

TR A7376 - Åpen

Rapport

Driftserfaringer fra pelagisk innfrysing

Leveranse L 1.1.

Forfatter(e)

Tom Ståle Nordtvedt



Rapport

Driftserfaringer fra pelagisk innfrysing

Leveranse L 1.1.

EMNEORD:
Pelagisk, Frysing

VERSJON
1

DATO
2014-01-02

FORFATTER(E)
Tom Ståle Nordtvedt

OPPDRAKSGIVER(E)
FHF

OPPDRAKSGIVERS REF.
900915

PROSJEKTNR
50200326

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
23+ vedlegg

SAMMENDRAG

Driftserfaringer fra dagens pelagiske innfrysing

Denne rapporten er leveranse L1.1 i prosjektet.

Det har vært gjennomført besøk hos pelagiske bedrifter over hele landet og denne rapporten et sammendrag over hovedinntrykkene. Det har vært lagt vekt tunnelutforming og kuldeanleggsløsninger.

UTARBEIDET AV
Tom Ståle Nordtvedt

SIGNATUR



KONTROLLERT AV
Ingrid Camilla Claussen

SIGNATUR



GODKJENT AV
Petter Røkke

SIGNATUR

RAPPORTNR
TR A7376

ISBN
978-82-594-3579-8

GRADERING
Åpen

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1	2014-01-02	Første versjon

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn.....	4
2	Kuldebehov i tunnel	4
2.1	Varmestrøm fra varene.....	4
2.2	Frysereoler	6
2.2.1	Luftstrøm og temperaturstigning gjennom hyllene	7
3	Målinger fra bedrift. Luftsirkulasjonen i tunneler	7
3.1	Temperaturmålingene i tunnel 6 og 7	8
3.2	Varetemperatur	9
3.3	Konklusjon av målingene	10
4	Registrering ved bedrift.	10
5	Resultater av målingene ved bedrift 2.	13
5.1	Tunell 2.....	13
5.2	Tunell 4.....	14
5.3	Tunell 7.....	16
5.4	Sammenligning av tunellene.....	18
6	Simulering To-trinns ammoniakkanlegg.....	18
7	Sammendrag og diskusjon	19
	Referanser	20

BILAG/VEDLEGG

[Skriv inn ønsket bilag/vedlegg]

1 Bakgrunn

Prosjektet "Teknologi for effektiv og bærekraftig innfrysing av pelagisk fisk" har som hovedmål å bidra til utvikling av fremtidens teknologi for pelagiske anlegg og er finansiert av FHF. Prosjektet var i utgangspunktet planlagt over to faser hvor en i den første periode skal fokusere på gjennomgang av et utvalg forskjellige anlegg og teknologi for å finne årsaker høye energiforbruk, lang frysetid, tekniske utfordringer og driftsproblemer. Denne anleggskunnskapen, erfaringer med vellykkede løsninger og FoU kompetanse skal danne utgangspunktet for å finne kritiske verdier ("nøkkeltall") for denne type anlegg, emballasjetyper, luftmengder, kuldebehov og anleggsløsninger. En forutsatte i utgangspunktet at i løpet av 1 – 3 år må bransjen foreta nyinvesteringer i nye/større og mer effektive anlegg hvor kunnskapen fra første fase skal anvendes og oppfølges ved målinger og dokumentasjon.

Denne rapporten er utarbeidet som en oppsummering av kunnskap og erfaring etter besøk, målinger og intervjuer fra anlegg som har innfrysing av pelagisk fisk i tunneler, varierende emballasjeløsninger, luftsystemer/-hastigheter og kuldesystemer.

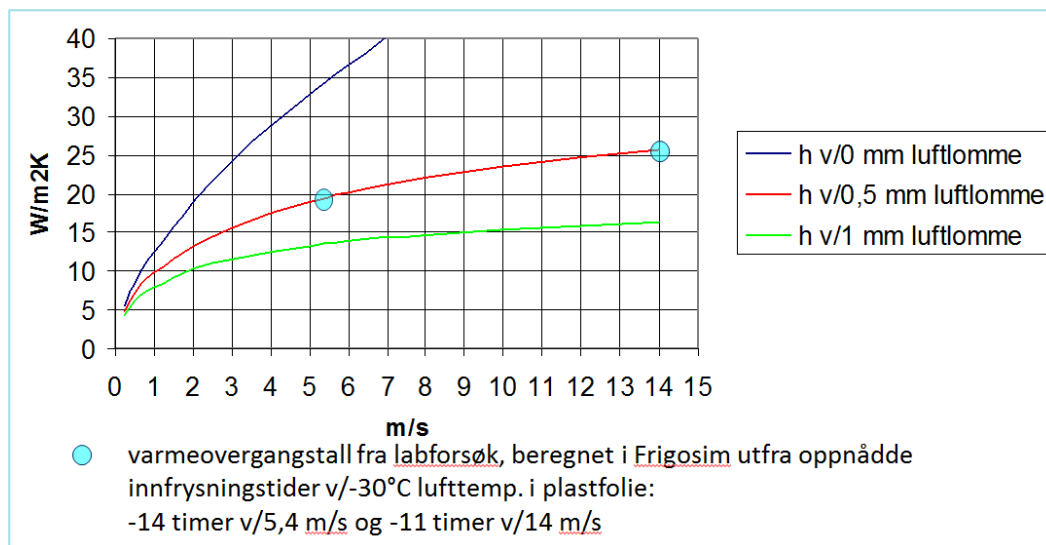
2 Kuldebehov i tunnel

Ved frysing av pelagisk fisk reduseres temperaturen vanligvis fra ca. 0 °C til -25 °C, som krever fjerning av en betydelig varmemengde. Størstedelen av dette er knyttet til frysevarmen som frigis ved frysing av vann og som i hovedsak foregår i temperaturområdet fra -1,5 °C til -8 °C. Andelen vann i fisken er derfor avgjørende for frysevarmen, og spesielt fettinnholdet påvirker denne. Det finnes en rekke målinger av varmeinnholdet av matvarer avhengig av temperatur, andel proteiner og fettinnhold. For pelagisk fisk med 20 % fett vil frysing til -8 °C kreve fjerning av 197 kJ/kg fisk, mens videre senkning til -25 °C krever 61,6 kJ/kg, totalt 258,4 kJ/kg. Ved luftfrysing vil bruken av vifter for luftsirkulasjon kreve betydelig energi i form av varme, som også må fjernes sammen med varmetap, kjøling av reoler og utstyr. Totalt viser overslag et viftetap i størrelsesorden 25 – 30 %, som gir en belastning på kuldesystemet på 323 til 336 kJ/kg. Om en enkelt fordeler dette jevnt over den perioden mesteparten av varmen må fjernes (16 - 18 timer) vil dette gi en anslått dimensjonerende kuldeytelse på 5,3 – 5,8 kW/tonn fisk. Dette er anslåtte verdier og ikke tilstrekkelig for å fryse produktene om luftforholdene i tunnelene er ujevn eller sirkulert luftmengde lav slik at varmestrømmen og derved kuldebehovet varierer mye.

Kuldebehovet er gitt av varmestrømmen fra varene og vil variere avhengig av mengde i tunnel, produktform, emballasje, og av frysertemperatur og luftsirkulasjon/hastighet over produktene. En god beregning av kuldebehovet over frysetiden er derfor svært krevende og det må gjøres en rekke forutsetninger om bruk og driftsforhold. I praksis vil en oftest ta utgangspunkt i erfaringer fra tilsvarende eller lignende anlegg. Beregningene forutsetter vanligvis en midlere belastning og temperatur, mens disse verdiene vil variere mye under prosessen. Erfaringsmessig benyttes i utgangspunktet eksempelvis en midlere ytelse ved luftfrysing i størrelsesorden 6 kW/tonn fisk ved lufttemperatur -35 °C. Det er da viktig å gjennomføre beregninger som viser konsekvenser ved varierte belastninger for så å korrigere utgangspunktet med ytelser og temperaturer.

2.1 Varmestrøm fra varene

Ved tidligere FoU prosjekter for næringen (*Fremtidens pelagiske innfrysningsbedrift, FHF prosjekt*) er det gjort omfattende FoU arbeider med bestemmelse av frysetider og varmestrøm fra emballert pelagisk fisk. Ved hjelp av simulering og beregninger er variasjonen over frysetiden avhengig av lufttemperatur og lufthastighet beregnet. Siden varmestrømmen er svært varierende avhengig av motstanden i emballasje og tykkelse av frossen fisk innover i eskene, vil kuldebehovet variere tilsvarende. Tidligere målinger og beregninger av varmeoverføringen ved dagens emballasje gir betydelig reduksjon av varmeovergangstallet avhengig av lufthastigheten over varene (Figur 1.)



Figur 1. Varmeovergangstall ved dagens vanlige emballasje (beregningsformel fra Food Eng. Practice)

Et rimelig optimalt driftspunkt for frysetunnel med hensyn på nyttig kuldebehov og energiforbruk for viftene gav under disse forutsetninger en lufthastighet 4 m/s. Som Figur 1 viser vil høyere lufthastighet ha liten effekt på varmetransporten fra eskene bortsett fra i den innledende frysing hvor varmestrømmen uansett er svært stor. Trykktapet ved strømning øker med kvadratet på hastigheten (v^2) og effektbehovet øker med $f(v^3)$. Det kan likevel ved annen emballasje eller mindre produkter være aktuelt med høyere lufthastigheter over varene. De videre overslag er i hovedsak basert på en lufthastighet over varene på 4 m/s.

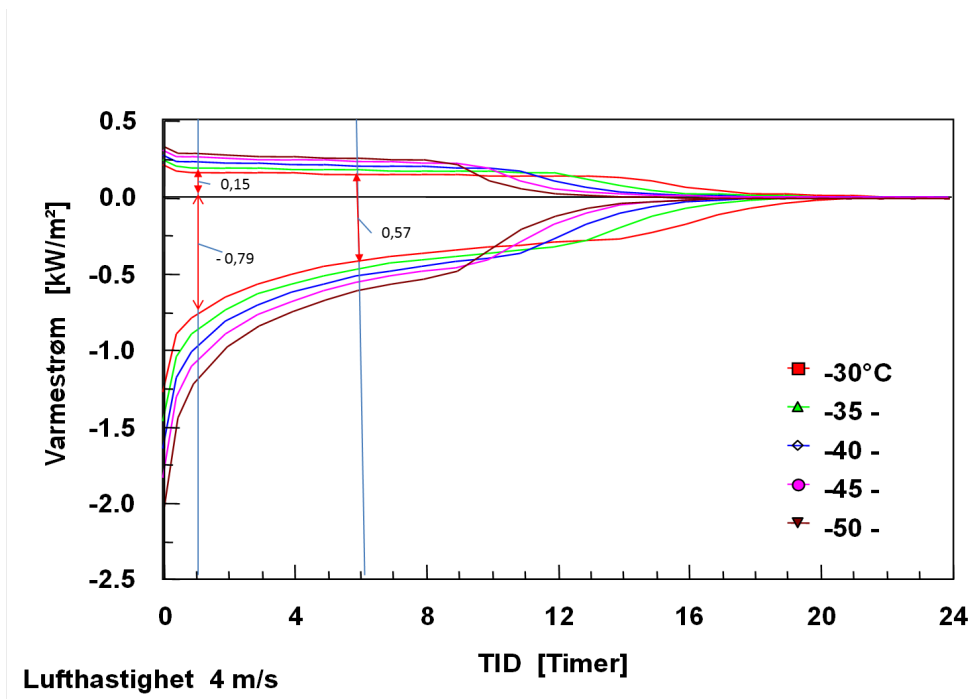
Med en gitt begrenset ytelse for anlegget vil temperaturen i fordamper stige inntil varmestrøm og kuldeanleggets ytelser er tilnærmet lik. Figur 2 viser simulert varmestrøm fra eskene ved temperaturer fra -30 til -50 °C. Som første tilnærming kan en benytte kurvene for anslag av belastningen i løpet av frysetiden. Forutsettes at temperaturen i lufta over varene ved innløp er -30 °C vil varmestrømmen til lufta i kanalen i reolene være 0,15 kW/m² mens det fra bunnen i eska over overføres -0,79 kW/m² (negativ på grunn av motsatt retning). Total varmestrøm til lufta i kanalen ville under disse forhold være 0,94 kW/m². Kurvene viser videre at etter 6 timer under disse forhold er total varmestrøm redusert til 0,57 kW/m².

På hver hylle er det plassert 5 esker med samlet flate mot luftstrømmen på $1,2 \times 0,9 = 1,08 \text{ m}^2$ og varmestrømmen fra lokk og bunn gir etter en times drift:

$$q_1 = (0,94 \cdot 1,08) = 1,015 \text{ kW/hylle.}$$

Etter 6 timer er belastningen redusert til

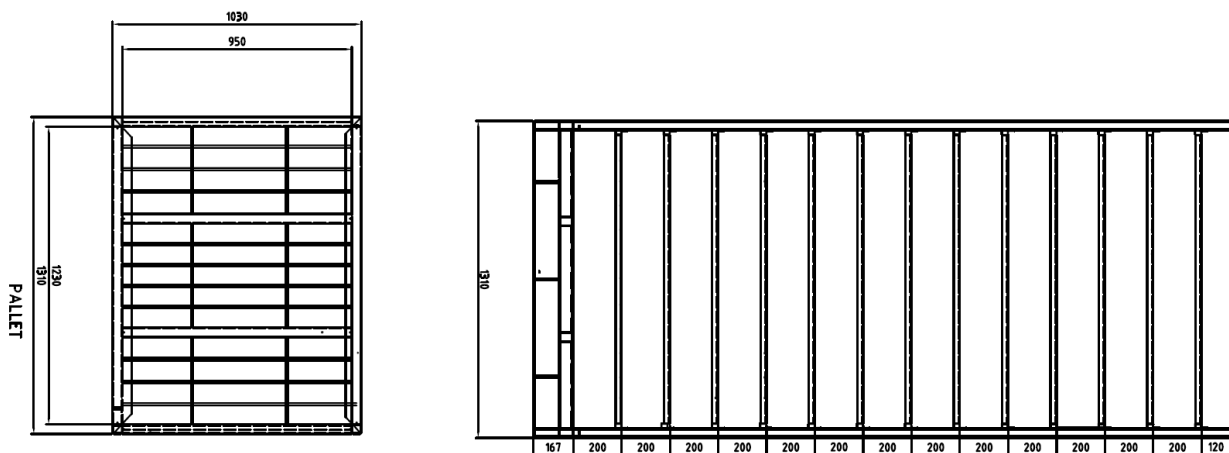
$$q_2 = 0,57 \cdot 1,08 = 0,616 \text{ kW/hylle.}$$



Figur 2. Simulert varmestrøm til luften fra lokk og bunn avhengig av tid etter start frysing ved konstante lufttemperaturer.

2.2 Frysereoler

Hyllene i vanlige reoler er tilpasset plassering av 5 esker á 20 kg som igjen er tilpasset ett lag på pallene i distribusjonssystemet. Reolene er også tilpasset automatisert på- og avlastning ved at et lag skyves inn og ut fra hyllene. Eskene er standard for industrien 400 x 600 mm og 110 mm høy og lysåpningen for inn/ut skyvning er 1230 mm. Vekten av fylt Brett og reol er stor og transporten med truck krever solide reoler med mange forsterkninger med ståldragere. (Se Figur 3) Disse vil skape mye turbulens, spesielt på undersiden, når eskene ligger på brettene. Turbulensen vil bidra til øket varmeovergang, men påvirker spesielt trykktapene. Også spaltene mellom rekkene innover i luftretningen (god plass for å sette pallene) skaper ekstra turbulens og trykktap ved hastighetsøkning ved inngang på reolene



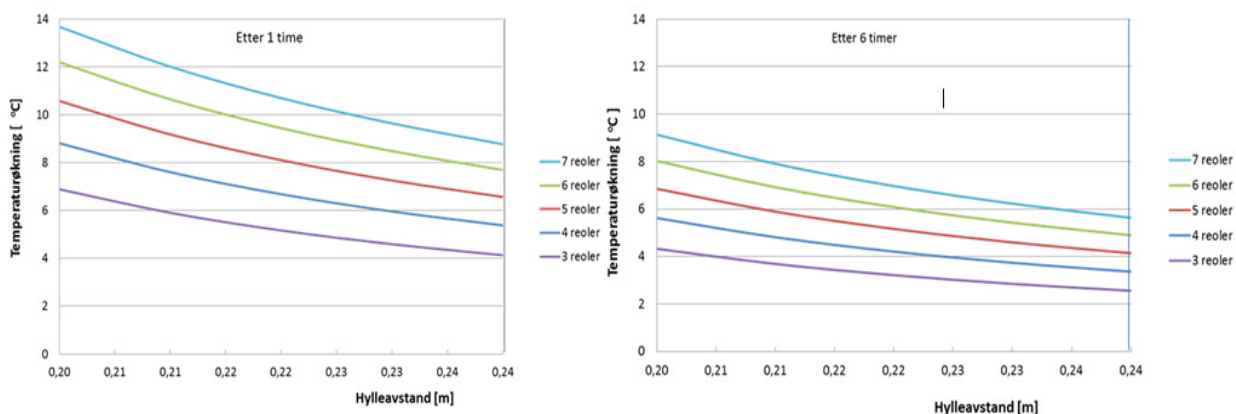
Figur 3. Standard 14 hyllers frysereol. Antall hyllers varierer fra 11 til 16 og også avstand mellom hyllene kan variere noe som gir forskjellig totalhøyde, men de er ellers helt lik i konstruksjon.

2.2.1 Luftstrøm og temperaturstigning gjennom hyllene

Hylleavstanden for de vanlige reoler er 200 mm som på grunn av avstivninger gir lysåpning ved innløp på 175 mm. Med eskehøyde på 110 mm blir luftspalten 65 mm, men i praksis vil ofte eskene bule litt og redusere høyden. Innenfor bjelken er tverrsnittet noe større, men konstruksjonen sperrer for strømning og lager turbulens. For overslagsberegning regnes derfor; $A_{\text{real}} = 1,31 \cdot 0,055 = 0,072 \text{ m}^2$. Med forutsatt lufthastighet 4 m/s vil dette gi:

$$V_{\text{luft}} = 4 \cdot 0,072 = 0,288 \text{ m}^3/\text{s} \text{ eller massestrøm } G = 0,288 \cdot 1,41 = 0,406 \text{ kg/s.}$$

Varmestrømmen fra varene tas opp ved temperaturstigning ($q = c_p \cdot G \cdot \Delta T$) og etter ca. 1 time er varmemstrømmen 1,015 kW/hylle som gir: $1,015 = 1 \cdot 0,406 \cdot \Delta T_1$, som gir: $\Delta T_1 = 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Etter 6 timer frysing vil etter dette anslaget være: $\Delta T_6 = 0,616 / 0,406 = 1,52 \text{ }^\circ\text{C}$. Med 4 reoler i luftretningen vil en forvente en temperaturstigning totalt i størrelsesorden $10 \text{ }^\circ\text{C}$ henholdsvis $6,1 \text{ }^\circ\text{C}$.



Figur 4. Beregnet temperaturstigning over reolene i luftretningen etter 1 og 6 timers frysing, forutsatt konstant lufthastighet over varene på 4 m/s.

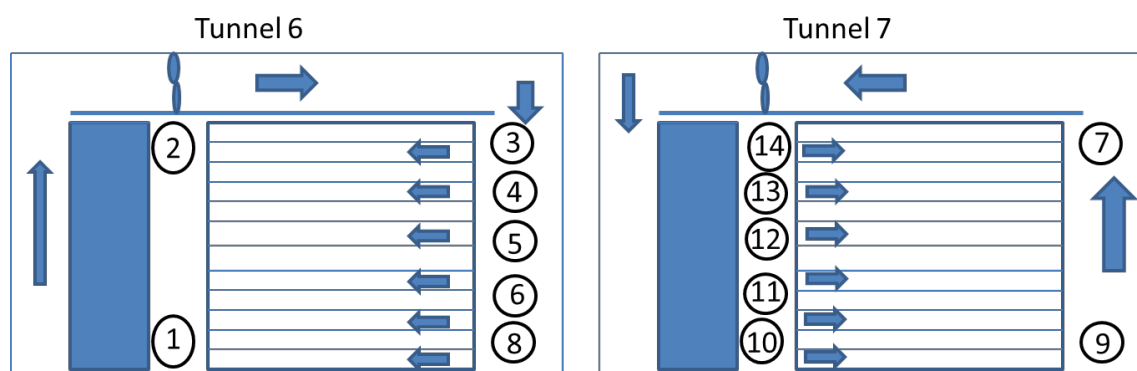
Temperaturstigningen over reolene er betydelig mindre i dag enn tidligere da en benyttet "langblåste" tunneler med mange (ofte 8 – 10 eller flere) reoler. De vanligst brukte reoler har imidlertid relativt liten lysåpning for luften og med en rimelig lufthastighet som ikke gir for store trykktap og vifteeffekt er likevel temperaturstigningen stor, spesielt i innledende fryseperiode. Dette forårsaker betydelig forskjell i frysetid i luftretningen som er vanskelig å "ta igjen" og krever spesielt lave temperaturer og lang tid i slutfrysingen hvor varmemstrømmen er liten. Ved å øke hylleavstanden i reolene vil en med samme lufthastighet og samme/litt lavere trykktap øke luftmengden og redusere temperaturstigningen. Basert på varmemstrøm fra varene (Figur 2) er temperaturstigninger i luftretningen beregnet etter 1 og 6 timers frysing avhengig av hylleavstand i reolene og antall reoler. Resultatene viser at det er viktig å tilpasse hylleavstand/luftmengde til antall reoler i luftretningen for å få akseptabelt jevn frysing. Det viser også at en bør tilpasse luftmengde ved regulering av viftene under spesielt siste del av frysing når transporten av varme fra vareoverflaten er lite avhengig av lufthastigheten.

3 Målinger fra bedrift. Luftsirkulasjonen i tunneler

Utforming, arrangement og plassering av vifter og fordampere har alltid, og er fortsatt, mye diskutert og alternative løsninger forsøkt. For resirkulasjon av lufta etter varegjennomløp kreves vifter for å overvinne trykktapet i systemet og nedkjøling/opptak av opptatt varme fra varer og vifteenergi. Tradisjonelt ble vifter og fordampere plassert over varene siden en da sparer gulvplass og en står ganske fritt med plassering og utforming av fordampere. Lite gulvareal og høye kostnader har etter hvert ført til svært høye tunneler, vanlig 4 – 5 m stuingshøyde. Liten bredde på kanalene som i 4 x 90 graders avbøying fører luften tilbake til varene

uten styring, gir stadig ujevn luftstrøm over varene. For å forbedre dette ble plassering av fordampere i tunnel foran eller bak varene slik at en skapte et ekstra trykktap som bedret fordeling av luften til varene. Ulempen ved dette er uohensiktsmessig fordampere med lav lufthastighet og liten dybde som reduserer effektivitet og øker energiforbruk ved øket temperaturforskjell luft – kuldemedium.

Ved en kort gjennomgang ved et anlegg ble det innsatt temperaturloggere i luften foran og bak varene i to likt utformede tunneler, men med fordampere plassert henholdsvis foran og etter varene. Det ble ikke utført målinger av lufthastigheter eller fordampertemperaturer med arrangementet i tunnel, og målepunkter er vist i Figur 5.

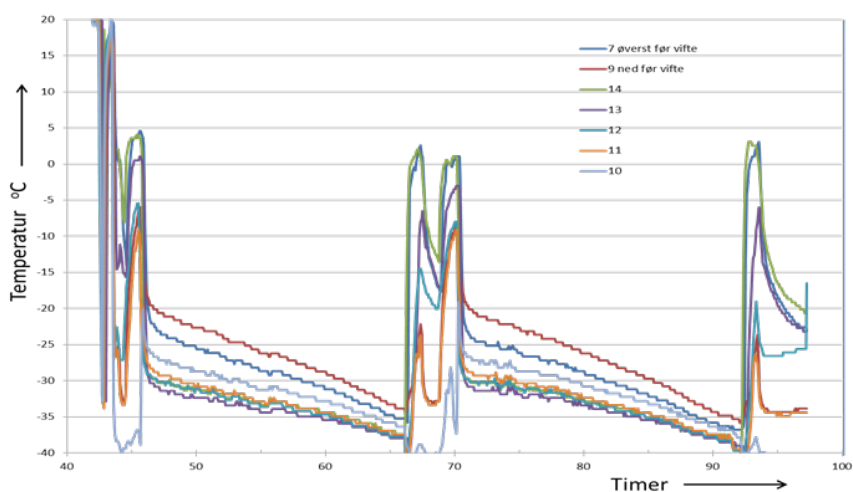


Figur 5. Plassering av temperaturloggere i tunnelene. Logger 3, 4 og 6 falt ned under målingen.

3.1 Temperaturmålingene i tunnel 6 og 7

Temperaturregistreringene er vist i Figur 6 og har typisk verdier for tunneler og viser rask senkning av temperatur etter oppstart av innfrysingen. For tunnel 6 er lufttemperaturen ved innløp varer er som forventet jevn side den er godt blandet gjennom vifter og kanal. At kanal 2 som er plassert øverst ved innløp fordampere har samme temperatur er vanskelig å forstå. En forklaring kan være at luften går under himlingen uten å ta opp varme og treffer loggeren plassert øverst. Etter stabilisering av driften etter start frysing ligger inngående lufttemperatur på ca. $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ og faller nesten lineært til $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ etter 19 – 20 timer. Temperatur forskjellene mellom inn- og utløp fra varene nederst er i en relativ lang periode i starten relativt konstant ca. $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ og tyder på noe langsam innfrysing.

Figur 6. Tunnel 6: Temperturforløp innfrysing 2 og 3 okt. 2013



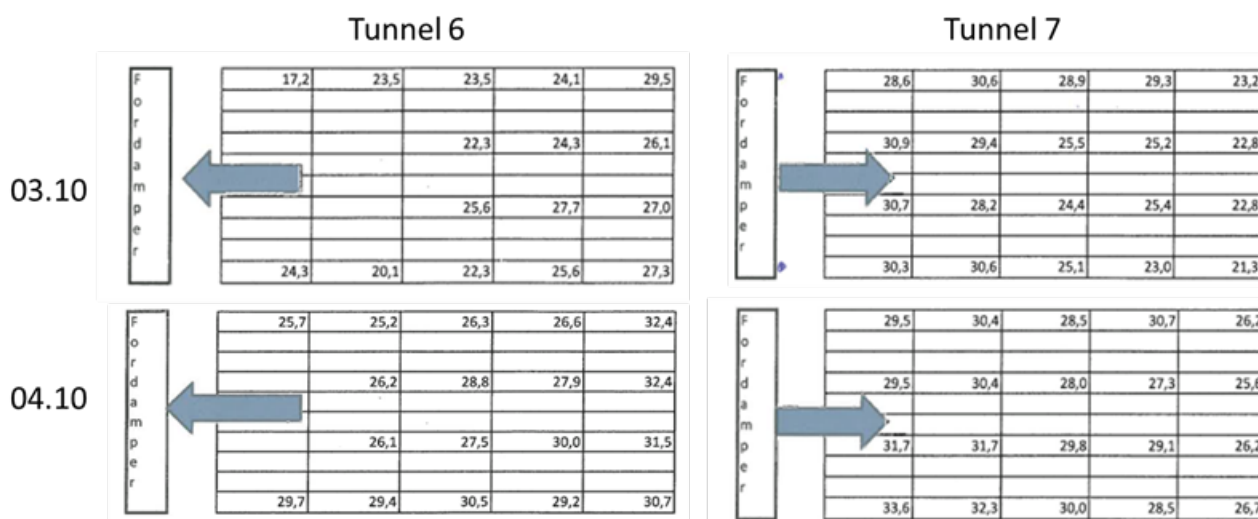
Figur 7. Tunnel 7: Temperturforløp innfrysing 2 og 3 okt. 2013.

Ved temperaturmålingene i tunnel 7 var de fleste loggerne festet til stålstrukturen ved fordampene. Som for tunnel 6 faller temperaturene etter fordamp/inn varer raskt og til lavere temperaturer enn denne. Temperaturene viser også en tydelig økning oppover i fordampene og nederst er denne betydelig. I start ca. 3,5 °C høyere enn øverst, mot ca. 1,5 °C ved slutfrysingen. Dette skyldes trolig den høye fordampene som er seksjonert, men som nederst har et langt stigerør og sannsynligvis stort trykktap. Det ble registrert ved besøket at en hadde felles stigerør for alle seksjoner, og dette vil gi ekstra trykktap.

Under besøket ble ikke fordampertemperaturene eller lufthastigheter gjennom/etter fordampene målt, og forskjellene kan i noen grad skyldes variasjoner i lufthastigheter og varmeovergang.

3.2 Produkt temperatur

Ved det korte besøket og i en hektisk innfrysing var det ikke mulig å få lagt inn loggere i varer for måling av innfrysingsforløpet. Bedriften har imidlertid egne rutiner for kontroll av varetemperaturen etter innfrysing. Esker blir da tatt ut fra steder i tunnelene som en erfaringsmessig vet "henger etter" med høy temperatur. Målingene ble gjennomført ved innboring av små hull mot midten av varene i eskene og temperaturen der måles med der *målenål*). Etter avtale gjennomførte bedriften slike kontroller ved tunnelene hvor målingene av innfrysingstemperaturene ble gjennomført. Målepunktene og temperaturene på de målte esker er vist i Figur 7. Slik målingene er gjennomført viser de trolig ikke de høyeste temperaturer i varene, men indikerer likevel at varene er rimelig godt frosset. Som forventet er temperaturene høyest ved luftutløp fra varene, noe som skyldes temperaturstigningen gjennom varene. Selv om høyeste temperatur er målt øverst i tunnelen med fordampere etter luftstrøm gjennom varene er det små forskjeller mellom de to tunnelutforminger, en liten fordel viser likevel tunnelen med fordampere i luftstrømmen før varene. Ellers viser målingene generelt noe lavere temperatur andre dag (04.10), trolig siden varene lå noe lenger i tunnelene (Figur 6 og 7).



Figur 8. Målte kjernetemperaturer etter innfrysings.

3.3 Konklusjon av målingene

Den raske gjennomgangen ved besøket og relativt enkle temperaturmålinger gav sammen med tilgjengelige data om anlegget og overslagsberegninger noe forståelse av årsakene til driftsutfordringer. Det knytter seg imidlertid stor usikkerhet til beregningene idet det ikke er gjennomført målinger av lufthastigheter, men har basert overslagene på oppgitt luftmengde. Det er trolig også skjevheter i luftfordelingen inne i tunnelene, erfaringene fra slike målinger viser ofte betydelig større hastigheter ved gulv og lav hastighet under falskt dekke.

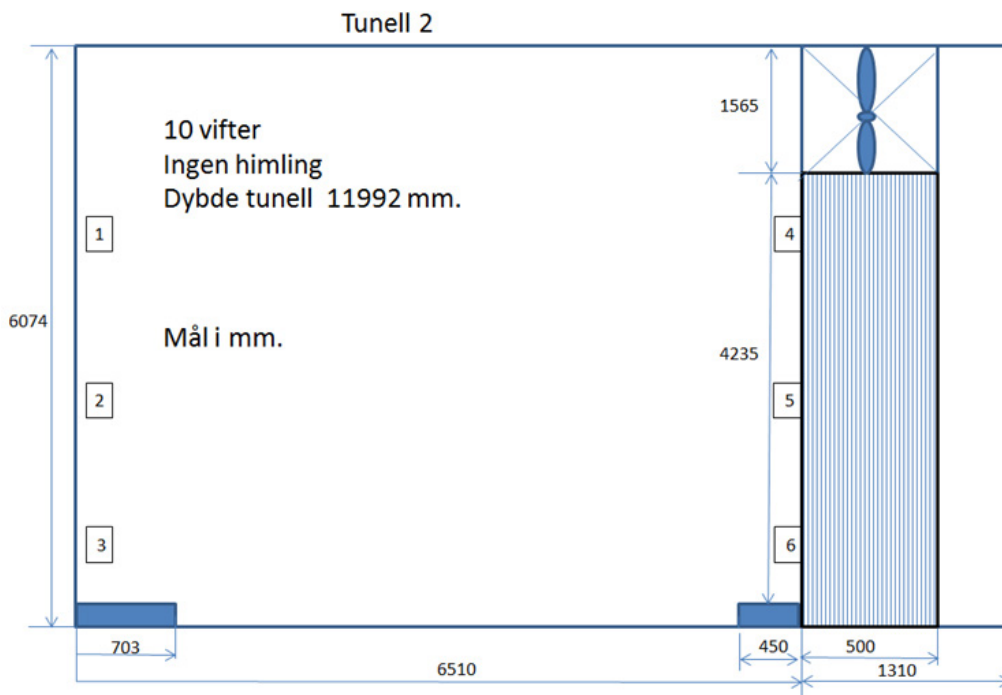
Hovedresultatene viser imidlertid relativt høye temperaturer, spesielt på returluften etter gjennomgang av varene, men også turluft inn er noe høy. Spesielt er temperaturen etter nederste fordampner høy og den avtar klart oppover. Dette tyder på stort trykktap i det vertikale utløpsrør ("raiser"). Ellers kan de relativt høye lufttemperaturer skyldes liten kompressorkapasitet eller trykktap til væskeutskiller. De store utfordringene er at den høye temperatur i starten tar ut for lite varme som derfor må fjernes ved slutten av frysingen hvor transportmotstanden er størst og dette tar derfor lang tid.

Målingene på de to tunneler viser at temperaturene under frysing er generelt for høye de første timene etter oppstart og at innfrysingen går for sent i denne perioden. Å "ta igjen" denne varmestrømmen på slutten av fryseperioden krever lav temperatur og uøkonomisk drift av kuldeanlegget. Videre viser temperaturstigningen over reolene i luftretningen at en får skjevhet i frysetiden. I Tunnel 7 forsterkes dette av høye temperaturer nederst ved gulvet i tunnelen.

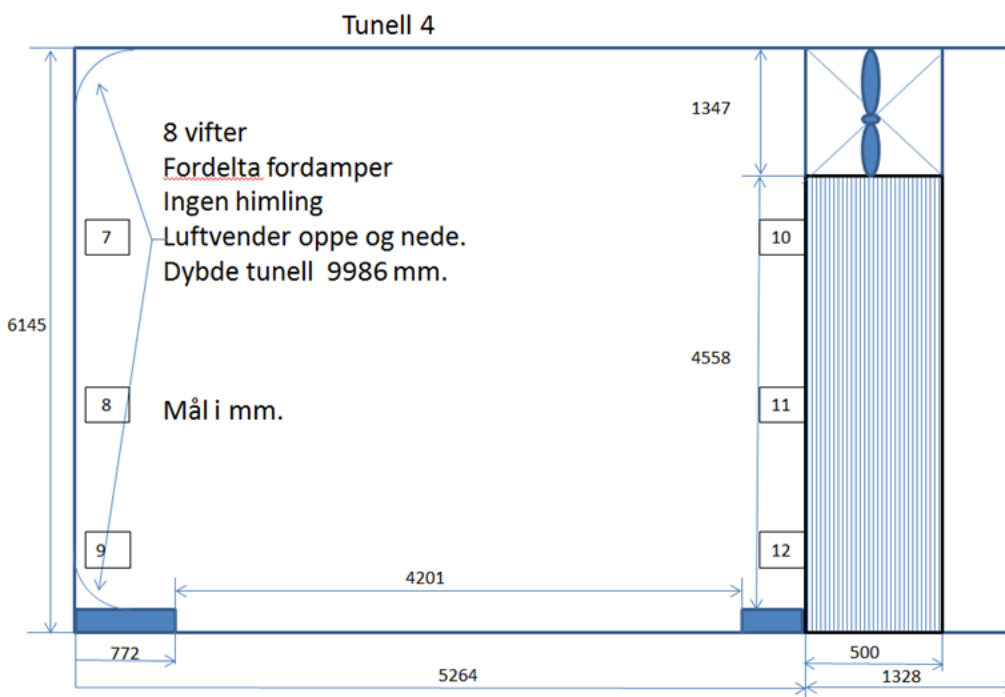
4 Registrering ved bedrift.

Det ble gjennomført enkle temperaturmålinger i de tre tunelltypene som eksisterte ved en bedrift for å få et inntrykk av driftsforholdene og slik at de tre ulike tunellene kunne sammenlignes. I tillegg gjennomførte bedriften sin standard testmåling av produkt temperaturer etter frysing for de døgnene det gjennomføres målinger.

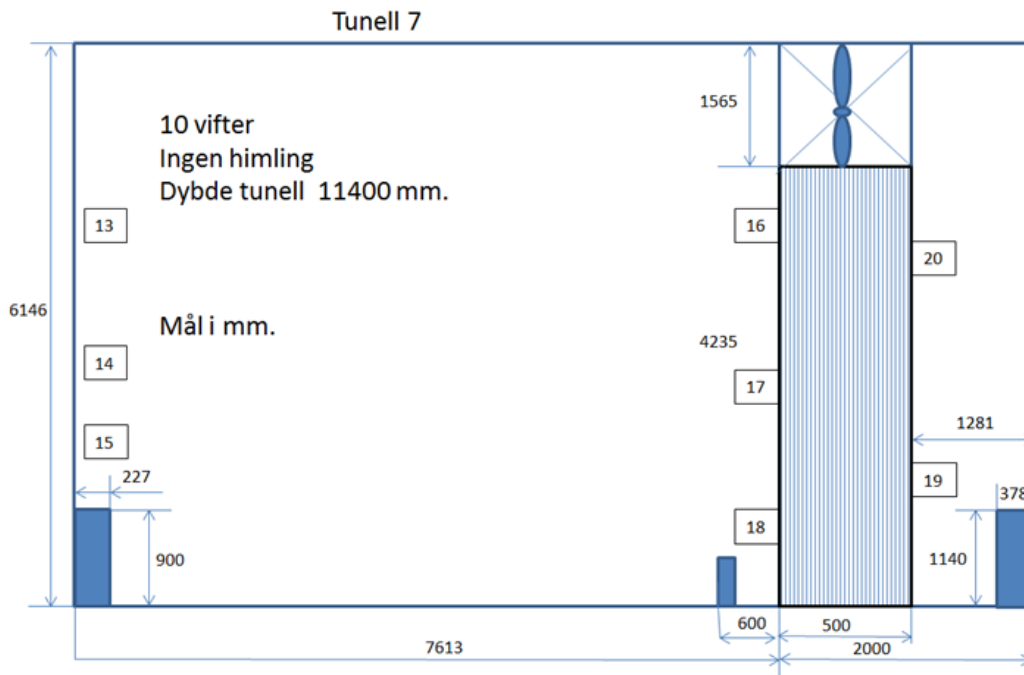
Figur 4, Figur 5 og Figur 6 viser målene på de ulike tunelltypene, og indikerer hvor temperaturmålerne ble plassert. Tunellene 1,2 og 3 har fire rader med reoler, tunellene 4, 5 og 6 har tre, mens tunell 7 har fem rader med reoler. En skisse av en reol vises i Figur 7.



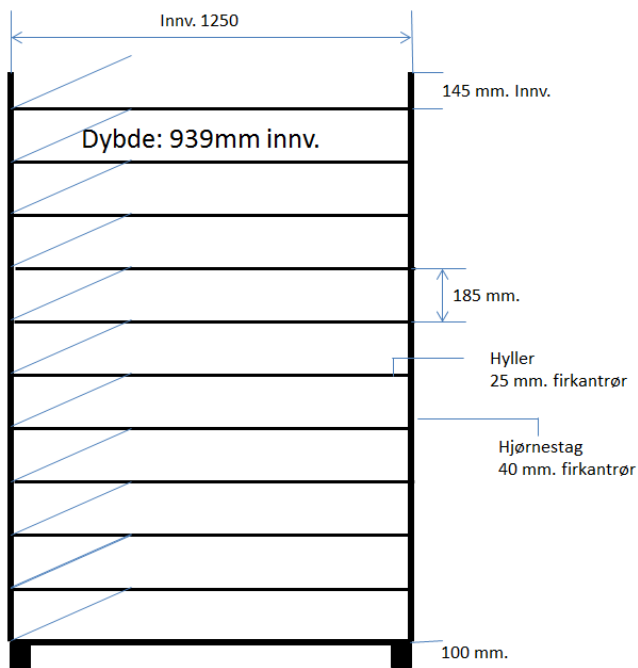
Figur 1. Mål for tunell 2, tunell 1 og 3 er identisk. Boksene med nummer indikerer hvor temperaturmålerne var plassert.



Figur 2: Mål for tunell 4. Tunell 5 og 6 er identisk. Boksene med nummer indikerer hvor temperaturmålerne var plassert.



Figur 3: Mål for tunell 7. Boksene med nummer indikerer hvor temperaturmålerne var plassert.



Figur 4 Skisse av reoler benyttet i tunellene.

5 Resultater av målingene ved bedrift 2.

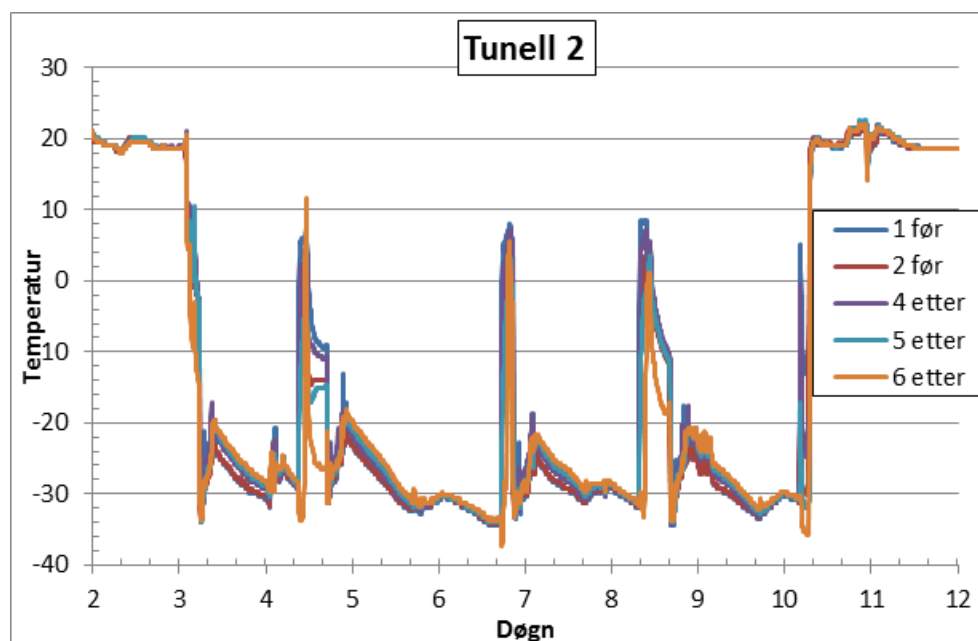
5.1 Tunell 2

Opprinnelig var det plassert tre målere før produktene og tre målere etter produktene, men på grunn av en feilinnstilling av måler nr. 3 sluttet den å gi resultater før den første innfrysingsperioden, og er derfor ikke tatt med i figurene.

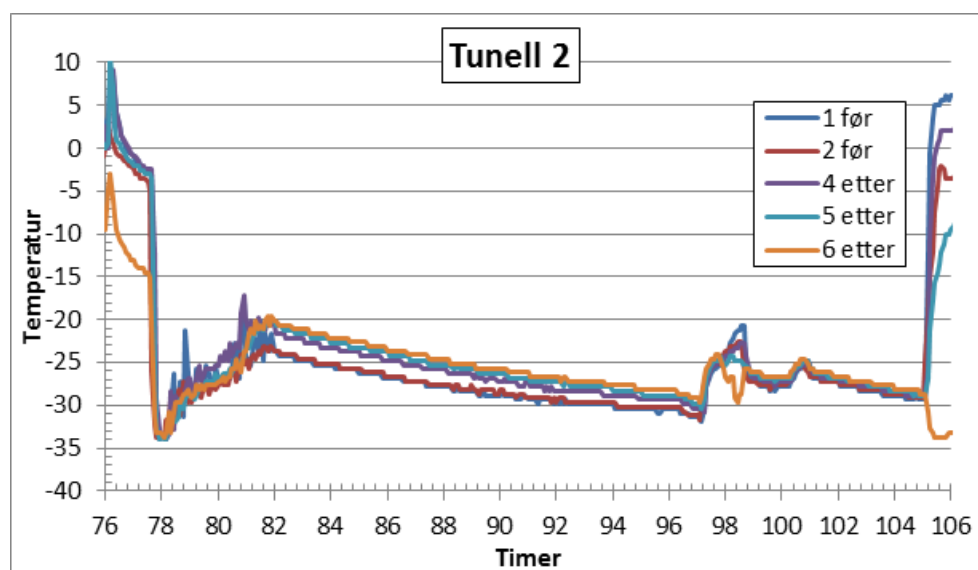
Figur 8 viser temperaturmålinger fra tunell 2. Av figuren kan man se at fire innfrysninger er gjennomført i løpet av omtrent 7 døgn. For hver syklus reduseres temperaturen raskt etter oppstart av kuldeanlegget, deretter ser man en svak økning av temperaturene, før de reduseres tilnærmet lineært fra omtrent $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ til i underkant av $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Deretter ser man en ny svak økning før den på ny går noe ned. Årsaken til den svake temperaturøkningen i starten av hver periode er trolig at kuldeanlegget slås på før varene er plassert i tunellen. Når varene er på plass og viftene slås på, øker temperaturen til fordamperen er i stand til å fjerne like mye varme som varene avgir. Deretter synker temperaturen tilnærmet lineært. Generelt er dette noe høye temperaturer som kan bidra til lang innfrysningstid for produktene. Lengden av hver syklus varierer, fra i overkant av et døgn til nesten to døgn. Årsaken til den noe høye temperaturen kan være at kuldeanlegget er for lite eller at fordamperen er for liten eller for lite effektiv.

Figur 9 viser temperaturmålinger for den samme tunellen for den første innfrysingsperioden. Av figuren ser man at innfrysingsperioden varer i overkant av ett døgn, men figuren sier ingenting om hvor raskt fisken når ønsket temperatur. Av figuren kan man også se forskjellen i temperaturen før og etter at lufta har passert produktene. Generelt kan man se at lufttemperaturen økte med omtrent $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ i starten av innfrysingsperioden, mens temperaturøkningen på slutten var på under $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det viser at lite varme avgis fra produktene i slutten av innfrysingsperioden.

Måler nr. 1 og 2 er plassert før produktene, og viser forholdsvis lik temperatur. Måler nr. 2 viser litt høyere temperatur og kan skyldes at luften har passert noen produkt før den treffer måleren. Måler nr. 4, 5 og 6 er derimot plassert etter produktene, og man kan se at de viser at temperaturen har steget litt ujevnt gjennom tunellen, noe som kan tyde på ujevn lufthastighet. Måler nr. 4 er plassert øverst på fordamperen, og denne viser den laveste temperaturen av målerne plassert etter produktene. Grunnen til dette kan være at luften som blåses ut av vifta påvirker temperaturen til denne måleren siden det ikke er noen himling. Luften som treffer måleren kan dermed ha passert få produkt før den treffer måleren. Måler nr. 6 viser den høyeste temperaturen, noe som kan indikere at produktene nederst, nærmest fordamperen er de siste som fryser.



Figur 5 Temperaturmålinger fra tunell 2 for fire innfrysingsperioder



Figur 6 Temperaturmålinger fra tunell 2 for en innfrysingsperiode

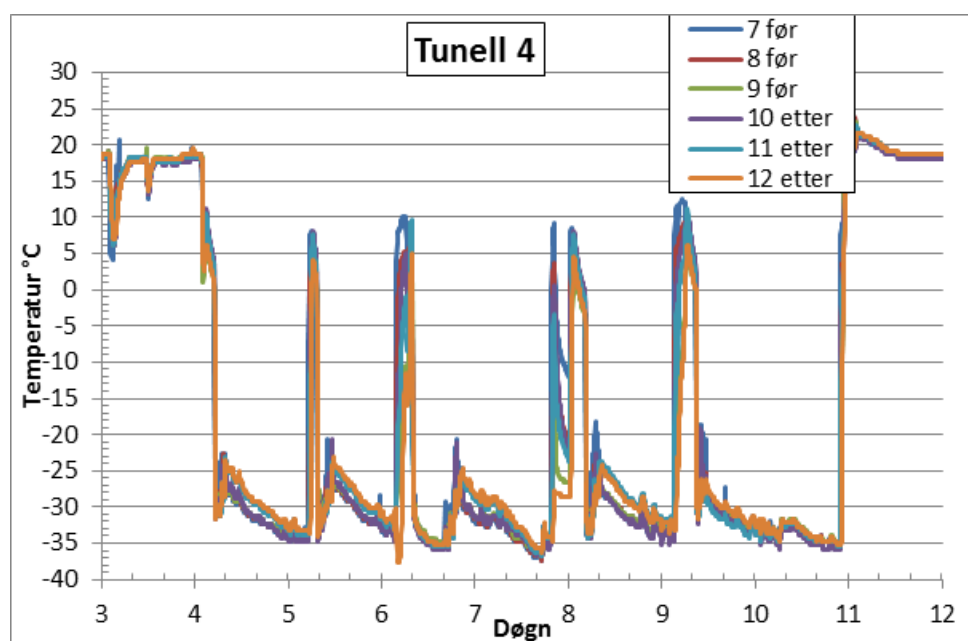
5.2 Tunell 4

I denne tunellen ble det plassert tre målere før og tre målere etter produktene.

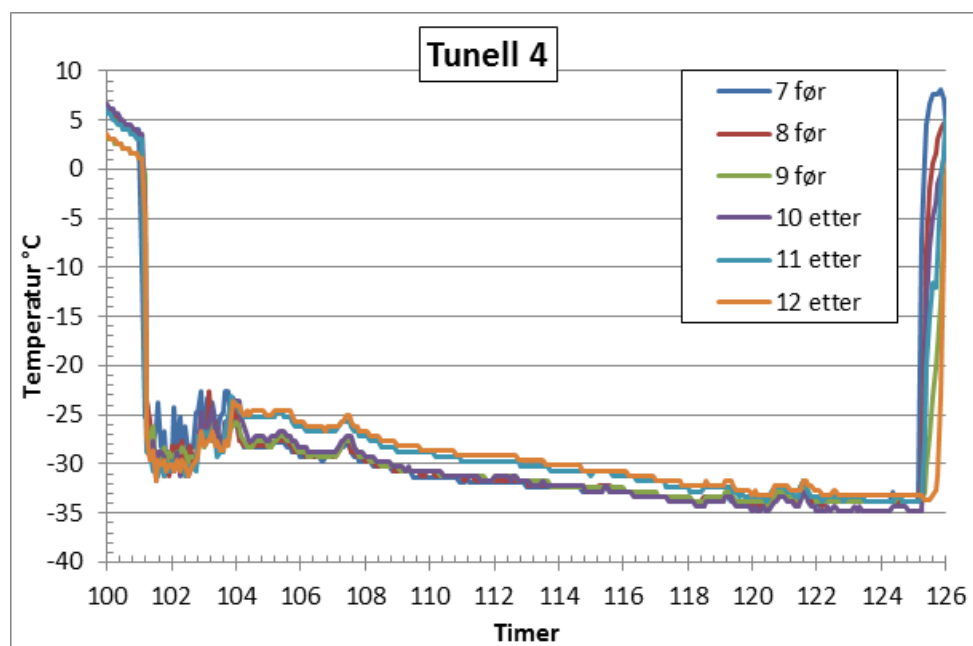
Figur 10 viser temperaturmålinger fra tunell 4, og man kan se at fem innfrysninger er gjennomført i løpet av perioden. Lengden på innfrysingsperiodene varierer noe, men er stort sett omtrent ett døgn. Temperaturen for hver syklus synker raskt i startfasen før man også for denne tunellen ser en liten temperaturøkning. Deretter reduseres temperaturene tilnærmet lineært fra i overkant av -25 °C til omtrent -35 °C . Årsaken til at temperaturen raskt reduseres til i underkant av -30 °C er trolig at kuldeanlegget blir startet før tunellen fylles opp. Når varene er plassert og viftene skrus på, går temperaturen noe opp før den reduseres etterhvert som varene fryses.

Figur 11 viser temperaturmålingene for den første innfrysingsperioden i tunell 4. Perioden varer i omtrent 24 timer fra kuldeanlegget startes til det slås av. I de første timene etter at kuldeanlegget er påslått blir varene plassert i tunellen. Deretter kan man se at selve frysingen av varene varer i omtrent 21 timer. Av figuren kan man se at målerne plassert før produktene viser omtrent samme temperatur, mens for målerne plassert etter produktene er forskjellene relativt store. Måler nr. 10, som er plassert øverst på fordamperen, skiller seg spesielt ut og viser omtrent det samme som målerne plassert før produktene. Dette kan indikere at luften som passerer denne måleren ikke har passert noen produkt, noe som kan skje siden det ikke er himling i tunellen. Helt i slutten av perioden viser denne måleren en lavere temperatur enn målerne plassert før produktene. Måler nr. 11 og 12 er relativt like, men tendensen er at måler 12 viser litt høyere temperatur, dette gjelder imidlertid ikke for innfrysingsperiode nr. 4, se Figur 10.

Forskjellen mellom temperaturen før og etter produktene, dersom man ser bort fra måler nr. 10, er omtrent 3 °C i starten av perioden og under 1 °C i slutten av perioden. Det viser at produktene avgir lite varme i slutten av innfrysingsperioden.



Figur 7 Temperaturmålinger fra tunell 4 for fem innfrysingsperioder



Figur 8 Temperaturmålinger fra tunell 4 for en innfrysingsperiode

5.3 Tunell 7

Figur 12 viser temperaturmålinger fra tunell 7 hvor tre målere var plassert før produktene, tre målere etter produktene, og i tillegg ble det i denne tunellen plassert to målere etter fordamperen. Det er gjennomført fem innfrysninger i løpet av perioden. Lengden på hver innfrysingsperiode varierer noe, men er hovedsakelig omtrent ett døgn. Fra figuren kan man merke seg at for de to første syklusene er temperaturen ved måler nr. 17 og 18 omtrent lik, mens i den tredje syklusen er temperaturen høyest ved måler nr. 18. For de to siste syklusene er derimot temperaturen høyest ved måler nr. 17. Årsaken til denne variasjonen er ukjent. For hver syklus reduseres temperaturen fra omtrent -25°C til omtrent -35°C . Også ved denne tunellen ser man en temperaturøkning i starten av hver periode. Dette kommer trolig av at kuldeanlegget startes før varene er plassert i tunellen. Når varene er på plass, og viftene slås på, øker temperaturen noen grader før den reduseres tilnærmet lineært.

Figur 13 viser temperaturmålinger fra den siste innfrysingsperioden i tunell 7. Perioden varer i omtrent 24 timer, men de første 3 blir trolig brukt til å fylle tunellen. Selve innfrysingen ser ut til å ta omtrent 20 timer. Figuren viser til dels samme resultat som målingene fra tunnel 4. Målerne som er plassert før produktene viser omtrent samme temperatur, mens målerne plassert etter produktene viser en vertikal temperaturforskjell. Måler nr. 16, som er plassert øverst på fordamperen, viser også her omtrent samme temperatur som målerne plassert før produktene, noe som kan indikere at luften ved denne måleren ikke har passert noen produkt.

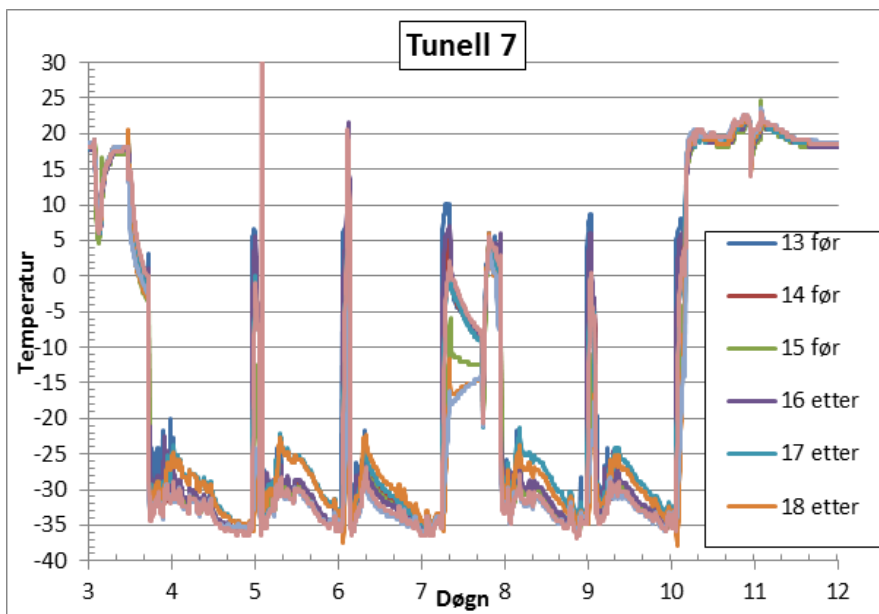
En ting som skiller disse målingene fra de andre er at det ved dette tilfellet er den midterste måleren etter produktene, måler nr. 17, som viser den høyeste temperaturen. Grunnen til dette er vanskelig å forklare.

Temperaturforskjellen mellom før og etter produktene er omtrent 4°C i starten av perioden, og ca 1°C i slutten av perioden. Dette viser at lite varme forlater produktene i slutten av perioden.

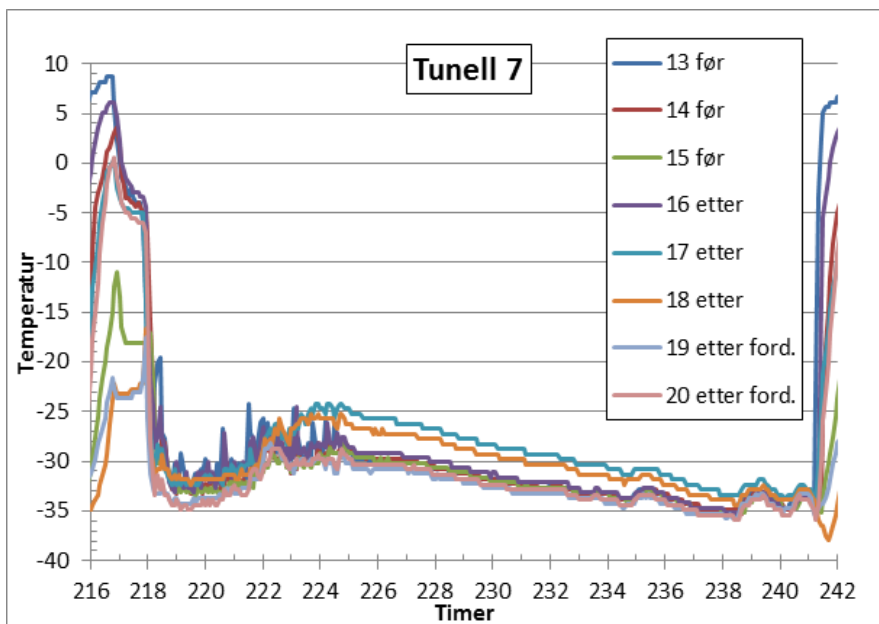
Denne figuren viser også temperaturen etter fordamperen, og ikke overraskende viser disse målerne den laveste temperaturen. Forskjellen mellom dem er liten, men tendensen er at temperaturen ved måler nr. 19,

som er plassert nederst, viser den laveste temperaturen. Dette er det motsatte av det som ble målt på bedrift 1 hvor lufttemperaturen ut av fordampere var lavest øverst. Det kan selvfølgelig ha en sammenheng med at temperaturen inn mot fordampere er lavere nederst. Måler nr. 18 viser lavere temperatur enn måler nr. 17 men dette er ikke tilfellet for innfrysingsperiode nr. 3. Også for denne perioden er lufttemperaturen ut av fordampere lavere nederst, se Figur 12.

Man kan også se en liten forskjell mellom temperaturen etter fordampere og temperaturen før produktene. Grunnen til denne økningen er trolig viftarbeidet. Også denne forskjellen blir mindre mot slutten av perioden, noe som kan ha sammenheng med at noen vifter slås av.



Figur 9 Temperaturmålinger fra tunell 7 for fem innfrysingsperioder



Figur 10 Temperaturmålinger fra tunell 7 for en innfrysingsperiode

5.4 Sammenligning av tunellene

Dersom man sammenligner kurvene for de ulike tunellene, kan man se at temperaturøkningen over produktene er noe større i tunell 7 enn i de to andre tunellene. Det kommer trolig av at tunnel 7 har flere rader med reoler. En større temperaturøkning kan være en indikator på større variasjon i innfrysningstid for produktene.

Det er også litt forskjell på lufttemperaturen i de ulike tunellene. For tunell 2 er temperaturen etter produktene ved starten av innfrysningsperiodene omtrent -20 °C , og denne reduseres til i underkant av -30 °C i løpet av periodene. For de to andre tunellene er temperaturen etter produktene -25 °C i starten av innfrysningsperiodene og reduseres til omtrent -35 °C . Dette kan være årsaken til at innfrysningsperioden i tunell 2 ser ut til å være noe lenger enn for de andre tunellene.

Årsaken til at lufttemperaturen er høyere i tunell 2 kan være høyere temperatur i fordampere grunnet for lav kapasitet til kuldeanlegget, eller for små eller for lite effektive fordampere. Til tross for høyere lufttemperatur er det ikke gitt at innfrysningsperioden blir lenger da høyere temperatur kan kompenseres med høyere lufthastighet. Det er ikke gjort målinger eller beregninger av lufthastigheten i tunellene.

Med tanke på innfrysningstid kan det se ut som tunell 4 og 7 har noe kortere innfrysningstid. Dette kan ikke bestemmes ut av disse grafene, siden man ikke ser hvordan temperaturen i fisken forandrer seg, men det er en antagelse basert på lufttemperaturen og tiden for hver syklus.

Generelt, og spesielt for tunell 7 og 4, viser termometeren som er plassert øverst på fordampere omtrent samme temperatur som målerne plassert før produktene. Dette viser at lufta som passerer denne måleren ikke har tatt til seg varme, noe som tyder på at lufta ikke har passert noen produkt. For å få en jevnere vertikal temperaturfordeling kan det bygges en falsk himling i tunellene. Denne himlingen vil sørge for at all luft må passere produktene, noe som kan gi en jevnere innfrysning.

6 Simulering To-trinns ammoniakkanlegg

Utgangspunktet for simuleringmodellen var en modell som ble laget i et tidligere prosjekt (Walnum, Andresen et al. 2011). Modellen ble oppdatert til den nye *Modelica*-versjonen før den ble tatt i bruk.

Modellen er bygd opp av hovedsakelig tre nivåer:

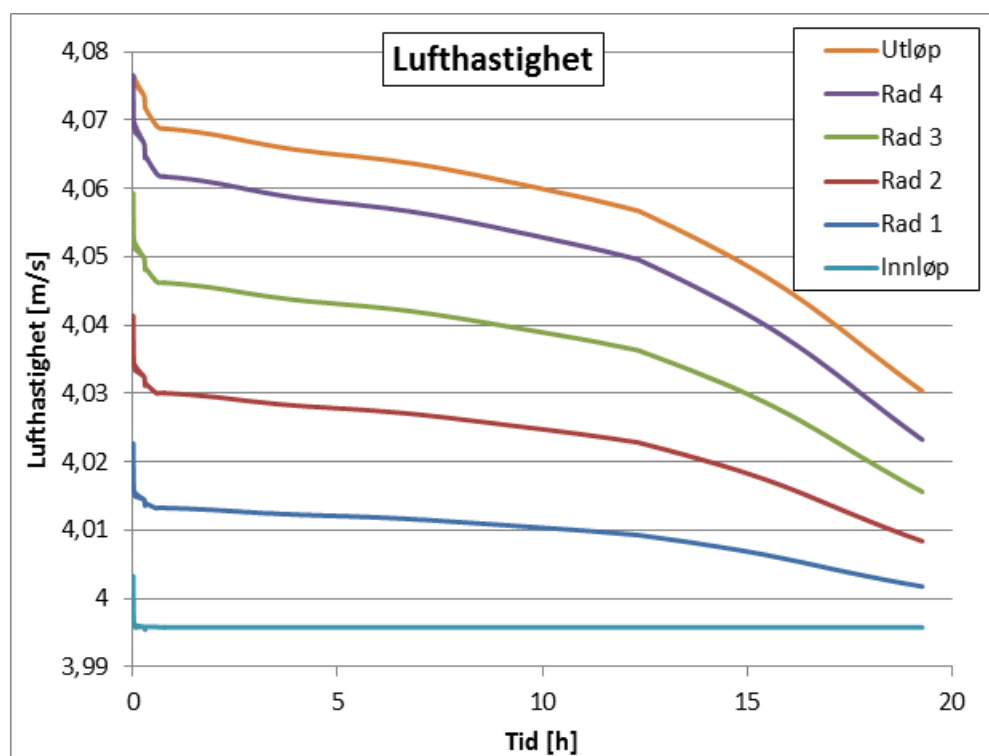
1. Produktet
2. Tunellen
3. Kuldeanlegget

Produktmodellen er ikke endret fra beskrivelsen gitt i (Walnum, Andresen et al. 2011).

Tunellmodellen benytter samme ligningssett som tidligere, men nye dimensjoner er beregnet basert på informasjon fra næringen og alternative reoler som kan benyttes. I tillegg er det lagt til en luftventil slik at det ikke blir undertrykk i tunellen.

Kuldeanlegget har også samme ligningssett, men det er gjort endringer på dimensjoneringen for å tilfredsstille de nye tunellene. Endringene ble gjennomført slik at kuldeanlegget yter slik at 4 rader ganger 14 reoler med 14 hyller med fisk fryses på 19 timer. Dette ble gjort ved å øke størrelsen på kompressorene og fordampere.

Det ble deretter gjennomført simuleringer for to ulike reoltyper og ved ulikt antall rader i tunellen. Simuleringene fokuserte på hvordan lufthastigheten forandret seg gjennom tunellen, og resultatene viste at lufthastigheten økte fra rad til rad som vist i Figur 1. Grunnene til hastighetsøkningen mellom hver rad var at temperaturen økte, noe som førte til lavere tetthet. Årsaken til hastighetsøkningen fra rad 4 til utløpet er et trykkfall som også gir lavere tetthet. Alt trykktapet ble lagt til utløpet av tunellen, og dette hadde liten innvirkning i forhold til temperaturøkningen. Av figuren kan man også se at hastigheten avtar i løpet av innfrysingsperioden, noe som skyldes at temperaturen synker, og tettheten går opp.



Figur 14 Lufthastigheten i tunellen med fire rader

Resultatene viste også at ved å bruke en reoltype med større avstand mellom hyllene ville temperaturøkningen gjennom tunellen, og dermed også lufthastighetsøkningen, være mindre. Dette førte til mindre forskjell i innfrysningstid for første og siste rad ved bruk av en reoltype med større avstand mellom hyllene. Energiforbruket ble imidlertid noe høyere når man økte avstanden mellom hyllene, hovedsakelig på grunn av økt viftearbeid.

Simuleringene av en tunell med fem rader isteden for fire viste at forskjellen mellom reoltypene ble mindre, men fortsatt var energiforbruket størst med stor avstand mellom hyllene. Dette viser imidlertid at ved å øke antall rader ytterligere vil det etter hvert lønne seg å benytte større avstand mellom hyllene.

7 Sammendrag og diskusjon

Næringen har i dag til dels overkapasitet i prosessering og frysing av pelagisk fisk i noen områder og har generelt for lav lønnsomhet. Samtidig har industrien de siste årene gjennomgått store endringer med fokus på bedre markedstilpassing, økt foredlingsgrad (filetering og marinering av sild, utnyttelse av biprodukter til konsum). Selv om mange anlegg har hatt fokus på videreutvikling av anleggene, sliter en fortsatt med utfordringer i innfrysningssystemene hvor en har spesielt problem med å få fisken tilstrekkelig nedfrosset og

raskt nok til å få fylt – frosset – tømt disse i en døgnsyklus. Samtidig viser registreringer at energiforbruket ved anleggene generelt er over 50 % høyere enn målt ved enkelte undersøkelser av tunneler. Forbedringer, eksempelvis ved betydelig økning av kondensatorytelsen har ikke vist noe klar forbedring i effektiviteten. Dette viser stort behov for bedre måle-, registrering og overvåkings metoder som kan vise hvordan en standard eller vanlig ytelse i prosessene skal være, og rapportere avvik fra det normale.

Gjennom besøkene hos anlegg er det avdekket stor variasjon i styring, regulering og overvåkning systemer. De bærer preg av at anleggene har blitt utbygd trinnvis med ulike løsninger for ulike tidsperioder som ikke kommuniserer med hverandre. Det fører ofte til at operatørene får motstridene styringssignaler og alarmer. Det gjør det vanskelig å få til en god styring og lavt energibruk. Her er det mye arbeid å gjøre for å få til en god standardisering som vil gi en større mulighet god styring selv om det gjøres utvidelser.

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

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

Gjennom målinger er det funnet eksempler på ulike tunnelløsninger og vifteplassering. Ved å bruke data fra målingene som utgangspunkt for simuleringer har det blitt vist utfordringene med å finne en optimal løsning. Samspillet mellom fordampnerløsninger, viftevalg og styring er viktig for å finne frem til den beste løsningen

De ulike bedriftene har i utgangspunkt stor sett samme kuldeanlegg, som er to-trinn NH3 anlegg. Imidlertid er det mange forskjeller i rørføringer og fordampnerløsninger. Her er det avdekket mange løsninger som bærer preg av lav investeringsvilje noe som gir mindre gode driftetekniske løsninger.

Referanser

Walnum, H. T., T. Andresen, et al. (2011). "Dynamic simulation of batch freezing tunnels for fish using Modelica." Procedia Food Science 1(0): 698-705.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no