

# **Optimalisering av radiofrekvens (RF) – temperering og tining av hvitfisk**

Faglig sluttrapport

Svein Kristian Stormo, Torstein Skåra og Kathryn Anderssen





Nofima er et næringsrettet forskningsinstitutt som driver forskning og utvikling for akvakulturnæringen, fiskerinæringen og matindustrien.

Nofima har om lag 390 ansatte.

Hovedkontoret er i Tromsø, og forskningsvirksomheten foregår på fem ulike steder: Ås, Stavanger, Bergen, Sunndalsøra og Tromsø

**Hovedkontor Tromsø:**

Muninbakken 9–13  
Postboks 6122 Langnes  
NO-9291 Tromsø

**Ås:**

Osloveien 1  
Postboks 210  
NO-1431 ÅS

**Stavanger:**

Måltidets hus, Richard Johnsgate 4  
Postboks 8034  
NO-4068 Stavanger

**Bergen:**

Kjerreidviken 16  
Postboks 1425 Oasen  
NO-5844 Bergen

**Sundalsøra:**

Sjølsengvegen 22  
NO-6600 Sunndalsøra

**Felles kontaktinformasjon:**

Tlf: 02140  
E-post: [post@nofima.no](mailto:post@nofima.no)  
Internett: [www.nofima.no](http://www.nofima.no)

**Foretaksnr.:**

**NO 989 278 835 MVA**



Creative commons gjelder når ikke annet er oppgitt

# Rapport

<i>Tittel:</i> <b>Optimalisering av radiofrekvens (RF) – temperering og tining av hvitfisk Faglig sluttrapport</b>	ISBN 978-82-8296-637-5 (pdf) ISSN 1890-579X
<i>Title:</i> Optimizing radiofrequency (RF) tempering and thawing of whitefish	<i>Rapportnr.:</i> 22/2020
<i>Forfatter(e)/Prosjektleder:</i> Svein Kristian Stormo, Torstein Skåra og Kathryn Anderssen	<i>Tilgjengelighet:</i> <b>Åpen</b>
<i>Avdeling:</i> Sjømatindustri	<i>Dato:</i> 30. april 2020
<i>Oppdragsgiver:</i> Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF)	<i>Ant. sider og vedlegg:</i> 32
<i>Stikkord:</i> Tining, torsk, radiofrekvens	<i>Oppdragsgivers ref.:</i> FHF 901478
<i>Sammendrag/anbefalinger:</i> I de senere år har RF (radiofrekvens) tining blitt tilgjengelig kommersielt og blant annet brukt på farseprodukter i Norge. Hovedmålet med dette prosjektet var å dokumentere og optimalisere RF-behandling og påfølgende tining av blokkfrosset HG (sløyd og hodekappet) torsk med hensyn på kvalitet og utbytte. Dette prosjektet viser at RF-behandlingen kan brukes som en viktig del i tining av HG-blokker i stor skala. Våre resultater antyder at den avsluttende konvensjonelle tiningen (i vann) påvirker holdbarheten i større grad enn RF-behandlingen. En måte å redusere tiden i vannkaret er å øke bidraget fra RF-behandlingen siden dette vil redusere behovet for påfølgende vanntining. RF-behandlingen tilfører energien mye raskere enn konvensjonell tining (hvor energien må inn via overflaten) og dette gir kortere eksponering for bakterier ved en tilsvarende kortere påfølgende vanntining i tillegg til en totalt sett mer tidsbesparende prosess. I tillegg kommer effekten av at blokkene kan splittes etter RF-behandlingen, noe som gjør at effektiviteten i tineprosessen øker ytterligere.	<i>Prosjektnr.:</i> 12317
<i>English summary/recommendation:</i> Seafood production from frozen raw material requires efficient and gentle thawing to achieve high quality and long shelf life. Since thawing is a slow process it is difficult to time it according to subsequent processing steps as well as fine-tuning the volume to the immediate needs. The main objective of this project was to document and optimize RF processing and the subsequent thawing of frozen HG (headed and gutted) cod in terms of quality and yield. The results from this project show that the RF process is flexible and its contribution in the overall thawing process (consisting of RF followed by conventional thawing) can vary from very limited to an impact that extends considerably more than is necessary for splitting. Thus, RF treatment can simplify and shorten the overall process by enabling block splitting and by reducing the need of conventional thawing.	

## **Forord**

Dette arbeidet har blitt finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF-prosjekt nr. 901478). Nofima vil takke Lerøy for godt samarbeid og FHF for finansieringen av arbeidet.

# Innhold

<b>1</b>	<b>Sammendrag</b>	<b>1</b>
1.1	Norsk sammendrag	1
1.2	English summary	2
<b>2</b>	<b>Innledning</b>	<b>4</b>
2.1	Bakgrunn	4
2.2	Prosjektorganisering	6
<b>3</b>	<b>Problemstilling og formål</b>	<b>7</b>
3.1	Målsetting	7
3.2	Næringsnytte	7
<b>4</b>	<b>Prosjektgjennomføring</b>	<b>8</b>
4.1	Gjennomførte forsøk	8
4.1.1	Forsøk i bedrift I	8
4.1.2	Modellforsøk i lab	9
4.1.3	Forsøk i bedrift II	10
4.2	Metoder brukt i prosjektet	11
4.2.1	Vektforandringer og væsketap	11
4.2.2	TVN (Totalt Flyktig Nitrogen)	11
4.2.3	Termografi og temperaturlogging	11
4.2.4	Tørrstoff og aske	12
4.2.5	Spektroskopi	12
<b>5</b>	<b>Resultater og diskusjon</b>	<b>13</b>
5.1	Forsøk i bedrift I	13
5.1.1	Temperatur og tineprosess	13
5.1.2	Tørrstoff og aske	15
5.1.3	Vektendring ved tining og drypptap ved kjølelagring	16
5.1.4	Holdbarhet ved kjølelagring (TVN)	17
5.1.5	Spektroskopi	18
5.2	Modellforsøk i lab	19
5.2.1	Kant effekter og stabling av blokker	19
5.2.2	Kombinasjon av RF-behandling, vanntining og utvidet RF-behandling	21
5.3	Forsøk i bedrift II	24
5.3.1	Temperatur og tineprosessen	24
5.3.2	Tørrstoff og aske	25
5.3.3	Tinetap og drypptap ved kjølelagring	26
5.3.4	Holdbarhet ved kjølelagring (TVN)	27
<b>6</b>	<b>Hovedfunn og konklusjon</b>	<b>29</b>
6.1	Forsøk i bedrift I	29
6.2	Modellforsøk i lab	29
6.3	Forsøk i bedrift II	29
6.4	Konklusjon	30

<b>7</b>	<b>Leveranser .....</b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>32</b>

# 1 Sammendrag

## 1.1 Norsk sammendrag

Ved videreforedling av frossent fiskeråstoff er effektiv og skånsom tining avgjørende for å oppnå høy kvalitet og lang holdbarhet. Siden tineprosesser vanligvis tar lang tid blir dette en utfordring i stor skala både i forhold til å tine etter behov og kontrollere tineprosessen underveis. I de senere år har radiofrekvenstining blitt tilgjengelig kommersielt, og metoden blir blant annet brukt under produksjon av farseprodukter i Norge. Hovedmålet med dette prosjektet var å dokumentere og optimalisere RF-behandling og påfølgende tining av blokkfrosset sløyd og hodekappet torsk med hensyn på kvalitet og utbytte. Det ble planlagt og gjennomført 2 store forsøk under industrielle betingelser i bedrift (Stamsund). I tillegg ble det lagt en forsøksperiode mellom bedriftsforsøkene der forsøk ble gjort i mindre skala på en innleid radiofrekvens testmaskin, hos Nofima i Tromsø.

I det første bedriftsforsøket ble konvensjonell tining (vanntining) sammenlignet med en tineprosess hvor radiofrekvens behandling ble brukt fram til splitting av blokkene, etterfulgt av vanntining. Det ble gjort flere typer analyser for å dokumentere prosessen underveis og den etterfølgende produktkvaliteten. Noen lokale overopphetede områder etter radiofrekvensbehandlingen så ikke ut til å påvirke verken filetutbytte eller loinsutbytte ved produksjon. Resultatene gav indikasjoner på at råstoffet som hadde vært radiofrekvensbehandlet, og dermed trengte kortere tid i påfølgende vanntining, hadde noe høyere holdbarhet ved kjølelagring etter pakking. Dette gjaldt prøver som ble lagt til direkte til kjøling så vel som prøver fryst og tint på nytt før kjølelagring.

Det ble gjort forsøk i lab skala for å dokumentere ulike aspekter ved bruk av denne teknologien. Forsøk viste at det er mulig å beskytte blokkene mot kant-effekter ved å benytte litt råstoff som plasseres i for- og etterkant av hovedstrømmen og fryses inn etterpå for senere gjenbruk (og brukes ikke videre i matproduksjon). Så lenge avstanden mellom blokkene ikke er veldig stor (< 5 cm) så vil blokkene på båndet som beveger seg gjennom radiofrekvensfeltet beskytte hverandre for kanteffekter. Ved å legge blokkene i to lag så vil man kunne opprettholde produksjonskapasiteten med redusert båndhastighet, slik at oppholdstiden i tunellen blir lengre og absorbert energi får mer tid til utjevning. Modellforsøkene viste også at det er mulig å variere hvor mye radiofrekvensbehandling man kan benytte før tiningen avsluttes i vann. Bidraget fra radiofrekvensbehandlingen kan variere fra veldig kort behandling til en behandlingstid som strekker seg vesentlig lengre enn hva som skal til for at blokkene kan splittes. Resultatene i dette prosjektet viser at prosessen kan forlenges forbi dette punktet uten at væsketapet i produktene øker.

I det andre bedriftsforsøket ble fokuset rettet mot vanntiningen som følger etter radiofrekvens behandling og splitting av blokk. Resultatene fra det første bedriftsforsøket indikerte at forhøyet temperatur under vanntiningen reduserte holdbarheten ved kjølelagring. I dette forsøket ble den samme radiofrekvensbehandlingen brukt på to grupper med ulikt vanntine-regime. Her ble en lang (12 timer) vanntining ved lav temperatur (3 °C) sammenlignet med en kort (3 timer) vanntining ved høy temperatur (12 °C). Resultatene viste at tiden i tinetanken er avgjørende for holdbarheten, ikke bare temperaturen. Dette kommer mest sannsynlig av at bakterier i overflaten av fisken i stor grad vaskes av på grunn av bevegelser i vann og gnissing mellom fisk, og ender opp i tinevannet. Siden tinevannet i stor grad resirkuleres så vil konsentrasjonen av bakterier øke, noe som vil føre til at bakterier trenger inn i produktet under tineprosessen. Eksponeringsgraden i tinevann (tinetiden) vil være helt

avgjørende for hvor mye bakterier som trenger inn i produktet. Dette har stor betydning for videre holdbarhet i kjølt tilstand.

**Kort oppsummert:** Tining er en langsom prosess som kan eksponere råstoffet for temperatur og bakterier, men ved kontrollerte betingelser kan radiofrekvensbehandling forenkle (splitte blokker) og forkorte (korte konvensjonell tining) den totale tineprosessen.

## 1.2 English summary

Seafood production from frozen raw material requires efficient and gentle thawing to achieve high quality and long shelf life. Since thawing is a slow process it is difficult to time it according to subsequent processing steps as well as fine-tuning the volume to the immediate processing needs. In recent years, radio frequency thawing has become available commercially and has been used, among other things, on minced (fish) products in Norway. The main objective of this project was to document and optimize RF processing and the subsequent thawing of frozen headed and gutted cod in terms of quality and yield. Two major experiments were planned and carried out under industrial conditions in Stamsund. In addition, in the period between the trials conducted with the industry, additional tests were done on a smaller scale using a smaller radiofrequency thawing machine at the Nofima location in Tromsø.

In the first industrial size experiment, conventional thawing (water thawing) was compared to a thawing process in which radiofrequency treatment was used to split the blocks followed by water thawing. Different analyses were done to document the process and the subsequent product quality. Some local overheated areas after radiofrequency treatment did not appear to affect either fillet yields or loin yields during production. Furthermore, radiofrequency treated cod blocks, which required a shorter subsequent water thawing, had a little longer shelf life during cold storage. This applied both to samples that went directly to refrigeration as well as samples that were frozen and then thawed again before cold storage.

Lab scale experiments were conducted to document various aspects of the radiofrequency technology. Results showed that it is possible to shield the fish blocks from edge-effects by using raw material that is placed in the front and back of the production stream. This material can be frozen and reused for same purpose (and consequently not for food). As long as the distances between the blocks are limited (<5 cm), the blocks on the belt will protect each other from edge-effects. Stacked blocks (double layer) makes it possible to reduce the speed and thus increasing the processing time, something which promotes better distribution of the absorbed energy. This will in turn reduce the chances of uneven heating through the radiofrequency treatment. The lab scale experiments also demonstrated that it is possible to adjust the amount of radiofrequency treatment prior to the final water thawing. For the total thawing process (radiofrequency treatment + water thawing) radiofrequency's contribution can vary from very limited to an impact that extends considerably more than is necessary for splitting the blocks. The results show that the process can be extended beyond this point without quality loss.

The impact of the final step (water thawing) was emphasized in the last industrial test. This step follows radiofrequency treatment and block splitting. Results from the first company test indicated that elevated temperature during water thawing reduced the shelf life during cold storage. So, in this experiment, identical radiofrequency treatment was applied to two groups with different water



thawing regimens. Here, a long (12 hours) water thawing at low temperature (3 °C) water thawing was compared to a short (3 h) water thawing at high temperature (12 °C). The results showed that the duration of water thawing affects shelf life, even more than the temperature during thawing. This is probably because bacteria on the surface of the fish are washed off and end up in the thawing water. Since the thawing water is largely recycled, the concentration of bacteria will increase with time. This will cause bacteria to contaminate the product during the thawing process, and the exposure (time) will probably weight heavily on the degree of contamination. It is reasonable to assume that the state of contamination is of vital importance for shelf life during cold storage.

**In summary:** Thawing is a slow process that exposes the raw material to elevated temperatures and bacteria, and appropriate radiofrequency treatment can simplify and shorten the overall process by enabling block splitting and by reducing the need of conventional thawing.

## 2 Innledning

### 2.1 Bakgrunn

Filetering av torsk og annen hvitfisk i Norge, er i betydelig grad basert på frosset råstoff (Egeness *et al.*, 2015). HG (Hodekappet og sløyd) torsk fryses inn i platefrysere gjennom fangstsesonen, og blokker på 40–50 kg tines normalt i kar eller spesialanlegg med vann og eventuell luftgjennomstrømning (Backi, 2017).

Det er flere forhold som er viktig for tinehastigheten. Tinemediet er kanskje det viktigste; varmeoverføring skjer normalt raskere i vann enn i luft, men temperaturforskjell mellom produkt og tinemedium også svært avgjørende. En annen faktor er bevegelse i tinemediet. For å unngå at temperaturforskjellen reduseres i overgangen mellom det som skal tines og tinemediet så settes tinemediet i bevegelse ved gjennomstrømning eller ved å boble luft gjennom tinekaret. En tredje faktor er overflateareal; jo større kontaktflate med tinemediet, desto raskere tining.

Tining av blokkfrost råstoff er utfordrende siden overflatearealet til en blokk er betydelig mindre enn det samlede arealet av de fisk som inngår i blokken. Torskeblokker er normalt cirka 10 cm tykke, og noen fisk i en blokk kan ligge slik at de i liten grad kommer i kontakt med tinemediet mens blokka er intakt.

Derfor brukes det gjerne ganske høye temperaturer i begynnelsen av et styrt tineforløp, for først å få «brutt opp» blokka. Gjerne temperaturer høyere enn 10 °C og selv om det kreves mye energi for å tine de ytre lagene av fiskemuskel, så medfører en slik behandling at fisk som ligger i ytterkanter og hjørner tiner før fisk som ligger «inni» blokka. Temperaturen i de områdene som får mest eksponering til tinevannet, kan nærme seg tinevannets temperatur. Det går sjelden ut over mattrykgheten, men det kan ha negative konsekvenser for kvaliteten på fisken.

Tining tar lang tid, og består av to ganske ulike trinn. Tineprosessen er derfor ofte vesentlig dårligere kontrollert og optimalisert i forhold til kvalitets- og utbytteparametere enn fryseprosessen. Dette har også sammenheng med at tiningen legger beslag på betydelige arealer/volumer, og tiden den tar begrenser muligheten for å systematisk tilpasse dette trinnet til påfølgende produksjon.

Det finnes alternative teknologier som kan brukes til tining av fisk og sjømat. En av de mest brukte er basert på dielektrisk oppvarming (Farag *et al.*, 2011). Ved å utsette en fryst blokk for et elektromagnetisk felt som overfører energi til vannmolekylene i produktet, varmes fiskeblokken «innenfra» og man unngår at varmetransporten blir hemmet av et lag av tint muskel (Backi, 2017). Denne teknologien brukes i dag industrielt i kjøttindustrien (Farag *et al.*, 2010), og til tining av fiskemasse til fiskematproduksjon.

I denne rapporten brukes «RF (radiofrekvens)-behandling» som betegnelse for prosesstrinnet som innebærer perioden produktet behandles i et elektromagnetisk felt. Begrepet RF-tining brukes dermed om en tineprosess som innbefatter RF-behandling etterfulgt av konvensjonell tining, til forskjell fra en ren konvensjonell tineprosess hvor all tining forgår i vann. Under RF-behandlingen forflyttes produktene gjennom en «tunnel» på et transportbånd mellom et sett med elektroder (metallstaver) som er posisjonert under og over båndet. Energimengden som produktet får tilført kan justeres ved å justere spenningen mellom elektrodene, og dessuten avstanden mellom dem. Behandlingstiden har

også betydning, og denne kan justeres ved å regulere hastigheten på båndet. Behandlingstiden kan også økes ved å forlenge tunnelen, for eksempel ved å sette sammen flere enheter etter hverandre og holde på opprinnelige hastighet. Typisk så ligger behandlingstiden for en kommersiell tempereringsprosess mellom 30 til 60 minutter. Disse betingelsene vil måtte tilpasses produkt og krav til tinegrad/slutt-temperatur. Det er flere faktorer som begrenser mengden energi som kan tilføres. Et høyt energifelt som kan skapes av høy spenning eller kort avstand mellom elektrodene kan igjen føre til ujevn oppvarming, overoppheting og i ekstreme tilfeller dannelse av gnister som kan sette fyr på emballasjen.

Løsningen ligger i en nøye tilpasning av RF-behandlingen ved å balansere oppvarmingen med konduksjon. Dette gir den tilførte varmen tid til å fordele seg i blokka gjennom prosessen. Dessuten kan man sannsynligvis ikke kjøre prosessen helt til alt vannet er tint, men bør stanse når gjennomsnittstemperaturen ligger noe under smeltepunktet for å unngå for ujevn oppvarming av produktet. Det innebærer at man etter RF-behandling må ha et trinn med tining i vann før videre prosessering.

Temperatur målt underveis i tineprosesser kan ha begrenset verdi siden det er relativt lite temperaturforandring i faseovergangen fra fast (is) til tint (væske). Det er under den første delen av tineprosessen temperaturfallet er størst, og ofte refereres denne delen til som temperering. For rent vann vil tempereringen først og fremst være en temperaturøkning til 0 °C, og dernest vil faseovergangen holde temperaturen stabil til alt vann er tint. For komplekse prøver, som fiskemuskel, er det en glidende overgang mellom temperaturøkning og tining (smelting av iskrystaller). Selv om temperatur ikke alltid gir et nøyaktig mål på hvor langt en tineprosess er kommet, så er temperaturen enkel å måle og er derfor den mest brukte målemetoden for å sjekke tinegraden i fiskeindustrien.

Sentrale målinger og analyser er relatert til kvalitet og utbytte under videre prosessering. Fisk som tines i luft vil miste væske både under tineprosessen (tinetap) og dernest under påfølgende kjølelagring (drypptap). Mengden væsketap har sammenheng med kvaliteten på råstoffet, innfrysingsprosessen og fryselagring, men også selve tineprosessen påvirker væsketapet. Hvis fisken tines i vann så vil det ikke være et netto væsketap gjennom selve tineprosessen. Fisken vil da ta til seg væske, og dette gjelder både for tining i ferskvann såvel som sjøvann. Hvis muskelstrukturen svekkes i noen av trinnene i frysesyklusen (innfrysing, fryselagring eller tining), så vil påfølgende væsketap gjøre seg gjeldende først fra og med prosesseringen starter (her filetering) og dernest ved kjølelagring. For vanntining kan derfor et rent tintetap bare beregnes om prøven er pakket før tineprosessen igangsettes. Det væsketapet som skjer under produksjon og ved kjølelagring påvirker utbyttet på fabrikken direkte, men det påvirker også den generelle kvaliteten og utbyttet som når fram til forbruker.

I et forforsøk som ledet fram til dette prosjektet, ble det gjort spektroskopiske målinger av RF-behandlet fisk som ble sammenlignet med konvensjonelt tint fisk. Resultatene av disse analysene viste at det er mulig å skille mellom de ulike tiningsregimene. Målingene ble utført med hyperspektral avbildning (HSA), som er ny teknologi med mange mulige anvendelsesområder. Den er basert på å måle hvor mye lys som blir absorbert på ulike frekvenser av fileten og med romlig informasjon (bilde). I motsetning til et tradisjonelt fargebilde er hvert punkt i bildet representert med et absorpsjonsspekter som dekker både synlig og nær infrarødt lys. Dette fungerer som et optisk «fingeravtrykk» som kan brukes til å identifisere kjemiske komponenter i en prøve. Teknologien kan også brukes til å kvantifisere hvordan lys spres i en prøve. Disse egenskapene forandrer seg blant annet når proteiner denaturerer, og dermed kan metoden brukes for å påvise denaturering i forbindelse med potensiell ujevn oppvarming.

## **2.2 Prosjektorganisering**

### **Prosjektleder (tilsagnsmottaker/ansvarlig organisasjon):**

- Nofima AS v/Svein Kristian Stormo

### **Prosjektgruppe:**

- Nofima AS v/Sven Kristian Stormo og Torstein Skåra
- Lerøy NS v/Steffen Andersen, Kristian Johansen og Kai Jensen

### **Styringsgruppe:**

- Steffen Andersen, Kristian Johansen og Kai Jensen (Lerøy NS)
- Frank Jakobsen (FHF)

### 3 Problemstilling og formål

#### 3.1 Målsetting

**Hovedmålet** med dette prosjektet var å dokumentere og optimalisere RF-behandling og påfølgende tining av blokkfrosset HG torsk (hvitfisk), med hensyn på kvalitet og utbytte.

**Delmål:**

- Minimere nødvendig tid i utjevningsskar
- Optimalisere råstoffets prosessbarhet – og dermed utbytte
- Dokumentere effekt på kvalitet og holdbarhet på sluttproduktet

#### 3.2 Næringsnytte

Kvalitet og tilgjengelighet på råstoffet som brukes i produksjon av hvitfiskprodukter er avgjørende for stabil leveranse og lønnsomhet. Siden den mest intense fangstsesongen for torsk er relativt kort er det vanskelig å videreforedle alt råstoffet underveis i sesongen. Tilgang på frosset råstoff utenom sesong vil kunne stabilisere tilgangen på råstoff slik at videreforedling kan forgå utenom sesong. Effektiv og skånsom tining er en flaskehals ved produksjon fra frossent råstoff.

Arbeidet i dette prosjektet ble i hovedsak utført hos Lerøy Norway Seafoods (LNS), som har installert RF-utstyr på et av sine fileteringsanlegg (Stamsund). Dermed har råstoff og prosesser direkte relevans til deres produksjon, og resultatene kan bli implementert umiddelbart i dagens anlegg. Den umiddelbare nytteeffekten vil tilfalle Lerøy Norway Seafoods, men på sikt kan dette arbeidet komme til nytte for hele næringen.

## 4 Prosjektgjennomføring

### 4.1 Gjennomførte forsøk

Det ble gjennomført 2 forsøk under industrielle betingelser i bedrift (Stamsund). Det ble lagt en forsøksperiode mellom industriforsøkene, der forsøk ble gjort i mindre skala på en innleid RF testmaskin hos Nofima i Tromsø.

#### 4.1.1 Forsøk i bedrift I

**Hovedmål:** Sammenligne tradisjonell vanntining med RF-tining.

##### Gjennomføring

Forsøket ble gjennomført i månedsskiftet januar/februar i 2018 med HG-blokker av torsk. Hver blokk er 100 x 50 x 10 cm og veier cirka 30 kg per stykk. 12 HG-blokker (fangstdato: februar 2017, totalvekt 367,5 kg) til vanntining. 12 HG-blokker (fangstdato: februar 2017, totalvekt 381.4 kg) til RF-tining.

##### Tining

Vanntining ble foretatt i skrutanker med vannsirkulering i 12 timer ved 6 °C. Fisken ble dernest overført og holdt på kjøletank (0–1 °C) 6 timer. Tankene (RoteX, Skaginn 3X, Island) hadde vannsirkulering gjennom hele forløpet. Tankene kan også brukes med luftsirkulasjon, men dette ble ikke benyttet i dette forsøket. Denne funksjonen er hyppigst brukt ved raske tineregimer med relativt høye temperaturer for å bryte opp blokker. Luften vil skape bevegelser i tanken og dette kan være nyttig for å unngå at blokker fryser sammen, men mye bevegelser kan også føre til at blokkene blir utsatt for mekanisk slitasje ved at blokkene kolliderer med hverandre og i veggene på tanken.

RF-tining bestod av RF-behandling etterfulgt av vanntining. RF-delen omtales gjerne som temperering fordi den vesentlige delen av temperaturøkningen (i tineprosessen) skjer i dette steget. Konseptet er at RF-behandlingen i første del av tineprosessen gjør at HG-blokken skal kunne splittes. I dette forsøket ble blokkene splittet umiddelbart etter RF-behandlingen og før vanntiningen, og enkeltfisk ble tint i 4 timer ved 6 °C, med moderat luftbobling. Dette gav tilstrekkelig med turbulens til å utjevne energinivået i tanken, men denne turbulensen er lavere enn hva man normalt sett ville ha brukt til å bryte opp en blokk. Fisken ble dernest overført og holdt på kjøletank (0–1 °C) i 1 time.

Fra og med kjøletanken ble gruppene behandlet identisk i resten av forsøket

##### Filetering og pakking

Fisken fra begge tinemetodene ble veid (samlet hver for seg) etter tining. Etter RF-behandlingen ble 10 fisk merket og veid før vanntining og dernest veid etter vanntining. Fileteringen ble gjennomført av LNS's personale, som var informert om at forsøk skulle gjennomføres, men som ikke var kjent med hvilket råstoff de bearbeidet. Under produksjonen ble alle sentrale produksjonsparametere (filetutbytte og loinsutbytte) registrert i LNS produksjonssystem. Vakuumpakkede prøver ble tatt ut fra produksjonen både i fersk og frossen tilstand. Disse ble transportert til Nofima i Tromsø for videre analyser (se 4.2).

#### 4.1.2 Modelforsøk i lab

**Hovedmål:** Undersøke effekten av ulike prosessbetingelser under RF-behandlingen.

##### Gjennomføring

Modelforsøkene ble gjennomført i april/mai 2018 hos Nofima (Tromsø) med en testmaskin fra Stalam (Figur 1). Denne maskinen er tilsvarende en fullskala RF-anlegg, noe som betyr at betingelsene i tinekammeret er likt sammenlignet med en industriell fullskalaversjon. Men, siden instrumentet er mindre i fysisk størrelse så er kapasiteten begrenset (7 kWh).



Figur 1 Stalam RF-testmaskin (7 kWh) leid for testforsøk i mindre skala.

Det ble brukt HG-blokker (fangstdato: februar 2018) som råstoff i disse forsøkene, og for de fleste forsøkene ble HG-blokker sagt opp i mindre deler (se Figur 2). Dette var hensiktsmessig både i forhold til forbruket av råstoff, men også for å kunne vakuumpakke prøvene for å måle væsketap etter tineprosessen..



Figur 2 HG-blokk delt i 10 x 10 x 50 cm før vakuumpakking og videre tining.

### **Kant-effekter**

Siden en stor del av RF-energien går vinkelrett inn i produktet så vil kanter og spesielt hjørner være fokusert i energifeltet, noe som kan føre til overoppheting i disse områdene. Det ble derfor gjort forsøk for å dokumentere hvilke konsekvenser denne effekten har på HG-blokker og for å utrede muligheter for å skåne blokkene for denne effekten.

### **Tykkelse på produktet (enkelt versus dobbelt lag blokker)**

RF-energien trenger mye dypere inn i produkter enn for eksempel mikrobølger, og ved å bruke to lag med HG-blokker kan man øke produksjonskapasiteten ved at dobbelt så mye råstoff sendes gjennom tinebåndet. I disse forsøkene ble energifordelingen mellom topp- og bunnblokk undersøkt.

### **Kombinasjon av RF-behandling og vanntining**

Siden RF-tining er en kombinasjon av RF-behandling etterfulgt av vanntining, så ble effekten av andel RF-behandling i forhold til vanntining undersøkt, spesielt med henblikk på væsketap og utbytte. Derfor ble prøvene tilført ulike mengder energi via RF før avsluttende vanntining.

### **Effekt av RF-behandlingstid**

Produsenten av RF-utstyret (Stalam) anbefaler at RF-behandlingen avsluttes ved cirka  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , som er litt lavere enn frysepunktet til torskemuskel. Det er litt usikkert hvorvidt denne anbefalingen er gitt for å unngå lokale varmpunkter (hot spots) eller fordi RF-maskinen mister effektivitet i denne delen av tineprosessen. I dette forsøket ble det brukt både kortere og lengre RF-behandling enn det som var anbefalingen fra utstyrproduzenten.

#### **4.1.3 Forsøk i bedrift II**

**Hovedmål:** Undersøke effekten av temperatur og tid under vanntiningen etter RF-behandling.

#### **Gjennomføring**

Forsøket ble gjennomført i november 2019 med 18 HG blokker (fangstdato: oktober 2019, totalvekt 518,5 kg) til sakte tining ved lav temperatur og 18 HG blokker (fangstdato: oktober 2019, totalvekt 515,5 kg) til rask tining ved høy temperatur.

#### **Tining**

RF-tining: I dette forsøket ble det brukt den samme RF-behandlingen for begge gruppene, som var tining av dobbelt lag blokker. Ved å kjøre dobbelt lag med samme hastighet på båndet som ved kjøring av et enkelt lag med blokker så vil produksjonen gjennom RF-maskinen dobles. Hvis hastigheten på båndet derimot halveres ved dobbelt lag så vil produksjonen være lik den opprinnelige, med enkelt lag med blokker. I dette forsøket ble dobbelt lag og redusert hastighet benyttet, og den lave båndhastigheten gir den tilførte energien mer tid til å jevne seg ut, noe som reduserer sannsynligheten for ujevn tining.

Vanntining: Etter RF-behandlingen ble den videre tiningen i vann gjennomført med to forskjellige prosesser. En kontrollgruppe ble inkludert for å sammenligne med den tinte fisken.

1. Sakte tining ved lav tinetemperatur: Tining i skrutanker (RoteX, Skaginn 3X) i 16 timer ved  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  med vannsirkulering. Fisken ble dernest overført til 1000L kar og holdt ved  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  6 timer.
2. Rask tining ved høy tinetemperatur: Tining i skrutanker (RoteX, Skaginn 3X) i 3 timer ved  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  med vannsirkulering. Fisken ble dernest overført til et utjevningsskar i 1 time ved  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
3. Kontrollgruppe: fersk fisk (post-rigor, 4 dager post mortem).



### **Filetering og pakking**

Fisken i begge gruppene ble veid (samlet) etter tining. Fileteringen ble gjennomført av LNS's personale, som var informert om at forsøk skulle gjennomføres, men som ikke var kjent med hvilket råstoff de bearbeidet. Under produksjonen ble alle sentrale produksjonsparametere (filetutbytte og loinsutbytte) registrert i LNS produksjonssystem. Vakuumpakkede prøver ble tatt ut fra produksjonen i tint tilstand (gruppe 1 og 2) samt fersk (kontroll). Disse ble transportert til Nofima i Tromsø for videre analyser (se 4.2).

## **4.2 Metoder brukt i prosjektet**

Metodene som er benyttet er vurdert til å gi best mulig svar på problemstillingene i prosjektet.

### **4.2.1 Vektforandringer og væsketap**

HG-blokker som tines i vann får en netto vektøkning gjennom tineprosessen, og denne ble dokumentert ved å veie blokkene (samlet) før tining og dernest etter tining (samt trekke fra vekten av emballasjen). For blokker som var pakket før tining, noe som gjelder både for vakuumpakkede loinsstykker og kappede HG-blokker, ble det alltid registrert et netto vekttap ved tining (tinetap). Denne væsken ble samlet i forpakningen og kunne således veies slik at prosentvis tinetap kunne beregnes. I alle forsøk som involverte væsketap ved kjølelagring ble prøvene pakket slik at væsketapet ble samlet i forpakningen.

### **4.2.2 TVN (Totalt Flyktig Nitrogen)**

Under lagring av fisk vil både biokjemiske og mikrobielle forringelsesprosesser medføre økning i mengden av flyktige nitrogenforbindelser. Totalt flyktig nitrogen er derfor betraktet som et nyttig mål for kvalitetsendringer i fersk fisk, spesielt hvitfisk. TVN-Analysen baserer seg på at flyktige nitrogenforbindelser skilles ut fra fiskemuskelen ved tilsetning av MgO som er en sterk base. Når pH øker omdannes  $\text{NH}_4^+$ -ionene i fiskemuskelen til ammoniakk ( $\text{NH}_3$ )-gass, som er flyktig. Ammoniakk-gassen løser seg lett i vann og destilleres over i en borsyreløsning hvor ammoniakken bindes som ammoniumborat, og mengden ammonium bestemmes ved å titrere løsningen med en HCl-løsning. Det ble utført tre replikate uttak per homogeniserte prøve og gjennomsnittsverdier og standardavvik ble beregnet på grunnlag av disse.

### **4.2.3 Termografi og temperaturlogging**

Til temperaturmålingene under RF-behandlingen ble det brukt optiske temperaturfølere. Dette var av typen fiber optic signal conditioner UMI-8 (8 kanaler) med tilhørende sensorer (Fiber Optic Temperature Sensor - FOT-L-SD-C1-F1-M2-R1-ST, FISO, Quebec, QC, Canada)). Dette fordi konvensjonelle temperaturprober (av metall) ikke kan brukes i elektromagnetiske felt. Konvensjonelle temperaturloggere (176T4, Testo, Titisee-Neustadt, Germany) ble brukt til logging av temperatur under vanntining, og termometer (Testo 735) ble brukt til målinger direkte i produktet underveis i prosessen.

Et IR kamera (870-2, Testo) ble benyttet til å overvåke og dokumentere RF-behandlingen umiddelbart etter at prosessen var ferdig. Termografi er en rask og anvendelig metode for å dokumentere temperaturen på overflaten, og kan effektivt detektere overopphetede områder.

#### 4.2.4 Tørrstoff og aske

Vanninnholdet i fiskemuskel bestemmes gjerne ved analyse av tørrstoff. Det er viktig å ha kontroll på denne parameteren ettersom den kan ha betydning for væsketap etter prosessering. Tørrstoff ble bestemt gravimetrisk etter tørking ved 105 °C i 24 timer. Aske er et mål på mengde mineralsalter, men gir i disse forsøkene først og fremst et mål på forandring av mengde NaCl (natriumklorid) i disse prosessene. Asken ble bestemt gravimetrisk etter cirka 24 timer ved 550 °C.

#### 4.2.5 Spektroskopi

Siden dielektrisk tining kan gi ujevn energifordeling, så ble denne metodikken videreført i det første bedriftsforsøket (4.1.1) for å få en avklaring på hvorvidt dette er et problem ut over «hot spot»-områder som kan opptre langs kanter og hjørner. Derfor ble prøvene delt opp slik at det ble mulig å avbilde først og fremst den indre strukturen av fiskemuskel.

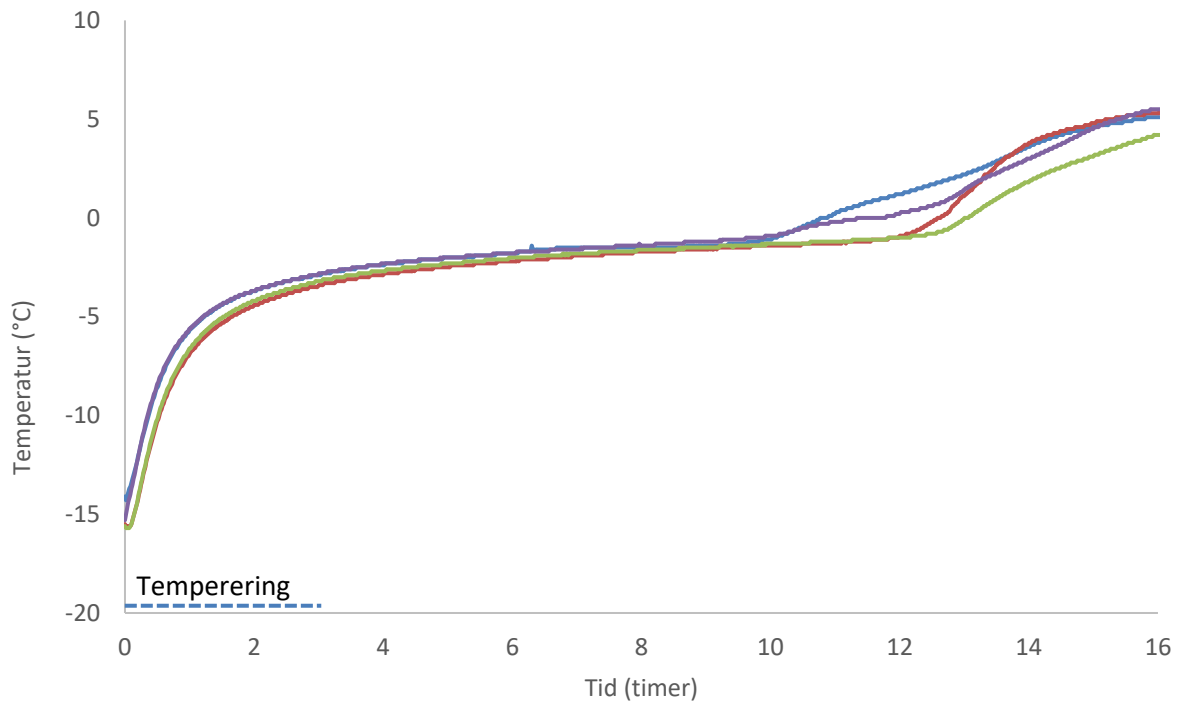
Ved hjelp av hyperspektral avbildning kan hele fileter avbildes spektralt på et transportband. Systemet ble kjørt i interaktansoppsett, det vil si at ikke bare overflaten til fileten blir inspisert, men at lyset tvinges til å bevege seg et stykke inne i fileten. Den avbildende spektrografen registrerer hvor mye lys som kommer ut av fileten midt mellom to lysstriper, og dette gjøres for ulike bølgelengder. Lyset er skjermet slik at det lyset som vises mellom lysstripene kommer fra innsiden av fileten. Etter hvert som fileten passerer måleområdet (hastighet på 40 cm/sekund) bygges det opp et bilde av fileten med høy romlig oppløsning (0,5 x 1,0 mm<sup>2</sup>), hvor hver piksel består av et fullt spektrum som karakteriserer fileten i dette punktet. Basert på de målte spektrene kan det utvikles matematiske modeller for restholdbarhet eller estimeres romlig fordeling av fettinnhold og blodmengde i filet. En nærmere beskrivelse av måleoppsettet er gitt i Sivertsen *et al.* (2011).

## 5 Resultater og diskusjon

### 5.1 Forsøk i bedrift I

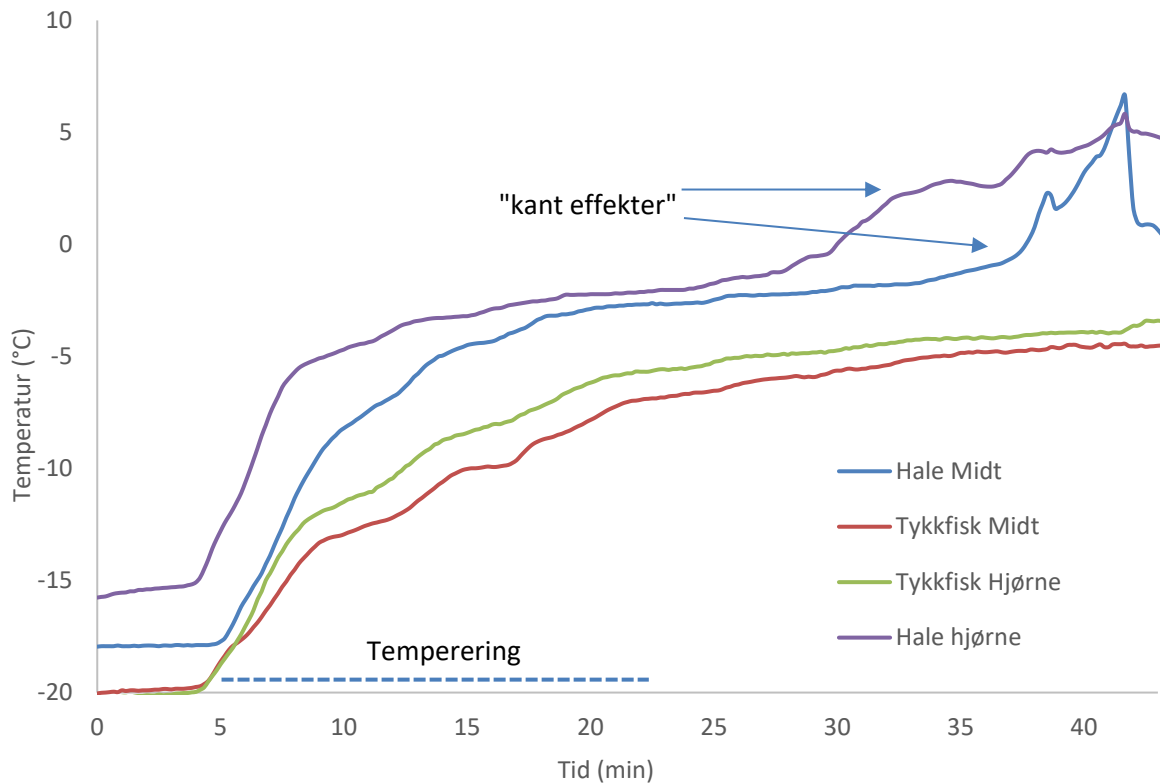
#### 5.1.1 Temperatur og tineprosess

Temperaturloggingen viser at det for vanntining er en markant temperaturøkning (temperering) av blokken som flater ut etter 2–3 timer (Figur 3). Resten av forløpet, fram til 10–12 timer, er dominert av faseovergangen fra is til vann der temperaturen ikke forandres før produktet er ferdig tint.



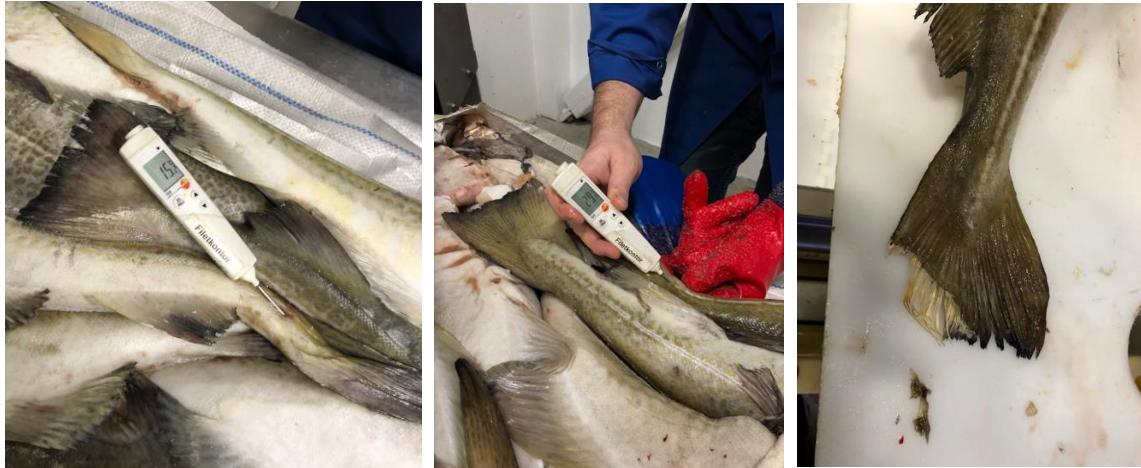
Figur 3 Kjernetemperaturen i 4 fisk under vanntining av HG-blokk ved 6 °C med vannsirkulering.

Til sammenligning så er den første tempereringsdelen i RF-behandlingen mye kortere, cirka 15–20 minutter (Figur 4), og i siste del av RF-behandlingen vil energien brukes til faseovergangen.



Figur 4 Temperaturforløpet i ulike deler av en HG-blokk gjennom RF-prosessen.

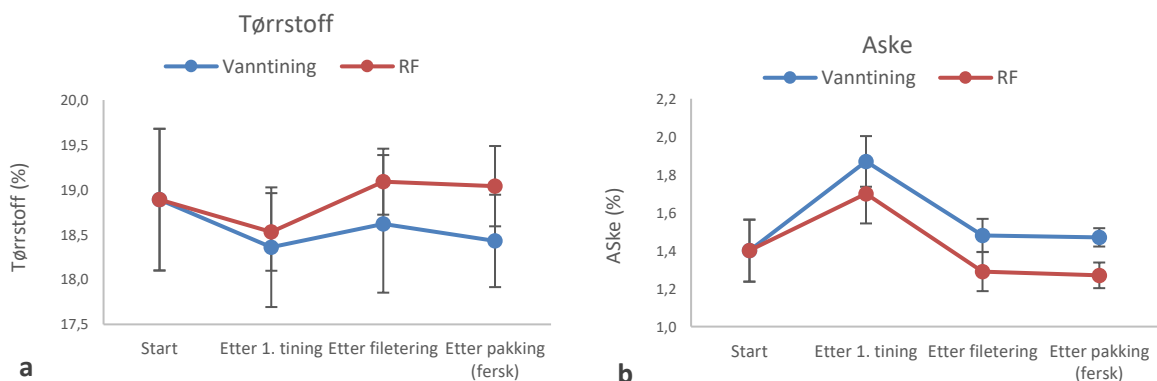
I denne delen av RF-behandlingen kan noe av energien fordeles ujevnt i produktet. Dette kan skje på bakgrunn av ujevnheter i produktets geometri eller sammensetning. Høyere opptak av energi langs kanter og i hjørner er nærmere beskrevet i modellforsøkene (5.2.1), og liknende effekter kan forekomme lokalt i HG-blokker. Dette rammer først og fremst strukturer som «stikker ut» av blokka og dermed gir flere retninger for RF-energien å gå inn i produktet samtidig. Et høyt tørrstoffinnhold vil også øke energiopptaket gjennom en slik prosess, og et produkt med ujevn vannmengde vil kunne gi opphav til ujevnt energiopptak. I en HG-blokk vil halene ofte være mest eksponert siden flere av sidene vil være eksponert ut i luft samtidig som mengden tørrstoff via bein og skinn vil være relativt sett høyere enn for den tykkere delen av fisken. Utfordringer med halestykkene ble dokumentert ved temperaturmålinger under prosessen (Figur 4), samt at dette kunne observeres som synlige merker eller forhøyede temperaturer i etterkant av prosessen (Figur 5). Det er verdt å bemerke at på tross av den lokale overopphetingen som ble observert så var ikke den samlede effekten av den stor nok til at dette påvirket produktet i den videre prosesseringen.



Figur 5 Illustrerer utfordringer med fiskehaler i RF-behandlingen.

### 5.1.2 Tørrstoff og aske

Tørrstoffinnholdet varierer gjennom produksjonen (Figur 6a). Hovedtrenden viser at det vanntinte råstoffet har lavere tørrstoff og dermed høyere vanninnhold enn det RF-tinte, noe som tas opp i mer detalj i neste kapittel (5.1.3). Askeverdiene ble i dette forsøket brukt til å overvåke saltinnholdet, og igjen, de overordnede trendene gir mer nyttig informasjon enn enkelt-uttak. Trenden er at vanntint råstoff har høyere saltinnhold enn det RF-tinte (Figur 6b).



Figur 6 Verdier for tørrstoff (a) og aske (b) som ble målt ved ulike stadier i produksjonen.

Siden det vanntinte råstoffet har vært eksponert for sjøvann mye lengre enn det RF-tinte så har mer salt trengt inn i produktet. Det kan synes som om uttak 2 har unormalt høyt askeinnhold i forhold til påfølgende uttak, og dette kan mest sannsynlig forklares av måten prøvene ble tatt ut på. For de 2 første uttakene ble prøver kuttet fra hel fisk (V-kutt) hvor en stor del av prøven således blir nært skinnsiden. Siden saltinntrengningen skjer fra skinnsiden så vil muskel nært skinnen inneholde mer salt. De påfølgende uttakene ble gjort fra skinnfri loin og ikke i et V-kutt, dermed vil andelen muskel være jevnere fordelt i forhold til avstanden til skinnsiden. Den relative forskjellen av aske (salt) mellom disse tineregimene ser ut til å være jevn gjennom hele prosessen.

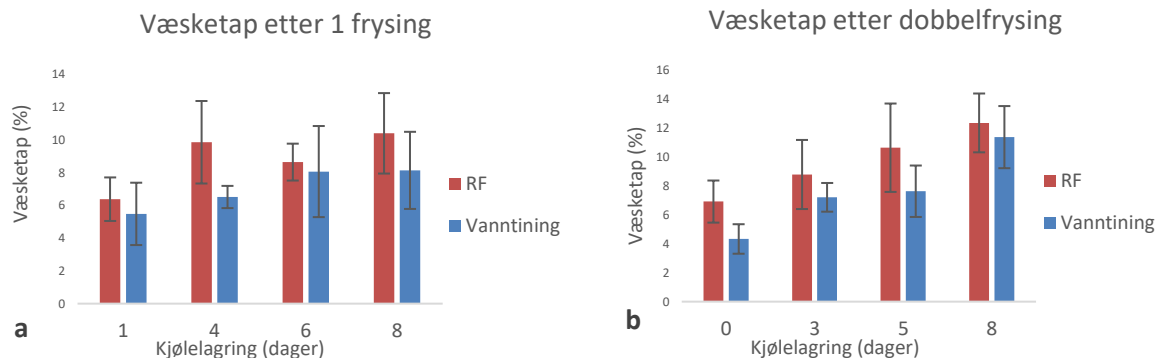
### 5.1.3 Vektendring ved tining og drypptap ved kjølelagring

Begge tineregimene gav økt vekt gjennom tineprosessen (Tabell 1), og vanntiningen gav cirka dobbelt så mye vektøkning som RF-tiningen. Dette kan forklares ved at det vanntinte råstoffet var mye lengre eksponert i sjøvann (16 timer vanntint mot 4 timer RF-tint). Det ble ikke observert noen forskjeller mellom tineregimene i den videre produksjonen i fabrikken. Noen av operatørene kommenterte at noe av det RF-tinte råstoffet virket litt stivere enn det vanntinte råstoffet, men dette hadde ingen effekt på filet- og loinsandel (Tabell 1). For å være sikre på at vi skulle kunne dokumentere utbyttet på fabrikken underveis i prosessen, ble 10 fisk merket og veid etter RF-behandling og blokkbryting. Disse ble veid på nytt etter påfølgende vanntining og utjevning. Resultatene viste en vektøkning på 1,08 %, som er i god overenstemmelse med vektendringen av det totale råstoffet (0,94 %).

Tabell 1 Vektforandring under tining og utbytte etter filetering.

Tinemetode	Startvekt (kg)	Vekt etter tining (kg)	Δ Vekt-endring (%)	Filetandel (%)	Loinandel (%)
Vann	367,5	374,0	1,80	65,9	51,7
RF	381,4	385,0	0,94	65,2	51,5

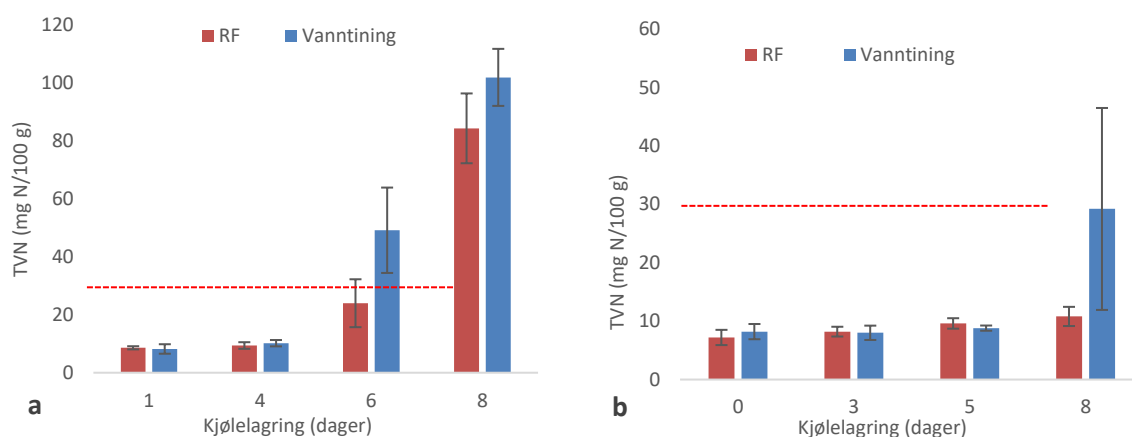
Etter vakuumpakking ble noen prøver holdt kjølelagret og det påfølgende væsketapet registrert etter 1, 4, 6 og 8 dager. For begge tine-regimene økte væsketapet under lagringsforløpet, men RF-tint råstoff mistet mer væske enn det vanntinte (Figur 7a). Den samme trenden gjaldt også for prøver som hadde vært gjennom en ekstra frysesyklus (Figur 7b). Væskeslipp i forbindelse med fryseprosesser kan i stor grad forklares ved dannelsen av iskrystaller i fryseprosessen. Egenskaper ved krystallstrukturen kan forklare økt væskeslipp, og dannelse av store krystaller kan skje både ved innfrysing og tining (via rekrystalliseringer), og iskrystaller kan også omformes (vokse i størrelse) under fryselagring. I dette forsøket var det ikke lagt inn en lang fryselagringsperiode og tiningen av pakkeprøver var identisk for begge grupper. Når det gjelder effekten av størrelsen på iskrystaller og rekrystalliseringer så kan dette forklare det generelle væsketapet for begge gruppene, samt den lille forskjellen mellom enkelt og dobbeltfrosset råstoff (Figur 7 a mot b). Men, siden denne effekten ser ut til å være nokså begrenset tyder dette på at det kan være andre faktorer som skiller RF-tining fra vanntining. En mulig forklaring kunne være denaturering som en konsekvens av ujevn RF-behandling. Av den grunn ble spektroskopi brukt for å dokumentere tilstanden inni prøvene, men metoden kunne ikke påvise forskjeller i denaturering (se 5.1.5). Mest sannsynlig kan forskjellen i væskeslipp forklares av at de vanntinte prøvene hadde lengre oppholdstid i sjøvann og dermed ble tilført en høyere mengde salt (Figur 6) gjennom tineprosessen. Økt saltinnhold vil dermed bidra til at vannet bindes mer effektivt i fiskemuskel under kjølelagring.



Figur 7 Væsketap for prøver kjølelagret etter filetering og pakking (a) og prøver som ble frosset tint i pakke og deretter kjølelagret (b).

### 5.1.4 Holdbarhet ved kjølelagring (TVN)

TVN har sammenheng med mikrobiell nedbrytning og kan brukes som en indikasjon på mikrobiell tilstand for fiskeprøver. Analysen korrelerer dessuten bra med forbrukerens oppfatning av kvalitet basert på lukt. TVN-resultatene viser at det er forskjell på holdbarheten for disse 2 tineregimene. RF-tining gir mindre flyktig nitrogen for prøver som er frosset både 1 og 2 ganger. I forhold til mikrobiell aktivitet så er RF-tiningen mye raskere og fisken holdes i forhøyet temperatur i en mye kortere periode (4 timer) enn for vanntiningen (12 timer<sup>1</sup>). En ekstra frysesyklus forlenget holdbarheten for begge tineregimene (Figur 8b). Sammenlignet med råstoffet som ble kjølelagret direkte etter filetering og pakking så hadde prøvene med en ekstra frysesyklus vesentlig lavere TVN-verdier i en 8 dager lagringsperiode. Dette kan ha sammenheng med at innfrysingen kan ha ødeleggende effekt på bakteriemembraner (Lee & Levin, 2007), noe disse resultatene gir en indikasjon på. Dette forsøket gir ingen svar på hvorvidt dette er en effekt som vil vedvare over lengre tids fryselagring. Dette er en relevant problemstilling, spesielt for produkter som fryses 2 ganger.

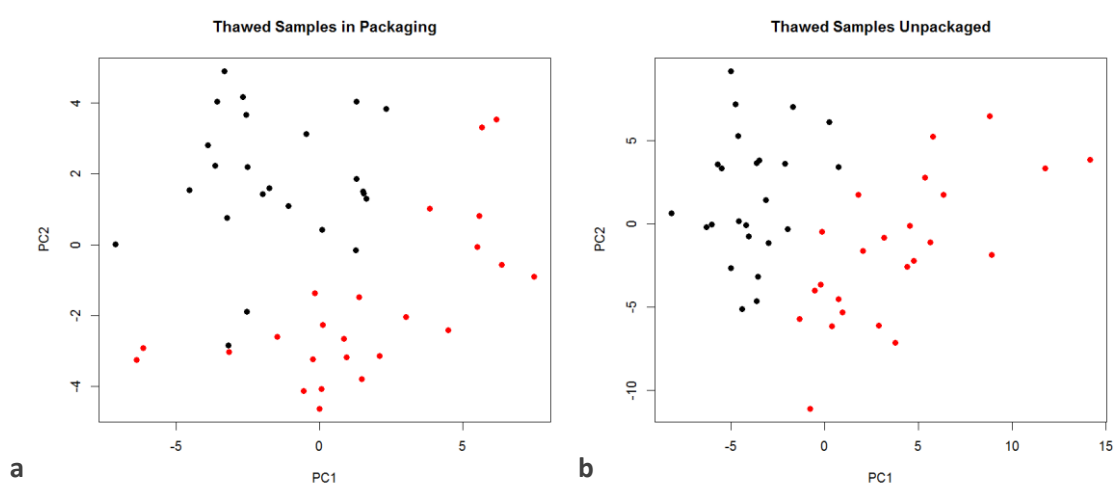


Figur 8 Total flyktig nitrogen (TVN) i prøver kjølelagret etter filetering og pakking (a) og prøver som ble frosset tint i pakke og deretter kjølelagret (b). Anbefalt grense for TVN (30 mg N/100 g) er markert med rødt stiple linje.

<sup>1</sup> På dette tidspunktet ble det antatt at temperaturen hadde mest innvirkning på holdbarhet.

### 5.1.5 Spektroskopi

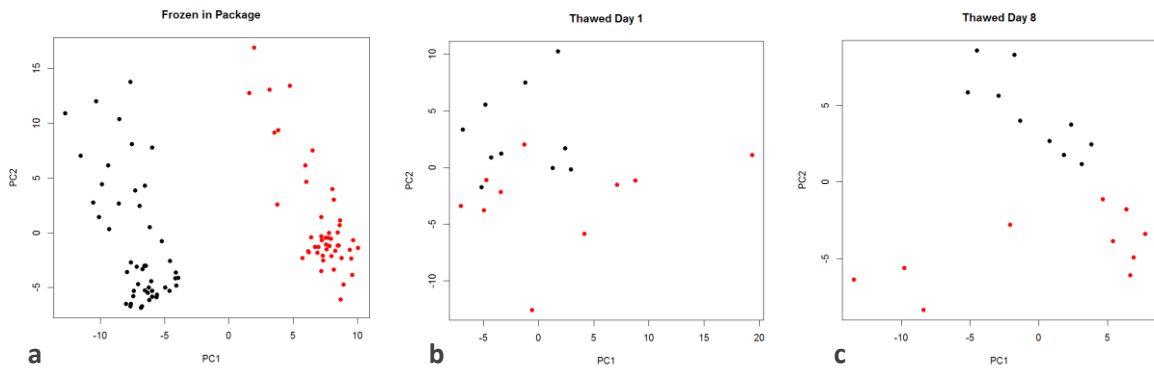
Hyperspektral bildeanalyse er en metode som ble brukt i et RF-tine-eksperiment som ledet frem til dette prosjektet. Med utgangspunkt i bilder tatt med et spektroskopisk kamera, kunne man skille mellom prøvene ut fra hvordan de var tint ved bruk av multivariat statistikk. I dette forsøket ble denne analysen brukt som et verktøy for å belyse hva som skjer i tineprosessen, spesielt ved bruk av dielektrisk (RF-felt) energi. Hvis prosessen medfører at energi absorberes ujevnt, så vil spektroskopi kunne fange opp endringer som er «usynlig» for øyet. Måten disse dataene analyseres på refereres ofte til som black-box analyser, og via metoder som PCA (principal component analysis) kan mange variabler kombineres i analysen og man kan få hentydning om hvilke variabler som gjør modellen robust. Dette kan gi informasjon om hvilken tilstand prøven er i. PCA-analyser viste at det er fullt mulig å predikere tinemetode både når fisken ligger i pakke (Figur 9a), og predikasjonen blir enda mer nøyaktig når stykkene tas ut av pakken og fiskestykkene blir delt opp og analysert i midten av muskelen.



Figur 9 Score-plot for PCA-analyser gjort for prøver analysert i (vakuum)pakken (a) og tilsvarende prøver hvor pakningen er fjernet og prøven er delt opp for analyse av midt-delen (b). Plottene viser separasjon mellom vanntinte (svart) og RF-tinte (rød) prøver.

Den beste predikasjonen ble oppnådd når prøvene ble analysert i frossen tilstand i frysesyklus 2 (Figur 10a). I tint tilstand ble separasjonen mellom gruppene best etter 8 dagers lagring (Figur 10b-c). Gjennom bearbeiding av de spektroskopiske dataene ble det klart at det var lite som tydet på at de underliggende modellene var bygget på effekter som hadde sammenheng med denaturering. Det er stor sannsynlighet for at PCA-modellene gjenspeiler mengde vann i prøvene, noe som harmonerer bra med det faktum at prøvene inneholdt ulike mengder vann etter tining (Figur 6) og etter påfølgende kjølelagring (Figur 6). Siden vannmengden i prøvene ble analysert via andre og mer nøyaktige metoder valgte man å ikke fortsette med disse typene analyser videre i prosjektet.





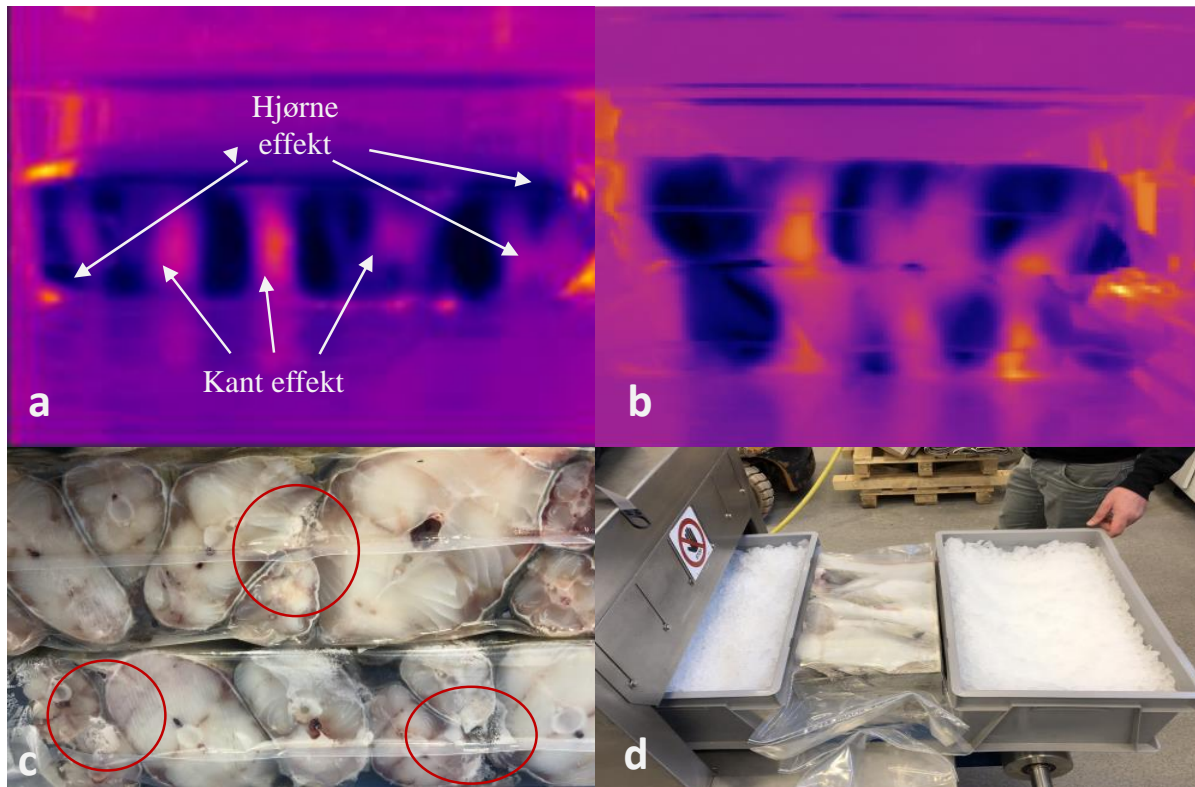
Figur 10 Viser score-plot for PCA-analyser gjort for prøver med ekstra frysesyklus. Alle prøvene var analysert i pakken. Analysene ble gjort på frosne prøver (a), like etter tining (b) og etter 8 dager kjølelagring (c). Plottene viser separasjon mellom vanntinte (svart) og RF-tinte (rød) prøver.

## 5.2 Modellforsøk i lab

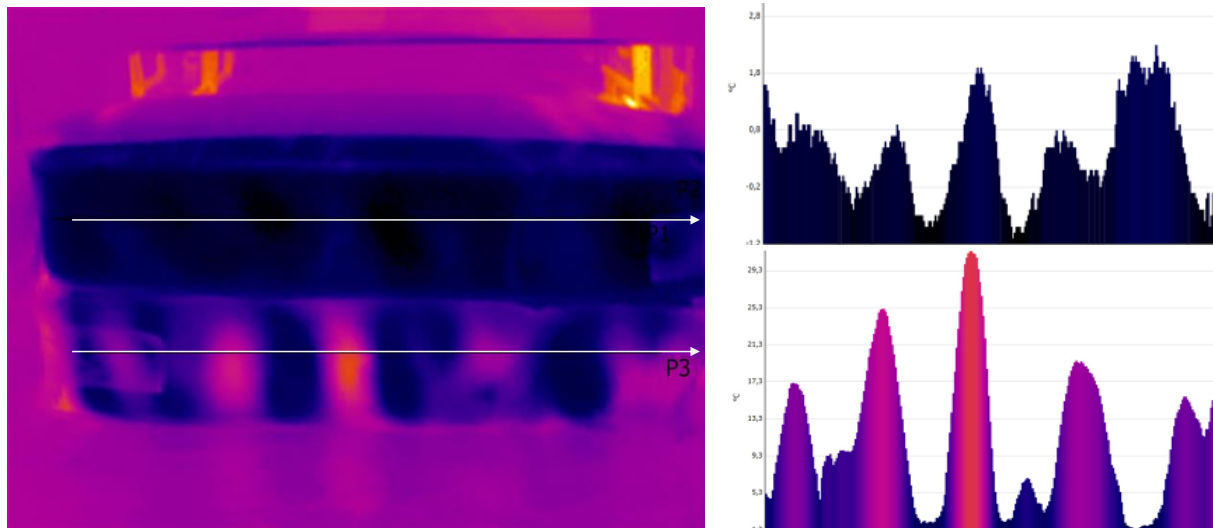
### 5.2.1 Kant effekter og stabling av blokker

Kant-effekter er et velkjent fenomen i dielektrisk oppvarming. Effekten gjør seg gjeldende både langs kanter og i hjørner. Under radiobølgetining ser man dette spesielt i de første og siste blokkene av et tineparti. Det kan også inntreffe dersom blokkene har ujevne kanter, eller områder (f.eks. sporer) som stikker ut. Dette kan ramme produksjonen ulikt ut fra hvor mange blokker som danner front og avslutning samt hvor stor andel disse blokkene er av det totale partiet. Under full produksjon vil denne andelen være liten. Våre forsøk viste at disse effektene typisk forekommer i hjørnene av blokkene og at kanteffekten også kan opptre tidvis ujevnt langs kanten av blokkene (Figur 11a). Disse effektene kan føre til overoppheting som kan gi synlige områder som er denaturert og fremstår som kokt (Figur 11c). Det ble ikke observert synlige forskjeller mellom topp- og bunnlag når blokker (2 lag) ble stablet i høyden (Figur 11b). Det ble gjort forsøk for å dokumentere hvorvidt det er forskjell i tinegrad mellom topp- og bunnblokk når blokker stables i dobbelt høyde ved tining. Hverken termografi eller temperaturmålinger avslørte vesentlige forskjeller. Det er verdt å nevne at temperaturmålinger av et slikt produkt vil variere mye ettersom produktet har ujevn sammensetning. I tillegg så vil ikke temperaturen gi nøyaktig mål på tinegrad om temperaturområdet hvor faseovergangen mellom is og vann skjer (-1 til 3 °C).

For å redusere belastningen forårsaket av kanteffekter ble det gjort forsøk med å skjerme kantene med iskasser (Figur 11d), men absorpsjonen i iskassene var ikke tilstrekkelig til å beskytte kantene på blokkene. Det viste seg at det mest effektive beskyttelsen var å bruke blokker eller deler av blokker som etter kjøring kunne frys og brukes på nytt. Effekten av å beskytte kantene kan være avgjørende siden temperaturene i kanter og hjørner kan bli høy. Forskjellen mellom blokken som beskytter, og dermed absorberer energi, og påfølgende råstoff er illustrert i Figur 12. I dette forsøket viste termokameraet temperaturer opp mot 30 °C for den første blokken (beskyttelse), mens temperaturen var lavere enn 2 °C i alle punkter i den påfølgende blokken.



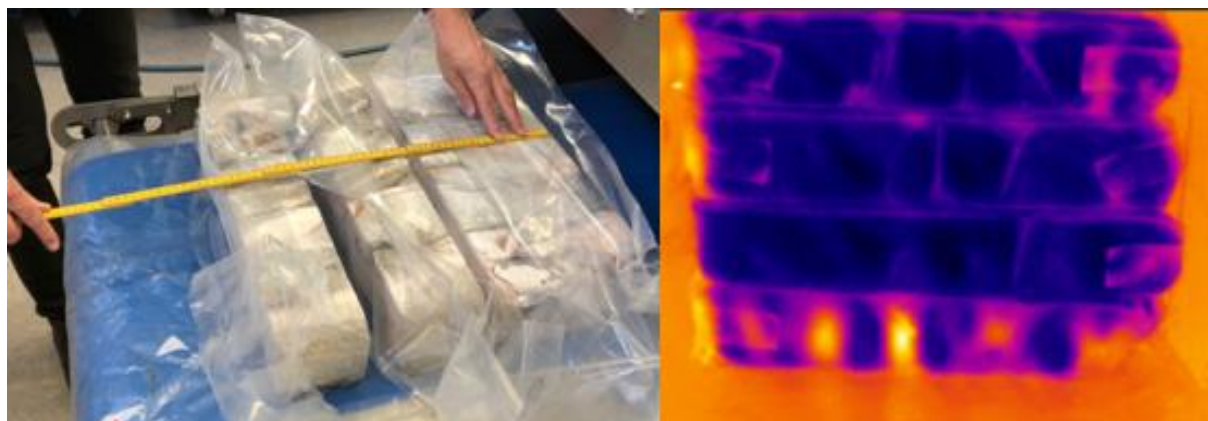
Figur 11 Kant- og hjørneeffekter for enkeltblokk (a) og dobbeltblokk (b) illustrert via termografiske bilder. Kanteffekter langs blokken er markert (c). Kanteffekter ble forsøkt redusert ved bruk av iskasser (d).



Figur 12 Termografiske bilde som viser beskyttelsesblokk (nederst) og den påfølgende blokken. Overflatetemperaturen for begge blokkene er vist til høyre.

Når fiskeblokker legges kontinuerlig på båndet under produksjon så vil hver enkelt blokk beskytte omkringliggende blokker mot ujevnt energioptak forårsaket av kanteffekt. Kanteffekter kan imidlertid gjøre seg gjeldende mellom blokker hvis avstanden mellom blokkene blir for stor. Ujevnheter i blokkens geometri og uregelmessig lasting på båndet vil kunne gi opphav til åpne områder mellom blokkene. Våre undersøkelser viser at ved standard tinebetingelser så vil avstander opp mot 6

cm ikke gi opphav til problematiske kanteffekter (Figur 13). Dette tilsier at kanteffekter i liten grad vil være en utfordring midt i tinepartiet.



Figur 13 Forsøk for å dokumentere kant effekter mellom blokker ved RF-behandling. Termografiske bilder til høyre viser overflatetemperaturen for blokkene like etter prosess (beskyttelses blokk nederst).

### 5.2.2 Kombinasjon av RF-behandling, vanntining og utvidet RF-behandling

En RF-tineprosess for HG-blokker må avsluttes med konvensjonell tining før videre prosessering. Dette er fordi temperaturen i fisken må være jevn og fisken tint helt inn til ryggbeinet før filetering. Siden vanntining er det mest opplagte alternativet til RF, så er kombinasjon av RF og dernest vanntining som en avslutning et naturlig valg. I de påfølgende forsøkene var hovedmålet å dokumentere hvorvidt det finnes en balanse mellom disse trinnene som vil gi det beste resultatet. Bidraget fra RF-behandlingen kan erstatte deler av vanntine-prosessen og omvendt. Dette forsøket skulle avdekke om det hadde negative konsekvenser dersom RF-behandlingen ble forlenget, på bekostning av vanntiningen.

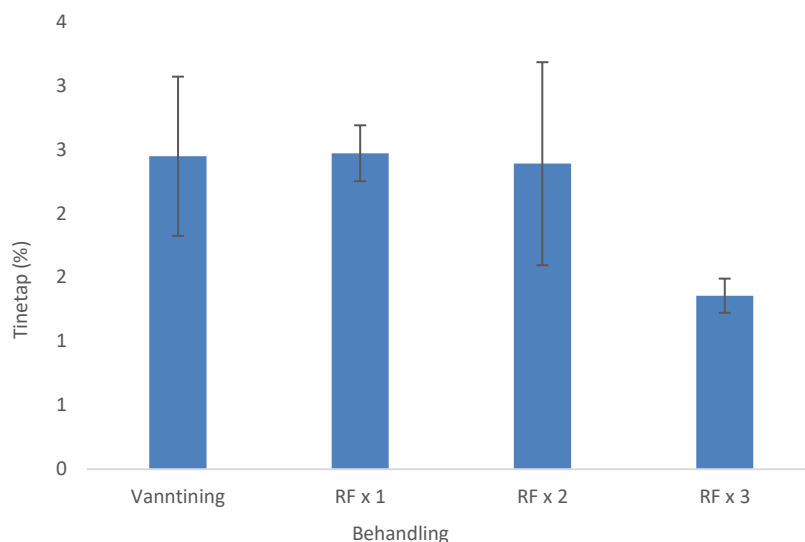
#### Forsøk I

Tabell 2 Viser kombinasjon av RF-behandling og vanntining samt temperatur målt etter RF-behandling og utjevning.

Behandling	RF	Vanntining (6 °C)	T etter RF	T etter utjevning
Vanntining	-	4,5 t	-	-0,7
RF x 1	16,7 min	3,0 t	-5,0 °C	-0,7
RF x 2	2 x 16,7 min	1,5 t	-2,9 °C	-0,8
RF x 3	3 x 16,7 min	-	-2,4 °C	-0,8

Siden den industrielle prosessen (Stamsund) er en kontinuerlig prosess fordelt på 3 RF-enheter, ble det valgt å dele prosessen i 3 deler også under modellforsøkene. 3 x RF representerer dermed den konvensjonelle tineprosessen på fabrikken. I dette forsøket ble deler av RF-behandlingen erstattet med utvidet vanntining (oppsummert i Tabell 2). Med blokker på 10 x 10 x 50 cm (vakuumpakket) tilsvarte hele RF-behandlingen cirka 4,5 timer vanntining ved 6 °C, og de valgte kombinasjonene av RF og vanntining gav svært jevnt tineresultat (temperatur etter tining lå mellom mellom -0,7 og -0,8 °C for alle grupper) etter utjevning ved 0 °C over natt. Temperaturen i alle prøvene lå like over frysepunktet til fiskemuskel (ca -1 °C) og prøvene fremstod som gjennomtinte. Temperaturen etter RF-behandlingen økte naturlig nok etter hver runde og endte etter 3 runder i det området hvor temperaturen i stor grad flater ut (mellom -2 og -3°C). Når det gjelder tinetapet så var det bare gruppen

med full RF-behandling (3 x RF) som skilte seg ut. Tinetapet var stabilt og relativt lavt (< 3 %) for de andre gruppene også. Det lave væskeslipet for gruppen med full RF-behandling ble derfor ansett som så interessant at det ble foretatt nye forsøk for å følge opp dette (forsøk II og III). I motsetning til tiningen som ble foretatt ved industrielle betingelser så var det i modellforsøkene mulig å beregne tapet av væske gjennom tineprosessen. Dette fordi prøvene (i modellforsøkene) ble vakuumpakket før tiningen fant sted.



Figur 14 Tinnetap etter ulike tineregimer der tiden med RF-behandling ble variert.

## Forsøk II

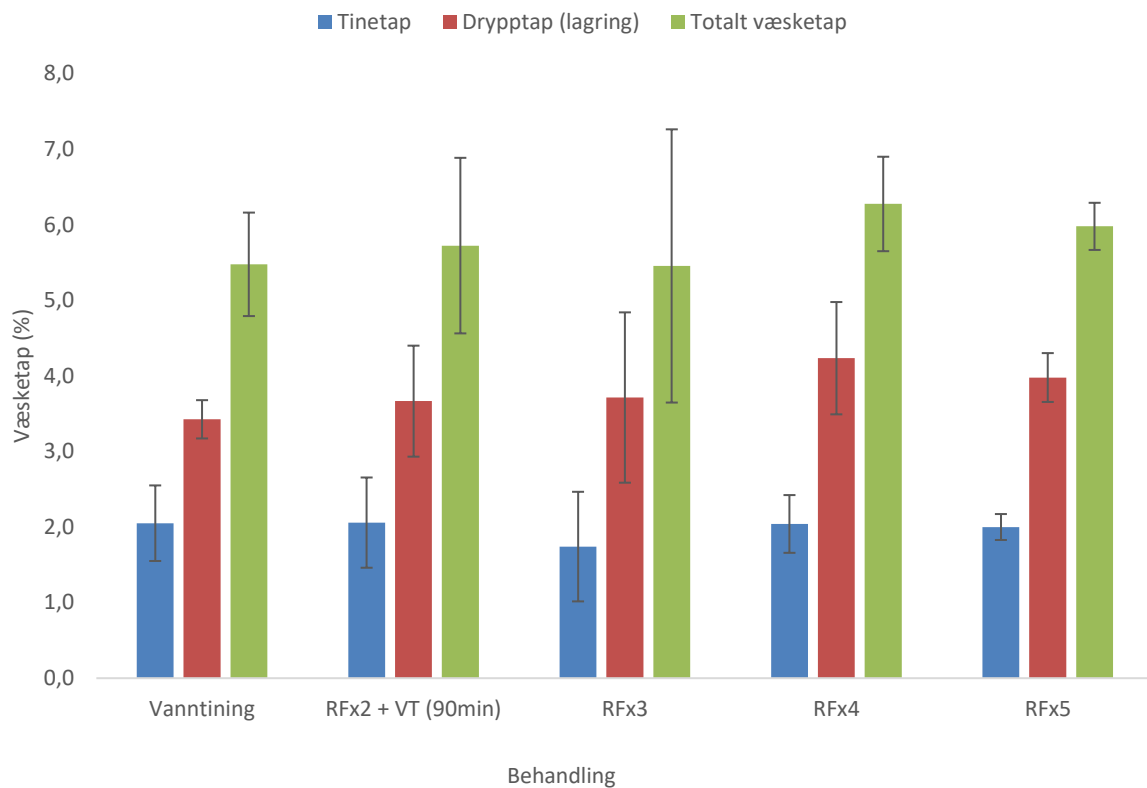
I dette forsøket var tineresultatet, som for forsøk I, svært jevnt etter utjevning. Prøvene fremstod som jevnt tint, med lav temperatur (-0,9 til -1,1 °C, Tabell 3).

Tabell 3 Kombinasjoner av RF-behandling og vanntining der RF-behandlingen var tatt 2 ekstra steg i forhold til normal prosess. Temperatur ble målt etter R-behandling og utjevning.

Behandling	Tid i RF (min)	Temperatur etter RF (°C)	Vanntining (6 °C) (timer)	Temperatur etter utjevning (°C)
Vanntining	-	-	4,5 t	-1,0
RF x 2	2 x 16,7	-4,0	1,5 t	-0,9
RF x 3	3 x 16,7	-2,2	-	-1,0
RF x 4	4 x 16,7	-2,0	-	-1,1
RF x 5	5 x 16,7	-1,6	-	-1,0

Umiddelbart etter RF-behandlingen fremstod prøvene nokså like, men den målte kjernetemperaturen økte med antall runder med RF-behandling. I dette forsøket ble det i tillegg til å måle tinetapet også målt væsketap etter påfølgende kjølelagring (ofte omtalt som drypptap). Resultatene viste lite forskjell mellom gruppene for både tinetap og drypptap (Figur 15). Tinetapet representerer et direkte utbyttetap under produksjon av frosset råstoff og således har dette væsketapet størst betydning sett fra et industrielt ståsted. Men, påfølgende væsketap kan gi indikasjon på kvalitet som ikke fanges opp på fabrikken og feil under produksjon kan indusere kvalitetstap på veien mot forbruker. I dette forsøket var det ingenting som tydet på at ulike tineregimer vil gi et ulikt væsketap i påfølgende kjølekjede.

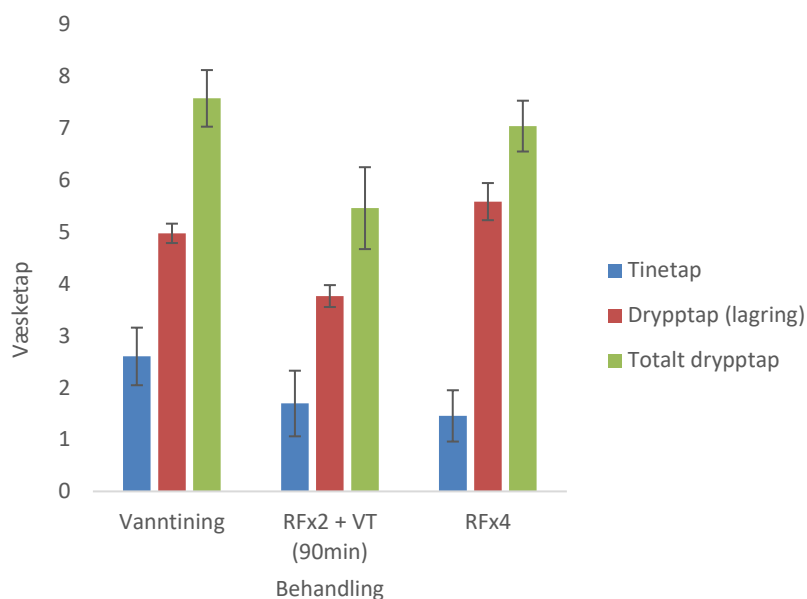
Konklusjonen etter dette forsøket var at andel RF-energi kan variere uten at det påvirker den påfølgende kvaliteten. Ingen kombinasjoner av RF-behandling og vanntining gav et markant lavere tinetap tilsvarende det som ble observert i *forsøk I* (Figur 14-).



*Figur 15 Tinetaap og påfølgende drypp ved kjølelagring etter ulike tineregimer der mengde RF-prosess ble variert. Figuren viser også det totale væsketaap der tap under tining og kjølelagring er slått sammen (grønn stolpe).*

### Forsøk III

For å avklare hvorvidt en bestemt mengde RF-behandling i kombinasjon med vanntining vil gi redusert tinetap, noe som *forsøk I* (Figur 14) gav en indikasjon på, så ble deler av *forsøk II* gjentatt med færre grupper. Resultatene fra dette forsøket viste at RF-tining kan gi litt mindre tinetap sammenlignet med ren vanntining (Figur 16). Hvis man tolker disse resultatene sammen med de forgående forsøk (Figur 14 og Figur 15) så er hovedkonklusjonen at det prosentvise bidraget fra RF-behandlingen i den totale tiningen ikke har avgjørende (negativ eller positiv) effekt på væsketaapet i tineprosessen og ved påfølgende kjølelagring. Den viktigste milepælen er at HG-blokken må kunne splittes etter RF-behandlingen.



Figur 16 Tinnetap og påfølgende drypp ved kjølelagring etter ulike tineregimer der mengde RF-behandling ble variert i et forsøk som repeterer noen behandlinger for forsøk II, men med nytt råstoff. Figuren viser også det totale væsketapet der tap under tining og kjølelagring er slått sammen (grønn stolpe).

### 5.3 Forsøk i bedrift II

I planleggingen av dette forsøket ble erfaringene fra første forsøk i bedrift og modell-forsøkene brukt som bakgrunn for å løse utfordringene med storskala RF-tining. Fram til dette forsøket viste resultatene at RF-behandlingen er stabil om man unngår for mye innslag av ujevnt energioptak som kan gi opphav til overopphetede områder på enkeltfisk. På dette stadiet hadde fabrikken valgt å satse på å legge blokkene i to lag for å kunne forlenge prosestetiden uten å miste produksjonskapasitet. På denne måten blir RF energien mer utjevnet i selve prosessen og valget var i overensstemmelse med resultater i prosjektet og råd fra utstyrproduzent (Stalam).

Sett fra et praktisk perspektiv så er det vesentligste bidraget fra RF-behandlingen å tine blokkene tilstrekkelig til at det er mulig å bryte dem opp før vanntiningen. Derfor ble det i dette forsøket fokusert på å dokumentere effekten av to ulike tilnærminger av den påfølgende vanntiningen. I det første bedriftsforsøket gav RF-behandling i kombinasjon med vanntining lavere TVN-verdier ved lagring sammenlignet med råstoff som var vanntint. Dette kan tolkes ut ifra at den kortere tiden den RF-tinte gruppen ble eksponert for høy tinetemperatur i den påfølgende vanntiningen har redusert veksten av forringelsesbakterier i forhold det vanntinte råstoffet som var eksponert i tinevannet i en mye lengre periode. Derfor ble det i det nye bedriftsforsøket valgt å sammenligne effekten av kort vanntining ved høy temperatur (12 °C) mot lang vanntining ved lav temperatur (3 °C).

#### 5.3.1 Temperatur og tineprosessen

Det ble brukt identiske RFbetingelser for begge gruppene med påfølgende variasjon i vanntiningen; heretter referert til som RFlav (RF-behandling + lav temperatur vanntining) og RFhøy (RF-behandling + høy temperatur vanntining). Temperaturen ut av RF maskinen var  $-2,3 \pm 0,3$  °C og  $-2,4 \pm 0,3$  °C for henholdsvis RFlav og RFhøy. Noen fisk var merket av høy temperatur (hot spots) i spor og bakre del av

filetstykket (Figur 17), og frekvensen av dette virket sammenlignbar med resultatet fra det første bedriftsforsøket der enkel blokk i høyden var brukt (5.1.1).

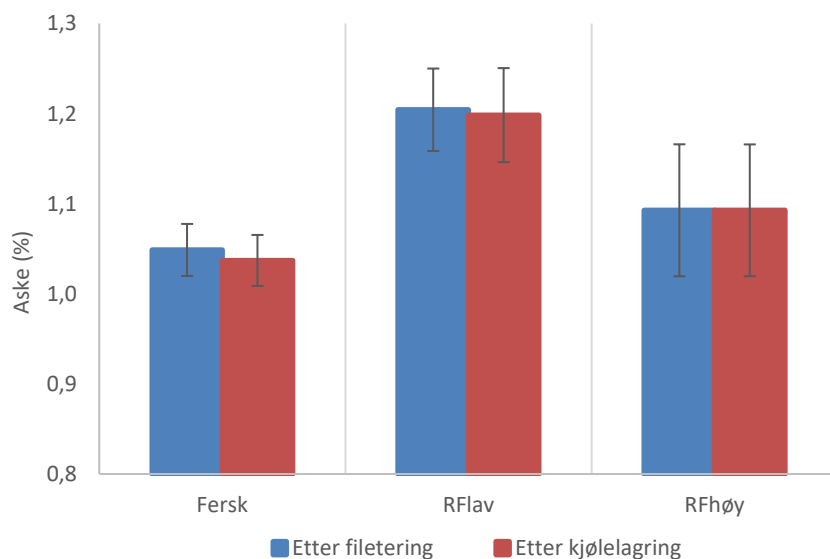


Figur 17 Tint råstoff etter RF-prosess (hotspots – innsirklet i rødt).

Temperaturen etter vanntining var for RFlav  $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  og disse prøvene fremsto som myke og gjennomtinte. For RFhøy så var temperaturen  $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  etter 2 timer og 40 minutter vanntining ved  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Disse prøvene fremstod som tinte selv om noen fisk hadde litt hard kjerne, og vanntiningen ble avsluttet når råstoffet etter erfaring var greit å få gjennom filetmaskinen.

### 5.3.2 Tørrstoff og aske

Askeanalysene viste ingen forskjell mellom prøver før og etter kjølelagring. Det tinte råstoffet viste litt høyere askenivå enn det ferske (Figur 18), noe som gjenspeiler et økt saltnivå gjennom tineprosessen i sjøvann.



Figur 18 Askenivå etter filetering og etter 8 dager kjølelagring.

Økningen i saltinnhold gjenspeiler også tiden råstoffet er eksponert til sjøvann. Gruppen med lengst vanntining (RFlav) hadde høyere askeverdier sammenlignet med gruppen med kort vanntining. Selv om askeinnhold ikke er et direkte mål på saltinnhold (NaCl), så vil salt mest sannsynlig forklare det meste av relative forandringer av askeinnholdet i en slik prosess. For den ferske gruppen så vil cirka 0,2 % av totalt askeinnhold (1,0 %) være bidrag fra NaCl. For gruppen med lengst vanntining (RFlav) så vil 1,2 % askeinnhold tilsvare nesten dobling av saltinnholdet. Dette er langt under det nivået som forbruker ønsker ved konsum (kulinarisk saltnivå) og dermed ikke et problem helsemessig, men det er verdt å bemerke siden saltnivået blant annet kan påvirke fiskemuskelens evne til å holde på vann. Tørrstoff-analysene viste ingen signifikante forskjeller mellom gruppene eller forandringer induisert av kjølelagring (data ikke vist). Mangel på statistisk signifikans har sammenheng med stor individuell variasjon for slike prøver. De relative forandringene av vannmengden blir derimot fanget opp av væsketapet ved tining og lagring (se 5.3.3).

### 5.3.3 Tinetap og drypptap ved kjølelagring

Råstoffet som hadde vært eksponert lengst i sjøvann (RFlav) hadde mest vektøkning, noe som kan ses i sammenheng med økt saltnivå (Figur 18). Dette var i overenstemmelse med det første forsøket i bedrift (Tabell 1). På tross av ulikt vannopptak i tineprosessen så var filet- og loinsandel identiske for det tinte råstoffet. I det første bedriftsforsøket var også disse parameterne svært like mellom de to ulike tineregimene, og i likhet med dette forsøket så var den ene tineprosessen vesentlig raskere enn den andre. Sammenlignet med det ferske råstoffet så var utbyttet høyere for frosset råstoff. Det er ingen data som understøtter denne forskjellen annet enn at dette kan være påvirket råstoffets tilstand, noe som ikke var tema i dette forsøket.

Tabell 4 Vektforandring under tining og utbytte etter filetering.

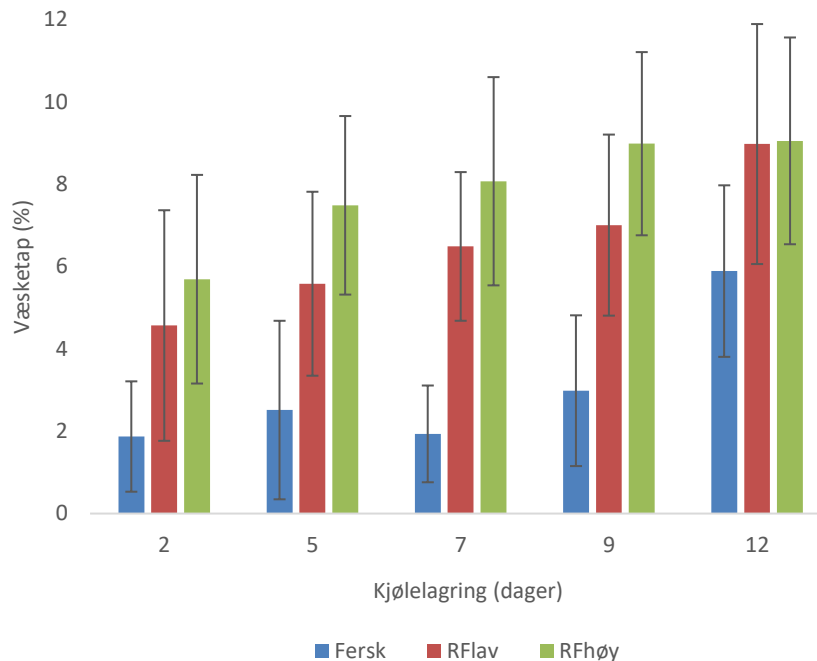
Behandling	Startvekt (kg)	Vekt etter tining (kg)	Vektendring (%)	Filetandel (%)	Loinandel (%)
RFlav	518,5	537,0	+3,6	61,4	50,6
RFhøy	515,5	527,0	+2,2	61,4	50,6
Fersk	-	-	-	58,0	46,3

Ved kjølelagring var væsketapet større i gruppen med kort vanntining (RFhøy) tom 9 dager sammenlignet med gruppen med lang vanntining (RFlav, Figur 19). I utgangspunktet så kunne man kanskje forvente at prøvene som har tatt opp mest vann under tineprosessen også slipper mest væske i den påfølgende lagringsperioden (Tabell 4), men det er mye som tyder på at saltkonsentrasjonen påvirker væskeslipp mer enn vannmengden i prøven. Råstoffet som ble tint ved lav temperatur (og hadde lang tid i tinekaret med sjøvann) hadde etter tining høyere saltkonsentrasjon og muskelen får dermed større kapasitet til å binde opp vannet, noe som reflekteres i væskeslipp under kjølelagring. Fra et produksjonsperspektiv så er økt vannopptak og redusert væskeslipp en betydelig gevinst, men slike effekter må også ses i sammenheng med andre effekter som for eksempel holdbarhet, noe som er diskutert i kapittel 5.3.4

Det er ellers verdt å bemerke at de ferske prøvene har vesentlig lavere væskeslipp sammenlignet med gruppene med frosset/tint råstoff. Iskrytaller svekker fiskemuskelen ved at strukturer i muskelen blir ødelagte, noe som igjen fører til væskeslipp ved lagring. For de ferske prøvene var væskeslipp jevnt helt til mot slutten av lagringsperioden, noe som tyder på strukturene også etter hvert påvirkes i tint



tilstand (annen nedbrytning). De frosne gruppene slapp derimot væske suksessivt som en funksjon av tiden.



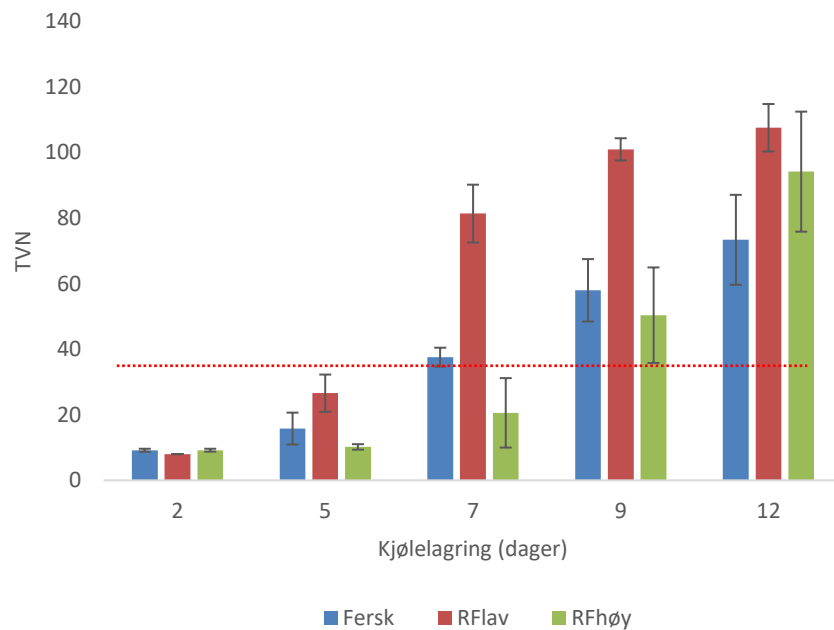
Figur 19 Væsketap for prøver kjølelagret etter filetering og pakking.

### 5.3.4 Holdbarhet ved kjølelagring (TVN)

Resultatene viser at det er stor forskjell på holdbarhet for tineregimene som ble sammenlignet i dette forsøket. RF-behandlingen var identisk for begge tinemetodene så det er den påfølgende vanntiningen som må være årsaken til dette. I dette forsøket gav rask vanntining med høyere temperatur og dermed kortere eksponering i vannet en vesentlig lengre holdbarhet sammenlignet med et regime der temperaturen ble holdt lav gjennom hele tineprosessen (Figur 20). Dette resultatet avviker fra den tolkningen som ble lagt til grunn etter *forsøk i bedrift I*, der lang eksponering ved høy temperatur (ren vanntining) ble ansett som begrensede for holdbarheten. Resultatene i dette forsøket gir en annen forklaringsmodell for hva som begrenser holdbarheten ved vanntining, og i denne er det tiden mer enn temperaturen som er avgjørende. Underveis vil bakteriefloraen til råstoffet i skru-karene bli vasket av fiskens overflate og ende opp i tinevannet. Siden tinevannet i liten grad skiftes ut, men resirkuleres i prosessen, så kan man anta at mengden bakterier i tinevannet vil øke med tiden. Dermed vil tiden som råstoffet er eksponert for dette vannet kunne antas å være avgjørende for mengde bakterier i produktet. Dette setter også resultatene fra *forsøk i bedrift I* i et nytt lys, og tilsvarende resonnement kan gjøres angående disse resultatene. Her ble det opprinnelig antatt at RF-behandlingen gav lengre holdbarhet fordi RF-delen reduserer oppholdstiden ved en høyere tinetemperatur. Dette er nok fortsatt en del av forklaringen, men basert på resultatene fra *bedriftsforsøk II* så er trolig kortere tid eksponert for bakterier i tinekaret det mest avgjørende momentet. Eventuelle nye forsøk bør inkludere undersøkelser av mikrobiologisk status, både på produktene før under og etter tiningen, så vel som i tinevannet.

Forskjellen i TVN verdier for de 2 tinte gruppene indikerer at tinemetode kan gi relativt stor forskjell i holdbarhet. Gruppen som inneholdt ferskt råstoff plasserte seg mellom disse, noe som i dette tilfellet

betyr at frosset råstoff *kan* ha lengre holdbarhet enn et ferskt råstoff. Det ferske råstoffet som ble brukt i dette forsøket ble kategorisert som typisk råstoff (4 dager *post mortem*), men sammenligningen mellom ferskt og tint råstoff bør nok ikke generaliseres etter bare 1 forsøk.



Figur 20 Total flyktig nitrogen (TVN) for prøver kjølelagret etter filetering og pakking. Anbefalt grense for TVN (30 mg N/100 g) er markert med rødt stiplet linje.

## 6 Hovedfunn og konklusjon

### 6.1 Forsøk i bedrift I

Kombinasjonen av RF-behandling og vanntining fungerer ved at RF-behandlingen tiner HG-blokkene tilstrekkelig til at de kan splittes i enkeltfisk og dernest overføres til tanker med vann hvor tiningen slutføres. Dette oppsettet ga sammenlignbare resultater i forhold til ren vanntining, til tross for at RF-behandlingen på dette tidspunktet ikke var optimalisert i forhold til fabrikkens produksjon. Litt ujevn tining medførte noen lokale områder med overoppheting (hot spots), men dette påvirket ikke utbyttet eller filetkvaliteten. Det er også vist at avbildende spektroskopi kan predikere hvorvidt prøver er RF-behandlet, og at dette mest sannsynlig har sammenheng med vannmengden i prøven. Holdbarhetsmålinger (via TVN-målinger) indikerte at kombinasjon av RF-behandling og vanntining kan gi noe lengre holdbarhet for prøver som holdes tint etter filetering og pakking. Samme trend gjaldt prøver som ble frosset inn i forbrukerpakning og deretter tint. Disse prøvene (dobbel frosset) viste vesentlig lengre holdbarhet etter en ekstra frysesyklus, noe som tyder på at fryseprosessen bremser veksten av forringelsessbakterier.

### 6.2 Modellforsøk i lab

RF-behandlingen må tilpasses produktet som skal tines, og for homogene blokker, som fiskefarse eller lignende, så er tineprosessen jevn. HG-blokker har mer ujevn form, luftlommer og heterogent innhold, og dette må tas hensyn til ved RF-tining. En aktuell metode er å stable blokkene i høyden slik at prosessen kan kjøres saktere uten tap av produksjonskapasitet. Dette gir energien mer tid til å utjevne seg underveis i prosessen, noe som vil minske sannsynligheten for lokalt overopphetede områder. Våre forsøk viste at det er mulig å beskytte start- og sluttblokker for å skåne disse for kanteffekter (mye energi avsettes på kanter). Dette bør være materiale som tar opp energi, og det mest praktiske er å bruke vanlig råstoff som etter prosess kan fryses inn og brukes om igjen (og brukes ikke videre i matproduksjon). Så lenge avstandene mellom blokkene ikke er veldig stor (< 5 cm) så vil blokkene på beltet som beveger seg gjennom RF-feltet beskytte hverandre for kanteffekter. Hvis deler av blokka stikker ut eller har et veldig høyt tørrstoffinnhold så vil disse ha en tendens til å absorbere ekstra mye energi, og dette gjelder spesielt for sporpartiet (bakerste del av fisken). For å unngå denne effekten må energien for RF-feltet reduseres, men dette vil gå på bekostning av produksjonskapasitet i RF-trinnet. Modellforsøkene viser også at det er mulig å variere hvor langt RF-prosessen tas før tiningen avsluttes i vann. I denne delen av prosjektet ble det gjennomført flere forsøk der bidraget fra RF-behandlingen ble variert fra veldig kort RF-behandling til en behandlingstid som strekker seg vesentlig lengre enn hva produsenten anbefalte som standard. En standard prosess vil vanligvis bety at man velger å avslutte RF-behandlingen når blokkene kan splittes. Resultatene i dette prosjektet viser at prosessen kan forlenges forbi dette punktet uten tap av kvalitet.

### 6.3 Forsøk i bedrift II

For tining av HG-blokker så leder den avsluttende tiningen av enkeltfisk etter splitting av blokk (som skjer etter RF-tining) mot videre filetoproduksjon. Tining i vann (fersk eller sjøvann) brukes ofte som en komplett tinemetode for HG-blokker, og i dette prosjektet ble vanntining brukt som avsluttende del av tineprosessen, det vil si etter RF-behandling. De første resultatene i dette prosjektet tydet på at forhøyet temperatur under vanntining reduserer holdbarheten ved påfølgende kjølelagring. I denne

delen av prosjektet ble det gjort nøyere undersøkelser av denne delen av tineprosessen og resultatene viser at *tiden* i tinetanken er avgjørende for holdbarheten, ikke bare temperaturen. Dette kommer mest sannsynlig av at bakterier i overflaten av fisken i stor grad vaskes av skinnen på grunn av bevegelser i vann og gnissing mellom fisk, og bakteriene havner til slutt i tinevannet. Siden tinevannet i stor grad resirkuleres så vil konsentrasjonen av bakterier øke. Dette vil føre til at bakterier trenger inn i produktet under tineprosessen og at eksponeringsgraden (tiden) vil være helt avgjørende for hvor mye bakterier som trenger inn i produktet. Dette har stor betydning for videre holdbarhet i kjølt tilstand.

## 6.4 Konklusjon

En avgjørende flaskehals for en tradisjonell tineprosess er at all energi må tilføres via overflaten på produktet. Siden energien skal nå helt inn i kjernen så tar denne prosessen lang tid, særlig når produktet er tykt. HG-blokker er utfordrende å tine i vann på grunn av størrelse, men også fordi det krever mye bevegelser for å hindre at blokker fryser fast i hverandre. RF-tining er en teknologi som sender energi til alle deler av blokken samtidig, noe som gir en mye raskere temperaturøkning gjennom hele blokken og dermed en raskere tineprosess. Kombinasjon av RF-behandling og konvensjonell tining gjør at blokken kan splittes etter RF-behandlingen og at siste del av tiningen består av tining av enkeltfisk i for eksempel vann. Det å bruke RF-behandling som en del av tineprosessen av tykke HG-blokker med stor fisk, synes ikke å være en mye brukt metode. Derfor finnes det ikke beskrivelser av optimale betingelser for kombinasjon av RF-behandling og vanntining.

Dette prosjektet viser at RF-behandlingen kan brukes som en viktig del i tining av HG-blokker i stor skala. Energifeltet som råstoffet beveger seg gjennom må tilpasses for hvert enkelt råstoff. Ut over lokale «hot spots» som ofte er å finne i sporepartiet på fisken så det er lite som tyder på at RF-behandlingen påvirker hverken utbytte, kvalitet eller holdbarhet på en negativ måte. Våre resultater antyder at den avsluttende tiningen påvirker holdbarheten i større grad enn RF-behandlingen. Mengden av bakterier som trenger inn i råstoffet i tinekaret øker som funksjon av tiden. Den mest effektive måten å redusere tiden i vann er å øke temperaturen, men dette må veies opp mot de negative konsekvensene som den økte temperaturen innebærer. En annen måte å redusere tiden i vannkaret er å øke bidraget fra RF-behandlingen siden dette vil redusere perioden med påfølgende vanntining. RF-behandlingen tilfører energien mye raskere enn konvensjonell tining (via overflaten) og dette gir kortere eksponering for bakterier ved en tilsvarende kortere påfølgende vanntining i tillegg til en totalt sett mer tidsbesparende prosess. I tillegg kommer effekten av at blokkene kan splittes etter RF-behandlingen, noe som gjør at effektiviteten i tineprosessen øker ytterligere.

## 7 Leveranser

Foruten forsøkene (beskrevet i kap. 4) så ble det avtalt følgende leveranser i prosjektet:

Referat fra SG's oppstartsmøte	1. mars	2018
Referat fra møte i SG	1. juli	2018
Referat fra møte i SG	1. desember	2018
Statusrapport FHF	15. desember	2018
Referat fra siste møte i SG	1. juli	2019
Referat fra siste møte i SG	1. desember	2019
Populærvitenskapelig artikkel	30. april	2020
Faglig sluttrapport i tråd med FHF's retningslinjer	30. april	2020
Administrativ sluttrapport i tråd med FHF's retningslinjer	30. april	2020
Faktaark	30. april	2020
Formidling bransjearrangement	31. Juni	2020
Int. vitenskapelig publisering	31. Juni	2020

Det er verdt å bemerke at all offentlig publisering av resultater fra prosjektet er lagt til avslutning eller etter prosjektets slutt etter Lerøy NS ønske. Pga av forsinkelser i prosjektet vil publiseringer gjort på et senere tidspunkt enn hva som fremgår i leveranseplan.

## 8 Referanser

- Backi, C.J. (2017). Methods for (industrial) thawing of fish blocks: A review. *Journal of Food Process Engineering*:e12598-n/a.
- Egeness, F.-A., Ø. Myrland & J. Xie (2015). Produksjon av fryste torskefileter. *Økonomisk Fiskeriforskning*, **25**:1, pp. 7–20.
- Farag, K.W., J.G. Lyng, D.J. Morgan & D.A. Cronin (2011). A Comparison of Conventional and Radio Frequency Thawing of Beef Meats: Effects on Product Temperature Distribution. *Food Bioprocess Tech*, **4**:7, pp. 1128–1136.
- Farag, K.W., F. Marra, J.G. Lyng, D.J. Morgan & D.A. Cronin (2010). Temperature Changes and Power Consumption During Radio Frequency Tempering of Beef Lean/Fat Formulations. *Food Bioprocess Tech*, **3**:5, pp. 732–740.
- Lee, J.L. & R.E. Levin (2007). Quantification of total viable bacteria on fish fillets by using ethidium bromide monoazide real-time polymerase chain reaction. *Int. J. Food Microbiol.*, **118**, pp. 312–317
- Sivertsen, A.H., T. Kimiya & K. Heia (2011). Automatic freshness assessment of cod (*Gadus morhua*) fillets by Vis/Nir spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, **103**:3, pp. 317–323.

