



TEKNOLOGISK
INSTITUT

200° C med ny varmepumpeteknologi

Lars Reinholdt

Teknologisk Institut





Indhold

- Højtemperaturvarmepumper og deres anvendelse
- Hvad er teoretisk muligt?
 - COP Carnot
 - COP Lorenz
- Hybrid ammoniak/vand varmepumpeproces
 - Processen
 - ... i dag...
 - ... i morgen...
- Varmepumper med vanddamp
 - Vand som varmepumpefluid
 - ... i dag...
 - ... i morgen...
- Konklusion



Højtemperaturvarmepumper og deres anvendelse

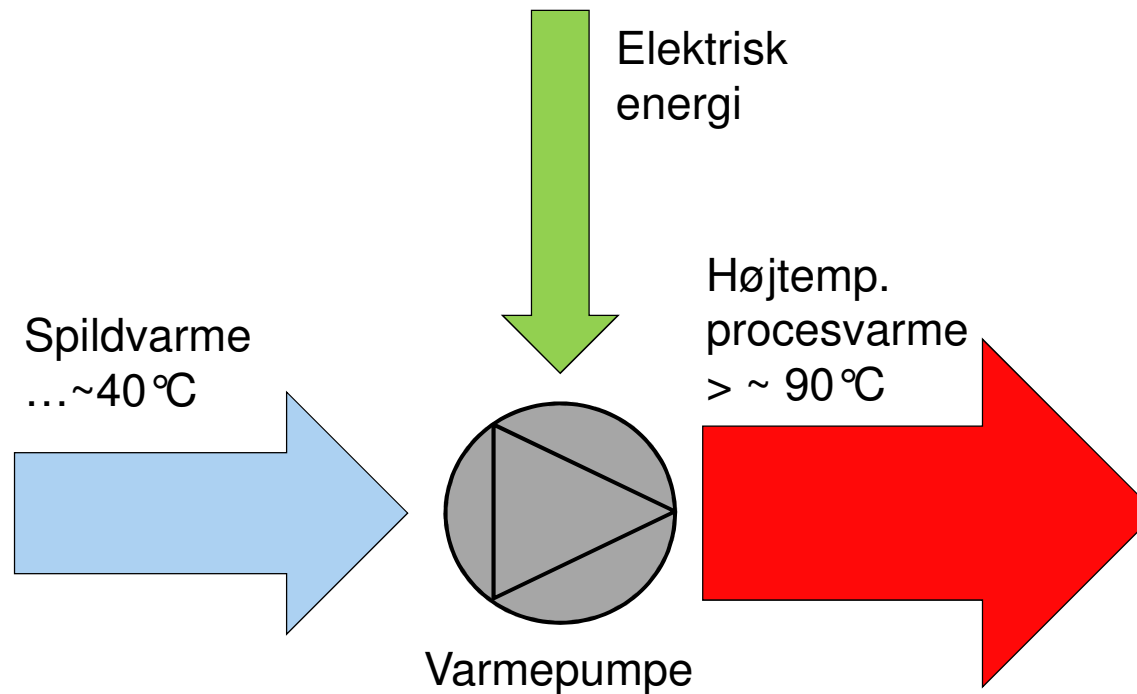
- $T_{\text{out}} > 85 - 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Anvendelse

- Fjernvarme / blokvarme
- Udnyttelse af industriel spildvarme til intern eller ekstern brug
- Energimæssig optimeringer i industrien



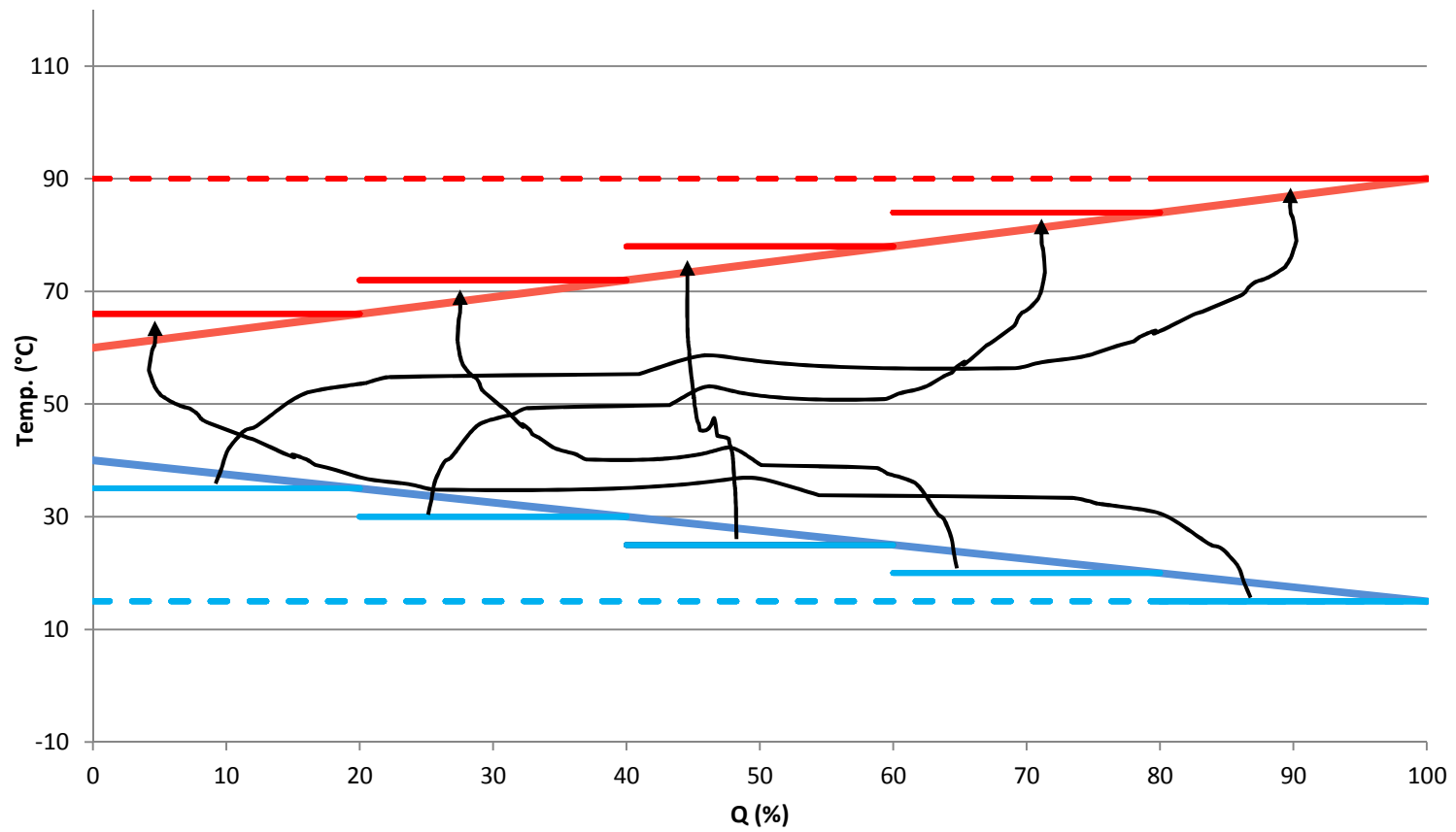
Integration af højtemperaturvarmepumper i industrien



$$\text{COP}_{\text{Heatpump}} = \text{Højtemp. procesvarme} / \text{Elektrisk energi}$$



COP for varmepumper





Teoretisk COP

- COP Carnot (konstant kilde og dræn)

$$COP_C = \frac{T_H}{T_H - T_L}$$

T_H = Sink temperature (K), T_L = Source temperature (K)

- COP Lorenz (kilde og dræn med "glid")

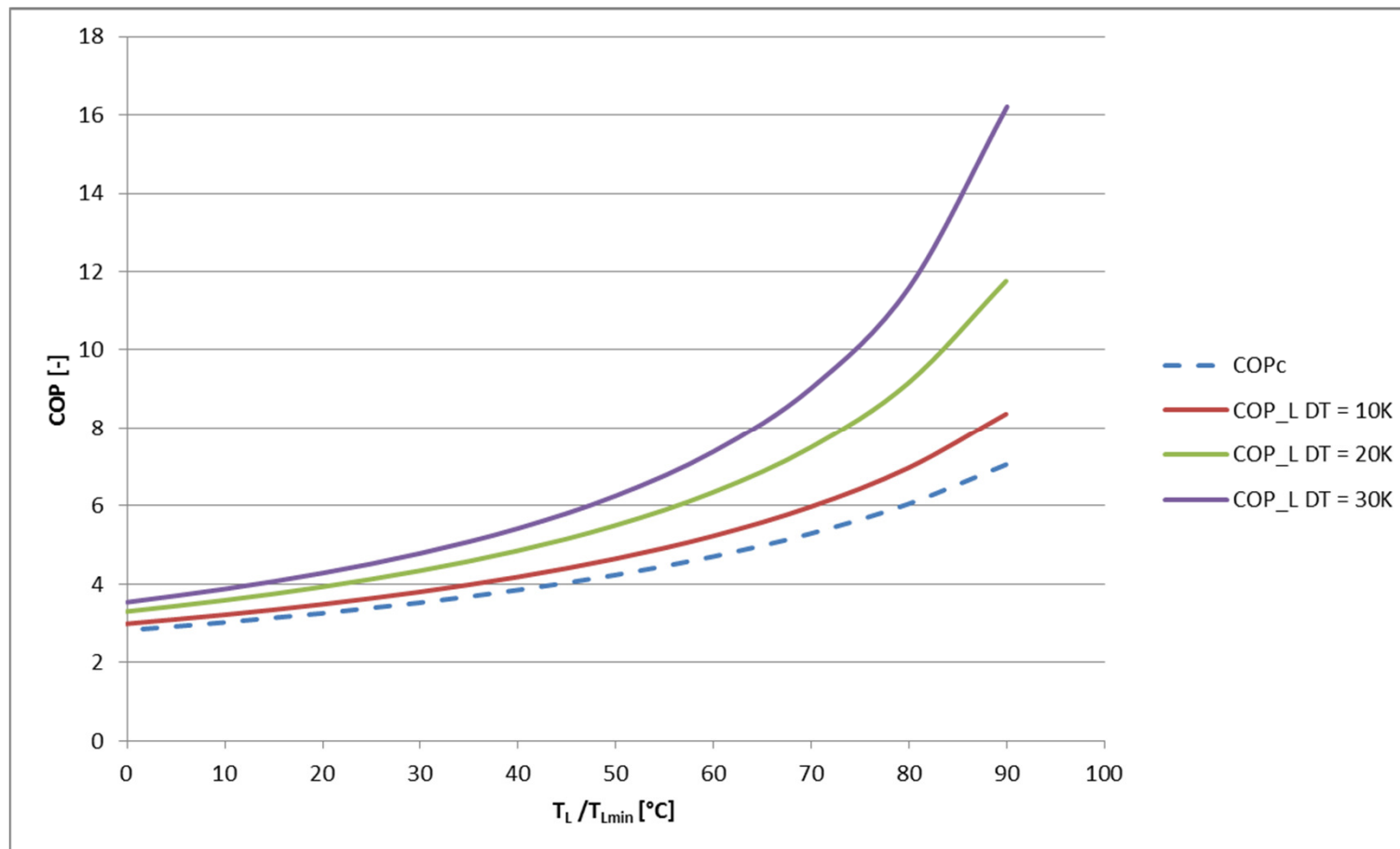
$$COP_L = \frac{T_{lmH}}{T_{lmH} - T_{lmL}}$$

T_{lmH} = log mid. temp. sink (K), T_{lmL} = log mid. temp. source (K)



$COP_C \leftrightarrow COP_L$

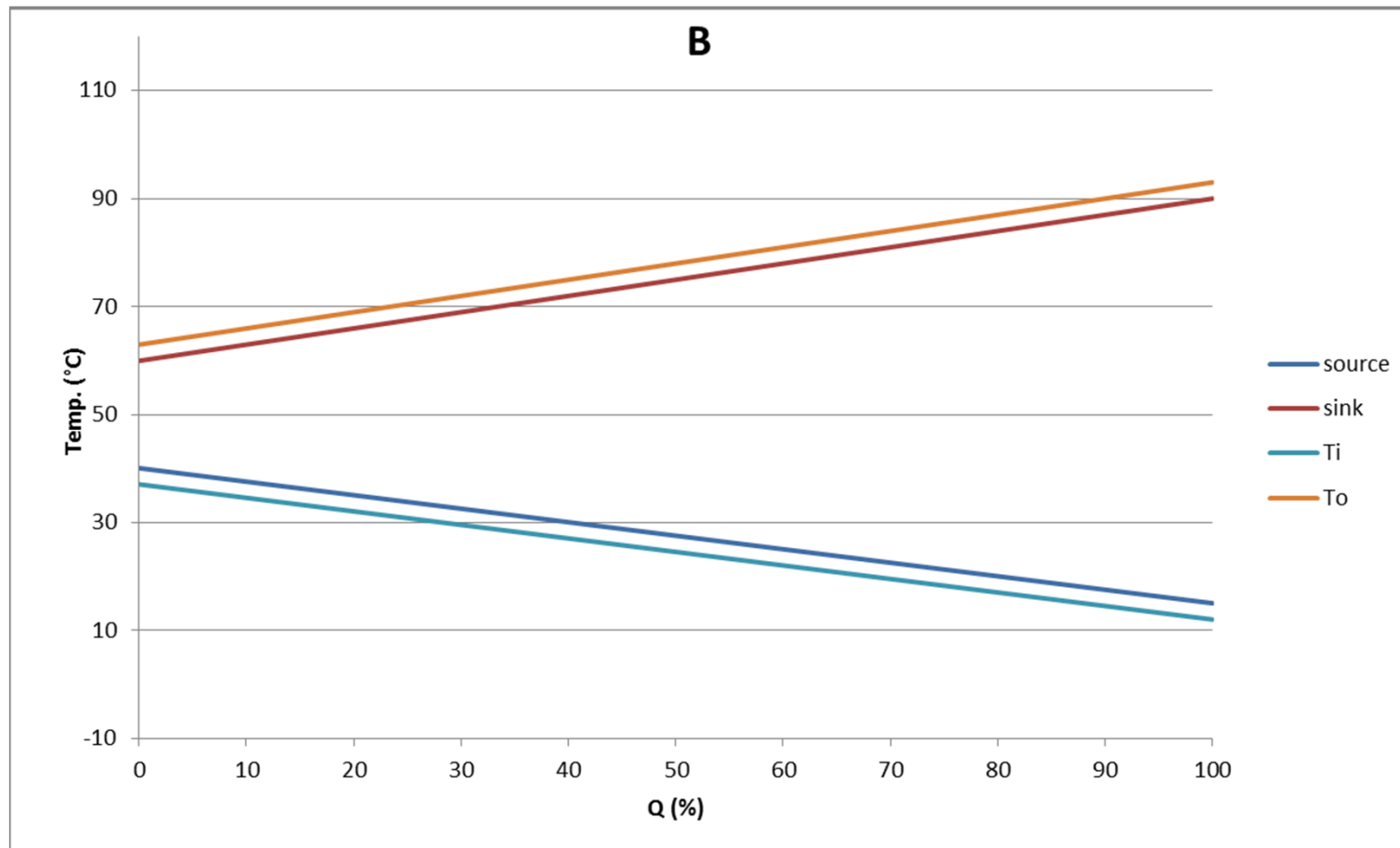
■ $T_H / T_{Hmax} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$





Eksempel B:

Kilde: $40 > 15^\circ\text{C}$ Dræn: $60 > 90^\circ\text{C}$





Hvad er teoretisk muligt?

Forskellige typer varmekilder og medier, der opvarmes, har forskellige karakteristika

Eks:

No.	Heat source (°C)	Heat sink (°C)	COP _{carnot}	COP _{lorenz}
A	8 > 4	85 > 95	4,0	4,3
B	40 > 15	60 > 90	4,8	7,3
C	25 > 20	70 > 110	4,3	5,4
D	80 > 20	85 > 90	5,2	9,4

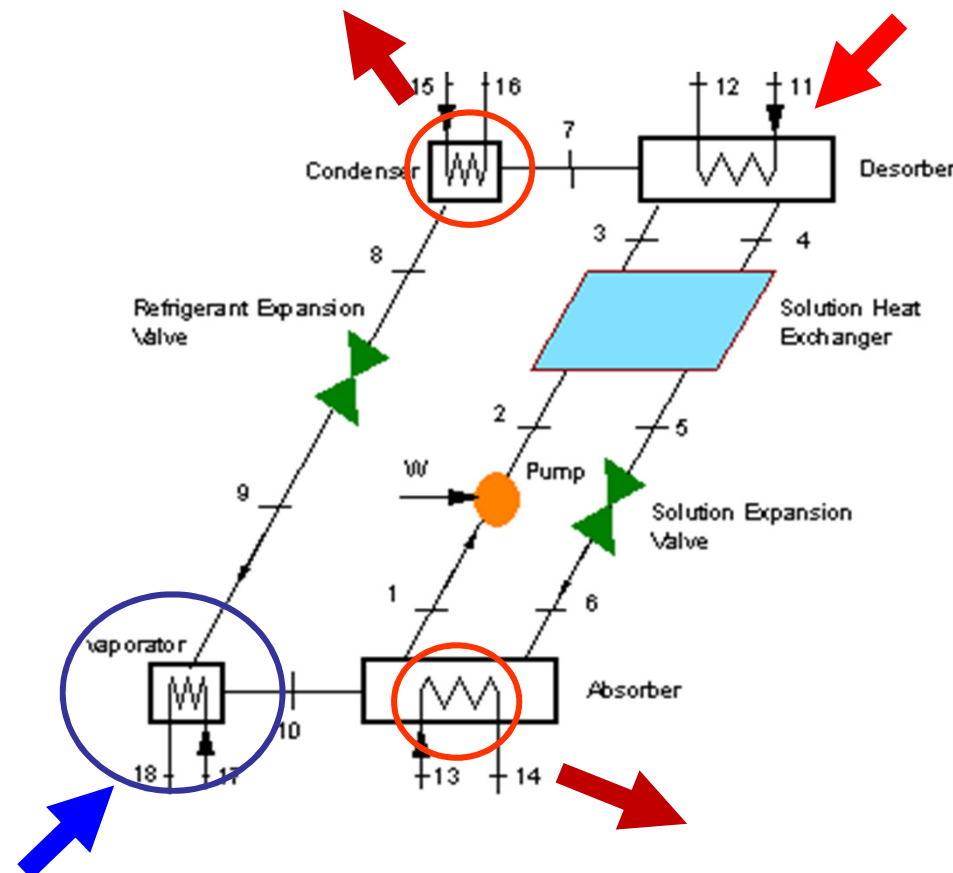
- COP Carnot: konstant kilde og dræn
- COP Lorenz: kilde og/eller dræn med "glid"



Hybrid ammoniak/vand-varmepumpeprocessen

Princippet

- Absorption system, baseret på $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ har været kendt i mange år

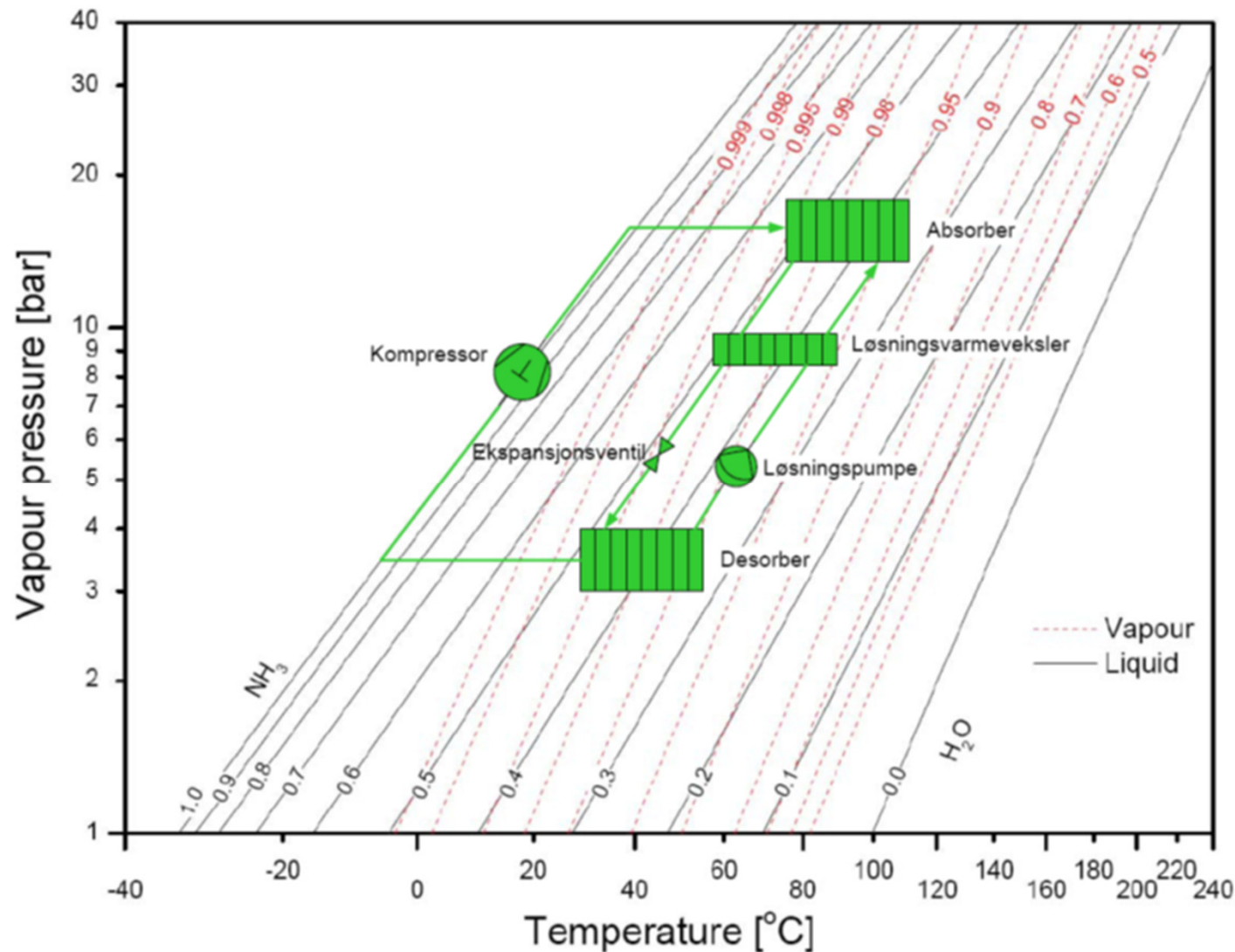




Hybrid ammoniak/vand-varmepumpeprocessen

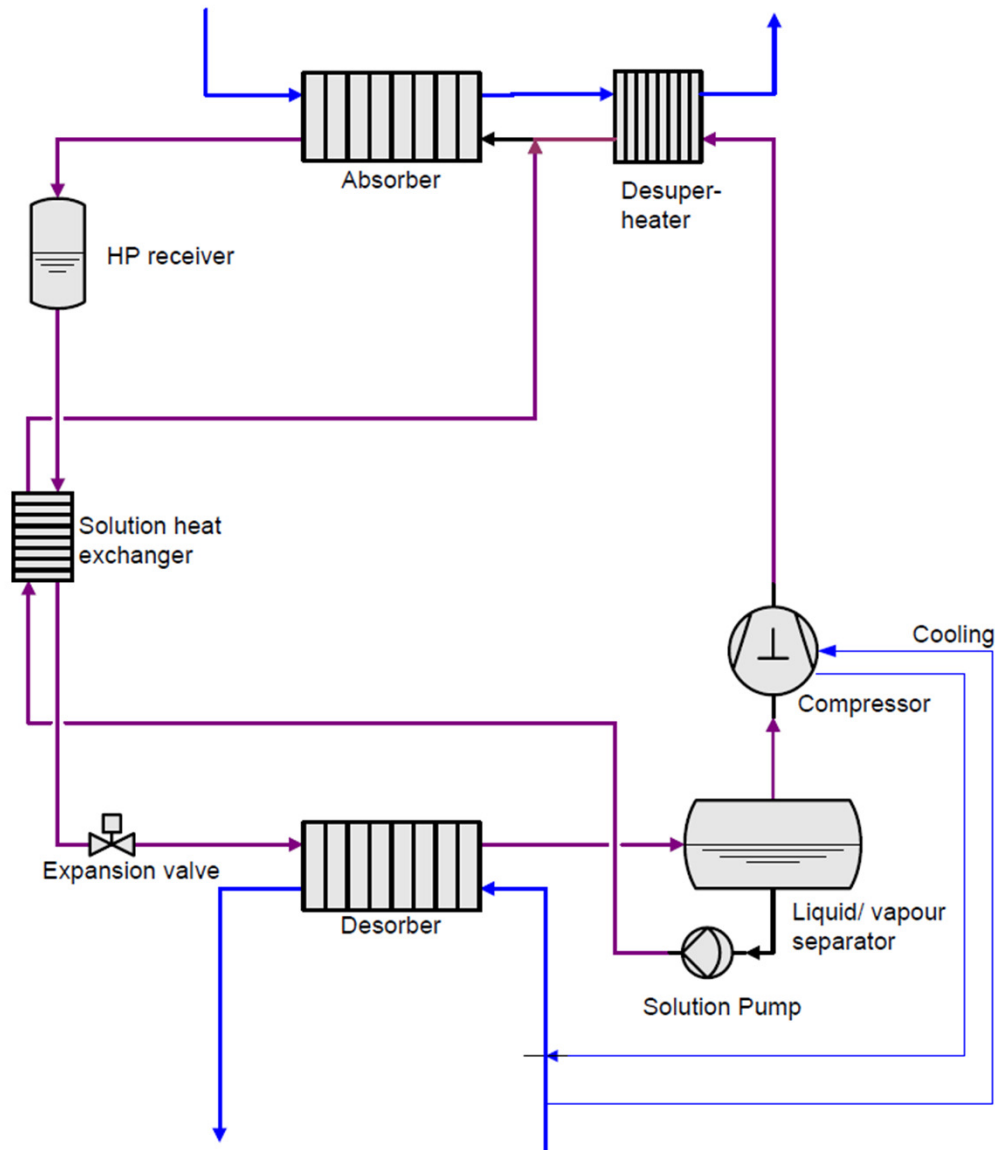
Princippet

- I hybridsystemet er processen vendt om vha. en kompressor





Hybrid ammoniak/vand-varmepumpeprocessen



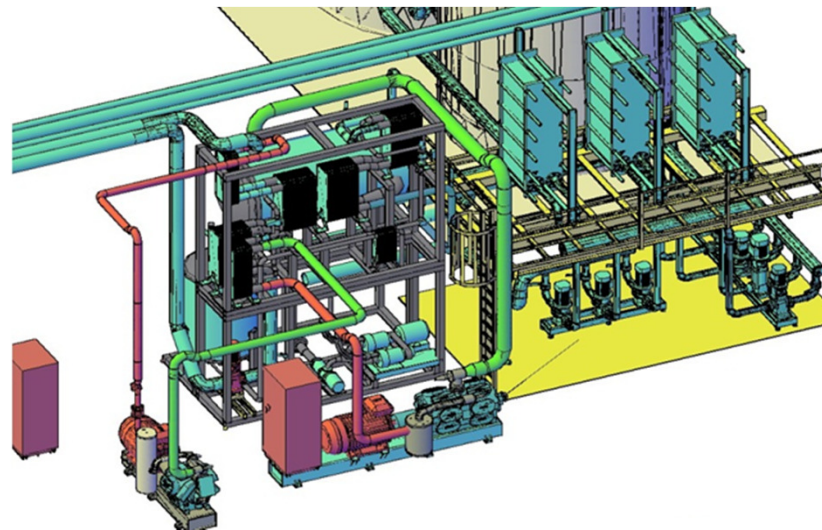


Hybrid ammoniak/vand-varmepumpeprocessen

EUDP-projekt: j.nr. 64010-0026 "Utilization of low-grade waste heat by means of high temperature heat pumps"

Case:

- Hybrid varmepumpen hos Arla Foods





Hybrid ammoniak/vand-varmepumpeprocessen

Største fordel: Høj temperaturer ved lavere tryk

I dag

- 110-130 °C

I morgen

- Nye (industrielle) kølekompresorer for højere tryk (drevet af udviklingen af CO₂ systemer): 50 op til 130 bar a.
- 180 to 250 °C (bør være) muligt...

Anvendelse:

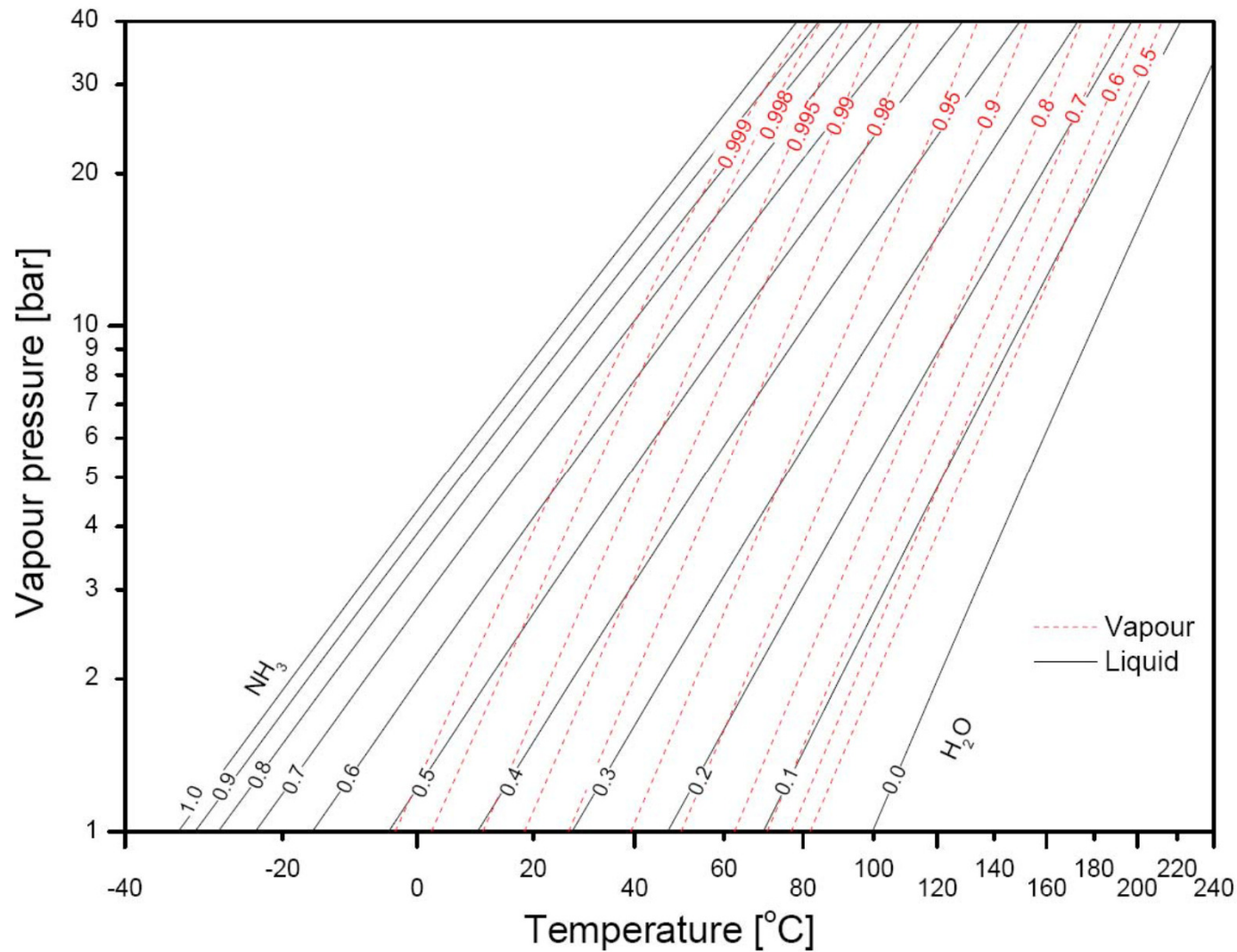
- Varmepumpeprocesser med "glid" på kilde og/eller dræn

EUDPprojekt: J.nr. 64011-0351

Udvikling af ultra-høj-temperatur hybrid varmepumpe for proces applikationer (HIGH HEAT)



Hybrid ammoniak/vand-varmepumpeprocessen

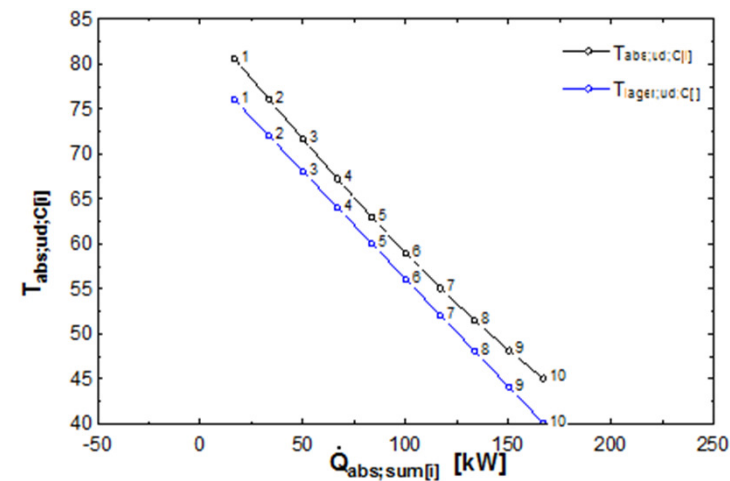
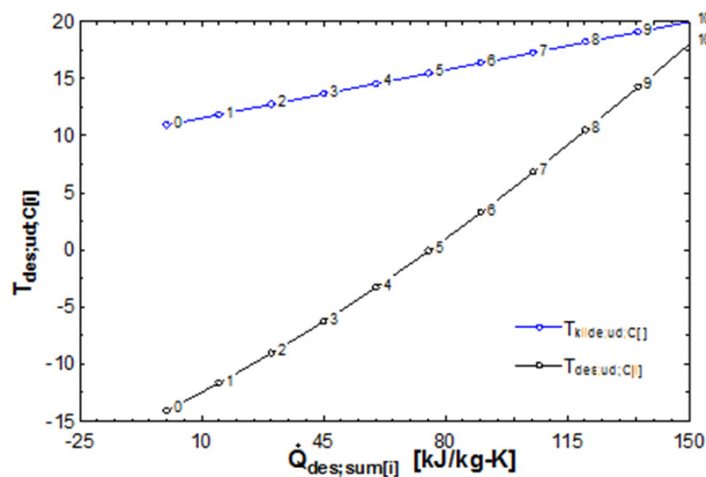
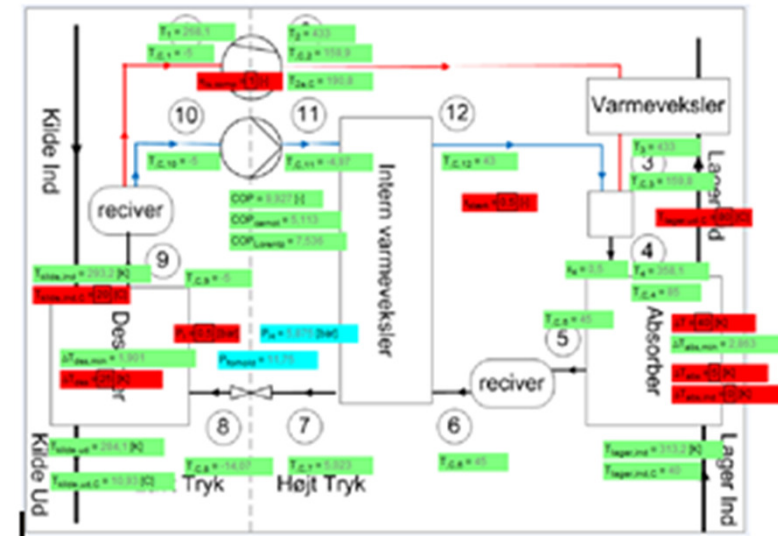




Hybrid ammoniak/vand-varmepumpeprocessen

Modellering

- Falling film varmevekslere
- Tre parametre styrer COP:
 - Tryk
 - Koncentration
 - Temperatur
- Pinch point kan optræde inde i varmevekslerne





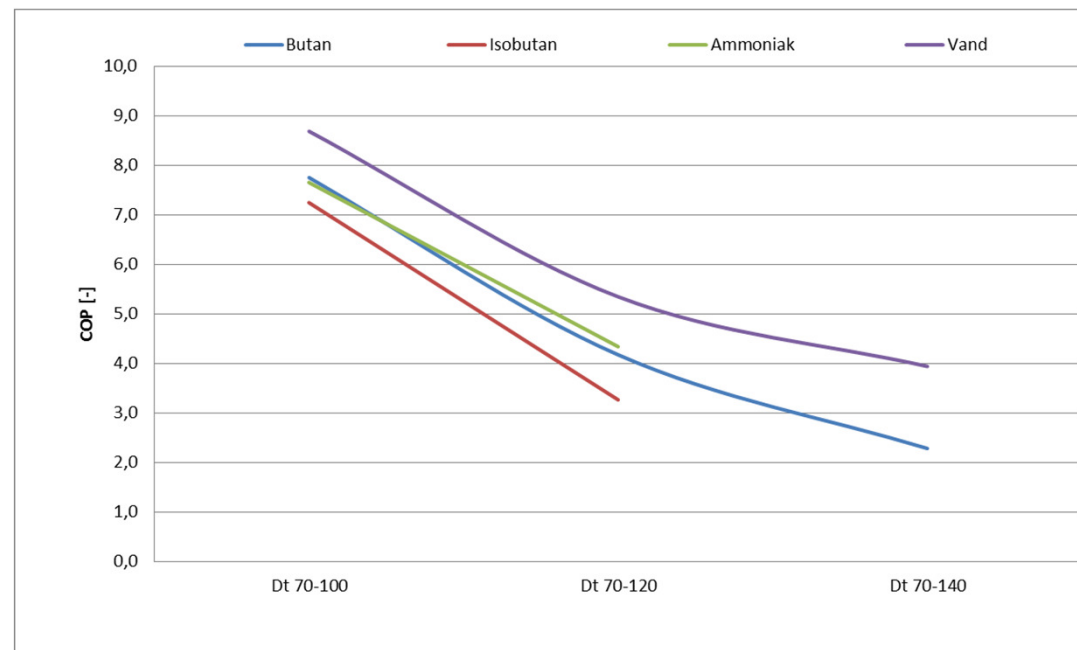
Vand som medie i varmepumpeprocessen

Tommelfinderregel: $T_{C,max} < 90\%$ af $T_{kritisk}$

$T_{kritisk}$ for udvalgte naturlige kølemidler

Kølemiddel	$T_{kritisk}$ (°C)	$T_{C,max}$ (°C)	$P_{kritisk}$ (bar a)
R290 (Propane)	97	60	46
R600 (Butane)	151	109	37
R600a (Iso butane)	136	95	37
R717 (Ammonia)	132	91	114
R718 (Water)	374	309	221

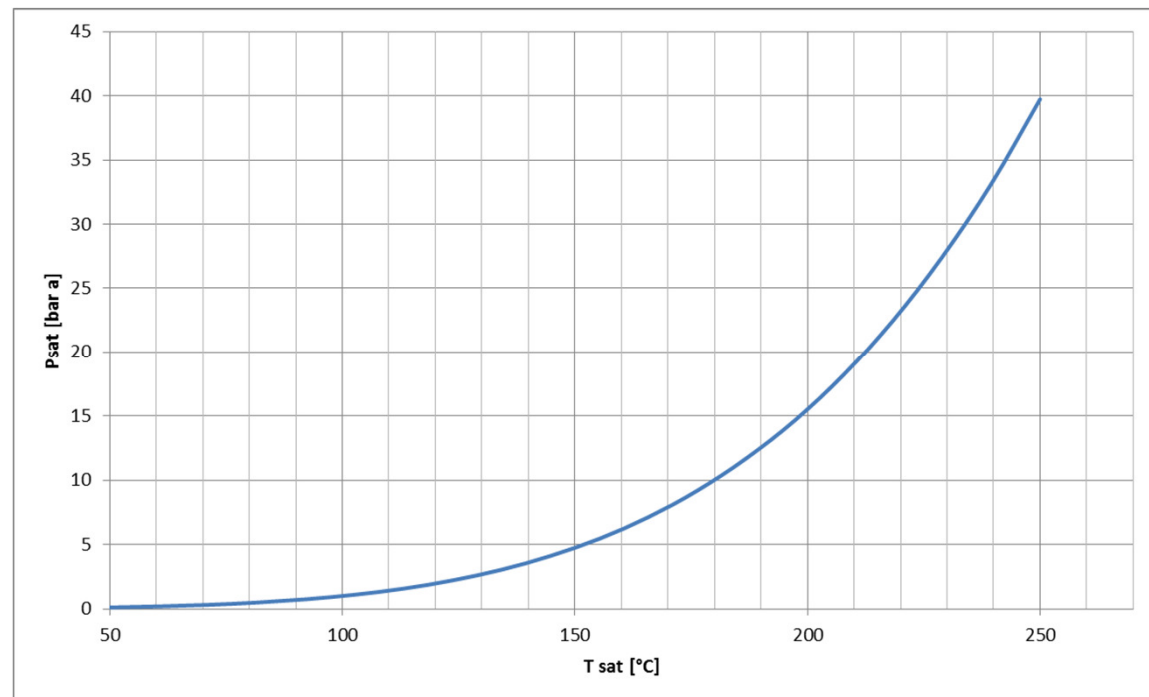
$$\eta_{is} = 0,75$$
$$T_{SC} = 1K$$





Vand som medie i varmepumpeprocessen

- Meget høj fordampningsvarme (> lille massestrøm for samme ydelse)
 - Naturligt, ikke brandbart eller giftigt, lav pris
 - Moderat mætningstryk
 - Dampsystemer og komponenter er kendt teknologi og meget udbredt
- ...Undtangen kompressorer...



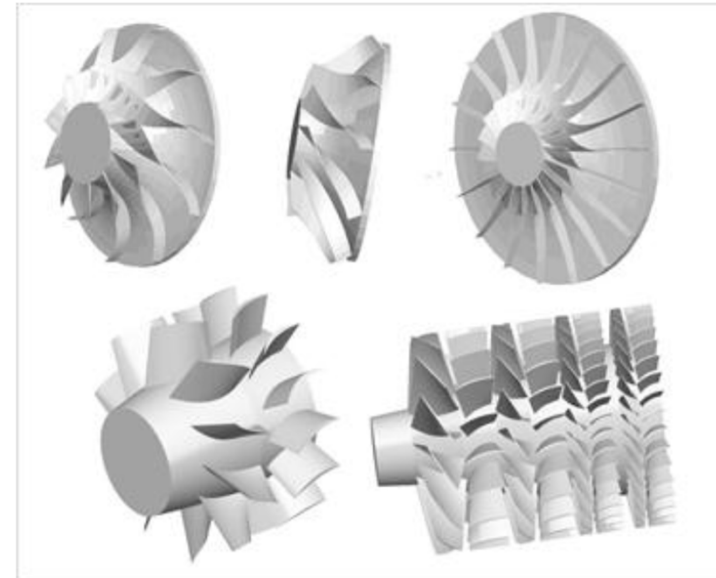


Kompressor



Efficiencies

- Axial: Π_{\max} 1:1,4 (η_{is} : 0,8)
- Radial: Π_{\max} 1:1,8-2 (η_{is} : 0,75)
- Væskering: Π_{\max} 1:3 (η_{is} : 0,5)
- Screw compressors
- Root compressors





Vanddamp-varmepumper

Anvendelse

I dag

- MVR (Mechanical Vapor Recompression)
 - Lavt tryk-løft > relativt lavt temperaturløft
 - Typisk anvendelse: Inddampning
 - Højtryksblæsere

I morgen

- Højtemperaturprocesser
 - Distillation
 - Ekstraktion
 - Spray-tørring
- Tørring i overhedet damp (max ΔT 50-80 K)
- Direkte produktion af procesdamp



Konklusion

- Varmepumper løser ikke alle problemer:
COP_{carnot} eller COP_{Lorenz} er grænsen

To højtemperaturvarmepumpeteknologier baseret på naturlige kølemidler blev præsenteret:

- Hybrid ammoniak/vand processen
I dag 110-130 °C.
Fordel ved "glid" i kilde og/eller dræn
Lavere tryk > standard (industrielle) komponenter brugt på en ny måde...
Nye industrielle komponenter til højtryksskøleprocesser gør det muligt at nå højere temperaturer (180 > 250°C)
- Vandamp
Kendt teknologi, på nærd kompressorer
Nye kompressorer ved under udvikling og ret tæt på markedet
Fordel ved "konstant-temperatur"-processer
Moderate tryk (10 bar ~ 180°C)



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Mange tak

Kontakt:

Lars Reinholdt
teknologisk Institut

E-mail: ire@dti.dk