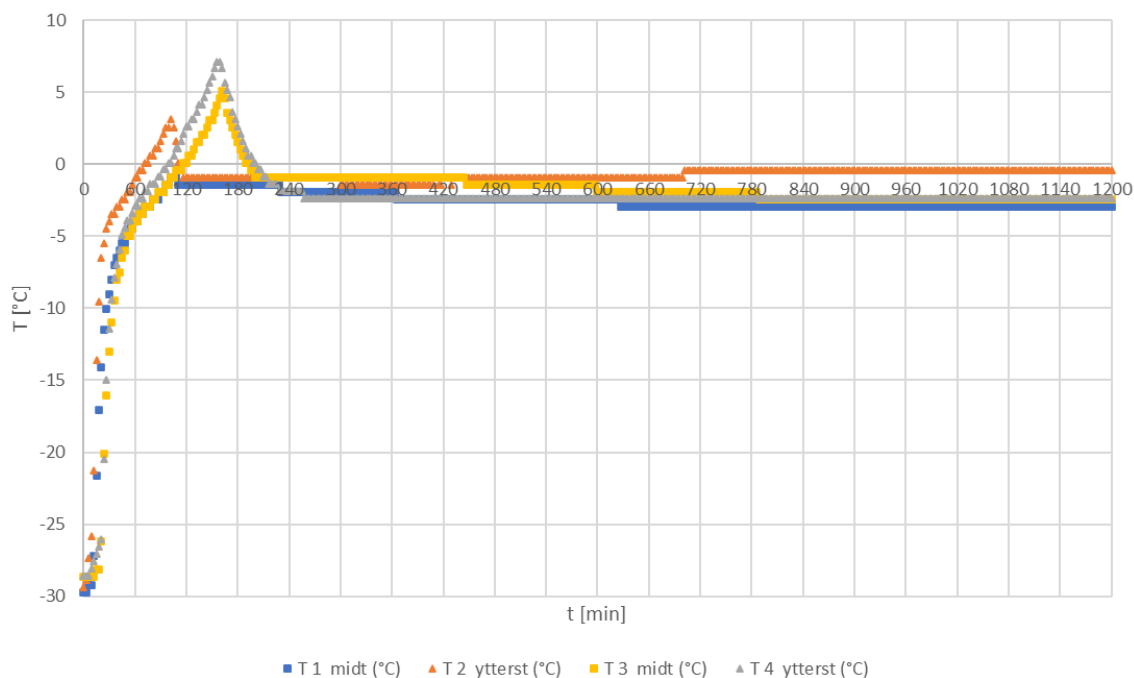
I det aller første forsøket var tinetanken helt tom, og vi valgte å «fylle» 1 segment med fisk (800 kg), og sende igjennom 2 blokker med loggere. I den ene lå prøve (logger) nr 1 - i midten av en blokk, mens prøve 2 lå i ytterkant. I den andre blokka lå prøve (logger) nr 3 - i midten, mens prøve 4 lå i ytterkant.



Figur 11 a) Innmating i tinetank. Makrell med logger (i stekenett) har løsnet fra blokka og ses under innløpet på tinetanken. b) Fordeling av fisk/blokker i tinetank

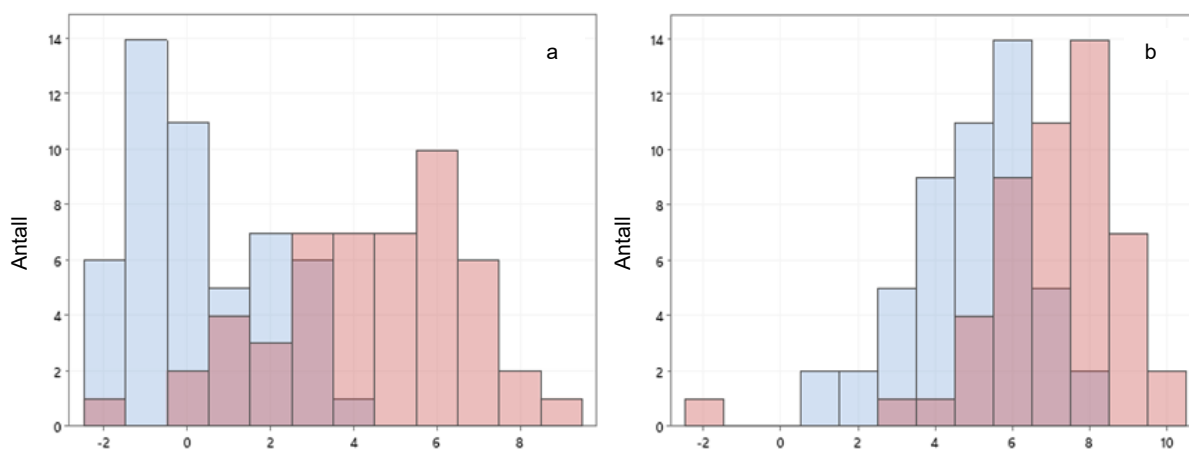
Vi observerte og målte temperatur i fisken underveis i tiningen. Det ble ganske tydelig at blokkene med loggere, som hadde blitt tint og fryst inn igjen (dobbeltfrost), var vesentlig forskjellige fra resten av blokkene i batchen som var av regulær kvalitet. De dobbeltfryste hadde betydelig mer vann, som var fryst til is. Dette bidro til at disse blokkene hang i sammen lengre enn de regulære blokkene.

Vi observerte også at en begrensning ved å kjøre forsøke med kun 800 kg i tanken, lå i at blokkene fløt veldig fritt i tinemediet (Figur 11), og opplevde svært lite «interaksjon» med andre blokker. Denne reduserte mekaniske belastningen ble antatt å ha en negativ effekt på splittingen av blokkene. Det kunne også se ut til at blokker og fisk fløt friere mellom kamrene, slik at gjennomløpstiden ikke nødvendigvis ble representativ for regulær produksjon.



Figur 12 Temperatur under tining og utjevning* (totalt 20 timer). *Temperaturen i utjevningstanken var ikke "realistisk".

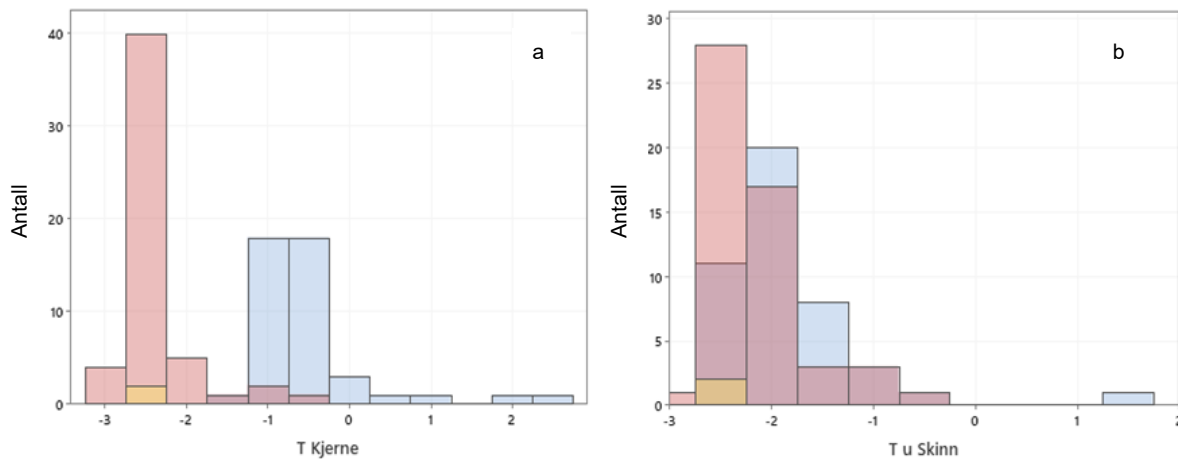
Figur 12 viser temperaturforløpet i 4 ulike fisk, gjennom tiningen. Det er ingen systematisk forskjell på fisk som ligger i midten av blokka versus fisk som lå ytterst. Forskjellen på oppholdstiden i tinetanken er i størrelsesorden 1 time, men dette har mest sannsynlig sammenheng med lav fyllingsgrad, og bør ikke tillegges vekt.



Figur 13 Temperatur i Batch 1 (n = 100) målt etter tining, ved utløp av tinetank (innstilt tinetid: 90 min, innstilt temperatur: 11 °C). □ etter 90 minutter tinetid, ■ etter 120 minutter. a) Temperatur i kjerne. b) Temperatur under skinn

Det ble foretatt temperaturmålinger i fisk (n = 100) etter utløp fra tinekar. Resultater fra målingene er vist i figur 13. Som nevnt var innstilt oppholdstid 90 minutter, men det var betydelig «spredning» i tanken, og dette ga mulighet for å undersøke effekt av forlenget oppholdstid, på temperaturen i fisken. Etter 90 minutter var gjennomsnitts kjernetemperatur 0,3 °C, mens den etter 2 timer var 4,4 °C. En sammenstilling av temperaturene er også vist i Tabell 1.

Effekten av forlenget tiningtid kan også observeres i Figur 16, som også viser temperaturen i en tidlig fase av utjevningen. Merk at det er temperaturen under skinnen som blir høyest i tiningen, og som endrer seg raskest under utjevningen. Det kan se ut som om at temperaturøkningen som skyldes 30 minutter forlenget tining reduseres ganske raskt i utjevningstanken.



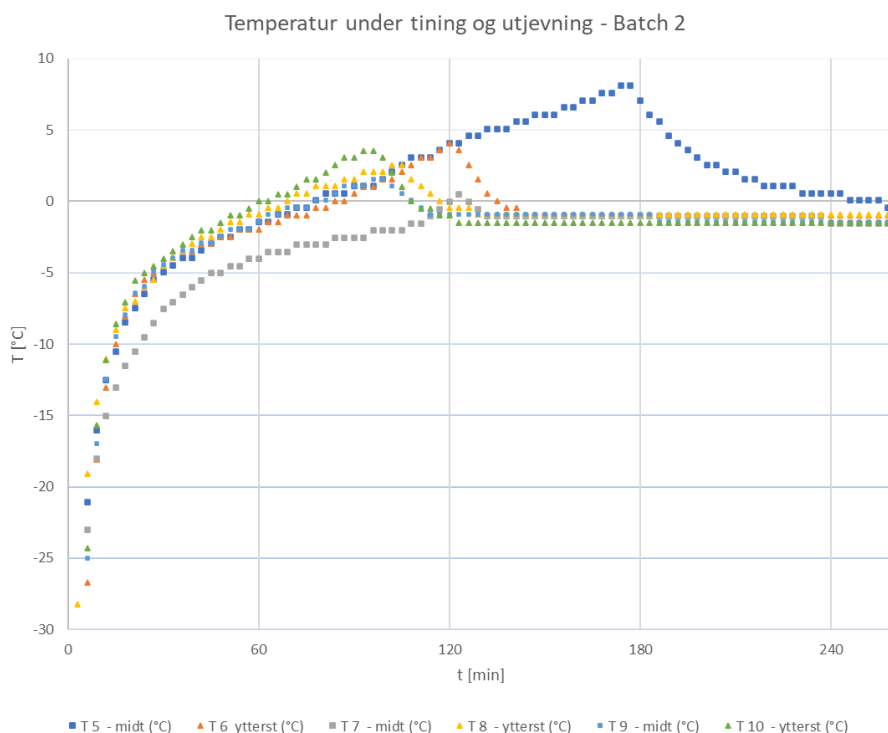
Figur 14: Temperaturer målt i fisk i utjevningstank Batch 1. Innstilt temperatur: $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. ■ etter 1 time, ■ etter 20 timer, ■ etter 22 timer. a) Temperatur i kjerne. b) Temperatur under skinn

Vikomar legger opp til å fylle utjevningstanken og la den stå full av makrell over natten – til neste dag. Dette har flere opplagte fordeler, ikke minst med hensyn til temperatur. Som det framgår av figur 16, er gjennomsnitts kjernetemperatur $-2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, etter 20 timer. Også temperaturen under skinnen er $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ i de fleste av de målte fisken da. Antallet fisk med temperaturer høyere enn $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, kan ha sammenheng med manglende eksponering til kjølemedium (også illustrert i figur 19 b.)

Batch 2 (12. mai, kl. 09:25) – del av full produksjon

Basert på erfaringene fra Batch 1, ble det andre forsøket gjennomført som en del av regulær produksjon, med fulle tanker. I dette forsøket ble det sendt igjennom tre blokker med loggere:

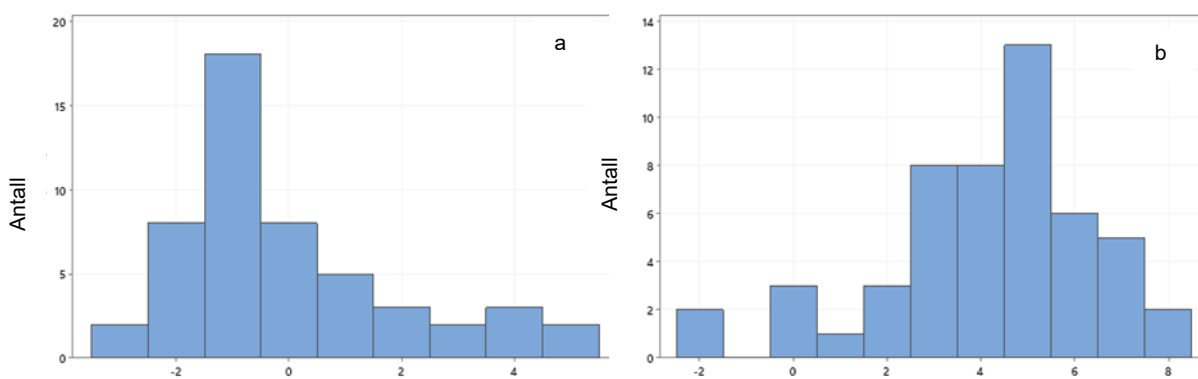
- Prøve (logger) nr 5, i midten av en blokk, Prøve 6 i ytterkant.
- Prøve (logger) nr 7, i midten av en blokk, Prøve 8 i ytterkant.
- Prøve (logger) nr 9, i midten av en blokk, Prøve 10 i ytterkant.



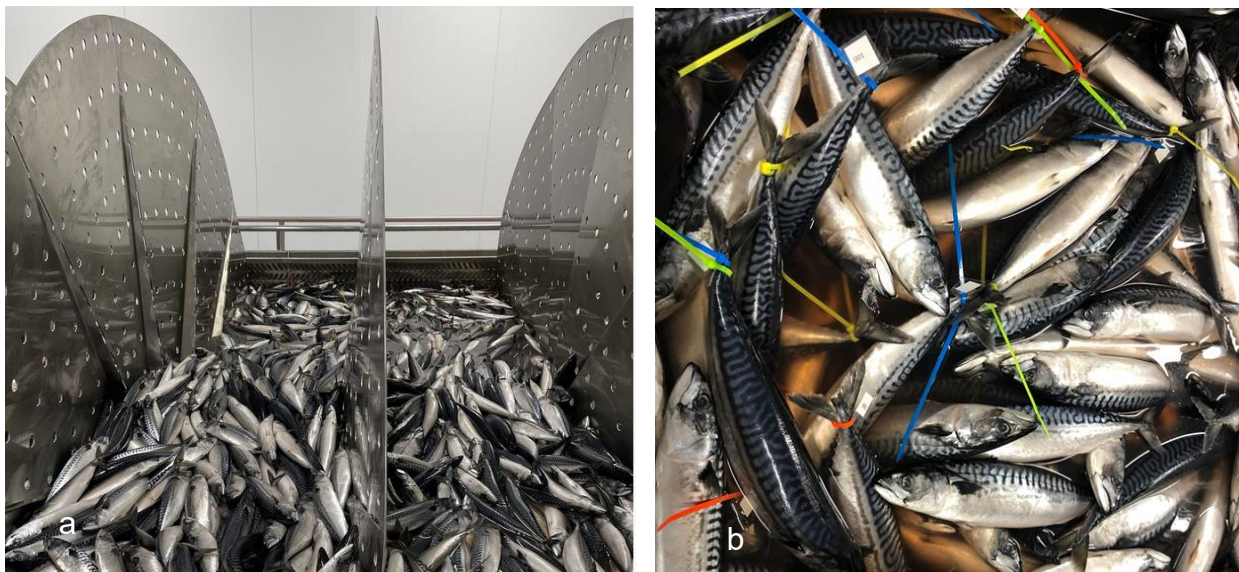
Figur 15 Temperatur under tining og begynnende utjevning

Figur 17 viser temperaturen i prøvene under tining og begynnende utjevning. Heller ikke her er det noen opplagt sammenheng mellom plassering i blokken, og oppholdstid i tinekaret, selv om de to prøvene som brukte lengst tid, lå i midten av blokka. Men det er en klar sammenheng mellom temperatur og oppholdstid i tinekaret, som vist også i Batch 1. Fem av seks fisk bruker 100–120 minutter i tinekaret, med innstilt oppholdstid 90 minutter.

Temperaturmålinger gjennomført i Batch 2, etter tinetanken viser at majoriteten av fisk holdt cirka $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ i kjernen, mens gjennomsnittet lå på $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Verd å merke seg er også det faktum at det ikke ble observert sammenhengende (ikke splittet) fisk ved utløpet av tinetanken.

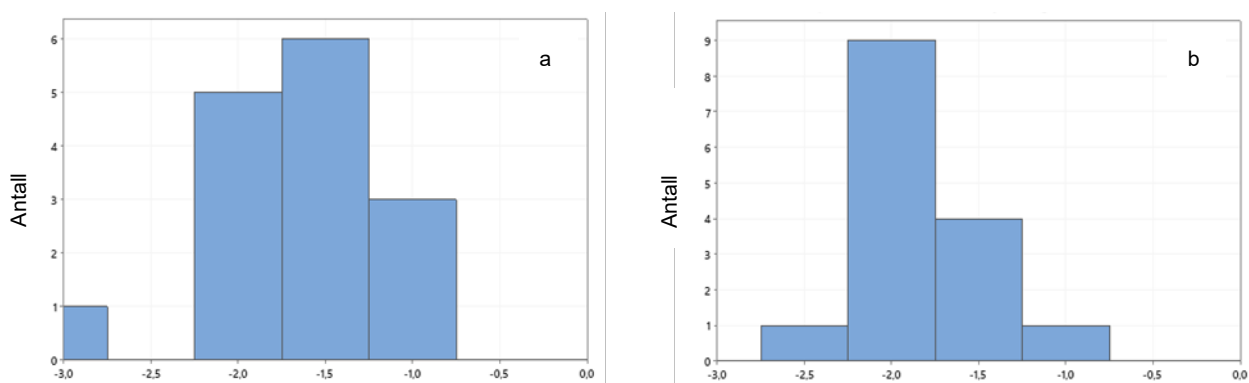


Figur 16 Tining Batch 2 ($n = 50$). Temperatur målt ved utløp av tinetank (innstilt tinetid: 90 min, innstilt temperatur: $11\text{ }^{\circ}\text{C}$). a) Temperatur i kjerne. b) Temperatur under skinn



Figur 17 a) Utjevningstank. Fyllingsgrad. b) Merking

Dessverre tillot ikke tiden at vi fikk gjennomført systematiske temperaturmålinger etter utjevningsprosessen, tilsvarende som etter tineprosessen. Resultatet av temperaturmålinger etter 4 timer er vist i figur 20.



Figur 18 Temperatur målt i utjevningstank, innstilt temperatur: $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. a) Temperatur i kjerne. b) Temperatur under skinn

Resultatene fra alle temperaturmålinger (kjerne og under skinn), er oppsummert i Tabell 1.

Tabell 1 Oppsummerte resultater av temperaturmålinger

Batch 1					Batch 2				
Etter tining (11 °C)					Etter tining (11 °C)				
Kjernetemperatur	1,5 time	0,3	+/-	1,6	Kjernetemperatur	1,5 time	0,0	+/-	2,0
	2 timer	4,4	+/-	2,3					
Temperatur under skinnet	1,5 time	4,8	+/-	1,6	Temperatur under skinnet		4,1	+/-	2,2
	2 timer	7,0	+/-	1,9					
I utjevning (-3 °C)					I utjevning (-3 °C)				
Kjernetemperatur	1 time	-0,5	+/-	0,8	Kjernetemperatur	4 timer	-1,7	+/-	0,4
	20 timer	-2,4	+/-	0,5					
Temperatur under skinnet	1 time	-1,9	+/-	0,7	Temperatur under skinnet		-1,9	+/-	0,4
	20 timer	-2,2	+/-	0,5					

Forsøkene kunne ikke gjennomføres helt i tråd med planene, og spesielt temperaturdata fra utjevningstanken ble noe mangelfulle. Men forsøkene som ble gjennomført gir verdifull informasjon om både tining og utjevning i Vikomar's anlegg.

Med den kombinasjonen av tining og utjevning som brukes har man veldig god kontroll på temperaturen i fisken inn i filetmaskinen. Kombinasjonen av tining og utjevning som praktiseres hos Vikomar er tilpasset deres produksjonsrutiner, og ser ut til å fungere når alle ledd fungerer.

5.2.1 Vurdering av filet

Filetoverflate ble bedømt av 4 ulike «dommere», på bakgrunn av digitale bilder. Tidligere arbeid har vist at frysingen og glaseringen skjuler flere av filetenes egenskaper; blant annet en del rødhet langs ryggraden og noe filetspalting (Sone et al., 2017), men ettersom blant annet filetspalting ikke er konstant, men i noen grad vil være påvirket av tinetid og temperatur, ble det besluttet å kun bedømme fryst filet. Dette bidrar til å redusere variasjonen, og gir best grunnlag for å se effekter innad i hver gruppe.

Gapingscoren på de frysede, glaserte filetene ($n = 85$) var $2,42 \pm 0,52$. Det var ingen signifikant korrelasjon mellom gaping i filet, og temperaturene målt ved utløp etter tining.

5.2.2 Væskeslipp

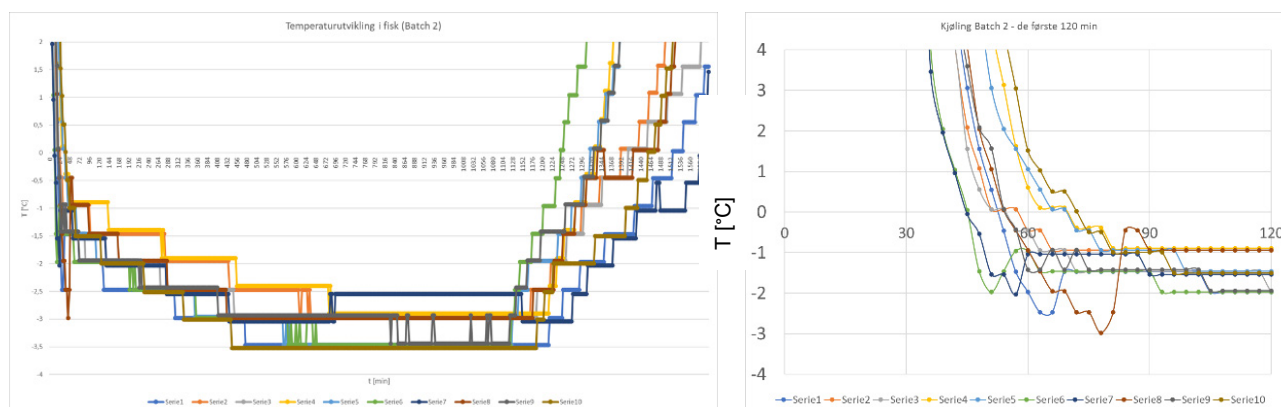
Mengde væskeslipp i de tinte filetene ($n = 85$) var $2,12 \pm 0,72$. Det var ingen signifikant korrelasjon mellom væskeslipp i filet, og temperaturene målt ved utløp etter tining.

5.3 Testing av nedkjøling (Fase 2)

Forsøkene med kjøling av fersk makrell måtte gjennomføres i sesongen. Da er småskala-forsøk ikke mulig ettersom produksjonskapasiteten må utnyttes i størst mulig grad, siden sesongen er kort og det er knyttet usikkerhet til råstofftilgangen.

Selv om man planlegger grundig, så er råstoffet en forutsetning for å kunne gjennomføre forsøk. I 2022 kom man sent i gang med sesongen. De første fangstene var relativt små og sporadiske, og sammen med ulike tekniske problemer reduserte dette forsøkene i betydelig grad.

Det eneste forsøket, som ble gjennomført i sin helhet var temperaturlogging i hel fisk, gjennom kjøling og utjevning (Figur 22).



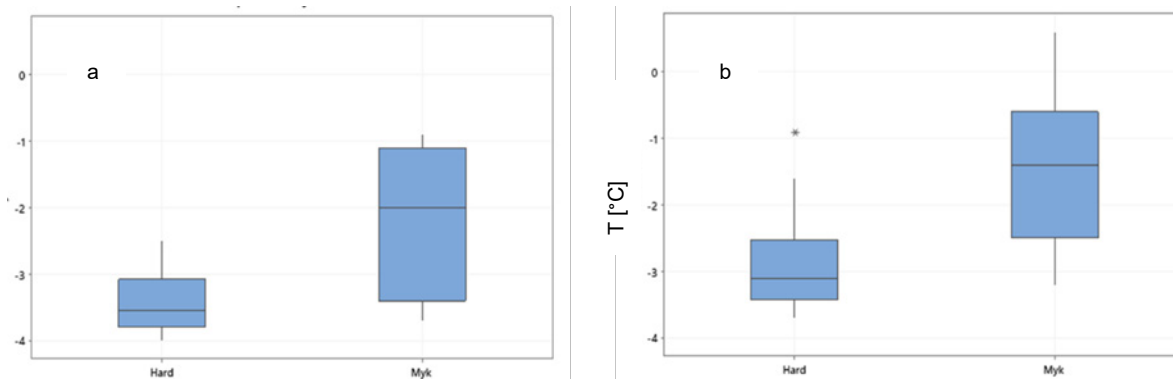
Figur 19 a) Temperaturutvikling i ti fisk under kjøling og utjevning [x-akse i minutter]. b) detaljert utsnitt av kjøleperiode (innstilt 90 min).

Resultatene fra loggingene viser at alle 10 fisk har en målt temperatur $\leq -2,5$ °C etter cirka 7,5 timer. Den første fisken forlater utjevningstanken etter cirka 18,5 timer, mens den siste fisken forlater utjevningstanken etter cirka 20,5 timer, som indikerer en stabil produksjonsflyt.

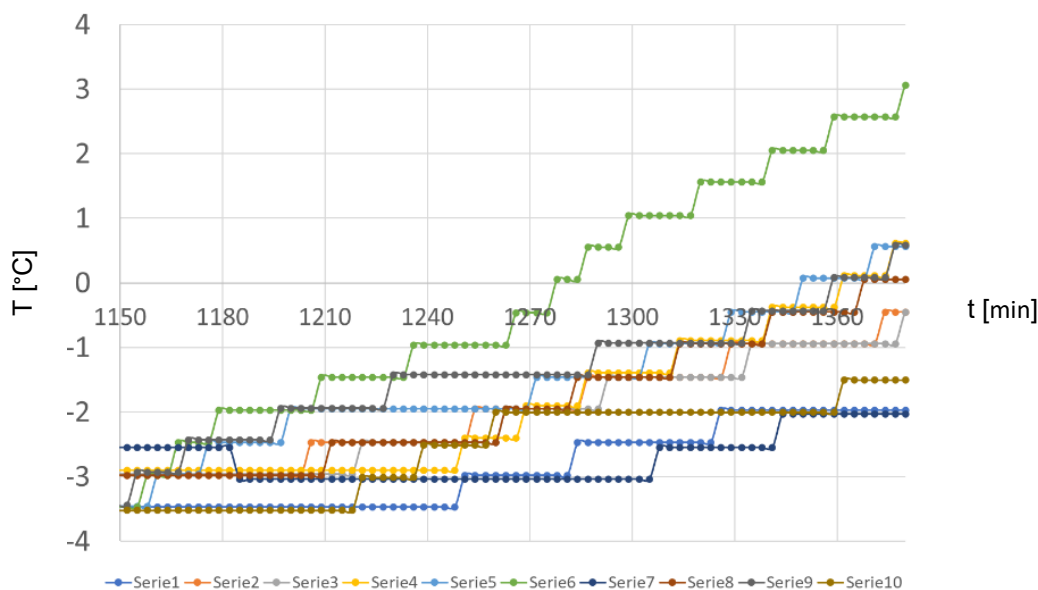
Men det forekom enkeltstående observasjoner, spesielt for temperaturmålinger i kjølefasen, som var bemerkelsesverdige; fisk med målt temperatur f.eks. < -3 °C, kunne kjønes «myk» ut, mens fisk med betydelig høyere temperatur (enn -3 °C), kjøntes hard. Dette er observasjoner som Vikomar etter sigende har gjort gjentatte ganger, også etter forsøkene i august. Og det spekuleres i mulige årsakssammenhenger.

Årsakssammenhengene kan være komplekse. Makrell er en fiskeart med store variasjoner, både gjennom året og fangstsesongen (Duinker & Pedersen 2014; Falch et al., 2006; Romotowska et al, 2016), og som følge av forhold knyttet til fangst og føring (Sone et al., 2019). Flere av disse faktorene kan tenkes å påvirke tekstur. I tillegg kommer usikkerheten knyttet til posisjoneringen av temperaturproben. I kjøletanken er temperaturgradienten betydelig (kaldest ytterst og varmest i senter), og posisjonen til proben kan gi betydelige utslag på avleste temperaturer. En annen faktor som kan påvirke temperaturmålingene i den kjølefasen, er innholdet i bukhulen (innvoller). De fryser som kjent ved en lavere temperatur enn muskelen, og dette kan bidra til irregulære forandringer i målte temperaturer, spesielt under nedkjølingen.

Men fokus for dette prosjektet er temperatur, og det ligger utenfor prosjektet å komme til bunns i hva som påvirker hardheten på makrellen. Temperaturmålinger gjort i utjevningstanken ble korrelert med opplevd konsistens (Myk vs Hard), viste tydelig at temperaturen var en signifikant faktor for «opplevd» mykhet, slik det er vist i figur 23.



Figur 20 Boxplot av bedømt «konsistens» og temperatur i hard (n = 22) og myk (n = 10) makrell. A) Temperatur i kjerne. b) Temperatur under skinn



Figur 21 Temperatur i fisken etter utløp fra utjevningstanken

I den fisken som har den raskeste temperaturøkningen (Serie 3), øker temperaturen fra $-3,5\text{ °C}$ til -2 °C i løpet av cirka 30 minutter, som vist i figur 24. Vikomar anslår at tiden det tar fra en fisk forlater utjevningstanken, til den går inn i filetmaskinen, ligger mellom 0,5 og 2 minutter. I løpet av den tiden vil man kun se en marginal temperaturøkning i fisken.

5.3.1 Vurdering av filet

Filetoverflate ble bedømt av 4 ulike «dommere», på bakgrunn av digitale bilder. Gapingscoren på de fryste filetene (n = 40) var $2,33 \pm 0,71$. Det var ingen signifikant korrelasjon mellom gaping i fileten, og temperaturene målt ved innløp før kjøling.

5.3.2 Væskeslipp

Mengde væskeslipp i de tinte filetene (n = 40) var $2,04 \pm 1,03$. Det var ingen signifikant korrelasjon mellom væskeslipp i fileten, og temperaturene målt ved innløp før kjøling.

5.4 Mulige tekniske oppfølgingspunkter

Innmating av frosne blokker kan forbedres da nåværende løsning gir alt for mye skinnskade. Dette er allerede planlagt utbedret

Bedre/jevnere luftgjennomstrømning i tinetanken kan sannsynligvis bidra til å effektivisere tineprosessen. Dessuten ville luftgjennomstrømning i utjevningstank gi bedre mulighet for å øke sirkulasjonen der. Det har forekommet tilfeller der fisk har vært for varm og dermed samlet seg på bunnen og blokkert sirkulasjonen i utjevningstanken. Dette reduserer kjøleeffekten og fisken blir ikke tilstrekkelig kald.

Justeringer på utjevningstanken (lakestyrke?, innmating på tinetank/fyllingsgrad?) kan sannsynligvis redusere andel fisk som eksponeres til luft. Alternativt kunne man tenke seg en slags overrisling evt annen løsning for fisken som «flyter opp» og blir liggende oppe i luften.

En reduksjon av lufttemperatur i rom med tine/kjøletanker vil også kunne redusere energibehov, på grunn av oppvarming fra omgivelsene. Det samme ville en eventuell tildekking av utjevningsskar, spesielt i de tilfeller hvor fisk blir stående over natten.

6 Hovedfunn

Tine/Kjøletankene fra Skaginn 3X/Baader fungerer hensiktsmessig, og har blitt brukt i kommersiell filetproduksjon av fryst og fersk makrell, nesten kontinuerlig siden oppstart i mars 2022.

Skrutankene fungerer utmerket til tining. Kapasiteten er god og man kan begynne å produsere på fisken omtrent 5-6 timer etter at tiningen starter. Ved riktig temperatur i tinetanken blir blokkene brutt fra hverandre, andelen bøyd («banan») fisk minimeres, samtidig som kjernetemperaturen på fisken er tilfredsstillende lav slik at kvaliteten ikke forringes.

RoteX tankene kjøler fisken ned i løpet av ca. 45 min til ønsket temperatur på ca -2,5 grader. Men det er en utfordring at fisken ikke er hard nok for filetering ved denne temperaturen. Dette medfører at kapasiteten på nedkjøling av fersk fisk til ønsket tekstur blir mindre enn ønskelig, slik at oppgitt kapasitet når det gjelder nedkjøling av fersk fisk blir for lav. Fisken blir altså ikke «hard nok» (faseovergang?) for filetmaskinene på tross av at kjernetemperaturen er -3 °C. Erfaringene viser at fisken trenger mer tid i kjøletankene enn først beregnet og at det helst bør være i lake som er vesentlig kaldere enn -3 °C.

Filetutbyttet ligger på omtrent 62% for filet med bukbein og ca 55% uten bukbein, uavhengig av hvorvidt det er tint eller fersk makrell som fileteres.

Forsøkene som ble gjennomført kunne av ulike årsaker kun undersøke effekten av to faktorer på gaping og væskeslipp (etter tining); temperatur målt ved utløp av tinetank og temperatur ved innløp fra fartøy (kjølt fisk). Det ble ikke påvist signifikante effekter av noen av disse faktorene på gaping og væskeslipp.

7 Leveranser

Datofestede leveranser	
Referat fra møter i SG:	10.05.2021
	26.11.2021
	14.02.2022
	11.03.2022
	16.05.2022
Faglige delrapporter: (PPT-presentasjoner) til SG møtene	10.05.2021
	26.11.2021
	14.02.2022
	11.03.2022
	16.05.2022
Sluttrapport:	15.01.2023
Faktaark:	15.01.2023
Populærvitenskapelig artikkel:	15.01.2023
Video og/eller animasjon av linjen i bruk:	15.01.2023
FHF sin faggruppe for pelagisk vil bli invitert til Vikomar for å observere utstyret i bruk ved ferdigstilling	15.01.2023

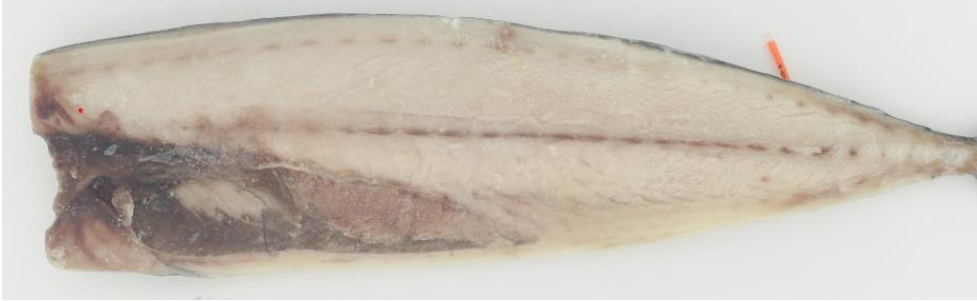
8 Referanser

- Duinker, A. & Pedersen M.E. (2014). Fettavleiring, tekstur og struktur i makrell fra juni til oktober. NIFES-rapport – prosjekt #900786.
- Falch, E., Aursand, I. & Digre, H. (2006). Pelagisk kvalitet. Sesongvariasjoner i næringsverdi og fettsammensetning i nvg sild og makrell. SINTEF-rapport SFH80 A065018.
- Haugland, A. (2002). Industrial thawing of fish - to improve quality, yield and capacity. PhD thesis. Norwegian University of Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering.
- Karlsdóttir, M., Sveinsdóttir, H.I., Stefansson, G., Larsson, K., Undeland, I., Sone, I. & Skåra, T. (2018). Improved quality and value of nordic mackerel products for the global market. The effects of catching method and season, filleting and processing on the storage stability of frozen atlantic mackerel product. Reykjavik: Matis.
- Nordtvedt, T.S. & Widell, K.N. (2018). Sammendrag av gjennomførte forskningsresultater for tining av makrell. SINTEF-rapport 2017:00615.
- Romotowska, P.E., Karlsdóttir, M.G., Guðjónsdóttir, M., Kristinsson, H.G. & Arason, S. (2016). Seasonal and geographical variation in chemical composition and lipid stability of atlantic mackerel (*scomber scombrus*) caught in icelandic waters. *Journal of Food Composition and Analysis*. **49**, 9–18.
- Sone, I., Skåra, T. & Olsen, S.H. (2019). Factors influencing post-mortem quality, safety and storage stability of mackerel species – a review. *Eur Food Res Technol.*, **245**:4, 775–791.
- Sone, I., Skåra, T., Skuland, A.V. (2017). Utvikling og optimalisering av makrellfiletering. Rapport 12/2017, Nofima, Tromsø.
- Vanhaecke, L., Verbeke, W. & De Brabander, H.F. (2010). Glazing of frozen fish: Analytical and economic challenges. *Analytica Chimica Acta.*, **672**:1, 40–44.
- Vik, B.A. (2018). Pelagisk ensretting. Optimar-rapport. Sluttrapport FHF-prosjekt 90111.
- Washausen, T. & Lind Olsen, K.A. (2018). Sluttrapport: Utvikling av prosess for automatisk hodekapping og filetering av makrell med kjernetemperatur lavere enn -1,5 °C for japan-filet. Baader. Faglig sluttrapport for prosjekt:901222.

Vedlegg

Vedlegg 1: Gaping score frossen makrellfilet

1 - Ingen gaping



2 – Få spalter



3 – Mange spalter



4 – Oppløst

