

**SINTEF****SINTEF RAPPORT****SINTEF**

Postadresse: 7465 Trondheim  
 Besøksadresse:  
 SINTEF, Forskningscenteret på Rotvoll  
 Arkitekt Ebbellsvei 10  
 7053 Ranheim  
 Telefon: 73 59 56 50  
 Telefaks: 73 59 56 60  
 E-post: fish@sintef.no  
 Internet: www.sintef.no

Foretaksregisteret: NO 980 478 270 MVA

TITTEL

**Fremtidens pelagiske innfrysingsbedrift**

FORFATTER(E)

Tom Ståle Nordtvedt, Marit Sandbakk

OPPDRAGSGIVER(E)

FHL Industri og Eksport, Pelagisk Forum

RAPPORTNR. <b>STF80 F045009</b>	GRADERING <b>Fortrolig</b>	OPPDRAGSGIVERS REF. <b>Jan Thorsen</b>	
GRADER. DENNE SIDE <b>Fortrolig</b>	ISBN	PROSJEKTNR. <b>850058.00</b>	ANTALL SIDER OG BILAG <b>91</b>
ELEKTRONISK ARKIVKODE Hovedrapport-final		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) <b>Tom Ståle Nordtvedt</b>	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) <b>Ola M. Magnussen</b>
ARKIVKODE	DATO <b>2004-02-17</b>	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) <b>Marit Aursand, Forskningsjef</b>	

## SAMMENDRAG

Klipp fra "Norsk Fiskerinæring" nr 9. – 2003:

*"27.august i år startet testproduksjonen i det som er omtalt som fremtidens pelagiske innfrysingsbedrift i Hjørungavåg. Etter at 1.250 tonn sild er kjørt gjennom den nye linjen tar Global Fish nå over pilotfabrikken. Siden oppstarten har man installert RSW-anlegg for å unngå kvalitetstap. Innfrysingstiden er kraftig redusert og kundens respons på fryseposene med pelagisk fisk er positiv. Prosjektleder Rune Hoddevik virker overbevisende fornøyd. Men foreløpig er det få offisielle tall som kan dokumentere suksessen."*

Dette klippet gjenspeiler hovedresultatene fra prosjektet. Fra hovedprosjektets oppstart har man fått diskutert ulike hypoteser, prøvd disse i laboratoriet og gjennom numeriske modellering og simulering, for til slutt å få testet hele konseptet i storskala. Tidlig i prosjektperioden foretok man undersøkelser i enkelte markeder for å skaffe en oversikt over hvilke ønsker mottakere av pelagisk råstoff hadde. Erfaringene var at de ønsker emballasje som er mindre og bedre tilpasset deres tine systemer. Kundene var heller ikke fremmed for halvfabrikata som gjorde deres prosess enklere. Mange så også gjerne at det ble brukt mindre emballasje og at den var enklere å fjerne og destruere. Gjennom arbeidet ble det diskutert mange løsninger for innfrysingsdelen av anlegget. Det var viktig at den var kontinuerlig og ikke sekvensvis som dagens anlegg. Mange innspill kom også på hvordan enhetsstørrelsen burde være for å gjøre den håndterbar i et automatisk anlegg. Løsningen som ble valgt, kom som et kompromiss mellom varmestrømsmessige argumenter og ønsket om et automatisert prosess. Arbeidsgruppen valgte en løsning som baserte seg på luft tunnel med automatisk gjennomføring av varene. Det har vært lagt ned mye arbeide i å finne optimale komponenter og få disse til å fungere sammen. Linjen slik den fremstår i dag er helautomatisk og man trenger kun to operatører for å operere anlegget (som kan komme opp i en døgnproduksjon på opp mot 250 tonn innfrosset råstoff). Truckbruken er eliminert. Etter man valgte innfrysingskonsept ble det brukt mye tid til å utvikle den emballasjen som best tilfredsstilte de krav teknologi og kvalitet stilte. Resultatet ble en tofarget dyptrykket plastemballasje. Gjennom prosjektet har emballasjeleverandøren kommet frem til ny patenterbar emballasje. En av målsetningene med prosjektet var å redusere energiforbruket knyttet til innfrysing. Teoretiske beregninger av forbruket på prototypen slik den nå står, viser at det har et potensial på 75% av det energiforbruket man per i dag har til de eldre, tradisjonelle innfrysingstunnelene ved anlegget (som har et gjennomsnittlig forbruk på 0,16 kWh/kg fisk.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1		
GRUPPE 2		
EGENVALGTE		

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Sammendrag</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrunn</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Prosjektstruktur</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Delprosjekter</b> .....	<b>6</b>
4.1	Dokumentasjon av kundenes behov, krav og ønsker .....	6
4.1.1	Tyskland .....	6
4.1.2	Danmark .....	7
4.1.3	Polen.....	8
4.1.4	Japan.....	8
4.1.5	Sammendrag - Kundeønsker .....	8
4.2	Bestemme kvalitet avhengig av innfrysing og lagring .....	9
4.2.1	Vakuumering .....	9
4.2.2	Forsøksgjennomføring .....	10
4.2.3	Resultater.....	11
4.2.4	Konklusjoner .....	18
4.2.5	Innledende innfrysingsforsøk .....	18
4.2.6	Emballasje .....	26
4.2.7	Holdbarhet.....	28
4.3	Identifisering av problemråstoff .....	32
4.4	Bestemme frysetid og vekttap for aktuelle frysemetoder, pakking, prosesser og utstyr.32	
4.4.1	Innfrysing .....	33
4.5	Kontinuerlig innfrysing av pelagisk fisk .....	36
4.5.1	Valg av emballasje .....	36
4.6	Redusere energiforbruk ved innfrysing og utnytte varmen fra kuldesystemet.....	43
4.6.1	Kuldeytelsesbehov .....	43
4.7	Dokumentere prototyp samt behov for forbedringer og videre utvikling. ....	66
4.7.1	Energibehov for referanseanlegget og alternativ med CO <sub>2</sub> /NH <sub>3</sub> -kaskade ved Global Fish .....	66
	Spesifikasjoner for kuldeanleggene .....	67
<b>5</b>	<b>Tilleggsprosjekt NFR</b> .....	<b>72</b>
5.1	Prototyp uttesting.....	72
5.1.1	Oversikt over prøveseksjonen.....	73
5.1.2	Normalisering av forsøksresultatene .....	75
5.1.3	Lufthastighetsfordeling inn på stativene .....	76
5.1.4	Strømrettere .....	80
5.1.5	Fordeling av totaltrykk i tunnelen.....	81
5.1.6	Luftmengde .....	83
5.1.7	Motoreffekt.....	84
5.1.8	Plassering og utforming av permanent luftmengdemåler .....	84
5.1.9	Temperaturfølere på luftsiden.....	85
5.1.10	Målinger på prototyp .....	86
5.2	Luft fordeling – Simulering – Verifisering .....	87
5.3	Lavtemperatur anlegg.....	87
5.3.1	Sammendrag fra Rapport ”Lavtemperatur frysetunnel med CO <sub>2</sub> ”.....	88
<b>6</b>	<b>Kostnadsforhold (Lønnsomhet for bedriftene)</b> .....	<b>88</b>
<b>7</b>	<b>Rapportering, publisering og vedlegg</b> .....	<b>90</b>

## 1 Sammendrag

### *Innledning*

Pelagisk forum er en gruppering under tidligere Fiskerinæringens Landsforening (FNL), nå FHL industri og eksport. Under en samling i Pelagisk forum den 08.11.99 og under et oppfølgende møte den 09.11.99, ble det bestemt at det skulle utarbeides skisser til et prosjekt under pelagisk sektor.

I styringsgruppemøtet ble det bestemt at SINTEF skulle utarbeide en skisse av til prosjekt med arbeidstittel "Kontinuerlig innfrysing av pelagisk fisk". Prosjektet skulle ta utgangspunkt i lossing av fisken hos innfrysingsbedriften og ta for seg hvert enkelt prosesstrinn gjennom bedriften for å finne frem til forbedringspotensialer. Hovedfokus i prosjektet skulle være rettet mot forbedret flyt og reduksjon i innfrysingskostnader. Reduksjonen skulle oppnås gjennom mer effektiv innfrysing og reduksjon i utgiftene til emballasje.

Det ble søkt om et brukerstyrt prosjekt fra NFR, som ble innvilget. Pelagisk Forum satt som søker og satte opp en styringsgruppe for prosjektet med representanter fra Pelagisk Forum og SINTEF. SINTEF ble gitt oppdraget med å stå for den vitenskapelige gjennomføringen av prosjektet. Det ble også opprettet en arbeidsgruppe i prosjektet som SINTEF skulle diskutere den daglige drift av prosjektet med. Arbeidsgruppen bestod av, leder for Pelagisk Forum, MMC-Fodema (Optimar Kulde), Global, PAM Refrigeration og prosjektleder fra SINTEF.

I løpet av det første året ble det avklart at man ønsket å bygge et prototyp anlegg i 100 % skala for å verifisere hovedideen i prosjektet. Dette medførte at prosjektet måtte skaffe til veie ytterligere finansiering. Man skilte ut et eget prototyp-prosjekt for å skille mellom de byggetekniske utfordringer og selve prosess delen. Gjennom daværende "Funn"-ordning, SND og Fiskeri og Havbruksnæringens forskningsfond (FHF) samt storstilt egeninnsats og egenfinansiering fra bedriftenes side, fikk man til en tilfredstillende finansiering for prototyp. Man søkte også om ekstra finansiering fra NFR for å instrumentere og måle på prototyp-anlegget.

Emballasje har vært et viktig tema i dette arbeidet og etter en intervjurunde med flere potensielle leverandører ble det bestemt at Tommen Gram skulle inviteres til å delta i prosjektarbeidet.

### *Resultater*

Klipp fra "Norsk Fiskerinæring" nr 9. – 2003:

*"27.august i år startet testproduksjonen i det som er omtalt som fremtidens pelagiske innfrysingsbedrift i Hjørungavåg. Etter at 1.250 tonn sild er kjørt gjennom den nye linjen tar Global Fish nå over pilotfabrikken. Siden oppstarten har man installert RSW-anlegg for å unngå kvalitetstap. Innfrysingstiden er kraftig redusert og kundens respons på fryseposene med pelagisk fisk er positiv. Prosjektleder Rune Hoddevik virker overbevisende fornøyd. Men foreløpig er det få offisielle tall som kan dokumentere suksessen."*

Dette klippet gjenspeiler hovedresultatene fra prosjektet. Fra hovedprosjektets oppstart har man fått diskutert ulike hypoteser, prøvd disse i laboratoriet og gjennom numeriske modellering og simulering, for til slutt å få testet hele konseptet i storskala.

Tidlig i prosjektperioden foretok man undersøkelser i enkelte markeder for å skaffe en oversikt over hvilke ønsker mottakere av pelagisk råstoff hadde. Erfaringene var at de ønsker emballasje som er mindre og bedre tilpasset deres tine systemer. Kundene var heller ikke fremmed for halv-

fabrikata som gjorde deres prosess enklere. Mange så også gjerne at det ble brukt mindre emballasje og at den var enklere å fjerne og destruere.

Gjennom arbeidet ble det diskutert mange løsninger for innfrysingsdelen av anlegget. Det var viktig at den var kontinuerlig og ikke sekvensvis som dagens anlegg. Mange innspill kom også på hvordan enhetsstørrelsen burde være for å gjøre den håndterbar i et automatisk anlegg.

Løsningen som ble valgt, kom som et kompromiss mellom varmestrømsmessige argumenter og ønsket om et automatisert prosess. Arbeidsgruppen valgte en løsning som baserte seg på luft tunnel med automatisk gjennomføring av varene. Det har vært lagt ned mye arbeide i å finne optimale komponenter og få disse til å fungere sammen. Linjen slik den fremstår i dag er helautomatisk og man trenger kun to operatører for å operere anlegget (som kan komme opp i en døgnproduksjon på opp mot 250 tonn innfrosset råstoff). Truckbruken er eliminert.

Etter man valgte innfrysingskonsept ble det brukt mye tid til å utvikle den emballasjen som best tilfredstilte de krav teknologi og kvalitet stilte. Resultatet ble en tofarget dypptrykket plastemballasje. Gjennom prosjektet har emballasjeleverandøren kommet frem til ny patenterbar emballasje.

En av målsetningene med prosjektet var å redusere energiforbruket knyttet til innfrysing. Teoretiske beregninger av forbruket på prototypen slik den nå står, viser at det har et potensial på 75% av det energiforbruket man per i dag har til de eldre, tradisjonelle innfrysingstunnelene ved anlegget (som har et gjennomsnittlig forbruk på 0,16 kWh/kg).

## 2 Bakgrunn

Dagens store pelagiske bedrifter er karakterisert av store volum og svært høy grad av automatisering. Fra fartøyene pumpes fisken i land med store vakuumpumper, veies automatisk og transporteres til gradere og til pakking. Innsetting i frysereoler er automatisert og med kapasiteter på mange titalls tonn i timen. Ved fryseren stopper imidlertid automatiseringen, reolene kjøres inn med truck og stables i tunnelene og frysingen gjennomføres i en typisk "batch" prosess om gir stopp i produksjonsflyten. Etter frysing tas reolene ut igjen med truck, og kjøres til en automatisk avlesning og palletisering for videre transport til fryselager.

For å fryse de store volum det her er snakk om, er bedriftene utstyrt med flere store parallelle frysetunneler, hver med plass til opptil 100 tonn fisk eller mer. Årsaken er at med dagens emballasje og pakningsstørrelse, er normal frysetid ca. ett døgn. Mange krever endog betydelig mer tid om temperaturkravene etter frysing følges.

Målinger utført i studentoppgaver i laboratoriet under kontrollerte forhold, viser frysetid på 18-20 timer selv ved lav luft temperatur og høy lufthastighet. Målingene viser også betydelig forkorting av frysetiden når hull stanses i lokket, og ved å fjerne lokket helt, er frysetiden til 20 kilos esker nede i 8-9 timer ved vanlige fryseforhold.

Det er åpenbart store forbedringsmuligheter ved å finne riktig – og billigere emballeringssystem. Samtidig vil frysesystem, tunneloppbygging, lufthastigheter/fordeling måtte gjennomgås og vurderes ut fra bl.a. kostnads- og energimessige forhold. Unødvendig store vifter, skjev luftstrømning og manglende styring av vifter gir unødig høyt energibruk. En må her også være klar over at denne energitilførselen må fjernes av kuldesystemet – og koster derved dobbelt energimessig, samtidig som den krever større kuldesystem. Energibruk og -utnyttelse vil derfor være sentrale elementer i produksjonskostnadene

Ved å få ned frysetiden, eksempelvis til 4-6 timer, vil mulighetene for automatisering også av fryselinjen være betydelig bedret.

### 3 Prosjektstruktur

#### Hovedmål

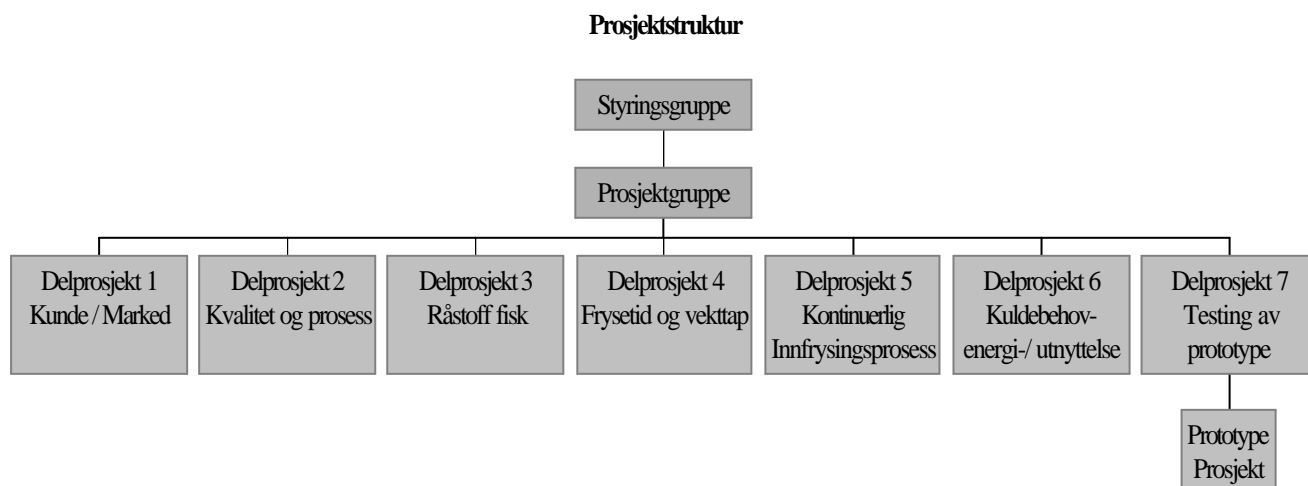
Utvikle rasjonell og kontinuerlig fryseprosess for pelagisk fisk som gir effektiv utnyttelse av arbeidskraft, investeringer og energi, og som samtidig tilfredsstillers kjøpers behov.

#### Delprosjekter

1. Dokumentasjon av kundenes behov, krav og ønsker
2. Bestemme kvalitet avhengig av innfrysing og lagring
3. Identifisering av problemråstoff
4. Bestemme frysetid og vekttap for aktuelle frysemetoder, pakking, prosesser og utstyr.
5. Kontinuerlig innfrysing av pelagisk fisk
6. Redusere energiforbruk ved innfrysing og utnytte varmen fra kuldesystemet
7. Dokumentere prototype samt behov for forbedringer og videre utvikling.

Deltagere i prosjektet:

- SINTEF Energiforskning AS
- SINTEF Fiskeri og Havbruk AS
- Global Fish AS (industripartner – fiskeforedling/produksjon)
- Optimar AS (maskinprodusent-utstyrsleverandør)
- PAM Refrigeration (kuldeentreprenør)
- FHL Industri og Eksport (Pelagisk Forum)
- Tommen Gram AS (emballasjeverandør)



## 4 Delprosjekter

For å lette organiseringen av arbeidet og skape god oversikt over den totale aktiviteten, er prosjektet delt opp i flere delprosjekter med egne mål. Det er imidlertid slik at en del forhold vil være viktige faktorer i flere av disse, eksempelvis kvalitet, emballasje, vekttap m.v.

### 4.1 Dokumentasjon av kundenes behov, krav og ønsker

Mål: Lage dokumentasjon av kundens krav, behov og ønsker

I all hovedsak eksporteres all pelagisk fisk til konsum. De viktigste markedene er Ukraina, Polen, Russland, EU(Danmark og Tyskland) og Japan. Disse markedene har svært ulik videreføring samt krav til organoleptisk kvalitet (utseende, lukt, smak, konsistens m.v.), og forskjellige anvendelser vil ofte stille andre krav ut fra foredlingsutbytte, tilpasning til maskinell bearbeiding, arbeidsforhold o.a. De ulike markedssegmentene stiller forskjellige krav til produktene, noe som må tas hensyn til ved valg av frysemetode og -arrangement, emballasje, distribusjon m.v. Valg, spesielt av frysemetode, enhets-størrelser og emballering, vil derfor kunne variere mellom bedrifter som selger til forskjellige markeder.

I dette delprosjektet har man foretatt enkle undersøkelser i noen markeder.

#### 4.1.1 Tyskland

Tyskland har et stort marked for produkter av pelagisk fisk – i hovedsak sild. Fisken foredles ofte til matjes eller ulike salater. Ser man å den totale produksjonene av fiskebaserte produkter i Tyskland, kom sild i på 90-tallet på 2.plass, kun så vidt slått Alaska Pollock og med nær dobbels så stor mengde som torsk. I 1997 ble det produsert (ferdig bearbeidet) 69.560 tonn sildeprodukter og 32.655 tonn fiskesalater (hvor sild ofte er ingrediens). Store deler (rundt 90%) av sildeforbruket (som i fangstvekt er på rundt 270.000 tonn) blir importert og Norge er en av de nasjonene som bidrar mest.

Det importeres i stor grad ferdig fileterte produkter (frosset). Rund fisk er mest til røyking (total omsetning av røkt sild var i 1997 på 2.326 tonn ferdig foredlet)

I forbindelse med prosjektet ble det gjennomført et besøk hos Nadler Feinkost i Bremerhaven

#### *Kort om Nadler Feinkost*

Nadler er en av Tysklands største leverandører av foredlede silde-produkter. De har rundt 60% av det Tyske markedet på matjes samt ulike sildesalater. Øvrige konkurrenter på dette området er hovedsakelig små lokale leverandører i ulike regioner. Andre bruksområder for foredlet pelagisk fisk er hermetikk og dette dekkes av et annet større firma. Nadler har også fabrikker flere steder i Tyskland og i Polen.

Nadler produserer i tillegg til sildeprodukter også produkter av alaska pollock og laks. Årlig håndteres rundt 25.000 tonn råstoff, hvorav 20-21.000 tonn er sild. Silden kjøpes ferdig filetert og

frosset. 7-8000 tonn er frosset filet, 7-8000 tonn er marinert og frosset mens 2-3000 er frosne "flaps".

Bedriften har 300 ansatte som jobber 2-3 skift per døgn.

De kjøper inn råstoff fra flere kilder (pris og kvalitet avgjør) Ønsket er å kunne kjøpe råstoff som tåler å stå lagret i inntil ett år og som de kan hente ut av lager ved behov. De har lagring av råstoff i Norge, i Coxhaven og til en viss grad lokalt. Det lokale lageret er relativt lite og stort sett beregnet for å oppbevare råstoff i kortere tid. lagerkapasiteten er ca 200 tonn og lagringstemperaturen er -20 (ved arbeidsukens slutt) - - 24 grader (mandag morgen).

Det frosne råstoffet hentes ut fra fryselager, og flere ansatte arbeider med å pakke ut pakkemballasjen. Forpakningen beholder plastsvøpet og settes i reoler som så kjøres inn i kammer hvor råstoffet tines ved hjelp av damp. Tinekapasiteten er på rundt 30 tonn/døgn (2-3 skift).

De tinte filetene vaskes og for de fersk-frosnes del vil de bli satt til modning i marinade. Filetene brukes til matjes, til salater og til ulike andre sildeprodukter (sursild mm). Det er en relativ barsk håndtering av filetene i prosessen – de tromles og ristes og skylles i mange runder – noe som stiller strenge krav til kvaliteten på råstoffet – som må henge godt sammen.

### ***Konkrete ønsker fra innkjøpsavdelingen***

De ser gjerne at pelagisk fisk leveres i mindre pakker. 20 kilos går bare akkurat inn i reolene som brukes til steam-tingen og dette fører i mange tilfeller til at de heller kjøper råstoff fra båter enn fra norske landbaserte innfrysingsbedrifter. Båtene produserer mindre pakninger, og det er særlig høyden på pakkene som er kritisk.

Med hensyn til emballasje-materiale, vil de helst ikke ha papp. Det medfører et betydelig ekstraarbeid i forbindelse med utpakking av råstoffet før tining og store avfallsmengder – som de i mange tilfeller må betale ekstra for å kvitte seg med.

På spørsmål om de kan tenke seg fisken vakuumpakket så har de ingen innvendinger på det. Men at ved bruk av plast for pakking så bør den være lystett i og med at lystilgang øker hastigheten på oksidasjonsprosessen i råstoffet. De er også interessert i pakninger med fileter i lake. Vanntilgang (rent ferskvann) og kostnader i Europa er kritiske faktorer – og fileter ferdig lake i lake vil bidra til å redusere deres kostnader på det området.

De ser gjerne at innfrysingsprosesser sammen med emballaseløsninger og lagringsforhold gjør det mulig å lagre råstoffet i inntil ett år uten at det går ut over kvaliteten for de videreforedledede produktene.

### **4.1.2 Danmark**

Det var opprinnelig meningen at Tysklandsturen skulle kombineres med et besøk ved danske bedrifter som foredler pelagisk fisk. Men en kontaktrunde konkluderte med at disse bedriftenes driftsform ikke var spesielt relevant for dette prosjektet.

De gjeldende bedrifter befinner seg hovedsakelig i Nord-Jylland i tillegg til et par bedrifter som ligger i Esbjerg og Grenå. Det vanlige for disse bedriftene er at de kjøper inn varene fersk og gjør den opp, fileterer, videreforedler, eventuelt fryser inn. Sild foredles direkte, mens makrellen gjerne fryses inn i sesongen og produseres over hele året. Flere av bedriftene har egne fiskeflåter

som skaffer dem det ferske råstoffet. Danske bedrifter leverer også frosset filet til det tyske markedet for videre foredling der.

#### 4.1.3 Polen

I forbindelse med Polfish messen i Gdansk ble det gjennomført en studietur til ulike kjøpere av norsk pelagisk fisk i 2002.

Sammen med medlemmer av pelagisk forum ble flere bedrifter som kjøper frosset norsk pelagisk fisk besøkt. Hovedinntrykket etter å ha besøkt bedriftene, er at de bruker mye gammelt utstyr og at mange av operasjonene skjer manuelt. Selv relativt moderne bedrifter som Superfish (eid av Abba Seafood) brukte gamle tinetunneler.



*Figur 1: Manuell produksjon i Polen*

Gjennom samtaler med de som arbeider med å ta i mot pelagisk fisk på fabrikkene, erfarte man at de ønsker enklere emballasje. Relativt mye tid gikk med til å fjerne pappemballasje samtidig som det var begynt å bli en utfordring å bli kvitt den. Et annet ønske var mindre pakker. De mottok en del ombordfrosset råstoff som var fryst inn i vertikal fryserer. Disse pakningene er på 10 kilo og tar kortere tid å tine.

#### 4.1.4 Japan

Noen kunder i Japan ble intervjuet gjennom en salgsrepresentant fra Global. Signalene fra disse var måteholdne. De måtte ha forsikringer om at den nye emballasjen ikke var dårligere enn den de fikk i dag. Men ellers var det til syvende og sist et spørsmål om pris.

#### 4.1.5 Sammendrag - Kundeønsker

I all hovedsak var kundene positive til endringer av emballasjen så lenge produktene ikke var av dårligere kvalitet. De ønsket gjerne emballasje som var enklere å ta av og lettere å tine. Men det argumentet som mest av alt vil få dem villige til å skifte, var at produktene ble billigere.

Spesielt de siste årene har fortjenestemarginene vært så små at alle i næringen er opptatt av lavere kostnader i alle ledd.



## 4.2 Bestemme kvalitet avhengig av innfrysing og lagring

Pelagisk fisk er generelt feit og med store variasjoner i sammensetning over året/sesonger. Samtidig varierer innhold av åte og enzym-aktivitet slik at også disse faktorene må tas med ved vurdering av kvalitet og egnethet for forskjellige produkter og prosessering.

Den viktigste faktoren for kvalitetstap etter fangst, er temperatur på fisken. I alle ledd må derfor kravet til temperaturkontroll settes i fokus. Dette krever dokumentasjon av fangstbehandling, lagring og temperaturer fra fangst til frysing.

Ut fra tidligere forskning, synes frysehastigheter innen det som brukes innen denne type industri ikke å ha særlig betydning. Intracellulære iskrystaller kan ikke oppnås ved kommersiell frysing og variasjon i frysetider som er aktuelle i dette prosjektet har i så henseende liten effekt. Det vil allikevel bli undersøkt om at en kan få så rask frysing at dette kan føre til sprekkdannelse på grunn av volumutvidelse forbundet med omdanning av flytende vann til fast is, og da spesielt for fisk med mye åte. En se på hvor stor kvalitetsslitasje langsom frysing gir, for å kunne vurdere konsekvensene av energioptimal kjøring av kuldeanleggene i perioder med lite råstoff.

Temperatur ved lagring og distribusjon vil være svært viktig for kvalitetstap og spesielt for harskning. Kvalitetstapene ved lagring er rimelig godt dokumentert (Ref. *Langtidslagring av fet fisk*, SINTEF Åpen rapport STF11 A91035) For frysingen må dette tas hensyn til gjennom at innfrysingsprosessen først avsluttes når temperaturen er nær lagertemperatur.

Pelagiske innfrysingsbedrifter karakteriseres av store volum fisk og et enormt antall enheter. Emballasjen har flere hensikter, som å redusere antall enheter, beskytte varen, forenkle håndtering og transport, m.v. Samtidig vil både tidspunkt for samling i større enheter og emballasje, i stor grad påvirke både fryseprosessen og mulighetene for rasjonalisering av prosessen som helhet.

Emballasjen må ivareta behovet for rasjonell produksjon, stabil lagring, effektiv transport og rasjonell håndtering hos kjøper.

### 4.2.1 Vakuumering

I forbindelse med de innledende diskusjonene kom det raskt opp spørsmål om pelagisk fisk tålte å bli satt under det trykk vakuumering innebærer. Dette var viktig å få avklart tidlig i og med at det ville få betydning for både valg av emballasje og valg av innfrysingsmetode. Industrielle erfaringer hadde vist at man fikk skader på fisken dersom den ble pakket i emballasje med vakuum. For å få dokumentert de faktiske forhold, ble det gjennomført et forsøk.

Hensikten med forsøket var å undersøke effekten av å vakuumpakke rund makrell før innfrysing. Effekten ble undersøkt etter tining i tineanlegget og etter filetskjæring ved Global Products AS i Ålesund.

## 4.2.2 Forsøksgjennomføring

### 4.2.2.1 Pakking

Det ble landet notfanget makrell fra ”Fabian”, en dansk båt, ved Global Florø. Makrellen ble definert til å være av middels kvalitet. Pakkeforsøket startet kl 07:30 og kl 09:45 var 40 kartonger á ca. 20 kg ferdig pakket og plassert i reol. Reolen ble plassert i frysetunnel nr 2; i høyre felt midt i tunnelen. Etter innfrysing ble kartongene pakket på en pall og sendt med Hurtigruta til Ålesund, der tining, filetering og kvalitetsbedømmelse ble foretatt.

Tabell 1 viser at det ble benyttet 13 ulike vakuumpakkemetoder, og at det hovedsakelig var 3 blokker for hver metode. I de tre første metodene ble det forsøkt å styre vakuumpakkemaskinen manuelt, men da dette ikke fungerte tilfredsstillende, ble maskinen innstilt på automatisk pakking. I prinsippet ble det variert mellom lavt (750 mbar), middels (400 mbar) og mye vakuum (100 mbar) i pakkene, samt hvorvidt fiskene ble håndlagt enkeltvis i posene eller om hele batchen ble sluppet opp i posen og fiskene tilfeldig plassert i forhold til hverandre. I tillegg ble det kjørt tre forsøk der man tilsatte sjøvann i pakkene. Dette ble gjort for å undersøke om dette eventuelt ville kunne ”beskytte” fiskene mot presset som vakuomet utøver mot innholdet i posen.

**Tabell 1** Oversikt over de ulike vakuumpakkemetodene som ble benyttet i forsøket

<i>Maskininnstilling</i>				
<i>Manuell/automatisk</i>	<i>Vakuumeringsmetode</i>	<i>Antall blokker</i>	<i>Pakking i posene</i>	<i>Tilsetning av sjøvann</i>
<i>Manuell</i>	<i>0,1 (750 mbar)</i>	<i>3 stk</i>	<i>Håndlagt</i>	
	<i>0,2 (400 mbar)</i>	<i>4 stk</i>	<i>”</i>	
	<i>0,4 (100 mbar)</i>	<i>3 stk</i>	<i>”</i>	
<i>Automatisk</i>	<i>1,5 (750 mbar)</i>	<i>3 stk</i>	<i>Håndlagt</i>	
	<i>2,5</i>	<i>2 stk</i>	<i>”</i>	
	<i>3,5 (400 mbar)</i>	<i>4 stk</i>	<i>”</i>	
	<i>5,0 (100 mbar)</i>	<i>3 stk</i>	<i>”</i>	
<i>Automatisk</i>	<i>1,5 (750 mbar)</i>	<i>3 stk</i>	<i>Tilfeldig</i>	
	<i>2,5</i>	<i>3 stk</i>	<i>”</i>	
	<i>3,5 (400 mbar)</i>	<i>3 stk</i>	<i>”</i>	
<i>Automatisk</i>	<i>3,5 (400 mbar)</i>	<i>3 stk</i>	<i>Tilfeldig</i>	<i>Med sjøvann</i>
	<i>3,5 (400 mbar)</i>	<i>3 stk</i>	<i>Håndlagt</i>	<i>” ”</i>
	<i>5,0 (100 mbar)</i>	<i>3 stk</i>	<i>”</i>	<i>” ”</i>

Figur 2 viser hvordan fiskene ble liggende i posen ved tilfeldig plassering, det vil si ikke håndlagt enkeltvis, mens Figur 3 viser hvordan fiskene ble plassert ved håndlegging av enkeltfiskene. Som Figur 3 viser ble fiskene lagt spord mot spord i to rekker og med buken i samme retning. For å fylle posen ordentlig ble det lagt en fisk ved hver kortende og to fisker på midten der spordene fra de to radene møttes. Det ble lagt to lag i hver pose og vekten lå i underkant av 20 kg.



**Figur 2** Tilfeldig plassering av makrellen i vakuumposen



**Figur 3** Håndlagt og vakuumpakket makrell

#### 4.2.2.2 Tining

Ved ankomst til Global Products AS ble pallen satt inn på fryserom. Før tining ble de frosne blokkene med de ulike vakuumeringsmetodene fotografert for å dokumentere at de hadde noe forskjellig utseende. Halvparten av partiet ble lagt i reoler og holdt ved 12-14°C i ca. 5 timer før reolen ble plassert i en container med temperatur rundt 4°C. Etter ca 10 timer ble settpunktet for temperaturen i containeren redusert til -3°C. Blokkene ble tatt ut for vurdering 8 timer senere. Hensikten med å lufttine var å undersøke hvorvidt man fikk samme effekt av vakuumpakking uansett tinemetode, samt å få målt mengde blodvann i pakkene.

Den andre halvparten av partiet ble tint i bedriftens tineanlegg. Partiet ble tatt ut og hver av blokkene ble pakket i fiskenot med liten maskevidde etter at plasten rundt blokken var fjernet. Blokkene ble merket og hatt opp i tinekaret sammen med dagens øvrige produksjon. Det ble kjørt to parallelle blokker for hvert av vakuumeringsforsøkene. Tining i tineanlegget tok ca 3,5 timer. Etter tining ble notposene med de tinte blokkene i tatt ut av linjen og vurdert med hensyn til utseende og egnethet for videre fremstilling til fileter. Fiskene i hver blokk ble vurdert og gradert etter prinsippet godkjent/ ikke godkjent. Samtlige fisker ble filetert og filetene ble gradert på tilsvarende måte.

#### 4.2.3 Resultater

##### 4.2.3.1 Pakking

Forsøkene med manuell betjening av vakuumpakkemaskinen viste at det var svært vanskelig å regulere vakuumeringstiden slik som ønsket. Derfor ble resten av forsøkene gjennomført med automatisk innstilling av maskinen.

Ved pakkingen med lite vakuu, det vil si 0,1 sek ved manuell betjening av maskinene og 1,5 ved automatisk maskininnstilling, ble det registrert at posene kun ble mer eller mindre forseglet og at vakuuemet i posen var minimalt. Dette ga seg utslag i at posene var vanskelig å betjene. Videre ble det registrert at ved forsøkene med mye vakuu, det vil si 0,4 sekunder og 5,0 sekunder henholdsvis for manuell og automatisk maskininnstilling, ble fiskene klemt så mye at blod ble trukket ut fra fiskene, mest sannsynlig ut gjennom gjellene. Blodet ble liggende mellom fiskene.

Dette fremkommer tydelig i Figur 4 som viser håndlagt makrell i poser som har vært utsatt for vakuum i 5,0 sekunder, som tilsvarer mye vakuum.



**Figur 4** Håndlagt makrell som er eksponert for vakuum i 5,0 sekunder

Figur 5 viser et bilde av makrell som har vært eksponert for like mye vakuum, nemlig 5,0 sekunder, men som i tillegg ble tilsatt sjøvann i posen før vakuumering. Som det fremgår ble ikke fiskene klemt i like stor grad som tilsvarende prøve uten sjøvann og i tillegg ble kun små mengder blod presset ut i sjøvannet. Figur 6 viser hvordan blod/ blodvann har blitt klemt ut gjennom gjellene under vakuumeringen. I motsetning til bildene i Figurene 2 til 5, som er tatt rett etter pakking, er dette bildet tatt etter innfrysing og transport.



**Figur 5** Håndlagt makrell tilsatt sjøvann og deretter eksponert for vakuum i 5,0 sekunder



**Figur 6** Håndlagt makrell som er eksponert for vakuum i 0,4 sekunder ved manuell betjening

Figur 7 viser hvordan en frossen makrellblokk som var vakuumpakket i 5,0 sekunder så ut i forhold til en frossen makrellblokk som var vakuumert i 1,5 sekunder, som er avbildet i Figur 8. Det fremgår av bildene at blokken i Figur 7 er bortimot kompakt og at plastfilmen er strukket stramt rundt fiskene slik at det finnes svært små mengder luft i blokken. I Figur 8, derimot, fremkommer det at plastfilmen på langt nær er strukket like stramt rundt fiskene, noe som har gitt luftlommer mellom fisken og plasten. Luftlommene mellom fiskene vises tydelig som grå felter ved at det er dannet is på innsiden av plasten



**Figur 7** Håndlagt makrell som er vakuumert i 5,0 sekunder og deretter nedfrosset



**Figur 8** Håndlagt makrell som er vakuumert i 1,5 sekunder og deretter nedfrosset

Figur 9 viser en frossen blokk av tilfeldig pakket makrell som har vært eksponert for vakuum i 2,5 sekunder. Figur 10 viser også en frossen blokk av tilfeldig pakket makrell, men i denne posen ble det tilsatt endel sjøvann før vakuumering i 3,5 sekunder. Bildene viser tydelig blodmengden rundt fiskene og hvordan plastfilmen presser fiskene sammen i Figur 9, mens Figur 10 viser at blodmengden er mindre og at sjøvannet beskytter fiskene for noe av presset fra plastfilmen til tross for at vakuumeringstiden er lenger.



**Figur 9** Tilfeldig pakket makrell som er vakuumert i 2,5 sekunder



**Figur 10** Tilfeldig pakket makrell tilsatt sjøvann og vakuumert i 3,5 sekunder

#### 4.2.3.2 Tining

Prinsippet med å pakke inn de frosne blokkene i notposer før tining i bedriftens tineanlegg fungerte helt greit. Etter tining ble notposene tatt ut fra linjen og enkeltfiskene vurdert med hensyn til utseende og egnethet for filetering. Som figurene fra 11 til 18 viser, så fremkommer tydelig hvilke effekter vakuumpakking har på fiskene. Figurene 11 og 12 viser at fiskene har mye blod rundt seg, noe som ga misfarging av skinnet. Ved sammenligning av fisk fra dagsproduksjonen fremgikk tydelig at dette var tilfellet. I tillegg vises store deformasjoner av fisken som følge av

vakuumeringen, som i dette tilfellet var 3,5 sekunder. Den tilfeldige pakkingen vises ved uregelmessig og tilfeldig deformasjon av fiskene.



**Figur 11** Tilfeldig pakket makrell, som er vakuumert i 3,5 sekunder, etter tining



**Figur 12** Enkeltfisk fra tilfeldig pakket makrell, som er vakuumert i 3,5 sekunder, etter tining

Figurene 13 til og med 16 viser håndlagt makrell med en vakuumeringstid på 5,0 sekunder. Deformasjonene er betydelige, særlig for de fiskene som hadde ligget på tvers. I tillegg fremgår det hvordan fiskene regelrett klemmes i stykker med påfølgende skader i skinn og muskel. Det ble også registrert at øynene hos mange fisker var klemt i stykker og at øyemassen ble liggende rundt på utsiden av hodet. Dette ga en klar misfarge og fikk fisken til å se ”syk” ut, se Figur 16.



**Figur 13** Håndlagt makrell, som er vakuumert i 5,0 sekunder, etter tining



**Figur 14** Tre enkeltfisker fra en blokk håndlagt makrell, som er vakuumert i 5,0 sekunder



**Figur 15** Håndlagt makrell, 5,0 sekunders vakuumering, etter tining



**Figur 16** Håndlagt makrell, 5,0 sekunders vakuumering, etter tining

Figurene 17 og 18 viser håndlagt makrell med en vakuumeringstid på 3,5 sekunder, og på samme måte som beskrevet for prøver med vakuumeringstid på 5,0 sekunder er det mye blod rundt hver fisk og store deformasjoner hos mange av fiskene. Ved en vakuumeringstid på 3,5 sekunder ble det imidlertid ikke funnet skader på skinn og muskel tilsvarende det som fremkommer i Figur 15.



**Figur 17** Håndlagt makrell, som er vakuumert i 3,5 sekunder, etter tining



**Figur 18** Håndlagt makrell, som er vakuumert i 3,5 sekunder, etter tining

Figurene 19 og 20 viser hva som var typisk for mange fisker, nemlig at den siden som hadde vært eksponert mot plastfilmen så helt fin ut, mens den siden, som hadde hatt anleggsflater mot andre fisker, var deformert i anleggsflatene. Dette var gjennomgående for samtlige forsøk, med flest og størst deformasjoner for den lengste vakuumeringstiden



**Figur 19** Håndlagt, vakuumpakket fisk sett fra oversiden



**Figur 20** Håndlagt, vakuumpakket fisk sett fra undersiden

Etter tining ble fiskene vurdert enkeltvis, og Tabell 2 gir en oversikt over fordelingen av godkjente og ikke godkjente fisker i hvert forsøk, samt den prosentvise andelen av ikke godkjente fisker i hver gruppe.

**Tabell 2** Oversikt over ytre kvalitet i forhold til vakuumerings- og pakkemetode

<i>Forsøksparametre</i>				<i>Vurdering av ytre kvalitet</i>		
<i>Maskininnstilling</i>	<i>Vakuumeringsmetode</i>	<i>Pakking</i>	<i>Tilsetting</i>	<i>Godkjent (antall)</i>	<i>Ikke godkjent (antall)</i>	<i>Ikke godkjent (%)</i>
<i>Manuell</i>	<i>0,1 sek (750 mbar)</i>	<i>Håndlagt</i>		25	24	49,0
	<i>0,2 sek (400 mbar)</i>	<i>"</i>		12	46	79,3
	<i>0,4 sek (100 mbar)</i>	<i>"</i>		0	58	100,0
<i>Automatisk</i>	<i>1,5 sek (750 mbar)</i>	<i>Håndlagt</i>		45	12	21,1
	<i>2,5 sek</i>	<i>"</i>		16	14	46,7
	<i>3,5 sek (400 mbar)</i>	<i>"</i>		31	21	40,4
	<i>5,0 sek (100 mbar)</i>	<i>"</i>		0	58	100,0
<i>Automatisk</i>	<i>1,5 sek (750 mbar)</i>	<i>Tilfeldig</i>		35	20	36,4
	<i>2,5 sek</i>	<i>"</i>		21	34	61,8
	<i>3,5 sek (400 mbar)</i>	<i>"</i>		1	56	98,2
<i>Automatisk</i>	<i>3,5 sek (400 mbar)</i>	<i>Tilfeldig</i>	<i>m/sjø</i>	43	16	27,1
	<i>3,5 sek (400 mbar)</i>	<i>Håndlagt</i>	<i>"</i>	32	29	47,5
	<i>5,0 sek (100 mbar)</i>	<i>"</i>	<i>"</i>	29	29	50,0

Resultatene viser klart og entydig at den prosentvise andelen av ikke godkjente fisker øker med vakuumeringstiden. Ved tilfeldig pakking og 3,5 sekunders vakuumeringstid (400 mbar) ble hele 98,2 % av partiet ikke godkjent, mens for tilsvarende prøve tilsatt sjøvann før vakuumering ble kun 27,1 % av partiet underkjent. Dette er en dramatisk forskjell og viser klart hvordan presset fra vakuumet påvirker fiskenes ytre kvalitet på en negativ måte. Når det gjelder effekten av at fiskene håndlegges eller pakkes tilfeldig, er ikke konklusjonen like klar i og med at resultatene er noe sprikende på dette punktet.



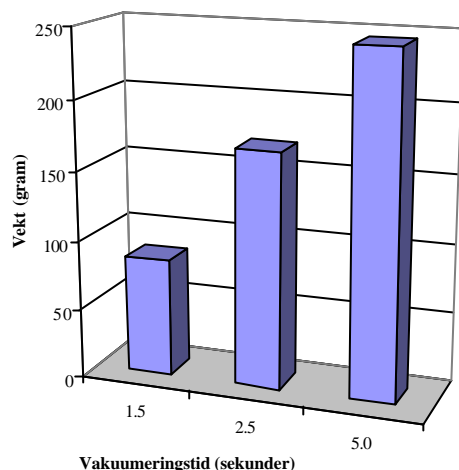
**Tabell 3** Oversikt over ytre kvalitet etter filetering i forhold til vakuumerings- og pakkemetode

Forsøksparametre				Vurdering av ytre kvalitet		
Maskininnstilling	Vakuumeringsmetode	Pakking	Tilsetting	Godkjent (antall)	Ikke godkjent (antall)	Ikke godkjent (%)
Manuell	0,1 sek	Håndlagt		70	28	28,6
	0,2 sek	”		25	33	56,9
	0,4 sek	”		0	116	100,0
Automatisk	1,5 sek	Håndlagt		92	22	19,3
	2,5 sek	”		33	27	45,0
	3,5 sek	”		72	32	30,8
	5,0 sek	”		*	*	*
Automatisk	1,5 sek	Tilfeldig		88	22	20,0
	2,5 sek	”		74	36	32,7
	3,5 sek	”		*	*	*
Automatisk	3,5 sek	Tilfeldig	m/sjø	98	20	16,9
	3,5 sek	Håndlagt	”	84	38	31,1
	5,0 sek	”	”	82	34	29,3

\* Disse partiene var ikke egnet for filetering

Tabell 3 gir en oversikt over fordelingen av godkjente og ikke godkjente fileter i hvert forsøk, samt den prosentvise andelen av ikke godkjente fileter i hver gruppe. I forsøk nr 2 med manuell maskininnstilling og 0,2 sekunders vakuumeringstid ble det mistet 28 fileter til den ordinære dagsproduksjonen. Prosenttallet for dette forsøket er derfor høyst usikkert og bør ikke taes med i videre betraktninger. Resultatene viser at lavest andel underkjente fileter finnes i forsøkene med lavest vakuum, mens tallene forøvrig ikke er like entydige som det som fremkommer i Tabell 2. Dette kommer av at en fisk som totalt sett ikke ble godkjent etter tining kan ha skade kun på den ene siden, mens den motsatte siden er helt fin, noe som er illustrert i Figurene 18 og 19. Dette vil kunne gi en godkjent og en ikke godkjent filet og dermed være forklaring på at prosentandelen ikke godkjent vare totalt sett er lavere etter filetering enn før.

Den lufttinte fisken ble vurdert med hensyn til ytre kvalitet, men det ble ikke gjennomført fileteringsforsøk da man så samme trender som det som er beskrevet i det foregående. Det ble imidlertid forsøkt å kvantifisere mengde blod/blodvann i posene som var vakuumert henholdsvis i 1,5 sekunder, 2,5 sekunder og 5,0 sekunder. Resultatene er fremstilt som et søylediagram i Figur 21. Her fremkommer en nesten lineær sammenheng mellom vakuumeringstid og mengde blod/blodvann i posen etter vakuumering, frysing og tining. Dette bekrefter bildet av at vakuumering av makrell etter noen av metodene som er gjennomført i denne undersøkelsen vil ha en svært negativ effekt på produktet.



*Figur 21* Mengde blodvann i vakuumposen etter tining

#### 4.2.4 Konklusjoner

Den helt klare og entydige konklusjonen fra dette forsøket er at vakuumeringstid lengre enn 1,5 sekunder tilsvarende et undertrykk på ca 400 mbar ved automatisk vakuumering, vil få negative effekter på fisken med hensyn til ytre kvalitet og mengde underkjent produkt, både hel fisk og filet.

De negative kvalitetseffektene er utpressing av store mengder blod som i sin tur fører til misfarging av skinnen, store deformasjoner av fisk og filet, store skader på skinn og muskel som følge av sammenpressingen og deformasjon og misfarging av øyet og partiet rundt øyet.

Det kan se ut til at tilsats av en gitt mengde sjøvann i posen før vakuumering kan demme opp for noen av disse skadene.

#### 4.2.5 Innledende innfrysingsforsøk

##### 4.2.5.1 Bakgrunn

I forbindelse med prosjektet ble det besluttet å gjennomføre en del innledende forsøk som kan bli brukt som beslutningsunderlag når man skal bestemme seg for hvilke alternative løsninger som bør evalueres grundig. Blant annet ønsket man å gi et innblikk i hvor raskt det er mulig å fryse samt effekten av rask innfrysing på visuell kvalitet.

##### 4.2.5.2 Mål

Etablere prosedyrer for undersøkelse av frysehastighetens effekt på visuell kvalitet, avhengig av råstoffets utgangskvalitet (fettinnhold, sesong osv.)

I tillegg ønsket man å se på effekten av å fryse de enkelte produktene i flytende N<sub>2</sub>.

### 4.2.5.3 Materialer og metoder

Fersk iset sild og makrell ble transportert fra anleggene til Global Herøy til SINTEF sine laboratorier ved Klima og kuldeteknikk. Her ble fisken re-iset og lagt på kjølerom.

Det ble gjennomført innfrysing på 4 forskjellige måter;

1. Luftfrysing, ved  $-25^{\circ}\text{C}$ .
2. Frysing i flytende Nitrogen.
3. Frysing i flytende nitrogen, vha dypping slik at overflatetemperaturen ikke ble lavere enn  $-50^{\circ}\text{C}$ .
4. Frysing i lake ved  $-50^{\circ}\text{C}$ .

For alle forsøkene ble skinn- og kjernetemperaturen logget i passende intervall, og for metode 1 og 4 ble også kjølemedietemperaturen logget. Produktene ble regnet som innfrosset når den høyeste registrerte kjernetemperaturen nådde  $-18^{\circ}\text{C}$  (i henhold til kvalitetsforskriftene til fisk og fiskevarer).

Etter at produktene var frosset inn ble de lagt på fryselager ( $-25^{\circ}\text{C}$ ) natten over før samtlige fisk ble tint i  $15^{\circ}\text{C}$  rennende ferskvann.

Visuell kvalitet ble evaluert etter innfrysing og etter tining. Undersøkelsene etter tining var naturligvis mer detaljert, da man også hadde anledning til å filetere, samt studere bukhalen og innvollene.

### 4.2.5.4 Prøvemateriale

I utgangspunktet hadde man tenkt å gjennomføre forsøket med 10 fisk av hver type for hver innfrysningsmetode, men da forsøkene i denne omgang var ment som innledende forsøk for å definere hvordan forsøksbetingelsene i fremtidige forsøk burde være ble det besluttet å redusere dette antallet til det som var lettest å gjennomføre for hvert innfrysnings alternativ. I tabell 4 er samtlige fisk som ble benyttet i de ulike alternativene oppgitt med karakteristiske mål, samt med info om hvilke temperaturer som ble registrert. Silda var full av rogn og melke.

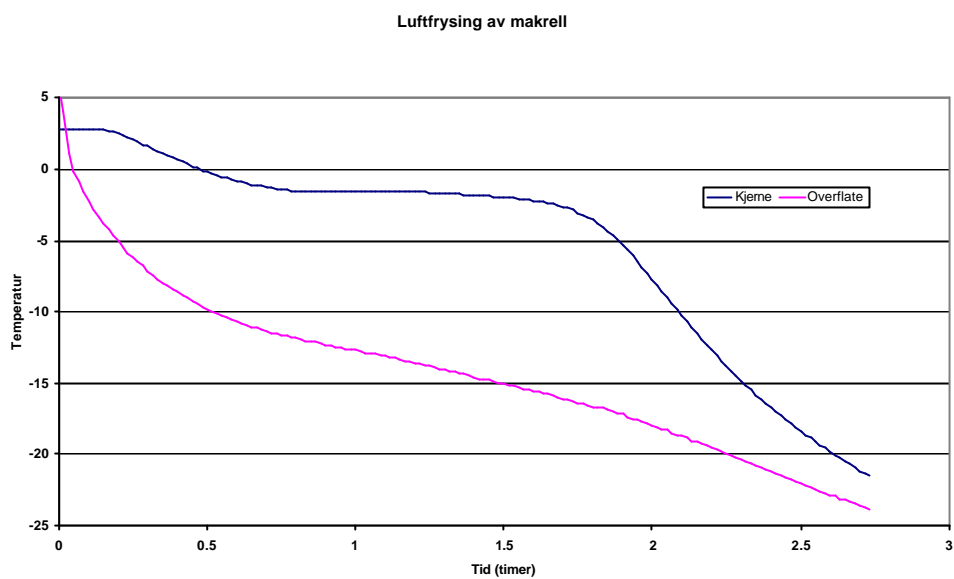
**Tabell 4** Samtlige fisk som ble benyttet i de ulike innfrysings alternativene

Innfrysings alternativ	Fisk nr.	Type	Vekt	Lengde	Temperatur	
	[-]	[-]	[g]	[cm]	Kjerne	Skin
Lufsfrysing ved $-25^{\circ}\text{C}$	1	Makrell	480	32,5	X	
	2	Makrell	561	33	X	X
	3	Makrell	424	32	X	X
	4	Makrell	443	31		
	5	Makrell	546	34		
	6	Sild	294	26		
	7	Sild	345	28		
	8	Sild	292	27		
	9	Sild	428	31	X	X
	10	Sild	294	28	X	X
Flytende nitrogen	1	Makrell	610	35	X	X
	2	Makrell	393	31	X	X
	3	Sild	332	30	X	X
	4	Sild	267	27	X	X
Dyping i flytende nitrogen	1	Makrell	552	34	X	X
Lake ved $-50^{\circ}\text{C}$	1	Makrell	366	30,5	X	X
	2	Makrell	620	34	X	X
	3	Sild	310	27,5	X	X
	4	Sild	353	28	X	X

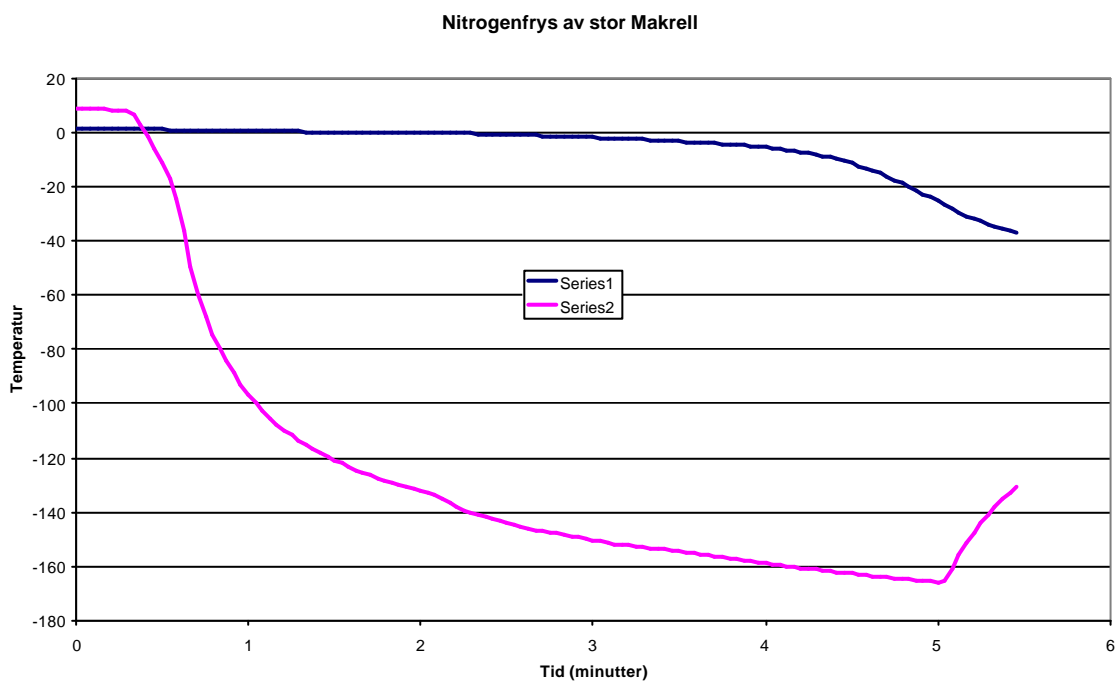
#### 4.2.5.5 Temperaturforløp under frysing

For frysing i luft ved  $-25^{\circ}\text{C}$  ble 2 Sild og 2 Makrell utstyrt med termoelement, ett i kjernen og ett i skinnet. I tillegg ble kjernetemperaturen logget i ytterligere en Sild og en Makrell. Fiskene som det ble valgt å følge temperaturen på, var tyngste og letteste fra et utvalg på 5 Sild og 5 Makrell. Temperaturutviklingen for disse fiskene er gitt i figur 22.

For forsøkene i flytende nitrogen (Figur 23 og 25) og i lake (HYCOOL, Figur 28), ble det bare benyttet 2 sild og 2 makrell i hvert forsøk. For forsøket med dyping i flytende nitrogen ble kun en makrell benyttet (Figur 27)



**Figur 22** Luffrysing av makrell

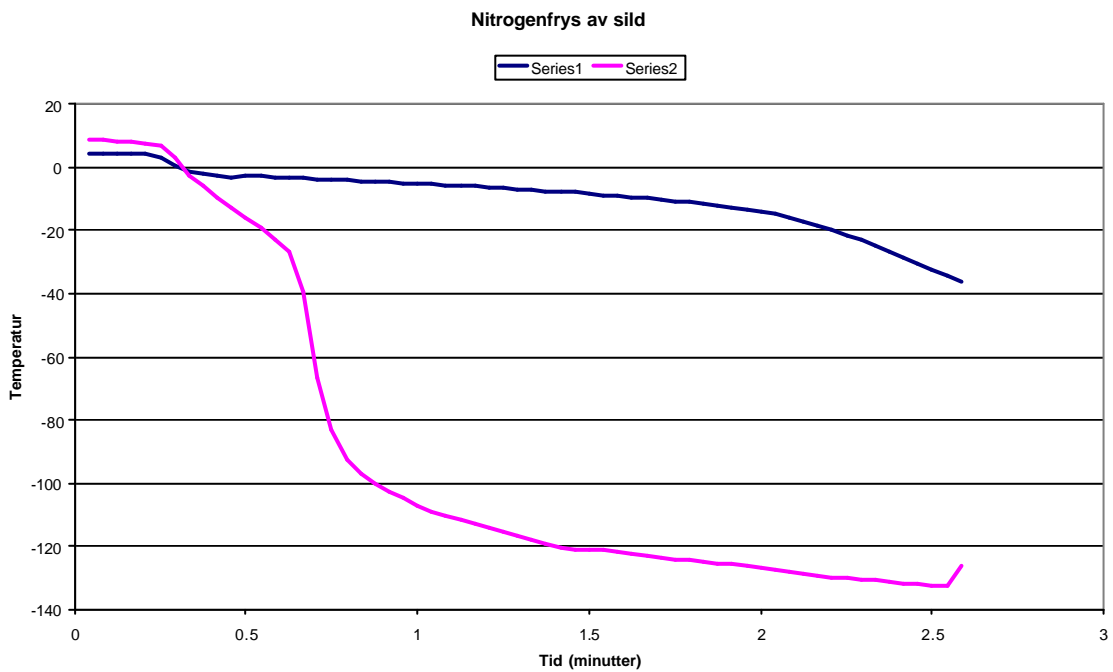


**Figur 23** Frysing av stor makrell i flytende Nitrogen

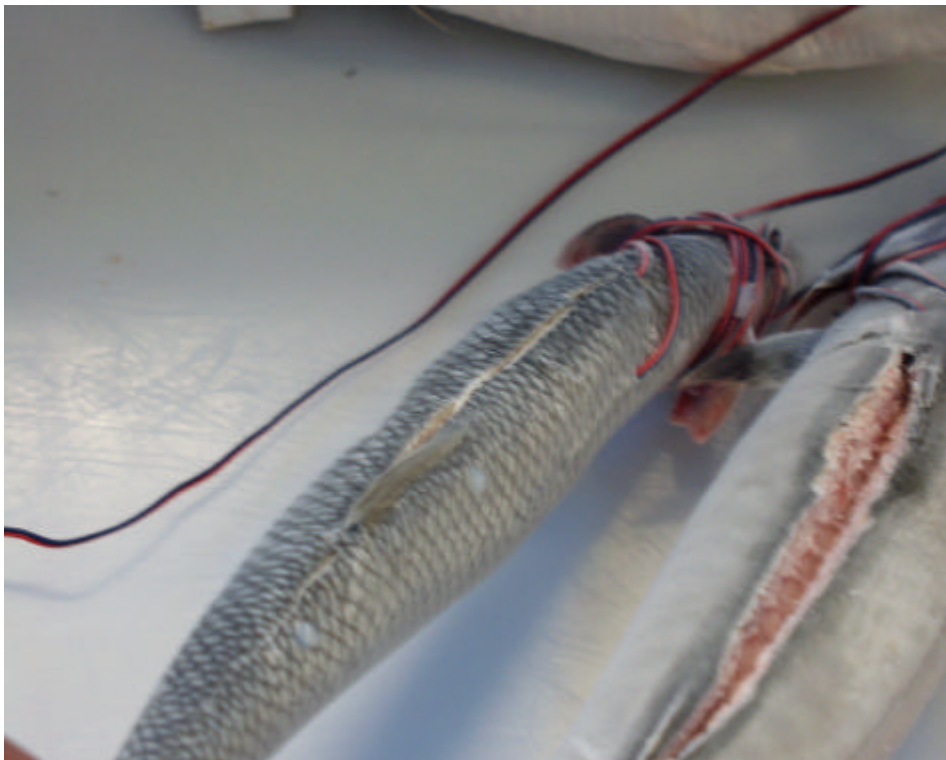


Ryggskade på makrell frosset i flytende nitrogen.

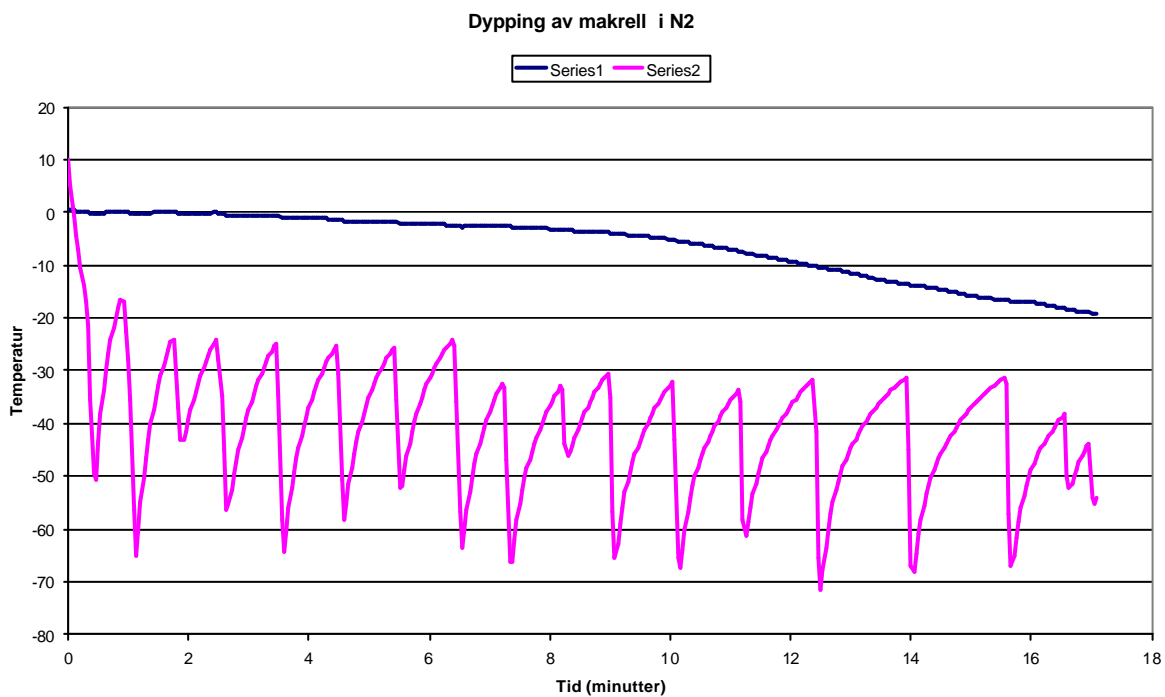
*Figur 24: Nitrogenfrysing av makrell*



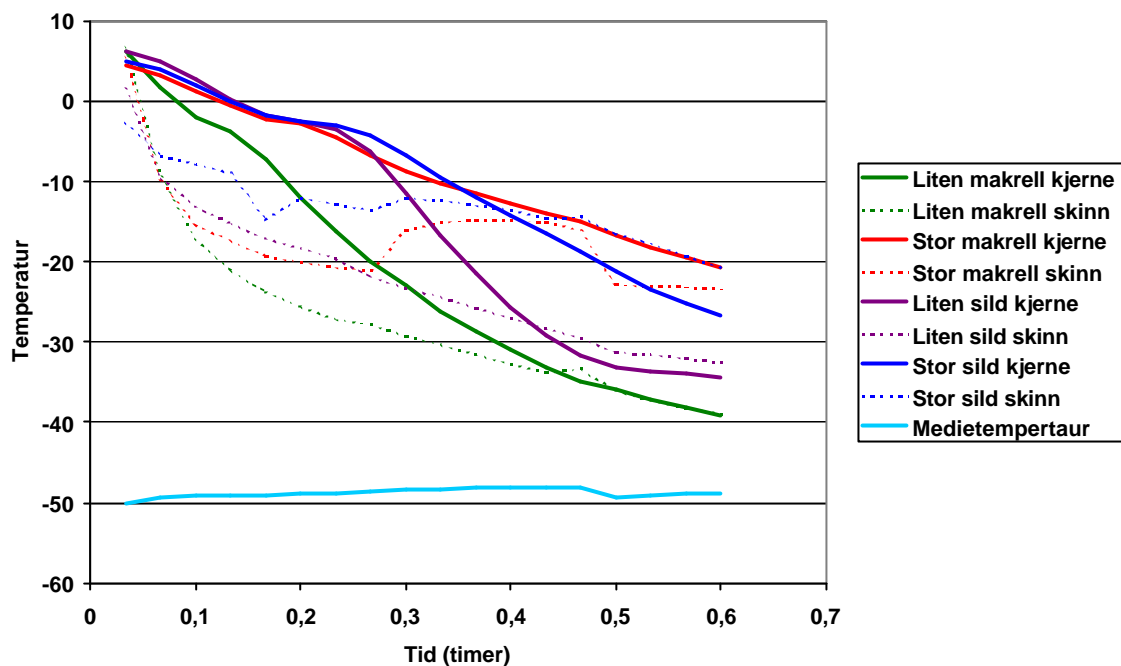
*Figur 25 Frysing av sild i flytende nitrogen*



*Figur 26: Nitrogenfrosset sild og makrell.*



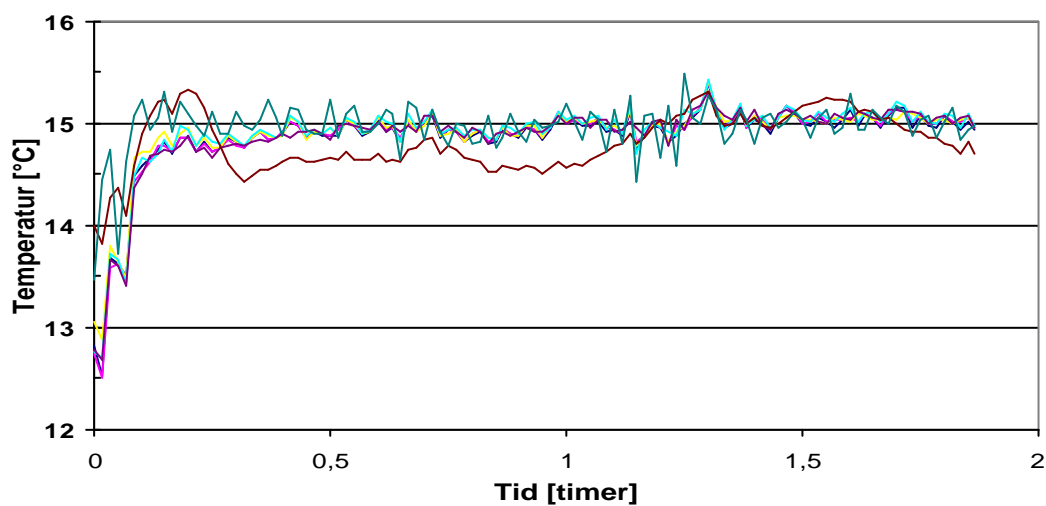
*Figur 27 Frysing av makrell ved å dyppe den i flytende nitrogen slik at man har kontroll på overflatetemperaturen.*



Figur 28 Innfrysing av sild og makrell i HYCOOL

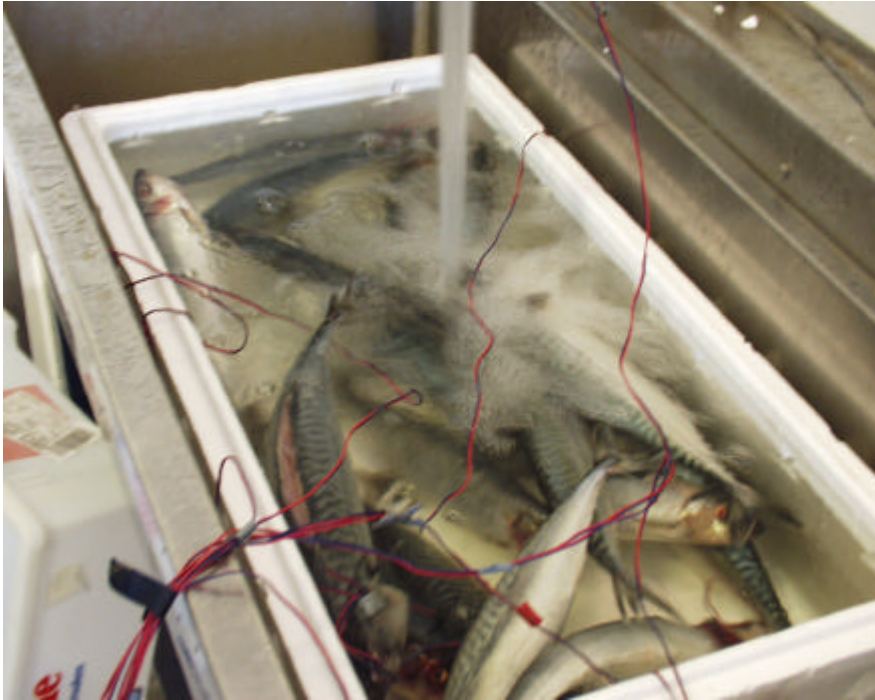
#### 4.2.5.6 Tining

Figur 29 viser tinemediets temperatur under tiningen. Mens bildet viser hvordan tiningen ble utført i disse forsøkene



Figur 29 Tining av sild og makrell, medietemperatur tatt ulike steder

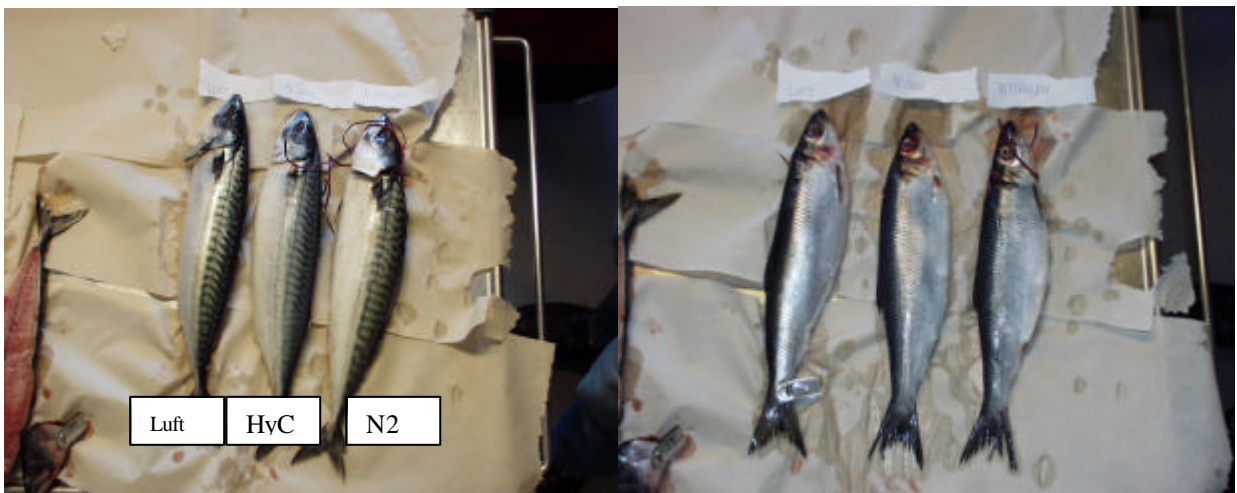




*Figur 30: Tining av sild og makrell*

#### 4.2.5.7 Resultater/erfaringer

##### Ytre trekk



*Figur 31: Tint makrell og sild*

Fisken frosset i Nitrogen hadde sprekkdannelse langs rygg (makrell og stor sild) eller buk (liten sild), også den makrellen hvor man forsøkte å kontrollere overflatetemperaturen, hadde antydninger til sprekkdannelse/strekkmerker i kjøttet.

Makrellen som ble frosset direkte i lake (HYCOOL) var kraftig bleket i skinnet, dette var ikke tilfellet for silden.

Øynene til makrellen som ble frosset i Nitrogen og i Lake ved  $-50^{\circ}\text{C}$  fikk etter frysing karakteristiske hvite hinner som dekket et område flere ganger større enn selve øyeeplet. Dette gikk hoved-

sakelig vekk med tining, men er et punkt som det må vies mer oppmerksomhet i fremtidige forsøk.

### **Indre skader**

Det var ikke mulig å se forskjeller på innvollene avhengig av hvilken innfrysing produktene hadde fått. Det ble i flere tilfeller både for sild og makrell funnet knekte ryggrader på fiskene som var frosset i flytende Nitrogen. Samtlige fileter hos makrellen hadde betydelig gaping, noe som antas å ha med for høy temperatur under filetering og tining å gjøre, mens det for sild ikke fantes noen spor av gaping for noen av forsøkene.

### **4.2.5.8 Konklusjoner**

Det kan se ut som det går grense for hvor lav overflatetemperatur som er mulig å bruke, og at denne vil ligge et sted mellom  $-50^{\circ}\text{C}$  og  $-70^{\circ}\text{C}$ .

Temperaturen under tining var for høy slik at eventuelle skader i kjøttet ikke lot seg gjøre å verifisere som konsekvens av innfrysing..

Dersom det ved frysing i lake fremdeles skal benyttes en metode hvor lake blir kjølt på forhånd og fisken etterpå fryses i laken, ser det ut som det vil være behov for større mengder lake enn i disse innledende forsøkene, og ca 1 liter HYCOOL ved  $-50^{\circ}\text{C}$  per 100g fisk ved ca  $3^{\circ}\text{C}$ .

### **4.2.6 Emballasje**

Det var mange diskusjoner i prosjektets innledende fase om hvorledes fisken skulle emballeres. Kravene til emballasje er at den skal være billige sterk nok til å beskytte fisken under transport og samtidig enkel og med muligheter til å framstå visuelt attraktiv. På bakgrunn av tilbakemeldinger fra marked samt innspill fra markedsavdelingen ble det i arbeidsgruppen avgjort at man skulle bruke et plastmateriale. Bakgrunnen er at plast lett lar seg integrere i en automatisk linje, det er relativt billig og man har store mulighet for lett å endre på pakke størrelsene.

Etter man hadde avklart at materialet skulle være plast ønsket man å test ulike pakkemetoder parallelt med at man så på forskjellige plastkvaliteter.

#### **4.2.6.1 Plastkvalitet**

Det ble gjennomført en test av fem filmer av ulik plastkvalitet (PE) med tanke på emballering, i første rekke av makrell. I tillegg ble det i forbindelse med emballasjetesting tatt ut makrell som ble pakket til holdbarhetstesting ved SINTEF Fiskeri og Havbruk.

#### **4.2.6.2 Gjennomføring**

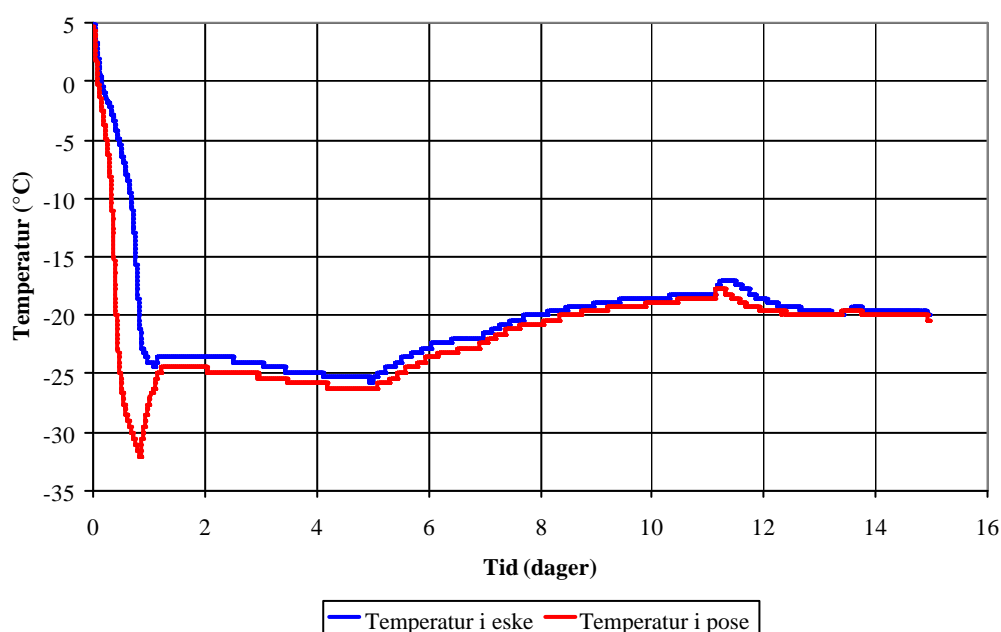
Det ble gjennomført et forsøk med hver av de fem ulike plastkvalitetene, samt en test med en annen kombinasjon av over- og underfilm enn for de fem første forsøkene. Siden det kun var produksjon av sild ble denne råvaren benyttet under testingen. Fisken var stor, men ble landet dagen før og holdt derfor ikke helt prima kvalitet (uttalelser fra Global-ansatte).

Resultatene viste at plastfilmene merket 1, 2, og 3, samt det siste forsøket med en annen kombinasjon av over- og underfilm ikke var egnet som materiale for den aktuelle type av emballering. Prøvene merket 4 og 5 ga brukbart resultat, selv om det kunne virke som om prøve 5 virket noe mer strukket i hjørnene, og derfor ville kunne være mer utsatt for punkteringer enn prøve 4. Det ble produsert 7 pakker med sild, som ble sendt til innfrysing og lagring. Intensjonen var å undersøke om sveisen holder over tid.

Da det faktisk ble produsert makrell dagen etter, ble forsøket med film 4 gjentatt, men denne gangen med filmen snudd andre veien. Testen var vellykket og det ble derfor tatt ut 15 pakker makrell (G600), som ble pakket med samme plastfilm. Som for silden, som ble produsert dagen før, ble også disse posene fylt med 15-17 kg fisk, altså noe mindre enn det som ble pakket i ordinær emballasje. Det ble også tatt ut 15 esker á 20 kg, som var pakket på ordinær måte. Hele prøvepartiet, både plastpakket og den ordinært pakkede makrellen, ble plassert på samme reol og satt inn i frysetunnellen. Den ordinært pakkede fisken ble lagt på de nederste hyllene i reolen, mens plastposene ble lagt i plastformer som ble installert på de øverste hyllene. For å registrere temperaturforløp, ble det lagt inn en liten temperaturføler i to av eskene og 3 av plastpakkene. De to eskene og to av plastpakkene som inneholdt følerne ble merket.

Figur 32 viser temperaturforløpet for omgivelsene umiddelbart rundt makrellen midt inne i en pose og i en eske under innfrysing, mellomlagring ved Global Florø, transport med Hurtigruta og Nor Cargo, samt lagring ved SINTEF. Partiet med makrell ble pakket og satt inn i frysetunnellen dag 0 og mellomlagret ved Global Florø frem til dag 5 da pallen ble sendt med Hurtigruten til Trondheim. Under sjøtransporten, som tok 2 dager, steg temperaturen inne i plastemballasjen fra  $-26\text{ °C}$  til  $-23\text{ °C}$ , temperaturen inne i pappesken steg fra  $-25\text{ °C}$  til  $-22\text{ °C}$ .

Pallen ble stående på fryselageret til Nor Cargo i 4 dager. Under denne perioden steg temperaturen inne i emballasjen ytterligere før den stabiliserte seg på ca.  $-18\text{ °C}$  i begge emballasjeprøvene. Fra dag 11 i diagrammet og ut til og med dag 15 representerer lagring i kjølerom ved SINTEF.



**Figur 32:** Temperaturforløp under innfrysing, mellomlagring, transport og lagring.

På slutten av første dag ble det tatt ut et par poser med sild som hadde ligget emballert i tilsvarende plastemballasje som det som ble brukt i dette forsøket, i ca 10 måneder. Pakkene ble tint under rennende, kaldt vann natten over. En enkel smakstest, som ble gjennomført dagen etter, viste at denne fisken ikke hadde fått vesentlige kvalitetsendringer sammenlignet med fersk, ufrosset sild som ble produsert samme dag. Smakstesten ble på ingen måte gjennomført under vitenskapelige betingelser.

### **Konklusjoner**

Intensjonen med testen var å undersøke utfordringene med å bruke polyetelen (PE) i stede for laminat til dyptrekking. PE film er mer ustabil, men betydelig billigere. Erfaringen var at laminat gikk greit å dyptrekke samt sveise, mens ingen av PE blandingen var fullgode. Emballasje leverandøren vil forsøke å komme frem med ny resepter til neste forsøk. Resept 4 var lovende men trenger noe justering for å få til sveisingen fullgodt.

## **4.2.7 Holdbarhet**

### **4.2.7.1 Bakgrunn**

Det er et faktum at den rundfrosne pelagiske fisken som produseres i Norge, i det alt vesentlige selges videre til bedrifter i det internasjonale markedet, som bruker dette som et råstoff til videreforedling for egne markeder. Disse kan ofte lagre fisken videre i flere måneder før den tas inn i produksjonen, og holdbarhet og stabilitet under lengre tids fryselagring er derfor et viktig kvalitetsaspekt.

Næringsmidler, både fete og magre, med høyt innhold av flerumettede fettsyrer er utsatt for harskning ved prosessering og lagring, og harskning/oksidasjon er kanskje det mest påfallende kvalitetsforringende element med tanke på holdbarhet for pelagisk fisk. Generelt sett vil harskning medføre en kvalitetsforringelse av næringsmidlet, et tap av biologisk aktive forbindelser, men også dannelse av skadelige produkter som i gitte tilfeller kan medføre helserisiko ved inntak av produkter med høyt innhold av oksidasjonsprodukter. Pelagisk fisk er et råstoff som er meget følsomt i så måte.

Harskningsforløpet for rund pelagisk fisk vil stort sett avhenge av følgende parametere:

- Lagringstemperatur
- Lagringstid
- Tilgang til lys
- Tilgang til luft

Å kontrollere harskningen for å oppnå lengst mulig holdbarhet, vil således i korte trekk måtte bestå i å sørge for mest mulig luft- og lystett emballasje og lavest mulig lagringstemperatur.

I og med at prosjektet "Framtidens pelagiske innfrysingsbedrift" innebærer introduksjon av ny emballaseløsning der standard pakning med plastsvøp og pappkartong erstattes med semi-vakuumert løsning der fisken pakkes i poser med dyptrekker, ble det gjort en studie av hvordan ulike kvalitetsparametre utviklet seg over lengre tids fryselagring, samt om det var mulig å spore forskjeller mellom ny og gammel emballasje. Dette arbeidet ble hovedsakelig koblet opp mot selve Prototyp-prosjektet ved Global Liavaag (Global 2000), med tilleggs-forgreininger mot hovedprosjektet "Framtidens pelagiske Innfrysingsbedrift" og et annet brukerstyrt forskningsrådsfinan-

siert prosjekt ”Påvisning av tidlig oksidasjon (harskning) i næringsmidler med flerumettede fettsyrer av marin opprinnelse” (Fiin-prosjektet) der Global Fish også er deltaker.

Aktivitetene som har vært gjennomført og som er under gjennomføring i forbindelse med holdbarhetsstudiene, har søkt å finne svar på flere spørsmål:

- Hvilke metoder egner seg for å detektere tidlig oksidasjon på makrell og når kan oksidasjon detekteres? (Fiin-prosjektet)
- Hvordan utvikler kvaliteten på rundfrosset fryselagret makrell seg over tid – vil emballasjen virke inn? (Global 2000 + Pelagisk innfrysning)
- Langtids fryselagret pelagisk fisk som råstoff inn i videreforedling. Pakket i ulik emballasje lagret et år, tint og saltet og fryselagret videre.

Alle delaktivitetene er ikke fullført slik at resultatene kan rapporteres endelig inn her i og med at de følger syklus til to andre prosjekter også.

#### 4.2.7.2 Deteksjon av oksidasjon i makrell

I denne studien ble det tatt utgangspunkt i høstmakrell fanget høsten 2001 og pakket ved Global sitt anlegg i Ålesund. Fisken var pakket i standard eske-løsning (20 kg) og ble fryselagret ved SINTEF ved en temperatur på  $-20^{\circ}\text{C}$ . Det ble tatt ut prøver ved tid 0, 2 måneder, 3 måneder og 6 måneder. Prøvene ble analysert med et bredt spekter kjemiske analysemetoder (PV mikro, TBARS, Floresence, Kjemiluminisence, GC-MS, Elektronisk nese m.m. samt sensorisk panel ved Matforsk.

Alle kjemiske metoder viste tidlige utslag allerede mellom 2 og 3 måneder, mens sensorikken ikke fikk utslag de første 6 mnd, men viste tendenser ved 6 måneders-uttaket (manglende utslag på harskning *kan* skyldes at fiskens egensmak maskerer for harskningsproduktene). Det må nevnes at utslagene på de kjemiske analysene lå langt under terskelverdier for dårlig kvalitet. Verdi for peroksidtall (PV) lå ved 6 måneder på ca 4, terskelverdien for eksempel tran er 10.

6 måneders lagring ved  $-20^{\circ}\text{C}$  i standard emballasje viste ingen påfallende oksidasjon.

#### 4.2.7.3 Fryselagret makrell i ulik emballasje

Da det var avklart hvilken retning emballaseløsningen for Innfrysingsanlegget tok, ble det satt i gang en studie for å dokumentere hvilken effekt denne nye løsningen eventuelt vil ha på kvalitet/-holdbarhet sammenlignet med den tradisjonelle løsningen med plastsvøp og pappeske.

Planen var i korte trekk å se på innvirkning av variablene

- Emballasje
- Lagringstemperatur
- Lagringstid

På parametere som vedrører holdbarhet og kvalitet, så som:

- Oksidasjon
- Visuell kvalitet – Gaping
- Farge
- Tekstur

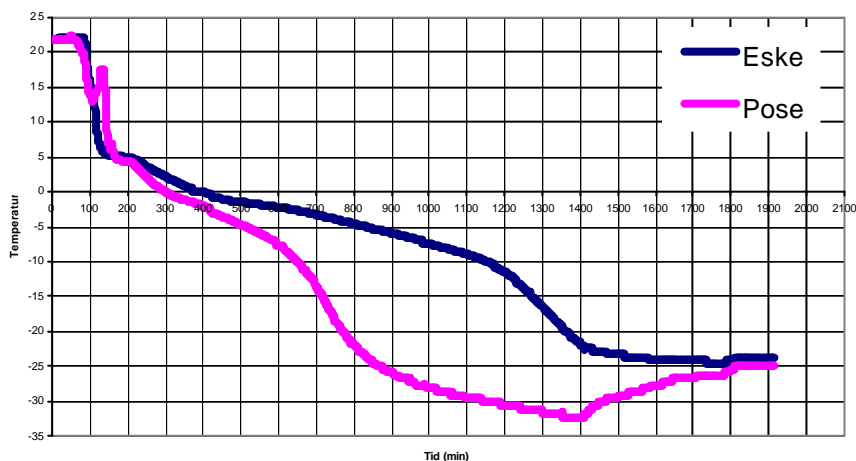
Råstoff til studien ble tatt ut i forbindelse med testing av emballasje ved Globals anlegg i Florø.

Fisken var tatt opp med trål av båten "Lunar Bow" 9. oktober 2002 kl 1900. Fisken var fanget i ett hal som totalt var på ca 290 tonn. Haletiden var ca 20-30 minutter. Båten kom til kai 10. oktober 2002 kl 0700 og fisken holdt da  $-0,6^{\circ}\text{C}$ .

Fangsten bestod av stor fin makrell av G600 kvalitet.

På anlegget ble den pakket i henholdsvis esker og poser og frosset inn i frysetunnell (se figur 33 for innfrysingsforløp). Ferdig frosset fisk ble transportert til Trondheim hvor den ble fordelt på ulike fryselagre med henholdsvis høy ( $-25^{\circ}\text{C}$ ) og lav ( $-40^{\circ}\text{C}$ ) temperatur. På grunn av at pakking i poser skjedde i forbindelse med utprøving av pakkelinjen, ble noe av fisken kjørt to ganger igjennom prosessen – dette kan blant annet ha ført til at det i enkelte av posene var mer blodvann enn i andre (og mer enn hva man normalt ville forvente).

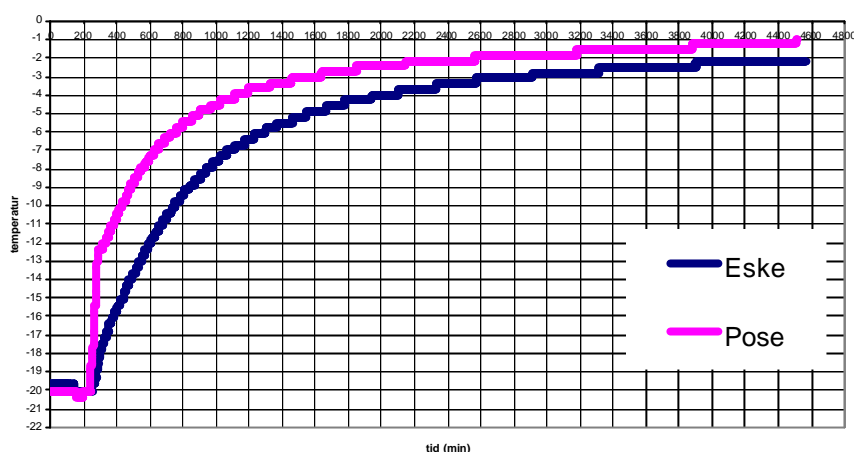
Emballasjen som ble brukt var henholdsvis standard emballasje (papp og svøp og 20 kg esker) samt poser av PE-plast dyptrukket i Global Florø's Repak-maskin med ca 10-15 kg fisk (dette var en tidlig variant av emballasjen og er ikke identisk med den som er i bruk i linjen i dag).



**Figur 33:** Eksempler på innfrysingsforløp (ulikt forløp for pose og eske skyldes ikke nødvendigvis emballasje, men like gjerne posisjon i frysetunellen eller ulik fylling)

Figur 33 viser at innfrysningstiden kunne variere for poser og esker (det tok nær dobbelt så lang tid for esken å komme ned i  $-20^{\circ}\text{C}$  som for posen), men det er her uklart om det hovedsakelig er effekt av emballasjen, pakningsstørrelsen eller plassering i frysetunellen som synes.

I forbindelse med uttak av prøver, ble pakker tatt ut av de respektive fryselager på fredager og flyttet over på kjølerom hvor de stod til tining over helgen. Temperaturen på kjølerommet var  $3,5^{\circ}\text{C}$ , og tineforløpet er indikert i figur 34.



**Figur 34:** Tineforløp

Prøveuttak ble gjennomført mens fisken fortsatt holdt ca  $-2^{\circ}\text{C}$  i muskel.

Det ble tatt ut prøver etter 0, 1, 2, 3, 5 og 7 måneders lagring, i tillegg ble det tatt ut prøver etter 13 måneder som skulle brukes i salte-forsøkene som er skissert i neste delkapittel.

Foreløpig konklusjon på denne aktiviteten (som i sin helhet vil dokumenteres i separat rapport mot Global når alle analyser fra denne studien samt saltforsøket er ferdigbehandlet) er at makrellen var stabil under lagring. Det ble ikke detektert noen sterk oksidasjonsutvikling i løpet av de første 7 månedene. De metodene som ble brukt var peroksidtall (PV mikro) og TBARS. For begge metodene var det en tendens til økt utslag ved 5 måneder, som tiltok ved 7 måneder, men den absolutte verdien på målingene var lav. Det synes også klart at utslagene var lavere for makrell som hadde vært lagret i pose enn for makrell lagret i standard forpakning.

Alle analyser med hensyn på PV mikro, TBARS, farge, tekstur og gaping er fullført og under bearbeiding for endelig rapport som skal leveres Global.

Men foreløpig kan det konkluderes at plastpose-løsningen ikke synes å ha negativ innvirkning på produktets holdbarhet, men snarere vil bidra til å forsinke oksidasjonsforløpet og således øke holdbarhetstiden.

Den plastkvaliteten som nå er i bruk i anlegget, er både kraftigere og mer lystett, og skulle således være en ytterligere forbedring i forhold til den løsningen som er brukt under forsøket.

#### 4.2.7.4 Fryselagring av saltet makrell

I og med at det fryselagrete råstoffet ofte tines hos mottakeren for så å marineres eller saltes og videreføres, og salting og marinering ofte kan fungere som katalysator for oksidasjonsprosesser, er det gjennomført en liten studie av hvordan videre oksidasjonsforløp påvirkes av forutgående oksidasjonsstatus inn i prosessen. Det er da tatt utgangspunkt i råstoff fra delaktiviteten skissert over: Makrell som har vært lagret i esker og i poser ved  $-25^{\circ}\text{C}$  i vel et år (2 grupper). Pakkene ble tatt ut og tint i kjølerom ved ca.  $3^{\circ}\text{C}$  fra fredag til mandag. Før tining ble 3 fisker tatt ut fra hver av de to gruppene og holdt av som "0-prøver"

Fiskene ble filetert mens kjernetemperaturen var ca  $-3^{\circ}\text{C}$ . Halvparten av filetene ble saltet og halvparten ble ikke saltet. Filetene ble deretter singelfrosset og pakket i forpakninger som skulle fryselagres videre ved  $-25^{\circ}\text{C}$ . Prøver ble tatt ut med ca 2 ukers mellomrom etter et oppsett som er vist under

*Tabell 5 Prøve oppsett lagring av saltet makrellfilet*

Uttak	2 uker		4 uker		6 uker		8 uker	
Prosess	ikke salting	salting	ikke salting	salting	ikke salting	salting	ikke salting	salting
Eske $-25^{\circ}\text{C}$	5 fileter	5 fileter	5 fileter	5 fileter	5 fileter	5 fileter	5 fileter	5 fileter
Pose $-25^{\circ}\text{C}$	5 fileter	5 fileter	5 fileter	5 fileter	5 fileter	5 fileter	5 fileter	5 fileter

Produktene analyseres med PV mikro, TBARS og GC-MS (Matforsk).

Forsøket er fremdeles under arbeid (De siste prøvene tas ut i begynnelsen av februar 2004), og analyser vil gjennomføres under Fiin-prosjektet og ferdig-rapporteres der våren 2004.

### 4.3 Identifisering av problemråstoff

Mål: Komme fram til prosedyrer og online målemetoder for identifisering av sentrale problemidentifikatorer

Råstoffet som ankommer innfrysingsbedriften vil være av varierende kvalitet avhengig av sesong og fangsthåndtering. Bedriften vil få en del informasjon om dette fra båten, men det er behov for utvikling av prosedyrer og teknikker for kvantifisering av de mest sentrale parametrene for produksjonsprosessen.

Mengde åte i fisken/fiskens styrke og forekomst av bøyd fisk, såkalt 'banan-fisk', er to av de mest sentrale kvalitetsindikatorerne. Mens åtefull fisk krever spesielt skånsom og rask håndtering, er banan-fisk problematisk både m.h.t. den interne transporten og stuing i fryseemballasje, men dog spesielt for videreførelsen, fileteringen f.eks. I alle fall må problemfisken identifiseres og tiltak treffes for å sortere den ut.

I løpet av oppstartsåret for prosjektet, ble det klart at FHL –Pelagisk Forum skulle starte opp et nytt prosjekt med eltagelse fra SINTEF, Møreforskning og NIFES som også tok for seg råstoffhåndtering om bord. Det ble avklart at denne delen av prosjektet skulle nedprioriteres fordi det nevnte prosjektet, "Kvalitet fra hav til fat", skulle gjennomføre omfattende undersøkelser som dekket delprosjektet.

### 4.4 Bestemme frysetid og vekttap for aktuelle frysemetoder, pakking, prosesser og utstyr.

Mål: Bestemme dimensjoneringsgrunnlag og kvalitetstap avhengig av prosessering, frysing, belegg/glassering og emballering

Et av prosjektets sentrale mål er å utvikle helautomatisk og kontinuerlig innfrysing. I en ellers kontinuerlig og svært rasjonell prosesslinje innebærer dagens innfrysing i tunneler en stopp/for-



sinkelse som gir store arbeidskostnader og praktiske problemer. Tidsforbruk ved inn- og utkjøring med truck under ubehagelige temperaturer er betydelig, og plassering/stuing er viktig for å få jevn frysing. Med den lange frysetid en får med dagens standard emballering vil forsinkelser (for eksempel sent ankommet fartøy) gi problem med frysingen og snuing av tunnelene en gang i døgnet.

Ser en fryseprosessen fra et fysisk og energiteknisk synspunkt, er det klare begrensninger for hvor fort en kan fryse et produkt. Ved innfrysing skal store energimengder (frysevarme – isdannelse) transporteres fra fryseområdet til kundesystemet. Så snart en har fått et lag frosset vare på produkt-overflaten, må varmen fra videre frysing transporteres gjennom dette slik at total varmetransportmotstand øker gjennom hele prosessen.

En får fysiske begrensninger for frysehastighet så snart en har produkter av en viss fysisk størrelse. Enn videre vil kvalitetshensyn kunne sette ytterligere begrensninger på ønskelig fryserate. Eksempelvis vil frysing av et jordbær i flytende nitrogen ( $\div 196^{\circ}\text{C}$ ) gi en oppsprekking/-"sprenging" av bærene, og jo større produktet er dess mer oppsprekking. Dette kan rent fysisk forklares med at ved faseovergang vann - is endres spesifikk vekt fra ca.  $1.000 \text{ kg/m}^3$  til ca.  $920 \text{ kg/m}^3$ . Når en fryser et produkt fra utsiden vil faseovergangen kreve volumutvidelse, og er den frosne ytre flate hard og uelastisk, bygges det opp svært høye innvendige trykk inntil noe gir etter. Dette går vanligvis bra ved kommersiell frysing fordi vevs væsken er vann med oppløste salter, sukkerstoffer o.l. som senker frysepunktet og sammen med fett, proteiner osv. gjør at produkter gir etter uten synlige sprekker og skader. Med svært lav overflatetemperatur og tykke produkter, kan imidlertid innvendig trykk bli svært høyt, noe som kan gi trykkskader som bloduttreddelser i vevet.

Vekttapet er spesielt knyttet til luftfrysing og skyldes forskjellen i vanndamptrykket i luft og på vareoverflaten. Trykkforskjellen er størst under første del av frysingen og det er viktig at frysetemperaturen er lav i denne perioden. På grunn av vanndampkurvens form vil senking av temperaturen i liten grad påvirke uttørkingen, men gi raskere nedkjøling og dermed redusert tap. Vekttap på fra 1% (rask frysing, lav temperatur) og 4-5% (sen frysing, "høye" temperaturer, ujevn frysing og mye viftebruk mv) er registrert for uemballerte varer.

Emballeringsutstyr, materiale, pakkearrangement, osv. er svært viktig, også for vekttapet. Dagens emballasje med luft mellom vare og emballasje reduserer fryse-hastigheten betydelig. Siden varmemotstand i stor grad er mellom emballasje og vare vil en få betydelig "indre" uttørking ved at vann transporteres til innsiden av emballasjen og fryser der til rim. Ofte er denne uttørkingen trolig bortimot like stor som uten emballasje, men vises ikke før varen tas ut av eskene.

Vekttap betyr tørking av overflaten. Selv om mange produkter, eksempelvis fisk, har en vannfilm på overflaten er uttørkingen ujevn og utsatte områder får betydelig uttørking. Ved siden av tørr/-matt overflate (frysebrenning) som er en kvalitetsdefekt, gir dette en frysetørket porøs overflate som legger fett, proteiner mv. åpen for oksygentilgang.

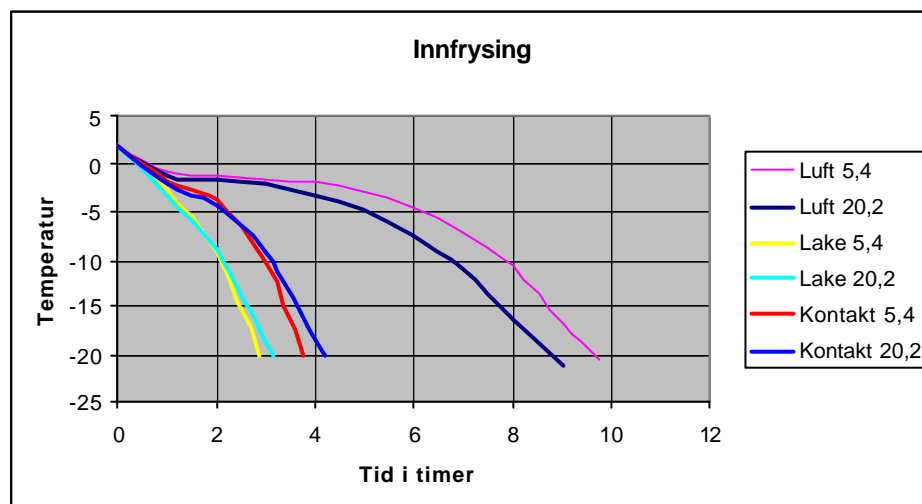
#### 4.4.1 Innfrysing

For å fryse fisken ned til en lagringstemperatur, må en varmemengde fjernes fra fiskens indre og ut gjennom dens overflate. Mengde varme som må fjernes avhenger av kvantum fisk (tonn), men også av fiskeslag og sesong (fettinnhold, m.m.). En rekke varmetransportmekanismer kan teoretisk brukes, men i praksis vil følgende alternativer være aktuelle:

- Fisken i direkte kontakt med kaldt fast materiale (kontaktfrysere)
- Fisken i kontakt med sirkulerende gass eller væske (konveksjonsfrysere)
  - Lakefrysere (fisken senkes ned kar med sirkulerende lake, eventuelt at laken sprøytes over fisken som føres forbi)
  - Luftfryser
  - Tradisjonell 'batch' frysetunnel (langblåst, tverrblåst, ...)
  - Kontinuerlig fryser (bånd, reoler, ...)

Med bakgrunn i de innledende forsøkene hvor man så hvor raskt fisken kan fryses uten visuelle skader ble det gjennomført noen enkle simuleringer for å avklare hvor raskt man teoretisk kunne klare å fryse fisken.

Figur 35 viser tidsforskjellen mellom lake, luft og kontakt frysing av en 20 kilos pakke med sild uten emballasje. Tallene 5,4 og 20,2 angir fettprosenten til fisken. Som man kan se er lake frysing den innfrysingsmetoden som gir raskest innfrysing. Dessverre gir det en del utfordringer på emballasjesiden da de aktuelle lakene ikke kan være i kontakt med fisken. Kontaktfrysing er også en rask metode, men det kan gi trykkskader på fisken som i mange markeder er uønsket.



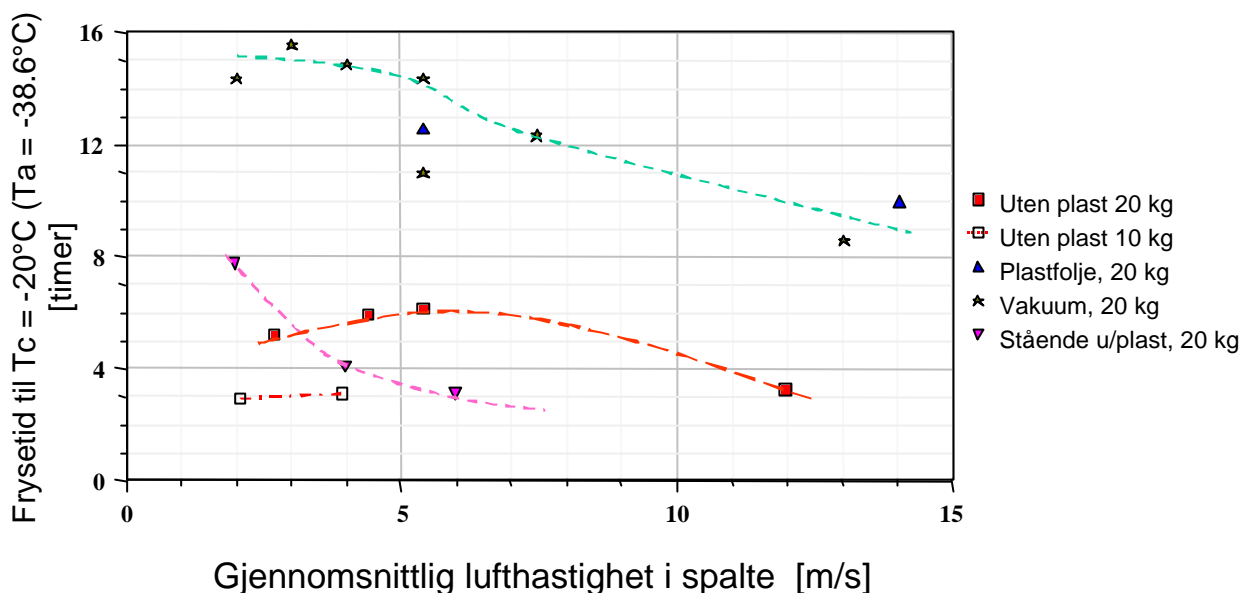
**Figur 35:** Simulering av ulike frysemetoder

De innledende simuleringene førte til en diskusjon i arbeidsgruppen om hvilken fryse metode man skulle jobbe videre med. Ut ifra forhold som hygiene og tilpasning til automatiserings utstyr ble det valgt å se nærmere på en optimalisering av luftfrysing. Det har vært gjennomført mange lab forsøk og tester ute hos Global for å finne sammenhengen mellom emballeringsmetode og materiale samt lufthastighet og temperatur. Disse notatene er det henvist til i kapittel 7. Resultatene fra dette arbeide er vist i figur 36 og 37.

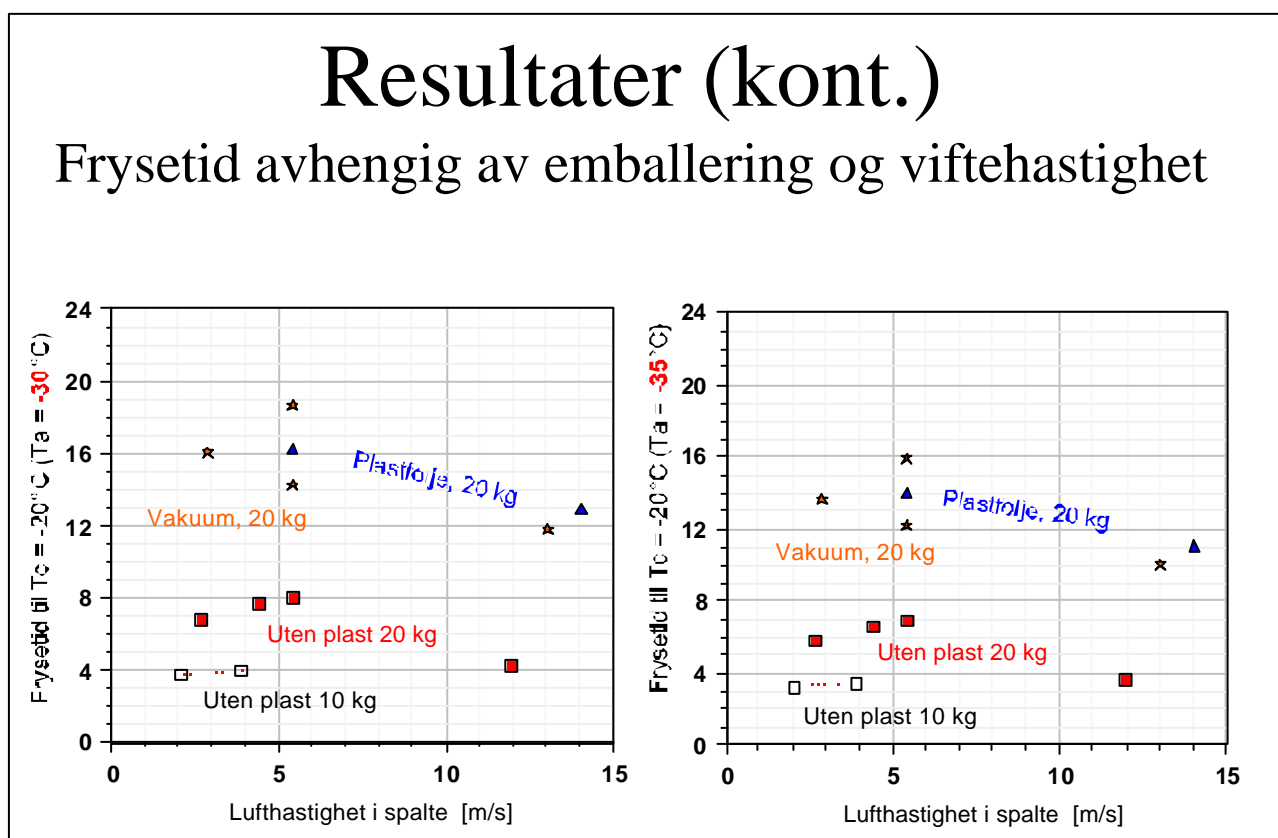
I figur 36 ser man resultatene fra ulike forsøk med forskjellig emballasje. I vakuumpakning ble det oppnådd en frysetid på 8,2 timer med en luft hastighet på 13 m/s. I industriell sammenheng er det for høy lufthastighet, energibruken til viftene blir formidabel. Men forsøkene viste at det var mulig å komme ned på en frysetid på 12 timer med lufthastighet ned mot 5 m/s.

Figur 37 er resultatene presenter på et annet format samt at man har regnet ut hva lufttemperaturens ( $T_a$ ) betydning er.

## Emballasjens og lufthastighetens betydning for frysetiden – Sammenfatning av labforsøk



Figur 36: Emballasjen og lufthastighetens betydning for frysetiden



Figur 37: Frysetid avhengig av emballering og viftehastighet

## 4.5 Kontinuerlig innfrysing av pelagisk fisk

Mål: Gjennomføre analyse av alternativ kontinuerlig prosessering av pelagisk fisk, inkludert håndtering av råvareleveranser og klargjøring av ferdigvare til transport/eksport.

Ut fra innspill fra kunder kan det være at man finner ut et delvis satsvis innfrysing er det man bør satse på. For at man skal ha de ulike alternative klare, ikke minst med hensyn til emballasje og energiforbruk, må en gjennomføre en teknisk/økonomisk analyse av ulike innfrysingssystemer. For å få til rask temperatursenkning i fisken kan man se for seg kontinuerlige fryserer som baserer seg på andre varmeoverføringsmedier enn luft – eksempelvis bruk av lake som i forhold til luft vil forbedre varmeovergangen mange hundre ganger.

Det er også andre faktorer enn varmetransportmekanismene som avgjør valg av frysekonsept. Konseptets egnethet og spesielle utfordringer i forbindelse med mekanisering, automatisering, styring og regulering er også av avgjørende betydning. Denne siden av problemstillingen er imidlertid ikke av en absolutt, analytisk karakter, men krever at teoretisk kunnskap og analytisk tenkning kombineres med fantasi, kreativitet og skaperkraft. Dette arbeidet utføres best av en gruppe mennesker med forskjellig praksis og teoretisk kunnskap ledet av en spesialist i kreative gruppeprosesser.

Det har vært gjennomført mange møter i arbeidsgruppen hvor ulike innfrysingmetoder ble diskutert. Kontaktfrysing ble valgt bort fordi man vet at mange av de best betalende markedene er opptatt av at fisken ikke skal ha ytre klemskader. Kjøling i lake, som er den raskeste metoden ble utelukket fordi man måtte ha emballert fisken slik at de absolutt ikke var noen skader på emballasjen. Også den hygienemessige aspektet med mye lake i omløp hadde betydning. Arbeidsgruppen var enig om at en løsning basert på lufttunneler var den mest hensiktsmessige løsningen.

### 4.5.1 Valg av emballasje

I prosjektet ble det gjennomført flere praktiske tester med dypttrukket plastemballasje. Det første av disse testoppleggene er skissert i kapittel 4.2.6. Etterkant ble det gjennomført ytterligere tester, med ny PE-film. Den PE filmen som da ble testet, var nyutviklet og emballasjeleverandøren hadde med 4 ulike varianter til uttestingen.

Følgende alternative pakninger ble gjennomført:

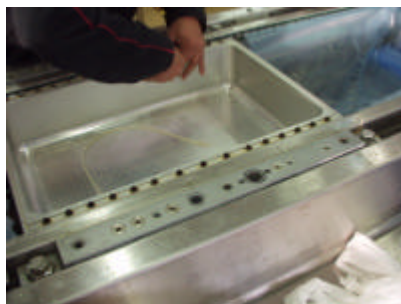
1. Dyptrekt PE-film u/lokk
2. Dyptrekt PE m/ lokk, men uten vakum.
3. Dyptrekt laminat vakum m/lokk (Kollafjord film og Kollafjord løsning).

#### 4.5.1.1 Dyptrekt PE-film u/lokk

Alt. 1 skulle dyptrekkes først uten lokk, fryses i rammene og testes i utstøteren og lokket sveises på etter innfrysning. Nedfrost vil fiskeblokkene ble lagt manuelt opp i karene fra en ny runde dyptrekt film, før sveising fant sted.



Figur 38: TG klar til innsats



Figur 39: Kammer for skålfforming



Figur 40: Ferdig PE- skål



Figur 41: Fylling av fisk



Figur 42: Klar for innfrysing



Figur 43: Termoelementer plasseres

Figur 38 viser dyptrekkeren samt de blide karene fra Tommen Gram (TG). Bilde 39 viser kammeret hvor plasten blir trukket ned slik at den får skålfform. Ser man nøye etter skimtes hull i bunnen av kammeret, hvor luften trekkes ut. I toppen er det rekker av hull som det blåses trykkluft i, som hjelper til under formingen av skålen. Når plasten blir trukket slik endrer tykkelsen seg fra opprinnelige 220  $\mu$  til 15 – 25  $\mu$  på det tynneste. Bilde 40 viser en ferdig PE skål. I bilde 41 fylles sild i skålene. Mengden variert fra 15 til 20 kilo. Bilde 42 viser PE skålene som er lagt i fryserammen og plassert i en frysereol. Før de ble transportert til innfrysingstunnelen ble fisken instrumentert med termoelement som bilde 43 viser. I pakkealternativ 1 ble det brukt en Fluke Hydra datalogger, med blå bic tråd som termoelementer. Figur 49 viser kurvene fra loggingen.



Figur 44: Utstøter



Figur 45: Frosset alt 1



Figur 46: Skade på fisk alt 1.

Etter at fisken var frosset inn i skålene, ble den tatt ut av rammene med skålen og plassert i dyptrekkeren i ferdige nye skåler. Til dette ble utstøteren brukt. Den fungert svært tilfredstillende, ingen enkelt fisk falt ut og alle rammene ble tømt uten problemer av noe slag.

Hypotesen var at man skulle få sveist lokket fast til den ”nye” skålen Det viste seg å være svært vanskelig. Fisken stakk ut med spord og hode og punkterte lokket. En fikk også en betydelig mengde fisk som ble påført skade (bilde 46) og som ville ført til reklamasjon. Vi forsøkte også å stable en pall med fisk fra pakke alt 1. Bilde 47 viser den pallen ferdig. Pallen ble litt skeiv og

sporder og hoder som stakk ut ble påført skade. Det hadde vært mulig å flow- pakke denne fisken, men ”utstikkerne” vil fortsatt være der.

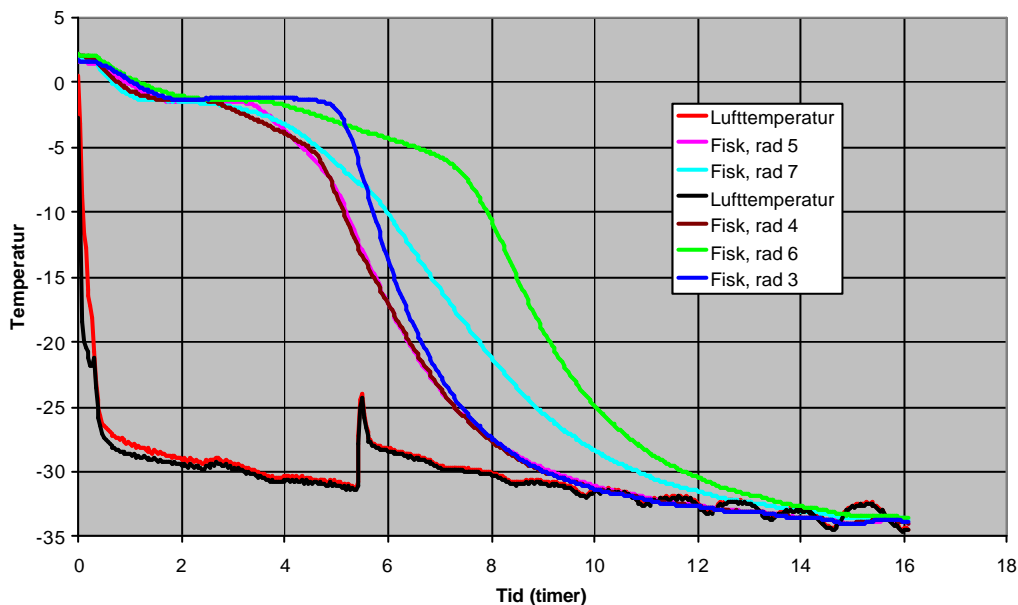


Figur 47: Palle med pakke alternativ 1



Figur 48: Tining av fisk

#### Frysing av sild



Figur 49: Temperaturer for pakkealt. 1. ved innfrysing

Figur 49 viser temperaturene under innfrysing av alt 1. Alle temperaturer er fra kjernen av en fisk plassert i senter av skåla. Tabell 6 viser vekten av skåla som temperaturen er tatt fra samtidig som den illustrere hvor mange rader som ble brukt i under innfrysing. Bilde 42 og 43 viser hvordan rammene er plassert i reolen.

Frysereolen ble plassert i en av anlegg frysetunneler. Tunnelen var kun halvfull, slik at lufthastighet mellom radene i vår fryserool var lav. (1 m/s)

Tabell 6: Plassering av pakninger

Rad 7, 18,0 kg	
Rad 6, 18,6 kg	
Rad 5, 17,5 kg	
Rad 4, ,17,8 kg	
Rad 3, 17,4 kg	

Innfrysingstiden varierer fra 6,5 timer til ca 9 timer. Den store forskjellen skyldes nok ulik luft-hastighet mellom reolene, plassering av fisken i skålene og varierende mengde fisk i skålene.

#### 4.5.1.2 Dyptrekt PE m/ lokk, men uten vakuum

For pakke alt. 2 skulle man dyptrekke PE-Film fylle den med fisk sveise på lokk og deretter plassere den i fryserammene.



Figur 50: Dyptruknet m/lokk alt. 2



Figur 51: Spord i sveising – Alt 2.



Figur 52: Hull i lokk



Figur 53: Alt 2 klar til innfrysing



Figur 54: Laminat i fryserool

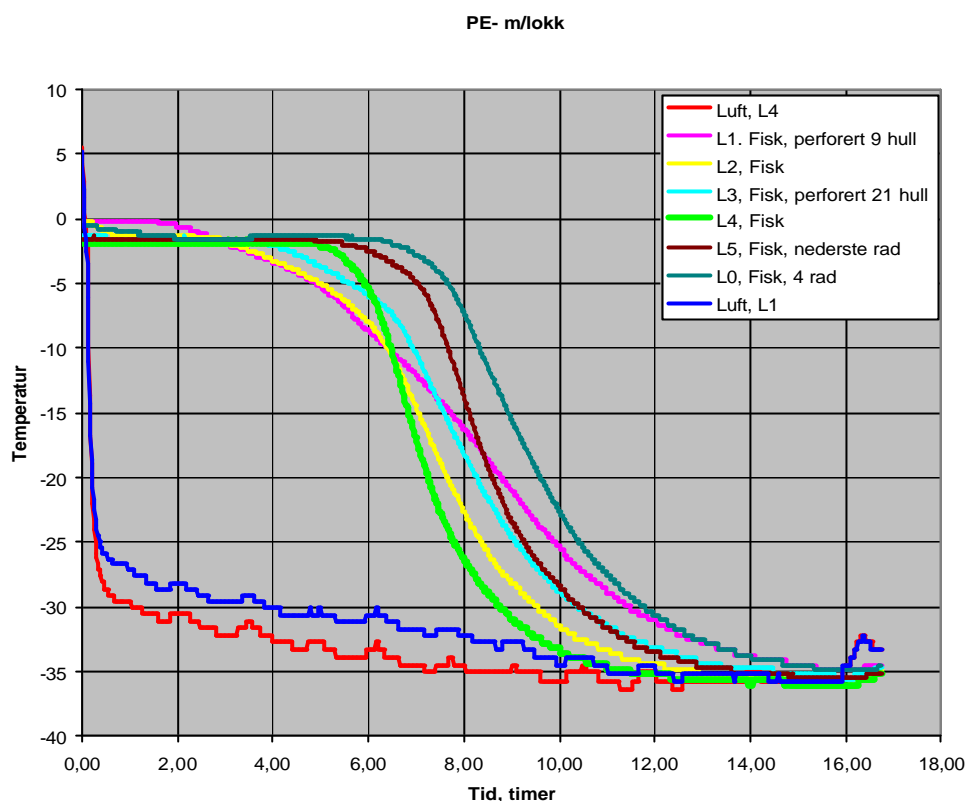


Figur 55: Alt. 3 Laminat

På grunn av manglende båt tirsdag 5 februar ble det tatt ut sild mandag 4. som vi skulle bruke. Denne var plassert på kjølerom og skulle ligge klar til forsøk. Dessverre hadde en iherdig Global ansatt sett fisken og kjørt den inn på frysetunnel. Vi var derfor nødt til å bråtime fisken som vi skulle bruke. Dette fikk konsekvenser for innfrysingstiden for pakke alternativ 2 og 3.

Bilde 50 viser alt. 2 klar til innfrysing. Bilde 51 viser hvordan sporden på en fisk ligger i sveise sonen uten at det skapt problemer. Under testene forsøkt vi og grise til sveisesonen med fiskeblod og slim uten at det gav utslag i svakere sveising.

Bilde 52 illustrerer hvordan vi laget hull i lokket (9 og 21) på to av pakkene til alt. 2. Dette ble gjort for å se om det gav noen effekt på innfrysingstiden. I figur 56 er temperaturkurvene under innfrysing for alt.2 vist.



Figur 56: Temperaturer for pakkealt. 2 ved innfrysing

Som man ser av inngangstemperaturen, er fisken fortsatt frossen. Av den grunn kan man ikke sammenligne innfrysingstiden for pakkealt. 1 og 2. Det er kun den relative forskjellen mellom blokkene i denne testen som kan sammenlignes. Som man ser av kurvene, hadde ikke perforeringen av lokket noen effekt.

Vekten av pakkene og plasseringen er vist i tabell 7.

Tabell 7: (mFisk = mellom fisk)

Pakkenr	Vekt (kg)	Plassering
L 0	15,6	Alt 2, Rad 4
L 1	15,4	Alt 2, Rad 8
L 2	17,7	Alt 2, Rad 8
L 3	15,8	Alt 2, Rad 8
L 4	16,9	Alt 2, Rad 8
L 5	17,7	Alt 2, Rad 1
L 6	17,3	Alt 3, Rad 8
L 7	17,3	Alt 3, Rad 8
L 8	20,6	Alt 3, Rad 1, mFisk
L 9	19,3	Alt 3, Rad 8, mFisk
L 10	17,9	Alt 3, Rad 1, mFisk
L 11	19,4	Alt 3, Rad 8, mFisk
L 12	20,1	Alt 3, Rad 7, mFisk



### 4.5.1.3 Dyptrekt lamina t vakum m/lokk

Pakkealt. 3 skulle gjennomføres identisk med alt. 2, men med en laminatfilm. Opprinnelig var det meningen at man skulle vakuumere noe mer i alt 3, men problemer med maskinen gjorde at vakuuminstillingen ble identisk for begge.

Bilde 55 viser laminaten med fisk før frysing. Innfrysing av alt. 2 og 3. ble gjennomført i samme tunnel og bilde 57 viser at tunnelen kun var halvfull.



Figur 57: Innfrysingstunnel

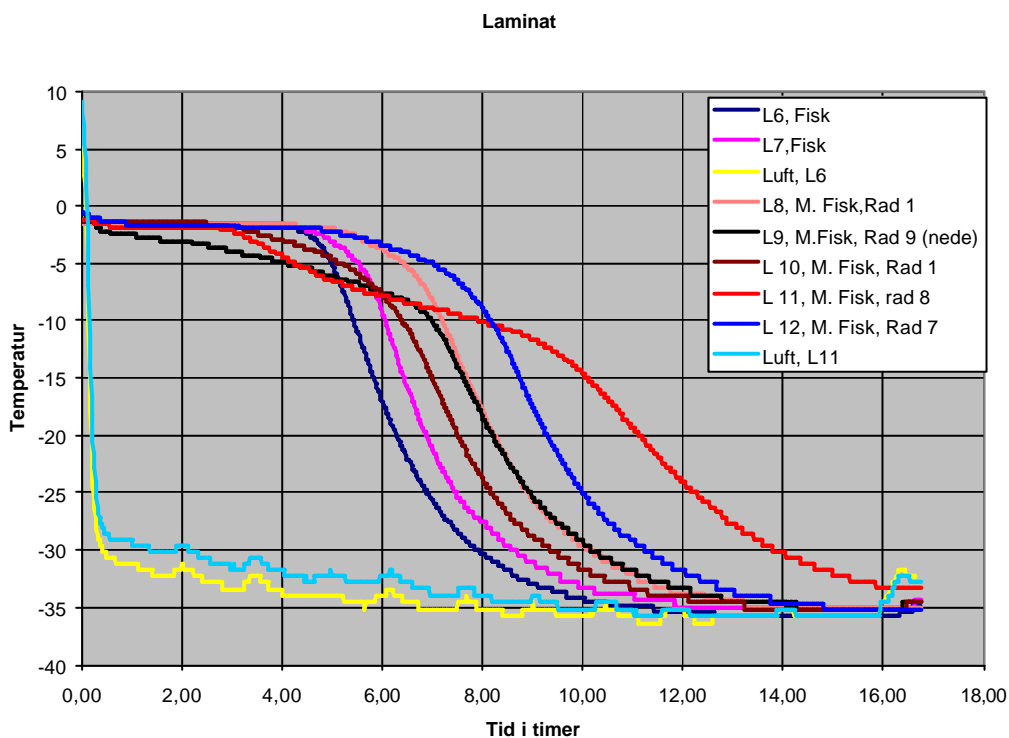


Figur 58: Alt 3. ferdig innfosset



Figur 59: Alt 2. ferdig innfrosset

Temperaturene som ble registrert under innfrysing av alt 3 er vist i figur 60.



Figur 60: Temperaturer for pakkealt.3 ved innfrysing

Også i figur 60 ser man at fisken var delvis frossen når vi startet forsøkene. Som tidligere nevnt betyr det at innfrysingstiden **ikke** kan leses ut av grafene 2 og 3.

#### 4.5.1.4 Evaluering

Bilde nr 61, 62 og 63 viser alt. 1, alt.2 og alt. 3. Etter at forsøkene var ferdige tok man alle frem, palleterte de og foretok en evaluering.



Figur 61: Alt. 1



Figur 62: Alt. 2



Figur 63: Alt. 3

##### Dyptrekt PE-film u/lokk:

Det gikk relativt greit å lage skålene og få de fylt med fisk. Noe mer problematisk å få dem fra dyptrekkeren og over i rammene fordi PE filmen er lite formstabil. Innfrysingen tok omtrent 10 timer – ikke uventet på grunn av lite gunstig plassering i frysetunnelen. Det ble også observert at spord og hoder hadde ”reist” seg under innfrysing. En hypotese er at fisken i samme skål fryser inn ulikt, noe som fører til utvidelse i deler som igjen gir forskyvning i andre deler. Uansett årsak er dette svært lite gunstig og skapte store problemer når man skulle forsøk å sveise på lokket. Lokket ble punktert av hoder og spord samtidig som formen på skålene ikke var nøyaktig nok.

Ved palletering av pakkene, gav de samme hodene og spordene problemer i form av skade. Det ble diskutert om flow-pakking kunne være en løsning, men man konkluderte med at heller ikke flow-pakking hindret hodene og spordene i å stikke opp.

##### Dyptrekt PE m/ lokk, men uten vakum:

Etter noen prøverunder gikk det greit å dyptrekke og sveise PE filmen. Selv ikke fiskeslim og blod bød på problemer. Innfrysingen gikk greit, selv om det ikke ble observert noe forkorting i frysetiden med perforering av lokket.

Ved palletering gikk det uproblematisk, og behovet for friksjonssjikt var ikke påfallende. Ujevnhetene i lokkpartiet fungerte som låsing når blokken ble palletert. Kommentaren fra Global var at dette så lovende ut. Men man må ha en kraftigere farge i underfilmen slik at skåla ikke blir gjennomsiktig.

Det ble også nevnt at det fantes andre løsninger enn strapping av pallene. TG informert om at det var pallehetter på markedet som kunne tredes over pallen og som trakk seg sammen slik at pallen ble låst. Disse hettene kunne det trykkes logo og annen informasjon på.

##### Dyptrekt laminat vakum m/lokk (Kollafjord film og Kollafjord løsning):

Dette alternativet fungerte like godt som alternativ, men prisen er det dobbelt av PE filmen.

## 4.6 Redusere energiforbruk ved innfrysing og utnytte varmen fra kuldesystemet

Mål: Redusere energiforbruk ved innfrysing og utnytte varmen fra kuldesystemet

### 4.6.1 Kuldeytelsesbehov

Varmemengden som skal fjernes pr. kg vare er gitt av fiskeslag og innhold av protein/fett/vann osv. for varene. Disse er i stor grad kjent eller kan beregnes ut fra sammensetning. I noen grad er det viktig at disse kjennes mer nøyaktig, og utstyr for måling av dette er tilgjengelig i SINTEFs laboratorium. I tillegg til varme fra produktene, får en andre kuldebehov fra fryserne, så som varmetap og spesielt fra el. bruk i utstyret. Spesielt er energiforbruket stort ved luftfrysing, vanligvis regnes 20-30% av varens belastning ved full belastning. Imidlertid har målinger på forskjellige fryserer vist energiforbruk på 40—50% av varens belastning samtidig som en har en svært ujevn frysing, spesielt i tunneler.

I prosjektet ble det gjennomført en teoretisk analyse av strømningsforhold og trykktap for aktuelle frysegeometrier, metoder for å sikre jevn luftfordeling og styre luftmengde og viftebruk avhengig av varmestrøm fra varene. Måling av trykktap og strømningsvolum for aktuelle geometrier for kanaler, varer og lastbærere m.v. for trykktapskoeffisienter gjennomføres i laboratoriet. Modeller for beregning av strømningsvolum og lufthastighetsprofil over tverrsnittet, energibruk til vifter m.v. utvikles og testes i laboratoriet og eventuelt på anlegg. Viftetyper og vifteprinsipper vurderes ut fra trykkforhold, transportvolum og energiutnyttelse.

Bruk av datasimulering for beregning av luftstrømmen og effekt av tiltak som ”spoilere”, trykkfordelere, geometri/stuing i apparat ble også undersøkt. Det ble ikke tatt sikte på utvikling av egne dataprogram, men på å benytte kommersielle program med påbygging av egenutviklede underprogram for tilpassing til bruksområdet.

Med reduksjon i frysetid og eventuelle kontinuerlige fryserer vil totalt kuldebehov fordele seg over færre timer, dvs. større belastning pr. time. Om en forutsetter drift av anlegget bare over en vanlig dag vil en i verste fall kunne få bortimot en fordobling av kuldesystemets ytelsesbehov. Driftsmønster for utnyttelse av investeringene må tas inn i en økonomisk vurdering av anlegget.

Både SINTEF og PAM Refrigeration hadde innspill på design og dimensjonering av prototyp innfrysningstunnelen som skulle bygges ved Global Liavåg AS på Hareid. Målet med arbeidet har vært å vurdere energibesparende tiltak på luftsiden i et ellers tradisjonelt kontinuerlig innfrysingsanlegg med ammoniakk som kuldemedium. Da dette er et prototyp innfrysingsanlegg, er det også lagt inn fleksibilitet i dimensjoneringen.

#### 4.6.1.1 Sammendrag

I prosjektets tidligere faser ble det besluttet å dele inn tunnelen i 4 fordampersesjoner, som intuitivt skulle utnyttes ved å fordele fordampers-/viftekapasitet langs tunnelen og ”optimalisere” hver enkelt seksjon.

Ved å gjøre tiltak på luftsiden som sikrer jevn luftfordeling over produktene og reduserer trykkfall, dimensjonere fordampere med fokus på lave trykkfall samt dimensjonere driftsbetingelsene ut fra energioptimale betraktninger på ”produktvarmeveksleren”, har man i dette arbeidet synliggjort betydelige forbedringspotensial sammenlignet med tradisjonelt design.

### Forbedringspotensial:

- 50-60 % reduksjon av trykkfallet
- 30 % reduksjon i sirkulert luftmengde
- 60-70 % redusert vifteeffekt
- 936 000 kWh lavere energiforbruk per år.
- reduserte energikostnader, som dekker inn økte investeringskostnader i løpet av 1. driftsår
- et mål er å redusere golvareal i endelig design, pga. lavere luftmengde, mindre trykkfall og 3 istedet for 2 rammer i bredden.

### Tunneldimensjoner, driftsbetingelser og komponentspesifikasjoner er foreslått under:

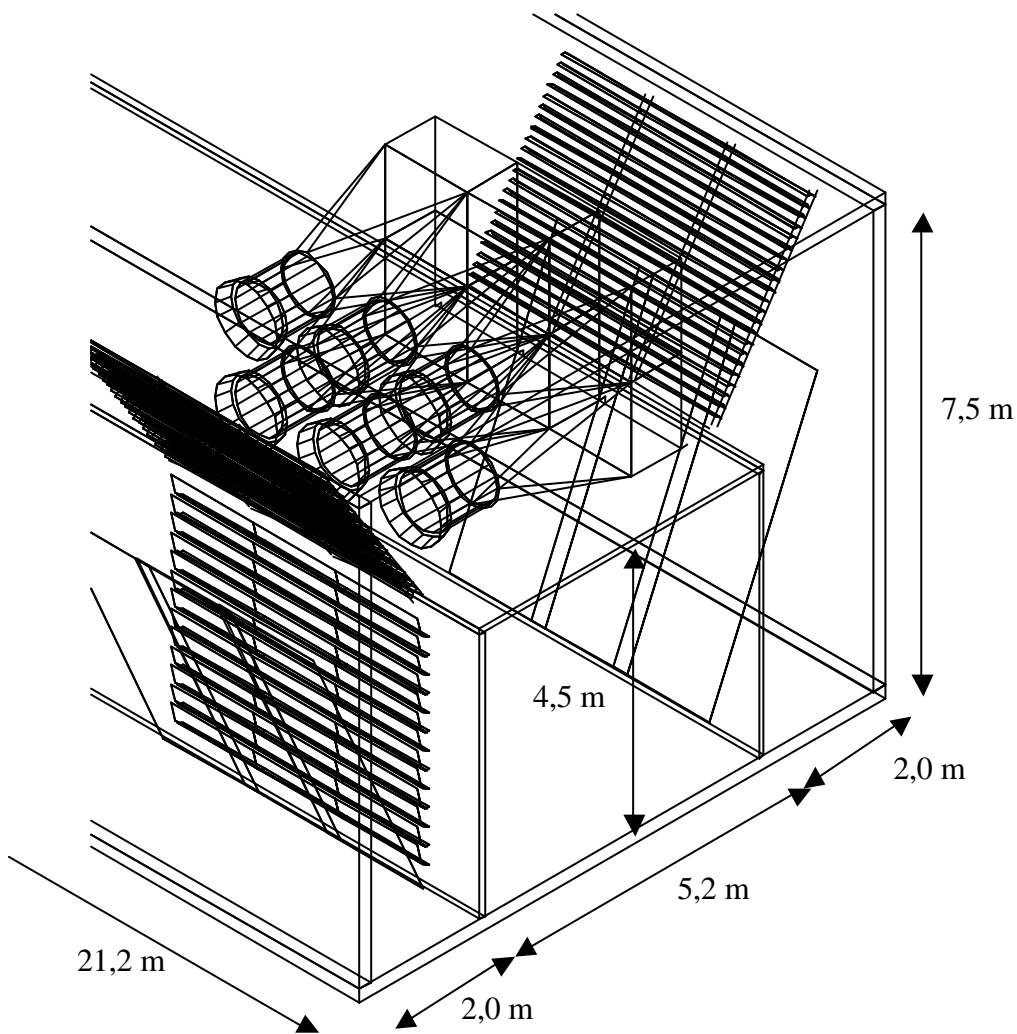
- ant. rammer i bredde: 3 rammer (eller 6 esker à 20 kg)
- tunnelbredde: 9,2 m (2 m på hver side for ledeskovler og skråplater) <sup>(1)</sup>
- tunnellengde: 21,2 m (i tillegg kommer plass for inn-/uttransport)
- tunnelhøyde : 7,5 m (21 rammer, spaltåpning 100 mm, 1500 mm senteravst. vifter)
- lufthastighet produkt: 4 m/s
- total luftmengde: 178 m<sup>3</sup>/s eller 640 000 m<sup>3</sup>/h
- trykkfall: 202 Pa
- fordampere: som spesifisert av PAM, men med 13 rør i dybden. Evt. 15 rør i dyp for økt fleksibilitet i prototyp
- vifte: aksialvifte, MultiWing, 24 stk à 2,8 kW motoreffekt. Evt. 4 kW motoreffekt for økt fleksibilitet i prototyp. Med frekvensomformer.
- diffusor etter vifte: 2 m lang. Vinkel: 12-13°. 1 mm syrefast stål <sup>(2)</sup>.
- ledeskovler (se figur 1-2). Vender luften 90°. 1 mm syrefast stål <sup>(2)</sup>.
- skråplater (se figur 1-2) i hele tunnelens lengde. Vinkel kan justeres i prototyp. 1 mm syrefast stål <sup>(2)</sup>.
- dersom det ikke skal stables kasser opp til tak må det monteres skjørt langs hele tunnelen og ned til øverste kasse

<sup>(1)</sup> 2 m bredde i vendekanalene er for ønsket fleksibilitet i prototypen. I endelig løsning må tunnelens bredde vurderes mot arealkostnader. I og med reduserte luftmengder og trykkfall er det et mål å redusere golvareal sammenlignet med tradisjonelt design.

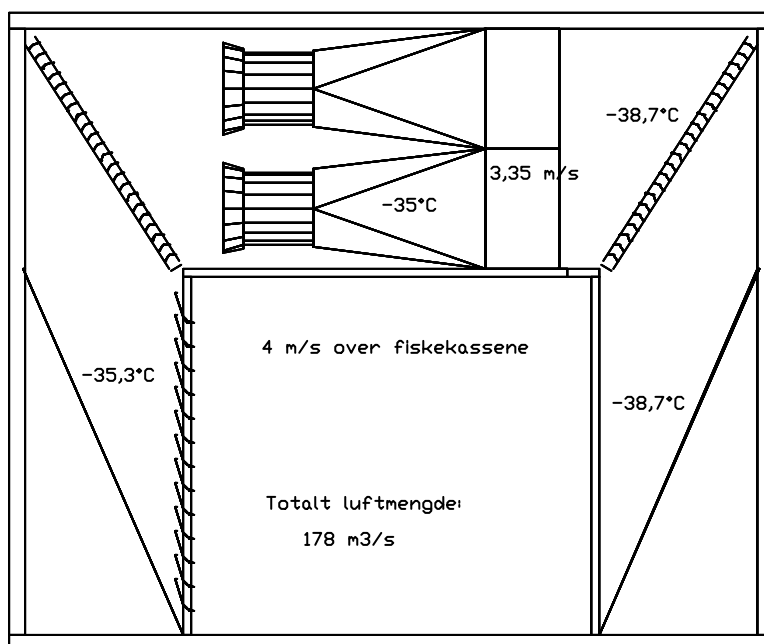
<sup>(2)</sup> Andre materialer kan være aktuelle for diffusor, ledeskovler og skråplater. Konkretiseringen er i dette forslaget gjort for å få et bilde på cirka investeringskostnader.

Figur 64-69 gir en "visuell" oppsummering av hovedresultater:

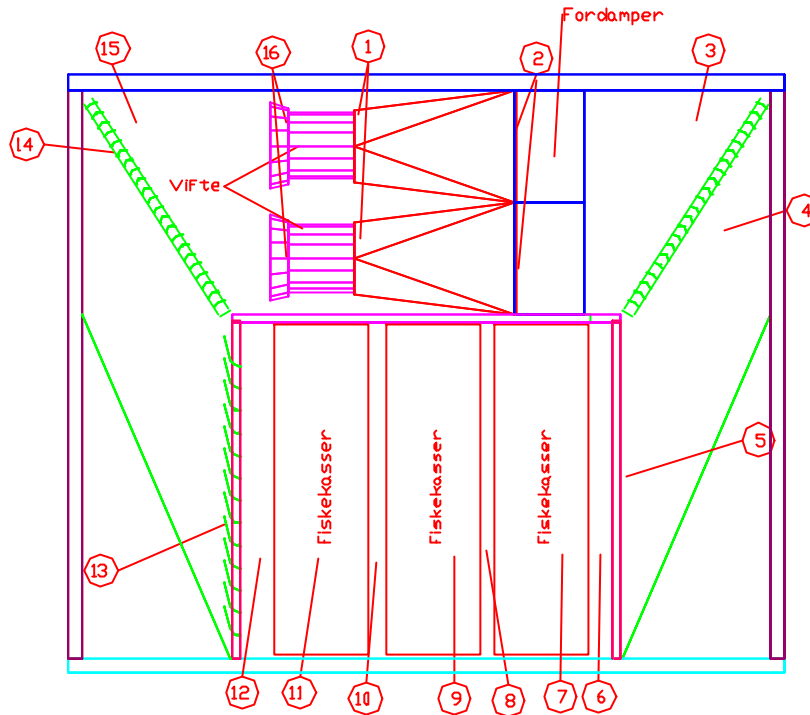
- Figur 64 og 65a er skisser av prototyp innfrysingstunnel med dimensjoner, komponenter og driftsbetingelser.
- Figur 65b og 66 viser enkeltrykkmappe i definerte punkter i luftsirkulasjonskretsen for hhv SINTEF og PAM's design og driftsbetingelser. Diffusor og fordampervalg er helt sentralt for å redusere det totale trykkfallet.
- Figur 67 viser innfrysingsforløpet og gjennomsnittlig effektbehov fordelt på 4 seksjoner (resultat fra simulering i Frigosim) ved 3 rammer i bredde og valgte driftsbetingelser. NB: varmeovergangstallet og derved frysetiden er for valgte emballering et usikkerhetsmoment, da lite eksperimentelt underlag finnes pr. i dag.
- Figur 68 viser energioptimal lufthastighet i "produktvarmeveksleren" (produktene betraktes som en varmeveksler, ved å benytte gjennomsnittlig avgitt varme over et gitt antall timer). Ved å øke lufthastigheten ut over 3-4 m/s vil man typisk tilføre mer vifteeffekt enn den økning i kjøleeffekt som oppnåes.
- Figur 69 viser differansen i investeringskostnader samt driftskostnader mhp direkte vifteeffekt og indirekte for å fjerne tilført vifteeffekt etter 1 og 3 år.



*Figur 64. Skisse av tunnel med komponenter og hoveddimensjoner.*

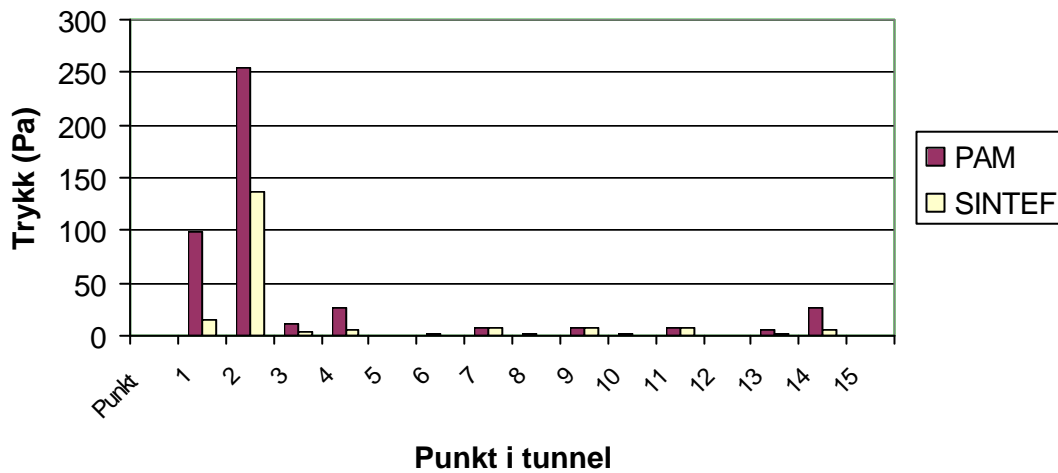


*Figur 65a. Prototyp tunnel med driftsbetingelser.*

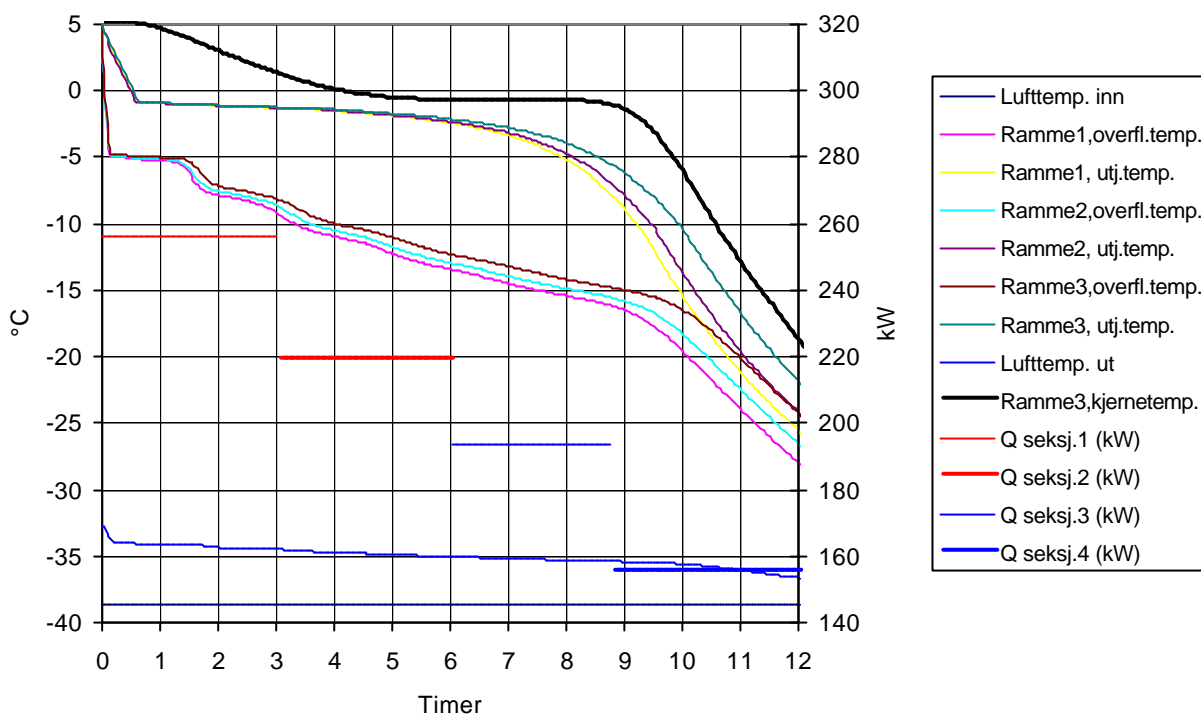


**Figur 65b.** Prototyp tunnel med punktangivelse for figur 66

**Trykktap/enkelttap PAM og SINTEF.**

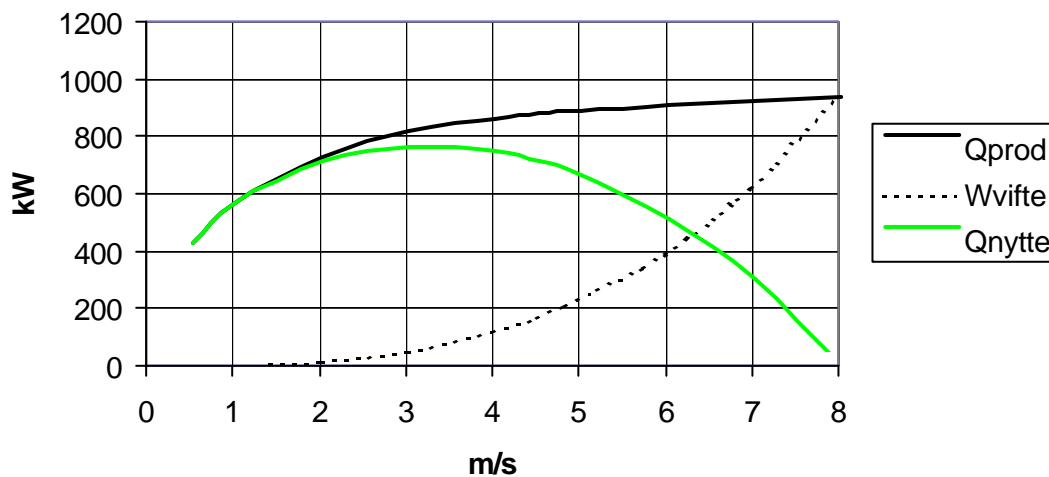


**Figur 66.** Trykkfordeling i luftsirkulasjonskrets ved foreslått design og driftsbetingelser.



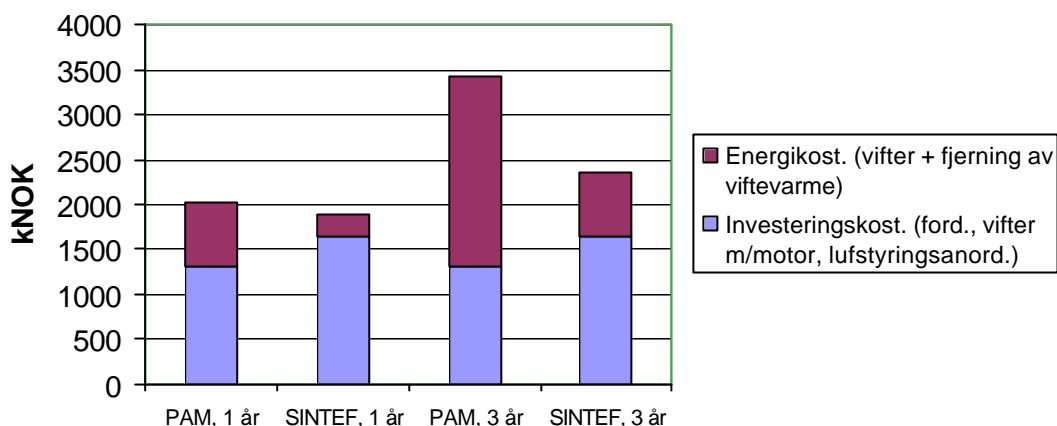
Figur 67. Innfrysingsforløpet og seksjonsvis avgitt produktvarme. Resultat fra Frigosim.

**Energioptimal lufthastighet mhp nyttiggjort kjøleeffekt.**  
**Viftearbeid = 20% av opptatt energi v/4,5 m/s lufthast.**



Figur 68. Energioptimal lufthastighet i innfrysingstunnel.

**PAM vs SINTEF's forslag mhp kostnader for fordamper, vifte og luftstyring etter hhv 1 og 3 år.**



*Figur 69. Kostnadskalkyle PAM og SINTEF's dimensjoneringsunderlag.*

#### 4.6.1.2 SINTEF's forslag på design og dimensjonering

Gangen i dimensjoneringen er oppsummert ;

- tunneldimensjoner (bredde\*lengde\*høyde) velges utfra en totalvurdering av luftfordeling plasshensyn, golvareal og trykkfall. I en prototyp er fleksibilitet også en faktor ved valg av bredde.
- lufthastighet bestemmes ut fra energioptimalisering over ”produktvarmeveksleren”.
- total luftmengde og temperaturdifferanse velges ut fra en helhetsvurdering av ”produktvarmeveksler” karakteristikk, spaltehøyde og trykkfall/viftearbeid.
- valg av fordamper og vifter velges deretter for å matche de søkte driftsbetingelser.

#### 4.6.1.3 Tidligere ”vedtatte” data for prototypen

Følgende hoveddata er gjeldende for dimensjoneringen av den kontinuerlige innfrysingstunnelen for pelagisk fisk som ble planlagt inn i prosjektet:

- innfrysingskapasitet:	10	tonn/time
- innfrysingstid:	12	timer
- totalt tunnellvolum:	120	tonn
- antall seksjoner	4	stk
- kuldemedium	NH <sub>3</sub>	
- lufttemperatur <b>inn</b> på fordamper	-35	°C
- forpakkingsstørrelse:	20	kg
- emballering:	PE-plast m/vacuum	
- dim. på ramme for 2 esker*20 kg fisk:		
- bredde:	1,26	m
- lengde:	0,445	m
- høyde:	0,115	m
- antall rammer i høyde:	21	stk
- plassering av fordampere og vifter:	over himling	



#### 4.6.1.4 SINTEF's design/dimensjonering

##### Kuldeytelsesbehov

Innfrysing av "makrell mai-juni":	820	kW	
Viftevarme/-effekter:	67	kW	
Transmisjonstap:	20	kW	(Ref. beregning av PAM)
Totalt:	907	kW	
<u>Min. dimensjonerende kuldeytelsesbehov:</u>	<u>907</u>	<u>kW</u>	
<u>Dimensjonerende kuldeytelsesbehov*</u>	<u>1000</u>	<u>kW</u>	

\* Legger til 93 kW mhp avfrosting og nedkjøling av rammer og emballasj.

##### Tunneldimensjoner

Antall rammer i bredden	3	stk
Total bredde tunnel:	9,2	m
Produktlengde i tunnel	21,2	m
Golvareal	194	m <sup>2</sup>
Spalthøyde mellom rammer	100	mm
Produkthøyde tunnel	4,5	m

##### Driftsbetingelser

Lufthastighet over produkt	4	m/s
Temperatur luft inn/ut over produkt	38,7/35,3	°C
Total luftmengde	178	m <sup>3</sup> /s

##### Dimensjonering av vifte.

Type vifte	Aksialvifte	
Senteravstand	1500	mm
Antall vifter per 1,5 m	2	stk/1,5 m
Totalt antall vifter	24	stk
Totalt trykkfall	202	Pa
Total luftmengde	178	m <sup>3</sup> /s
Tilført effekt per vifte	2,8	kW (4 kW for økt fleksibilitet)
Totalt tilført effekt	67	kW
Beregnet temperaturøkning over vifte	0,2	°C

##### Dimensjonering av fordamper

Type	Fincoil ribberørsfordamper	
Lengde/høyde (A/B)	4600/1440	mm
Antall rør i dyp	13	stk (15 stk for økt fleksibilitet)
Antall fordamperblokker	8	stk
Areal per fordamperblokk	943	m <sup>2</sup>
Temperatur luft inn/ut	-35/-38,7	°C
Total luftmengde	178	m <sup>3</sup> /s
Total kapasitet	992	kW
Trykkfall	137	Pa

#### 4.6.1.5 Kostnadskalkyler PAMs vs SINTEFs forslag

PAM's forslag gjelder oppholdstid på 8 timer for uemballert produkt i stedet for dagens forutsetning på 12 timer med emballert produkt. Tunnellengde med 8 timer oppholdstid og 2 rammer i bredden er imidlertid den samme som for 12 timers oppholdstid og 3 rammer i bredden. Sammenligningen blir derfor relevant ved å forutsette at PAM også har 3 rammer i bredden.

I denne kalkylen har vi basert oss på følgende rammebetingelser:

- energipris:	0,5	NOK/kWh	
- antall driftstimer per dag:	24	timer	
- antall driftsdager/år	200	dager	
- COP kjøleanlegg:	2		
- arealpris fordampere	135	NOK/m <sup>2</sup>	(ihht info. fra Fincoil)

Allerede etter 1 år er den økte investering med vårt forslag tilbakebetalt pga en betydelig reduksjon i energiforbruk.

**Tabell 7. Kostnadssammenligning PAM og SINTEF forslag.**

	PAM	SINTEF	Differanser
Fordamperytelse (kW)	1152	992	160
? T over fordampere (°C)	2,9	3,7	0,7
Trykkfall fordampere (Pa)	255	137	118
Trykkfall totalt (Pa)	491	202	289
Total luftmengde (m <sup>3</sup> /s)	254	178	76
Viftearbeid <sup>(1)</sup> (kW)	197	67	130
Energiforbruk vifte + kompr. <sup>(2)</sup> per år (kWh/år)	1 418 400	482 400	936 000
Energikost. Vifte + kompr. <sup>(2)</sup> (NOK/år)	709 200	241 200	468 000
Areal fordampere (m <sup>2</sup> )	6 964	7 544	580
Invest. kost. fordampere (NOK)	940 248	1 018 548	78 300
Invest. kost. vifter m/motor (NOK)	360 000	240 000	120 000
Invest. kost. luftstyringsutrustning (NOK) <sup>(3)</sup>	0	375 000	375 000
Energikost 1. år + investeringskost (NOK/år)	2.009 448	1.874 748	134 700
Energikost over 3 år + investeringskost (NOK/3år)	3.067 848	2.117 148	950 700

<sup>(1)</sup> Basert på spesifisert viftevalg. PAM har 2 forslag på viftevalg med hhv 192 og 252 kW. SINTEF's forslag basert på beregnede trykkfall i PAM's design er 197 kW, og er brukt i sammenligningen.

<sup>(2)</sup> Energiforbruk for kompressor i denne sammenheng er den energien som trengs for å kjøle bort vifteeffekten.

<sup>(3)</sup> 1 mm syrefast stål, totalt 790 m<sup>2</sup> eller 6820 kg. Pris inkl. bearbeiding og montering (erfaringspriser).

#### 4.6.1.6 Luftstyringstiltak, valg av vifte og trykkfallsberegninger

Med tanke på å få lavest mulig trykkfall for kjøleluften gjennom tunnelen viser beregninger at spesielt utforming av diffusor etter vifte og fordampere, må vies oppmerksomhet. Disse to punktene utgjør alene minimum 70% av det totale trykktapet gjennom tunnelen.

Valg av luftmengder og lufthastigheter må gjøres sammen med vurderinger av varmeovergangstall og temperaturer. Men siden trykkfall i hvert enkelt punkt er en funksjon av kvadratet av



*Typiske dimensjoner på vifte:*

Diameter på innløpsflens	1010 mm
Diameter på utløpsflens	970 mm
Diameter viftekåpe	900 mm
Total lengde vifte	885 mm
Diameter innløpsdiffusor	1135 mm
Lengde innløpsdiffusor	243 mm

**Beregning av trykkfall**

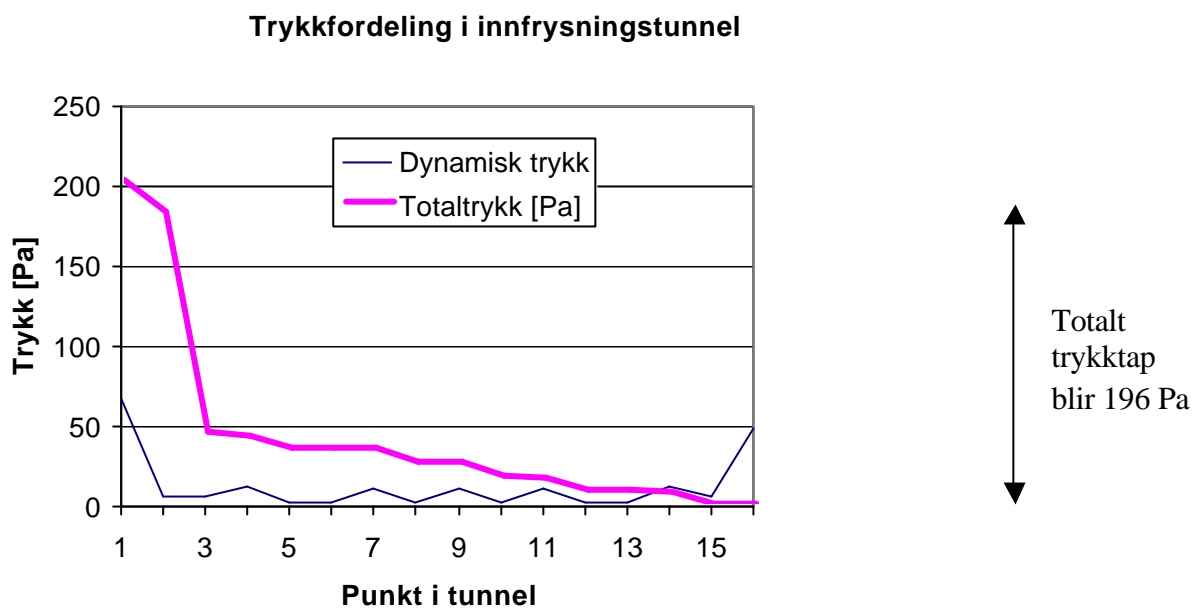
For å beregne trykkfallet luften får ved å sirkulere en gang rundt, splittes tunnelen opp i 16 deler. Se tabell 8. Dette for å analysere hver enkelt del og finne riktige trykktap.

Det beregnes arealer, hastigheter og dynamisk trykk i hvert punkt. Ut fra utforming av de enkelte komponenter kan en i litteraturen finne riktige trykktapskoeffisienter. Trykktap gjennom fordampere er hentet fra leverandørdiagram.

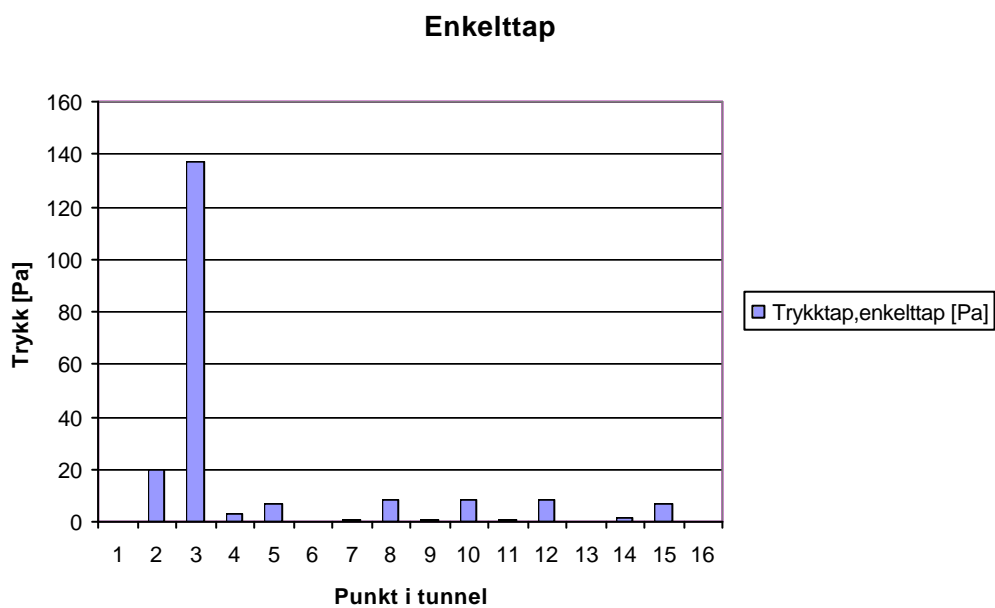
**Tabell 8.** Beregning av trykkfall i hvert enkelt punkt

Punkt	Luftmengde [m <sup>3</sup> /s]	Areal [m <sup>2</sup> ]	Hastighet [m/s]	Dynamisk trykk	Totaltrykk [Pa]	Trykktap, akku. [Pa]	Trykktap, enkelttap [Pa]	Tapskoeffisient
1	7,4	0,78	9,5	67	202	0	0	0
2	12,56	4,5	3,35	6	182	20	20	0,3
3	12,56	4,5	3,35	6	45	157	137	Fordamper
4	12,56	3	4,2	13	42	160	3	0,5
5	12,56	6,75	1,9	3	36	167	7	0,5
6	12,56	6,75	1,9	3	36	167	0	0
7	12,56	3,15	4,0	12	35	167	1	0,3
8	12,56	6,75	1,9	3	26	176	8	0,7
9	12,56	3,15	4,0	12	26	176	1	0,3
10	12,56	6,75	1,9	3	17	185	8	0,7
11	12,56	3,15	4,0	12	17	185	1	0,3
12	12,56	6,75	1,9	3	8	194	8	0,7
13	12,56	6,75	1,9	3	8	194	0	0
14	12,56	3	4,2	13	7	195	1	0,5
15	12,56	4,5	2,8	6	0	202	7	0,5
16	6,28	0,78	8,1	48	0	202	0	0

Ut fra disse resultatene kan trykkfallet i innfrysningstunnelen grafisk vises som vist i figur 71.



Figur 71. Grafisk framstilling av trykkfordelingen gjennom tunnelen.



Figur 72. Grafisk framstilling av hvert enkelttap.

Det totale trykkfallet vil være 202 Pa med de forutsetninger som er gjort. Ut fra figur 72 ser en at diffusor og fordampner er de to store kildene til trykktap. Disse to alene utgjør over 75% av det totale trykktap.

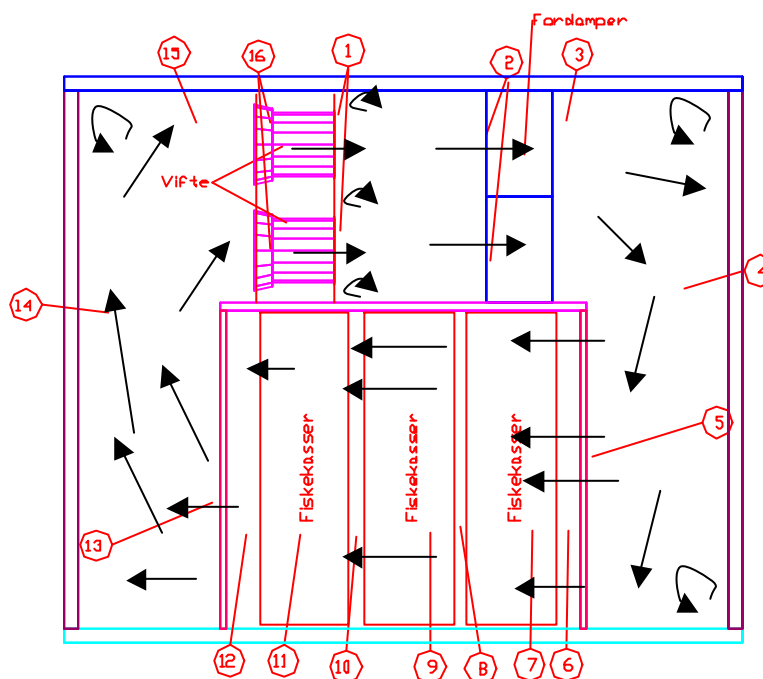
#### Effektforbruk

Ved å gå inn i en katalog for aksialvifter kan en finne effektforbruket for hver enkelt vifte. Trykktapene korrigeres ut fra luftas tetthet ved  $-40^{\circ}\text{C}$  da katalogverdiene ofte har  $20^{\circ}\text{C}$  som referanseverdi. For SINTEF's eksempel velges en motor som trekker 2,8 kW per vifte, dvs med 24 vifter blir dette 67 kW.

#### 4.6.1.7 Beregning av trykkfall og vifteeffekter i PAMs design

For å kunne gjennomføre en sammenligning mellom tradisjonelt design og det forslag vi har for design på prototypen, er det tilsvarende beregnet trykkfall og valgt vifter ut fra PAM's dimensjoneringsforslag.

Tunnelen har samme hoveddimensjoner som for SINTEF's underlag. Hovedforskjellene er at temperaturdifferansen er dimensjonert til 2,9°C noe som gir en total luftmengde på 253,6 m<sup>3</sup>/s.



**Figur 74.** Snitt av tunnel ihht PAM design.

Som figur 74 viser, er det ikke laget verken ledeskovler eller diffusor i dette tilfellet. Dette medfører en mye mer turbulent strømningsmønster og mye høyere trykktap.

#### Valg av vifte

Velger en senteravstand mellom hver vifte på 1500 mm. To stk vifter plasseres over hverandre. Det totale antall vifter vil være 24 stk. Dette gir en luftvolumstrøm på 10,6 m<sup>3</sup>/s per vifte.

Typiske dimensjoner på vifte:

Diameter på innløpsflens	1010 mm
Diameter på utløpsflens	970 mm
Diameter viftekåpe	900 mm
Total lengde vifte	885 mm
Diameter innløpsdiffusor	1135 mm
Lengde innløpsdiffusor	243 mm

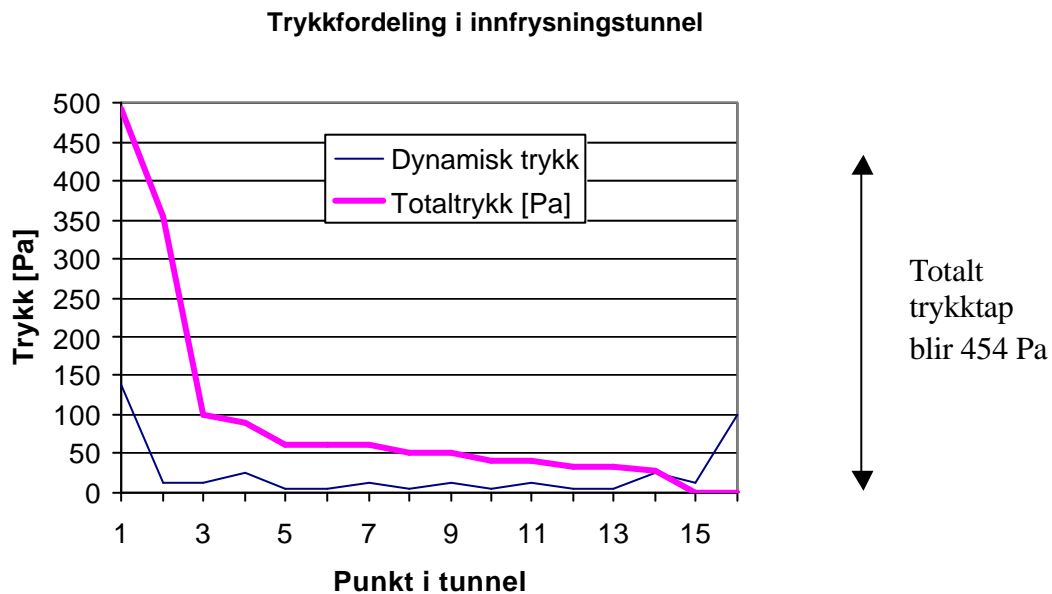
#### Beregning av trykkfall

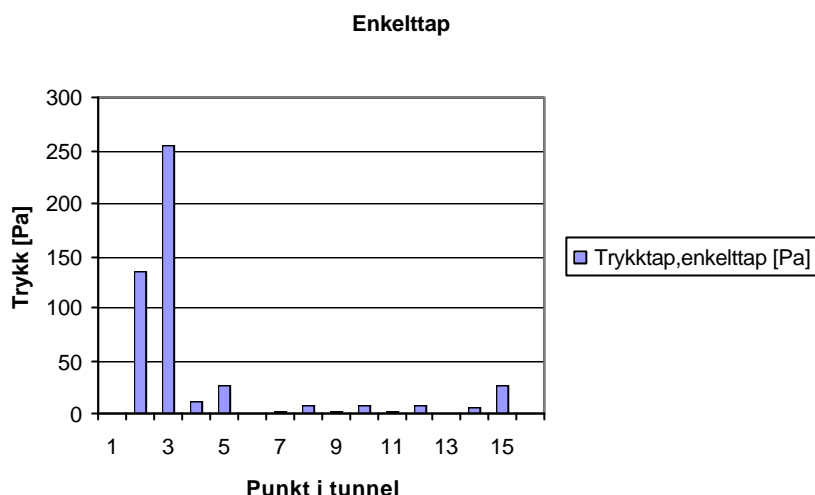
Som i forrige eksempel beregnes trykkfallet luften får ved å sirkulere en gang rundt og så her splittes tunnelen opp i 16.

**Tabell 9** Beregning av trykkfall i hvert enkelt punkt.

Punkt	Luftmengde [m <sup>3</sup> /s]	Areal [m <sup>2</sup> ]	Hastighet [m/s]	Dynamisk trykk	Totaltrykk [Pa]	Trykktap, akku. [Pa]	Trykktap,enkelttap [Pa]	Tapskoeffisient
1	10,56	0,78	13,5	137	492	0	0	0
2	17,9	4,5	4,8	12	355	137	137	1
3	17,9	4,5	4,8	12	100	392	255	Fordamper
4	17,9	3	6,0	27	88	403	12	1
5	17,9	6,75	2,7	5	62	430	27	1
6	17,9	6,75	2,7	5	62	430	0	0
7	17,9	4,5	4,0	12	60	431	2	0,3
8	17,9	6,75	2,7	5	52	440	8	0,7
9	17,9	4,5	4,0	12	50	441	2	0,3
10	17,9	6,75	2,7	5	42	450	8	0,7
11	17,9	4,5	4,0	12	40	451	2	0,3
12	17,9	6,75	2,7	5	32	459	8	0,7
13	17,9	6,75	2,7	5	32	459	0	0
14	17,9	3	6,0	27	27	465	5	1
15	17,9	4,5	4,0	12	0	491	27	1
16	8,97	0,78	11,5	99	0	491	0	0

Ut fra disse resultatene så kan trykkfallet i innfrysningstunnelen grafisk vises slik:


**Figur 75.** Grafisk framstilling av trykkfordelingen gjennom tunnelen.



*Figur 75. Grafisk framstilling av hvert enkelttap.*

Det totale trykkfall vil i dette tilfellet være 491 Pa med de forutsetninger som er gjort.

### Effektforbruk

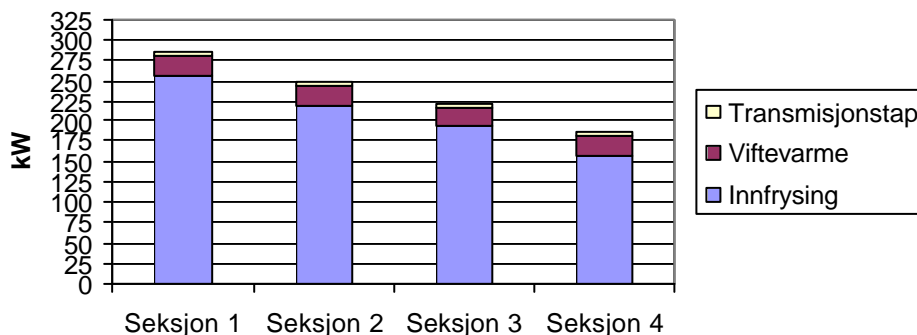
Ved å gå inn i en katalog for aksialvifter så kan en finne effektforbruket for hver enkelt vifte. Trykktapene korrigeres ut fra luftas tetthet ved  $-40^{\circ}\text{C}$ , da katalogverdiene ofte har  $20^{\circ}\text{C}$  som referanseverdi.

Med forutsetningene over velges det en vifte med 8,2 kW og den totale effekten blir da 197 kW.

### 4.6.1.8 Utnyttelse av seksjonering

I en kontinuerlig prosess med fire fordampersesksjoner, bør det vurderes å installere fordampertelser tilpasset den seksjonsvise variasjon i produktvarme. I tillegg bør luftmengde og temperaturredifferanse over fordamperen tilpasses de valgte seksjonsvise driftsbetingelsene for produktvarmeveksleren. Figur 76 viser gjennomsnittlig effektbehov i de 4 seksjonene i prototypen, ihht resultat i Frigosim.

**Totalt kuldeytelsesbehov i gjennomsnitt for hver seksjon ved antakelse om lik vifteeffekt i hver seksjon à 25 kW.**



*Figur 76. Seksjonsvis effektbehov i prototyp.*



En forenklet seksjonsvis dimensjonering, er å ta utgangspunkt i samme fordampertype og luftmengde/fronthastighet som tidligere, men variere antall rør i dyp. For fordamper med 8 rør i dyp er dataene fremtatt ved ekstrapolering av data for 12-16 rørdyp. I dette eksempelet er det installert 957 kW fordampereffekt. En helhetsbetraktning må imidlertid gjøres for å få frem den reelle effekten av å utnytte seksjoneringen på denne måten.

**Tabell 10.** Seksjonsvis dimensjonering av fordampere i prototyp.

Seksjon nr.	Antall rør i dyp	Areal (m <sup>2</sup> )	Fordampereffekt (kW)	Trykkfall fordamper (Pa)	Tempdifferanse (°C)
1	16	2322	281	167	4
2	13	1886	250	137	3,6
3	12	1742	236	127	3,4
4	8	1160	190	90	2,8

#### 4.6.1.9 Underlag for valgte driftsbetingelser

Valgte driftsbetingelser er basert på tunneldimensjoner, trykkfallsdata på luftsiden, simuleringer av innfrysingsprosessen samt vår kjennskap til innfrysingsprosesser generelt. Driftsbetingelsene er først og fremst bestemt ut fra en fokusering på produktgenskapene, deretter har en valgt vifter og fordampere.

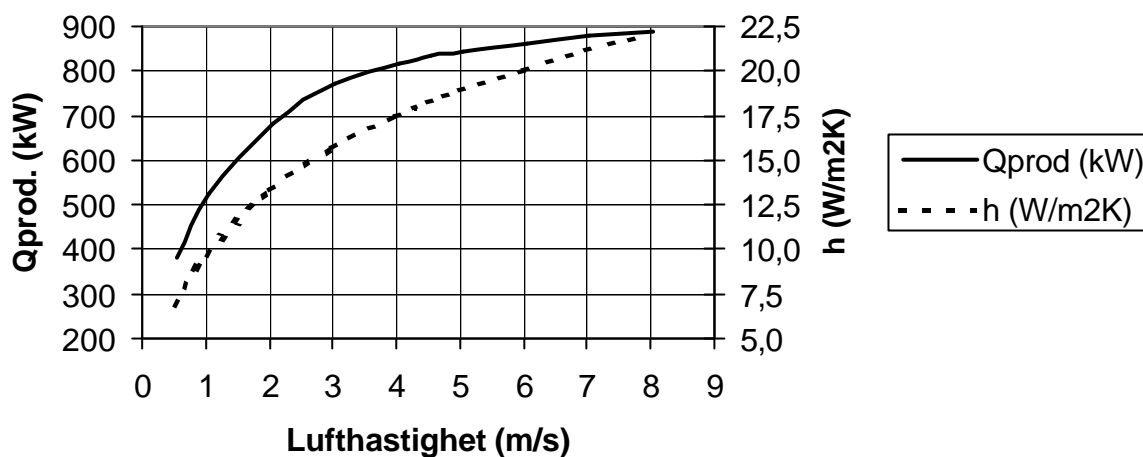
Det faktum at en stor andel av trykkfallet oppstår i fordamperen, at vifteeffektene i tradisjonelt design utgjør en uforholdsmessig stor andel av nyttig kjøleeffekt samt at ”produktvarmeveksleren” har en flat ytelseskarakteristikk som funksjon av lufthastighet har vært sentrale faktorer for våre valg.

#### 4.6.1.10 Varmeovergangstall og karakteristikk produktvarmeveksler

Figur 77 viser effektivt varmeovergangstall mellom produkt-luft samt ytelseskarakteristikken (gjennomsnittlig effekt avgitt fra produktene i løpet av 12 timers oppholdstid beregnet i FrigoSim) av ”produktvarmeveksleren”, som funksjon av lufthastighet. Forløpet på disse kurvene viser en klar utflatning etter hvert som hastigheten øker, som er en typisk karakteristikk for emballerte produkt av denne typen.

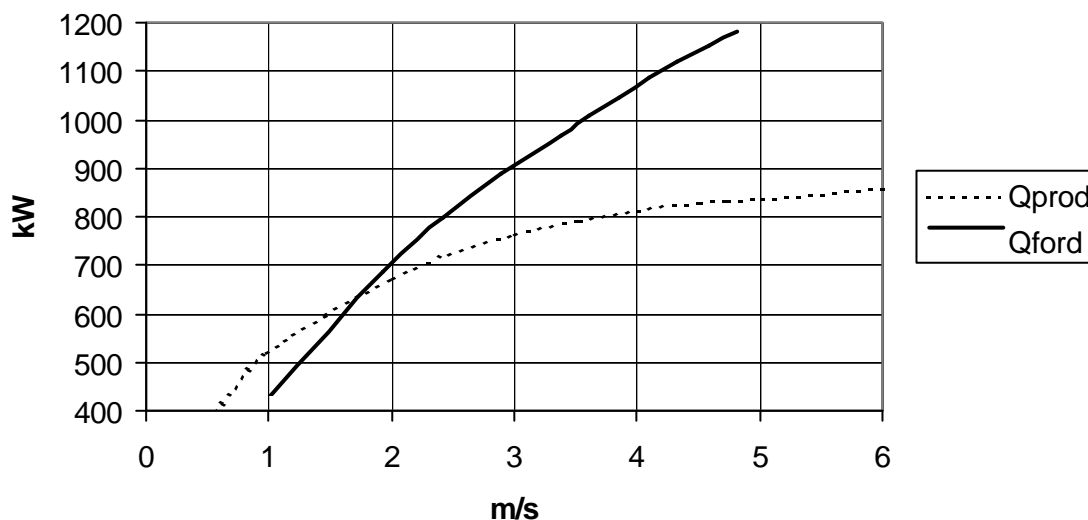
Det bør bemerkes at den største usikkerheten i underlaget, er ytelseskarakteristikken på ”produktvarmeveksleren”, da en per i dag har relativt få eksperimentelle data for PE-emballert produkt. Det som er brukt i simuleringer er et ”best guess” ut fra dagens underlagsdata. SINTEF har planlagt laboratorieforsøk for å få et bedre grunnlag for å stadfeste varmeovergangstallet og innfrysningstiden som funksjon av lufthastigheten for PE emballert produkt.

**Varmeovergangstall og kjøleffekt v/12 timers oppholdstid, som funksjon av lufthastighet.**



*Figur 77. Effektivt varmeovergangstall og avgitt varme fra produkt til luft.*

Figur 78 sammenligner ytelseskarakteristikk på produktvarmeveksler og fordamper. Økt lufthastighet har veldig ulik effekt på disse to komponentene og må taes hensyn til ved dimensjoneringen.

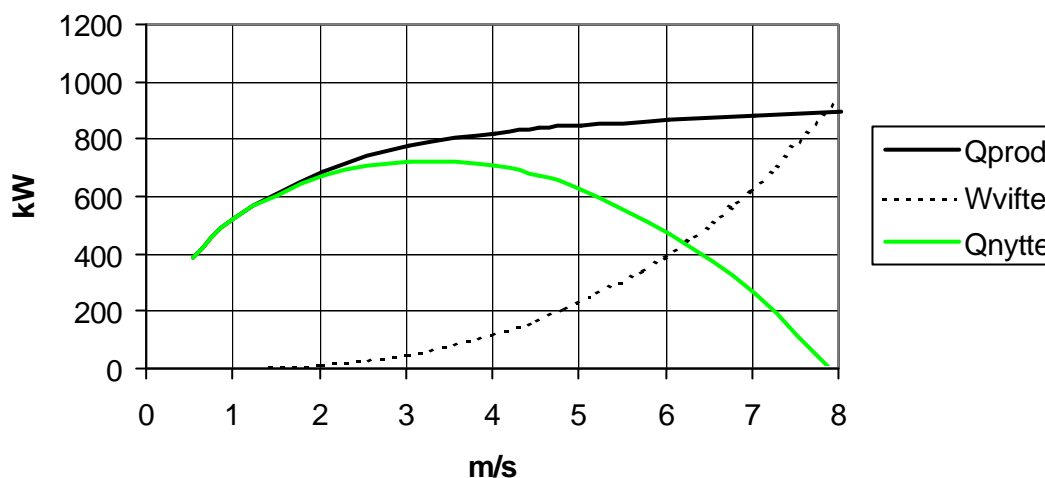


*Figur 78. Ytelseskarakteristikk produktvarmeveksler og fordamper som funksjon av lufthastighet.*

#### 4.6.1.1 Energioptimal lufthastighet

Ved å forutsette at man ved en lufthastighet på 4,5 m/s har en vifteeffekt som utgjør ca. 20% av kjøleeffekten på produktet (realistisk ved tradisjonelle design), kan man finne det energioptimale driftspunkt som vist i figur 16. Vifteeffekten er proporsjonal med lufthastigheten i 3. potens.

**Optimalt driftpunkt frysetunnell mhp nyttig kjøleeffekt.**  
**Viftearbeid = 20% av opptatt energi v/4,5 m/s lufthast.**



*Figur 79. Energioptimal lufthastighet i prototyp.*

På grunn av den nokså flate karakteristikken av produktvarmeveksleren, ser man at det ved 3-4 m/s inntreffer et optimalt punkt mhp nyttig kjøleeffekt. I vårt dimensjoneringsforslag har vi valgt å sette lufthastigheten over produktene og fronthastigheten på fordampere til hhv 4 m/s og 3,4 m/s.

#### 4.6.1.12 Antall rammer i bredde

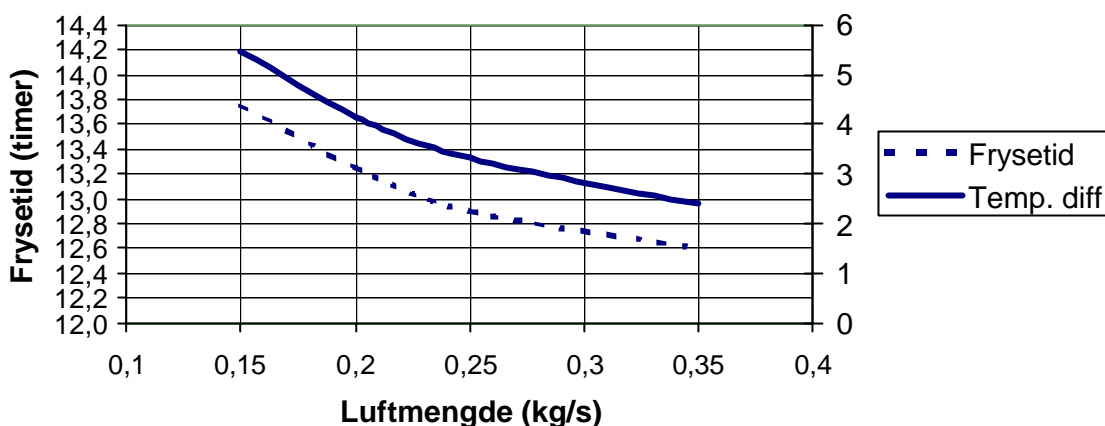
Tradisjonelt er 2 rammer i bredden vanlig i innfrysningstunneler. I prototypen foreslår vi å øke til 3 rammer eller 6 esker i bredden. Luftstyringsanordninger gjør at man selv med en bredere tunnel og lavere lufthastighet, oppnår jevn fordeling av luften over produktene. 3 rammer i bredden og lavere luftmengder gir potensial for å redusere golvarealet og gir plass for installasjon av effektive diffusorer over himling. Ved å dimensjonere etter lik temperaturdifferanse på luften uavhengig av bredden, er innfrysingstiden tilnærmet upåvirket av bredden. Tre kontra to rammer i bredden, medfører større spaltehøyde og dermed noe høyere tunnel.

#### 4.6.1.13 Sirkulert luftmengde og temperaturdifferanse på luften

Lufthastigheten er bestemt ut fra en optimaliseringsbetraktning for produktvarmeveksleren. Luftmengden bestemmer deretter temperaturdifferansen på luften, som i sin tur påvirker LMTD (logaritmisk temperaturdifferanse) og overført effekt fra produkt til luft (eller frysetiden). Se figur 80, som er resultat på simulering av 3 stk rammer à 40 kg fisk i bredden. Ved at hastigheten skal holdes uforandret vil en økning i luftmengden medføre økt spaltehøyde/strømningsareal, som vist i figur 81).

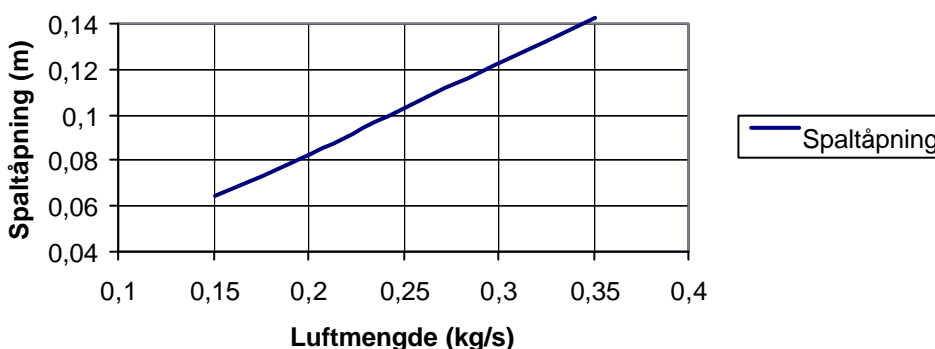
Ut fra en totalvurdering av den gitte innfrysningprosessen, dimensjoneres prototypen med total luftmengde på 178 m<sup>3</sup>/s (representert ved 0,25 kg/s i figurene under) og en temperaturdifferanse over fordampere på 3,7°C (3,4 over produkt og 0,1-0,3 tilført fra viftevarme). Spalteåpningen blir i dette tilfellet ca. 100 mm.

**Frysetid og temperaturdifferanse vs luftmengde (3 rammer og lufthastighet 4 m/s)**



*Figur 80. Frysetid og temperaturdifferanse vs sirkulert luftmengde.*

**Avgitt varme fra produkt og spaltåpning vs luftmengde (3 rammer og lufthastighet 4 m/s)**



*Figur 81. Spalthøyde vs sirkulert luftmengde ved konstant lufthastighet.*

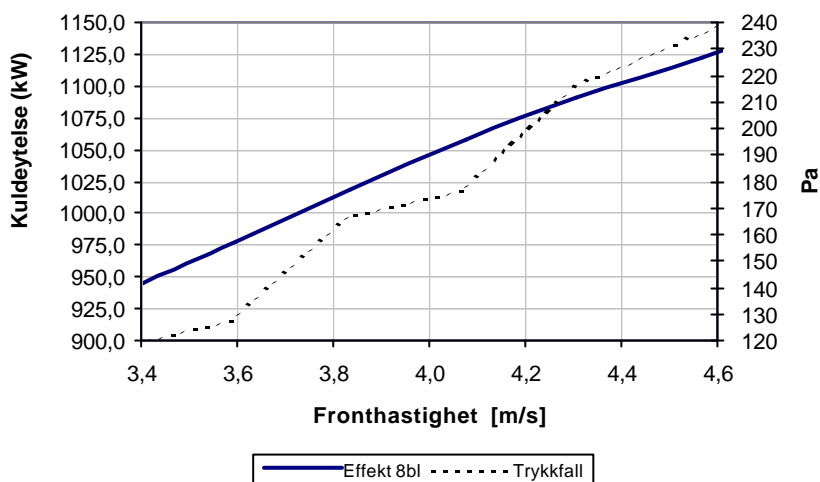
#### 4.6.1.14 Valg av fordamper

Dimensjonering vist over med basis i ”produktvarmeveksleren”, gir inngangsverdier ved valg av fordamper. Tunnelen inndeles i 4 seksjoner à 5,3 meter, hver med 2 fordamperblokker fra Fincoil med frontareal tilsvarende spesifisering av PAM. Hver fordamperblokk dimensjoneres ut fra luftmengde på 22,25 m<sup>3</sup>/s, temperaturdifferanse på 3,7°C og total effekt på 125 kW.

I hht beregningsunderlag fra Fincoil, oppfyller en fordamper med 13 rør i dyp ovenstående krav.

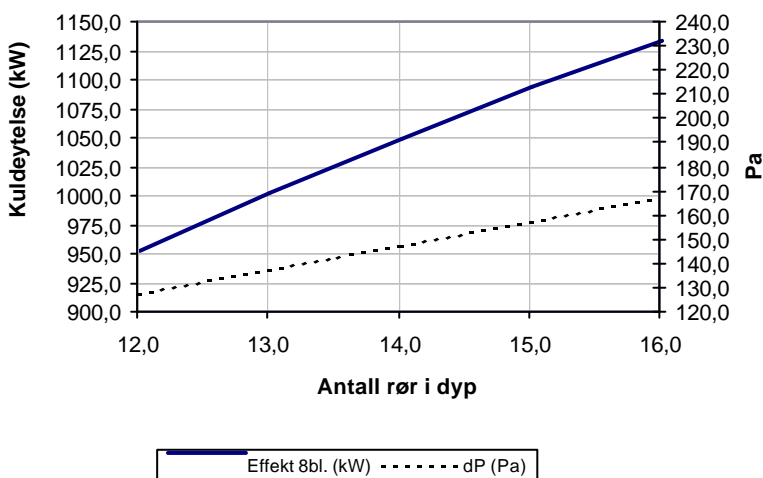
Valg av fordamper har stor betydning for det totale trykkfallet. I figur 82 og 83 er kjøleeffekten økt like mye ved hhv økning i fronthastighet eller økning i antall rør i dyp. Trykkfallet øker imidlertid veldig ulikt, med antall rør i dyp som den klart gunstigste strategien i så måte.

**Kjøleeffekt og trykkfall vs fronthastighet på FINCOIL  
fordampere**



*Figur 82. Kjøleeffekt og trykkfall som funksjon av fronthastighet.*

**Kjøleeffekt og trykkfall vs antall rør i dyp på FINCOIL  
fordampere**



*Figur 83. Kjøleeffekt og trykkfall som funksjon av antall rør i dyp.*

#### 4.6.1.15 Energibruk og –utnyttelse

For et gitt kuldebehov vil energibruken for å løfte denne energi fra frysertemperatur til over aktuell varmejerning til omgivelsene, være avhengig av temperaturløftet. Teoretisk minimum energiforbruk er gitt av Carnotprosessen mellom de samme temperaturnivåene, mens et godt kuldesystem vil kreve et energiforbruk som er ca.  $1/0,45 = 2.2$  høyere, i dette tilfelle elektrisitet, i størrelsesorden 0,06 kWh for hvert kg frosset vare ( $T_e/T_c = -40/30^\circ\text{C}$ ).

En totaløkonomisk vurdering vil derfor trolig vise at lavere frysertemperatur vil gi at raskere innfrysing og mindre vekt tap, er økonomisk. Imidlertid gir dette tekniske problem ved dagens

vanlige kuldesystem, som gjøre nærmere vurdering og testing av systemer og kuldemedier nødvendig. Numeriske simuleringer og beregninger med eksisterende programvare viser hva som kan gjennomføres praktisk og økonomisk, samt avdekker eventuelt behov for utvikling.

Foredlingsindustrien har betydelige energibehov for oppvarming av bygninger og forbruksvann samt en rekke lavtemperaturanvendelser som tining, avising, avrimning o.s.v. I noen tilfeller kan varmen fra kuldesystemet utnyttes direkte, mens oppvarming av vann skjer ved betydelig høyere temperatur. Dette kan i dag oppnås på to hovedmåter: (1) Bruk av oljevarme fra skruekompressorer og (2) Bruk av ekstra trinn på kuldesystemet/varmepumpen. Basisteknologi for dette er tilgjengelig, men effektiv utnyttelse og optimalisering krever analyse av system og simuleringer samt utvikling av komponenter for systemene.

#### 4.6.1.16 Potensialet for energisparing ved Global Liavaag AS

Den delen av anlegget ved Global Liavaag AS som er i fokus, er tre frysetunneler drevet etter batch-prinsippet, samt en nylig utbygd frysetunnel (prototypanlegget) som skal drives som en kontinuerlig innfrysingsenhet. Et estimat for energiforbruket ved innfrysing i de opprinnelige tunnelene er funnet å være **0,160 kWh per kg fisk** som fryses. For et 1-trinnsanlegg med kompressorer uten economizere, er en verdi på 0,071 kWh/kg beregnet. Hvor stor reduksjon av spesifikk energikostnad det er teknisk mulig, og ikke minst økonomisk lønnsomt, å få til, er det vanskelig å anslå. Den estimerte verdien av energiforbruket er også usikker. Dersom man ønsker å vurdere lønnsomheten av energisparende tiltak, må det foretas målinger av energiforbruket ved innfrysning. Et enkelt estimat for hva man kunne ha spart ved ideelle forhold, kan likevel gi en ide om potensialet. Global AS betalte i år 2000, 0,212kr/kWh for elektrisk energi. Samme år hadde bedriften en total produksjon på tilnærmet 40000 tonn. Dersom anlegget kunne fryse ved ideelle forhold ville bedriften da spare :

$$K = 0,212 \text{ kr/kWh} \times (0,150 - 0,071) \text{ kWh/kg} \times 40000 \text{ tonn/år} \sim \underline{700000 \text{ kr/år}}$$

Energisparing ved anlegget kan skje ved å senke kuldebehovet ved innfrysning, og ved å forbedre virkningsgraden for kompressorene i drift. Ofte vil dårlig regulering av vifter i frysetunneler føre til et unødvendig høyt kuldebehov utover i innfrysingsperioden. Viftene i de batch-opererte tunnelene er frekvensregulerte. Det gir gode muligheter for å finne en hensiktsmessig regulering som kan holde tilført energi på et minimumsnivå.

Det bør derfor undersøkes om reguleringsmetoden som er benyttet i anlegget, er den beste. Ett forbedringspotensiale ligger det også i hvordan anlegget belastes over døgnet. I dag fylles en tunnel helt opp før innfrysning startes.

Et annet tiltak som også vil gi energisparing, er frekvensregulering av kompressorene. Kompressorene i anlegget blir i dag regulert ved hjelp av sleideregulering. Dersom effektbehovet fordeles på to kompressorer, slik tilfellet er i dag, vil man i den siste delen av innfrysingsperioden ha en relativt stor kompressor som går på dellast. Dersom kompressoren var frekvensregulert, kunne man oppnå høyere virkningsgrad for denne i lengre perioder, og dermed spare energi.

Utformingen av avrimingsystemet har betydning for kuldebehovets størrelse. Med hvilken frekvens fordampene avrimes, og varigheten av avrimingsperiodene har en tilsvarende betydning. Ved anlegget kan fordampene i hver celle avrimes uavhengig av hverandre. Sammen med en hensiktsmessig avrimings-initiering og tidsstyring, bør det da være mulig å holde varmetilførselen fra avrimingen på et minimumsnivå. Ved å avrime etter at fryseperioden er over, slik praksis ved anlegget er, oppnår man også et veldig lavt varmetilskudd fra avrimingen. Ulempen kan være at

dersom man får en stor mengde rim på fordamperne, vil varmeovergangen i disse bli dårlig. Det fører til en lavere fordampingstemperatur, som igjen gir en dårligere virkningsgrad for kompressorene. Mengden av rim dannet på fordamperne kan også påvirkes ved endrede produksjonsforhold. Produktene som fryses, er emballerte. Fukttilskuddet vil dermed ikke komme fra varene som fryses, men kan komme fra fuktig emballasje, vannsøl i tunnelen, fukt i paller og fra fuktig luft som kan lekke inn i tunnelen utenfra. Ved å begrense fukttilførselen fra disse kildene vil man redusere behovet for avriming.

På grunn av den nye tunnelen som er installert ved anlegget, er den framtidige driftssituasjonen noe usikker. De ovennevnte forholdene har først og fremst vært mulige forbedringer ved anlegget slik det drives i dag med de opprinnelige frysetunnelene. Dersom disse fases ut om kort tid vil det ikke være lønnsomt å foreta investeringer knyttet til driften av dem. Det vil da heller være mer aktuelt å se på hvordan driftsforholdene vil være når den nye tunnelen settes i drift. Tunnelen skal opereres som en kontinuerlig fryser, og vil således ha et mer stabilt kuldebehov når den er i drift. Det forutsetter at man har en konstant innmating av fisk som skal fryses. Tunnelen har en kapasitet på 10 tonn fisk per time. Dersom en forutsetter 12 timers arbeidsdager og 7 arbeidsdager per uke, gir det en ukentlig kapasitet på 840 tonn per uke.

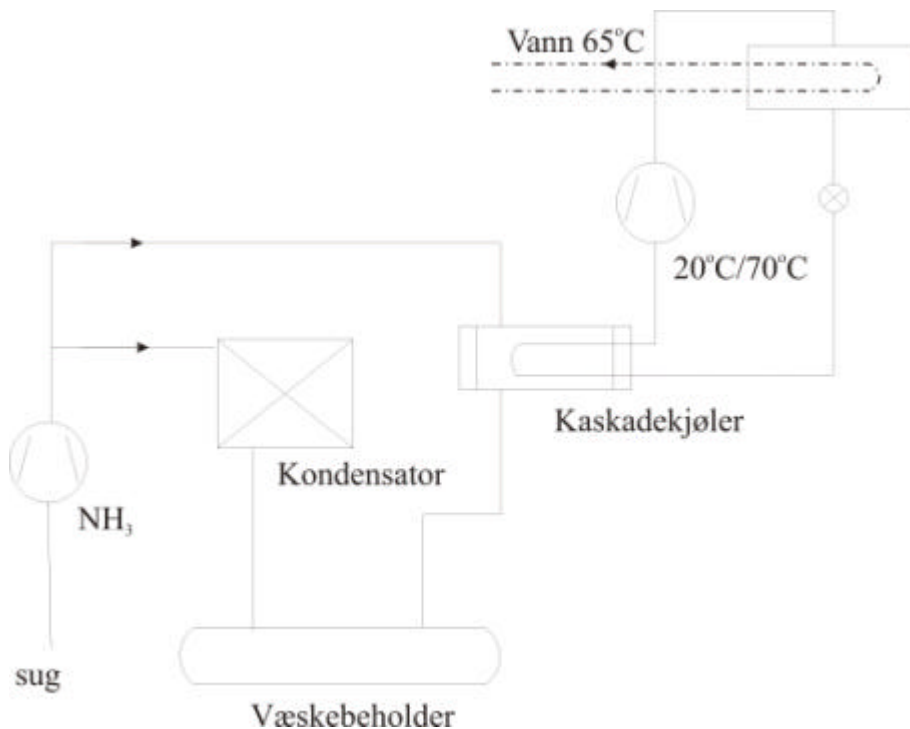
Produksjonsraten gir likevel en indikasjon om at tunnelen vil kunne drives ved maksimal belastning relativt store deler av driftstiden. For å oppnå lavt energiforbruk ved anlegget i en ny driftssituasjon, vil det være viktig at anlegget belastes jevnt. Dersom de opprinnelige tunnelene blir drevet videre parallelt med den kontinuerlige tunnelen, kan stor samtidighet i effekttopper gi uheldige driftssituasjoner.

Optimal utnyttelse av spillvarme fra kuldeanlegget forutsetter god kjennskap til hvilke tilgjengelige spillvarmekilder som finnes. Parametere som spillvarmens energimengde og temperaturnivå, samt variasjoner i disse som følge av ulike driftssituasjoner, bør være kjent. En annen betingelse for optimal utnyttelse, er å kjenne til mulige energibehov som kan dekkes av spillvarmen. Også for energibehovet er det viktig å ha kjennskap til de nevnte parametrene og hvordan de varierer. Dersom forholdene ikke er kjent kan det resultere i en dårlig utnyttelse av investert gjenvinningsutstyr. Årsaker til det, kan være lavt oppvarmingsbehov, for liten tilgang på spillvarme eller en lav samtidighet i energitilgang og - behov.

Ved Global Liavaag AS er forholdene rundt energibehovet ennå ikke kartlagt. Det vil derfor være en viktig del av et fremtidig arbeid med å utnytte tilført energi ved anlegget mer effektivt. Det vil være aktuelt å utnytte både varme fra kjøling av olje brukt i skruekompressorene, og kondensasjonsvarme. Størrelsen og temperaturnivået til disse energikildene vil være avhengig av hvordan anlegget drives. For eksempel er kondensasjonsvarmen avhengig av hvilke temperaturnivå kompressorene jobber ved, og kuldebehovet i tunnelene. Også oljekjølekapasiteten vil variere med kompressorenes belastning. Dersom man skal vurdere investeringer for varmegjenvinning ved anlegget, vil den økonomiske faktoren også være viktig. Anleggets drift er preget av korte og intensive sesonger, med en driftstid på rundt 6 måneder. Den korte driftstiden vil sette ekstra store krav til god lønnsomhet ved investeringer for at en kort nedbetalingstid kan oppnås.

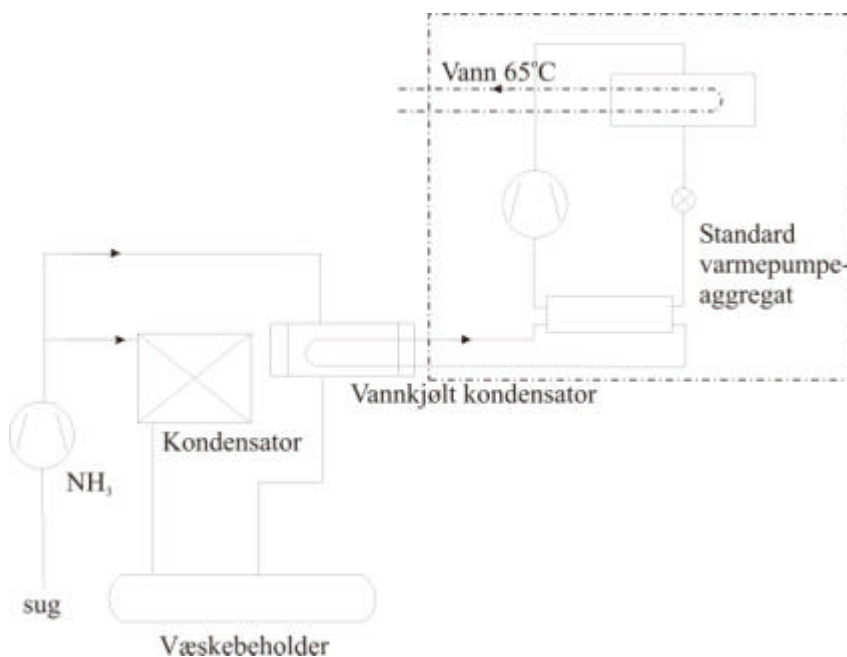
For best mulig utnyttelse av spillvarmekilder, er direkte varmeveksling mellom kjølemediet i kuldeanlegget og ?uidet man ønsker oppvarmet, skissert som den beste løsningen. Det er også skissert ulike løsninger der man bruker ekstra kompressor og hever temperaturen til et høyere nivå. I større industrielle kuldeanlegg har ammoniakk i lang tid vært det vanlige kuldemediet. Årsaken er at ammoniakk har langt bedre termodynamiske og tekniske egenskaper enn Halokarboner. Også anlegget omfattet av dette prosjektet, har ammoniakk som kuldemedium. Det gir begrensninger for hvordan spillvarme kan utnyttes, da ammoniakk er giftig. Mediet har i tillegg en skarp stikkende lukt, som kan være panikk-skapende, og det er brennbar/eksplosivt i

visse blandingsforhold med luft. Ammoniakk bør derfor ikke varmeveksles direkte mot verken ventilasjonsluft eller vann. Dermed vil systemløsninger som vist i figur 84 og figur 85 være de mest aktuelle utforminger for et varmegjenvinningsanlegg.



Figur 84

Ved gjenvinning av varme fra olje brukt i skruekompressorene, bør det derimot være mulig å ha direkte varmeveksling med for eksempel vann. Det er særlig gunstig da temperaturen til olja er relativt høy. Varmen vil da kunne gjenvinnes ved en enkel løsning, noe som vil gjøre investeringen mer lønnsom.



Figur 85

Da den framtidige driftssituasjonen ved anlegget er usikker, er det vanskelig å gi en konkret analyse av spillvarmekildene.



#### 4.6.1.17 Konklusjon

Ved industrielle kuldeanlegg er det hovedsaklig to ulike innfrysingsanlegg som brukes, tunnel-frysere og platefrysere. Platefrysere opereres først og fremst etter batch-prinsippet. Tunnel-frysere utformes både som kontinuerlige frysere, og som batch-frysere.

I en kontinuerlig fryser er kuldeeffektbehovet konstant, så lenge tunnelen belastes med en kontinuerlig massestrøm av varer som skal fryses. I en fryser operert etter batch-prinsippet, vil kuldebehovet i startfasen av innfrysingsperioden være stort. Etter hvert som temperaturen i varene senkes, vil den reduserte temperaturdifferansen gi lavere varmeovergang, og således føre til et redusert kuldebehov. Dersom det tilhørende kuldeanlegget er dimensjoner for stort, vil anlegget utnyttes dårlig i de deler av innfrysingsperioden med lavt kuldebehov. Ved et anlegg som er dimensjonert for lite vil man derimot kunne oppleve at fordampningstemperaturen heves i starten av innfrysingsperioden. Temperaturen i varene senkes dermed med en lavere hastighet. Det kan medføre kvalitetstap i varene. I tillegg vil man få en forlenget innfrysingstid, som særlig ved innfrysing av uemballerte varer, kan gi et økt vekttap.

Det sterkt varierende kuldebehovet gjør det dermed vanskeligere å dimensjonere et kuldeanlegg for en batch-prosess enn for en kontinuerlig prosess.

Mange av de industrielle kuldeanleggene har hovedsaklig skruekompressorer. En av årsakene til det, er at skruekompressorene kan operere under relativt store trykkforhold mellom kondensator og fordamperside. Ved å la kompressoren arbeide over store trykkforhold, vil man kunne ha et 1-trinnsanlegg. Sett i forhold til anlegg med 2-trinnskompresjon og mellomtrykksbeholdere, vil et 1-trinnsanlegg være enklere å drive. Ulempen ved bruk av store skruekompressorer er at ved høye trykkforhold vil kompressorene operere med en lav isentropisk virkningsgrad. Dersom anlegget skal dekke kuldebehovet i en batch-prosess, vil man i tillegg få lange perioder der kompressoren jobber på dellast. De fleste skruekompressorer er sleideregulert, og kuldeytelsen kan som oftest reguleres fra 100% til 10% av full ytelse. I følge leverandørdata vil det relative effektforbruket derimot ligge på rundt 60% ved en kuldeytelse på 10% av full ytelse. Dermed blir energiforbruket relativt høyt, og man oppnår totalt sett en dårlig virkningsgrad for kompressorene. Ved prosjektering og drift av industrielle kuldeanlegg er det derfor viktig å ta hensyn til ofte forekommende driftssituasjoner med redusert kuldebehov. Det vil være gunstig å sørge for at en kan tilpasse anlegget slik at kompressorer kan belastes maksimalt også i slike situasjoner. Det kan for eksempel gjøres ved å ha flere mindre kompressorer i anlegget, i stedet for noen få store. Frekvensregulering av kompressorer er også en reguleringsmåte som kan gi en mer energieffektiv drift.

I tillegg til å sørge for god virkningsgrad for kompressorer, kan redusert energiforbruk oppnås ved å redusere kuldebehovet. For en batch-operert frysetunnel, er det viktig å holde tilført vifteeffekt på et lavt nivå. Dersom viftene ikke reguleres mot slutten av innfrysingsperioden, vil effekten fra disse utgjøre den største andelen av kuldebehovet i denne perioden.

Det er også viktig å unngå unødvendig driftstid. Dersom luften feilfordeles i tunnelen kan det medføre ulike frysetider avhengig av posisjon i tunnelen. Da varene med lengst frysetid vil styre tunnelens innfrysingsperiode, vil man få en unødvendig lang driftstid. Et godt utformet avrimings-system, og hensiktsmessig drift av det, er viktig for å redusere kuldebehovet både ved tunnel- og platefrysere. Ved varmgassavriming er en virkningsgrad på rundt 70% funnet brukt i litteraturen. Varmetilskuddet fra varmgassen vil dermed kunne bli av betydning størrelse dersom avrimingsperiodene er lange og hyppige. En teoretisk beregning av energibehovet ved frysing av pelagisk fisk ved et ideelt kuldeanlegg, viser et spesifikt energiforbruk på 0,066 - 0,071 kWh per kg frosset fisk

ved bruk av tunnelfryser. Energiforbruket er avhengig av om anlegget utformes med ett eller to trinn.

En mulig måte å effektivisere energiforbruket ved industrielle kuldeanlegg, er å utnytte spillvarme fra anlegget. Varmekildene som er best egnet til varmegjenvinning, er kondensatorvarme og varme fra nedkjøling av olje som brukes i skruekompressorene. En viktig forutsetning for en god utnyttelse av spillvarme, er at nødvendige forhold rundt spillvarmetilgjengelighet og varmebehov er kjent. For eksempel vil det være viktig å ha kjennskap til hvilke temperaturkrav som stilles ved de ulike varmebehovene, og hvilke temperaturnivå man har ved energikildene. Det er også viktig å vite hvordan energikildene og energibehovene varierer i størrelse avhengig av driftsforhold. Derfor vil det også være nødvendig å ha kjennskap til driftsmønsteret for anlegget gjennom året. En må også kartlegge samtidigheten av spillvarme tilgjengelig og energibehovet. I arbeidet med energieffektivisering av anlegget berørt i prosjektet, vil en kartlegging av de nevnte faktorer være en viktig del. På grunn av den nye tunnelen som er bygget vil trolig driftsmønsteret endres når denne blir tatt i bruk. Beregninger av lønnsomhet ved investeringer bør derfor legge den nye driftssituasjonen til grunn. Driften av anlegget vil også påvirkes av den framtidige utviklingen innen pelagisk fiske. En utvikling som synes å gå i retning av kortere sesonger og større kvantum per leveranse til innfrysingsanlegg. Det vil kreve en stor kapasitet ved innfrysingsanleggene, og medføre lengre perioder uten drift. En slik utvikling setter større krav til lønnsomhet ved investering i varmegjenvinningsutstyr dersom en akseptabel tilbakebetalingstid skal oppnås.

#### **4.7 Dokumentere prototyp samt behov for forbedringer og videre utvikling.**

Mål: Dokumentere prosess og utstyr samt behov for forbedringer og videre utvikling.

Målsetningen for prosjektet er å bygge en prototyp eller førstegenerasjons anlegg for kontinuerlig frysing av pelagisk fisk. Hovedansvaret for utformingen av dette vil ligge på leverandører og bedriften som bygger anlegget. En sentral rolle for forskningsmiljøet er å være premissleverandør og sentral utreder for bedriften basert på gjennomførte utredninger, beregninger og målinger.

Videre er en oppfølging med målinger og dokumentasjon av anlegget gjennom oppstart og driftsperiode en sentral oppgave. En må forvente behov for justeringer og endringer i en periode, og en oppfølging av bedriftens totale erfaringer med anlegget er ønskelig for videreutvikling av næringen.

##### **4.7.1 Energibehov for referanseanlegget og alternativ med CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>-kaskade ved Global Fish**

###### **4.7.1.1 Generelt**

Dette kapitlet omfatter en konkret sammenligning av beregnet energiforbruk for referanseanlegget og kaskadeanlegget, basert på faktisk utstyr og rutiner så langt dette har vært kjent.

###### **4.7.1.2 Spesifikasjoner og rutiner for frysetunnel**

Tunnelen skal ha kontinuerlig inn- og utmating av fisk og dimensjoneres i utgangspunktet for den konvensjonelle løsningen. Fisken lastes inn som 20 kilos plastemballerte pakker plassert i rammer, med to pakker i hver ramme. Rammemålene er  $B \times L \times H = 1.26 \times 0.445 \times 0.1115 \text{ m}^3$ .

Tunnelen har plass til 21 rammer i høyden, tre rammer i bredden og 48 rammer i lengden /4/. Totalt antall rammer blir 3024. Kuldeteknisk fordeles dette på fire fordampersesksjoner, som derved betjener 756 rammer hver. Fordamperen består av fire seksjoner langs etter tunnelen, hver med egen kuldekrets og viftekreter.

Innlasting etter stillstand foregår ved at rammene i seksjon 1 fylles opp først, deretter seksjon 2, 3 og 4. Dette gir en suksessivt økende belastning på kuldeanlegget inntil hele tunnelen er fylt opp. Ved full tunnel foregår inn- og utlasting parallelt, slik at belastningen holder seg konstant.

Ved avslutning av fryseperiode skjer det motsatte som ved oppstart. Når etterfylling opphører, tømmes seksjon 1 etter hvert for fisk, så tømmes seksjon 2 osv. inntil hele tunnelen er tom.

Frysetiden i referansealternativet med ammoniakk, er 12 timer og frysekapasiteten (og fyll- og tømme kapasiteten) er 10 tonn/h. Dette gir 14.4 sek per ramme, ca. 3 timer per seksjon og ca. 12 timer for oppfylling/tømming av hele tunnelen.

I henhold til mottatte opplysninger /3/ kan det regnes med ca. 200 frysedøgn i året. Når det er råstoff tilgjengelig, fryses det døgkontinuerlig. Antall opp- og nedkjøringer av tunnelen bestemmes av kontinuiteten i tilgangen på råstoff. Her regnes det skjønnsmessig med 16 start/stopp i løpet av et år. På en slik bakgrunnen, vil en "typisk" fryseperiode i referansealternativet bestå av:

- 12 timer oppfylling av tunnel (kontinuerlig stigende belastning)
- 12 x 24 timer frysing med full kapasitet (konstant belastning)
- 12 timer tømming (kontinuerlig avtakende belastning)

16 slike perioder per år gir en årsproduksjon på 48000 tonn.

Ved lavtemperatur kaskadeanlegg med 20 % raskere innfrysing, vil frysetiden reduseres til ca. 10 timer og kapasiteten blir ca. 12 tonn/h. Produksjonen ved et innfrysingsprogram som beskrevet, vil øke til nær 58000 tonn/år.

#### Spesifikasjoner for kuldeanleggene

Referanseanleggets kapasitet slik den er oppgitt nedenfor (940 kW), avviker litt fra den kapasiteten som er lagt til grunn ved foregående analyser (984 kW). Avviket skyldes en mindre justering av kuldebehovet underveis.

Følgende forutsetninger gjelder for referanseanlegget:

Dimensjonerende kuldebehov /4/:	940 kW
Installert kompressorkapasitet (antatt +12 %):	1053 kW
Sugetrykk:	-43°C
Leveringstrykk:	20°C

For kaskadeanlegget gjelder:

Dimensjonerende kuldebehov (antatt +20 %):	1128 kW
Installert kompressorkapasitet (antatt +12 %):	1263 kW
Sugetrykk:	-53°C
Mellomtrykk (CO <sub>2</sub> /NH <sub>3</sub> ):	-15/-19°C
Leveringstrykk:	20°C

Belastningsfordelingen under stasjonær drift av referanseanlegget

Seksjon 1:	285 kW
Seksjon 2:	248 kW
Seksjon 3:	222 kW
Seksjon 4:	185 kW

Antatt 20 % større kapasitet for kaskadeanlegget forutsettes å gjelde også for hver av seksjonene.

#### 4.7.1.3 Anleggsbelastningen i fyll- og tømmeperiodene

Belastningen i forbindelse med fylling og tømning av referanseanlegget beregnes på grunnlag av 3 timer fyll-/tømmetid per seksjon. Det regnes (litt forenklet) at gjennomsnittsbeklastningen i fyll-/tømmeperioden er lik halvparten av stasjonær belastning i seksjonen. Belastningen ved fylling og tømning av referansetunnelen blir da (tilnærmet) som vist i Tabell 6.1.

Ved å interpolere lineært mellom disse punktene, dannes et kontinuerlig bilde av belastningen på anlegget ved oppstart og nedkjøring, Fig. 86 og Fig. 87

Kaskadeanlegget vil levere samme mengde kulde i opp- og nedkjøringsperiodene, men medgått tid vil på grunn av den større ytelsen være ca. 2 timer kortere.

Tabell 11. Belastning på seksjonene ved fylling/tømning av referansetunnel, midlet over 3 h

Seksjon nr.	Belastningsutvikling ved fylling				Belastningsutvikling ved tømning			
	0 - 3 h	3 - 6 h	6 - 9 h	9 - 12 h	0 - 3 h	3 - 6 h	6 - 9 h	9 - 12 h
1	143	285	285	285	143	0	0	0
2	0	124	248	248	248	124	0	0
3	0	0	111	222	222	222	111	0
4	0	0	0	93	185	185	185	93
<b>Sum</b>	<b>143</b>	<b>409</b>	<b>644</b>	<b>848</b>	<b>798</b>	<b>531</b>	<b>296</b>	<b>93</b>

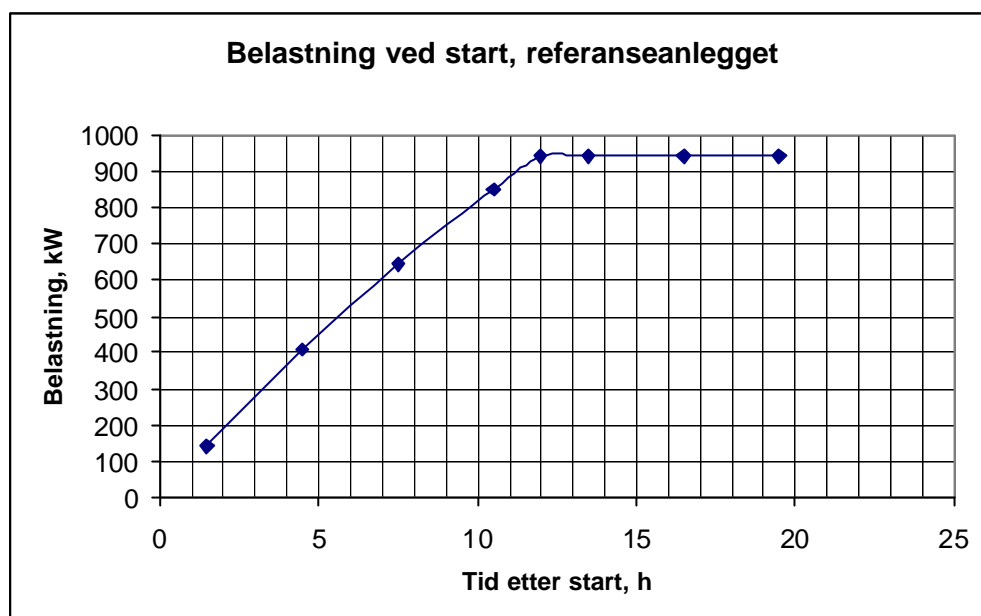


Fig. 86 Belastningsutviklingen ved oppstart

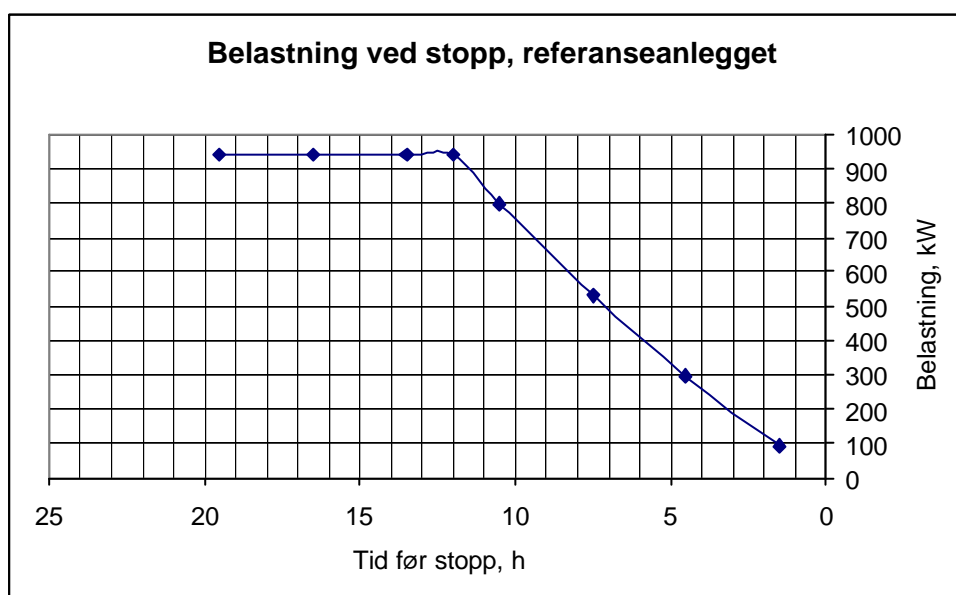


Fig. 87 Belastningsutviklingen ved stopp

#### 4.7.1.4 Energiforbruket

##### 4.7.1.4.1 Kontinuerlig drift med full tunnel

I det etterfølgende regnes det med følgende verdier ved drift på fullast:

Konvensjonelt ammoniakkanlegg (-43/20°C):	0.59 kWh/kWh
Kaskadeanlegg CO <sub>2</sub> /NH <sub>3</sub> (-53/-15/20°C):	0.66 kWh/kWh

I tillegg til tidligere forutsetninger, er det i disse tallene tatt med en generell økning i energiforbruk på 5 % ved praktisk drift i forhold til teoretisk beregnet. Dessuten er det korrigert for et

energitap på 3 % på grunn av at kompressorparken er 12 % overdimensjonert i forhold til teoretisk beregnet behov.

Med henholdsvis 940 kW og 1128 kW som dimensjonerende kontinuerlig kuldebehov, kan energiforbruket med drift ved full ytelse i en periode (henholdsvis 12 døgn for referansealternativet og 12 døgn og 4 timer for kaskadealternativet) beregnes til:

Referanseanlegget: 159725 kWh/periode

Kaskadeanlegget: 217388 kWh/periode

#### 4.7.1.4.2 Drift ved fylling og tømning av tunnel

Ved fylling og tømning vil kompressorkapasiteten variere mellom 0 % og 100 %. Kompresso-  
renes energieffektivitet ved dellast i forhold til fullast fremgår av Fig. 88. Kurvene gjelder for  
industriekompressorer av fabrikat Grasso.

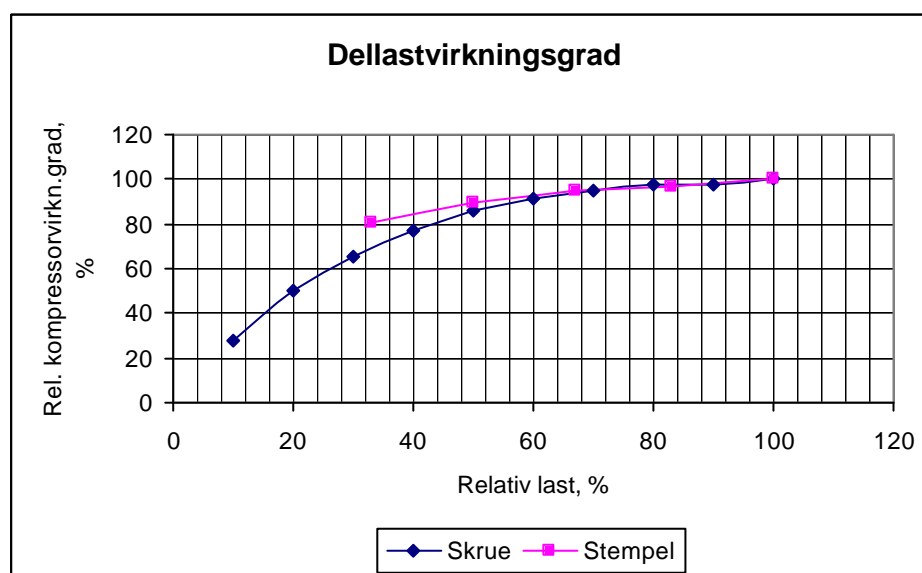


Fig. 88 Relativ kompressorvirkningsgrad ved dellast

På bakgrunn av angitte data for spesifikt energibehov ved fullast (ovenfor), reduksjon i kompres-  
sorvirkningsgrad ved dellast (Fig. 88) og kuldebehov ved dellast (Fig. 86 og 87), fremkommer  
energidata ved fylling og tømning av referanseanlegget, Tabell 12 og 13, hvor de to tabellene  
gjelder for henholdsvis oppstartning av tunnel (Tabell 11) og nedkjøring av tunnel (Tabell 12). Det  
er benyttet dellastdata for skruekompressor ved beregningene.

Tabell 12. Kompressorenes energiforbruk under fylling, referanseanlegget

Tid, h	Kuldebehov kWh	Dellast %	Dellastvirkn.grad, %	Spes elbehov ved fullast, kWh/kWh	Faktisk spes. elbehov, kWh/kWh	Faktisk elbehov, kWh
1	50	4,8	28	0,59	2,107	105
2	143	13,6	59	0,59	1,000	143
3	234	22,3	80	0,59	0,738	173
4	324	30,9	91	0,59	0,648	210
5	409	39,0	97	0,59	0,608	249

6	490	46,7	98	0,59	0,602	295
7	567	54,0	95	0,59	0,621	352
8	644	61,3	92	0,59	0,641	413
9	714	68,0	92	0,59	0,641	458
10	778	74,1	95	0,59	0,621	483
11	848	80,8	97	0,59	0,608	516
12	912	86,9	98	0,59	0,602	549
Sum, kWh	6113					3946

*Tabell 13 Kompressorenes energiforbruk under tømning, referanseanlegget*

Tid, h	Kuldebehov kWh	Dellast %	Dellast-virkn.grad, %	Spes. elbehov, ved fullast, kWh/kWh	Faktisk spes. elbehov, kWh/kWh	Faktisk elbehov, kWh
1	904	86,1	98	0,59	0,602	544
2	798	76,0	95	0,59	0,621	496
3	707	67,3	93	0,59	0,634	449
4	618	58,9	92	0,59	0,641	396
5	531	50,6	100	0,59	0,590	313
6	444	42,3	97	0,59	0,608	270
7	371	35,3	96	0,59	0,615	228
8	296	28,2	88	0,59	0,670	198
9	224	21,3	79	0,59	0,747	167
10	162	15,4	64	0,59	0,922	149
11	93	8,9	46	0,59	1,283	119
12	30	2,9	28	0,59	2,107	63
Sum, kWh	5178					3394

Det er regnet med to kompressorer i parallell og at den ene kompressoren trinnes opp i 100 % før kompressor nr. 2 starter. Ved mindre behov enn det som kan dekkes med en kompressor ved laveste kapasitet, antas samme dellastvirkningsgrad som ved drift med minimumskapasitet.

Kaskadeanlegget vil levere samme mengde kuldeenergi som referanseanlegget ved fylling og tømning av tunnelen (etter som mengde fisk i tunnelen er den samme), altså ca. 6113 kWh ved fylling og 5128 kWh ved tømning.

For enkelhets skyld regnes det med samme relative energieffektivitet ved dellast for begge anleggsalternativene, og elforbruket i kaskaden skaleres opp tilsvarende økningen i spesifikt elbehov ved fullast (0.64 mot 0.59 kWh/kWh). Dette gir elbehov i kaskadealternativet på 4280 kWh og 3682 kWh ved henholdsvis fylling og tømning.

#### **4.7.1.4.3 Totalt energiforbruk**

Kompressorenes totale elforbruk for de to alternativene fremgår av Tabell 14.

Tabell 14. Energiforbruk til kompressorene ved konvensjonelt ammoniakkanlegg og lavtemperatur kaskadeanlegg

	Anleggstype	
	Konvensjonelt anlegg	Kaskadeanlegg
Produksjon, tonn/år	48000	57984
Energiforbruk for en periode, kWh		
- fylling, kWh	3946	4280
- stasjonær drift, kWh	159725	217388
- tømning, kWh	3394	3682
- totalt for perioden, kWh	167065	225350
Totalt for ett år (16 perioder), kWh	2673040	3605600
Spes. energiforbruk, kWh/tonn	55.67	62.18

## 5 Tilleggsprosjekt NFR

### 5.1 Prototyp uttesting

I den opprinnelige søknaden var det planlagt å få bygget en prototyp linje for innfrysing av pelagisk fisk. Det var ikke beskrevet i detalj hvor stor denne prototypen skulle være. I løpet av prosjektperioden har prosjektdeltagerne blitt enige om at kapasitet burde være opptil 10 tonn i timene for å få et realistisk bilde av system, funksjoner, fryseforhold og drift.

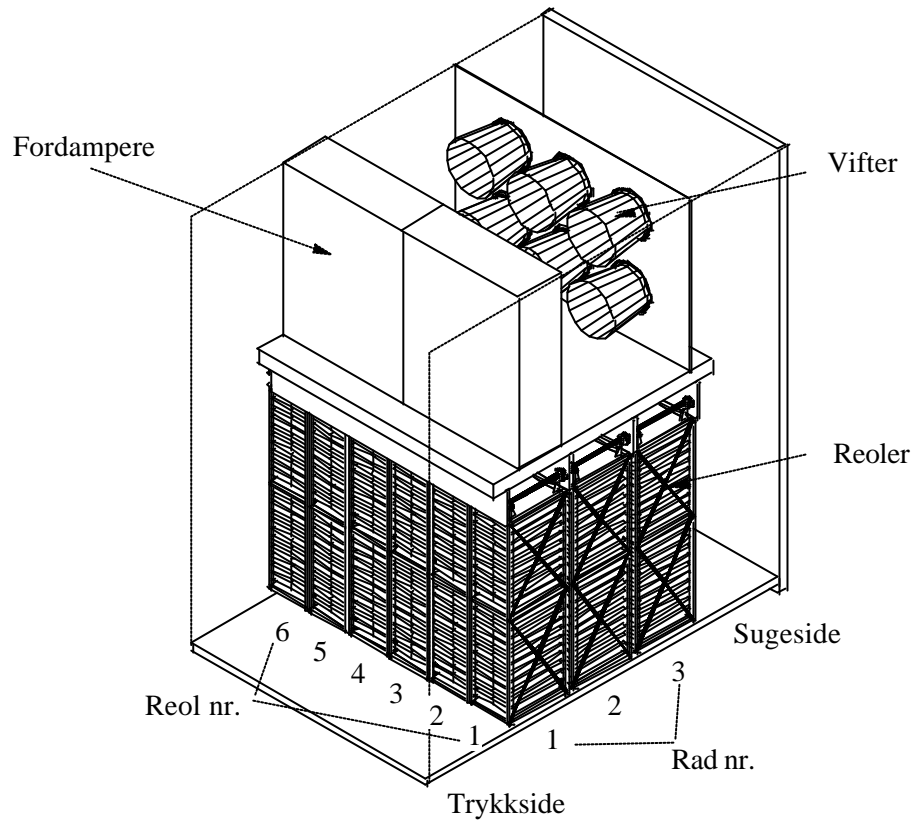
For å kunne ha oversikt over hvorledes innfrysingen skjer og ikke minst styre hvorledes viftene skal brukes blir det nødvendig med mange målepunkter for temperatur og lufthastighet. Planlegging og installasjon av måleutstyr med mulighet for endringer ut fra forsøkene vil måtte gjøres for å få full utnyttelse av prototypen. Dette vil også medføre store datamengder som krever betydelig kapasitet for oppsamling og lagring. Videre vil en kraftig datamaskin bli benyttet til styring og overvåking av prosessen.

Prototypen har en planlagt kapasitet på 10 tonn/time. For å gjennomføre innfrysingsforsøk med gjennomtenkt og rigid temperaturovervåking, vil man ha bruke for mange temperatur sensorer, men også et betydelig antall arbeidstimer. Årsaken er selve måleoppsettet som vil kreve mye manuelt arbeide i form plassering av termoelementer og ikke minst en gjennomgang og utprøving av hvordan flyten i linjen vil være.

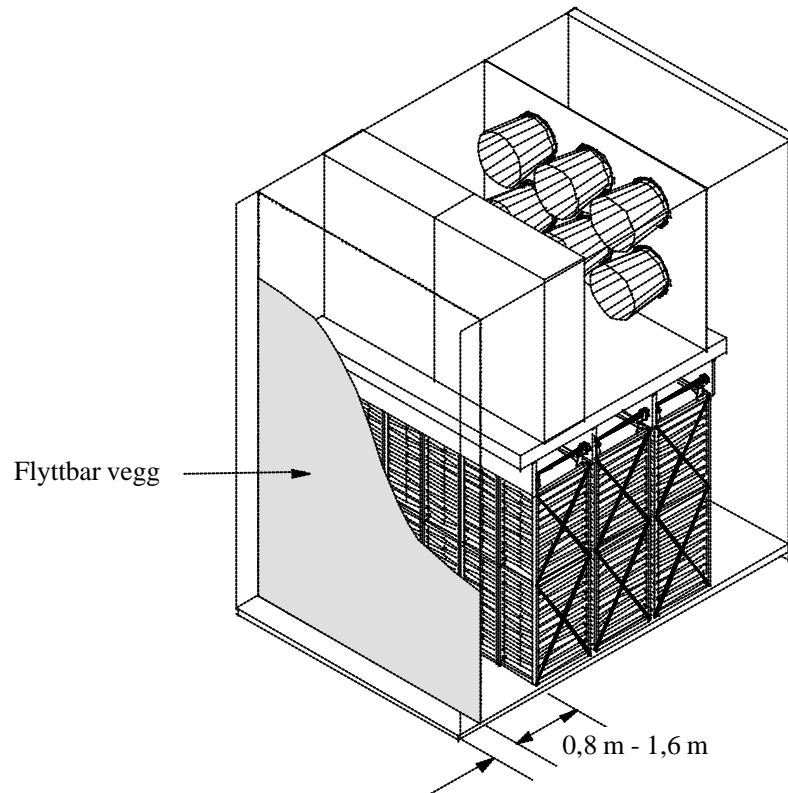


**5.1.1 Oversikt over prøveseksjonen**

**5.1.1.1 Arrangement**

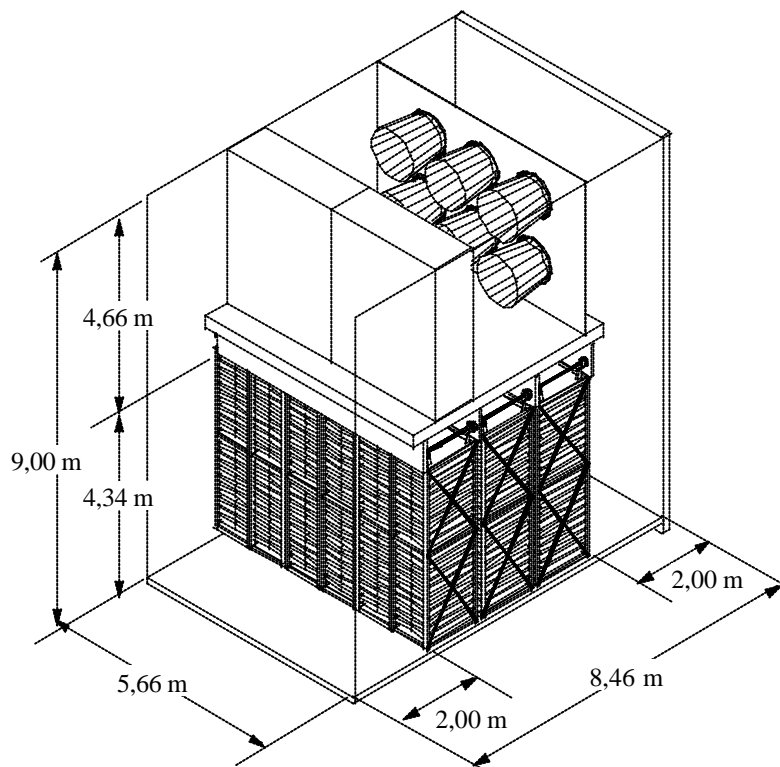


*Figur 88 Oversikt over prøveseksjonen og betegnelser.*

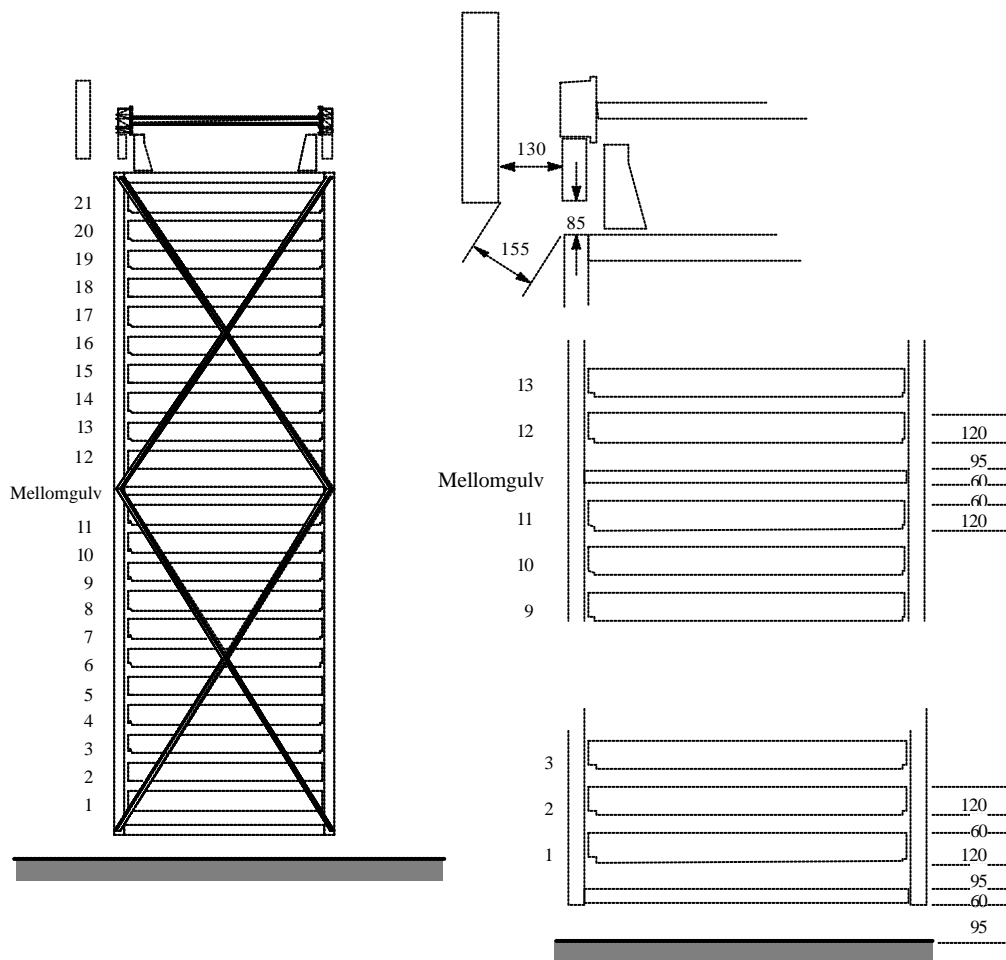


*Figur 89 Flyttbar vegg på trykksiden.*

**5.1.1.2 Dimensjoner**



*Figur 90 Hoveddimensjoner på prøveseksjonen.*



*Figur 91 Mellomrom i reoler.*

### 5.1.2 Normalisering av forsøksresultatene

Ut fra strømningsmeknisk teori, kan vi stille opp noen forventede sammenhenger mellom viftetur-tall, lufttemperatur, lufthastigheter, trykkfall og vifteeffekter. Disse sammenhengene er angitt i det følgende.

#### 5.1.2.1 Lufthastigheter

For en gitt konfigurasjon i frysetunnelen vil lufthastighetene være proporsjonale med viftetur-tallet, dvs. med frekvensen på strømmen til viftene. D.v.s. :

$$\frac{u}{u_0} = \frac{n}{n_0} \quad (1)$$

hvor :

- $u$  = lufthastighet ved motorfrekvens  $n$  [m/s]
- $u_0$  = lufthastighet ved motorfrekvens  $n_0$  [m/s]
- $n$  = motorfrekvens [Hz]
- $n_0$  = standard motorfrekvens = 50 Hz

#### 5.1.2.2 Trykkfall

Trykkfallet over de forskjellige delene i tunnelen vil være proporsjonal med det dynamiske trykket:

$$\Delta p \approx \frac{1}{2} \mathbf{r} u^2 \quad (2)$$

hvor :

- $\Delta p$  = Trykkfall [Pa]
- $u$  = lufthastighet [m/s]
- $\mathbf{r}$  = luftens tetthet [ $\text{kg/m}^3$ ]

For å kunne sammenlikne trykkfallsmålingene for de ulike driftstilstandene, normaliserer vi trykkfallene, dvs. vi korrigerer for lufthastighet (motorfrekvens) og tetthet (temperatur). Når vi normaliserer et trykk dividerer vi måleverdien med faktoren:

$$k = \frac{\mathbf{r}}{\mathbf{r}_0} \left( \frac{n}{n_0} \right)^2 \quad (3)$$

#### 5.1.2.3 Vifteeffekt

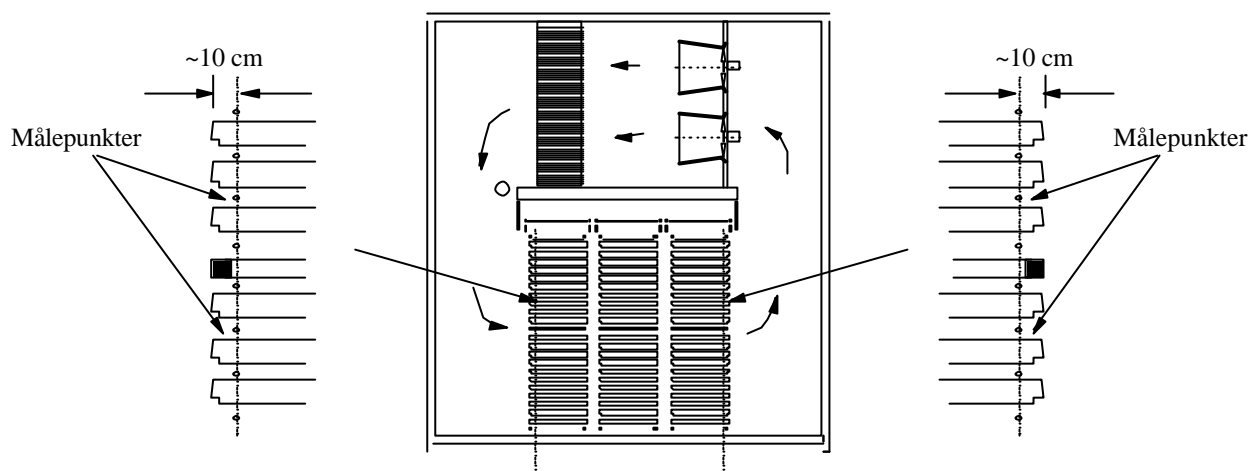
Vifteeffekten er proporsjonal med det dynamiske trykket ganger lufthastigheten, dvs.:

$$P \approx \frac{1}{2} r u^3 \quad (4)$$

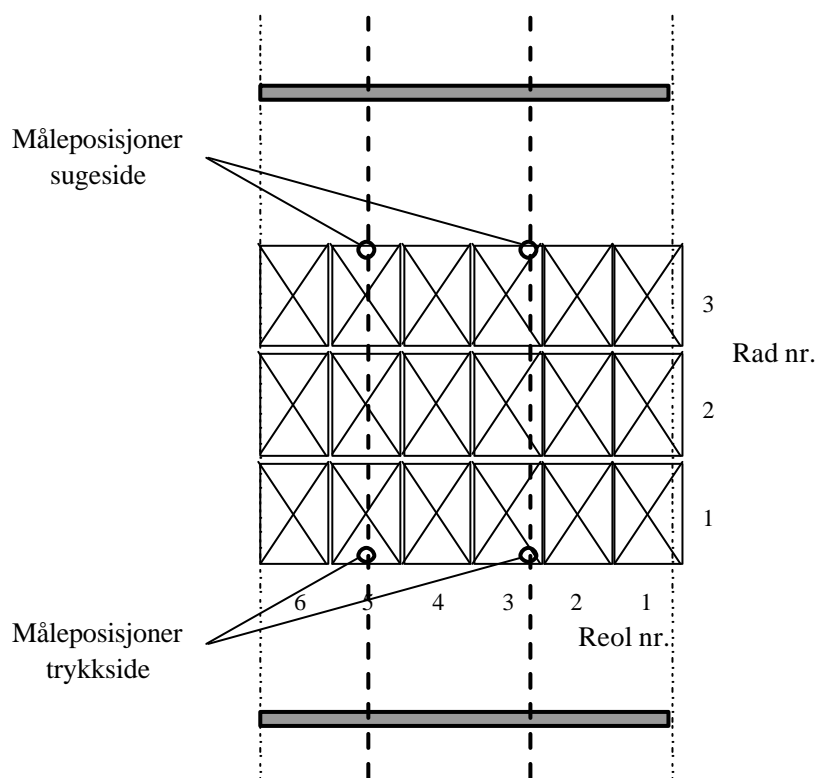
### 5.1.3 Lufthastighetsfordeling inn på stativene

#### 5.1.3.1 Måleposisjoner

Lufthastighetene mellom bakkene ble målt manuelt med hetetrådsanemometer i mellomrommet mellom bakkene, ca 10 cm inn fra enden av bakkene. Se 92 og *Figur 93*.



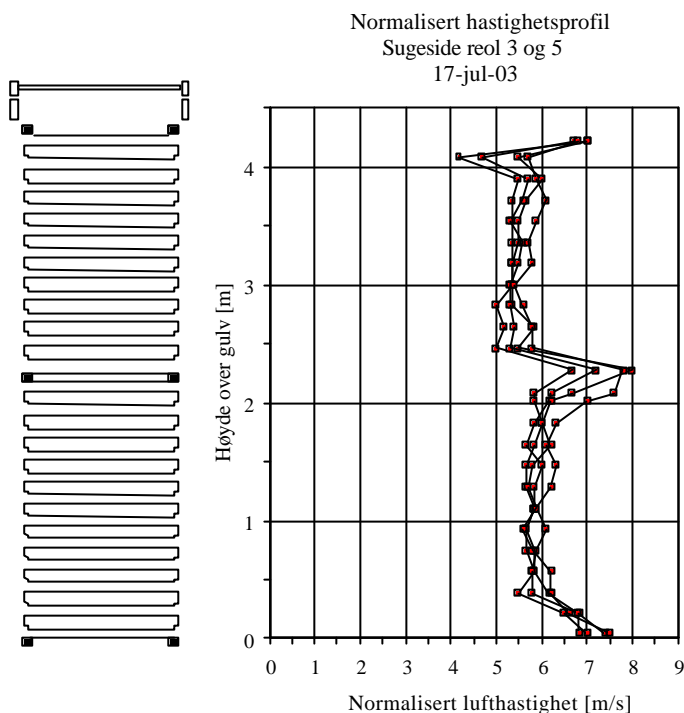
*Figur 92 Tunnelverrsnitt i måleseksjonen. Målepunktene ca 10 cm inne mellom bakkene.*



*Figur 93 Posisjoner for målepunktene som er vist på Figur 92.*

### 5.1.3.2 Måleresultater, sugesiden

Måleresultatene er vist på **Figur 94**. Resultatene er normalisert til 50 Hz, dvs. målingene ved 30 Hz motorfrekvens er regnet om til 50 Hz etter formel (1).



*Figur 94 Normaliserte hastighetsprofiler på sugesiden av reolene.*

Det øverste målepunktet på figur 94 viser hastigheten ut fra spalten over reolen. Det nederste målepunktet er hastigheten under reolen.

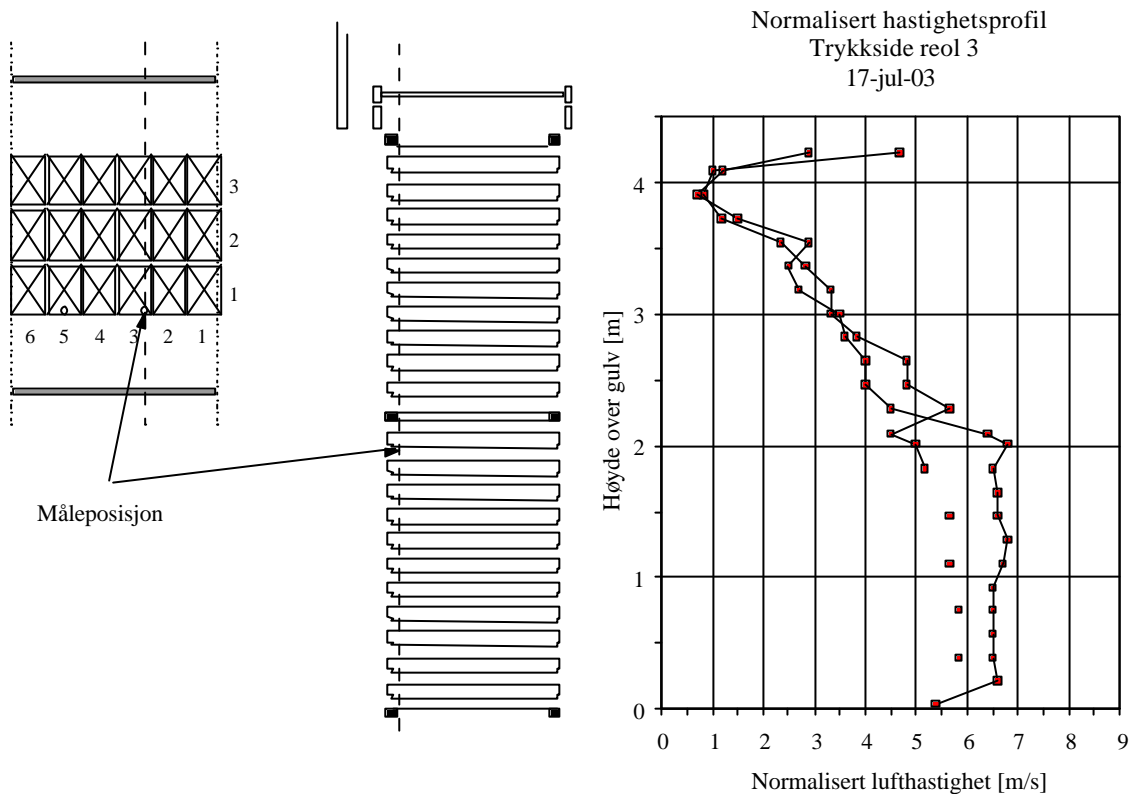
Hastighetsfordelingen ut fra reolene er meget jevn. I den øverste halvdel er hastigheten litt lavere enn i den nedre delen.

#### **Lekkasjeluftmengde**

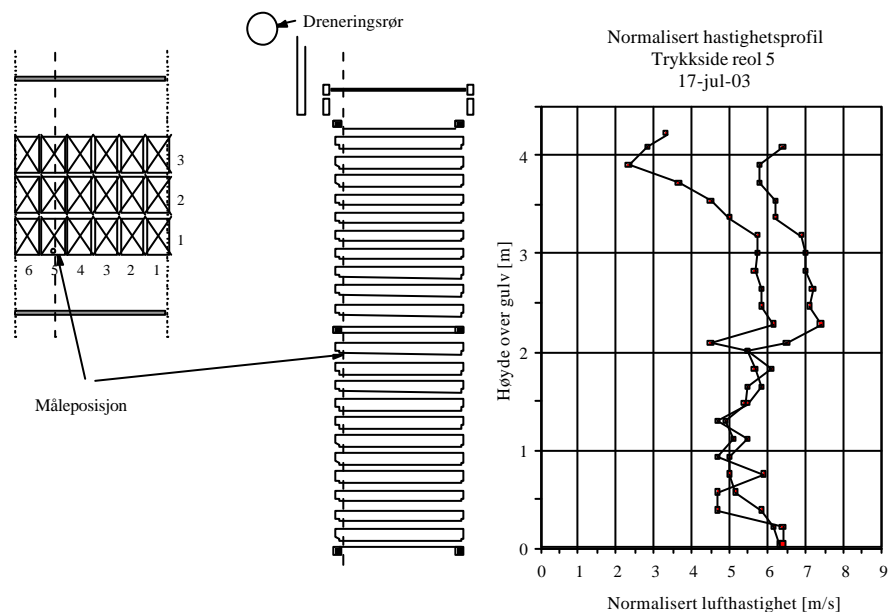
Hastighetene gjennom spaltene over og under reolene og over mellomgulvet i reolene er merkbart større enn hastighetene mellom bakkene. På grunnlag av hastigheten og lysåpningen vil vi anslå at 11% av luftmengde strømmer gjennom den øvre åpningen, og 7% strømmer gjennom åpningen under bakkene. Dvs. at til sammen **ca 18%** av luften lekker gjennom åpninger over og under reolene.

### 5.1.3.3 Måleresultater, trykksiden

Måleresultatene er vist på **Figur 95** og **Figur 96**. Resultatene er normalisert til 50 Hz.



*Figur 95 Normaliserte hastighetsprofiler på trykksiden av reol 3.*



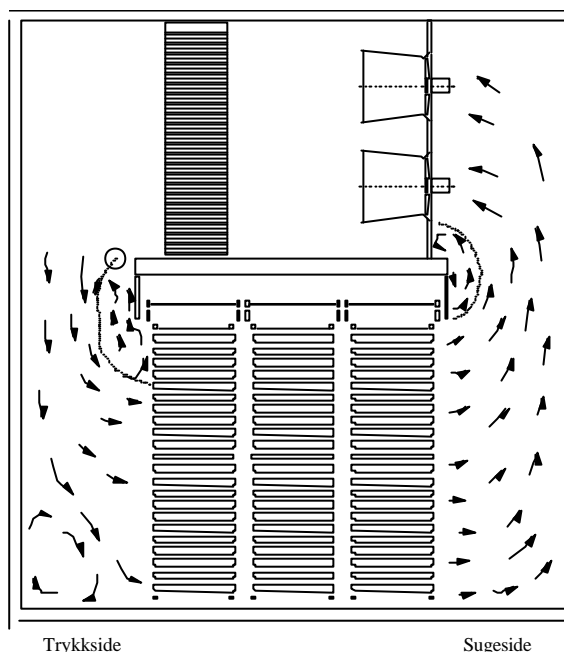
*Figur 96 Normaliserte hastighetsprofiler på trykksiden av reol 5.*

Vi ser at hastighetsprofilene ved reol 3 og ved reol 5 er meget forskjellige i øvre halvdel av reolene. Dette kan ha sammenheng med at røret for drenering av avtiningsvannet går over reol 4, 5 og 6 (se *Figur 96*).

### 5.1.3.4 Luftstrømningsmønster i tunnelen rundt stativene

#### 5.1.3.4.1 Trykkside 1,6 meter bred

Luftstrømningsmønsteret ble registrert med røyk den 17. juli 2003. Motorfrekvensen var 30 Hz. (Ved 50 Hz var lufthastighetene så store at vi ikke klarte å få fyr på røykpatronene.)

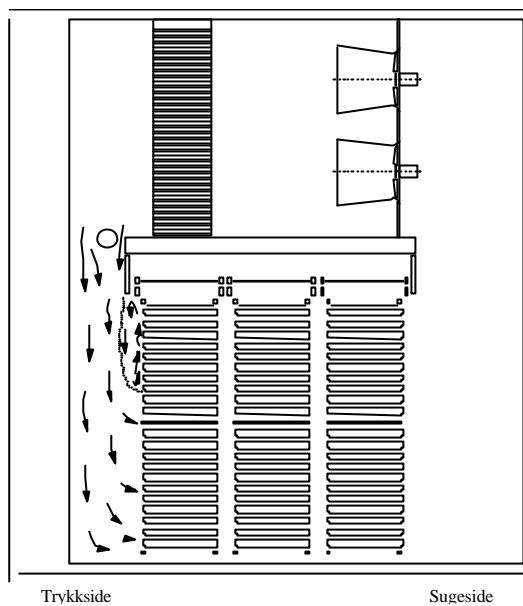


*Figur 97 Strømningsmønster observert 17. juli 2003 ved reol 5. 30 Hz motorfrekvens.*

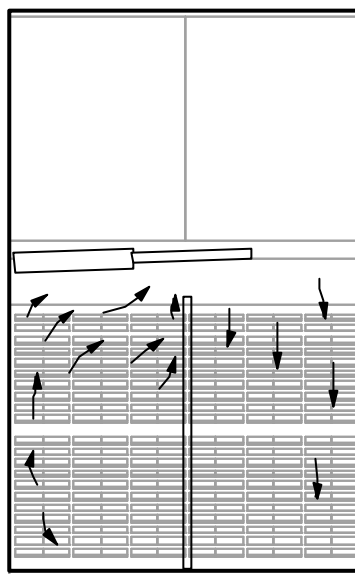
Ved reol 3 var det en resirkulasjonssone foran øverste del av reolen, som vist på *Figur 97*. Vi registrerte ikke en slik resirkulasjonssone ved reol 5.

Det var langsgående strømningsbåde på trykksiden og på sugesiden. Vi klarte ikke å finne noe stabilt mønster i de langsgående strømmene. Generelt var det mye turbulens i strømmingene både på trykksiden og sugesiden.

### 5.1.3.5 Trykkside 0,8 meter bred



Figur 98 Strømningsmønster observert 25. juli 2003 ved reol 4. 30 Hz motorfrekvens.

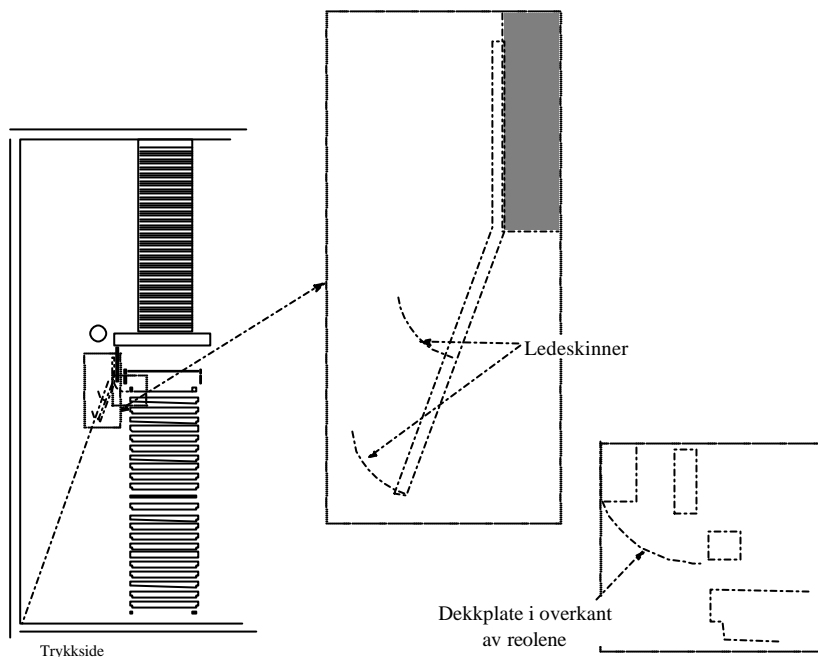


Figur 99 Langsgående strømnings observert inntil reolene på trykksiden 25. juli kl. 17.30. 30 Hz.

### 5.1.4 Strømrettere

For å bedre innstrømningsforholdene på reolene foreslår vi at det installereres strømrettere som vist på **Figur 100**.

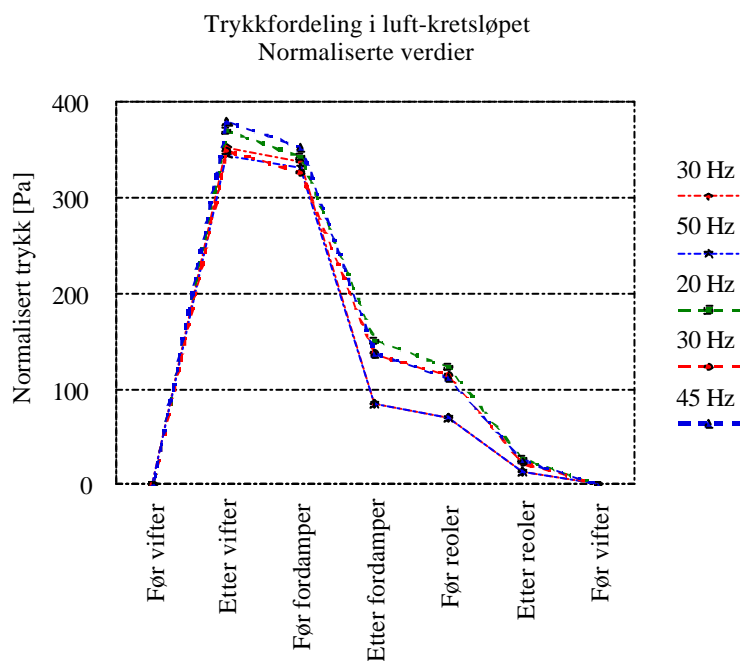




Figur 100 Strømrettere og dekkplate i overkant av reolene på trykksiden.

### 5.1.5 Fordeling av totaltrykk i tunnelen

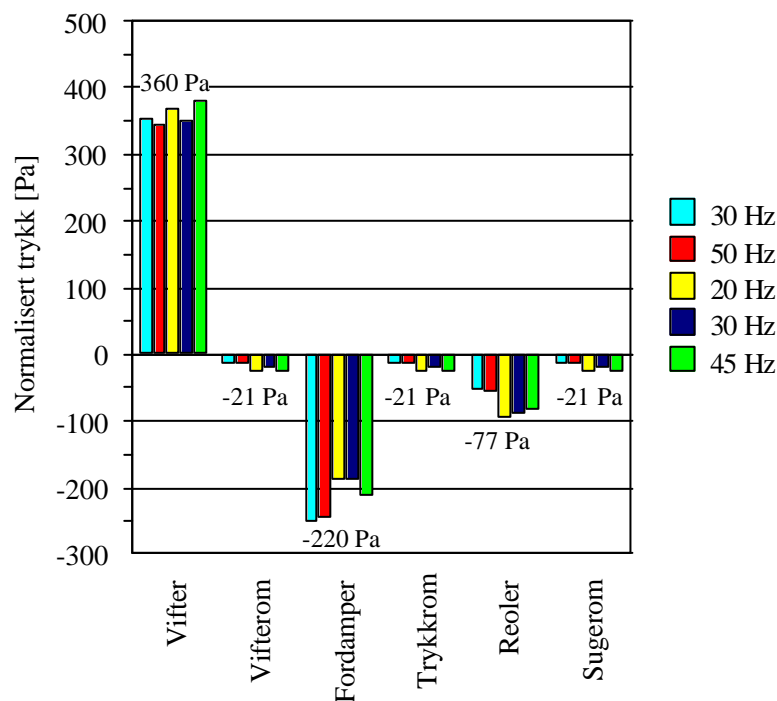
Vi målte trykkfallet over fordampere og reolene, og trykkstigningen over viftene. Figur 101 viser resultatet av målingene. Verdiene er normalisert i hht. formel (3)



Figur 101 Trykkfordeling, normaliserte verdier.

Tabell 15 Trykkfall i systemet.

Trykkfall over de enkelte komponentene										
	Målte verdier					Normaliserte verdier				
	Vegg 160 cm fra reol		Vegg 80 cm fra reol			Vegg 160 cm fra reol		Vegg 80 cm fra reol		
Dato	18-jul-03		25-jul-03			18-jul-03		25-jul-03		
Kl. start			14:45	15:18	15:52					
Kl. slutt			15:15	15:40	16:30					
Hastighet [Hz]	30					30 Hz	50 Hz	20 Hz	30 Hz	45 Hz
Hastighet %	60%	100%	40%	60%	90%					
Trykk %	36%	100%	16%	36%	81%	36%	100%			
	[Pa]	[Pa]								
Vifter	125	340	58	123	300	353	346	370	350	380
Vifterom	-5	-14	-4	-8	-21	-14	-14	-28	-23	-26
Fordamper	-90	-243	-30	-67	-170	-254	-247	-191	-190	-215
Trykkrom	-5	-14	-4	-8	-21	-14	-14	-28	-23	-26
Reoler	-20	-56	-15	-32	-68	-56	-57	-96	-91	-86
Sugerom	-5	-14	-4	-8	-21	-14	-14	-28	-23	-26
Temp. [°C]	26,0	26,0	27,3	28,0	28,5					
Tetthet [kg/m <sup>3</sup> ]	1,18	1,18	1,18	1,17	1,17					

 Trykkfordeling i luft-kretsløpet  
 Normaliserte verdier


Figur 102 Trykkfall over de forskjellige delene i systemet. Normalisert til 50Hz motorfrekvens. Middelerdiene for komponentene er angitt i diagrammet.

## 5.1.6 Luftmengde

### 5.1.6.1 Traversering av vifteutløpet med hetetrådsanemometer

Pga. turbulens og ujevn hastighetsprofil, ble denne målingen meget usikker. Det ble en bakevje bak navet.

På grunnlag av denne hastighetsfordelingen er luftmengden ut fra én vifte er beregnet til 8,7 m<sup>3</sup>/s (ved 30 Hz). Omregnet til 50Hz gir dette luftmengden 14,5 m<sup>3</sup>/s.

### 5.1.6.2 Traversering med pitotrør

Traversering med pitotrør gav ca 7,0 m<sup>3</sup>/s ved 30 Hz som tilsvarer 11,7 m<sup>3</sup>/s ved 50 Hz. Denne målingen må også regnes for å være meget unøyaktig.

### 5.1.6.3 Luftmengde ut fra innløpshastighet over fordamperen

Vi tok to målinger med hetetrådsanemometer av lufthastigheten inn på fordamperen. Hastighetene var hhv. 2,3 og 2,5 m/s. Regner vi 2,4 m/s som middelhastighet over fordamperens frontareal får vi 5,4 m<sup>3</sup>/s pr. vifte. Omregnet fra 30 Hz til 50 Hz gir dette 9,0 m<sup>3</sup>/s pr. vifte.

### 5.1.6.4 Luftmengde ut fra viftediagram og totaltrykkøkningen over viftene

Vi regner målingen av totaltrykkøkningen over viftene som mye sikrere enn hastighetsmålingene i det foregående. Basert på totaltrykkøkningen og viftediagrammet får vi luftmengden pr. vifte til 8,3 m<sup>3</sup>/s pr. vifte. Denne verdien er heller ikke nøyaktig, da diagrammet ikke tar hensyn til effekten av diffusoren.

### 5.1.6.5 Konklusjon – luftmengde

Luftmengden som vi leser av fra viftediagrammet er nær den samme som vi fikk ut fra middelhastigheten inn på fordamperen. Vi regner denne som den mest pålitelige verdien, og konkluderer som følger:

*Tabell 16 Luftmengder.*

	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /h
Pr vifte	8,3	30 000
Pre seksjon	50,0	180 000

Dette tilsvarer 8,7 m<sup>3</sup>/s pr. løpemeter tunnallengde.

## 5.1.7 Motoreffekt

### 5.1.7.1 Nominell effekt

Nominell motoreffekt for alle 6 motorene er 43,65 kW

For én motor: 7,27 kW

(Beregnet ut fra  $I = 75$  A,  $\cos\Phi = 0,84$ ,  $U = 400$  V)

### 5.1.7.2 Målt effekt

Målt med strømtang for én motor ved 50 Hz: 11,5 A. Dette gir 6,7 kW med de samme forutsetninger som ovenfor.

### 5.1.7.3 Avlest på displayet:

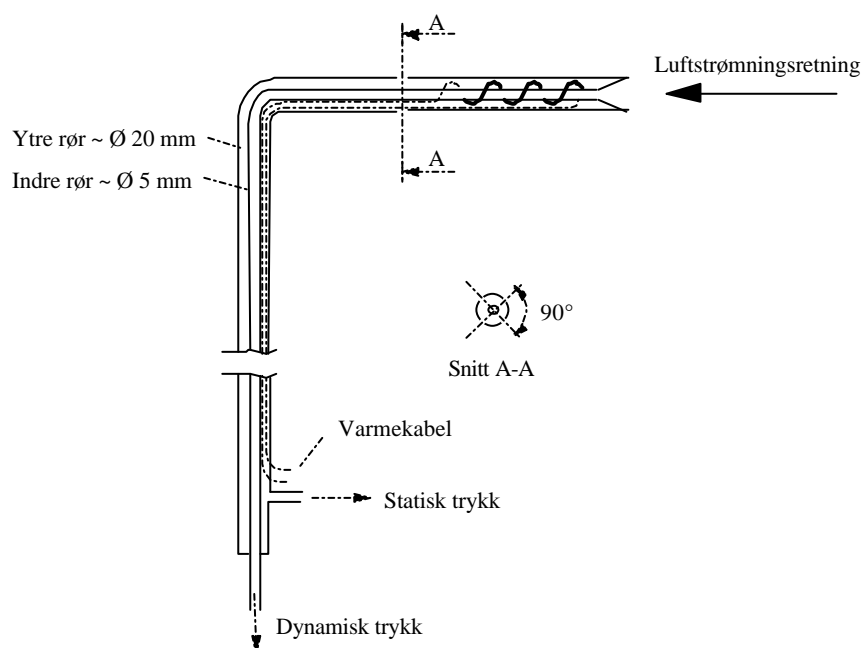
50 Hz	<b>83,5%</b>	6,1 kW	36,4 kW
30 Hz	<b>18%</b>	1,3 kW	7,9 kW

### 5.1.7.4 Teoretisk effekt

Ut fra viftediagrammet kan vi lese av en effekt på 6 kW pr. vifte. Dette stemmer meget godt overens med den vifteeffekten som ble avlest på displayet.

## 5.1.8 Plassering og utforming av permanent luftmengdemåler

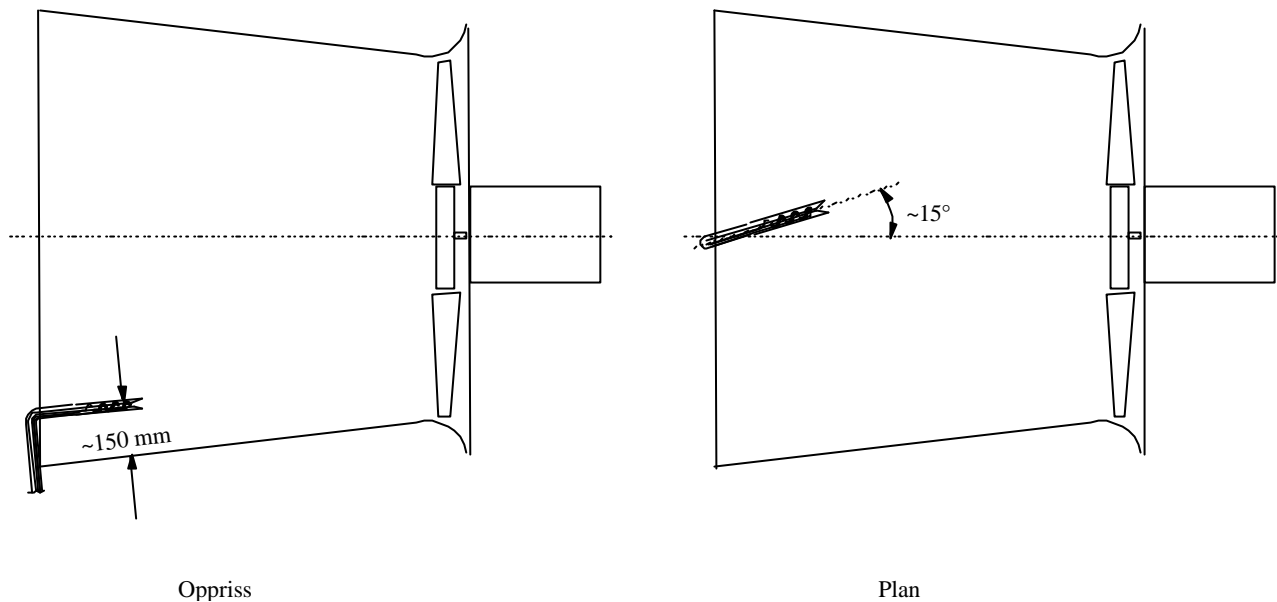
### 5.1.8.1 Utforming av hastighetsmåler



Figur 103 Utforming av sonde for hastighetsmålinger (pitotrør).

### 5.1.8.2 Plassering av sonde for hastighetsmåling

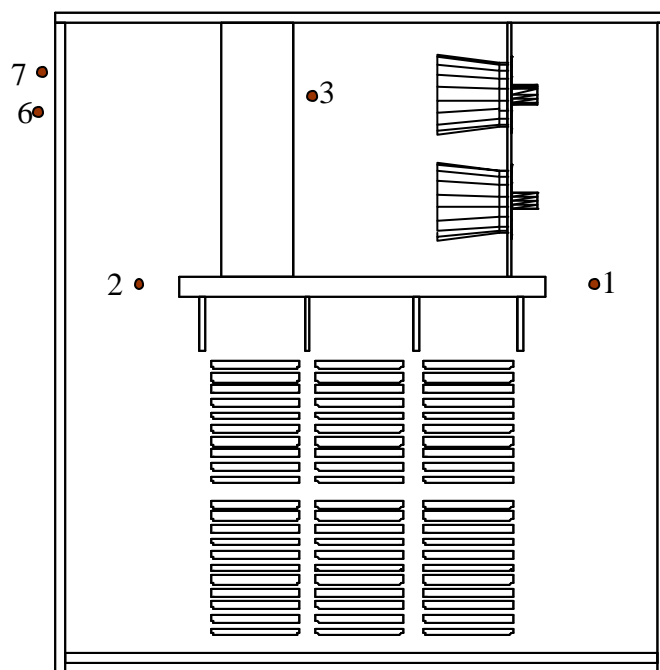
Pga. den ujevne hastighetsprofilen ut fra viftene foreslår vi at hastighetsmåleren (pitotrøret ) plasseres som vist på 104.



Figur 104 Plassering av sonde for luftmengdemåling (pitotrør).

### 5.1.9 Temperaturfølere på luftsidene

Plassering av følere (nærmere beskrevet i tabellene under):



Følgende er standard måle tags på en tunnel.

<i>Celle 2</i>				
<i>Tag navn</i>	<i>Råverdi</i>	<i>Vist verdi</i>	<i>Plassering</i>	<i>Enhet /område</i>
1. Luft retur	4-20mA	-50 - +50	Mest mulig i senter av tunnel ut i himmlingshøyde	Grader Celsius
2 Luft tur	4-20mA	-50 - +50	Mest mulig i senter av tunnel ut i himmlingshøyde	Grader Celsius
3 Luft rom	4-20mA	-50 - +50	Nær fordampner i senter linje fra vifte	Grader Celsius
4 Vifte kw	4-20mA	0 - 90 kw		Kw
5 Vifte turtall retur	4-20mA	0-1500		Rpm.
6 Differanse trykk måler for celle 2. (Kuldemedie)	4-20 mA		Trykktansmitteren plasseres utenfor tunnelen. Enten på vegg eller tak. Målet utaket skjer området rundt ventil stasjon	
7 Differanse trykk Måler. Luft	4-20 mA	0-150 Pa	Trykktansmitteren plasseres utenfor tunnelen. Enten på vegg eller tak. Selve Pitotrøret vil plasseres i nærheten av følere 3.	

For de andre cellene blir plasseringen som følger.

<i>Celle 1-3-4</i>				
<i>Tag navn</i>	<i>Råverdi</i>	<i>Vist verdi</i>	<i>Plassering</i>	<i>Enhet /område</i>
1 .Luft retur	4-20mA	-50 - +50	Mest mulig i senter av tunnel ut i himmlingshøyde	Grader Celsius
2. Luft tur	4-20mA	-50 - +50	Mest mulig i senter av tunnel ut i himmlingshøyde	Grader Celsius
3. Luft rom	4-20mA	-50 - +50	Nær fordampner i senter linje fra vifte	Grader Celsius
4. Vifte kw	4-20mA	0 - 90 kw		Kw
5. Vifte turtall retur	4-20mA	0-1500		Rpm.
6. TOM				
7. Differanse trykk Måler. Luft			Trykktansmitteren plasseres utenfor tunnelen. Enten på vegg eller tak. Selve Pitotrøret vil plasseres i nærheten av følere 3.	Pa
8 TOM				

Differanse trykkmåler for luft vil bli tatt med av SINTEF. Resten av følerne leveres av PAM.

### 5.1.10 Målinger på prototyp

Resultatene fra dette er under utarbeidelse. Problemer med å få fatt i nok råstoff slik at man får testet anlegget under alle forhold.

## 5.2 Luft fordeling – Simulering – Verifisering

Varmen fra innfrysingen overføres fra produktet til kuldeanleggets kjøler ved sirkulasjon av luft. Med den lave tettheten ( $\text{kg/m}^3$ ), vil den store varmestrømmen kreve svært store luftmengder. Siden luften må sirkulere gjennom varen, og derfra opp og over "taket" for så å presses ned og gjennom kjøler og vare igjen, kreves mange  $90^\circ$  avbøyninger av luftstrømmen. Når en så for å få kompakte løsninger ønsker høy lufthastighet, er utforming av kanalsystem og luftstyring over varen en utfordring. I samarbeid med strømningsmiljøet ved NTNU/SINTEF har en fokusert på disse forholdene.

For prototypen som nå er bygget, var det behov for ytterligere ressurser for å lykkes med utforming av luftsirkulasjonssystemer. Grunnen til det er at det skal brukes 20 (21) vifter, fordelt i seksjoner à 3, som styres på grunnlag av temperaturdifferansen mellom luft og fiskeoverflate. Det vil medføre ulik luft hastighet i de ulike seksjonene og på grunn av dette, ulike hastighetsprofil over fisken. Det er mange parametere som spiller inn, og man ønsket derfor å bruke erfaringer fra klimasystemløsninger og ta i bruk numeriske modeller for å avklare hvordan man skulle få til riktig høyde-bredde forhold i mellom tak, tunneltak og veggene, og hvor man skulle plassere og ikke minst hvordan utforme luftstyrings installasjoner.

Resultatene fra dette arbeide er vist i notater som vedlegg til denne rapporten.

## 5.3 Lavtemperatur anlegg

I løpet av prosjektperioden har man fått gjennomført innfrysingstester som viser at pelagisk fisk som sild og makrell tåler innfrysingstemperaturer ned til  $-50^\circ\text{C}$  uten at man får ytre skader på fisken. Også energiøkonomisk og tidsmessig er det ønskelig å komme ned i så lave temperaturer som mulig. Det koster litt mer energi å få til så lave temperaturer, men samtidig trenger man lavere lufthastighet, noe som medfører mindre energi bruk til viftene.

Prototypen er bygget med ammoniakk som kuldemedium. Slik anlegget er dimensjonert, garanterer kuldeentreprenøren for en lufttemperatur på  $-38^\circ\text{C}$ . For å komme ytterligere ned i temperatur må man vurdere andre anleggløsninger. Ved SINTEF Energiforskning, Klima og kuldeteknikk har man i mange år arbeidet med naturlige kuldemedier som et satsningsområde.

Foruten ammoniakk, inngår  $\text{CO}_2$  som kuldemedium i flere store og internasjonale prosjekter. Men dersom man skal bruke det som medium, kreves det utvikling av komponenter på luftsiden. Blant annet trenger man fordampere som tåler de høye trykk som man vil operere med ved bruk av  $\text{CO}_2$ . Et spesielt problem, er at anlegget krever rask avrimning av fordampere, noe som igjen krever stor varmetilførsel og dermed også ekstremt høye trykk i systemet. Det vil også være viktig å vurdere kombinasjonsløsninger med både  $\text{CO}_2$  og ammoniakk. Innenfor dette området skjer det svært mye for tiden på grunn av Montreal-, og Kyoto-avtalene som forplikter Norge til å finne fram løsninger for å unngå bruk av de ozon-nedbrytende klor-baserte kuldemediene.

Man ønsker å kunne finne fram til kuldetekniske løsninger som kan brukes i, blant annet, pelagisk industri som gir lufttemperaturer under  $-50^\circ\text{C}$ . Det har derfor vært gjennomført en forstudie i dette prosjektet som kan lede til bygging av et slikt kuldeanlegg forutsatt ytterligere finansiering i fremtiden.

### 5.3.1 Sammendrag fra Rapport ”Lavtemperatur frysetunnel med CO<sub>2</sub>”

Global Fish AS skal etablere et stor mottak for pelagisk fisk i Liavåg i Møre og Romsdal. I første byggetrinn er det bygget en prototyp frysetunnel for 240 tonn/døgn. Kuldeanlegget er bygget konvensjonelt, med ammoniakk som kuldemedium. Prototypeanlegget var driftsklart i løpet høsten 2003 og ble offisielt ”åpnet” 3. februar 2004.

I senere byggetrinn kan det være aktuelt å utvide anlegget i form av kaskadeanlegg med CO<sub>2</sub> i buntrinnet og ammoniakk i topptrinnet. Mindre komponent- og rørdimensjoner gjør installasjonen enklere og mindre plasskrevende enn med ren amoniakk. CO<sub>2</sub> sine gode lavtemperaturegenskaper gjør det dessuten mulig å øke tunnelkapasiteten ved å senke lufttemperaturen til akseptable tillegg i kompressor- og energikostnader. Om mulighetene for kapasitetsøkning ikke utnyttes, kan energiforbruket likevel ofte reduseres sammenlignet med konvensjonelle løsninger. I mange tilfeller vil det være et pluss at all ammoniakk kan samles i maskinrommet.

Kaskade anlegget bærer i seg flere muligheter til mer rasjonell og kostnadseffektiv innfrysing.

Målet for denne forstudien har vært å analysere mulighetene ved CO<sub>2</sub> som kuldemedium for innfrysing, og tallfeste de fordeler som i utgangspunktet er identifisert. Prosjektet skulle videre danne kuldeteknisk grunnlag for dimensjonering av et kaskadesystem ved Global Fish, samt fremlegge og diskutere tekniske løsninger. Prosjektet skulle også omfatte en økonomisk sammenligning mellom den konvensjonelle løsningen og en løsning basert på CO<sub>2</sub> og ammoniakk i kaskade.

Arbeidets detaljeringsgrad skulle forutsetningsvis holde forprosjektnivå og, sammen med annet underlag, være avklarende nok til å danne beslutningsgrunnlag for valg av løsninger videre utbygging.

Følgende punkter ble innledningsvis satt opp som retningslinjer for analysen;

- Konsekvenser av lav lufttemperatur
- Frysetid og vekttap
- Energiforbruk og energikostnad
- Trykk under stillstand
- Avriming
- Drift ved CO<sub>2</sub> i kaskade med sentralanlegg med ammoniakk
- Anleggtførelse, dimensjonering
- Investeringsbehov anlegg
- Tunnelutforming
- Investeringsbehov frysetunnel

## 6 Kostnadsforhold (Lønnsomhet for bedriftene)

I dagens internasjonalt konkurranseutsatte marked, er det viktig for den pelagiske næringen å ha fokus på kostnader. Gjennom å bygge og teste prototypen håper Pelagisk Forum å kunne verifisere potensialet for reduksjon av viktige driftskostnader.



### **Emballasje**

I tabellen er det vist hvordan emballasjekostnadene fordeler seg i dag.

	NOK pr.			Relativt	
	Eske	Palle	kilo	%	%
Esking					
- Eske med lokk	4,95		0,248	88	
- Plastark	0,32		0,016	6	
- Strappebånd	0,22		0,011	4	
- Merking	0,15		0,008	3	
Sum Esking	5,64	338	0,283	100	85
Palle		54	0,045		14
Strekkfilm		5	0,004		1
Sum	6,62	397	0,332		100

I prototypelinjen skal man kun emballere fisken med plastemballasje i forbindelse med vakuumering slik at kostnadene for papp eske og plastark faller bort. Med andre ord faller nesten 80% av totale emballasje kostnader bort. Selvfølgelig vil plastemballasjen til vakuumering koste noe, men vi har 0,264 kr. pr kilo før det koster like mye som dagens emballeringsmetode.

### **Energi**

I dagens innfrysingstunneler finner man ofte unødvendig store vifter, skjev luftstrømning og manglende styring av vifter som gir unødig høyt energibruk. Ofte er tidsdifferansen mellom første og sist innfrosne eske 9 – 10 timer. En må her også være klar over at denne energitilførselen må fjernes av kuldesystemet – og koster derved dobbelt energimessig, samtidig som den krever større kuldesystem. Viftevarmen i frysetunneler representerer i teorien 20% til 25% av totalt energibruk. I praksis har man registrert forbruk på opptil 40% av total energibruk til innfrysing. En reduksjon av viftebruken, gjennom bedre kanalutforming og SRO (Styring-Regulering-Overvåking)–system vil derfor betale seg raskt tilbake i form av redusert energibruk. Et potensial på 30% av totalt energibruk er ikke urealistisk. På grunn av redusert emballering under innfrysing vil man kunne fryse raskere, og samtidig unngå de store effekt toppene man har ved sekvensvis innfrysing. Det gir en bedre utnyttelse av kuldeanlegget og mulighet for bedre utnyttelse av varmen fra kuldesystemet som vil kunne dekke varmtvannsbehovet til bedriften uten ytterligere energibruk slik man har i dag.

### **Arbeidskraft**

I dagens innfrysingslinjer har man mange manuelle arbeidsoperasjoner så som inn- og utkjøring av fryseroler, i noen bedrifter også av- og pålessing av reoler og strapping av paller osv. Med prototyp linjen er tanken at man unngår disse slik at det kun er en mann, forhold til dagens praksis med 3-5, som styrer og overvåker linja fra pakking i emballasjen til fisken er ferdig innfrosset i paller på lager. Det vil medføre reduserte kostnader til lønn osv.

### **Truckbruk**

For prototypen vil det ikke være behov for truckbruk, da alt er automatisert og fisken blir transportert rundt.

### Oppsummering av kostnadsinnsparing

Kostnader per kilo fisk:

	Esking	Ny plast	Differanse	
<b>Bemanning</b>	0,249	0,03	0,219	88 %
<b>Emballasje</b>	0,332	0,125	0,207	62 %
<b>Energi</b>	0,04	0,028	0,012	30 %
<b>Sum</b>	0,621	0,183	0,438	71 %

Bemanning: Esking: 150 kr timen 1,66 mann timer/ tonn = 0,249 kr pr kilo  
Ny plast: 0,2 mann timer pr tonn = 0,03 kr per kilo

Emballasje: Esking: Fra tabell  
Ny plast: 2,50 kr per 20 kilo = 0,125 kr per kilo

Energi: Esking: 0,160 kWh per kilo fisk , 0,25 kr per kWh = 0,04 kr per kilo fisk  
Ny plast: 30% reduksjon = 0,028 kr per kilo fisk

*Oppsummert: Samlet besparelse på 0,438 kr per kilo fisk. Det vil for ett døgn med full produksjon på prototypelinjen (240 tonn) innebære besparelser på 105.000 kr.*

## 7 Rapportering, publisering og vedlegg

Samtlige deltagere i prosjektet har vært aktivt involvert og holdt tett orientert om framdriften i prosjektet og resultater fra delaktivitetene etter hvert som de framkom.

Aktiviteter og resultater har vært publisert gjennom deltagelse på aktuelle internasjonale og nasjonale konferanser og gjennom artikler i nasjonale og internasjonale tidsskrift og oppslag i dagspressen.

*"Lavtemperatur frysetunnel med CO<sub>2</sub> – En utredning av muligheter, tekniske løsninger og kostnader."* Rapport fra Hans T. Haukås AS.

*"Luftstrømning gjennom tunnel og reoler"* SINTEF Notat av Vidar Hardarson

*"Vurdering av luftfordeling i tunnel ..."* SINTEF Notat av Vidar Hardarson

*"Vurdering av luftstrømning ved åpen dør i tunnelen"* Notat av Vidar Hardarson

Fisk 2002 Konferanse i Tromsø. Foredrag av Tom S. Nordtvedt

Fisk 2003 Konferanse i Tromsø. Foredrag av Sveinung Flem. (Adm.dir Global Fish)

Presentasjon for FHL- Teknisk Forum. Mars 2003 .

3 oppslag i Sunnmørsposten. [www.smp.no](http://www.smp.no) (Global Fish)

1 oppslag i Norsk fiskerinæring nr9. 2003.

1 oppslag i Fiskerimagasinet 2001

Mange oppslag i forbindelse med åpning av anlegget

Hardarson, V; Magnussen, O.M (2001): *Large scale freezing of paced products*. IIR Commission C2, Bristol, UK 2001