

TR A7508 - Åpen

# Rapport

## Sluttrapport - Teknologi for effektiv og bærekraftig innfrysing av pelagisk fisk

Leveranse L 5.8

**Forfatter(e)**

Ole Stavset, Tom Ståle Nordtvedt



**SINTEF Energi AS**Postadresse:  
Postboks 4761 Sluppen  
7465 TrondheimSentralbord: 73597200  
Telefaks: 73597250energy.research@sintef.no  
www.sintef.no/energi  
Foretaksregister:  
NO 939 350 675 MVA

# Rapport

## Sluttrapport - Teknologi for effektiv og bærekraftig innfrysing av pelagisk fisk

Leveranse L 5.8

EMNEORD:  
Kuldeanlegg,  
Pelagisk fisk**VERSJON**  
1**DATO**  
2015-05-20**FORFATTER(E)**

Ole Stavset, Tom Ståle Nordtvedt

**OPPDRAGSGIVER(E)**

FHF

**OPPDRAGSGIVERS REF.**

900915

**PROSJEKTNR**

502000326

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

19+ vedlegg

**SAMMENDRAG**

Pelagisknæringen påvirkes, som all høsting av naturens ressurser, av endringer i bestandene og høstingen av råstoffet. En ser nå en bekymringsfull tilbakegang i sildebestanden, mens makrellbestanden øker. Med dagens store fartøy og fangster vil den plasskrevende foredlingen og konservering i hovedsak gjøres på landanleggene. Rasjonell og effektiv kjøling og frysing er hovedgrunnlaget for økonomisk prosessering av pelagisk fisk. Selv med mange fryseanlegg og overskudd av frysekapasitet, krever endringer i fangstmønster og -volum fra fartøyene rasjonalisering av anlegg med ny teknologi. I dag har fangstbåtene blitt større. Dette medfører landing av større mengder fisk samtidig som landanleggene ikke har økt kapasiteten. For å beholde kvaliteten på fisken er det nødvendig med en effektivisering av landanleggene slik at tiden det tar fra fisken kommer til land og til den er ferdig nedfrosset ikke øker. Utviklingen av systemer ved fremtidige anlegg med konservering av volum over 1000 tonn pr. døgn krever betydelig økning i foredling- og innfrysningskapasitet, produktivitet og effektivitet. Dagens kuldesystem og fryserne må gjøres mer effektive og energiforbruket må reduseres, eventuelt med bruk av CO<sub>2</sub> som kuldemedium for innfrysing.

Dette prosjektet har hatt som målsetning å bidra til å utvikle fremtidens teknologi for effektiv og bærekraftig innfrysing av pelagisk fisk.

**UTARBEIDET AV**

Ole Stavset

SIGNATUR

**KONTROLLERT AV**

Anne Karin Hemmingsen

SIGNATUR

**GODKJENT AV**

Petter Røkke

SIGNATUR

**RAPPORTNR**

TR A7508

**ISBN**

978-82-594-3638-2

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1	2015-05-20	Første versjon

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Sammendrag</b> .....	<b>4</b>
1.1	Summary .....	5
<b>2</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>7</b>
2.1	Organisering .....	8
<b>3</b>	<b>Problemstilling og formål</b> .....	<b>9</b>
3.1	Nytteverdi .....	9
3.2	Resultatmål .....	9
<b>4</b>	<b>Prosjektgjennomføring</b> .....	<b>10</b>
4.1	Delprosjekt 1. utfordringer ved dagens foredlingsanlegg .....	10
4.2	Delprosjekt 2. Nøkkeltall for frysetider, anlegg, og kuldebehov. ....	11
4.3	Delprosjekt 3. Frysemetoder ved fremtidens pelagiske landanlegg .....	12
4.4	Delprosjekt 4. Energi-/ kuldesystemer for fremtiden .....	13
4.5	Delprosjekt 5. Prosjektledelse .....	14
<b>5</b>	<b>Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon</b> .....	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Leveranser</b> .....	<b>19</b>

## BILAG/VEDLEGG

[Skriv inn ønsket bilag/vedlegg]

## 1 Sammendrag

Pelagisk næring påvirkes, som all høsting av naturens ressurser, av endringer i bestandene og høstingen av råstoffet. En ser nå en bekymringsfull tilbakegang i sildebestanden, mens makrellbestanden øker. Med dagens store fartøy og fangster vil imidlertid den plasskrevende foredling og konservering i hovedsak gjøres på landanleggene. Rasjonell og effektiv kjøling og frysing er hovedgrunnlaget for økonomisk prosessering av pelagisk fisk. Selv med mange fryseanlegg og overskudd av frysekapasitet, krever endringer i fangstmønster og -volum fra fartøyene rasjonalisering av anlegg med ny teknologi. I dag har fangstbåtene blitt større, noe som medfører landing av større mengde fisk samtidig som landanleggene ikke har økt kapasiteten. For å beholde kvaliteten på fisken er det nødvendig med en effektivisering av landanleggene slik at tiden det tar fra fisken kommer til land og til den er ferdig nedfrosset ikke øker. Utviklingen av systemer ved fremtidige anlegg med konservering av volum over 1000 tonn pr. døgn krever betydelig økning i foredling- og innfrysingskapasitet, produktivitet og effektivitet. Dagens kuldesystem og fryserer må gjøres mer effektive og energiforbruket må reduseres, eventuelt med bruk av CO<sub>2</sub> som kuldemedium for innfrysing.

Dette prosjektet har hatt som målsetning å bidra til å utvikle fremtidens teknologi for effektiv og bærekraftig innfrysing av pelagisk fisk.

Beregninger og simuleringer har vist at kuldebehovet og den nødvendige frysetiden for produktene er svært avhengig av typen produkt som fryses. Dersom det er sildefilet med tilsatt lake som fryses økes kuldebehovet betydelig sammenlignet med frysing av rund fisk, og man bør regne med 20 % lengre innfrysningstid hvis fiskemengden er den samme. Også fettprosenten til produktene spiller en vesentlig rolle for innfrysningstiden og energibehovet. Det kan derfor hensiktsmessig å variere driften av tunnelene ut i fra årstiden.

Målinger og simuleringer har vist at lufthastigheten over produktene har stor innvirkning på hvor raskt varmen blir transportert fra produktene til luften, og følgelig hvor lang frysetiden til produktene blir. Målinger har vist at forskjellen mellom temperaturen ved ulike hyller etter 19 timers frysing kan være over 6 °C. Det vil derfor være gunstig med en jevnere luftstrømningsprofil gjennom tunnelen, slik at produktene fryses med samme hastighet. Simuleringer viser at himling, ledeskovler og ledeplater kan være veldig effektive for å jevne ut hastighetsfeltet gjennom tunnelen, og det kan derfor være hensiktsmessig å installere dette i tunneler hvor dette ikke er installert.

Det er viktig å begrense temperaturløstet fra væskeutskilleren til fordamperne, og fra fordamperne til lufta i tunnelene. Årsaken til temperaturløstet fra væskeutskiller til fordamperne og internt i fordamperne er trykkløstet. For å begrense dette temperaturløstet kan det være hensiktsmessig å benytte CO<sub>2</sub> istedenfor ammoniakk i fordamperne, siden temperaturløstet for CO<sub>2</sub> er betydelig lavere enn for ammoniakk. Avriming av fordamperne er viktig for å begrense temperaturløstet fra fordamperne til lufta, og dette bør gjøres ofte. Dårlig avriming vil også føre til dårlig luftgjennomstrømning, noe som kan bidra til skjevheter i innfrysningen.

Viftene bruker energi både direkte og indirekte siden de avgir varme til luften i tunnelen som igjen må fjernes av kuldeanlegget. Det er derfor viktig med gode driftsrutiner av viftene. I starten av innfrysingsperioden, mens den latente varmen i produktene skal fjernes, er det viktig med høy lufthastighet. Mot slutten av innfrysingsperioden er varmestrømmen fra produktene lavere og lufthastigheten kan da reduseres. Simuleringer har blant annet vist at energiforbruket kan reduseres med 33 % dersom man tillater 14 % lengre frysetid. Å regulere ned turtallet til viftene ved hjelp av en frekvensomformer gir mer energisparing enn å slå av vifter.

Resultatene fra dette prosjekt kan bidra til reduserte driftskostnader med enkle endringer av innfrysingsrutinene og har pekt på hvilke parameter som er viktig å ta hensyn til ved dimensjonering av nye anlegg.

## 1.1 Summary

Pelagic industry is as all harvesting of nature's resources influenced of changes in stocks and the harvesting of the raw material. At present there is a decline in herring stock, while the mackerel stock is increasing. Rational and efficient cooling and freezing is the main basis for economic processing of pelagic fish. Even with many plants and surplus of freeze capacity, the changes in capture pattern and volume require rationalization of plants. Today, the catch boats have become larger. This causes the landing of larger amount of fish at the same time as plants do not have increased the capacity. To maintain the quality of the fish it is needed an improvement in efficiency so that the time it takes from the fish is coming to the plants and until it is finished frozen does not increase. The development of systems for a future plant with conservation of volume of 1000 tons per day requires significant increase in processing and freezing capacity, productivity and efficiency. Today's refrigeration system and freezers need to be made more efficient and energy consumption must be reduced, possibly with the use of CO<sub>2</sub> as refrigerant for freezing.

This project has had as objective to develop the technology of the future for effective and sustainable freezing of pelagic fish.

Calculations and simulations have shown that the required freezing time for the products is highly dependent on the type of product that is being frozen. If there are herring fillets with added lake that is being frozen, the required freezing capacity is significantly increased compared to freezing of round fish, and one should expect 20% longer freezing time if the amount of fish is the same. Also the fat content of the products plays an essential role for the freezing time and the energy demand. It is therefore appropriate to vary the operation of the tunnels according to the time of year and season.

Measurements and simulations have shown that the air speed above the products has a major impact on how quickly heat is transports from the products to the air, and consequently how long the freezing time for the products will be. Measurements have shown that the difference between the temperatures at various shelves after 19 hours of freezing can be more than 6°C. It would therefore be beneficial with a more even air flow profile through the tunnel, so that the products will be frozen at the same rate. Simulations show that a false ceiling and guiding blades can be very effective to even out the speed field through the tunnel, and it might therefore be appropriate to install this in the tunnels if it is not already installed.

It is important to limit the temperature loss from the receiver to the evaporators and from the evaporators to the air in the tunnels. The cause of the temperature loss from the receiver to the evaporators and internally in the evaporators is pressure loss. To reduce this temperature loss it may be beneficial to use CO<sub>2</sub> instead of ammonia in the evaporators, since the temperature loss for CO<sub>2</sub> are significantly lower than for ammonia. Defrosting of the evaporators is important to limit the temperature loss from the evaporators to the air, and this should be done frequently. Bad defrost will also cause poor airflow, which can contribute to the inequality of the freezing time for the products.

The fans use energy both directly and indirectly since they give off heat to the air in the tunnel which in turn must be removed by the refrigeration plant. It is therefore important with good operating practices of the fans. At the start of the period, while the latent heat in the products is being removed, it is important with high air speed. However, towards the end of the freezing period the heat flow from the products is reduced and the air speed can then be decreased. Simulations have shown that the energy consumption can be

reduced by 33% if 14% longer freezing time is accepted. To regulate the speed of the fans down by using a frequency converter provides more energy savings than to turn off the fans.

The results from this project can contribute to decreased the operating costs with simple changes of the freezing routines and have pointed out which parameters that are important to take into account when designing new facilities.

## 2 Innledning

Pelagisknæringen er Norges klart største næring basert på villfanget fisk. Norges andel av sild og makrell utgjorde over 750 000 tonn i 2013 og i tillegg kjøpes fisk fra andre land som prosesseres og foredles i norsk pelagiskindustri. Total verdiskaping i sektoren var i 2011 8 mrd. NOK og samlet bruttomargin har de siste år i snitt vært 1,5 mrd. NOK. Selv om landindustrien har slitt med inntjeningen i de senere år, har næringen totalt sett hatt god lønnsomhet.

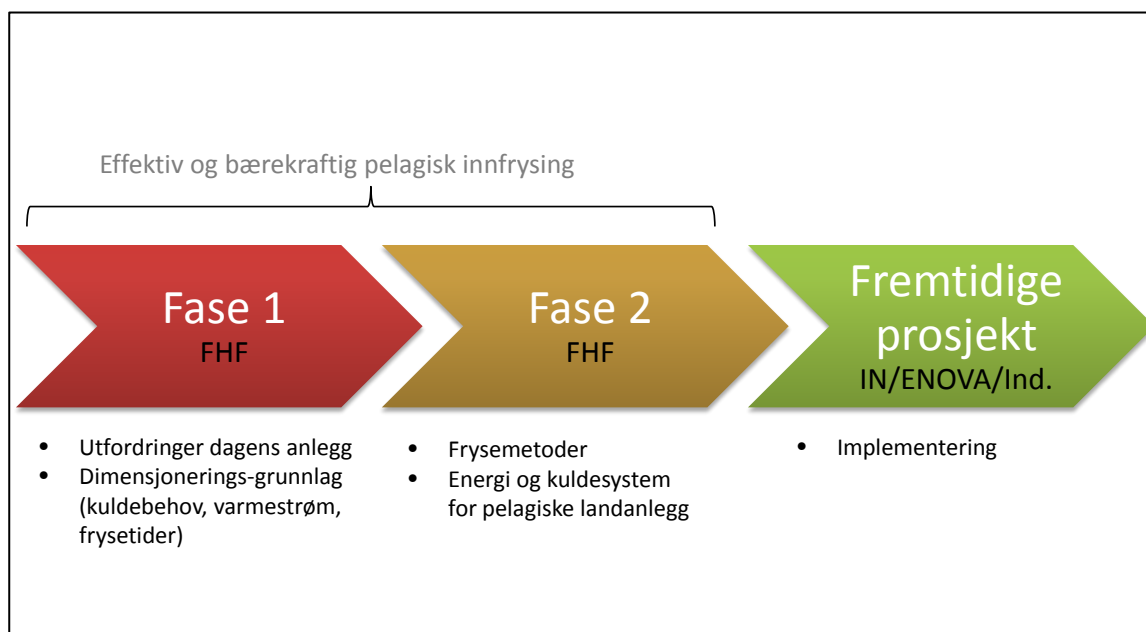
På grunn av holdbarhet og fangstområde må fisken prosesseres på land i Norge. Forutsetningene gir derfor svært stort potensiale for videre verdiskaping ved videreutvikling av prosesser, konservering og teknologi. Tidligere FoU aktiviteter (NFR prosjekt Fremtidens innfrysingsbedrift /ref1,2,3/) har vist betydelige effektiviseringsgevinster som eksempelvis bortimot halvering av personalet i handteringen.

Rasjonell og effektiv kjøling og frysing er hovedgrunnlaget for økonomisk prosessering. Selv med mange fryseanlegg og overskudd av frysekapasitet, krever endringer i fangstmønster og -volum fra fartøyene rasjonalisering av anlegg med ny teknologi. I dag har fangstbåtene blitt større. Dette medfører landing av større mengde fisk samtidig som landanleggene ikke har økt kapasiteten. For å beholde kvaliteten på fisken er det nødvendig med en effektivisering av landanleggene slik at tiden det tar fra fisken kommer til land og til den er ferdig nedfrosset ikke øker. Tidligere forskning har gitt god kunnskap om frysetid og varmestrøm ved dagens pakking. Frysing i tunneler er fortsatt utfordrende og en har problem med og "snu tunnelene" (fylle-fryse-tømme) ved døgnsyklus. Bedre beregningsverktøy og målinger i prosessanlegg vil skape grunnlag for optimalisering av emballering, luftsirkulasjon og lufttemperatur. Kuldesystemene bruker ammoniakk (NH<sub>3</sub>), og for å kunne snu tunnelene med døgnsyklus må det benyttes lufttemperaturer i området -40 til -42 °C og lavere ved slutten av innfrysingsperioden. Dette er frysetemperaturer som for vanlige NH<sub>3</sub> anlegg gir sterkt redusert ytelse og lav energieffektivitet, slik at rasjonelle fryserløsninger med effektive kuldeanlegg må utvikles.

Norsk pelagisk foredlingsindustri anses i dag for teknologisk verdensledende og er et utstillingsvindu for salg fra norsk leverandørindustri. Kjernevirksomheten i foredlingsanleggene er konservering ved rask kjøling av råstoffet ombord, under transport/lagring, effektiv prosessering og effektiv frysing av ferdigvarer. Utviklingen av systemer ved fremtidige anlegg med konservering av volum over 1000 tonn pr. døgn krever betydelig økning i foredling- og innfrysingskapasitet, produktivitet og effektivitet. Dagens kuldesystem og fryserer må gjøres mer effektive og energiforbruket må reduseres, eventuelt med bruk av CO<sub>2</sub> som kuldemedium for innfrysing. Dette gir reduserte dimensjoner for komponenter, rør og ventiler samtidig som en kan utnytte eksisterende kuldeanlegg for lagring. Det er også behov for videreutvikling av styre-regulere-observasjon (SRO) for så store energianlegg med dynamisk belastning (temperatur – tid variasjoner) som krever nye stabile løsninger.

Prosjektet er delt inn i tre faser, hvor det er finansiering fra FHF i fase 1 og 2. Figur 1 illustrerer de ulike fasene i prosjektet.





Figur 1: Prosjektfaser.

Etter fase 1, som inneholdt delprosjekt 1, 2 og prosjektledelse, avgjorde styringsgruppen at prosjektet skulle fortsette. Fase 2, som omhandlet delprosjekt 3 og 4 så på nye metoder for frysing og behandling av pelagisk fisk. Fase 3, som omhandler implementering av resultatene vil søkes delfinansiert fra Enova og/eller Innovasjon Norge.

## 2.1 Organisering

Det ble opprettet en styringsgruppe bestående av Helge Blålid (Pelagia), Helge Langeland (Teknisk Sjef Pelagia), Anders Johanson (representant for Nergård) og Jon Lundamo (konsulent).

Lars Lovund (FHF) har vært observatør.

SINTEF Energi AS har hatt ansvaret for prosjektgjennomføringen; oppfølging og formidling av resultater til bransjen i samråd med FHF, gjennomføring av styringsgruppemøter, rapportering samt ansvarlig for det vitenskapelige arbeidet.

Prosjektleder internt i SINTEF Energi AS har vært seniorforsker Tom Ståle Nordtvedt. Prosjektgruppa har bestått av seniorforsker Ola M. Magnussen, forsker Kristina Widell, sivilingeniør Ole Stavset og senioringeniør Per Egil Gullsvåg. Forskningsleder Ingrid Camilla Claussen har vært kvalitetssikrer av arbeidet internt i SINTEF. Kontaktperson i FHF har vært Lars Lovund.

### 3 Problemstilling og formål

#### 3.1 Nytteverdi

For pelagisk landindustri vil en mer effektiv innfrysning og styring ha et potensiale på opptil 30 % i reduserte driftskostnader.

En nødvendig strukturendring i landbasert foredlingsindustri må igangsettes i løpet av 1 – 3 år. Grunnlaget for fremtidens industrianlegg må derfor starte nå med kunnskapsoppbygging om nødvendige endringer og mulige løsninger. Ved bedriftsstyrt utvikling i samarbeid med FoU institutt, leverandører, produsenter og markedskunnskap kan kunnskap, utstyr og komponenter implementeres og tas i bruk raskt.

Pelagisknæringen påvirkes, som all høsting av naturens resurser, av endringer i bestandene og høstingen av råstoffet. En ser nå en bekymringsfull tilbakegang i sildebestanden som er mest verdifull og fileteres, mens makrell bestanden øker. Med dagens store fartøy og fangster vil imidlertid den plasskrevende foredling og konservering i hovedsak gjøres på landanleggene.

#### 3.2 Resultatmål

Hovedmålet har vært;

Prosjektet skal bidra til å utvikle fremtidens teknologi for effektiv og bærekraftig innfrysning av pelagisk fisk.

Prosjektet har følgende delmål.

- Identifisere årsaker til varierende frysetid og energieffektivitet ved dagens pelagiske anlegg
- Utarbeide nøkkeltall for anlegg ved aktuelle produkt, størrelser og emballering
- Utvikle effektive og driftssikre fryserløsninger tilpasset pelagiske landanlegg
- Utvikle driftssikre og energieffektive kuldesystemer tilpasset pelagiske landanlegg

## 4 Prosjektgjennomføring

I 2000 gjennomførte Global Hjørungavåg AS (i dag en del av Pelagia) et prosjekt som førte til bygging av den første kontinuerlige frysetunnelen for pelagisk fisk. Basiskunnskapen som ble gjort om varmetransport gjennom vare og emballasje vil være grunnlag for videreutvikling av dagens produksjonstilpassede tunnelfrysere.

Prosjektet ble inndelt i 4 faglige delprosjekt.

### 4.1 Delprosjekt 1. utfordringer ved dagens foredlingsanlegg

Mål: Identifisere årsaker til varierende frysetid og energieffektivitet ved dagens pelagiske anlegg

Næringen har i dag til dels overkapasitet i prosessering og frysing av pelagisk fisk i noen områder og har generelt for lav lønnsomhet. Samtidig har industrien de siste år gjennomgått store endringer med fokus på bedre markedstilpassing, økt foredlingsgrad (filetering og marinering av sild, utnyttelse av biprodukter til konsum). Selv om mange anlegg har hatt fokus på videreutvikling av anleggene, sliter en fortsatt med utfordringer i innfrysingssystemene hvor en har spesielt problem med å få fisken tilstrekkelig nedfrosset og raskt nok til å få fylt – frosset – tømt disse i en døgnsyklus. Samtidig viser registreringer at energiforbruket ved anleggene generelt er over 50 % høyere enn målt ved enkelte undersøkelser av tunneler. Forbedringer, eksempelvis ved betydelig økning av kondensatorytelsen har ikke vist noe klar forbedring i effektiviteten. Dette viser stort behov for bedre måle-, registrering og overvåkings metoder som kan vise hvordan en standard eller vanlig ytelse i prosessene skal være, og rapportere avvik fra det normale.

De fleste av dagens anlegg er bygget trinnvis ved utvidelser, og til dels nybygg gjennom en rekke år. Det er også ofte benyttet forskjellige arrangement og tekniske løsninger for innfrysing og med forskjellige typer av kuldeanlegg, kompressorer og styre-regulering-overvåkings løsninger. Som utgangspunkt for videre utvikling er kunnskapen om hva som finnes av gode og effektive løsninger og driftsmetoder viktig. Det ble gjennomført målinger på ulike anlegg for å bestemme frysetider ved vanligste tunnelløsninger, lufttemperaturer og – hastigheter og som gav utgangspunkt for forbedring av innfrysingen. Hvilke anlegg som ble valgt ut i samarbeid med styringsgruppen. Gjennomgang av kuldesystemer og målinger av temperaturer og trykk i anleggene dokumenterte drift og ytelser, energibruk og – utnyttelse.

Videre utføres målinger av kritiske komponenter for registrering av effektivitet og kartlegging av hvilke som må måles under drift for å oppnå bedre styring og registrering av produksjonsdata. Det utarbeides forslag til overvåkingsopplegg for registrering av driftsforhold og energieffektivitet. Følgende aktiviteter inngikk:

1. Gjennomgang av dagens anleggstyper, driftserfaringer og utfordringer i drift og utnyttelse, samt tidligere prosjektaktivitet. Intervjuer med et utvalg av teknisk personell ved ulike anlegg for å avdekke vanlige driftsprosedyrer har vært gjennomført. I forbindelse med disse intervjuene valgt styringsgruppen anlegg som ble fulgt opp. Gjennomgang av tidligere prosjekter ved SINTEF innenfor temaet samt en litteraturstudie ble gjennomført.
2. Det har vært utprøvd målemetodikk og utstyr for registrering av driftsforhold, lagring og innfrysing. Gjennomgang av vanlige SRO system og utarbeidelse av prosedyrer og utstyr for innhenting av data har blitt prøvd.

3. Gjennomført målinger og registreringer av driftsforhold, produksjon, frysetid og energibruk ved aktuelle anlegg samt vurdert forbedringsmuligheter. I samarbeid med personell fra de aktuelle anleggene ble det utarbeidet en liste over mulige tiltak som kan forbedre og måle energibruken.
4. Det ble gjennomført målinger av kritiske komponenter for registrering av effektivitet og kartlegging av hvilke som må måles under drift for å oppnå bedre styring og registrering av produksjonsdata.

Leveranser fra delprosjekt 1 er:

L1.1: Rapport om driftserfaringer ved dagens anlegg

L1.2: Rapport om energibruk og energieffektiviseringstiltak ved dagens anlegg inkludert forslag til energiovervåkningssystem.

## 4.2 Delprosjekt 2. Nøkkeltall for frysetider, anlegg, og kuldebehov.

Mål: Utarbeide nøkkeltall for anlegg ved aktuelle produkt, størrelser og emballering.

Kuldebehovet for produktene som fryses og tiden som kreves for å transportere varmen ut av varen er avhengig av produkt og emballasje. Sammen med arbeids og driftsforhold er dette oftest avgjørende for valg av frysemetode og utstyr. Tidligere utviklings- og forskningsprosjekter innen pelagisk innfrysing har gitt stor kunnskap om effekter av vanlig emballering. Spesielt pappesker med lokk er en avgjørende hindring for rask frysing, samtidig som emballasjen gir en betydelig kostnad. Mulige endringer i emballeringen ble vurdert for å redusere kostnader og forbedre effektiviteten og redusere frysetiden. Konklusjonen fra styringsgruppen var at prosjektet skulle forutsette dagens emballasje i det videre arbeidet.

Endringene i bearbeidingsform som frysing av filet i blokk og eventuelt lake vil endre både kuldebehov og varmeledning i varen. Nye produkter, endringer i produktstørrelser, emballasje og pakking vil danne grunnlag for valg av fryserløsninger. Tidligere undersøkelse og litteraturgjennomgang av data om emballering og innfrysing har blitt gjennomgått med fokus på effekter på frysetider og varmestrøm(kuldebehov).

Periodisk innfrysing (batch) gir svært store variasjoner i kuldebehov som resulterer i varierende temperaturer for å tilpasse anleggets ytelse til varmestrømmen fra varene. Teoretisk beregning av kuldeanlegg og komponenter er derfor vanskelig og en må trolig i stor grad basere seg på målinger av anlegg/driftsforhold og erfaring. Slike anleggsmåliger er krevende siden en ofte har store forskjeller både i temperaturer og lufthastigheter i industrielle tunneler og må registreres ved målingene. Ut fra måledata og beregninger utarbeides forslag til nøkkeltall for kuldeytelser for anlegg ved aktuelle driftsformer. Følgende aktiviteter har blitt utført:

1. Tidligere undersøkelse og litteratur gjennomgang av data om emballering og innfrysing gjennomgås med fokus på effekter på frysetider og varmestrøm(kuldebehov).
2. Undersøke effekter av ytelsen for kuldeanlegget og luftsirkulasjonen på temperaturer og frysetid. Teoretisk beregning av kuldeanlegg og hovedkomponenter som kompressor, fordampere, kondensatorer, vifter, og målinger av anlegg/driftsforhold ved ulike ytelser.
3. Utarbeidet forslag til nøkkeltall for anleggsdimensjonering. Ut fra måledata og beregninger, samt tett dialog styringsgruppen, utarbeides forslag til nøkkeltall for kuldeytelser for anlegg ved aktuelle driftsformer. Ulike løsninger for fordampersplassering, viftestyring, kondensatorløsninger, kompressorstyring er beskrevet.

Leveranser i delprosjekt 2 er:

L2.1: Vitenskapelig publikasjon om frysetid, emballasje og lufthastighet.

L2.2: Rapport om nøkkeltall.

### 4.3 Delprosjekt 3. Frysemetoder ved fremtidens pelagiske landanlegg

Mål: Utvikle effektive og driftssikre frysemetoder tilpasset pelagiske landanlegg

Hoveddelen av pelagisk fisk fryses i dag i tunneler hvor varmen transporteres med luft som sirkuleres over vareoverflaten og tar opp varme som avgis ved strømming gjennom fordampere. Som varmetransportør er luft lite effektiv og lav lufttetthet gir lite effektiv varmeoverføring fra vare og til fordampere. Samtidig må svært store volum sirkuleres for å transportere varmen. Luften må sirkulere effektivt og jevnt over alle flater som overfører varme og styring av luftstrømmen er krevende med store fryserne. Luftsirkulasjonen gjennom mange kanaler, mellom esker og paller, sluser og fordampere gir også stort trykktap. Med store volum og trykkfall kreves betydelig energiforbruk til sirkulasjonsvifter. Vanligvis anslås midlere energiforbruk for vifter i innfrysingsperioden å utgjøre 20 til 30 % av totalt kuldebehov. Spesielt ved slutten av innfrysingen, når varmemestrømmen fra varene er liten og kuldeanlegget må kjøres med full ytelse for å få varene frosset (ofte under  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), kan vifteeffekten utgjøre over 90 % av kuldeytelsen

Ved luftfrysing er luftmengder, jevn luftfordeling/-hastighet kritisk for å oppnå jevn frysetid i tunnelene. Erfaringsmessig er plassering av fordampere og vifter samt lufthastigheter og strømningsarrangement ved luftinnløp og -utløp viktig for luftfordelingen over varene. Forskjellig plassering av fordampere i tunneler har eksempelvis ikke gitt klare forskjeller i frysetid og viser at det også er andre forhold som er avgjørende. Det er derfor behov for mer nøyaktige målinger ved ulikt bygde anlegg og beregninger/simulering av luftstrøm. Både ujevn luftfordeling og -hastighet og at luften varmes ved strømming over varene forårsaker varierende frysetid. Selv med kort strømningsvei over paller ("tverrblåst" tunnel) kan forskjellen i inn og utgående temperatur ved start frysing være stor. Samtidig vil en med samme luftmengde knapt ha forskjell ved slutfrysing, men hvor en likevel må ha noe luftstrøm for å opprettholde varmeoverføringen. Ved simuleringer av lufthastigheter, varmemestrøm, tunnelform, arrangement, og beregninger utarbeides anbefalinger for utforming, arrangement og vareplassering.

Ved kontaktfrysing overføres varmen direkte til fordampereflatene og gir effektiv varmetransport kun avhengig av kontaktflaten/form og emballasje. Dette gir betydelig raskere frysing enn ved luftfrysing, og energiforbruket er lavere. Ulempen, spesielt ved vertikale fryserne, er at utvidelsen ved frysing kan gi press og produktskader. Rask innfrysing gjør at en for å få høy utnyttelse bør benytte fryseren mest mulig gjennom døgnet. Bruksområde for denne frysertype for aktuelle produkter vurderes og eventuelt utprøves. Følgende aktiviteter har vært gjennomført:

1. Måle og simulere effekt av tunnelutforming og produktplassering på frysetid i tunneler. Gjennomføre målinger på ulike tunnelloesninger (høy og lav) for innhenting av data til å verifisere modell. Gjennomføre simuleringer for å komme frem til optimal utforming av frysetunnel.

2. Vurdere viftetyper og luft sirkulasjons løsninger og styring for å redusere energiforbruk.
3. Dokumentere ved målinger og beregning/simulering effekter av redusert lufthastighet i slutfrysingen. Basert på modell i aktivitet 1 og 2 gjennomføres simuleringer som viser effekt av hastighetsreduksjon til viftene i løpet av fryseforløpet på energiforbruket. Verifisere simuleringsresultater gjennom målinger.
4. Undersøke fryserløsninger og produkttypers egnethet for kontaktfrysing og effekt av pakning/emballasje på varmestrøm og frysetid. I dag finnes leverandører som leverer kontaktfryseanlegg for pelagisk fisk. Disse har vært evaluert.

Leveranser fra delprosjekt 3 er:

L3.1: Rapport om frysemetoder for pelagisk fisk

#### 4.4 Delprosjekt 4. Energi-/ kuldesystemer for fremtiden

Mål: Utvikle driftssikre og energieffektive kuldesystemer tilpasset pelagiske landanlegg.

De fleste store industrielle kuldeanlegg benytter NH<sub>3</sub> som kuldemedium fordi dette er miljøvennlig og har gode termodynamiske egenskaper for varmeoverføring/transport. Imidlertid er normalkokepunktet (ved atmosfærisk trykk) relativt høyt (ca. -32 °C) og ved temperaturer som ofte kreves for å få tunnelene ferdig frosset for døgnsykluser, er mediet mindre effektivt. Dette skyldes at trykket blir lavt og vekten av volumet kompressorene leverer avtar mye slik at massen av medium og derved kuldeytelsen blir svært redusert. Energieffektiviteten for systemet avtar også ved at trykkforholdet økes mye og systemtapene økes. I tillegg vil det betydelige undertrykk i kuldesystemets lavtrykkside ofte gi inntrenging av luft. Dette vil øke trykket i kondensatorene og reduserer effektiviteten av disse. Metodene og systemene for fjerning av luft er oftest krevende å bruke, lite effektive og/eller lite driftet og årsak til høyt energiforbruk. Løsningene for luftutskilling vil bli nærmere vurdert, erfaringen er at drifting av kondensatorer og systemene for luftfjerning er kunnskapskrevende og lite effektive.

Anleggene er typisk driftet i relativt korte sesonger og da også ofte med varierende frysebehov avhengig av tilgangen på råstoff. Fokus ved bygging av anleggene har vært høy kapasitet og lave investeringer i energieffektivitet samt gode styre og reguleringsløsninger. For videre effektivisering og tilpasning av frysetider vil en utvikling med bruk av CO<sub>2</sub> som kuldemedium være aktuelt. Dette gjelder spesielt hvor temperaturer under -40/-43 °C er krevet for å oppnå tilstrekkelig rask innfrysing. Samtidig vil eksisterende NH<sub>3</sub> anlegg kunne utnyttes for vanlige frysetemperaturer og som øverste medium i kaskade løsning (to trinn anlegg). Følgende aktiviteter har vært gjennomført.

1. Optimalisering av kulde-/energiløsninger for innfrysing og lagring ved NH<sub>3</sub> anlegg. Utarbeide anbefalinger for energi og drifts optimal drift av NH<sub>3</sub> anlegg ved ulike anleggsløsninger inklusive pålitelig energiovervåkningsopplegg.
2. Vurdere bruk av kaskadesystem NH<sub>3</sub> anlegg - CO<sub>2</sub> anlegg ved behov for lavtemperatur innfrysing. Vurdere fordeler med lavtemperatur innfrysing for pelagisk fisk.

Leveranser fra delprosjekt 4 er:

L4.1: Kuldesystemer for pelagisk landindustri.

#### **4.5 Delprosjekt 5. Prosjektledelse**

SINTEF Energi AS har hatt prosjektledelsen og rapportert til FHF og styringsgruppen. Styringsgruppen har møtes 4 ganger i løpet av prosjektperioden. Prosjektleder har fungert som sekretær for styringsgruppen. Pelagisk landindustri har spilt en aktiv rolle i prosjektet med hensyn til bruk av eksisterende anlegg for forsøkgjennomføring.

## 5 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

### Driftserfaringer

Gjennom besøkene hos anlegg er det avdekket stor variasjon i styring, regulering og overvåkningsystemer. De bærer preg av at anleggene har blitt utbygd trinnvis med ulike løsninger for ulike tidsperioder som ikke kommuniserer med hverandre. Det fører ofte til at operatørene får motstridene styringssignaler og alarmer. Det gjør det vanskelig å få til en god styring og lavt energiforbruk.

På kondensatorsiden sier de fleste operatørene at de har gode løsninger for lufting av kondensatorene. Imidlertid er det mange løsninger som krever utstrakt manuell håndtering. Det fungerer kanskje godt under problemfri drift, men vil føre til høyere kondensatortrykk når ting skjærer seg.

De fleste av dagens anlegg er bygget trinnvis ved utvidelser, og til dels nybygg gjennom en rekke år. Det er også ofte benyttet forskjellige arrangement og tekniske løsninger for innfrysing og med forskjellige typer av kuldeanlegg, tunnelgeometri og vifter. Som utgangspunkt for videre utvikling er kunnskapen om hva som finnes av gode og effektive løsninger og driftsmetoder viktig.

Gjennom målinger er det funnet eksempler på ulike tunnellsøsninger og vifteplassering. Ved å bruke data fra målingene som utgangspunkt for simuleringer har man pekt på viktige parametere for å finne en optimal løsning. Samspillet mellom fordamperløsninger, viftevalg og styring er viktig for å finne frem til den beste løsningen.

De ulike bedriftene har i utgangspunkt stort sett samme kuldeanlegg, som er to-trinns NH<sub>3</sub>-anlegg. Imidlertid er det mange forskjeller i rørføringer og fordamperløsninger. Her er det avdekket mange løsninger som bærer preg av lav investeringsvilje noe som gir mindre gode driftetekniske løsninger.

### Energibruk og energi effektiviseringstiltak

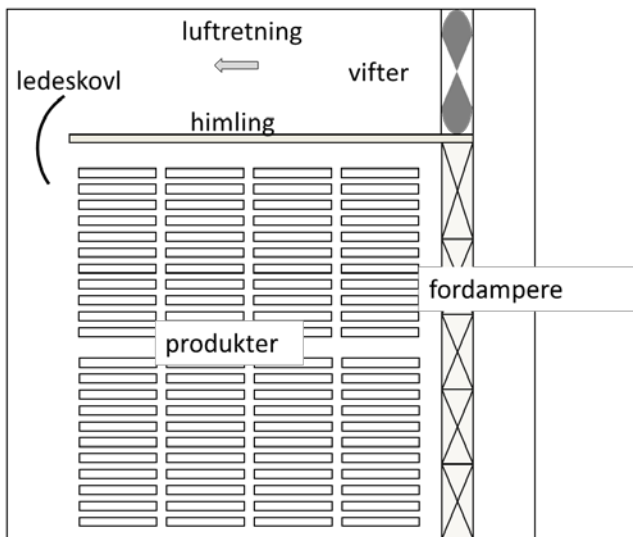
Kompressorregulering og reduksjon av kuldebehovet vil kunne bidra til en betydelig reduksjon i energiforbruket. Dette kan gjennomføres ved å innføre et godt styring-, regulering- og overvåkningsystem som muliggjør optimal drift av kompressorer og vifter. God isolering, fornuftig bruk av dører og effektiv avriming vil også være nødvendig for å redusere kuldebehovet. Videre vil tunnelenes utforming være viktig for en jevn luftstrøm over produktene. Innføring av himling og ledeskovler vil kunne bidra til å forbedre luftstrømningsprofilen og redusere trykktapet gjennom tunnelen. Dermed vil produktene fryses jevnere, og det totale energiforbruket vil kunne reduseres. Temperaturnivået i fordamper og kondensator er også avgjørende for energiforbruket. Generelt ønsker man lavest mulig kondenseringstemperatur, noe som kan oppnås ved god utforming og jevnlig rengjøring av kondensatoren, og fornuftig valg av avkjølingsmedium. Effektiv avriming av fordamperen er viktig for å opprettholde god varmeovergang mellom luften og fordamperen. Varmegjenvinning av varme fra kondensering og kompressorkjølingen vil også være gunstig med tanke på energiforbruket. Hvert kuldeanlegg er forskjellig, og det er viktig med individuelle tilpasninger til hvert anlegg. En optimal løsning for et anlegg er ikke nødvendigvis optimal for et annet. En fellesnevner er at fokus på energieffektivisering er viktig for å redusere energiforbruket. Det innebærer blant annet å utarbeide handlingsplaner, lære opp personalet og dokumentere energiforbruket ved anlegget.

### Tunnelutforming

Beregninger, simuleringer og målinger på eksisterende anlegg gir et godt grunnlag for å analysere frysetunneler. Beregninger gir et teoretisk grunnlag med antagelser bygget på erfaringer, tall fra litteratur og målinger. Beregninger gir stasjonære verdier og totalbeløp, så for transiente verdier er simuleringer viktig. Simuleringene bygger også på litteraturredata, erfaringer og målinger. Simulerte data kan sammenlignes med målte data for å verifisere modellene. Ved hjelp av simuleringer kan man sammenligne forskjellige driftsmønstre for å finne det beste.

Basert på beregninger, simuleringer og målinger kan man si flere ting om hvordan en frysetunnel bør se ut og driftes. I denne rapporten er det tatt utgangspunkt i en typisk frysetunnel, se Figur 5.1.





**Figur 5.1. Skisse tunnel sett fra port inn, eksempel utforming frysetunnel.**

### Produkt og emballasje

Type produkt har stor betydelse for kuldebehovet. Hvis en antar at produktene skal fryses fra 5 °C til -25 °C på 20 timer og at viftevarme mv utgjør 30 % av totalt kuldebehov viser beregninger at for sildefilet (9 % fettinnhold<sup>1</sup>) i esker med 2,5 kg sjøvann og 20 kg fisk trengs en minimum kuldeeffekt på 6,3 kW/tonn produkt. Hvis fisken har 20 % fettinnhold<sup>2</sup> (og samme forhold ellers) så trengs en minimum kuldeeffekt på 5,6 kW/tonn produkt. For rund fisk (uten saltvann) og med 20 % fettinnhold trengs en minimum kuldeeffekt på 4,5 kW/tonn produkt. Makrell med 30 % fettinnhold<sup>3</sup> trenger en minimum kuldeeffekt på 3,9 kW/tonn produkt. Hvis man dermed har en tunnel med en dimensjonert kuldeeffekt på 600 kW kan man laste den med maksimum 96 tonn sild 9 % i sjøvann, 107 tonn sild 20 % i sjøvann, 134 tonn rund makrell 20 % eller 155 tonn rund makrell 30 % fett. Dette er maksverdier og tar dermed ikke hensyn til skeivfordeling av lufthastigheter mm.

### Lufthastighet

En gjennomsnittlig lufthastighet på 4 m/s gir for en typisk tunnel gjennomsnittlig innfrysningstid på 20 timer. Det anbefales ikke å øke hastigheten siden det gir høyere trykkfall og mer viftevarme uten at innfrysningstiden går ned.

### Reoler og utforming tunnel

Frysetunnel utformet som i Figur 5.1 bør ikke ha for stor høyde, det vil si at hvis det er nok areal bør man heller bygge flere/større tunneler enn å ha to reoler oppå hverandre. Reoler med 14 hyller finnes, så skal man kun ha en reol i høyden er disse å foretrekke. Simuleringer har vist at hvis man skal velge mellom hylleavstand på 0,2 m og 0,22 m så er det minste å foretrekke, siden det gir mindre luftmengdebehov og dermed mindre energibruk.

Figur 5.2 viser et forslag til inndeling og reolplassering i en tunnel. Med 14 hyllers reoler a 100 kg, gir det 1400 kg produkt per reol. En tunnel med 4x15 rader kan dermed inneholde 84 tonn produkt, forutsatt at den lastes fullt. En gardin som trekkes ned mellom seksjonene kan også gi mindre påriming på fordampere under innlastning.

<sup>1</sup> Typisk verdi for fisk fanget i mars (norwaypelagic.no)

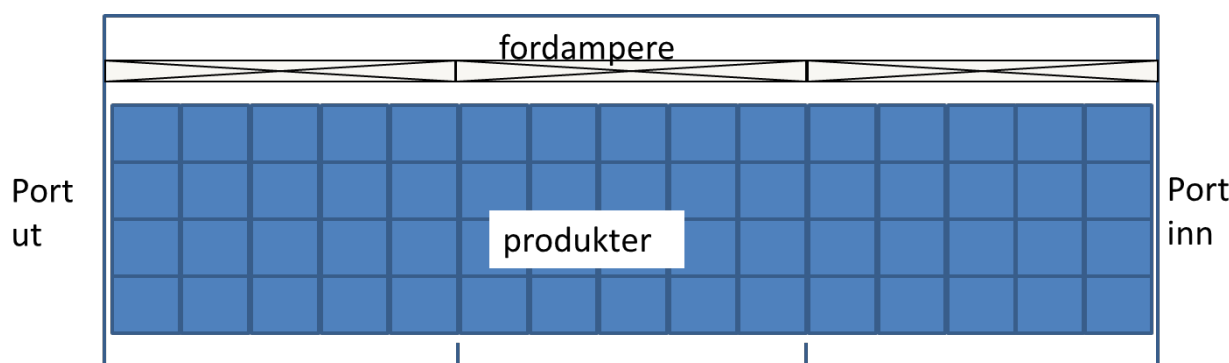
<sup>2</sup> Typisk verdi for fisk fanget senhøst (norwaypelagic.no)

<sup>3</sup> Typisk verdi for fisk fanget høst (norwaypelagic.no)

Avstanden over reolene må være stor nok at ikke himlingen ødelegges av truckenes inn-/utlasting, men ikke større. Stort volum over reolene vil gi en del kortslutning av luften. Andre avstander i tunnelen bør også gjøres minst mulig men slik at inn/utlasting går uten forhindringer.

Simuleringer viser at en frysetunnel som i Figur 5.1 bør ha himling, ellers så går mye av luften direkte tilbake til fordampere og vifte og hastigheten over hyllene lengst blir liten. Halv lengde på himlingen er bedre enn ingen himling, men himlingen bør dekke produktarealet for best effekt.

Med full lengde på himlingen har målinger og simuleringer vist at hastigheten over de øverste produktene blir lav, men hvis en ledeskovl installeres blir hastigheten i tunnelen jevnere. Hvis tunnelen er utformet annerledes enn Figur 5.1, med større frie volumer må det vurderes om ledeplater eller -skovler skal installeres på andre plasser.



**Figur 5.2. Skisse tunnel sett ovenfra, forslag plassering reoler i frysetunnel, 4 rader og 15 rekker**

### Temperaturer i fordampere og væskeutskiller

Temperaturen målt på væskeutskilleren i kuldeanlegget bør være stabil. Hvis denne øker er det et tegn på at kuldeytelsen ved anlegget er for lav for den mengden produkter man lastet i tunnelene. Hvis dette ofte skjer bør man øke kuldekapasiteten til anlegget. Det er også viktig ikke å laste mer i tunnelen enn den er dimensjonert for. En forhøyet kuldemedietemperatur gir lengre frysetid enn dimensjonert.

På grunn av trykktap i rørene vil temperaturen i fordampere være noe høyere enn i væskeutskilleren, men denne differansen bør være lavest mulig. Hvis den er stor kan det være et tegn på vann eller luft i systemet. En automatisk vannutskiller og luftutskiller bør da installeres. Målinger (målt på fordamperrørene med isolering) og simuleringer har vist at temperaturen i fordampere endrer seg med høyden.

### Frysetid

Slik dagens innfrysingsanlegg er bemannet bør innfrysningen skje innenfor 19 timer. Det betyr at kjernetemperaturen bør være under  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  etter 19 timer for å ivareta teknisk og organoleptisk kvalitet.

### Fordampere

Ytelse fordampere bør være større enn minimum kuldeeffekt. Dette fremfor alt på grunn av fare for påriming, nedkjøling ved oppstart og risk for skeivfordeling av luft i tunnelen. Tidligere prosjekter viser at 10-15 % større effekt er vanlig dimensjoneringsrutine. Fordampere bør fylle hele tverrsnittet for å unngå falskluft. En må også sørge for at man ikke for skjevforelding av kuldemedie i fordamperrørene siden dette resulterer i ulik frysetid i tunnelen

### Avriming

Avriming av fordampere er viktig. Rim på fordampere gir dårligere varmeovergang og øker trykkfallet over fordampere. I en hektisk produksjonsperiode går det ofte mange innfrysinger mellom hver avriming og det vil øke energiforbruket samt forlenge innfrysningstiden.

### **Vifter**

Viftene dimensjoneres slik at luftmengden i tunnelen gir ønsket/akseptert temperaturstigning over produktene. De bruker energi både direkte og indirekte siden de avgir varme til luften i tunnelen, og denne varmen må fjernes av kuldeanlegget. Simuleringer med vifter plassert midt på himlingen viser at det er best å la luften gå fra vifter til fordamper og deretter over produktene. Imidlertid er det mest vanlig å bygge med viftene plassert rett over fordamper, slik som vist i figur 5.1. Med den plassering vil det være mest hensiktsmessig å la viftene blåse over himlingen, gjennom produkt og fordamper da det gir minst trykktap og høyest lufthastighet over produktene.

### **Overvåking og logging**

Overvåking og logging av flere forskjellige parametre i systemet har vist seg å være svært viktig for å ha kontroll og oversikt over energibruk. Det finnes systemer for overvåking av energibruk, som i tillegg kan gi forbedringsforslag. Det er viktig å skille energibruk til kuldeanlegg og vifter fra resten av fabrikk. Da går det å få et mer nøyaktig tall på spesifikk energibruk per tonn produkt, hvilket kan sammenlignes.

Det er vanlig å ha måling av lufttemperatur i tunnelen og styre driften delvis av denne. Det kan i tillegg være bra å ha noen flere sensorer for måling av lufttemperaturer. Hvis sensorer plasseres på forskjellige høyder, før og etter produkt samt etter fordampere, kan det gi indikasjoner på skjevfordeling og rim og isdanning på fordamperne.

For å få lave nok produkttemperaturer og lavt energibruk er det viktig å tilpasse driften til type og mengde produkt, men for å få det til må man ha oversikt over hva som skjer under innfrysingen.

## 6 Leveranser

Følgende leveranser har blitt utarbeidet i løpet av prosjektperioden.

- L1.1: Rapport om driftserfaringer ved dagens anlegg
- L1.2: Rapport om energibruk og energieffektiviseringstiltak ved dagens anlegg inkludert forslag til energiovervåkningssystem (30. aug 2014)
- L2.1: Publikasjon om frysetid, emballasje og lufthastighet (20 jun 2014)
- L2.2: Rapport om nøkkeltall (20. jun 2014)
- L3.1: Rapport om frysemetoder for pelagisk fisk (20 mar 2015)
- L4.1: Kuldesystemer for pelagisk landindustri (15 mar 2015)
- L5.1: Møtereferat styringsgruppemøte 1.
- L5.2: Presentasjon for pelagisk næring 2013
- L5.3: Årsrapport 2013
- L5.4: Møtereferat styringsgruppemøte 2.
- L5.5: Møtereferat styringsgruppemøte 3. (30 sep 2014)
- L5.7: Årsrapport 2014 (20 des 2014)
- L5.8: Sluttrapport (15 apr 2015)
- L5.9: Populærvitenskapelig artikkel (15 apr 2015)
- L5.10: FHF Faktaark (15 apr 2015)
- L5.11: Møtereferat prosjektevaluering (30 apr 2015)

Notat Litteraturstudier

Notat "Analysis of freezing tunnel construction and air flow distribution"

Notat "Comparing simFlow with Fluent"

Masteroppgave Ephraim Gukelberger



Teknologi for et bedre samfunn

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)