



Så fungerar en värmepump, och så kan vi göra dem bättre

Björn Palm,

Avd. Tillämpad termodynamik och kylteknik,

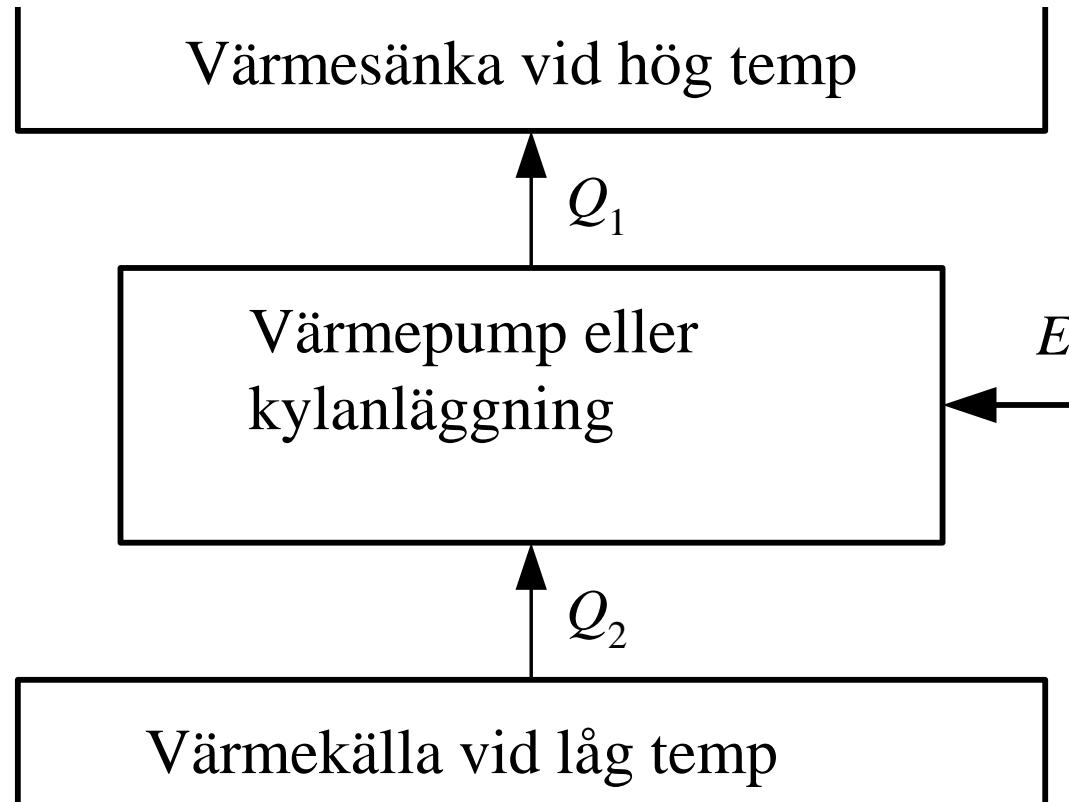
Inst Energiteknik, KTH



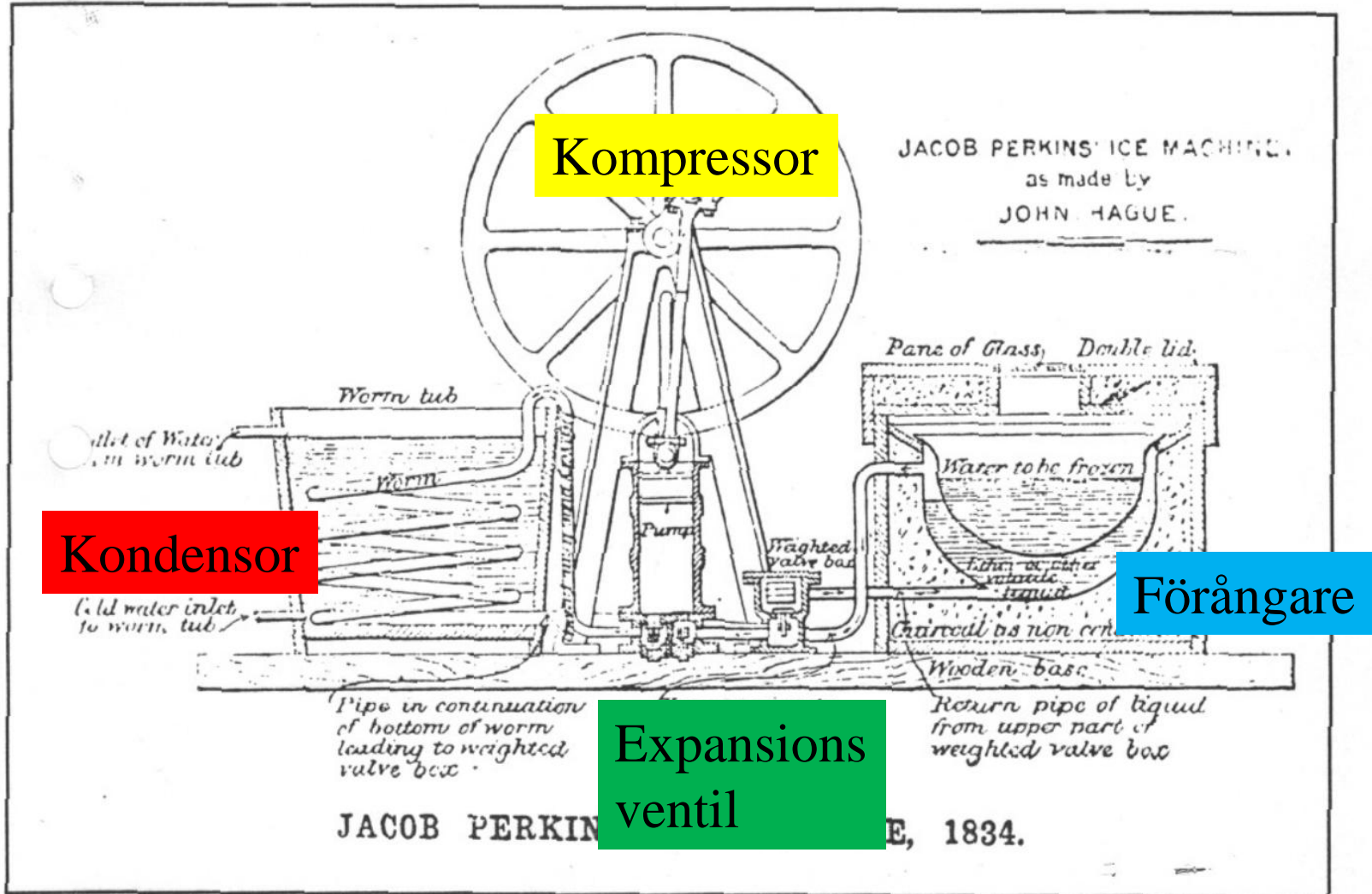
Så fungerar en värmepump,



Principen för ett värmepumpande system

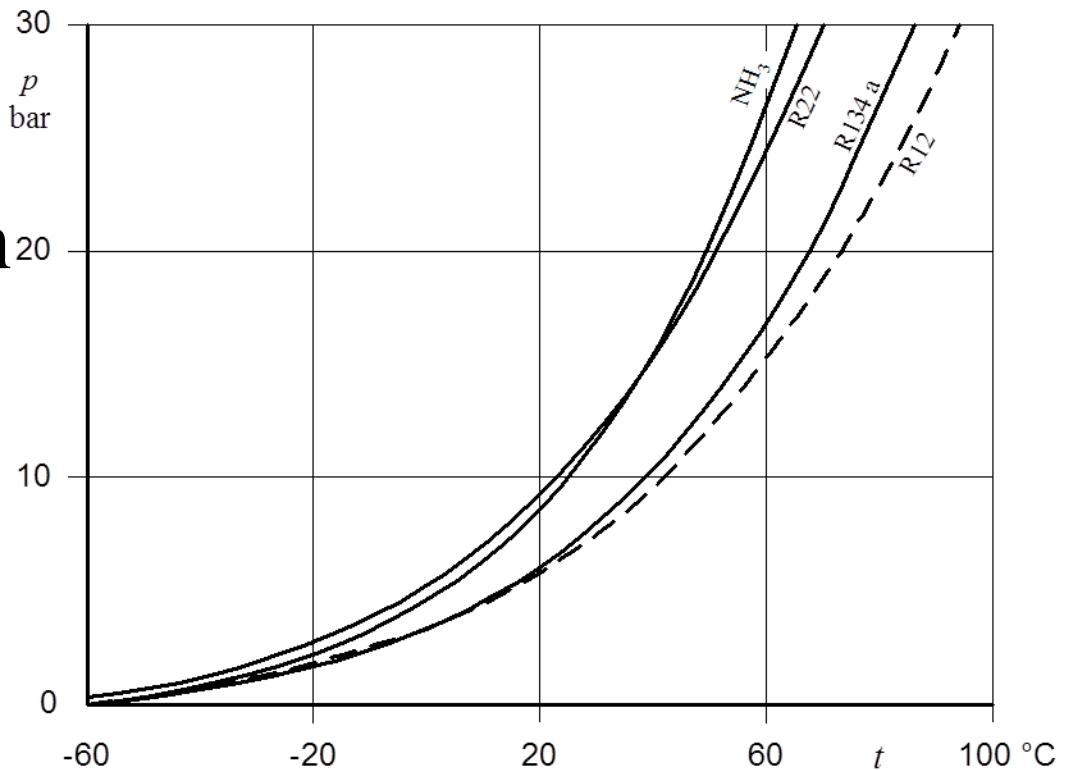


”Värmepump” från 1834

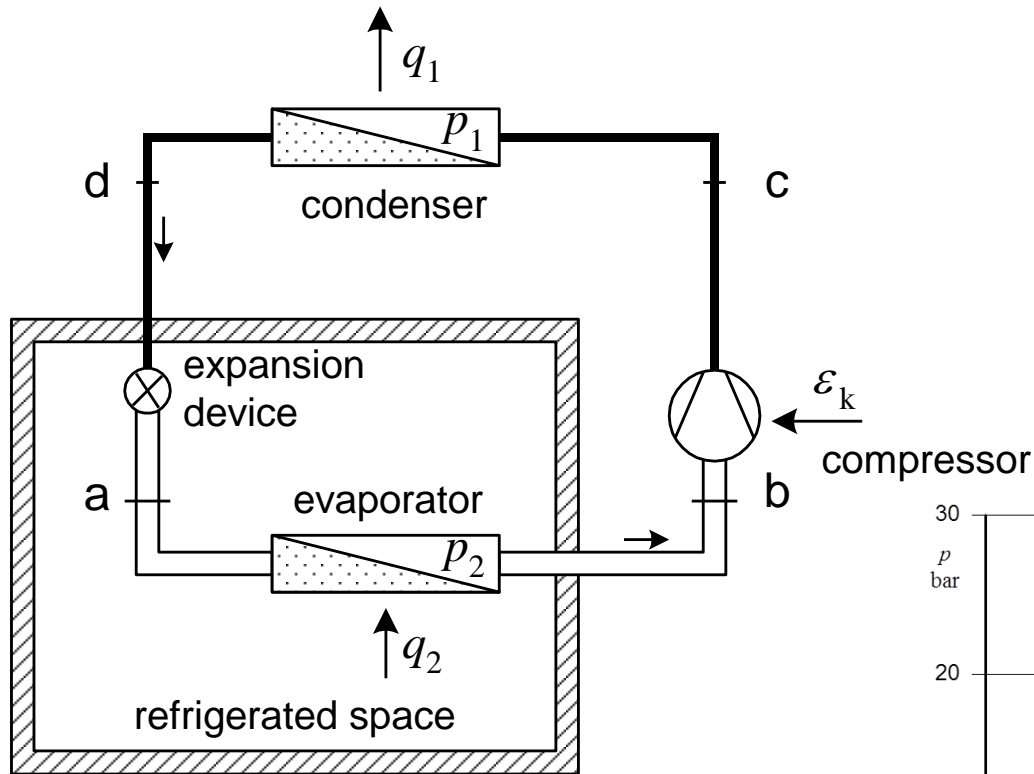



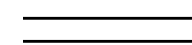
Ångtryckskurvor för några vanliga köldmedier

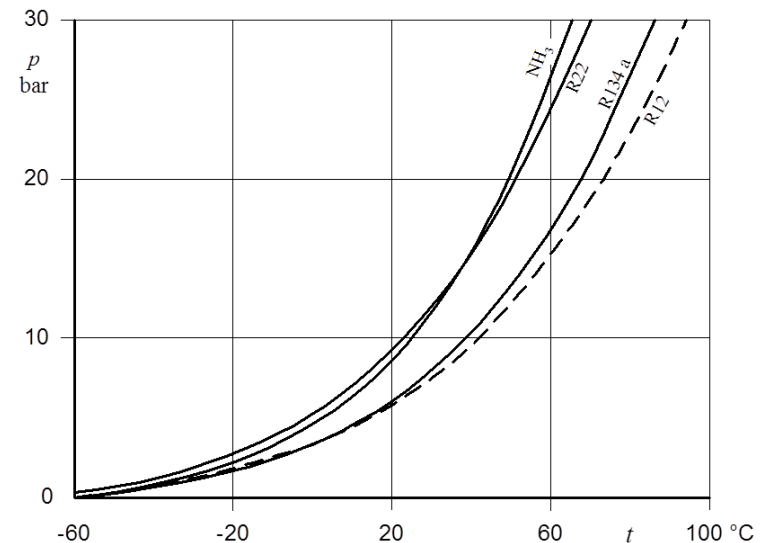
- För varje tryck finns en specifik kokpunkt!
- När kompressorn höjer trycket så höjs även kokpunkten.



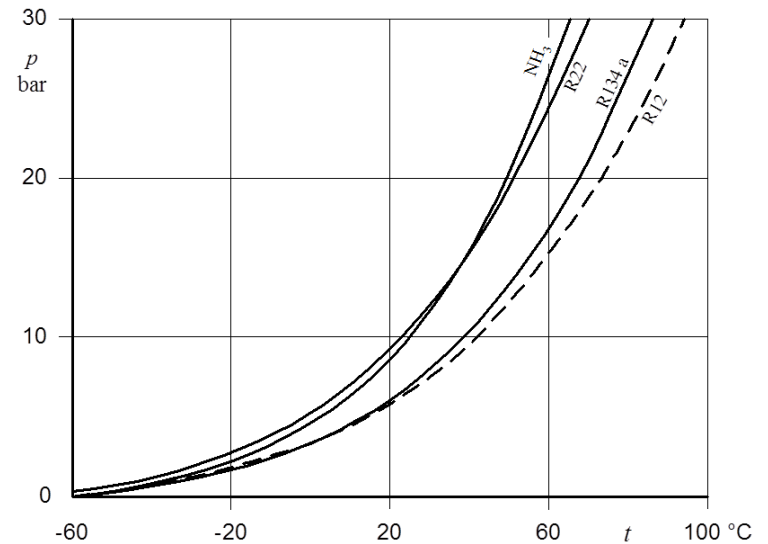
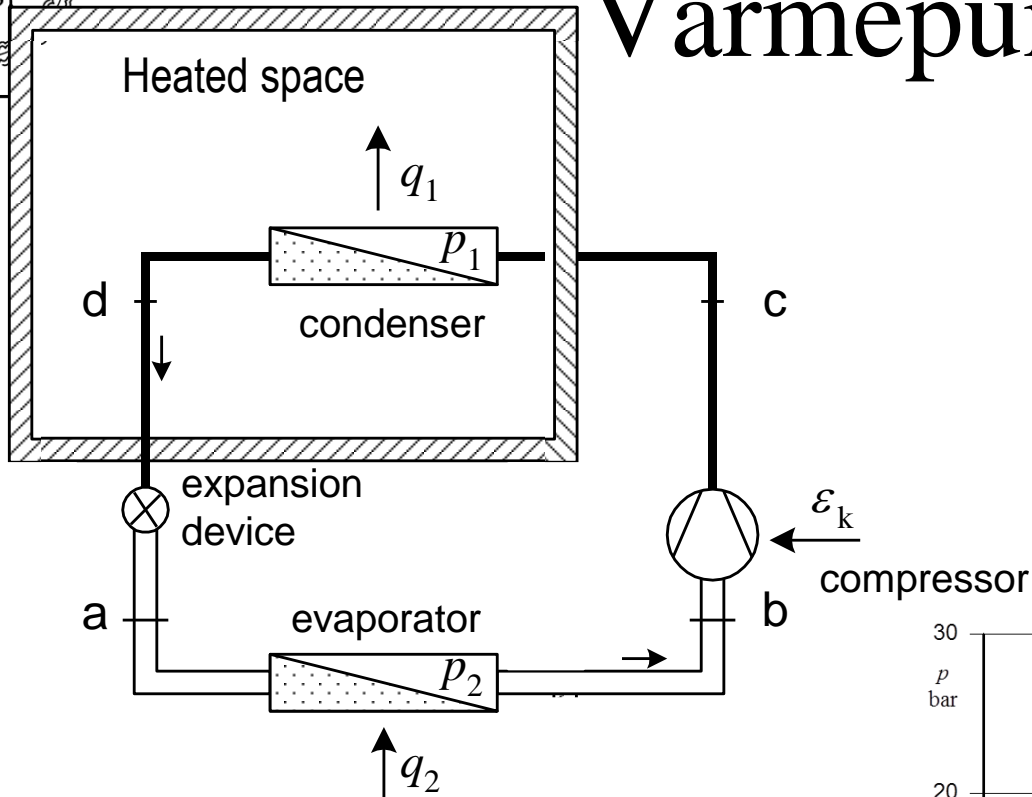
Kylanläggning



 Högt tryck
 Lågt tryck



Värmepump







Vad är möjligt?

Hur bra kan värmepumpen bli?



Termodynamikens lagar

- Ingen värmepump-process som arbetar mellan två konstanta temperaturer kan ha en värmefaktor högre än Carnotprocesses, för vilken gäller:

$$COP_{1,Carnot} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$



Vilka temperaturer arbetar värmepumpen med?

- Inomhustemperatur, +20°C
- Årsmedeltemp = bergtemp = +6°C

$$COP_{1,Carnot} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

- => Högsta möjliga värmefaktor: 20,9 !



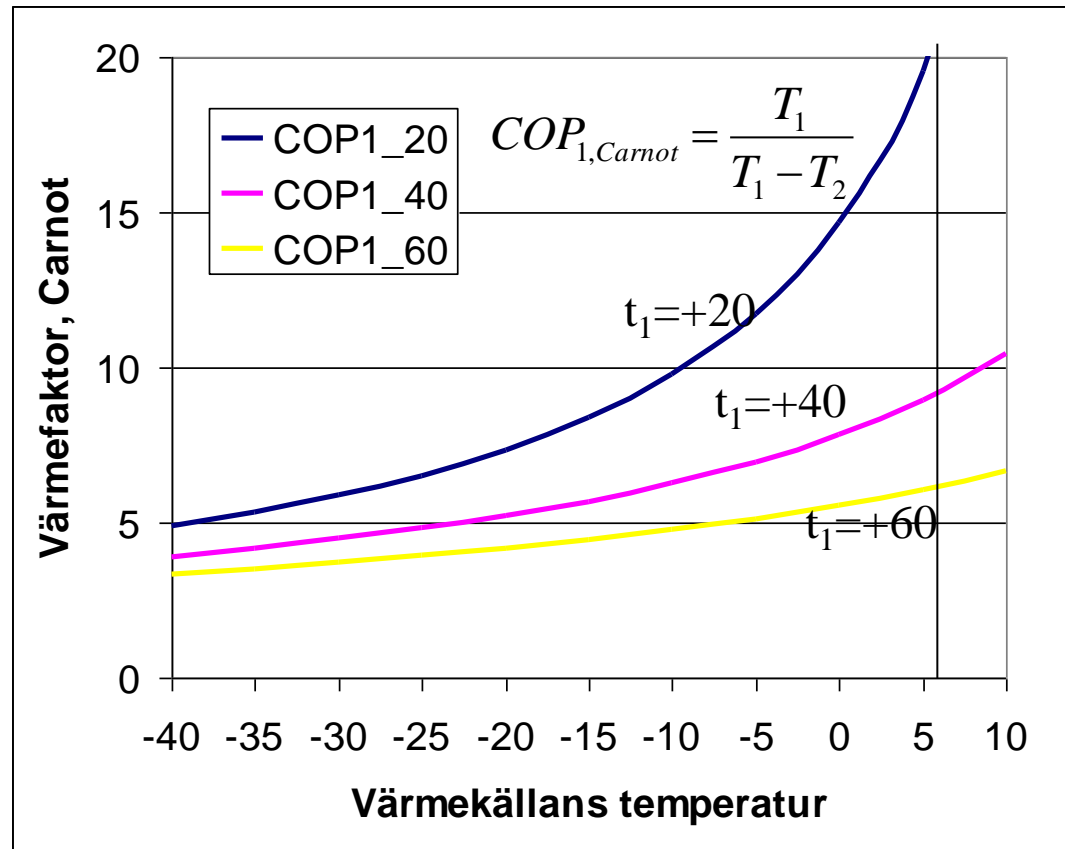
Vilka temperaturer arbetar värmepumpen med?

- Varmvattentemperatur, +60°C
- Årsmedeltemp = bergtemp = +6°C

$$COP_{1,Carnot} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

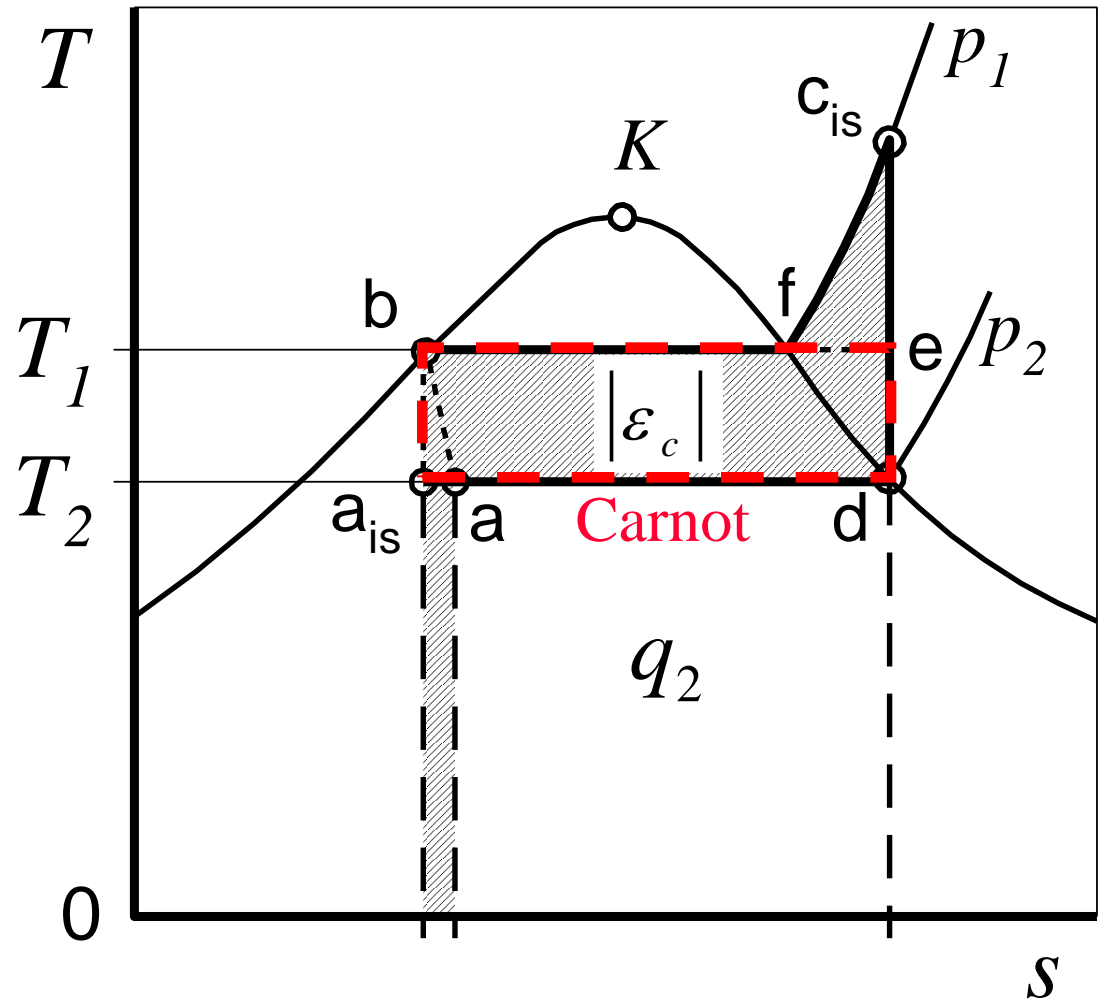
- => Högsta möjliga värmefaktor: 6,2 !

Carnotprocessens värmefaktors temperaturberoende



Jämförelse med ideal cykel

Kompressor-
kylprocessen
jämfört med
Carnot
processen





”Ideal” värmefaktor jämfört med Carnot, $t_1=40^\circ\text{C}$, $t_2=0^\circ\text{C}$

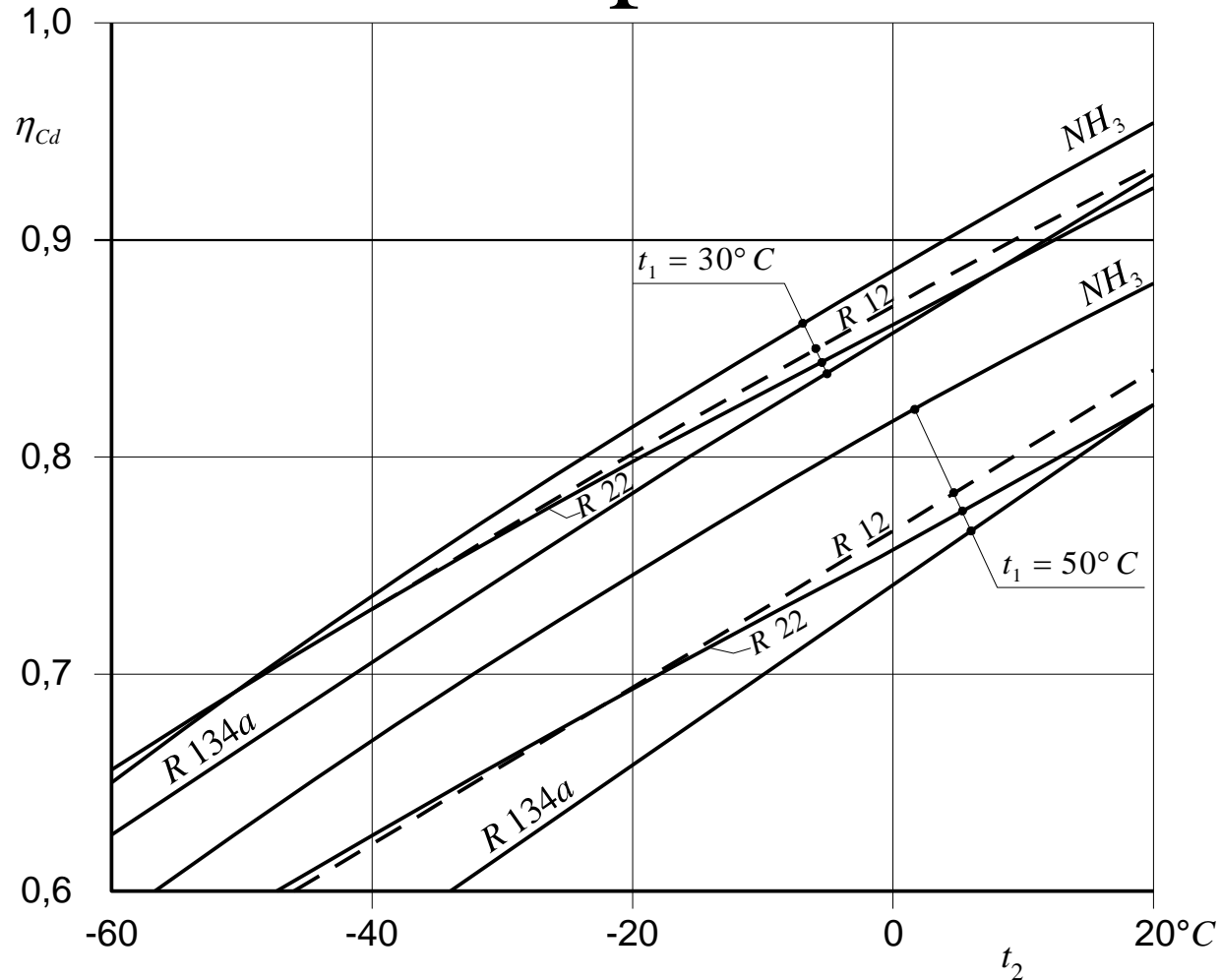
Ideal värmefaktor för kompressorprocessen, jämfört med Carnotprocessen

Ideala kompressorprocessen är 15-20% sämre än Carnot.

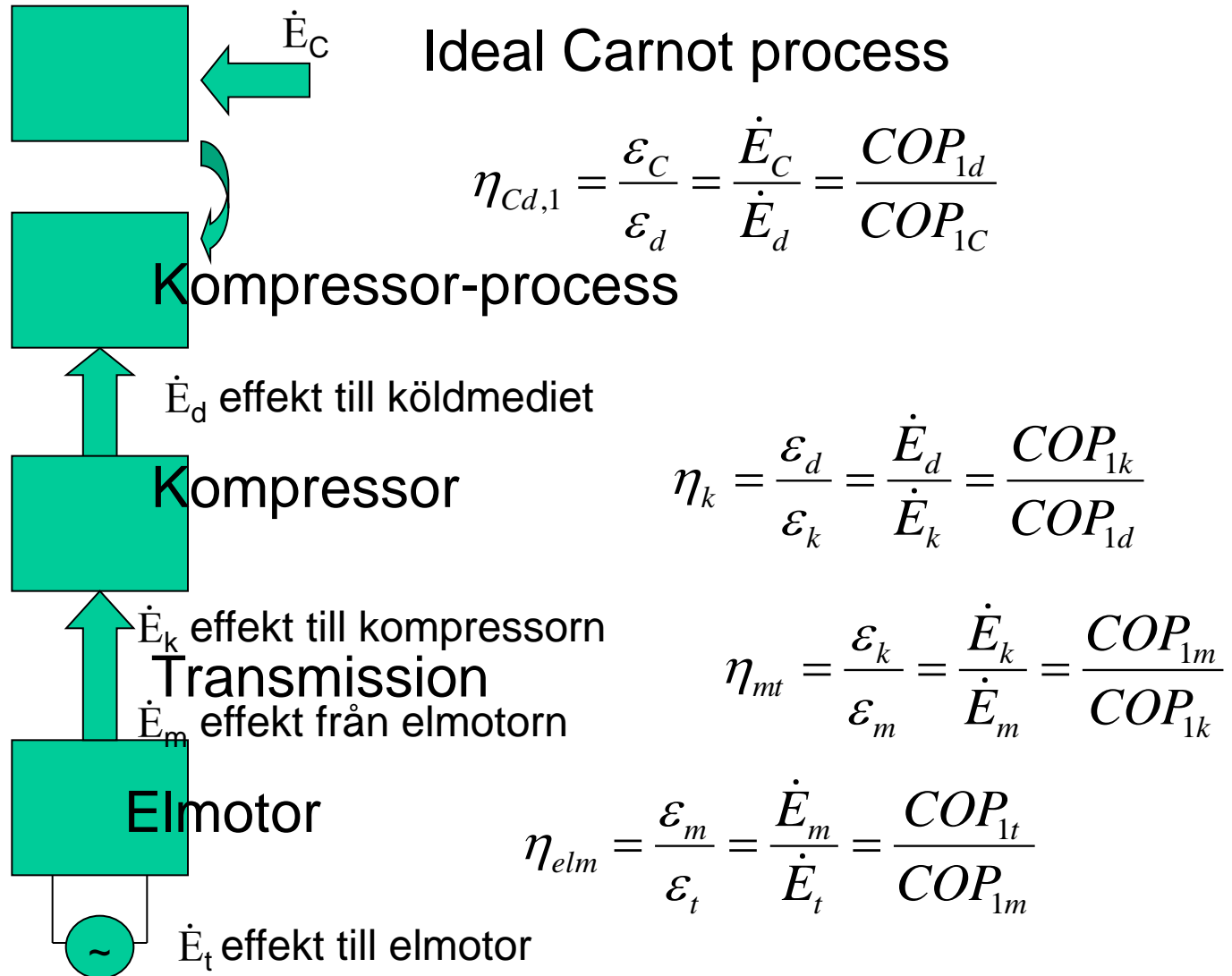
$$20,9 * 0,85 = 18 \text{ (ca)}$$

R22	84%
R134a	83%
R290 (propan)	82%
R600a (isobutan)	84%
R717 (ammoniak)	87%
R407C	81%
R404A	75%
R410A	79%

Köldfaktor jämfört med Carnotprocessen



Förluster i den verkliga processen





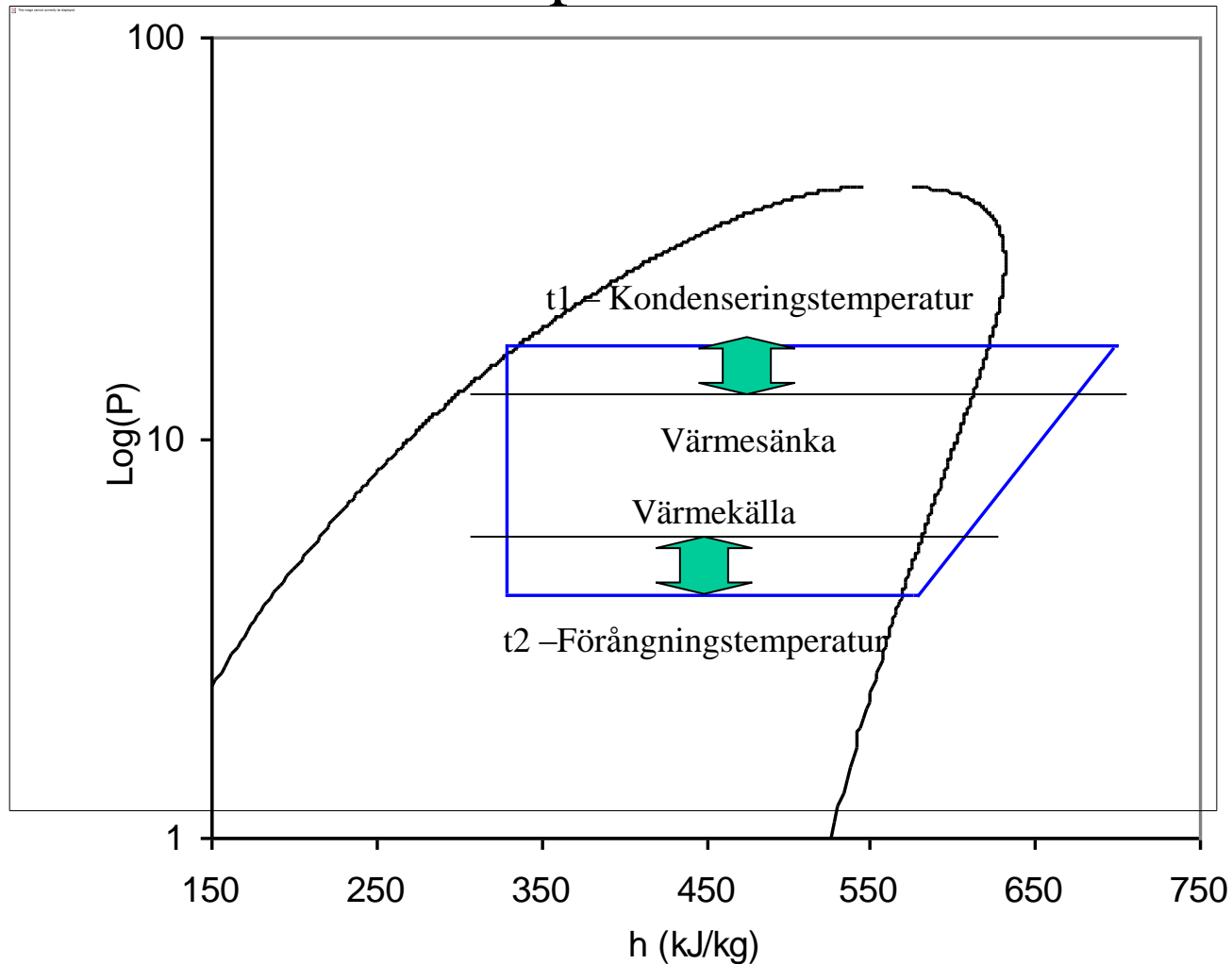
Verkningsgrader i effektkedjan

$$\begin{aligned} COP_{1t} &= \frac{\dot{Q}_1}{\dot{E}_t} = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{E}_C} \cdot \eta_{elm} \cdot \eta_k \cdot \eta_{Cd} = \\ &= COP_{1C} \cdot \eta_{elm} \cdot \eta_k \cdot \eta_{Cd} = COP_{1C} \cdot \overbrace{\eta_{Ct}}^{Ca\ 0,55} \end{aligned}$$

$$\text{Där } COP_{1C} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

Förväntad värmefaktor, +20/+6: $20,9 \cdot 0,55 = 11,5$

Temperaturdifferenser på kalla och varma sidan – påverkar värmefaktorn



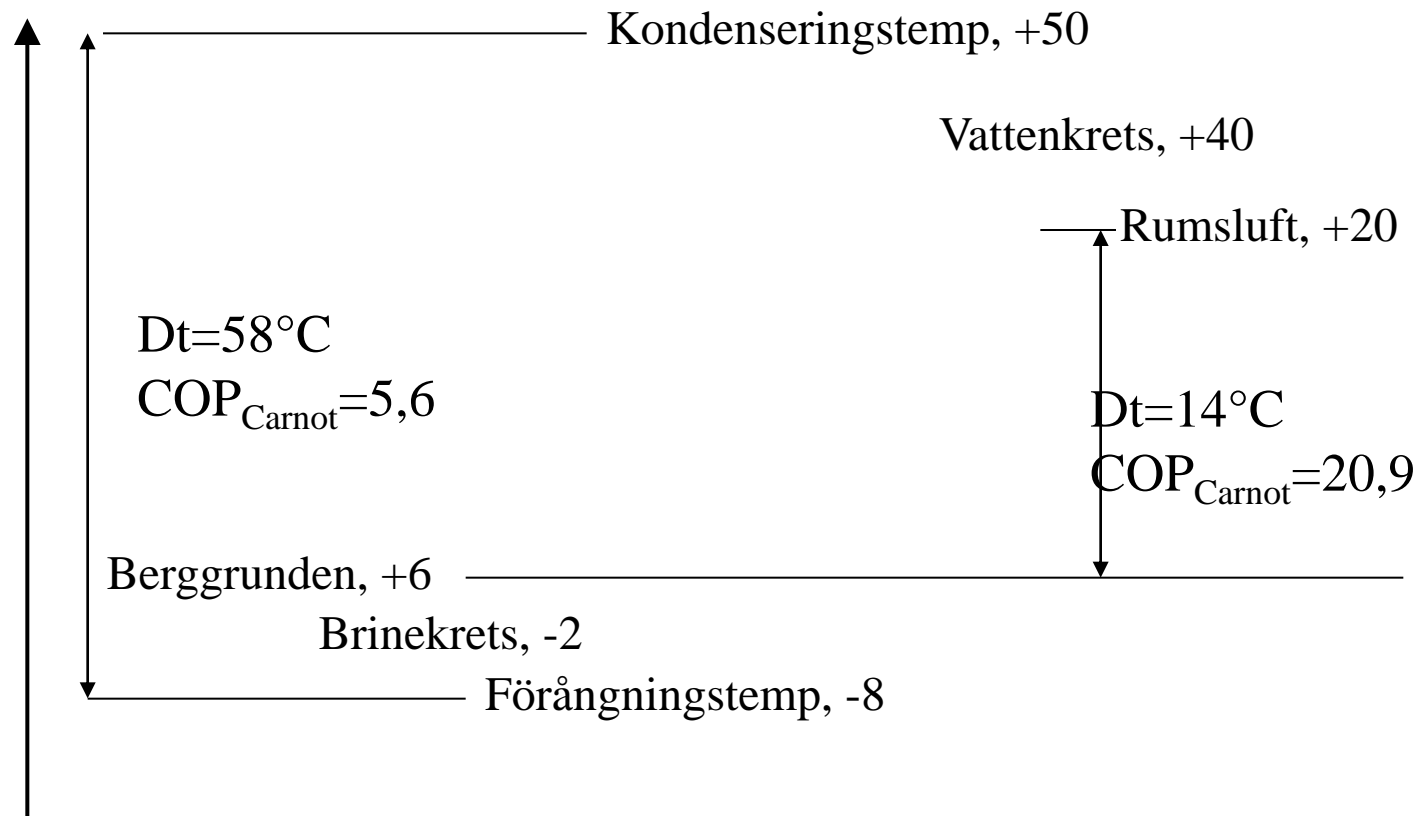


Slutsats

- För hög värmefaktor, konstruera för liten temperaturskillnad mellan förångnings- och kondenseringstemperatur.
- Dvs dimensionera för små temperaturdifferenser i alla led.

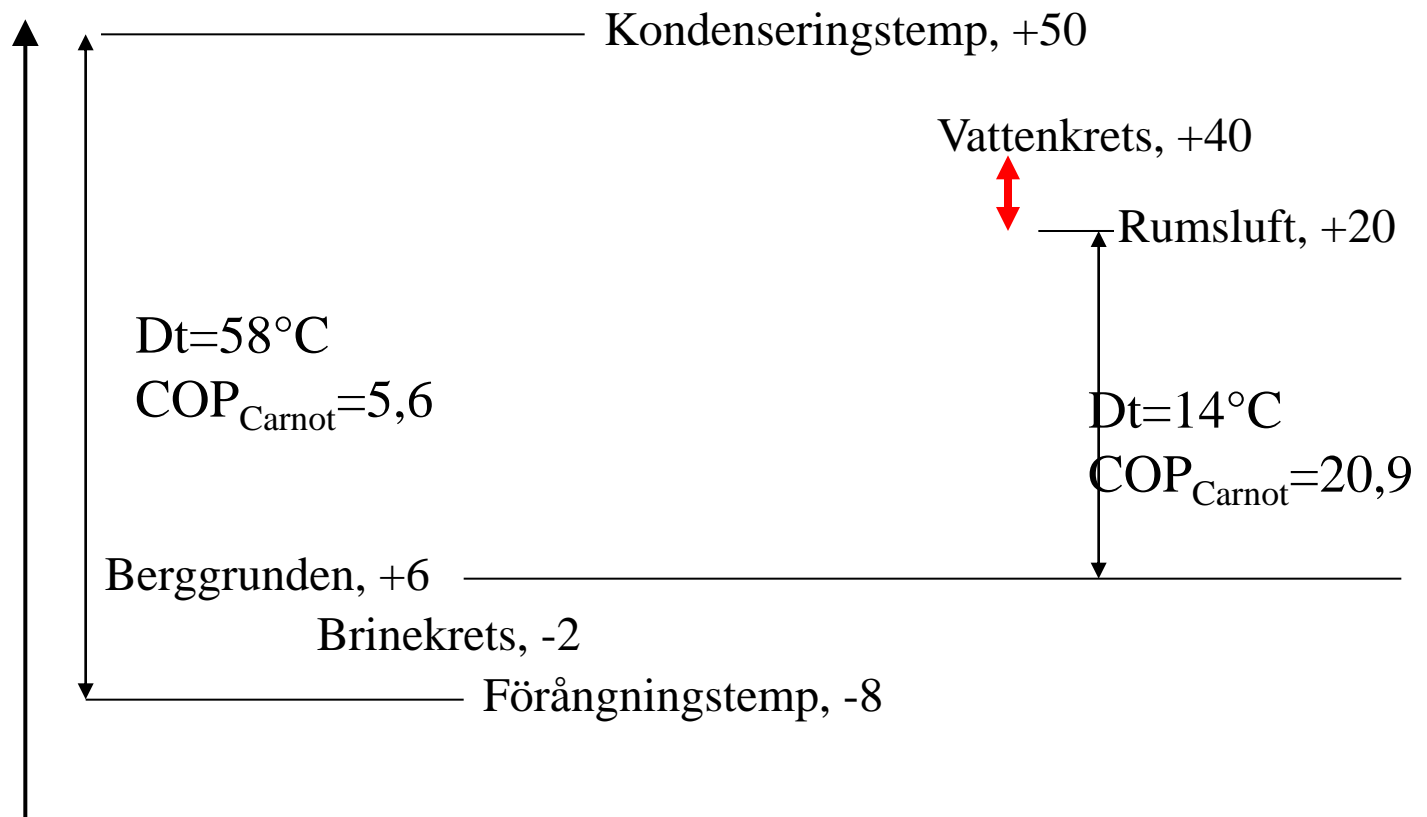
Temperaturdifferenser i systemet

- Temp



Temperaturdifferenser i systemet

- Temp





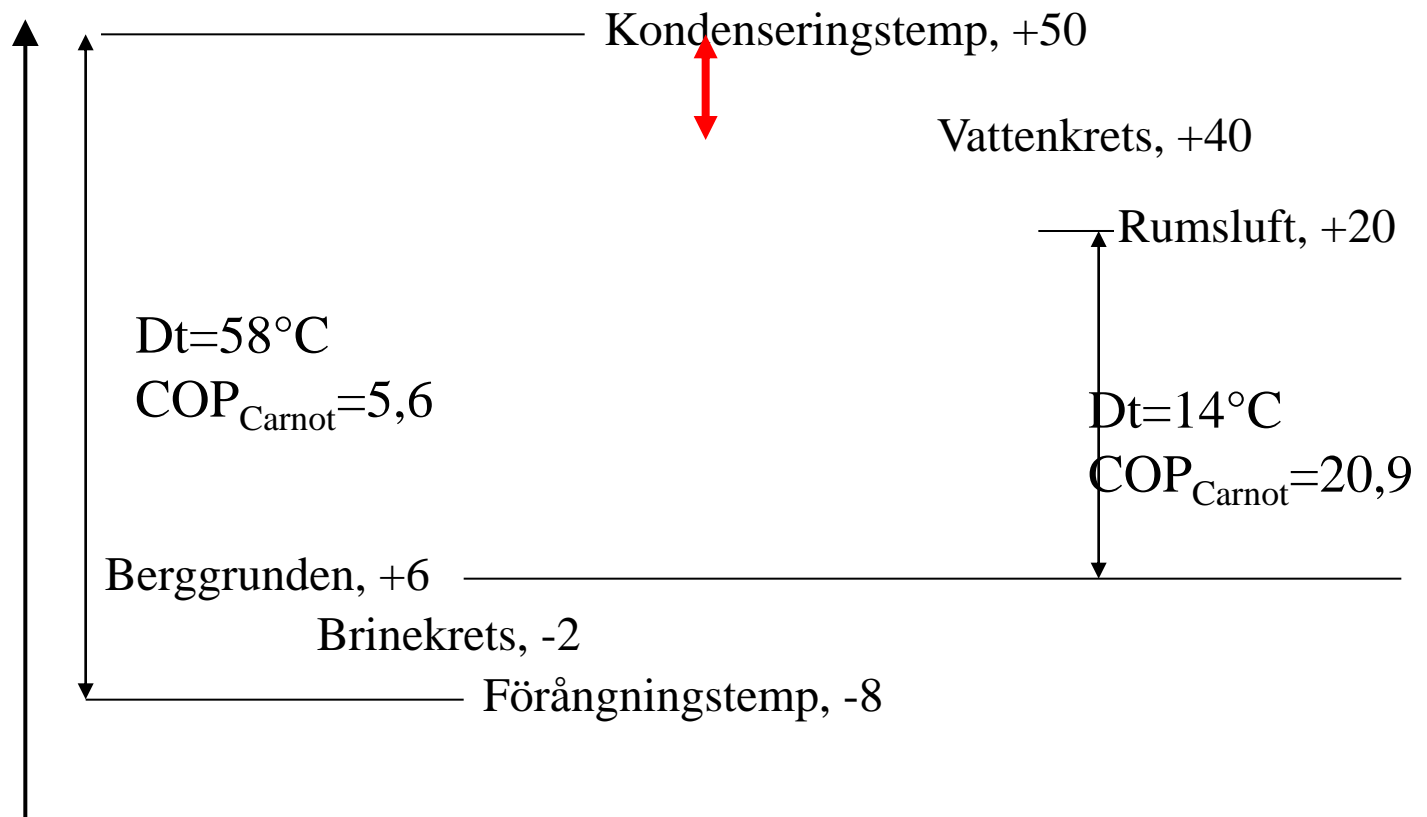
Temperaturdifferens värmesystem - rumsluft

Minskas med:

- Golvvärme
- Takvärme, vägg-värme
- Konvektorer
- Stora radiatorytor

Temperaturdifferenser i systemet

- Temp





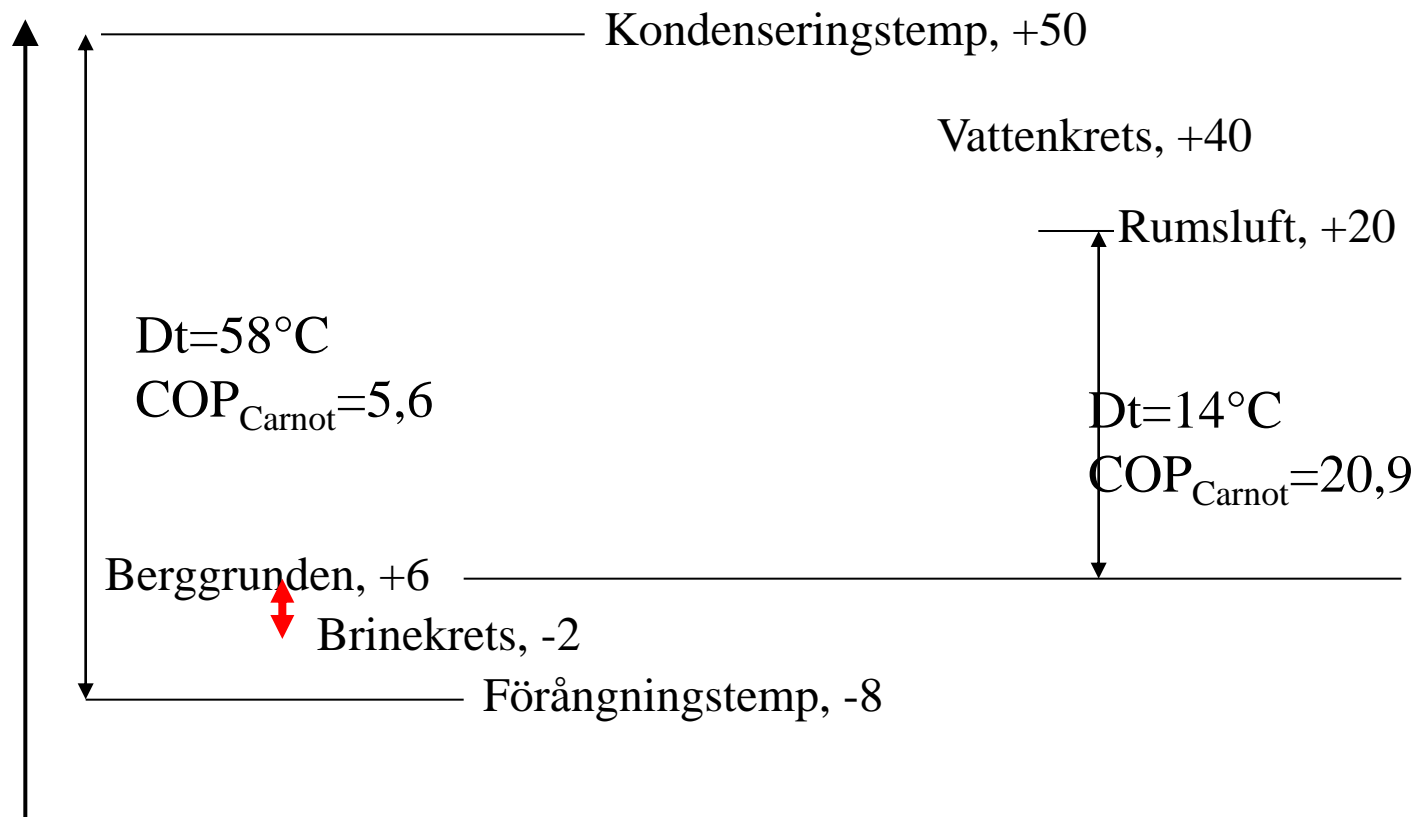
Temperaturdifferens kondensor - värmesystem

Minskas med:

- Större vvx ytor
- Nya effektiva värmeväxlare

Temperaturdifferenser i systemet

- Temp





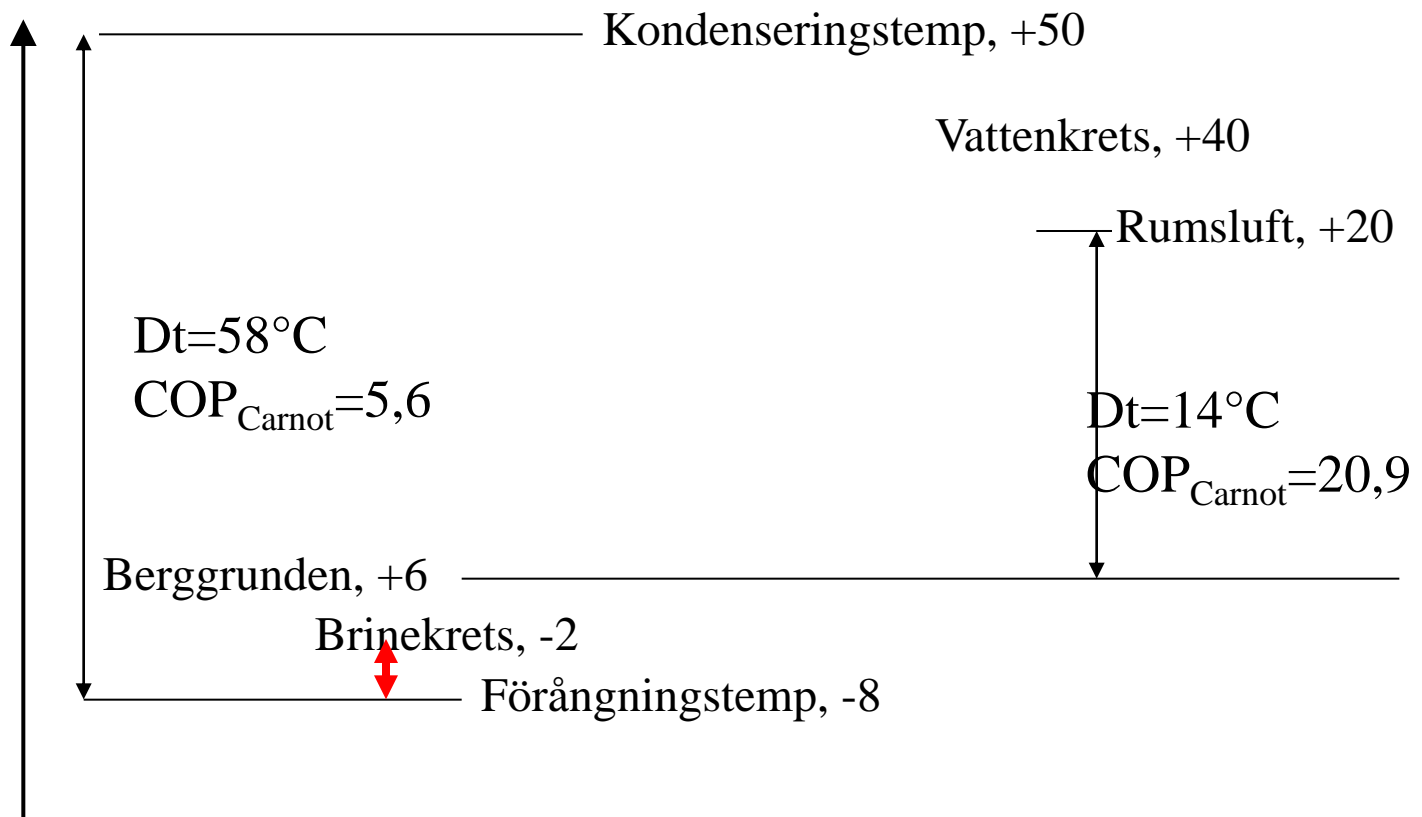
Temperaturdifferens berggrund - brinekrets

Minskas med:

- Längre/ fler borrhål
- Effektiva värmeväxlare/kollektorer
- Termosifon?
- Återladdning

Temperaturdifferenser i systemet

- Temp





Temperaturdifferens brinekrets - förångare

Minskas med:

- Större värmeväxlarytor
- Effektiva värmeväxlare



Vilken värmefaktor når värmepumparna 2020?

Teoretiskt: 20,9



Vilken värmefaktor når värmepumparna 2020?

Praktiskt:

Antag kondenseringstemp 27°C

förångningstemp 1°C

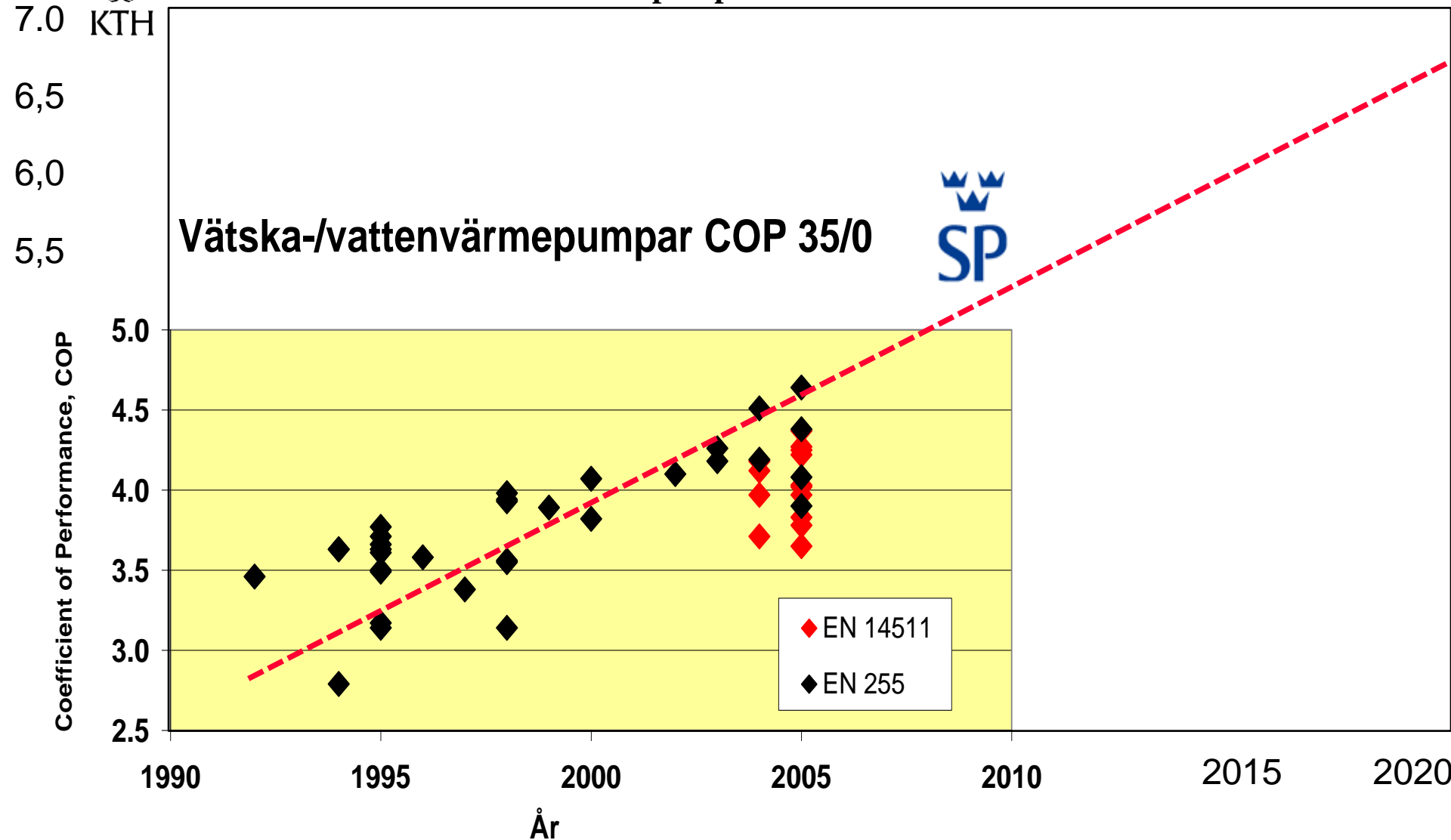
total Carnotverkningsgrad 0,65

Detta ger värmefaktorn 7,5

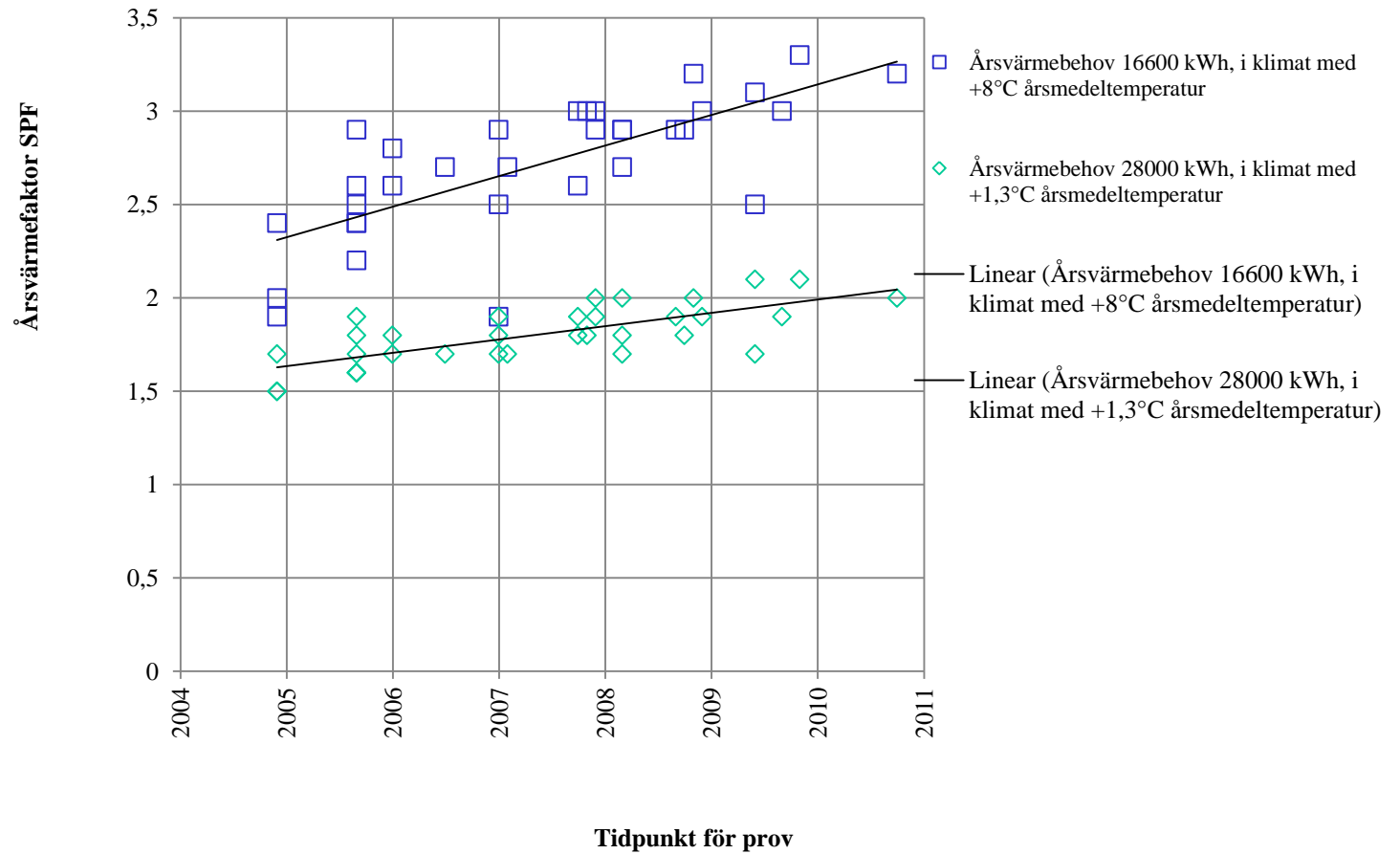
Performance of tested heat pumps



Brine-water heat pumps 0/35



Luft-Luft värmepumpar





Miljöbelastning av värmepumpar och kylanläggningar



Miljöbelastning av värmepumpar och kylanläggningar

- ODP (Ozone Depleting Potential)
 - Direkt inverkan på ozonskiktet vid utsläpp
- GWP (Global Warming Impact)
 - Direkt bidrag till växthuseffekten vid utsläpp
- TEWI (Total Equivalent Warming Impact)
 - Direkt och indirekt bidrag till växthuseffekten
- LCCP (Life Cycle Climate Performance)
 - Direkt och indirekt bidrag till växthuseffekten, även vid tillverkning och skrotning



Framtidens krav

- Liten miljöinverkan vid
 - Tillverkning (av t.ex. köldmediet)
 - Normal drift (dvs. hög värmefaktor)
 - Driftstörningar (t.ex. vid läckage)
 - Skrotning
- Högre energipriser motiverar större investering
- Statliga styrmedel är troliga



Systemutformning



Styr/regler/övervakning

- Ny elektronik möjliggör:
 - Mätdatainsamling
 - Varvtalsreglering
 - Driftoptimering
 - Fjärrstyrning
 - Fjärrövervakning/diagnos
 - Kombinationer av kyla/värme
 - Systemoptimering



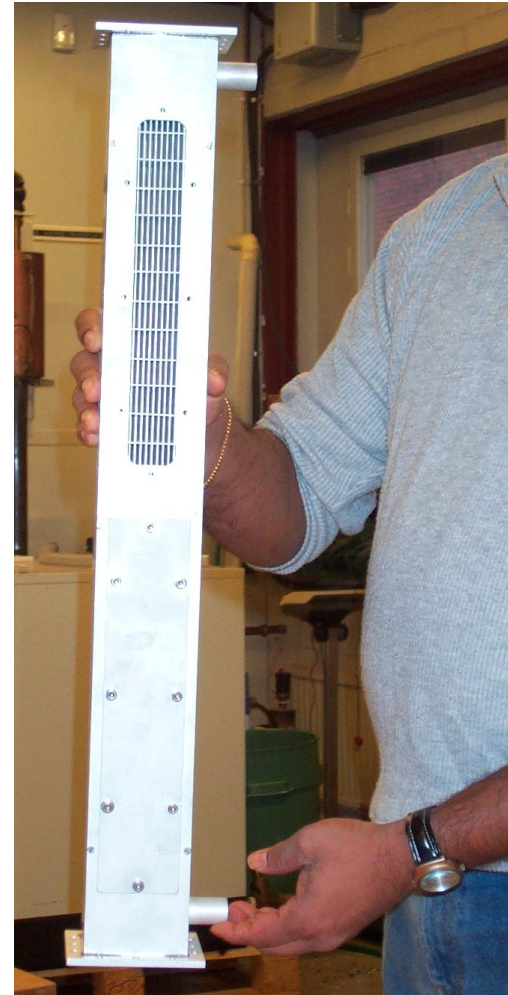
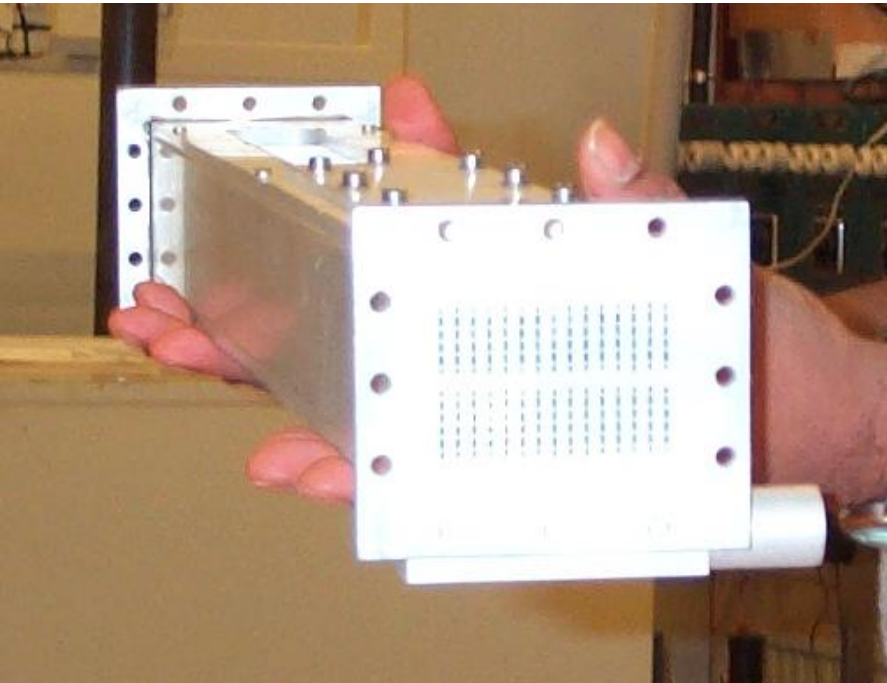
Tack för uppmärksamheten!



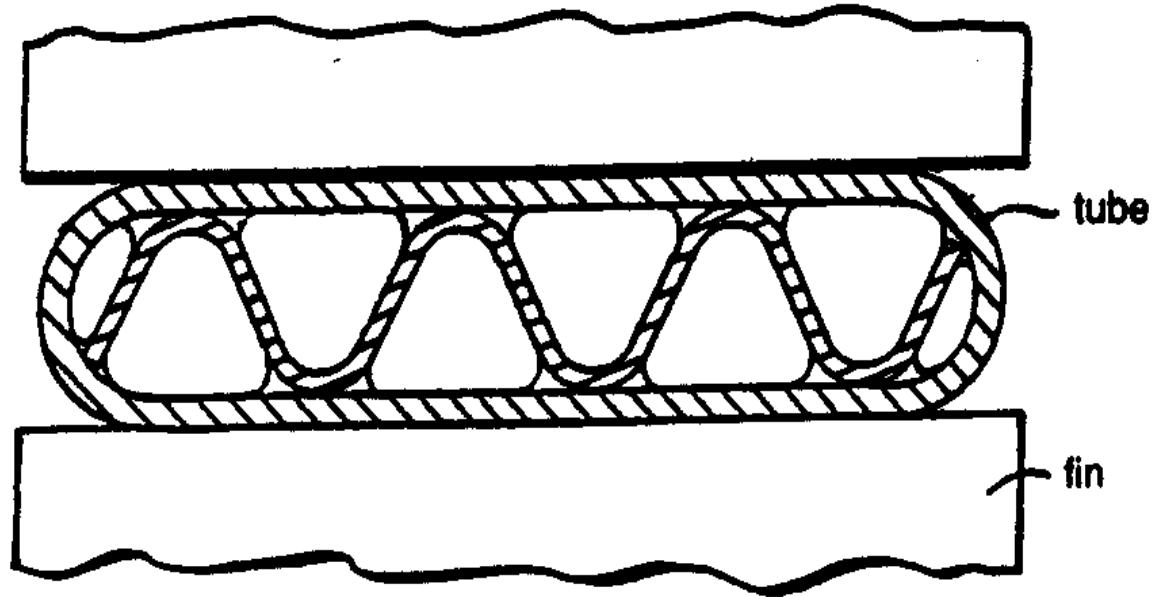
Värmeväxlare



Förångare/kondensor konstruerad vid KTH

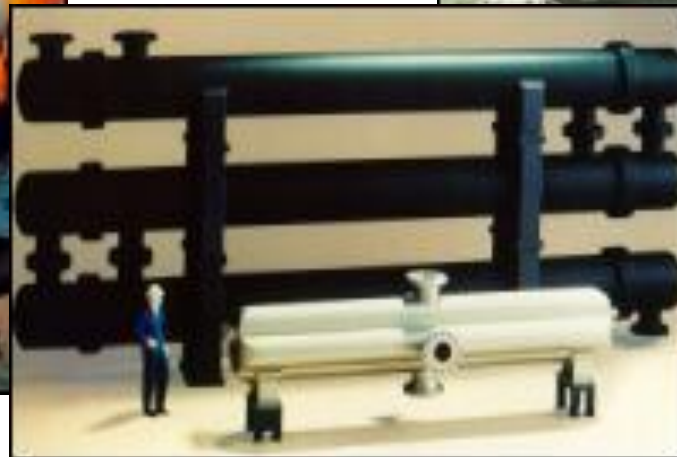
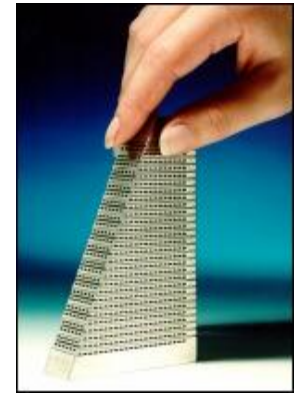
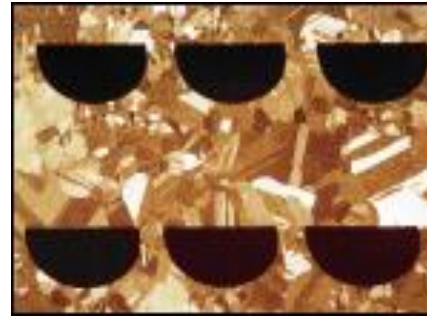
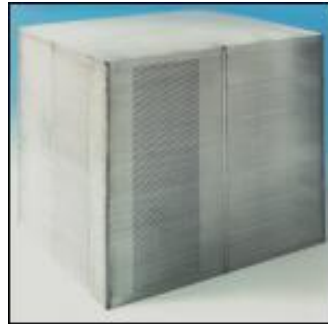
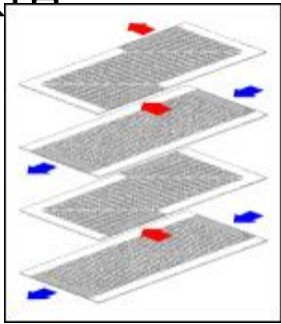


Rör för AC-kondensator

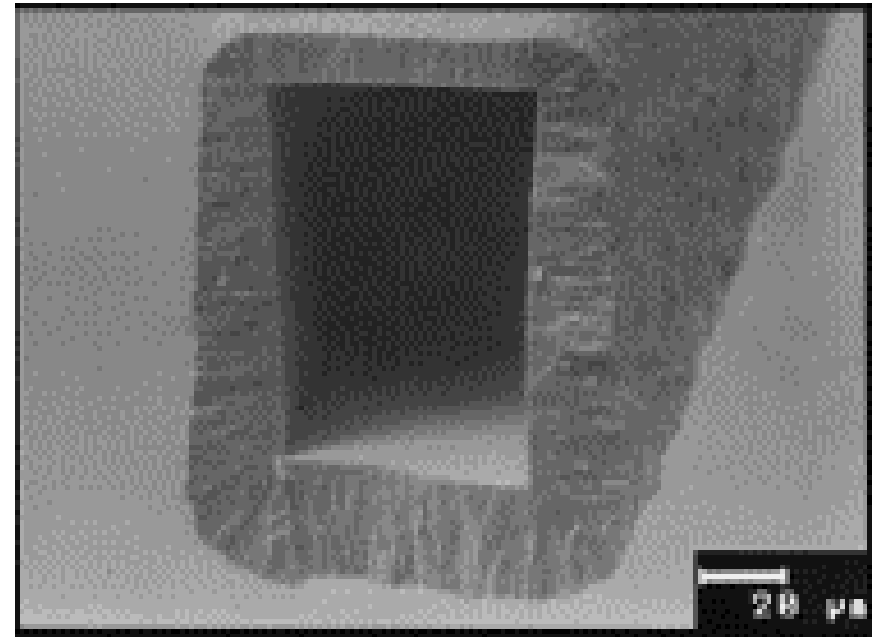
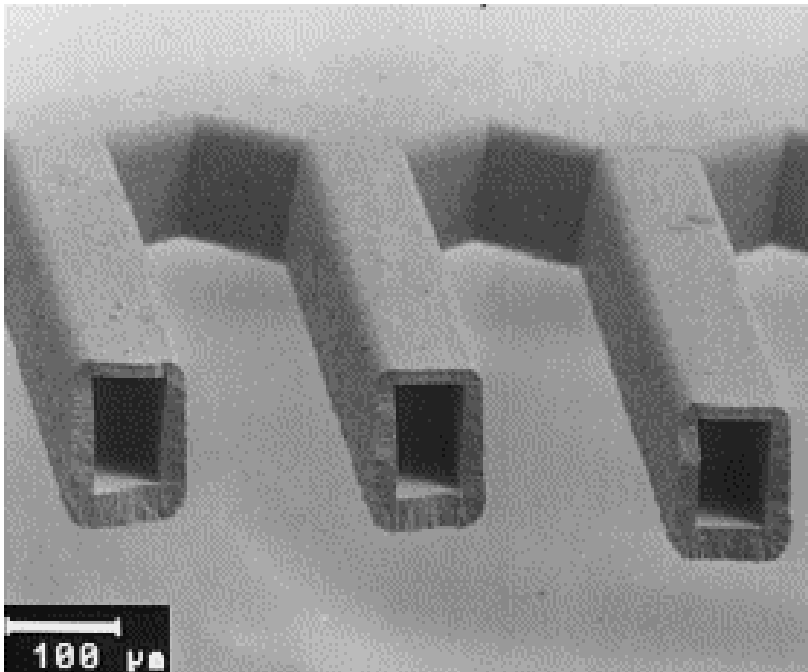


Kanal diameter 0.38-1.02 mm

”Printed circuit board”-vvx



Diamant värmväxlare





Fördelar med mikrokanals värmewäxlare

- Mindre fyllnadsmängd
- Högre värmeövergångstal
- Lägre vikt, mindre volym



Kompressorer



Sannolika trender, kompressorer

- Reglerbar effekt med bibehållen verkningsgrad
- Fler och större scroll-kompressorer
- Möjlighet till economizerkoppling (mellantryck)
- Mindre volym i höljet för minskad köldmediemängd (jfr bil-AC kompressorer)



Sannolika trender, kompressormotorer

- Mer koppar för högre verkningsgrad
- Permanentmagnetmotorer



Köldmedier



Köldmedier

- HCFC
 - På väg ut
- HFC
 - Kvar ett tag till, styrmedel för att begränsa användningen
 - Medier med stor glide bort på sikt
 - 410A ökar



Köldmedier

- HC (kolväten)
 - Ökad användning, i system med liten fyllning
 - Användning över hela världen – så småningom
- CO₂ (koldioxid)
 - Breddad användning som köldbärare
 - Nästa steg: I LT-steget i kaskadsystem
 - Bil-AC ??
 - För hög temp (VP): höga tryck och låg värmefaktor utom i vissa applikationer.



Köldmedier

- NH_3
 - Bra köldmedium. Sannolikt ökad användning
- H_2O
 - Ger för stora system pga låg densitet
- Nya medier??
 - Ev användning av brännbara HFC eller av HFC med högre tryck, t.ex. R152a eller R32
 - Ev “nya” syntetiska medier, t.ex. HFO1234yf
 - Föreslaget för mobil AC.



Alternativa cykler

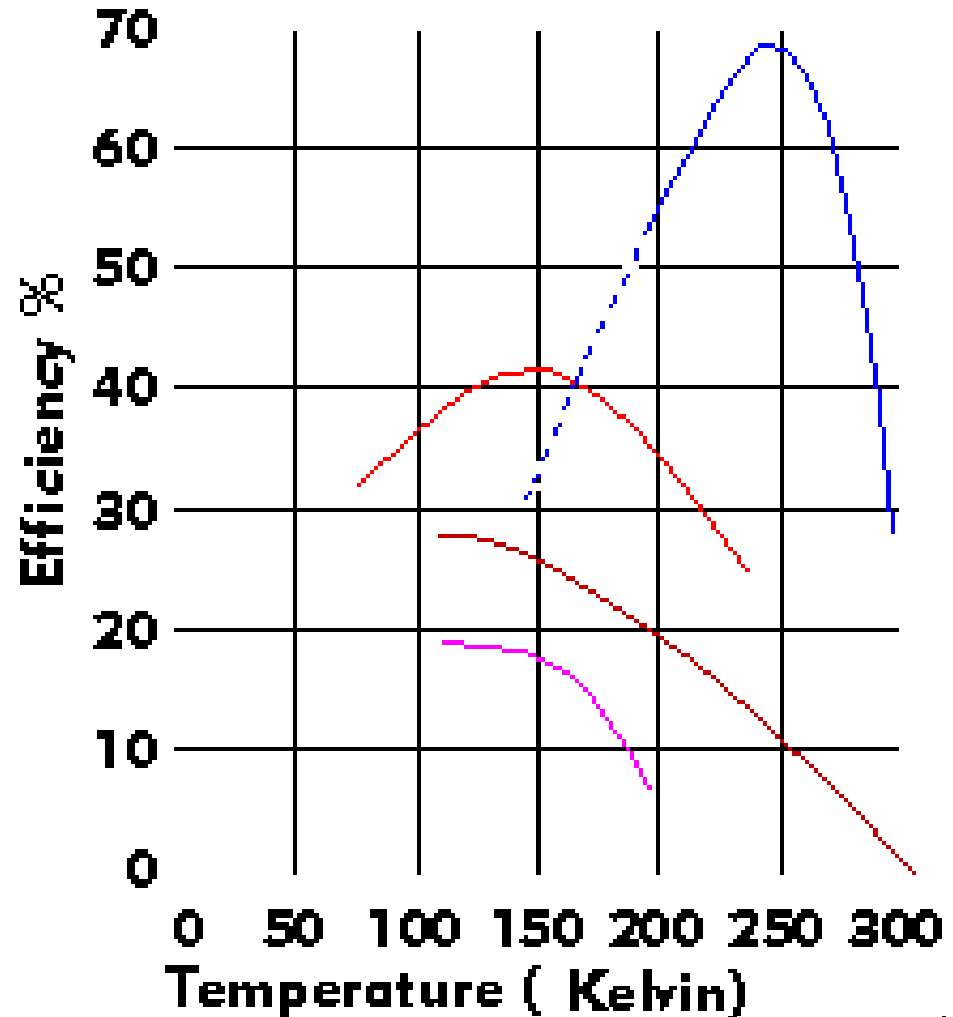
Alternativa cykler

Förångningskyl-
process

Stirling

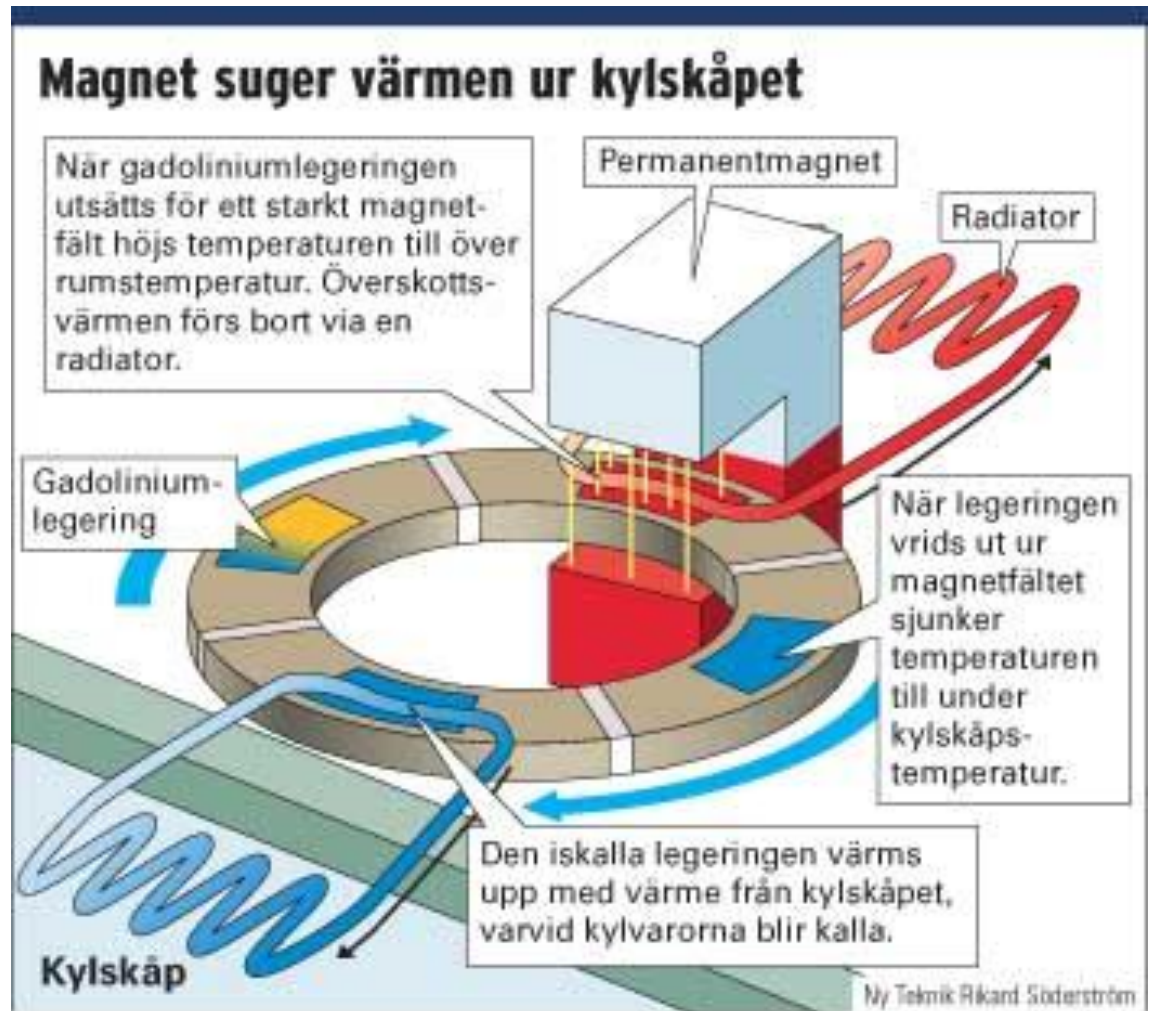
Claude

Joule Thomson



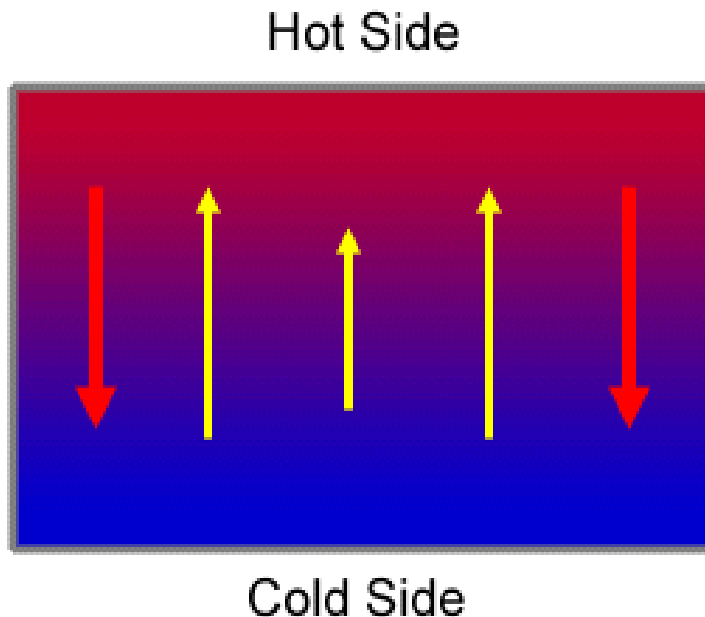
Alternativa cykler

- Magnetiska processer, tänkbara i en framtid

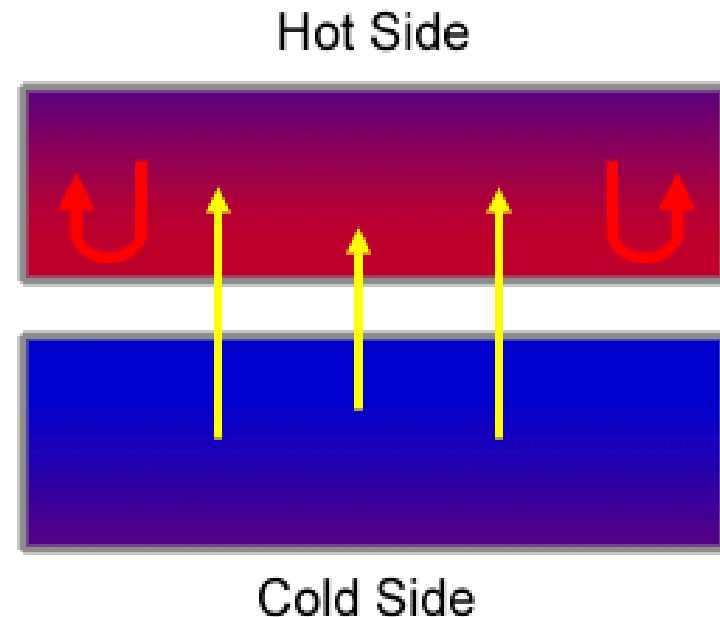


Alternativa cykler

- Termoelektriska (Peltier) processer förbättras



Conventional thermoelectrics allow conducted heat (red arrows) to flow opposite to migrating electrons, resulting in inefficiency



By introducing a gap the return path for conducted heat (red arrows) is eliminated, making Cool Chips extremely efficient.



Alternativa cykler

Sammanfattning:

Inga alternativa processer kan inom
överskådlig tid mäta sig med
kompressorkylprocessen



Sammanfattning

- Högre energipriser kommer att motivera värempumpsystem med högre COP
- Detta nås genom:
 - Lågtemp distributionssystem
 - Stora, effektiva värmeväxlare i alla led
 - Effektivare motorer, med varvtalsstyrning
 - Mätning/styrning (mer elektronik) för optimering av driften
- Ett rimligt mål för 2020 är $COP_1 = 7,5$



Tack för uppmärksamheten