

Rapport

Driftsdata fra eksisterende RSW- og kombianlegg basert på NH₃ og CO₂ i fiskefartøy

Forfattere

Kristina Norne Widell
Yves Ladam



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

Rapport

Driftsdata fra eksisterende RSW- og kombianlegg basert på NH₃ og CO₂ i fiskefartøy

EMNEORD:

Emneord

VERSJON

1.1

DATO

2013-05-07

FORFATTER(E)Kristina Norne Widell
Yves Ladam**OPPDRAGSGIVER(E)**

FHF

OPPDRAGSGIVERS REF.

#900690

PROSJEKTNR

16X998

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

19+ vedlegg

SAMMENDRAG

Fokus i dette prosjekt har vært å vurdere og sammenligne systemer med de naturlige kuldemediene NH₃ og CO₂ i kuldeanlegg på fiskefartøy. Først og fremst i RSW-anlegg (Refrigerated Sea Water), men også i kombianlegg som kan brukes både til RSW og til frysing. En del måledata har blitt innhentet, fra to NH₃-anlegg og et CO₂-anlegg. Mer måledata fra normal drift under fiske hadde vært ønskelig, men dette har vært utfordrende å få tilgang til.

Beregningene fra måledata viser at virkelig drift ofte er mindre energieffektivt enn teoretiske analyser og dimensjonerende tall viser. Det kan forklares med at flere forhold varierer under drift, og mer tap i virkelige systemer enn det som antas i de teoretiske beregningene. Rent termodynamisk har CO₂ et dårligere utgangspunkt enn ammoniakk for bruk i RSW-anlegg, men det industrielle anlegg som er testet viser minst like god effektivitet. Dette kan skyldes at CO₂-anlegget var et demonstrasjonsanlegg hvor det var stort fokus på optimal design og noe mindre på fokus på pris.

UTARBEIDET AV

Kristina Norne Widell

SIGNATUR**KONTROLLERT AV**

Trond Andresen

SIGNATUR**GODKJENT AV**

Petter Røkke

SIGNATUR**RAPPORTNR**

TR A7302

ISBN

978-82-594-3605-4

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Innholdsfortegnelse

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Summary | 3 |
| 2 | Innledning | 3 |
| 2.1 | Bakgrunn | 3 |
| 2.2 | RSW-anlegg og kombianlegg..... | 4 |
| 2.3 | Kartlegging av energiforbruk | 4 |
| 2.4 | Prosjektets omfang og organisering | 4 |
| 3 | Problemstilling og formål | 5 |
| 3.1 | Prosjektets effektmål | 5 |
| 3.2 | Prosjektets resultatmål | 5 |
| 4 | Prosjektgjennomføring | 6 |
| 5 | Resultater | 6 |
| 5.1 | NH ₃ -anlegg Fugløyhav | 6 |
| 5.1.1 | Kuldeanlegget | 6 |
| 5.1.2 | RSW-drift | 6 |
| 5.1.3 | Frys..... | 8 |
| 5.2 | NH ₃ -anlegg MMC | 10 |
| 5.3 | CO ₂ -anlegg Båragutt..... | 11 |
| 5.3.1 | Kuldeanlegget | 11 |
| 5.3.2 | RSW-drift | 11 |
| 5.3.3 | Utvidelse til CO ₂ -kombianlegg: RSW- og innfrysingsanlegg | 15 |
| 6 | Konklusjon og videre arbeid | 18 |
| 7 | Leveranser | 19 |
| 8 | Kvalitetssikring av prosjektgjennomføring og resultater | 19 |
| 9 | Referanser | 19 |

BILAG/VEDLEGG

-
- A1. Presentasjon Norsk kjøleteknisk møte
 - A2. Presentasjon Pelagisk møte
 - A3. Faktaark utdelt på Nor-fishing
 - A4. Liste over RSW-anlegg med naturlige kuldemedier
-

1 Summary

The project's main objective was to analyse fishing vessel refrigeration systems with the natural refrigerants NH_3 and CO_2 . Focus was mainly on RSW (refrigerated sea water) systems, but combined systems, with both RSW and freezing was also considered.

Some measurement data has been collected, from two NH_3 systems and one CO_2 system. More data from actual operation during fishing would have been beneficial, but this proved challenging to acquire. Analysis of the measurement data shows that real operation is often less energy efficient than what is found in theoretical calculations or design specifications.

Using CO_2 in a RSW system is from a thermodynamically point of view less efficient than similar system with NH_3 (Ammonia). However, the CO_2 system that was tested here shows similar or even better efficiency than the other two. An explanation for this could be that the CO_2 -system is a demonstration system, where there has been more focus than usual on high efficiency and optimal design.

2 Innledning

2.1 Bakgrunn

Rask kjøling og frysing av fangsten på fiskefartøy er viktig for å sikre god produktkvalitet. Kuldeanlegget blir derfor en viktig del av fartøyet, men også en stor forbruker av energi. I tillegg til miljøpåvirkning knyttet til elektrisitetsforbruket, kan også kuldemedier i kjøle/fryseanlegg være miljøskadelige når disse over tid lekker ut fra anleggene. Mange fartøy er i dag utrustet med R22-anlegg, der R22 er en HKFK-gass med høyt potensiale for nedbrytning av ozonlaget og en GWP (Global Warming Potential) på 1700 ganger mer enn karbondioksid. På grunn av den negative miljøpåvirkningen er R22 under utfasing, og det blir forbudt å etterfylle anlegg etter 31 des 2014.

Et annet kuldemedium med utstrakt bruk i kuldeanlegg på fartøy er ammoniakk. Dette er et naturlig kuldemedium med minimal effekt på ozonlaget og drivhuseffekt, som også er vanlig i andre typer kuldeanlegg i næringsmiddelindustrien. De termodynamiske egenskapene til ammoniakk er veldig gode, men giftigheten kan skape problemer ved lekkasje. Derfor må man ha nødvendig sikkerhetsutrustning og spesiell opplæring i bruk av dette fluidet. Et alternativt kuldemedium som har fått mer og mer fokus de seneste årene er karbondioksid (CO_2). For mer enn hundre år siden var dette et vanlig kuldemedium, men etter de moderne syntetiske (og skulle det vise seg, miljøskadelige) kuldemediene ble introdusert så gikk man bort ifra CO_2 . Nå er dette kuldemediet igjen aktuelt i flere typer av anlegg. Med ny teknologi og høyere trykk i systemet enn før utnyttet egenskapene til CO_2 i mye større grad, og man oppnår høyere ytelse og effektivitet. SINTEF og NTNU har vært ledende på denne forskningen i mange år.

I et tidligere FHF-prosjekt, *Bruk av CO_2 som kuldemedium i anlegg for nedkjøling av sjøvann (RSW) om bord på fiskefartøy*, bygget og testet man et CO_2 -basert kuldeanlegg på fartøyet *Båragutt*. Dette anlegg har nå blitt testet i drøyt et år med gode resultater. I denne rapporten gis en del driftsdata fra CO_2 -anlegget og fra to NH_3 -anlegg i samme størrelsesorden.

2.2 RSW-anlegg og kombianlegg

RSW står for Refrigerated Sea Water og med slike anlegg kjøler man fangsten med nedkjølt sjøvann ombord på fiskefartøy. På samme måte som med innfrysing er RSW-kjøling ikke en stasjonær prosess. Vanligvis blir sjøvannet i tankene kjølt til ca. -1°C før fisken tas om bord. Fangsten består vanligvis av sild, makrell, lodde eller kolmule. Fisken gir en temperaturøkning av vannet i tankene og dette blir igjen kjølt ned til -1°C av kuldeanlegget.

Flere fartøy har såkalte kombianlegg, der man har mulighet å bruke kuldeanlegget til både frysing og til RSW. På et fartøy har man begrenset med plass og derfor ofte ikke mulighet til å ha to separate systemer. Et kombianlegg er fleksibelt, og muliggjør levering av både kjølte og fryste produkter. Tilgang på råvarer og produktpriser avgjør hva man produserer til en hver tid. Ulempen med kombianlegg er at det store spennet i driftsbetingelser kan resultere i lavere virkningsgrad på kompressoren når den kjøres langt vekk fra designpunkt. Dette medfører et høyere energiforbruk enn i dedikerte anlegg til kjøling eller frysing.

CO_2 er veldig interessant som arbeidsmedium i fryseanlegg, siden det gir kompakte anlegg og mulighet for rask innfrysing. Ammoniakk har en begrensning i temperatur ved -33 grader, under denne temperaturen blir trykket lavere enn 1 bar og dermed under omgivelsestrykk. Man vil helst unngå dette siden det kan medføre at luft og fukt trekkes inn i systemet. Med CO_2 har man ikke slike begrensninger, og fordampningstemperaturer ned til -40°C til -50°C kan brukes for raskere innfrysing.

CO_2 sammen med ammoniakk i kaskadeanlegg har blitt benyttet på større båter, slik som for eksempel på *MS Kvannøy*. Men høyere kostnader og større plassbehov for slike kaskadeanlegg gjør at kombianlegg med CO_2 blir et interessant alternativ, ikke minst på båter med begrenset plass tilgjengelig.

2.3 Kartlegging av energiforbruk

I de siste årene har kjølebransjen blitt mer bevist på kartlegging av energiforbruk. Kuldebedrifter som Kuldeteknisk AS og Norsk Kulde AS leverer anlegg godt instrumentert med måleutstyr og mulighet for logging av driftsdata. CO_2 -anlegget på *MS Båragutt* ble instrumentert med ett slikt loggesystem.

2.4 Prosjektets omfang og organisering

Det er to fartøy som har vært involvert i prosjektet; *MS Båragutt* (CO_2 -anlegg) og *MS Fugløyhav* (NH_3 -anlegg), samt et anlegg på land; MMC's NH_3 -anlegg. Måledata for kuldeanleggenes temperaturer og trykk, kompressorens effektforbruk, sjøvannets temperatur og temperaturer og massestrøm RSW-vann har blitt registrert. Dette har blitt gjort av SINTEF-personale når fartøyene lå til kai, og av personale om bord på fartøyene under seiling. Det er ikke alle måledata som logges automatisk, noen målinger må også registreres manuelt ved jevne intervaller. Det innsamlede materiale tyder på at det har vært for hektisk ute på havet til at noen hatt tid å gjøre de manuelle loggingene, ellers hadde data for flere kjøle- og fryseperioder blitt registrert.

MMC har et RSW-anlegg på land med uvanlig lav fylling av kuldemedium. Måledata fra en testkjøring av dette er inkludert i denne rapporten.

Siden det var begrenset med måledata tilgjengelig har det blitt gjort noen teoretiske beregninger i tillegg. I hovedsak har Coolpack og beregningsmodeller i MS Excel blitt benyttet.

En rekke andre fartøy og kuldebedrifter har blitt kontaktet angående medvirkning i prosjektet. Mange er positive, men mangler riktig loggeutstyr på fartøyene eller tid og mulighet for registrering av måledata. Dessuten er det en del av anleggene som blitt satt i drift først i årsskiftet 2012/2013. En liste over fartøy med RSW-anlegg finnes i vedlegg A4.

3 Problemstilling og formål

3.1 Prosjektets effektmål

Kuldemediet R22 blir totalforbudt fra og med 2015 på grunn av høy ødeleggende effekt på ozonlaget og høy GWP (Global Warming Potential). Dermed tvinges mange innen fiskeribransjen å ta i bruk andre kuldemedier. Andre syntetiske kuldemedier vil fortsatt være mulig å bruke etter 2015, men da disse også har negativ effekt på drivhuseffekten vurderes langsiktig benyttelse av slike medier å være usikker. Det finnes svært gode alternativer av naturlige kuldemedier, med minimal negativ miljøpåvirkning, slik som ammoniakk (utbredt benyttelse i kuldeanlegg i næringsmiddelindustrien) og karbondioksid (ganske nylig introdusert til industrien). Dette prosjekt vil gi noen tall på måledata for forskjellige RSW-anlegg, for å synliggjøre potensiale og erfaringer ved naturlige kuldemedier for bransjen. Fremfor alt er det viktig å vise at RSW-anlegg med CO₂ fungerer godt og effektiv i praksis og er et reelt alternativ til ammoniakk.

RSW-anlegg med CO₂ er spesielt aktuelt for mindre fartøy, siden slike anlegg kan gjøres veldig kompakte. I kombianlegg, der frysing også er et alternativ, kan temperaturen på fordampersiden være mye lavere i CO₂-anlegg enn med NH₃.

3.2 Prosjektets resultatmål

Det har blitt innhentet driftsdata fra to ammoniakkanlegg og ett CO₂-anlegg. For et av ammoniakkanleggene ble også en del måledata fra innfrysning registrert.

Ved inspeksjon av anlegget på Fugløyhav ble det ikke funnet noen direkte mangler i instrumentering, og store mengder data registreres selv om ikke alt lagres. Imidlertid må det legges til at måledata ikke ble logget slik at de ble tilgjengelig for eksterne brukere. En del data ble logget internt, men måledata for kompressoren (for eksempel effekt) ble ikke lagret i det hele tatt. Situasjonen virker å være den samme for andre anlegg også.

En forenklet skisse for et CO₂ kombianlegg blir presentert og prelimnære beregninger vil estimere energiforbruk og plassbehov.

Under Norsk Kjøleteknisk møte i Bodø (mars 2012) presenterte Yves Ladam resultater fra CO₂-anlegget på Båragutt. Presentasjonen ble godt mottatt og med mange spørsmål fra salen. Noen var litt kritiske, men dette må ses som et bidrag til debatten. Presentasjonen finnes som vedlegg A1.

Under fiskerimessen Nor-Fishing i Trondheim (august 2012) ble flere kuldebedrifter kontaktet og et faktaark om prosjektet ble utdelt, se vedlegg A3.

Denne rapporten er siste leveransen i prosjektet.

4 Prosjektgjennomføring

Prosjektet forutsatte i stor grad at personell på fartøyene skulle bistå med å registrere måledata og sende til SINTEF for videre analyse. Ved et tilfelle lå Fugløyhav til kai, og RSW-anlegget ble da testkjørt med personell fra Norsk Kulde AS og SINTEF. Det var ikke mulig for SINTEF-ansatte å bli med ut på havet for registrering av måledata under normal drift, dette måtte overlates til mannskapet om bord. Avtaler om registrering av slike målinger ble gjort med flere båter. Dessverre har dette ikke gått som planlagt, og det ble det ikke registrert måledata fra flere nedkjølingsperioder for ammoniakkanleggene. Forklaringen på dette er troligvis hektiske dager ute på havet. Det har heller ikke vært anledning til flere testkjøringer ved kai.

Slutt dato for prosjektet ble forskjøvet med 2 måneder siden SINTEF i sluttet av 2012 fortsatt manglet en del måledata fra drift under fiske. I februar 2013 hadde det enda ikke vært mulig å oppdrive flere data, og det ble besluttet å levere sluttrapport basert på det grunnlaget som var på plass. Forslag til videre arbeid gis i avsnitt 6.

Fra fartøyet Båragutt finnes det mer måledata. Dette fartøyet har tidligere vært involvert i et FHF-prosjekt (*Bruk av CO₂ som kuldemedium i anlegg for nedkjøling av sjøvann (RSW) om bord på fiskefartøy*) og driften følges opp kontinuerlig også videre.

5 Resultater

I dette kapittel er informasjon og måledata for de forskjellige fartøyene samlet. En del teoretiske beregninger er også gjort. I tillegg er det gjort vurderinger og sammenlikninger av anleggene som de er.

5.1 NH₃-anlegg Fugløyhav

Fugløyhav er bygget av Vaagland Båtbyggeri AS og ble overlevert til Lenangen Fiskeriselskap i 2011. Fartøyet fisker hovedsakelig hvitfisk som torsk, sei og hyse og pelagisk fisk som sild og lodde. Hvitfiskens renses om bord og fryses i platefrysene. Den pelagiske fisken kjøles i RSW-tankene. Sildefisket foregår mellom november og februar.

5.1.1 Kuldeanlegget

Norsk Kulde AS har levert kuldeanlegget som er et kombianlegg, som enten kan brukes til frysing eller til RSW-kjøling. Kapasiteten er på 108 kW ved -37/30°C (frysing) og 440 kW ved -5/30°C (RSW). Kompressoren er en Howden skruekompressor med sleideregulering. I tillegg er kompressorens motor frekvensregulert, hvilket gir god energieffektivitet også ved dellast. Kompressoren har også en superfeed/economizer-port, men denne er ikke i bruk. En economizer kan øke energieffektiviteten, men krever en ekstra tank og ekstra rørføring, noe det ikke er plass til i maskinrommet.

5.1.2 RSW-drift

RSW-anlegget er dimensjonert til å kjøle vannet i tankene til -1°C. Systemet har en settpunkt på -1.5°C som skal hindre sjøvannet å fryse (det starter å fryse ved ca. -2°C). RSW-pumpen er frekvensregulert og kjøres for fullt i starten. Når temperaturen i tankene har nådd riktig temperatur reduseres vannmengden. Dette for å ha mindre sirkulasjon i tankene.

Fartøyet har 6 RSW-tanker på til sammen 298 m³. Dette gir en kapasitet på 270 tonn fisk når alle tanker er fulle. Det ble bemerket at tilgangen på fisk er stor, og det er kjølekapasiteten som setter begrensninger. To av tankene kan alternativt brukes som fryselager, se Figur 1.

Under drift reguleres kompressoren både med sleide og med frekvens, hvilket gir en stabil regulering og bred ytelse, men ikke maksimal energieffektivitet. Sannsynligvis er det likevel ikke mye å spare i energiforbruk med kun frekvensregulering, siden det skulle innebære mindre stabil drift.



Figur 1. RSW-tanker som også kan brukes som fryselager.

Norsk Kulde AS har dimensjonert RSW-anlegget for en fordampertemperatur på -5°C, en kondensatortemperatur på 30 °C og en dimensjonerende kuldeytelse på 440 kW. En teoretisk beregning av COP (Coefficient of Performance) er gjort med programmet *Coolpack* (se kapittel 9, Referanser). Resultatene vises i Tabell 1.

Tabell 1. Teoretisk beregning av RSW-anlegget med programmet *Coolpack*.

| | | |
|------------------------------------|------|-----|
| Fordampertemperatur | -5 | °C |
| Fordampertrykk (absolutt) | 3,5 | bar |
| Kondensatortemperatur | 30 | °C |
| Kondensatortrykk (absolutt) | 11,7 | bar |
| Trykkforhold over kompressor | 3,3 | |
| Isentropisk virkningsgrad (antatt) | 0,8 | |
| Teoretisk COP | 5,3 | |
| COP med motorvirkningsgrad 0.8 | 4,3 | |

Med en antatt isentropisk virkningsgrad i kompressoren på 0,8 og en motorvirkningsgrad på 0,8 får vi en teoretisk COP på 4,3. Hvis isentropisk virkningsgrad og motorvirkningsgrad isteden antas å være 0,7, gir dette en COP på 3,3. Isentropisk virkningsgrad avhenger av bl.a. type kompressor og dens størrelse, men en generell oversikt gis i *Industrial Refrigeration Handbook*, kap 5 (Stoecker, -98).

Hvis fordampertemperaturen går ned med 2°C eller hvis kondensatortemperaturen går opp med 2°C reduseres COP med 6-7 %. Fordampningstemperaturen kan holdes noenlunde rundt -5°C, men kondensatortemperaturen påvirkes mer av omgivelsene. Kondensatoren er kjølt med sjøvann og temperaturen på dette varierer med sesong og sted. Som kaldest er den 1,5°C og som varmest 12°C.

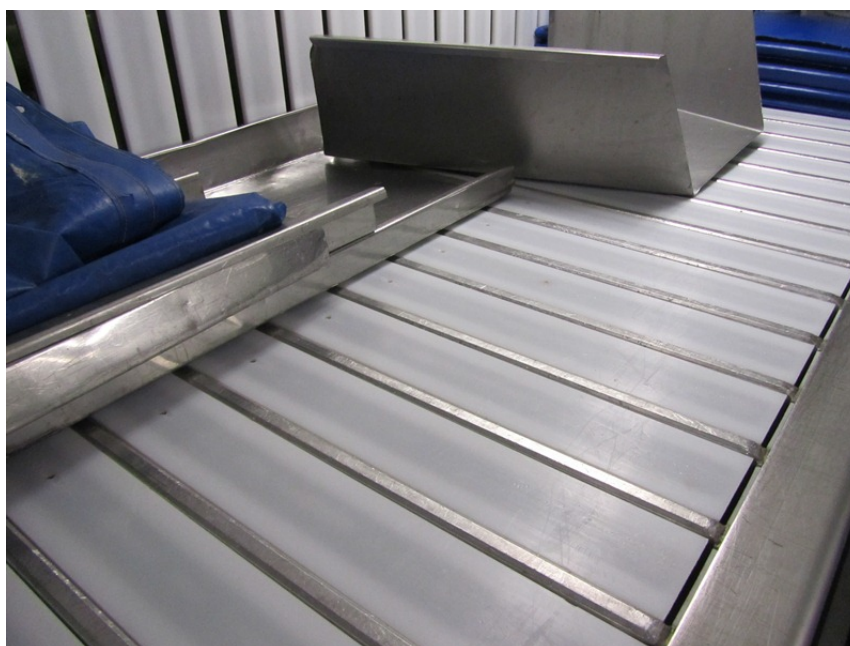
Fugløyhav lå til kai i Tromsø i midten av mai 2012 og en testkjøring av RSW-anlegget ble da foretatt av Norsk Kulde AS. Det var ikke noen fisk i tankene. Det tok lang tid å få systemet til å kjøre stabilt og det ble derfor ikke kjørt til temperaturen i tankene var -1°C, som hadde vært ønskelig.

Kompressoreffekten blev målt til mellom 57 kW og 74 kW når RSW-vannet blev kjølt fra 4,3°C til 3,3°C. Med en beregnet kuldeytelse ut fra massestrøm, C_p og temperaturdifferanse på vannet gav dette en COP på mellom 3,3 og 3,7. Temperaturen på kjølevannet inn på kondensatoren var da 6,1°C. Kondensatortrykket var 8,3 bar (absolutt), hvilket tilsvarer en temperatur på 19°C, og fordampertemperaturen lå på -5°C.

Det er utfordrende å si noe om systemet når det foreligger så begrenset med måledata. Den teoretiske betraktningen gir en høyere COP selv om kondensatortemperaturer der er høyere. Beregningen tar ikke hensyn til andre tap i RSW-systemet enn i kompressoren og i motoren.

5.1.3 Frys

Når det er hvitfisk som fanges så går den først til rensing og filetering i et anlegg om bord. Deretter fryses den i platefrysere, se Figur 2. Fartøyet har to platefrysere som hver kan ta 800 kg fisk. Filetene er i platefrysene i omtrent 3,5 h før de flyttes til fryselagret. Normalt fryses ca. 80 tonn fisk per tur og maksimal mengde er 110 tonn.



Figur 2. Platefrysere (ikke i bruk - stengt med plastplater).

En lignende teoretisk beregning som gjort for RSW-anlegget vises i Tabell 2 for frys. Isentropisk virkningsgrad er her antatt å være 0,6. Dette er lavere enn for RSW-drift siden trykkforholdet over kompressoren er betraktelig større (Stoecker, -98). Hvis isentropisk virkningsgrad antas å være 0,5 og motorvirkningsgrad 0,7 får man en COP på 0,9.

Hvis man ut fra tallene i Tabell 2 minsker fordampertemperaturen med 2°C eller øker kondensatortemperaturen med 2°C får man en reduksjon i beregnet COP med 4%. Som for RSW-anlegget er kondensatortemperaturen mer varierende over året og dermed mer utslagsgivende for COP og energibruken.

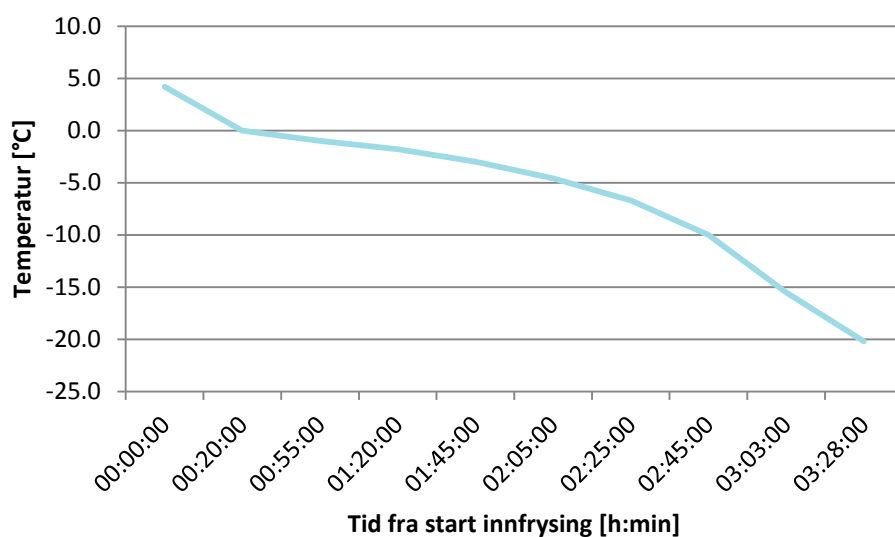
Tabell 2. Teoretisk beregning av fryseanlegget med programmet *Coolpack*.

| | | |
|------------------------------------|------|-----|
| Fordampertemperatur | -37 | °C |
| Fordampertrykk (absolutt) | 0,8 | bar |
| Kondensatortemperatur | 30 | °C |
| Kondensatortrykk (absolutt) | 11,7 | bar |
| Trykkforhold over kompressor | 13,9 | |
| Isentropisk virkningsgrad (antatt) | 0,6 | |
| Teoretisk COP | 1,6 | |
| COP med motorvirkningsgrad 0,8 | 1,3 | |

Kuldeanlegget er koblet til to platefrysere og til fryselageret. Under en innfrysing i juli 2012 ble fiskens temperatur og data for kuldeanlegget avlest. Fangsten bestod av hyse. Måledata for kun en innfrysing ble avlest, så dette gir mest en indikasjon på hvordan systemet kjøres.

Kompressorens effekt var på mellom 46 og 50 kW under større deler av innfrysningen. Temperaturen i fordamper var da mellom -26°C og -31°C og vannet inn på kondensatoren var mellom 3,9°C og 5,1°C. Kondensatortrykket var mellom 5,9 og 6,8 bar (absolutt), hvilket tilsvarer en temperatur på cirka 10°C. Temperaturen i fryselagret var -23°C.

Temperaturen på fisken i den ene platefryseren startet på 4,2°C og ble målt til -20,2°C etter 3,5 h. Fryseforløpet vises i Figur 3. Dette er et vanlig forløp for innfrysing av matvarer, der man observerer en utflating av nedkjølingskurven rundt fiskens startfrysepunkt (ca. -2°C). Litt høyere eller lavere starttemperatur på fisken har en mindre betydning for frysetiden. En teoretisk beregning av frysetiden gir 3,5 h hvis fisken fryses fra 4°C til -20°C. Hvis starttemperaturen varieres men alle andre parametere er likt blir frysetiden 3,4 h ved 0°C og 3,6 h ved 8°C. Det vill si 3% endring i frysetiden ved 4°C høyere eller lavere starttemperatur.



Figur 3. Fryseforløp for fisken i en platefryser.

Hvis man antar at dette forløpet er gjeldende for begge platefrysene kan man beregne et kuldebehov:

$$Q_0 = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Med en C_p for fisken på 3,75 kJ/kgK over frysepunktet og 2,14 kJ/kgK under frysepunktet blir kuldebehovet for en innfrysing i en platefryser (800 kg) 50 MJ, hvilket gir en effekt på 4 kW per platefryser. Med to platefrysere og ett antatt tap på 10% (til omgivelsene) får man et kuldebehov på 8,8 kW. Fartøyet har også et fryselager på 245 m³. Med et antatt kuldebehov på 30W/m³ gir dette et kuldebehov på 7,4 kW. Basert på kuldebehovsberegningene og den målte snittverdien for kompressormotoren får man en COP på 0,34. Dette er betydelig mindre enn den teoretisk beregnede COP'en. Med logging av flere data på fordampner i fryselagret hadde det kanskje vært mulig å finne et mer nøyaktig kuldebehov, men konklusjonen hadde sannsynligvis vært den samme. Kuldeanlegget er ikke bygget for å drives med så lav fordampningstemperatur og derfor får man også veldig lav COP og høyt energiforbruk. Alternativet er å ha et mer avansert anlegg, men som kanskje også tar større plass.

5.2 NH₃-anlegg MMC

MMC Kulde AS er en annen kuldebedrift som ble kontaktet i forbindelse med dette prosjektet. De hadde ikke noe aktuelt fartøy med ammoniakk-RSW-anlegg, men hadde et testanlegg på land. Dette anlegget inneholder kun 25 kg ammoniakk, som er en uvanlig liten fylling. Normalt inneholder et slikt anlegg 250 kg ammoniakk. Fordampningstemperaturen skal være på -5°C, RSW-tankene skal ha 0°C og kompressoren et strømforbruk på 48 kW. Kuldeytelsen er da 250 kW og COP blir 5,2.

Dette anlegget ble testkjørt i september 2012. Fortsatt stod anlegget på land, så kun vann ble nedkjølt, ingen produkter. Effekten på kompressoren var mellom 75 kW og 84 kW og kuldeytelsen var mellom 240 og 320 kW. Fordampertemperatur var mellom 2,8°C og -2,4°C, temperaturen på kondensatoren mellom 35°C og 38°C og temperatur på vannet inn på kondensatoren var mellom 25°C og 29°C. Dette er unormalt høyt og kun på grunn av at anlegget er stasjonert på land. Massestrømmen var 173 m³/h. Basert på disse tallene får man en COP på mellom 3,0 og 4,3.

Dette anlegget ble senere installert på *MS Senjaland*, en 70 fots kystfiskebåt og systemet rapporteres å fungere bra og som forventet.

Mengden ammoniakk om bord på et fartøy har stor betydelse for sikkerheten. Denne typen anlegg kan derfor være aktuelt å installere i mindre fartøy.

5.3 CO₂-anlegg Båragutt

Det første RSW-anlegg med CO₂ som kuldemedium for fiskefartøy ble bygget og installert på fartøyet *MS Båragutt*. Anleggets dimensjonering var et tidligere FHF-prosjekt, *Bruk av CO₂ som kuldemedium i anlegg for nedkjøling av sjøvann (RSW) om bord på fiskefartøy*. Anlegget er beskrevet i detalj i sluttrapporten fra dette prosjektet. I løpet av 2012-2013 har båten hovedsakelig fisket i det kalde vannet utenfor kysten av Nord-Norge, og da fungerer anlegget ganske likt andre anlegg med konvensjonelle kuldemedier. Varmen fra sjøvann og fangsten tas ut i fordampere og dumpes i en sjøvannskjølt kondensator gjennom kondensering av kuldemedium.

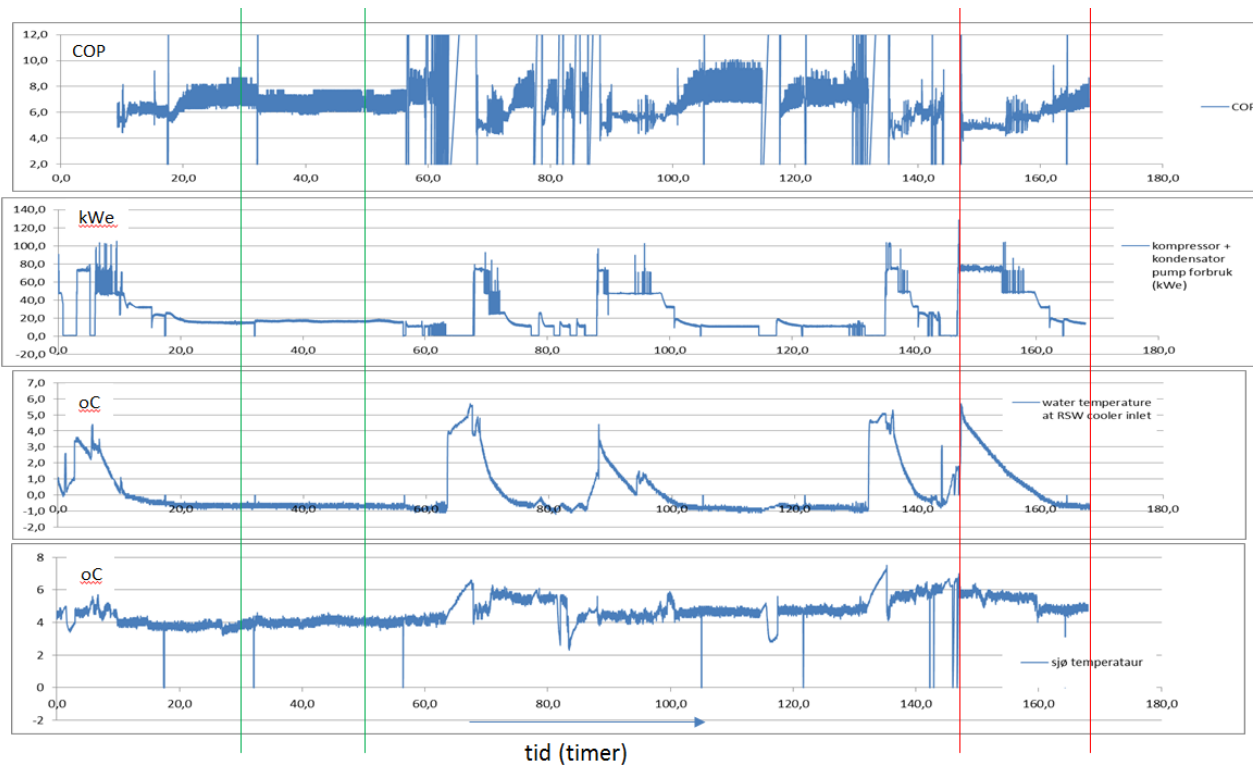
Båten har 6 tanker i størrelse fra 76 til 94 m³. Et annet RSW-anlegg er installert ombord og brukes for å øke kjølekapasitet ved starten av nedkjølingen, når tanken og fangsten er varm. Normal rutine er å forkjøre en eller to tanker med bare sjøvann, før fangsten tas inn. Dette gir en effektiv og hurtig nedkjøling av fangsten når den lastes inn, uten å overbelaste RSW-anlegget. Deretter blir fangsten kjølt kun ved hjelp av CO₂-anlegget. Normal fangst varierer fra 50 til 300 tonn. Avhengig av fangststørrelse, blir en eller flere tanker fylt.

5.3.1 Kuldeanlegget

Kuldeanlegget har 4 stempelkompressorer, hvorav en er frekvensstyrt. Signatur til on/off drift av kompressorer merkes veldig tydelig på tidsserie for kompressor-energiforbruk. Energiforbruk går ned stegvis når en kompressor tas ut. RSW-anlegget opererer med to settpunkt: fordampingstemperaturen skal ikke gå under -5°C (pluss noe slingringsmonn for on/off kompressorer) for å unngå frysing av vann i RSW-kjøler. Av samme grunn er vanntemperatur ut av RSW-kjøleren begrenset til -1,1°C. Disse settpunkter er valgt av maskinisten om bord, og de kunne godt være valgt noe lavere, men mottaksanlegget ønsket seg fangsten ved -1°C.

5.3.2 RSW-drift

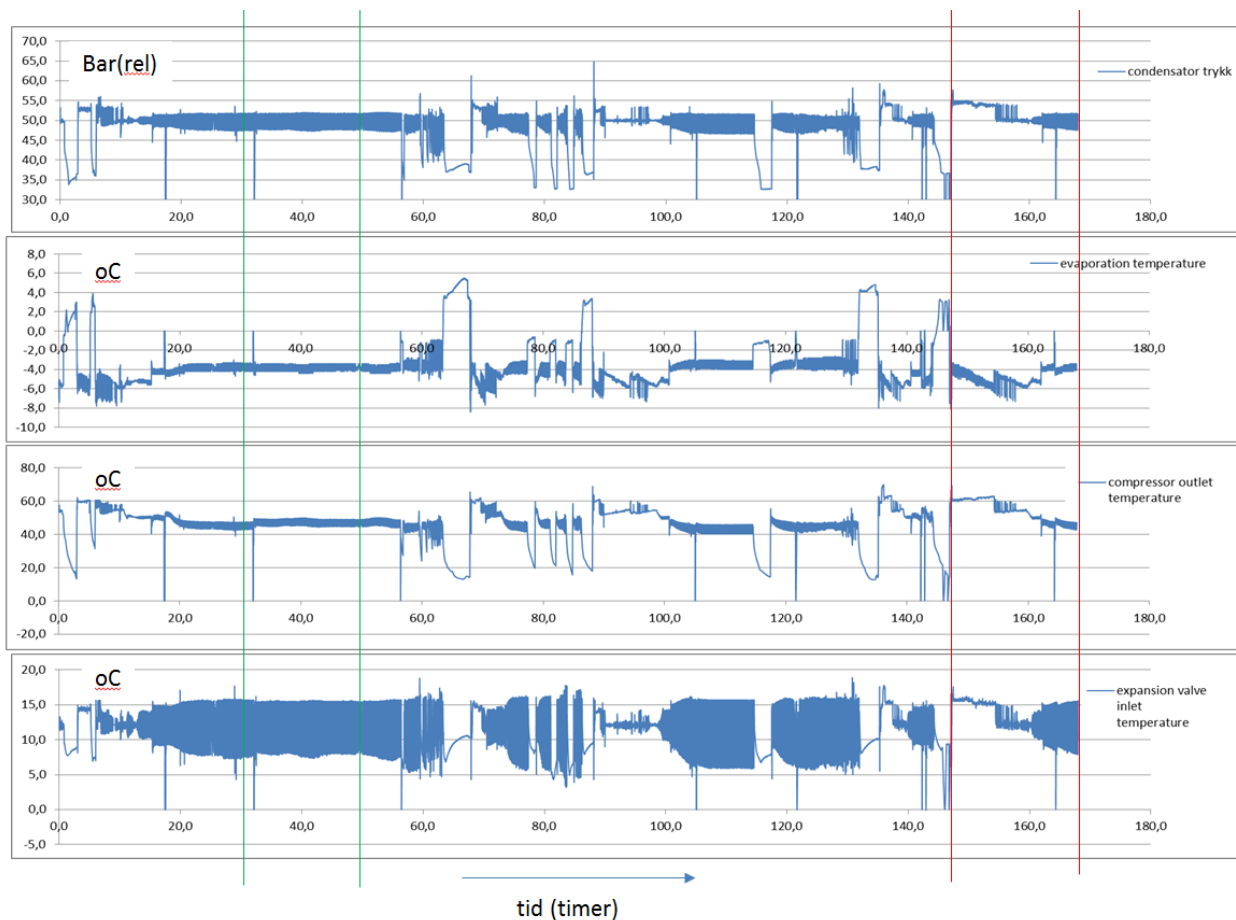
Figur 4 presenterer driftsdata ved sildefiske i januar 2013. Fartøyet opererte da utenfor kysten mellom Senja og Kvaløya. Tidsserien viser 5 nedkjøling av tankene. Sannsynligvis alternerer det mellom nedkjøling av kun sjøvann og kjøling av fangsten.



Figur 4. Driftsdata sildefiske 08-15/01/2013. Inkluderte parametere er COP (etter trykk- og temperaturmålinger på CO₂-siden), effektforbruk for kompressor og kondensatorpumpe, tanktemperatur og sjøvannstemperatur.

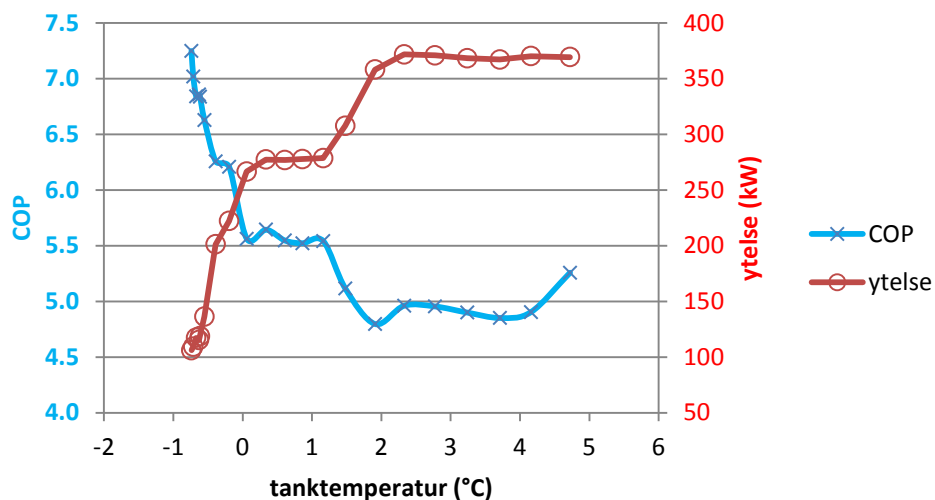
Tidsperioden (145-170 timer) mellom de røde linjene er et godt eksempel av fangstens nedkjøling. Ved start av nedkjøling, er fangsten ved 4-6°C og når 3 kompressorer settes i gang går fordampningstemperatur ned veldig raskt. Opp til 3 kompressorer kan settes i drift uten at fordampningstemperaturen faller under -5°C. Det var ikke mulig å kjøre alle kompressorer stabilt med så kaldsjøtemperatur. Det må påpekes at den fjerde kompressoren var opprinnelig tenkt som reserve og derfor er varmevekslere er ikke dimensjonert for å fungere med 4 kompressorer. Når fangsten blir kaldere trinnes kompressorene ned, først for å holde fordampningstemperatur til -5°C, senere for å begrense vann temperatur ut RSW kjøler til -1,1°C (da går fordampningstemperatur opp ettersom kapasiteten reduseres). Bruk av flere stempelkompressorer sikrer en energieffektiv drift gjennom hele nedkjølingsforløpet. COP er estimert over 4,5. Det bemerkes at sjøvannet var kaldt (4-6°C), noe som tillater relativt lavt kondenseringstrykk: stort sett rundt 50 bar (15°C, settpunkt). I begynnelsen av nedkjølingen klarte kondensatorpumpen ikke å holde kondenseringstrykk ved 50 bar fordi belastning av kondensatoren ble for stor med CO₂ strømmen fra 3 kompressorer. Dette er som forventet, da kondensatorpumpen er litt underdimensjonert (ca 20%) for kondensatoren. COP ved starten av nedkjølingen har dermed potensiale for forbedring.

Ved slutten av nedkjølingen (for eksempel i perioden mellom de grønne linjer), går kun den ene, frekvensstyrte kompressoren på minimum kapasitet. I denne del av driften reguleres kondenseringstrykk til 50 bar med kondensatorpumpen. Ideen er å sikre nok varme i sugass-varmeveksleren for å gi omtrent 10°C overhetning ved kompressorinnløp for å beskytte mot væskeslag. Det har fungert godt, og anlegget har fungert fint til og med i grov sjø. Men akkurat valg av reguleringsparameter var kanskje ikke optimal; man observerer stor pulsering på temperaturen ved ekspansjonsventil. Dette har uansett ikke noe merkbar effekt på driften; COP er høy.



Figur 5. Driftsdata sildefiske 08-15/01/2013. Inkluderte parametere er kondensatortrykk, fordampningstemperatur, utløpstemperatur kompressor og temperatur før ekspansjonsventil.

Måling av vanngjennomstrømming viste seg dessverre ikke å være pålitelig. Kjølekapasitet estimeres fra COP (beregnet fra temperatur- og trykkmålinger på CO₂ kretsen) multiplisert med kompressorens elektriske forbruk. Figur 6 viser COP og kjølekapasitet ved nedkjølingen periode 145-170 timer. Data logging bruker ikke konstant loggefrekvens, i stedet lagres et nytt datapunkt hver gang det skjer en endring. Det gjør analyse mer kompliserte, her presenteres parametere som er gjennomsnitt over en time for hvert punkt. Maks kjølekapasitet er 370 kW (tre kompressorer). Anlegget leverer litt over 250 kW ved 0°C i tanken, som var salgsspesifikasjonen.

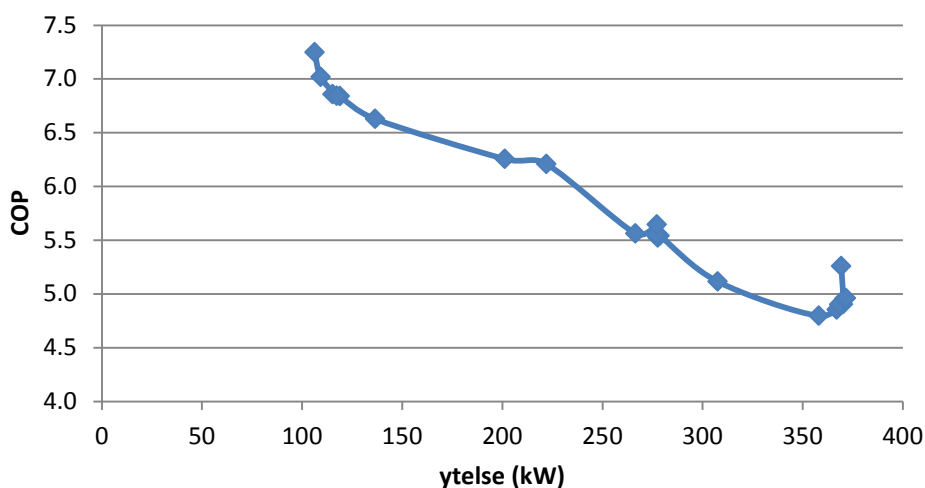


Figur 6. Profil av COP og kjølekapasitet ved tanknedkjøling (periode 145-170 timer). Hvert punkt er gjennomsnitt over en time.

COP er tydelig redusert ved stor kjølekapasitet, den varierer fra 7 ved minimal last til 5 ved maks kjølekapasitet på 370 kW. Det forklares av to effekter:

- Ved høy last klarer ikke kondensatorpumpen til å holde et kondenseringstrykk på 50 bar
- Ved lav last, kompressor kapasitet er regulert etter vann utløpstemperatur, og ettersom kapasitet reduseres går fordampningstemperatur opp

Kombinasjon av lav kondenseringstemperatur og høy fordampningstemperatur gir maksimal COP.



Figur 7: COP som funksjon av kjølekapasitet.

I 2013 ble 1322 tonn sild fisket i løpet av 4 turer og totalt energiforbruk for CO₂ RSW-anlegget var 6166 kWh. Dessverre var energiforbruket til det andre RSW-anlegget ikke målt. Et konservativt estimat er at halvparten av fangsten var nedkjølt med CO₂ anlegget (i praksis var R22-anlegg betydelig mindre brukt). Da

var energiforbruk i underkant av 9 kWh/tonn fisk. Kombinasjon av kald sjø og nærhet til fiskefelt gir svært energieffektiv matproduksjon.

5.3.3 Utvidelse til CO₂-kombianlegg: RSW- og innfrysingsanlegg

Det første fullskala CO₂ RSW-anlegget om bord på et fiskefartøy har vært en suksess. Teknologien er grundig testet og er et attraktivt alternativ for kystflåten, hvor bruk av ammoniakk i visse tilfeller er problematisk.

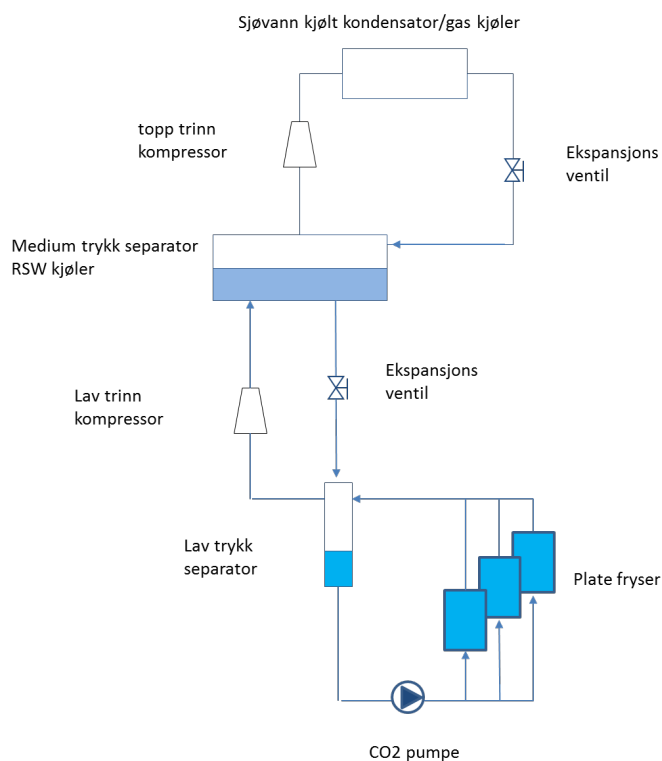
Det er naturlig å vurdere utvidelse til innfrysingsanlegg. For den anvendelse har ammoniakkanlegg to utfordringer:

- Ved temperaturer under -33°C blir fordampningstrykket på ammoniakken under-atmosfærisk, hvilket gir økt risiko for at luft (med vanddamp) kommer inn i anlegget. Dette gir et økt trykk men lavere ytelse i kondensatoren, og risiko for innvendig korrosjon i systemet.
- På grunn av lav gasstetthet blir komponentene store. Blant annet det er nødvendig med en stor væsketank. For eksempel trengs en tank på 3 m³ for et kombianlegg på 400 kW RSW og 100 kW frys. Fiskefartøy har som regel ikke overskudd av plass. Plassering av disse store komponenter er bestandig utfordrende

Innfrysning med CO₂ i kaskadeanlegg (med ammoniakk i topptrinnet) har vist veldig gode resultater. Fordampningstemperaturen kan holdes betydelig lavere enn med et rent ammoniakkanlegg, hvilket gir kortere innfrysningstid og høyere produksjonskapasitet.

Det ble utført preliminær dimensjonering av et helt CO₂ innfrysingsanlegg. Analysen er basert på eksisterende vertikal platefrysere levert av DSI (Danmark). Kapasitet for produksjon av 20 tonn /24t kan tilfredsstilles med 3 platefrysere med 20 plater hver (528 x 530 x 100 mm blokker). Nødvendig frysekapasitet er 110 kW ved -50°C.

En veldig attraktiv systemløsning (Figur 8) er et såkalt boosteropplegg som er mye brukt i kuldeanlegg for supermarked. Det er et tottrinns anlegg, med mulighet til å ha kjøle- og frysekapasitet samtidig med god COP for begge (i motsetning til kombidrift med en enkel skrue kompressor, hvor kjøle-COP reduseres til fryse-COP, det vil si ca halvert).



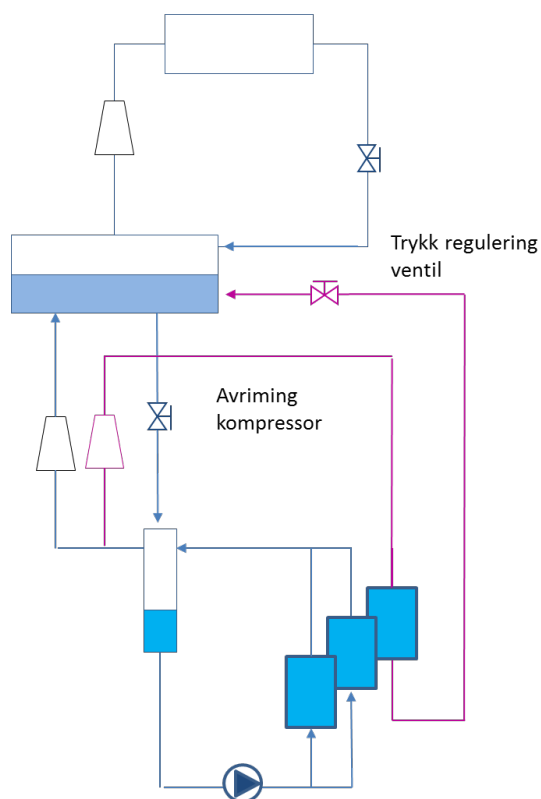
Figur 8. Prinsippskisse for et innfrysingsanlegg med CO₂.

En klassisk pumpesirkulert krets betjener plate fryserne. Grunnfoss leverer nå CO₂ pumper for bruk ved -50°C som tåler 60 bar (viktig ved stand-still).

Gassen komprimeres til omtrent 26 bar, en 26 bar akkumulator kan fungere som economiser, gassen kjøles ned før neste trinn komprimering til varme avgivelse i sjøvannskjølt kondensator. Denne akkumulatoren kan også kombineres med RSW kjøler slik at kombidrift blir mulig.

110 kW frys kapasitet ved -50°C kan med CO₂ leveres med cirka 140 m³/h kompressor slagvolum. For samme kapasitet med ammoniakk ved -40°C ville det være nødvendig med 580 m³/h.

Et viktig moment for styring av slike anlegg er avriming av plate fryserne. Samme opplegg som med kaskadeanlegg kan bli valgt: en fryse-kompressor brukes til å komprimere gassen til 50 bar (15°C) i den platefryser som skal avrimes. Når denne kompressoren kjøres i avriming modus, faller mengde gass som topp trinn skal komprimere raskt, og hurtig regulering skal til for å holde akkumulatortrykk under kontroll.



Figur 9. Prinsippskisse for avriming i et CO₂-innfrysninganlegg.

For å gå over til ren RSW drift med maksimal kapasitet må fylling til platefrysere (100 l/plate fryser) flyttes over til akkumulator/RSW kjøler) og frysekompressorer må kobles om i parallell med topptrekk-kompressorer. Da slipper man å benytte en stor ammoniakk væsketank (3 m³ for samme kapasitet).

Preliminær beregning viser til god COP på 5-7 (dokumentert) for RSW og 1,7 for frys drift (15 bar kondenseringstrykk). Ettersom fremdriften er den mest energiintensive del av driften, vil en 25%-økning av produksjonskapasitet per tur vil gi betydelig energibesparelse. Et 110 kW fryseanlegg vil kunne konverteres til 500 kW i RSW modus.

6 Konklusjon og videre arbeid

Ammoniakkanlegget på Fugløyhav hadde en COP i snitt på 3,5 under drift når det lå til kai. Temperaturen på kjølevannet inn på kondensatoren var da 6,1°C. Ytelsen er dimensjonert til å være 440 kW for RSW-drift. Teoretisk COP er funnet til å være 4,3 ved en isentropisk virkningsgrad i kompressoren på 0,8 og en motorvirkningsgrad på 0,8.

MMC's ammoniakkanlegg som var på land hadde en dimensjonert kuldeytelse på 250 kW og dimensjonert COP på 5,2. Testkjøringen viste en ytelse på ca. 290 kW, hvilket gav en COP på rundt 3,6. Temperatur på kjølevannet til kondensatoren var da ca. 27°C, hvilket er betydelig høyere enn ved normal drift ute på havet.

Resultatene fra måledata og beregninger viser at målt COP er lavere enn både teoretisk og dimensjonert COP. Dette er naturlig av flere årsaker. I de teoretiske beregningene er det ikke tatt med alle tap i systemet, men det gir en antydning om hva som er mulig å oppnå. Dimensjonert COP er gjerne oppgitt for svært spesifikke forhold, men det er naturligvis ofte systemet kjøres under andre forhold også. Et eksempel på dette er at kondensatortemperaturen varierer på grunn av temperaturvariasjoner i sjøvannet over året.

For CO₂-anlegget ble det målt COP mellom 4,5 og 7 for innløpstemperatur i kondensatoren mellom 4 til 6°C. Denne høye effektiviteten sammenliknet med ammoniakkanlegg kan sannsynligvis forklares med at dette var et demonstrasjons anlegg. Det ble brukt utvidede ressurser på optimal dimensjonering av anlegget, og det var noe mindre fokus på pris. En teknisk forskjell er bruk av flere stempelkompressorer, som gir bedre tilpasning til varierende last. Stempelkompressor er en god løsning for CO₂-anlegg ettersom de er veldig kompakte.

En teoretisk beregning av frysetiden i platefrysere gir 3,5 h når fisken fryses fra 4°C til -20°C. Hvis starttemperaturen varieres men alle andre parametere er like blir frysetiden 3,4 h ved 0°C og 3,6 h ved 8°C. Det vill si 3% endring i frysetiden ved 4°C høyere eller lavere starttemperatur. Starttemperaturen på fisken har altså ikke så stor betydning for frysetiden. COP ble estimert til 0,34, som er lavt. Forklaringen antas å ligge i at anlegget ble kjørt ved betydelig lavere fordampningstrykk enn dimensjonert. Det viser at maksimal produksjonskapasitet er flaskehalsen på denne type båt. Man er villig til å betale for økt produksjon med et større energiforbruk.

Preliminær undersøkelse av et helt CO₂ innfrysingsanlegg viser lovende resultater: bruk av CO₂ gir potensielt en kapasitetsøkning på 25% for samme system-fotavtrykk, og anlegget blir kompakt og energi-effektivt. En slik løsning vil være attraktiv for bransjen (Roaldnes, Båragutt).

Bransjen virker positiv til denne typen av analyser av kuldeanleggene, men har åpenbart begrenset kapasitet til å bidra med måledata fra drift ute på havet. Et alternativ til å manuelt registrere måledata (som var eneste mulighet på de aktuelle fartøyene) er mer automatisk logging (og lagring) av måledata. Dette gjøres i viss grad allerede, men loggingen er ikke alltid komplett og dessuten ikke tilgjengelig på en enkel måte. En mulighet er å ha et felles system for dette, men dette må undersøkes videre. En annen mulighet er å installere noen loggere som er med på fartøyet en begrenset periode og som enten sender måledata kontinuerlig eller der måledata kan lastes ut etter at loggerne er innhentet. Det finnes andre, mer avanserte systemer som sender måledata til f.eks. en internettside, men det krever ekstra investering og oppfølging.

Ut fra måledataene og resultatene fra MMC's testanlegg ser man at en mulig løsning på en del av sikkerhetsproblemene rundt NH₃ er å redusere fyllingen av kuldemedium. I dette anlegget har man fått en kuldeytelse på 250 kW med bare 25 kg NH₃, mot 250 kg som er vanlig i denne typen anlegg.

7 Leveranser

1. Presentasjon under Norsk kjøleteknisk møte (se vedlegg A1), dato: 22-23 mars 2012.
2. Presentasjon under Pelagisk samling (se vedlegg A2), dato: 12 april 2012
3. Faktaark Nor-Fishing (se vedlegg A3), dato: 15 aug 2012.
4. Sluttrapport, dato: 28 feb 2013 (utsatt fra 31 des 2012).

8 Kvalitetssikring av prosjektgjennomføring og resultater

Prosjektets kvalitetssikring er basert på SINTEF konsernets kvalitetssikringssystem som beskrevet i SINTEF konsernets styringssystem.

Faglig kvalitetssikring gjennom prosjektgruppa: Yves Ladam og Kristina N. Widell

Korrekturlesing: Elisabeth Søgne

Overordnet kvalitetssikring: forskningsleder Trond Andresen og forskningssjef Petter Røkke

9 Referanser

Coolpack, <http://www.ipu.dk/English/IPU-Manufacturing/Refrigeration-and-energy-technology/Downloads/CoolPack.aspx>, sitert 28.02.2013.

Stoecker, W.F. Industrial Refrigeration Handbook. Mc Graw Hill. ISBN 0-07-061623-X. 1998.

P. S. Nielsen and T. Lund. Introducing a new ammonia/CO₂ cascade concept for large fishing vessels. IIAR ammonia refrigeration conference Albuquerque, New Mexico, 2003.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no

Vedlegg A1: Presentasjon under Norsk kjøleteknisk møte, dato: 22-23 mars 2012

250kW RSW CO2 om bord på fiskfartøy

Design og analyse

Slutt kunde



Finansierer design

Prosjektering bygging
service

Yves Ladam

*Forsker, Sintef Energy Forskning
Utviklingsleder, Kuldeteknisk AS*

OUTLINE

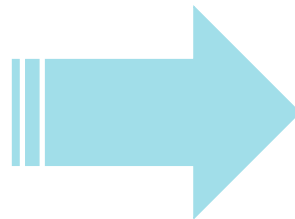
- Motivasjon
- RSW, prinsip, utfordringer
- CO2 demo anlegg
- Drift data lodde fisk

motivasjon

- Ikke giftig, ikke brennbar erstatning for R22 (forbudt fra 2015)
- Miljøvennlig teknologi, ingen risiko for produktforurensing
- Kompakt og effektiv teknologi med gode del-last egenskaper
- Mulighet for kombinert kjøling og vannvarming (opp til 85°C), høy total COP

***Primær marked: kystflåten, eksiterende båt
hvor bruk av ammoniakk er utfordrende***

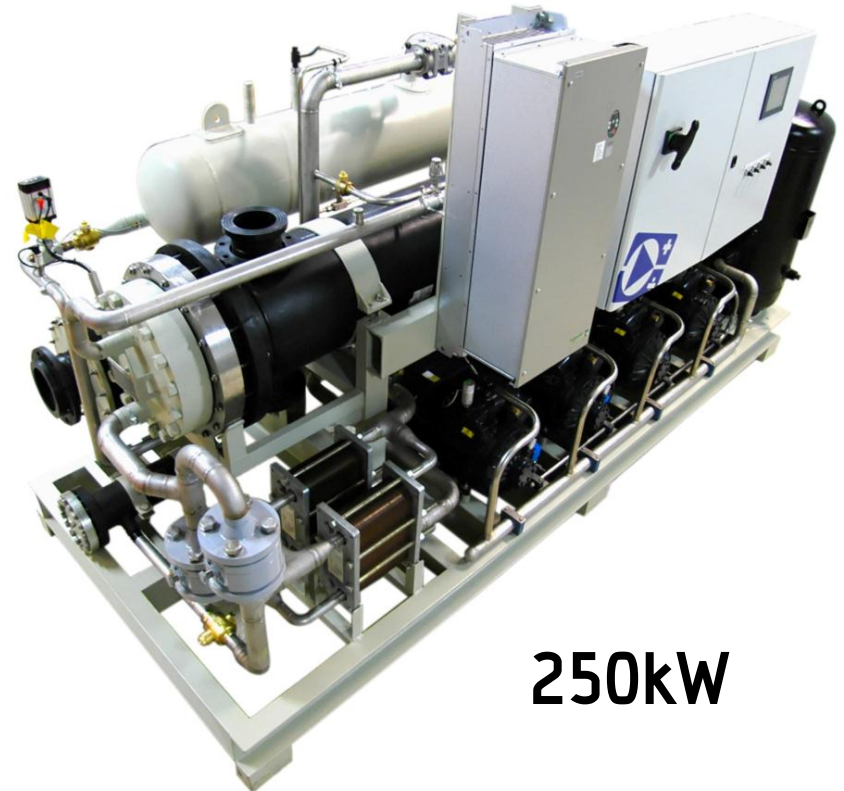
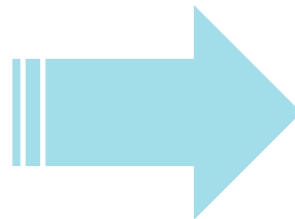
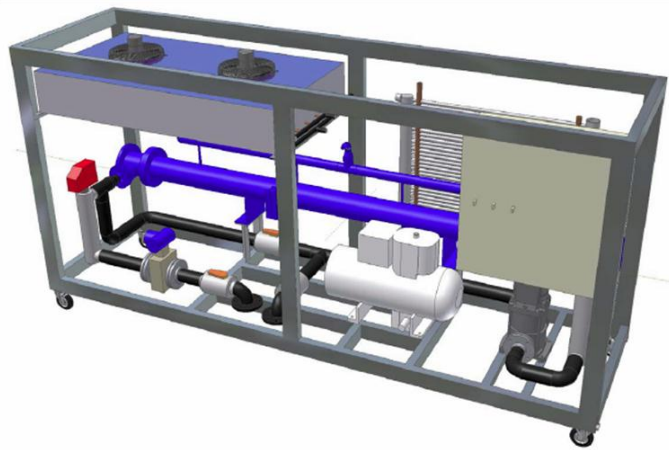
Fra lab til full skala kommersiell anlegg



Fra lab til full skala kommersiell anlegg

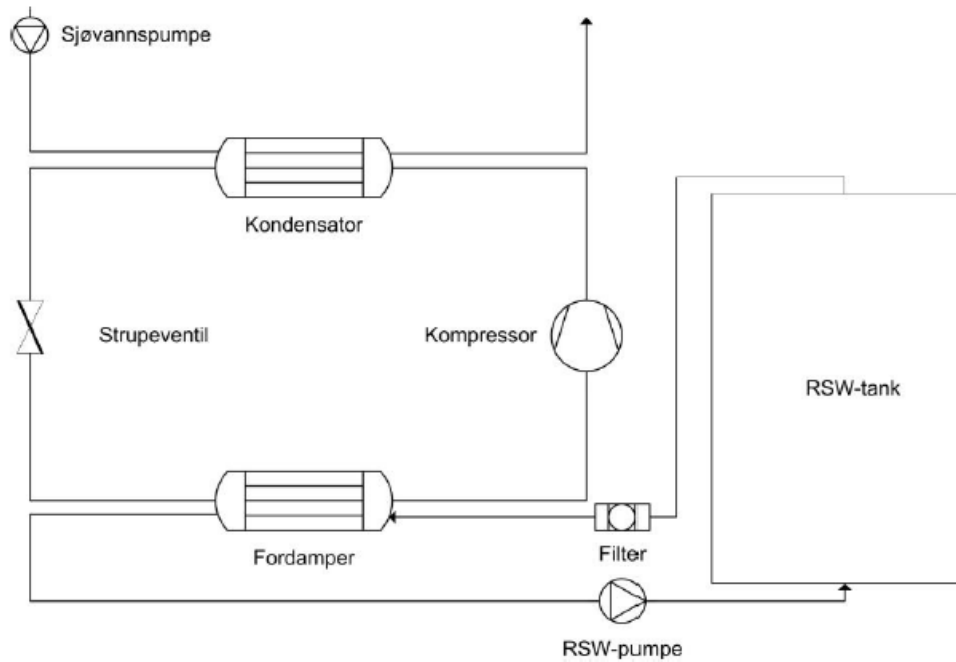


40kW

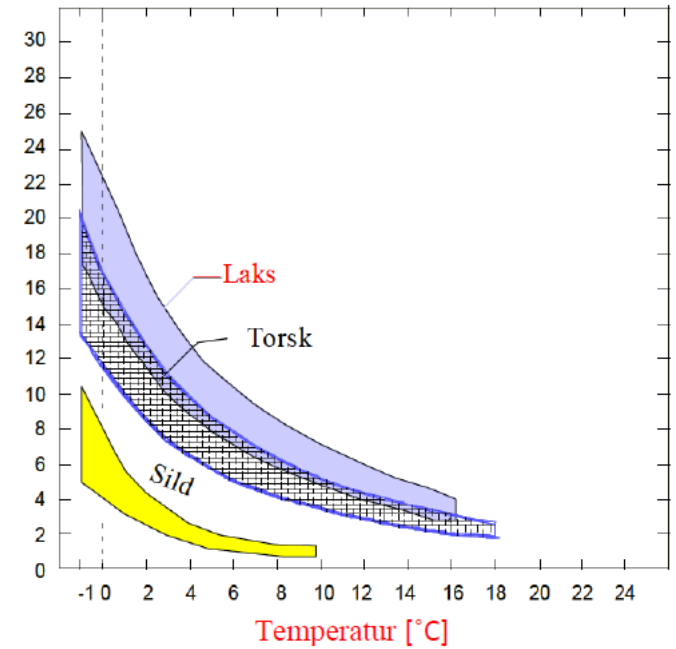


250kW

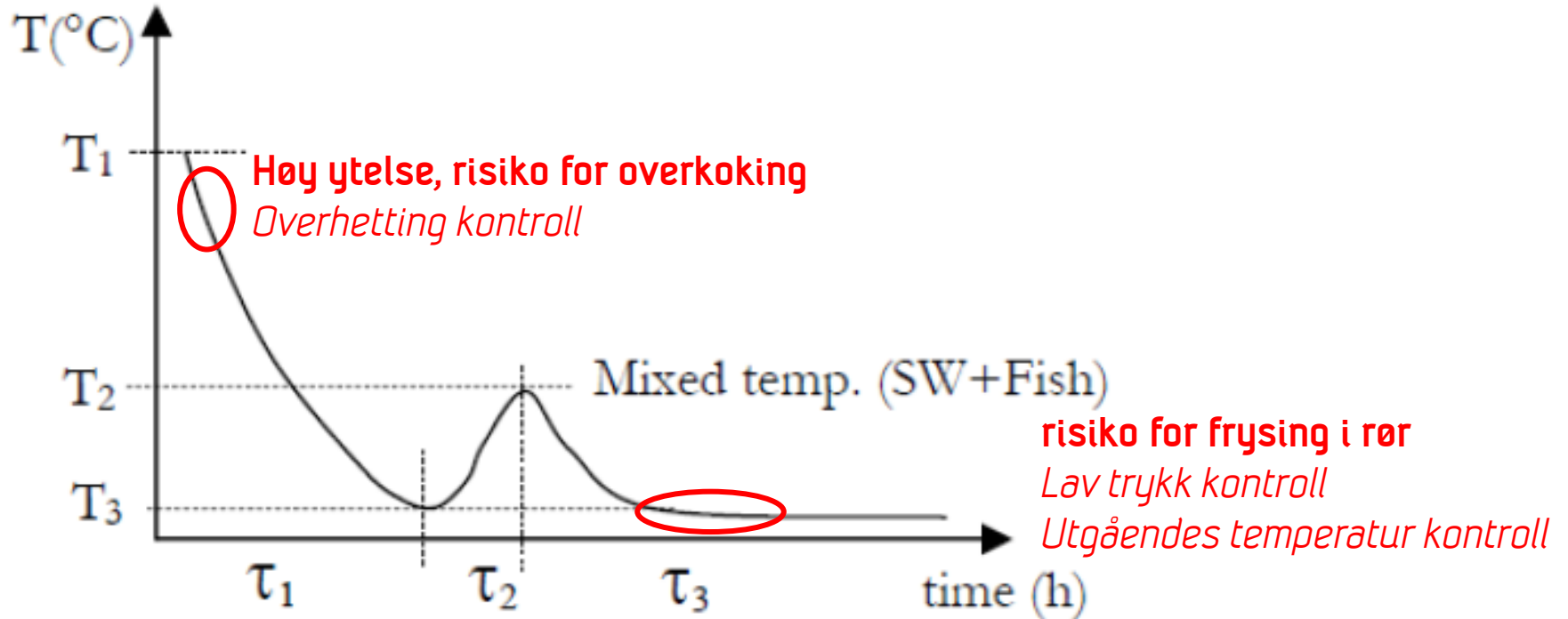
RSW



Holdbarhetsdøgn



Vanlig drift, kjente utfordringer

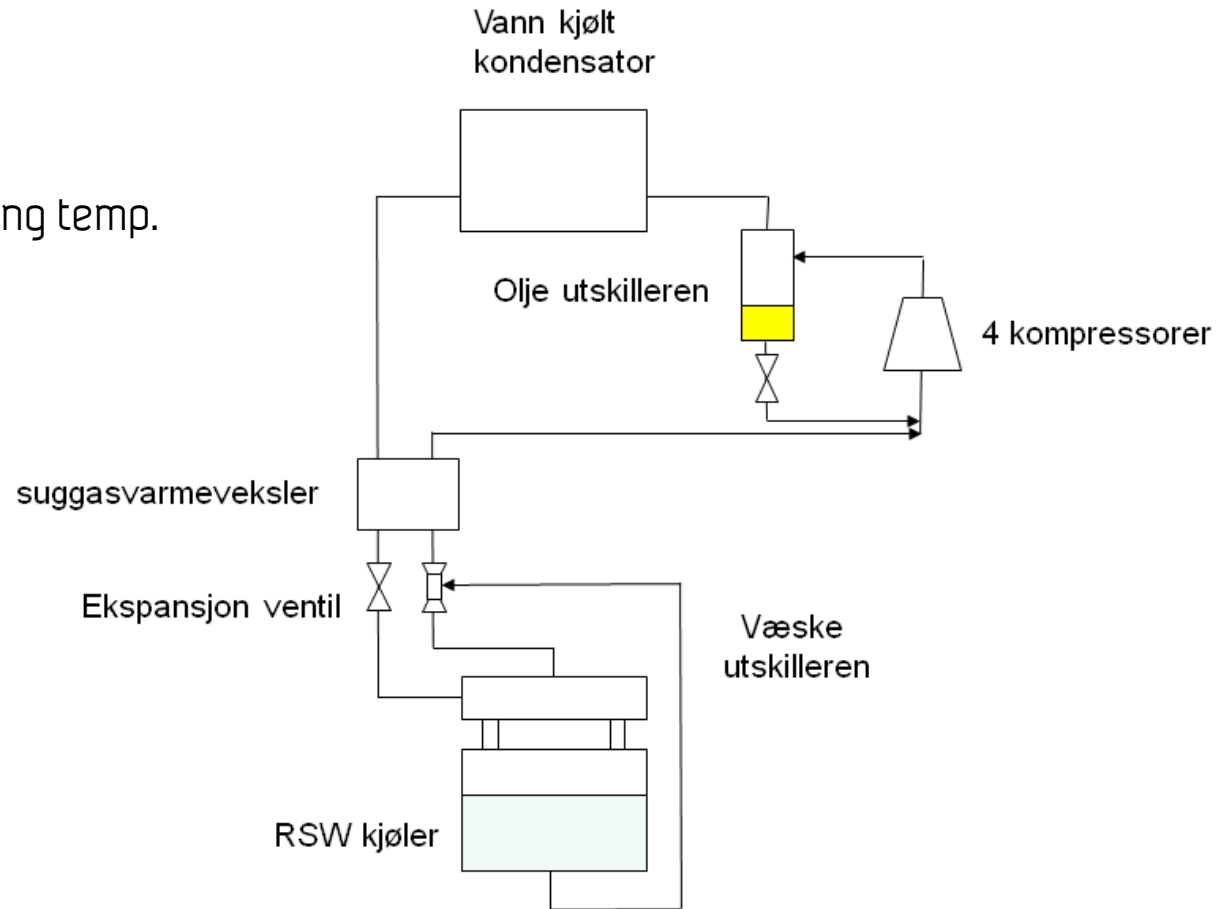


Thorsteinson

System valg

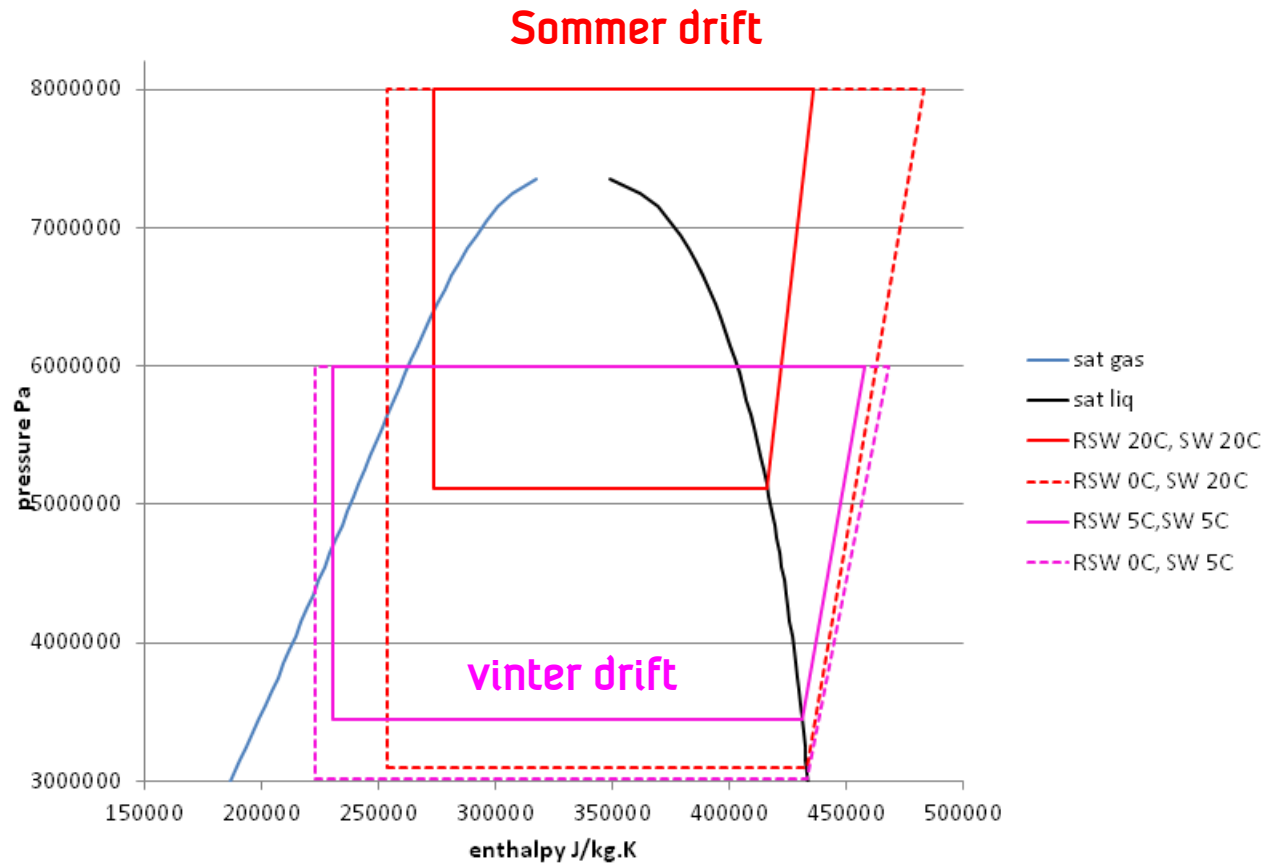
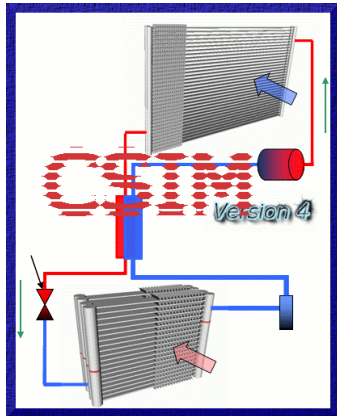
Design grunnlag:

250kW @ 0 \rightarrow -1C, -5C fordamping temp.



Omfattende dimensjonerings arbeid

- Komponenter, design
- Komponenter i system, off design!



Kompressor: 4 x Dorin CD4000

- Swept volume 25.6m³/h @50Hz
- 1 frekvens styrt kompressor (30-60Hz)



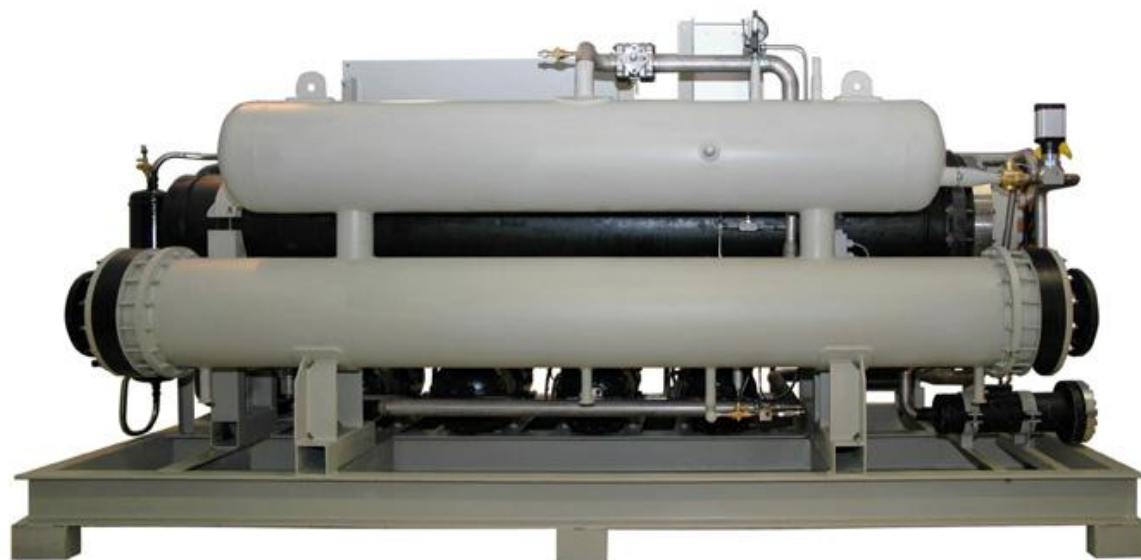
Gas kjøler

- CO2 inn i titan korrugerte U-rør
 - Titan ende plate
 - Plast Mantel
-
- Frekvens styrt sjøvanns kondensator pumpe



Fordamper

- RSW vann i korrugerte titan rør
- Titan ende plate, hel sveist
- Væske utskiller
- Smart design for væske dråpe separasjon



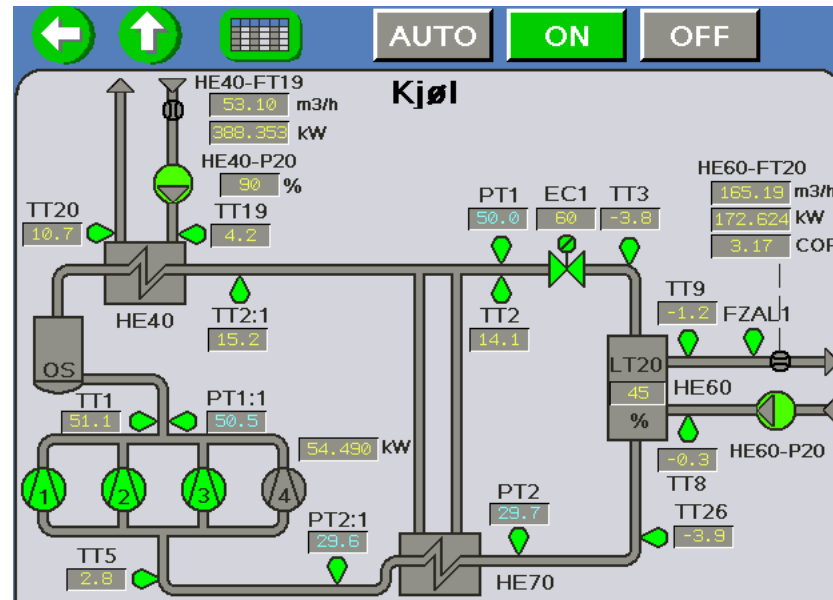
Suggas varme veksler

- Plate varme veksler
- 2 stk for å unngå trykk tap i port
- Hoved formål: beskytte kompressorer mot væske slag



Automatikk

- Styring av flere kompressorer i rack
- Høytrykks kontroll (begge sub kritisk og transkritisk drift)
- Lav trykks kontroll
- Touch skjerm
- Fjern kontroll via WEB Gate



Vertsbåt: Båragutt AS kystnotbåt

- Sild om vinter
- Makrell om sent sommeren

Februar-mars 2012: lodde



MÅLEBREV

| | |
|----------------|----------|
| Lengde | 43,824 m |
| Bredde | 8,6 m |
| Dybde | 6,55 m |
| Største lengde | 49,76 m |
| Bruttotonnasje | 657 |
| Nettotonnasje | 281 |

KAPASITET

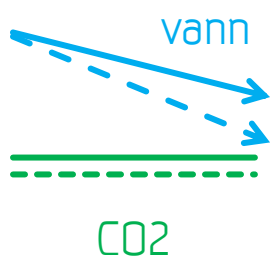
| | |
|-----------|--|
| Bunkers | 90 m ³ |
| Ferskvann | 16 m ³ |
| Lasterom | 299 m ³ RSW 4 tanker (6 tanker maks 500 m ³) |
| RSW | 750 000 kcal |

Lodde fisk 7-8 februar 2012

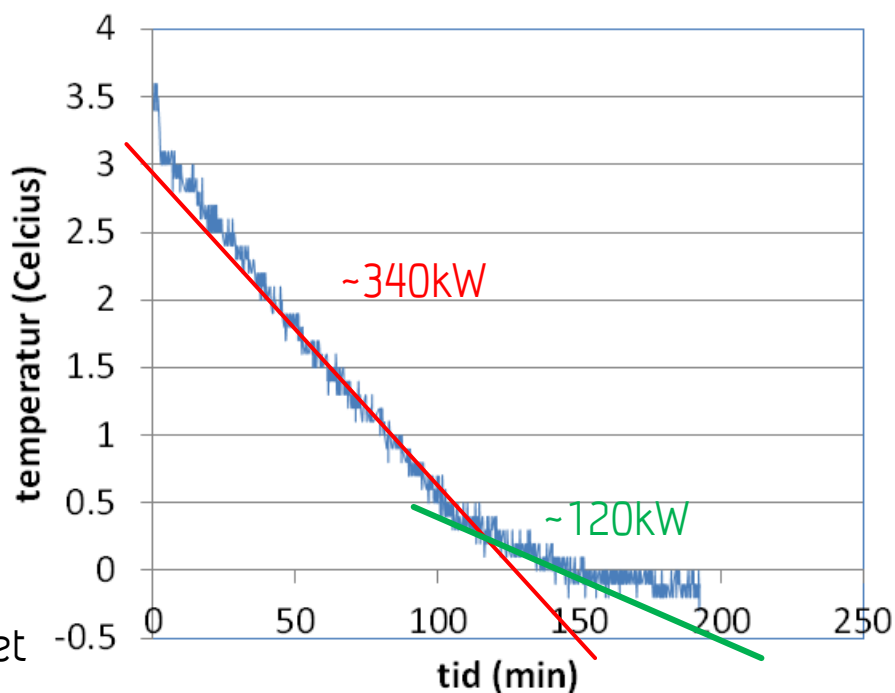
Forkjøling av 2 tank (2x94m³)

Lav ytelse ved lav temperatur:

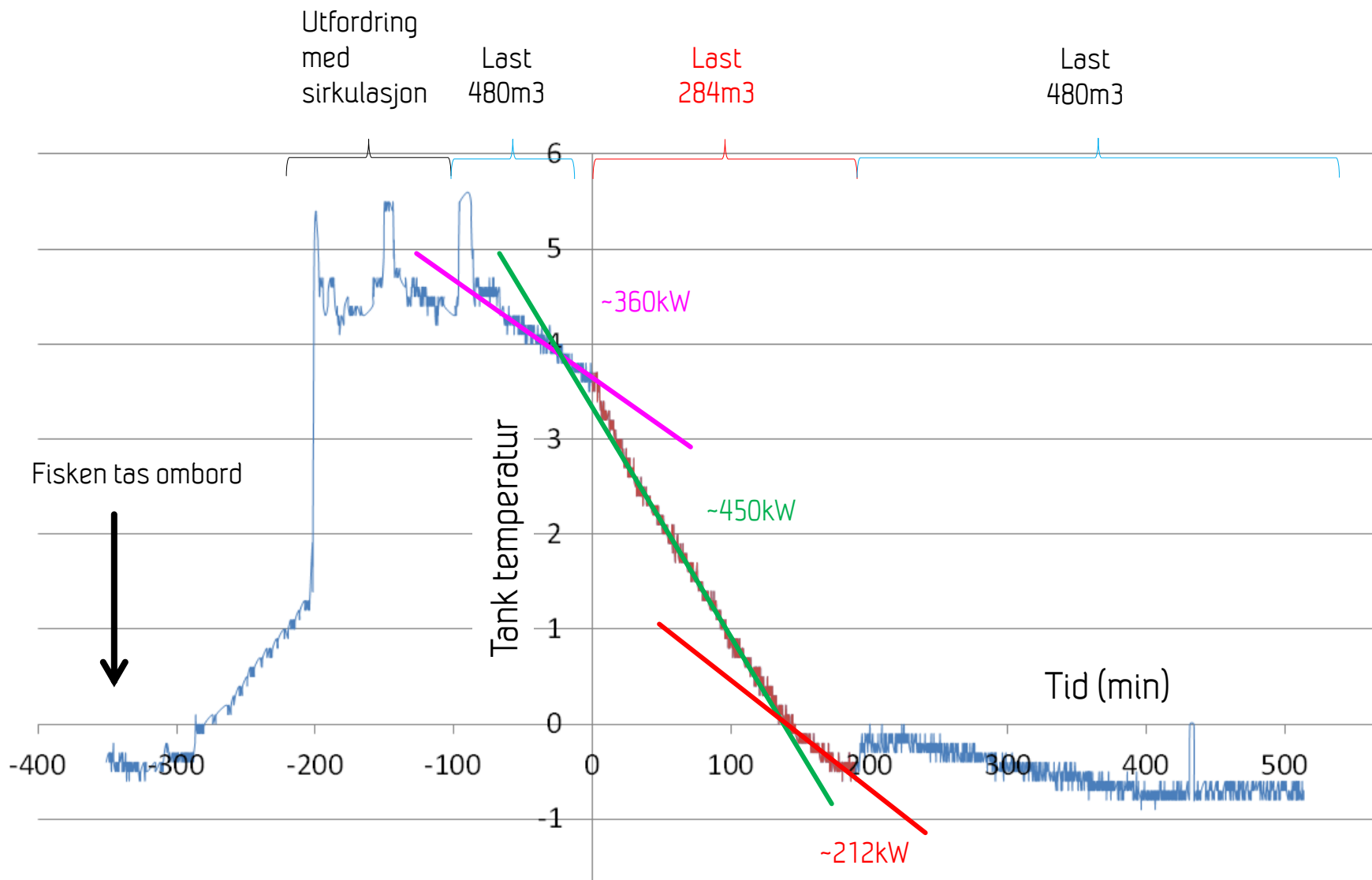
Redusert flow i RSW kjøleren



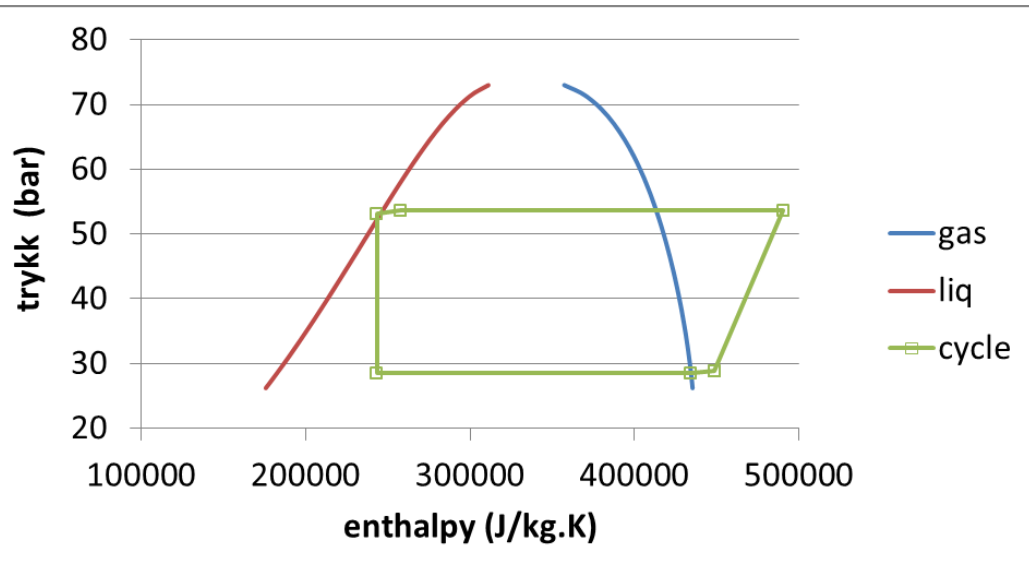
Fordampning temperatur er begrenset
= redusert kapasitet



Første kast: 300ton lodde!



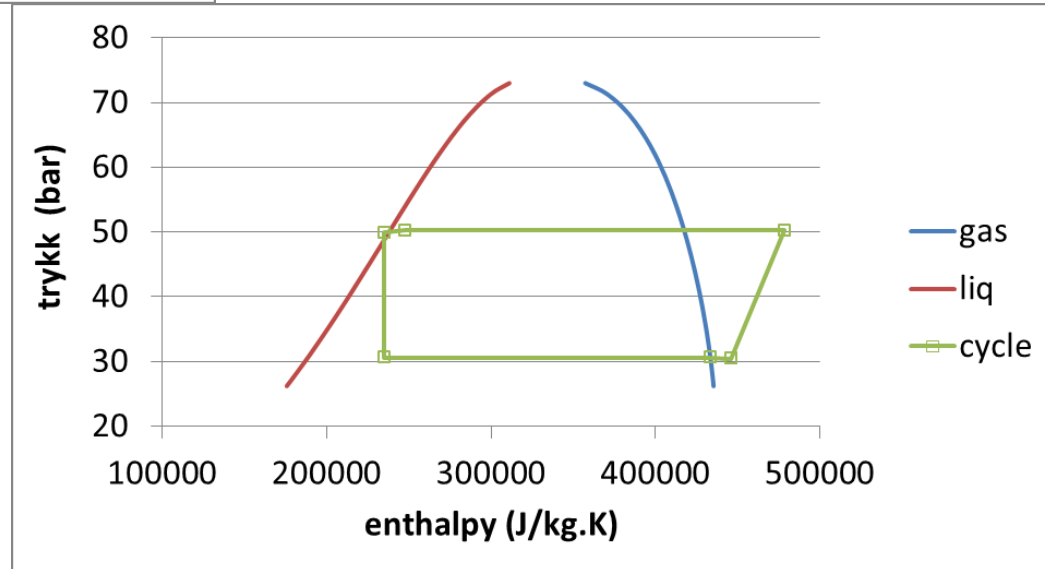
Energi effektiv drift



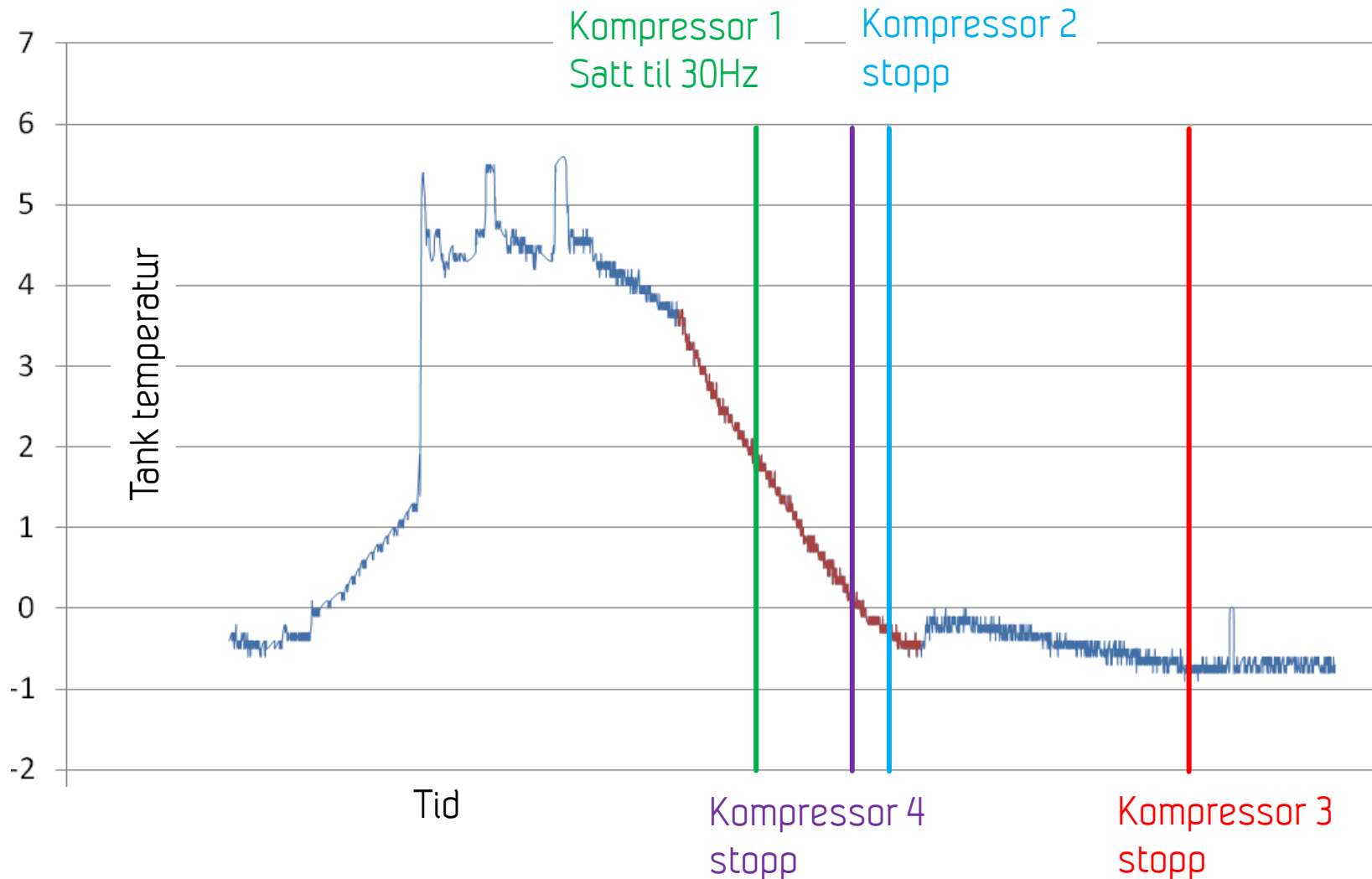
-0.5C tank T
180kW
COP=5.7



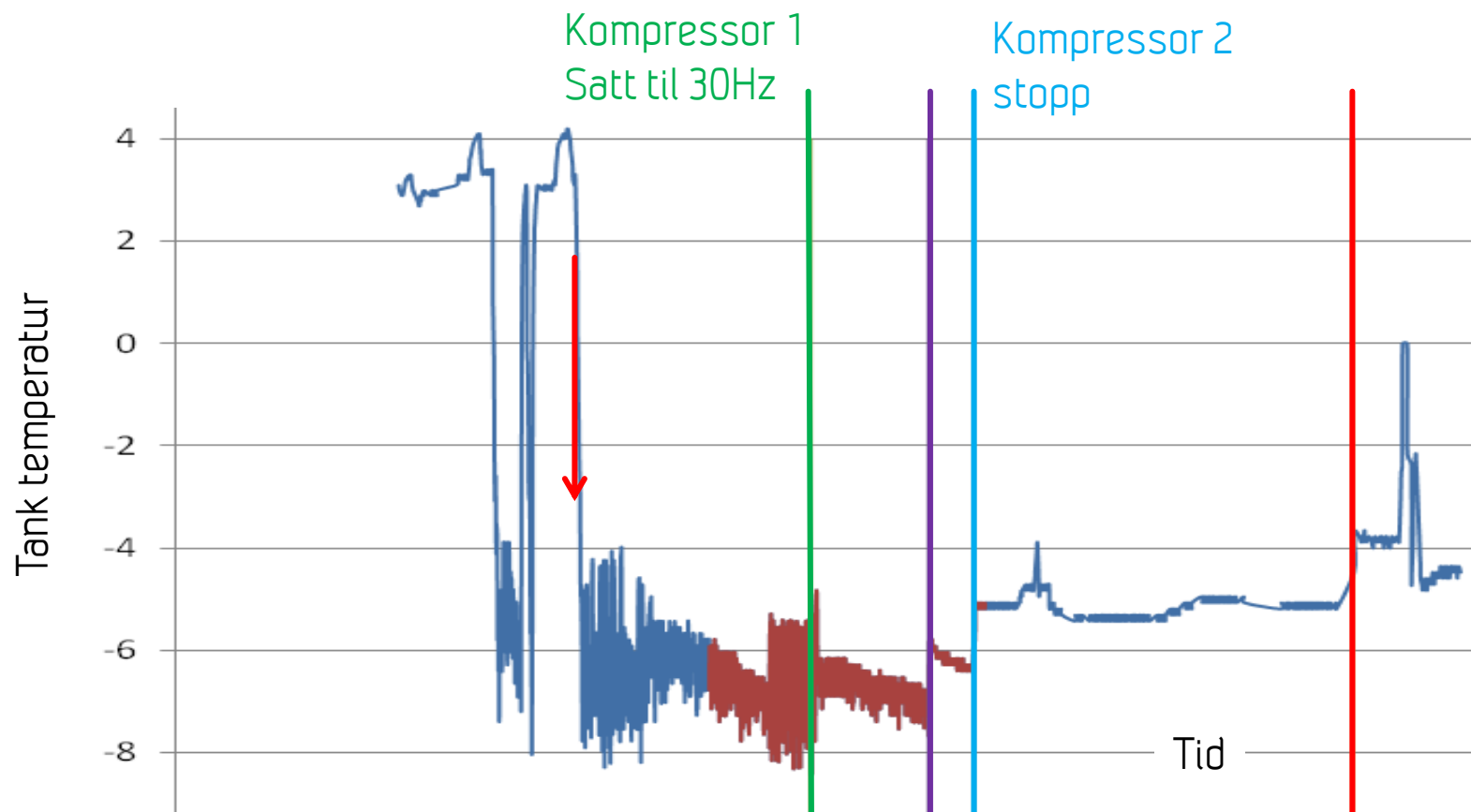
↑
0.6C tank T
370kW
COP=4.5



Kapasitet kontroll: Tco2 RSW > -7C T ut vann > -1C



fordampnings temperatur: lav grense -7C



Kompressor overkapasitet!
den siste = reserve del

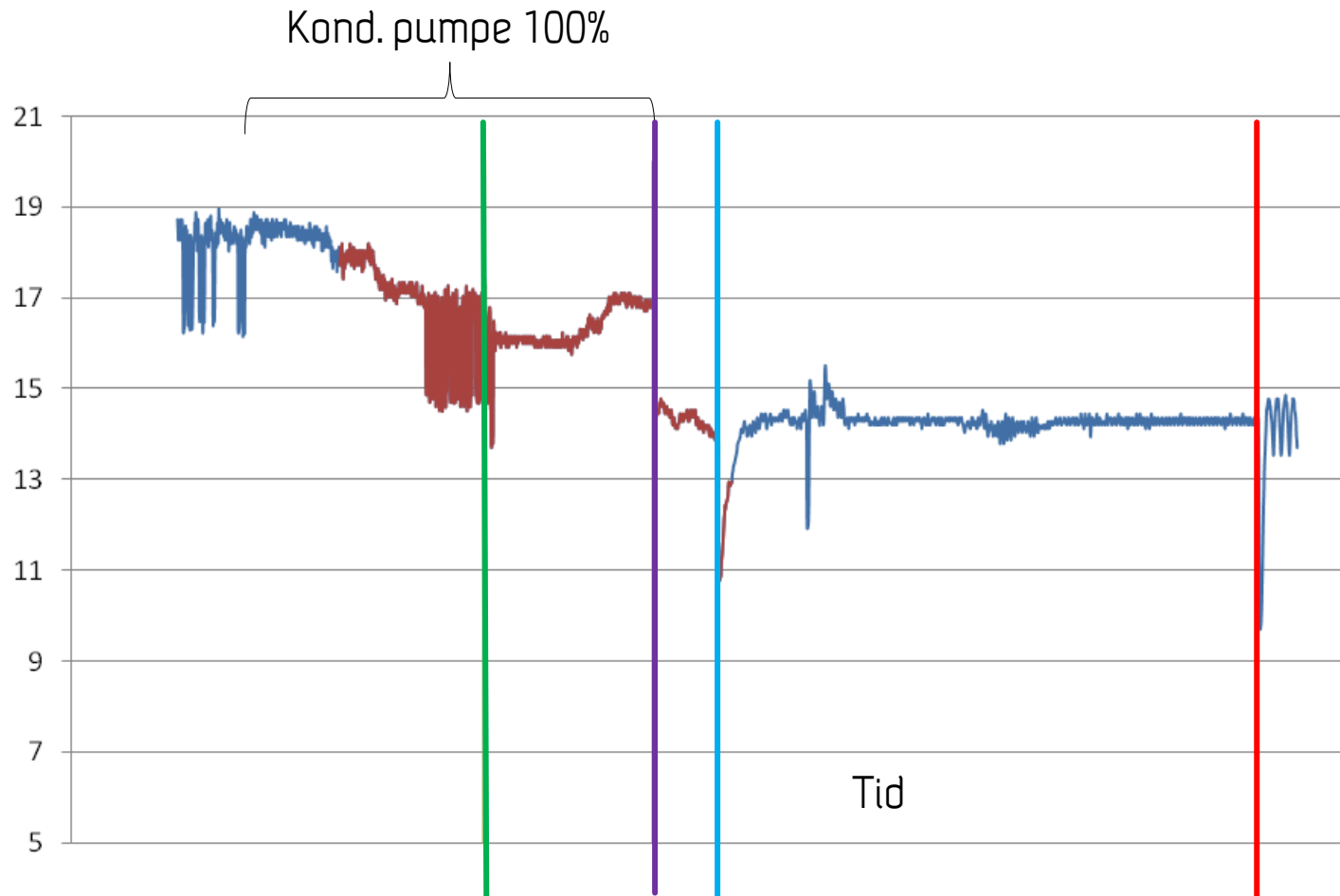


Kompressor 4
stopp

Kompressor 3
stopp

Kondensator temperatur :

14.3C (50bar) 5C overheting før kompressor



Oppsummering første økt i vinter drift

- Robust drift (testet med sterk kuling)
- Automatikk regulering 100- \rightarrow 12.5% kapasitet, glatt oppstart
- Omtrent design kapasitet: 250kW 0- \rightarrow -1C, -5C fordampnings temperatur
- Høy kapasitet ved varm last (mer enn 400kW ved 4C)
- Høy effektivitet: COP 4-6



Vedlegg A2: Presentasjon under Pelagisk samling, dato: 12. April 2012

RSW CO2 om bord på fiskfartøy: **impossible mission!**

- R22 forbudt i 2015
- HFK er ikke bra for miljø
- NH3 passer ikke overalt



Yves Ladam

Forsker, Sintef Energy Forskning
Utviklingsleder, Kuldeteknisk AS

CO2 RSW, drift erfaringer med 250kW anlegg ombord Båragutt MS

Design og analyse

Slutt kunde



Finansierer design

Prosjektering bygging
service

Motivasjon: hjelpe introduksjon av CO2 teknologi i ett nytt marked

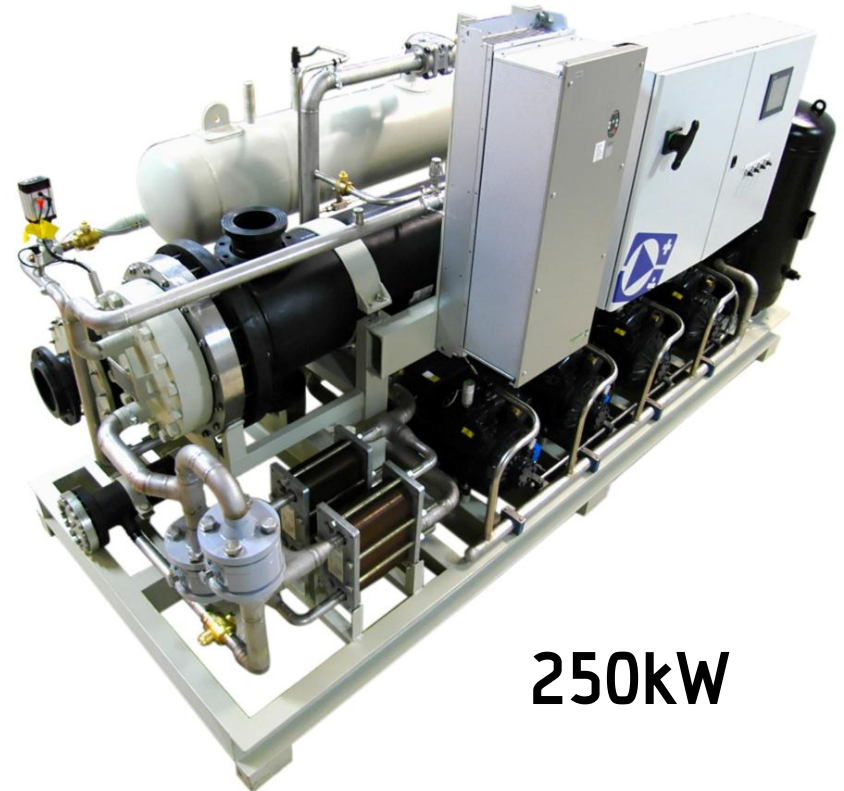
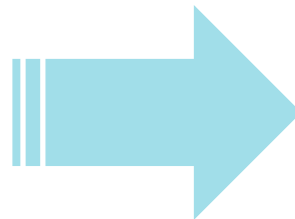
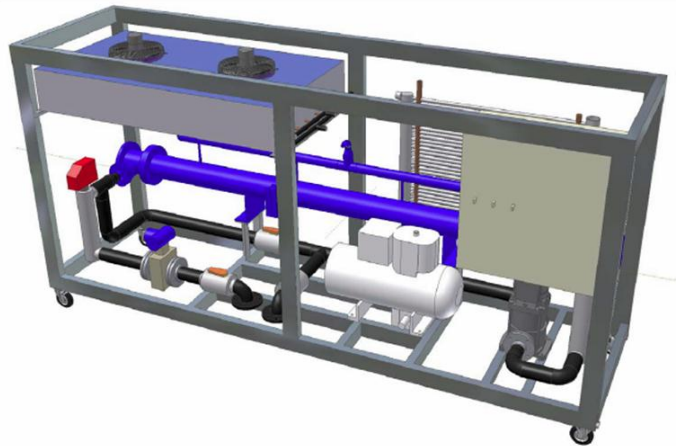
- Ikke giftig, ikke brennbar erstatning for R22 (forbudt fra 2015)
- Miljøvennlig teknologi, redusert risiko for produktforurensing
- Kompakt og effektiv teknologi med gode del-last egenskaper

***Primær marked: kystflåten, eksiterende båt
hvor bruk av ammoniakk er utfordrende***

Fra lab til full skala kommersiell anlegg

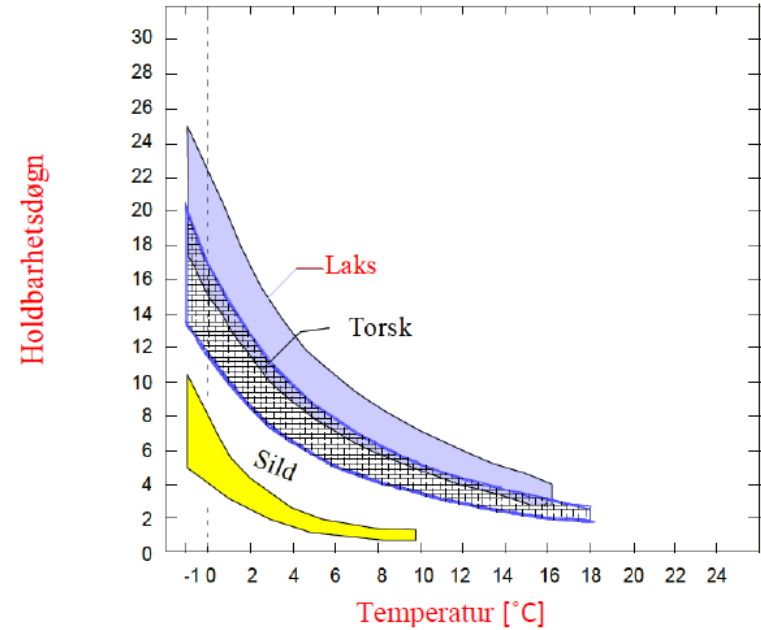
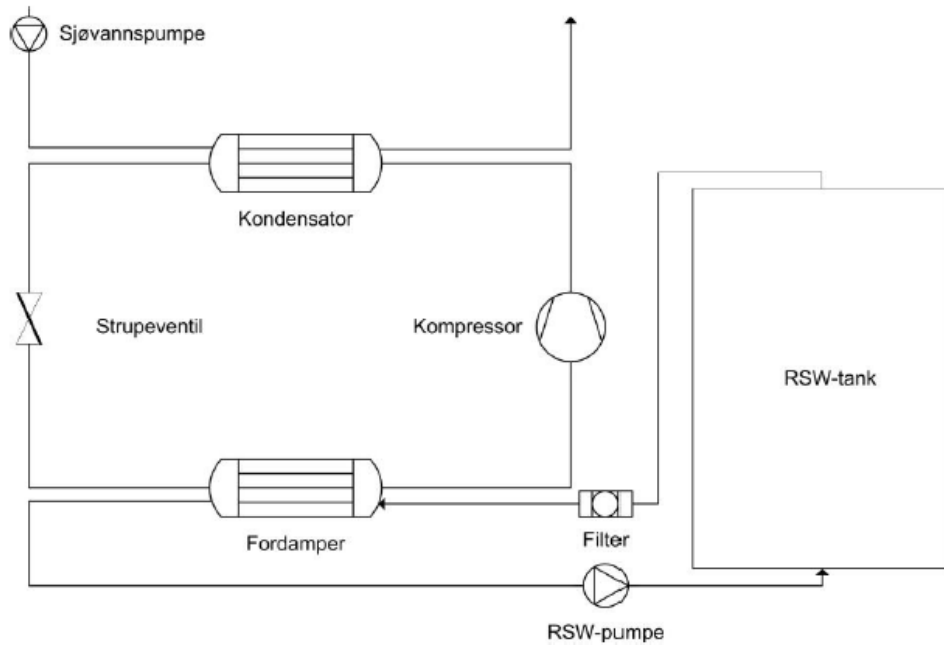


40kW



250kW

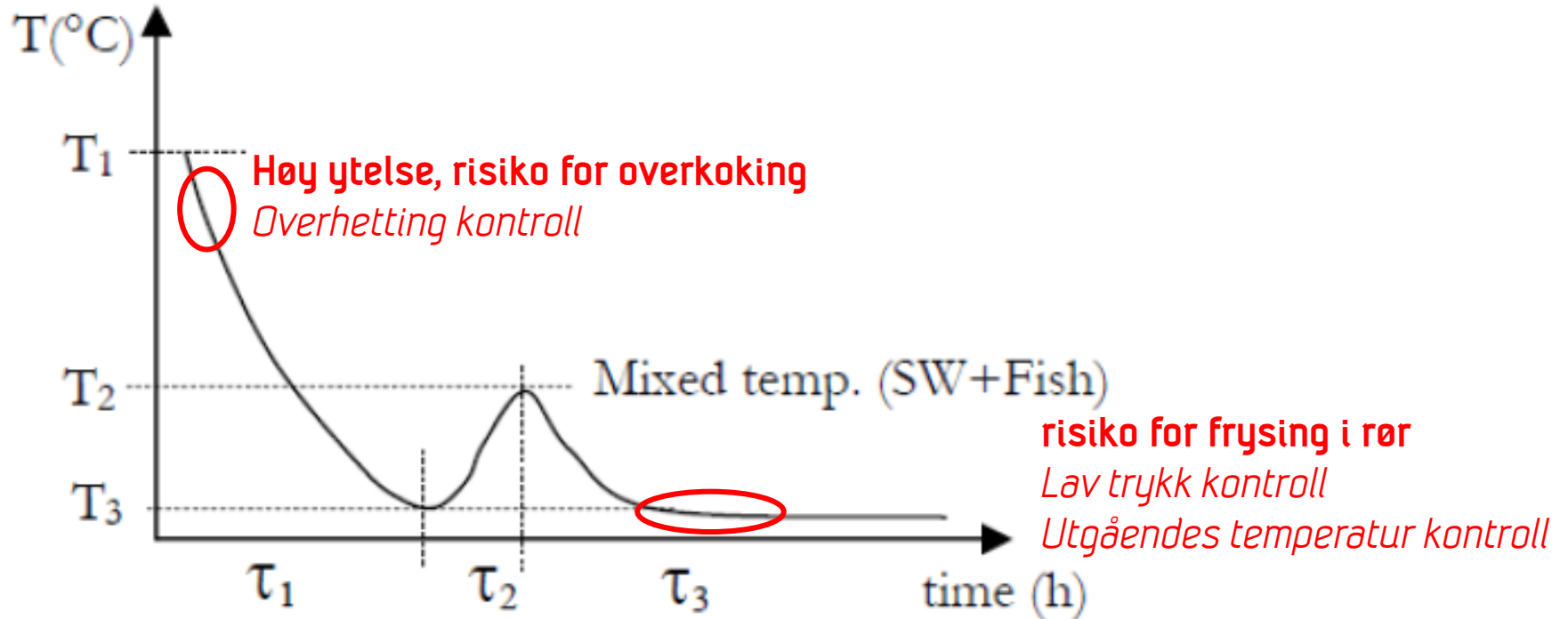
RSW



EU direktive 92/48/EEC:

- $<3^{\circ}\text{C}$ for 6 timer
- $<0^{\circ}\text{C}$ for 16 timer

Vanlig drift, kjente utfordringer



Thorsteinsson 2010

System valg: 3 x Dorin CD4000 + 1 reserve

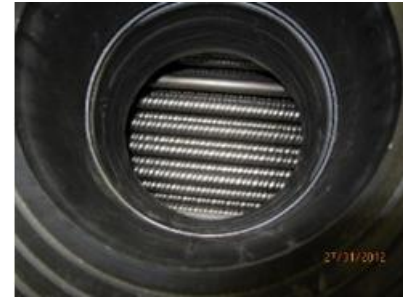
- Swept volume 25.6m³/h @50Hz
- 1 frekvens styrt kompressor (30-60Hz)

Kompakt, liten olje utskilleren



System valg: Gas kjøler

- CO2 inn i titan korrugerte U-rør
- Titan ende plate
- Plast Mantel
- Frekvens styrt sjøvanns kondensator pumpe



System valg: fordampner

- RSW vann i korrugerte titan rør
- Titan ende plate, hel sveist
- Væske utskiller
- Smart design for væske dråpe separasjon

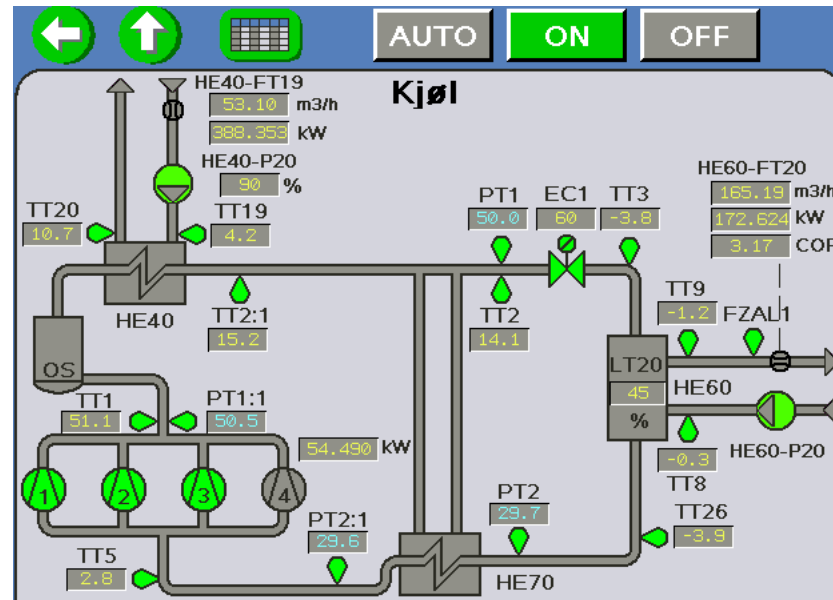


**Krav til vann i rør
Av hygieniske grunn?**



Automatikk

- Styring av flere kompressorer i rack
- Høytrykks kontroll (begge sub kritisk og transkritisk drift)
- Lav trykks kontroll
- Touch skjerm
- Fjern kontroll via WEB Gate



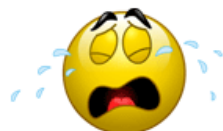
Vertsbåt: Båragutt AS kystnotbåt

2012

Februar-mars : lodde

Oktober: hestemakrell

November: sild



*En R22 RSW anlegg installert ~400kW
CO2 RSW skal betjene 50% av lasten*

MÅLEBREV

| | |
|----------------|----------|
| Lengde | 43,824 m |
| Bredde | 8,6 m |
| Dybde | 6,55 m |
| Største lengde | 49,76 m |
| Bruttotonnasje | 657 |
| Nettotonnasje | 281 |

KAPASITET

| | |
|-----------|--|
| Bunkers | 90 m ³ |
| Ferskvann | 16 m ³ |
| Lasterom | 299 m ³ RSW 4 tanker (6 tanker maks 500 m ³) |
| RSW | 750 000 kcal |

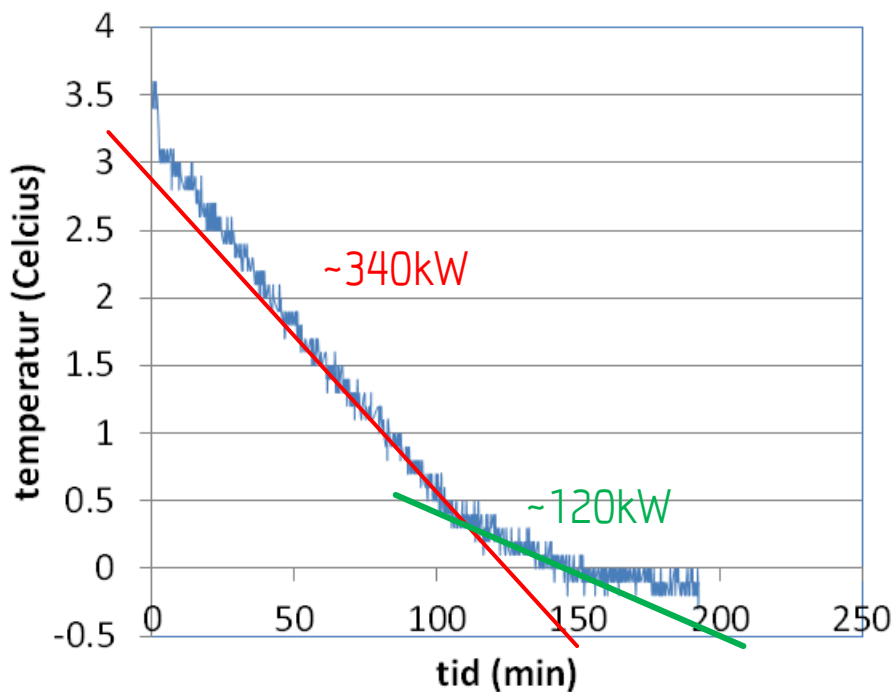
Lodde fisk 7-8 februar 2012

Forkjøling av 2 tank (2x94m³)

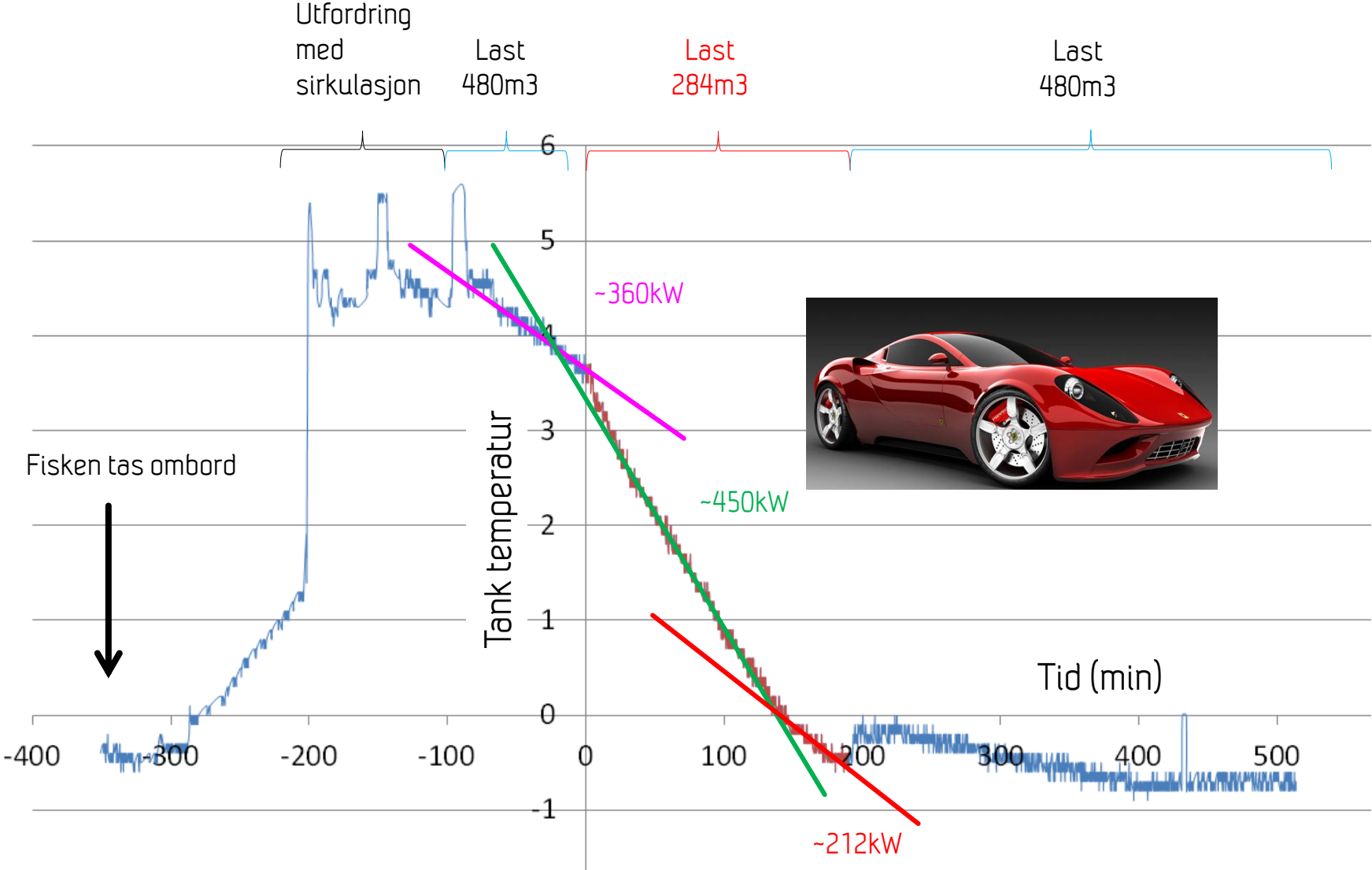
Redusert flow i fordåmper



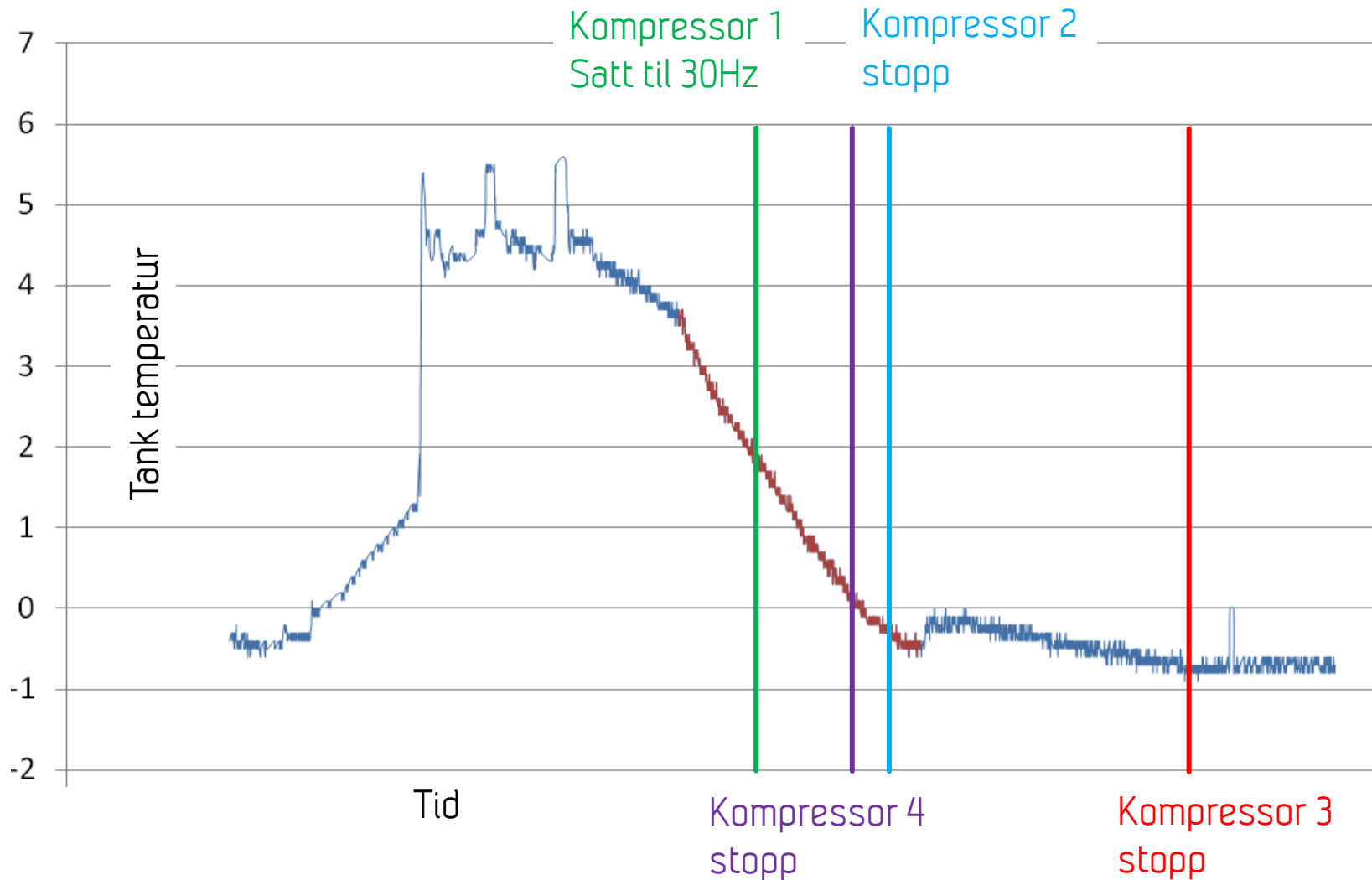
**Redusert kapasitet
(pga sugetrykk begrensning)**



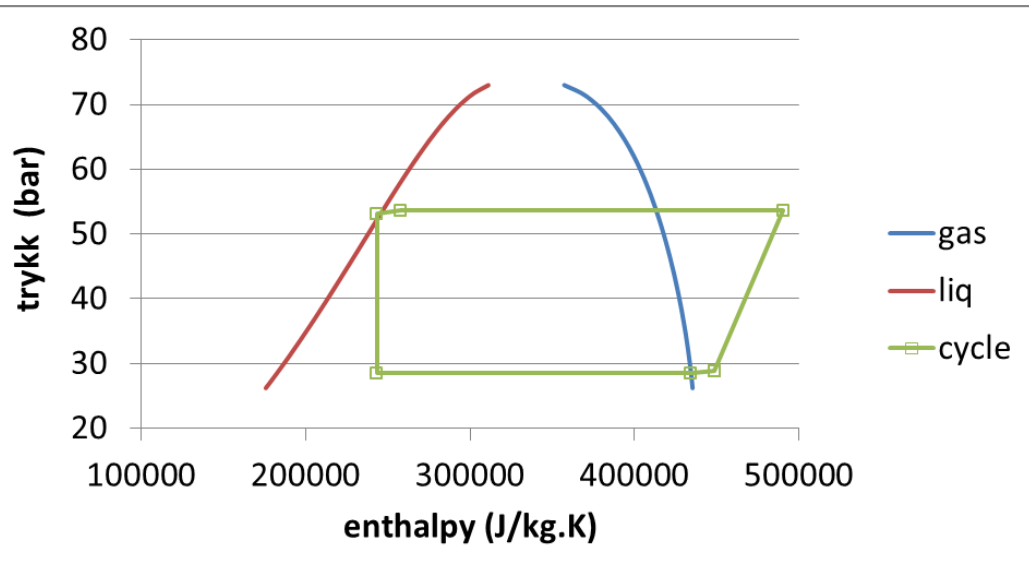
Første kast: 300ton lodde!



Kapasitet kontroll: Tco2 RSW > -6C T ut vann > -1C



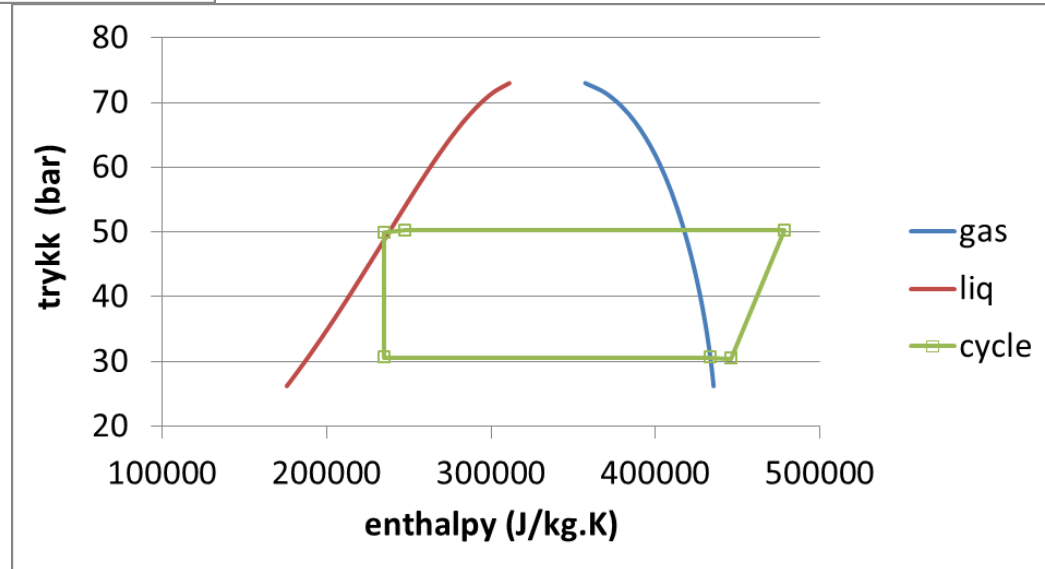
Energi effektiv drift



-0.5C tank T
180kW
COP=5.7

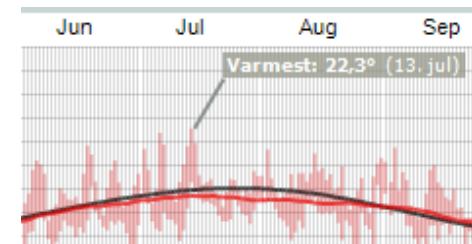


↑
0.6C tank T
370kW
COP=4.5



Oppsummering første driftsår (kald!)

- Robust drift (testet med sterk kuling)
- Automatikk regulering 100- \rightarrow 12.5% kapasitet, glatt oppstart
- Omtrent design kapasitet: 250kW 0- \rightarrow -1C, -5C fordampnings temperatur
- Høy effektivitet: COP 4-6



Videre arbeid

- Kostnad kutt
- Større anlegg 400kW
- Utvidelse til fryse/kombi-anlegg:

CO2 står sterk! Dokumenterte >25% redusert innfrysningstid



Vedlegg A3: Faktaark Nor-Fishing, dato: 15. Aug 2012

Driftsdata fra eksisterende RSW- og kombianlegg

Fokus

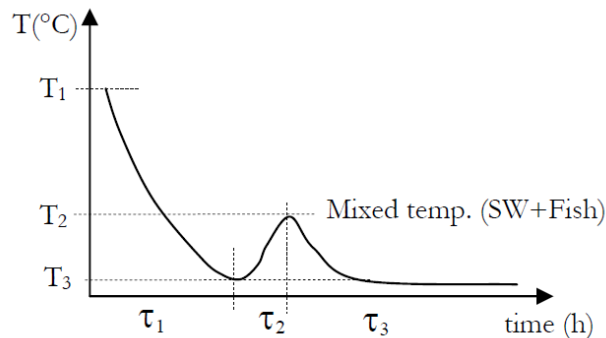
- RSW- og kombianlegg med naturlige kuldemedier (NH_3 og CO_2) på fiskefartøy.

Prosjektets mål

- Sammenligne med driftsdata fra CO_2 RSW anlegg (MS Båragutt) og NH_3 anlegg
- Etablere typisk energiforbruk for NH_3 kombianlegg
- Finne forbedringspotensialer i denne typen anlegg
- Vurdere behov for CO_2 -teknologi

Utfordringer

- Innhente detaljerte driftsdata fra NH_3 -anlegg
 - Temperaturer vann (se Figur 1)
 - Trykk og temperaturer ammoniakk
 - Kompressoreffekt
 - Mengde fisk



Figur 1. Eksempel på temperaturendring i RSW-tank under en kjøleperiode.

Invitasjon

Noen fartøy er med i prosjektet men vi trenger flere!

Har dere ett fiskefartøy med RSW-anlegg (gjærne kombianlegg) og vill delta i dette prosjekt?
Deltagere får gratis vurdering av dagens anlegg og påvirkningsmulighet for morgendagens teknologi.

Kontakt: Kristina Widell, Sintef Energi, 73551859, kristina.widell@sintef.no

Vedlegg A4

Oversikt over fartøy med RSW-anlegg med naturlige kuldemedier

| Fartøy | Kuldemedie | Reder | Leverantør kuldeanlegg |
|---------------|-------------------|---|-------------------------------------|
| Båragutt | CO ₂ | | Kuldeteknisk, Yves Ladam |
| Fugløyhav | NH ₃ | Roger Nilsen, Lenangen Fiskeriselskap | Norsk Kulde, Per Åsmund Pedersen |
| Fugløyfjord | NH ₃ | Roger Nilsen, Lenangen Fiskeriselskap | Norsk Kulde, Per Åsmund Pedersen |
| Senjaland | NH ₃ | | MMC Kulde, Petter Kåre Grytten |
| Eros | NH ₃ | | Teknotherm, Torfinn Torp |
| Birkeland | NH ₃ | Odd Kåre Mæhle, Br. Birkeland Fiskebåtrederi | |
| Rødholmen | NH ₃ | Magnus Ytterstad | |
| Voldnes | NH ₃ | Torbjørn Mathisen, Ryggefjord Fiskebåtrederi | MMC Kulde, |
| Dyrnesvåg | NH ₃ | | FrioNordica, Jarle Nedal |