

CADIO AS

Stiftet 2011.

Beliggenhet: Trondheim

Eiere: 4 gründere + Skala Fabrikk.

Strategi: Være en foregangsbedrift på ny teknologi med naturlige kuldemedier,

og bidra med energieffektive, miljøvennlige og klimanøytrale anlegg.

CADIO AS utvikler og leverer kuldeanlegg og varmepumper

- **Utviklede produkter med CO2:**
- Tappevannsvarmepumpe
- **RSW anlegg med egenutviklet fordampere og kondensator.**
- Kondenseringsenhet for kjøling eller frysing.
- Aircondition systemer

Innhold

- Utfordring – motivasjon
- RSW – systemløsning, prinsippskjema
- Simuleringer og bygging
- Testresultater
- Drøfting
- Konklusjon

Utfordring – motivasjon

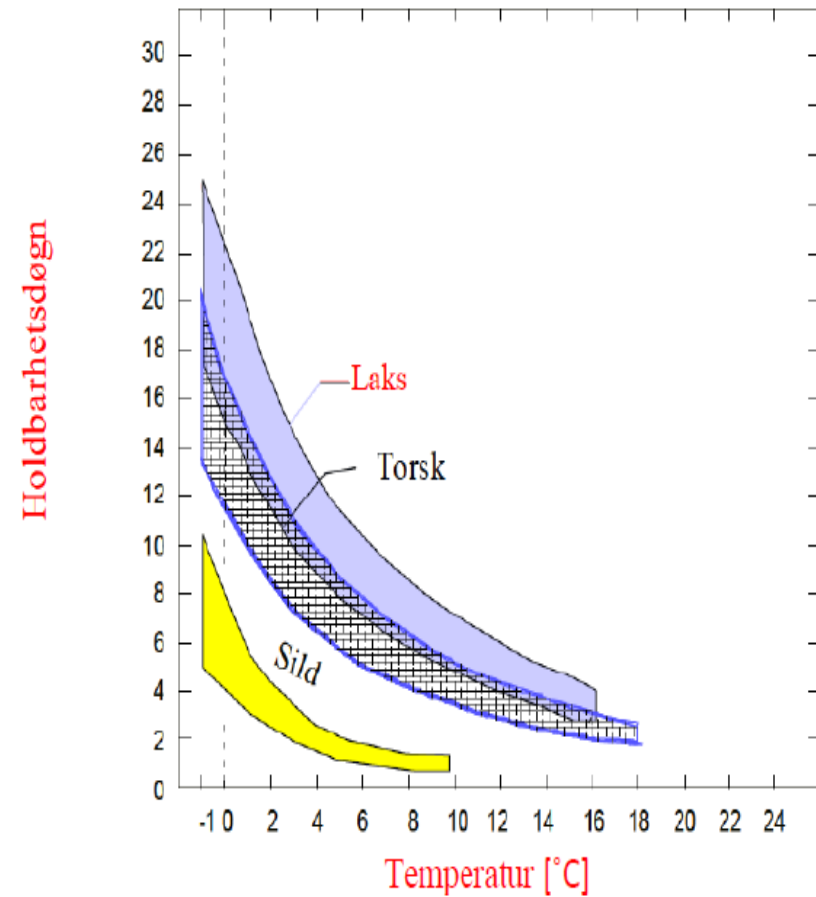
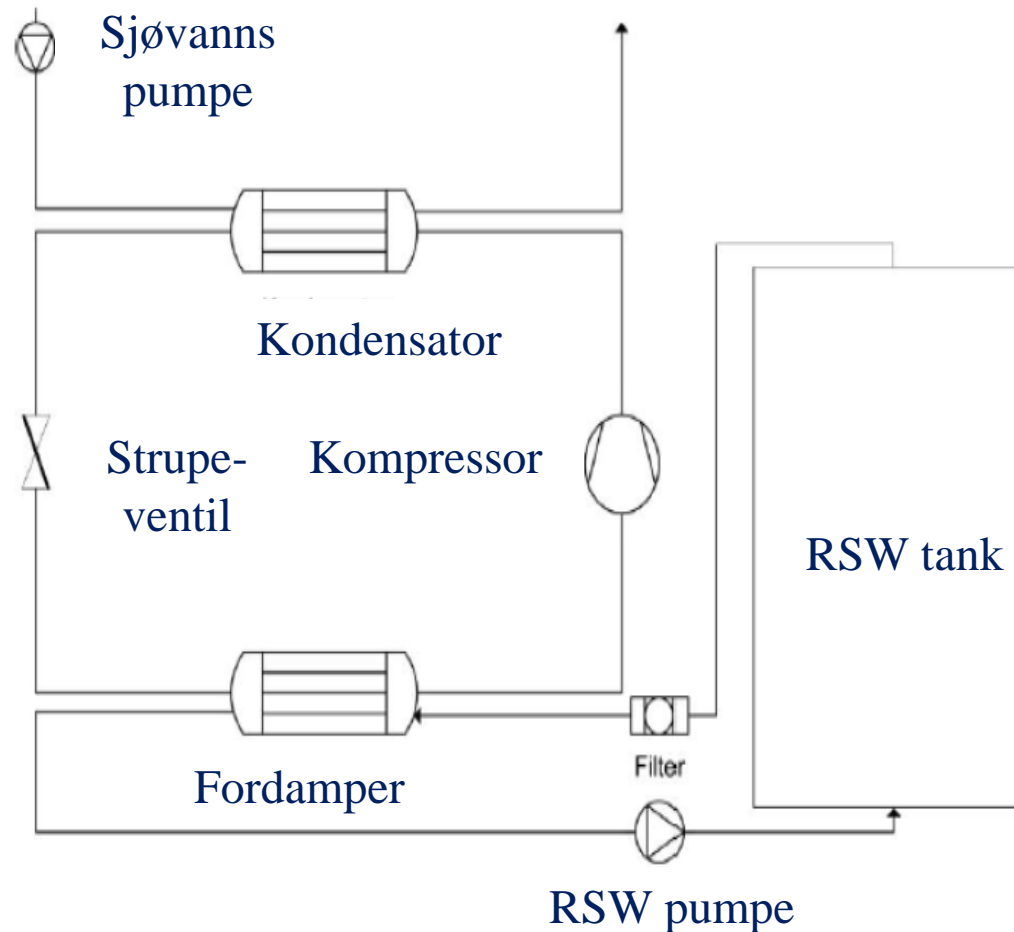
- HKFK-22 erstatning må ikke være giftig eller lettantennelig
- Miljøvennlig teknologi, ikke HFK eller HFO
- Kompakte anlegg, gi plass til fisk ikke maskiner.
- Fleksible anlegg som tilpasses rom på båt
- Effektive anlegg med god oljetilbakeføring
- God dellastvirkningsgrad – viktig under transport av last til levering

Mulige naturlige kuldemedier

- **Ammoniakk – NH₃**
 - Giftig
 - Moderat antennelig
- **Hydrokarboner**
 - Lettantennelig
- **Karbondioksid – CO₂**
 - Høyt trykk

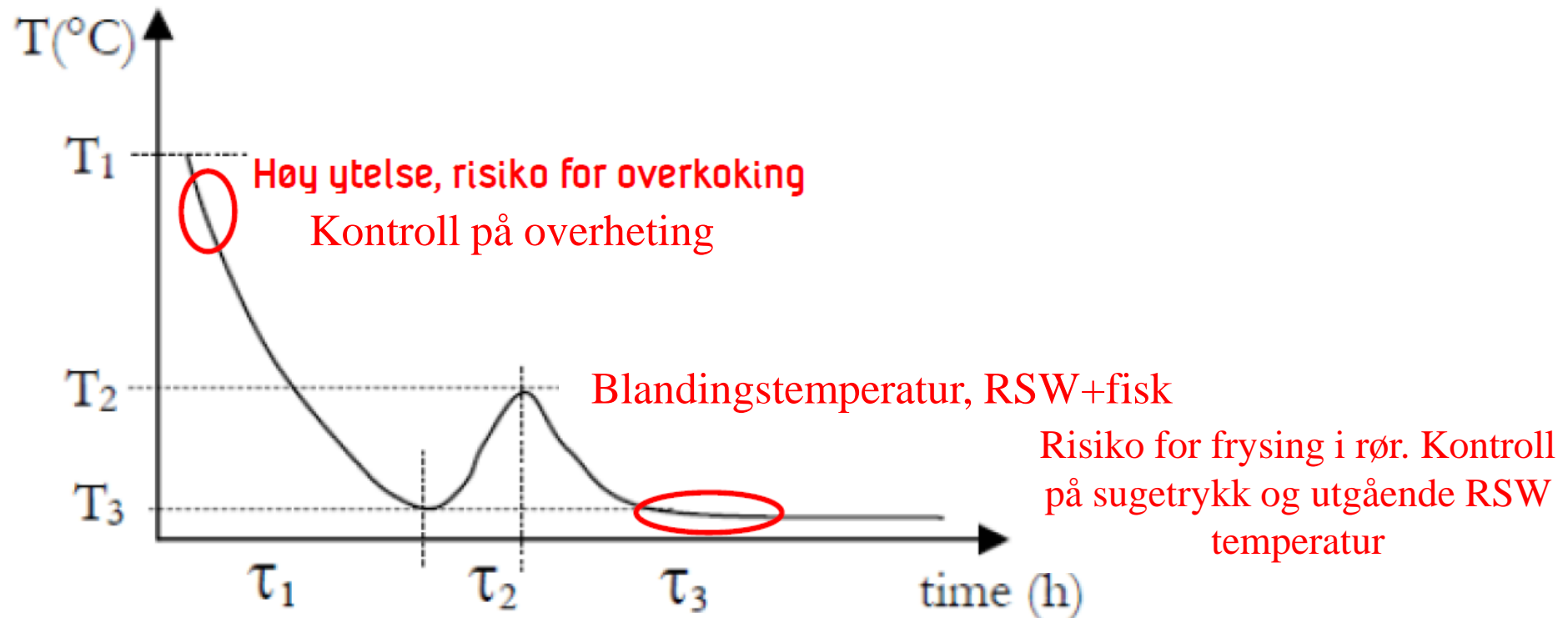
CO₂ ble valgt pga minst ulempe ved utskifting av eksisterende anlegg på gamle båter.

RSW – systemløsning, prinsippskjema



Utfordringer

Vanlig drift, kjente utfordringer



1st båt med CO₂ RSW i 2013

- Rørkjel fordamper og kondensator.
- Tung og omfangsrik
- Stor fylling av CO₂



Rørkjel fordamper (L=3 m) og kondensator (L=2,8m), 250 kW kuldeytelse

Målsetting: Mindre, lettere, og billigere varmevekslere

Alternativ: Punktsveiste varmevekslerplater i fordamper og kondensator

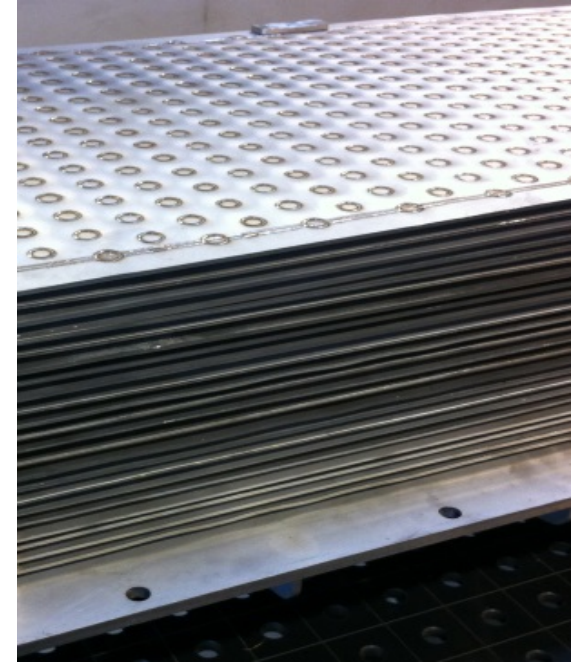


Example picture from: www.aco-engineering.dk

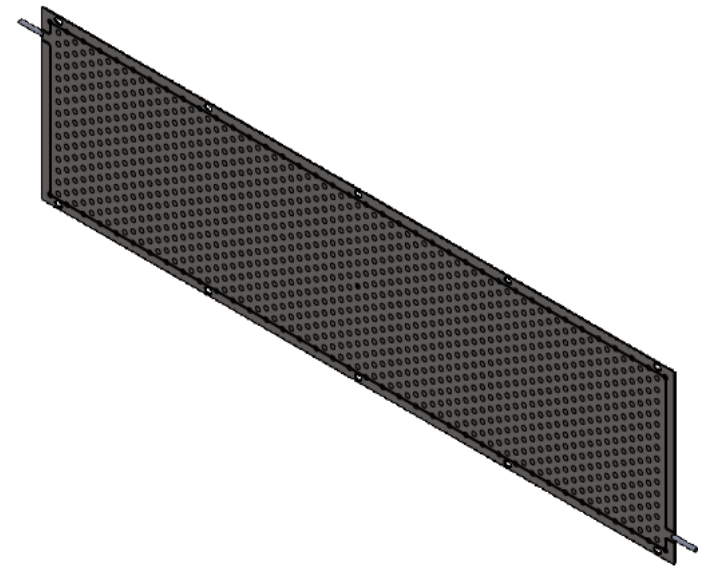
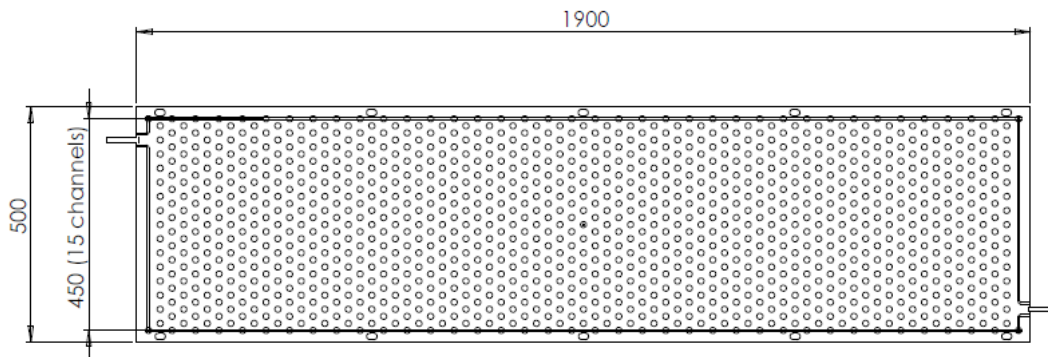
Lang erfaring med bruk i
tanker for kjøling av melk

Punktsveiste plater

- 2 plater punktsveises sammen i et spesielt mønster
- Kantene helsveises sammen
- Kanaler presses opp med olje
- Platene stables sammen med RSW sirkulasjon på utsiden



1-2 mm kanalhøyde



Simulering og bygging – steg 1

En liten fordampner bestående av 3 plater med ytre dimensjoner (b x h) 0,58 x 0,47 m ble testet i NTNU laboratoriet for å verifisere simuleringmodellen



- **Varmeovergangstall, kuldeytelse og trykkfall ble målt. Tilfredsstillende samsvar mellom målinger og simuleringer.**
- **Varierende form på CO₂ kanalene en utfordring (D_H)**
- **Ved beregning av varmeovergangskoeffisient på RSW-siden ble Dittus-Boelter ligning brukt, antatt turbulent flow.**
- **Gungor and Wintertons korrelasjon for varmeovergangskoeffisient ved fordampning av CO₂ korresponderer godt med våre målinger og ble brukt for å beregne fordampnerstørrelsen i step-2 and 3**
- **Moser-Webb korrelasjon for kondensering i glatte rør ble brukt for beregning av kondensatorstørrelsen i step-3**

Simulering og bygging – steg 2

En prototyp fordamperspakk
bestående av 6 plater i full størrelse
med ytre mål (b x h) 0,5 x 2,0 m ble
testet i fabrikk.

Fordamper

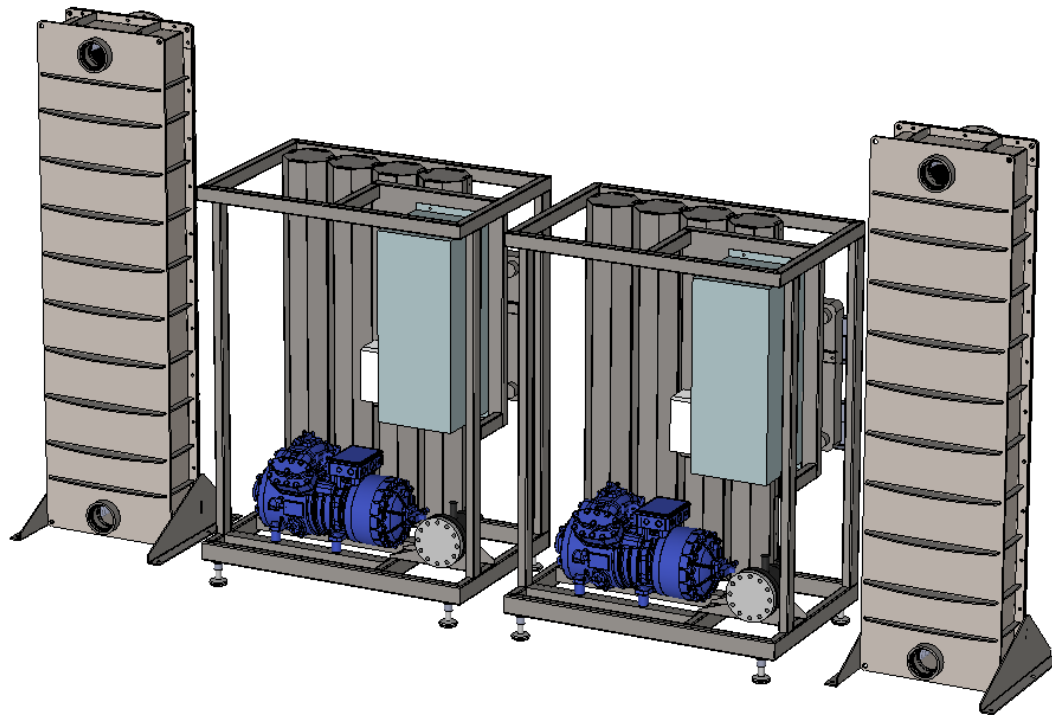


Måle- og simuleringresultater

		Step-1		Step-2	
	Enhet	Målt	Simul.	Målt	Simul.
Kjøle- kapasitet	kW	6,4	6,1	76	88

Simulering og bygging – steg 3

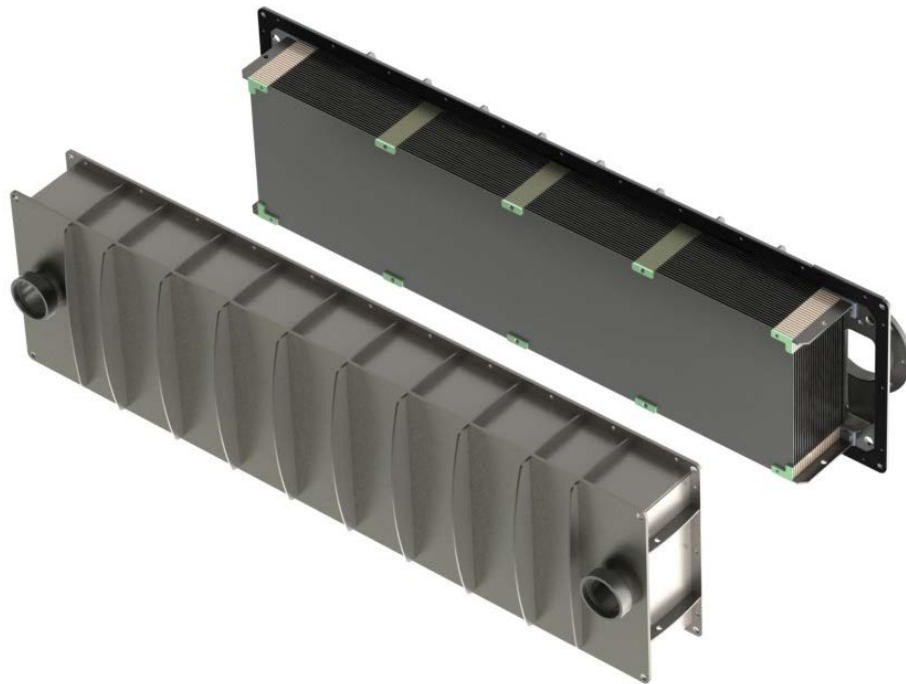
3D modell - Prototyp på båt



CADIO RSW ANLEGG
CO2 SOM KULDEMEDIUM
EFFEKTIVT
KOMPAKT
SERVICEVENNLIG
ROBUST
DRIFTSIKKERT
HØY VIRKNINGSGRAD
MODULBASSERT
LITEN CO2 FYLING
LAV RISIKOKLASSE

Simulering og bygging – steg 3

RSW fordamper



CADIO CO2 PLATEVARMEVEKLSER
UNIK VARMEVEKSLER FOR CO₂ / SJØVANN
ARBEIDSTRYKK MAKS 90 BAR
SJØVANNSBESTANDIG MATERIALE
KAPASITET TILPASSER KUNDENS BEHOV
KAN PLOSSERES STÅENDE ELLER LIGGENDE
KOMPAKT OG LITE PLASSKREVENDE
EFFEKTIV
LETT Å RENGJØRE
RENSES UTEN Å ÅPNE CO₂-KRETSEN
SERVICEVENNLIG OG DRIFTSIKKER

Simulering og bygging – steg 3

Fordamper og kondensator i full størrelse, hver bestående av 2x12 plater med ytre mål (b x h) 0,5 x 2,0 m for testing på fiskebåten *Ambassador* / Trønderhav.

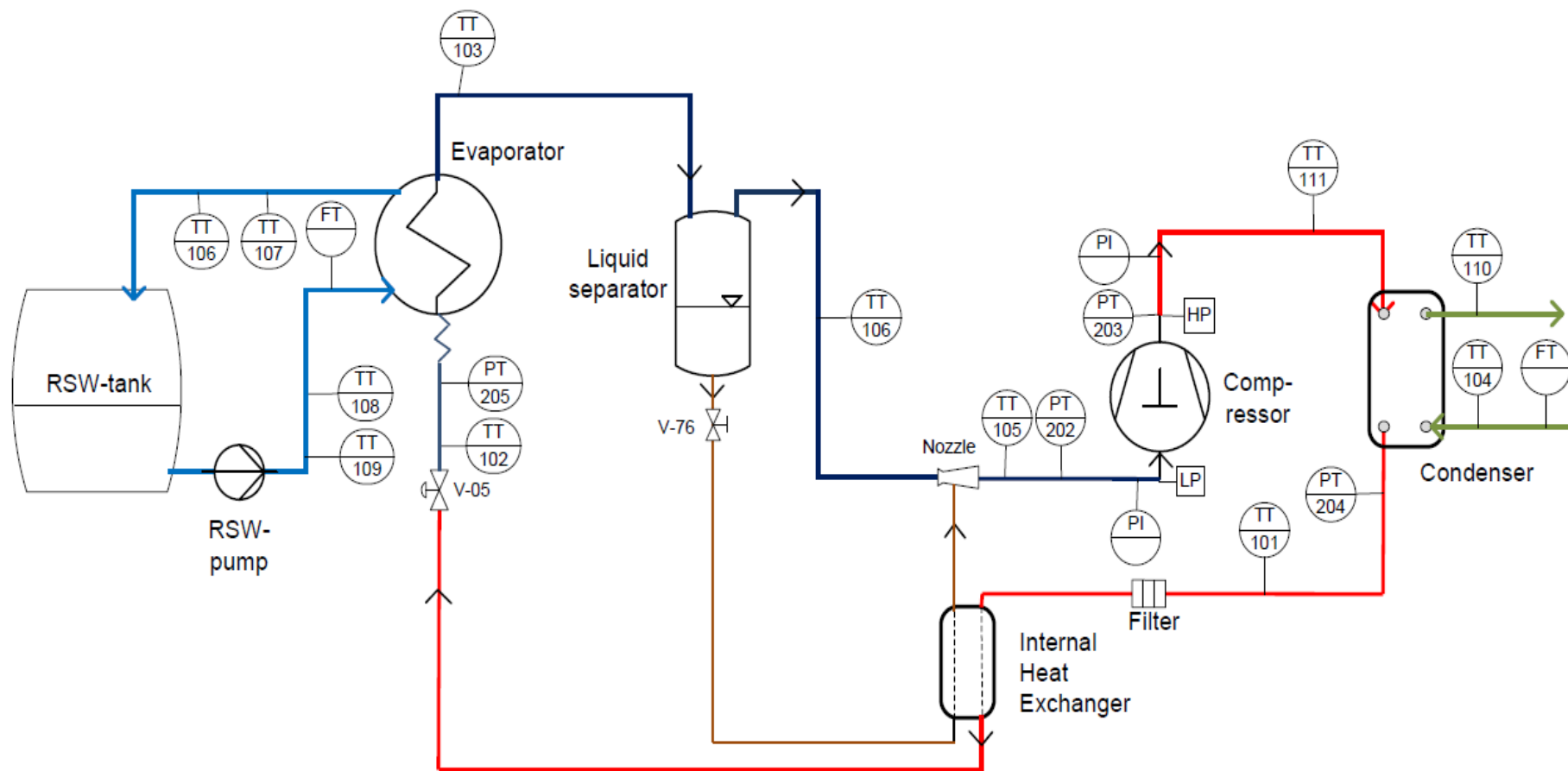


1 av 2 kompressormoduler
Kondensator
Fordamper



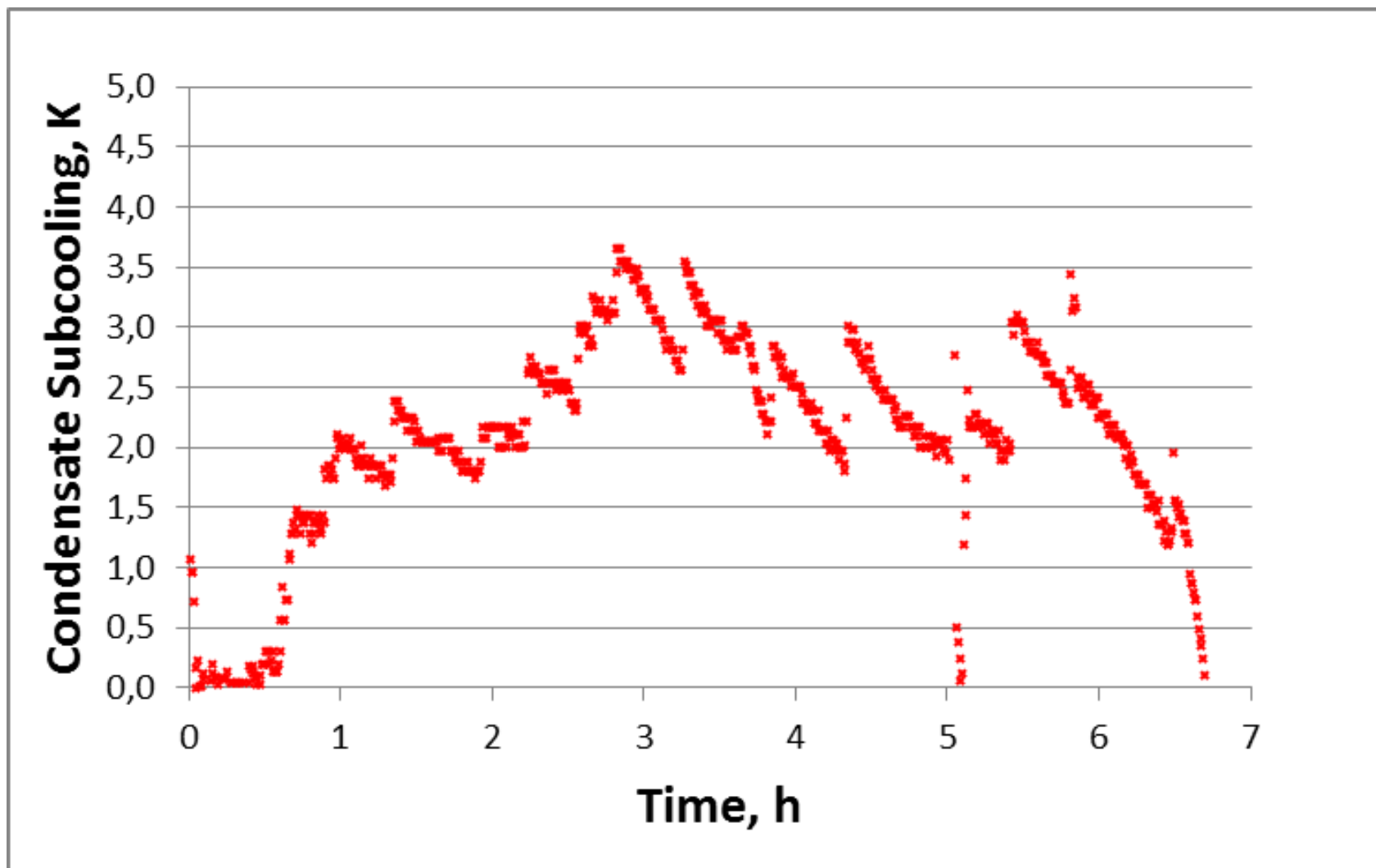
Simulering og bygging – steg 3

Montasje på båt – Proses- og instrumenteringsdiagram



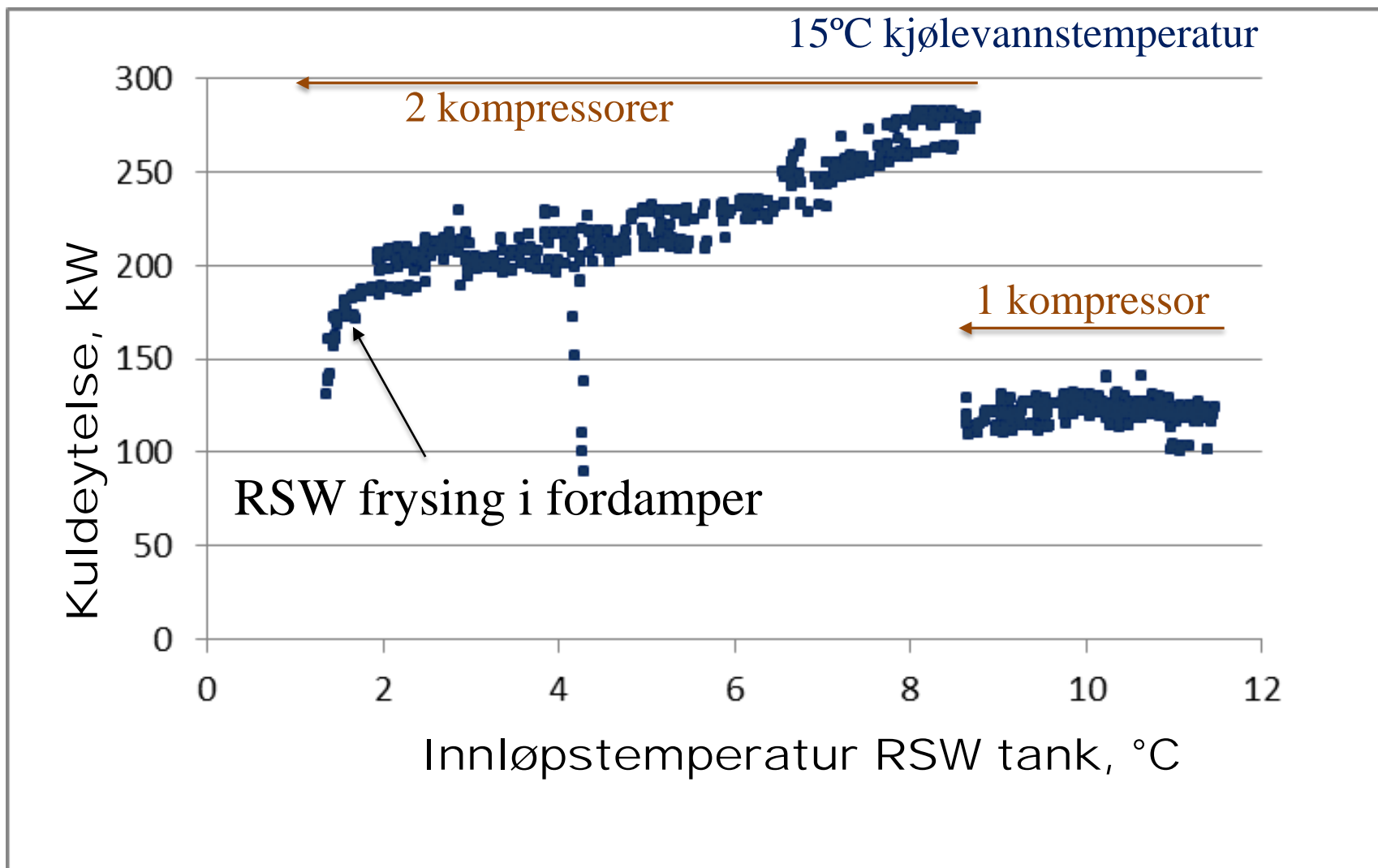
Testresultater– steg 3.

Underkjøling i kondensator: Mål 3 K



Testresultater– steg 3.

Kjølekapasitet: Mål 300 kW ved 0°C RSW



Drøfting.

Kondensator fungerte som forventet.

Hvorfor ble kuldeytelsen litt lavere enn forventet?:

- Vanntemperatur inn på kondensator var 15°C mot nominell 10°C. Tidligere tester i prosjektet viser at kuldeytelsen reduseres med 20% når vanntemperatur øker fra 10 til 15°C.
- RSW pumpe leverte bare 50% av den spesifiserte vannmengde. Simuleringene viser at kuldeytelsen vil øke 30% ved nominell RSW flow.
- Oljeinnhold i CO₂ en usikkerhetsfaktor. (Forbedret ved at vi har byttet oljetype fra POE til PAG)
- Stort trykkfall på sugeside (forbedret)

Konklusjon.

- **Punktsveiste varmevekslere for sjøvann og CO₂ som kuldemedium er utviklet og testet med gode resultater**
- **Simuleringsprogrammene er godt verifisert**
- **Punktsveiser varmevekslerplater i alle rustfrie stålmaterialer og titan.**
- **Små dimensjoner og fyllingsmengder i forhold til “shell and tube HX”:**
 - Fordamper 300 kW, bxhxd = 60x220x30 cm, 900 kg**
 - Kondensator 390 kW, bxhxd = 60x220x30 cm, 900 kg**
 - 2 stk kompressorenheter, hver bxdxh = 80x120x170 cm, vekt pr enhet ca 500 kg**
 - Fyllingsmengde CO₂: 120 kg**
- **Fordamper og kondensator leveres med kapasiteter etter behov/ønske**

Konklusjon forts.

- Konkurransedyktig i pris ferdig igangkjørt på båt
- Prototypanlegget montert august 2014. Båt skiftet eier i 2015 (fra Ambassador til Trønderhav).
- Driftserfaringer: Begge eiere sier at anlegget fungerer til forventningene. God kvalitet på fisken. Enkelt å betjene, men eier nr 2 ønsker en enklere styring og overvåking.

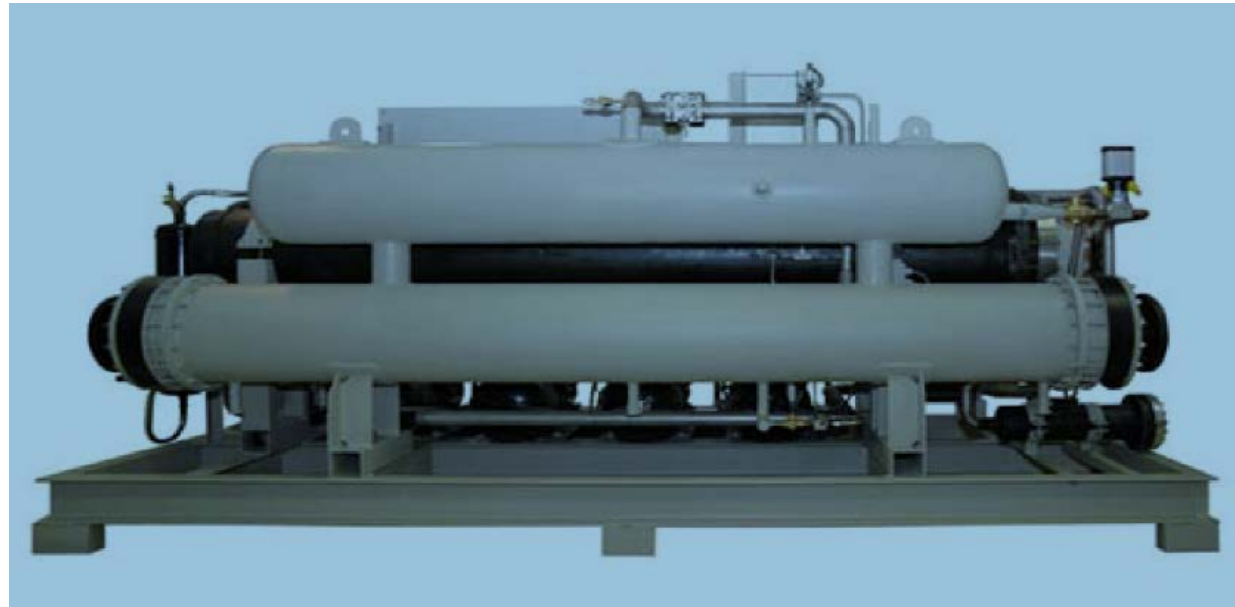
Finansielle bidragsytere til prosjektet

- **INNOVASJON NORGE**
- **FISKERI- OG HAVBRUKSNÆRINGENS FORSKNINGSFOND**
- **BØMMELFISK AS**
- **SKALA Fabrikk AS**

Vi takker for støtten.

CO₂ plant in fishing vessels

Tube in shell evaporator and condenser, 250 kW cooling capacity



RnLib: a refrigerant thermodynamic properties library developed by NTNU-SINTEF.

Dittus-Boelter correlation (turbulent water):

$$HTC = 1 / (1 / (0,023 \cdot Re^{0,76*} \cdot Pr^{0,33} \cdot 1 / D_H) + \text{Fouling factor})$$

Dimple plate stack.



Picture from: [www. http://dimpleplates.com/](http://dimpleplates.com/)
Copyright © 2008 Dimple Plates