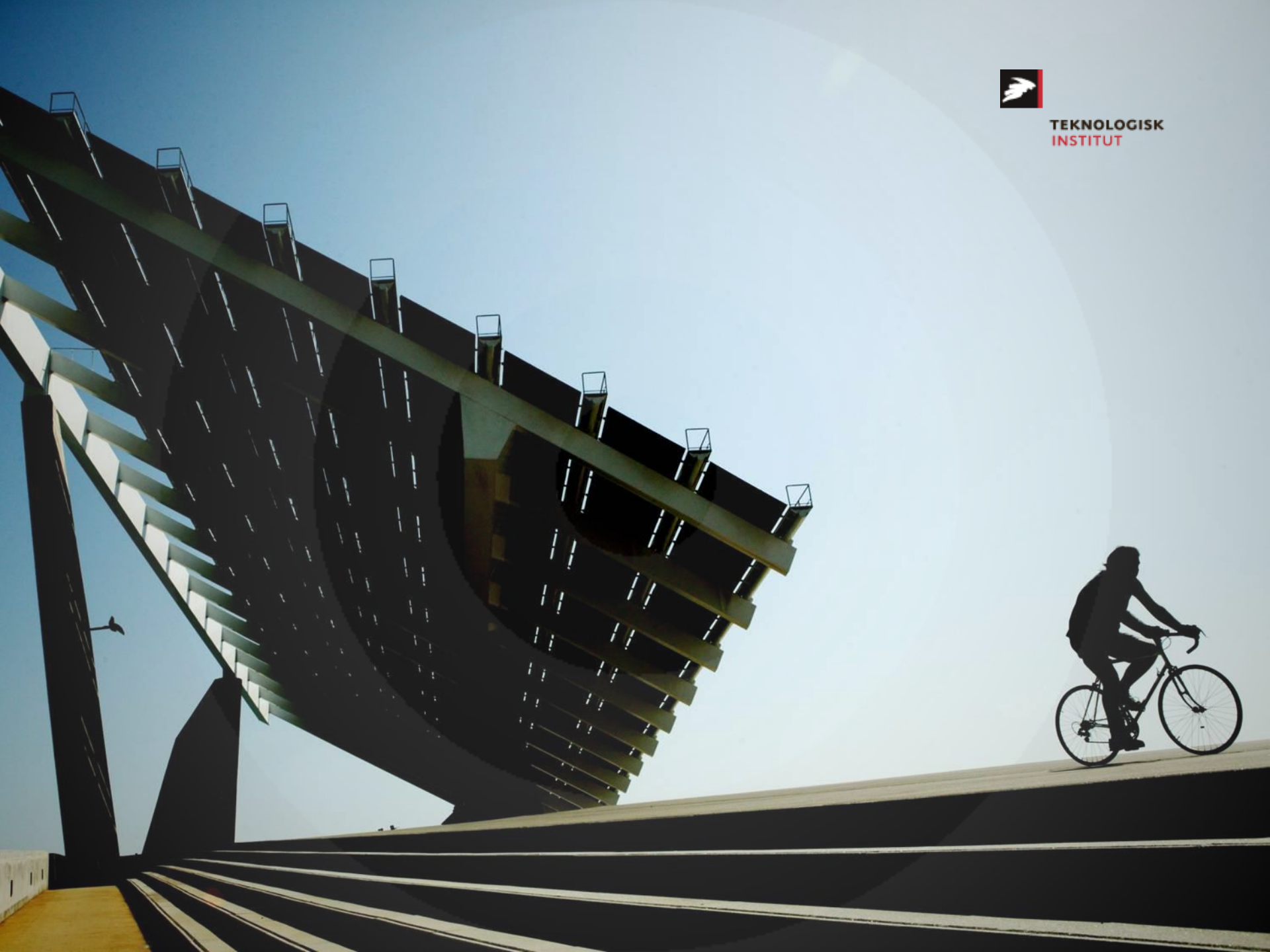




**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**





TEKNOLOGISK  
INSTITUT

# Højtemperaturvarmepumper Potentiale, implementering og status for udvikling

*Lars Reinholdt  
Teknologisk Institut*





# Indhold

- Potentialet for højtemperaturvarmepumper
- Hvad er teoretisk muligt?  
COP Carnot, COP Lorenz
- Implementering
- Højtemperaturvarmepumper  
... i dag...  
... i morgen...
- Konklusion



## Potentiale

- Varmepumper: Effektiv anvendelse af (VE-)el til procesvarmeformål
- Også i det fossilfrie Danmark efter 2050 anvender industrien procesvarme
- Opvarmning, kogning, tørring og inddampning:  
50% af industriens procesenergiforbrug

Men

- Varmepumper er "nice to have": De leverer "bare" billigere varme



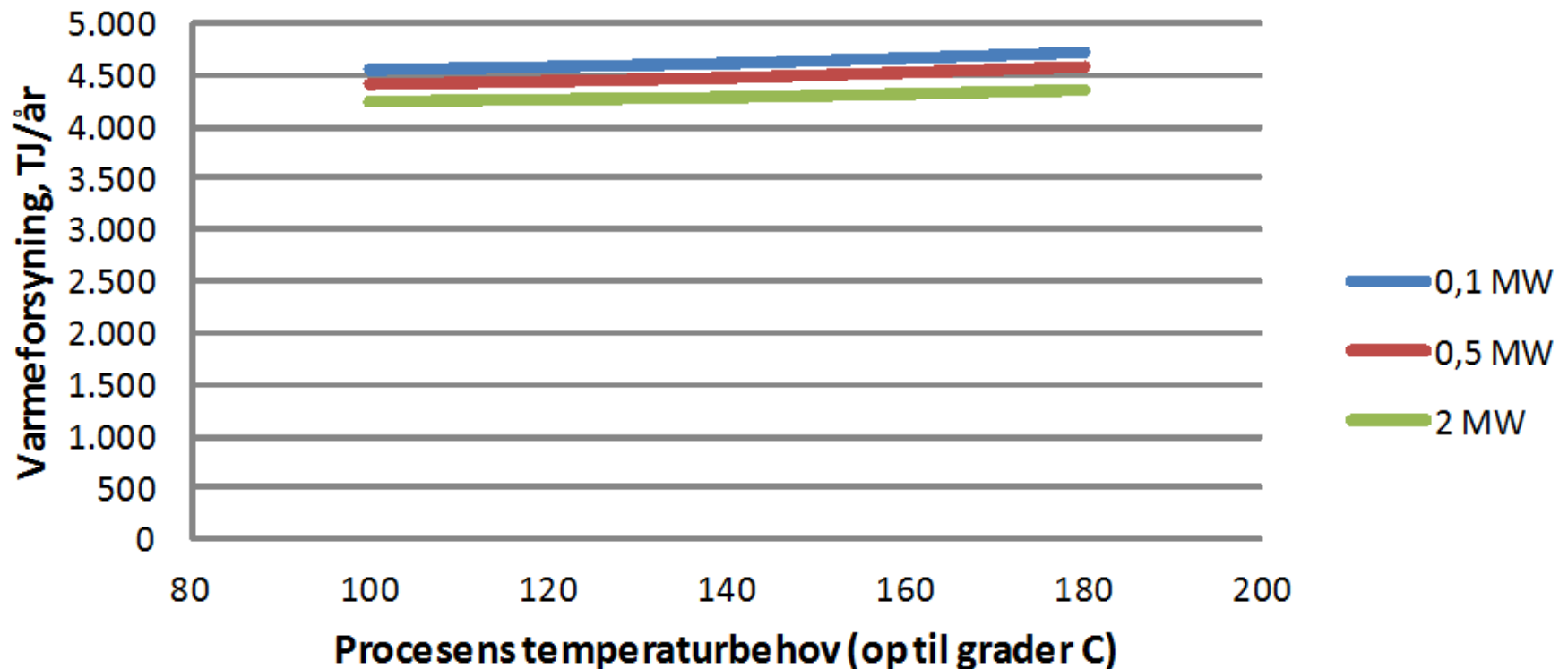
Delta T C	Temperaturbehov C	COP-værdi	Varmelevering TJ/år	Elforbrug GWh/år
20	100	11,2	4.543	113
	180	13,6	172	4
40	100	5,6	2.743	136
	180	6,8	338	14
70	100	3,2	7.163	622
	180	3,9	5.109	364
Sum			20.068	1.253

Tabel 5. Overslag over elforbruget til højtemperatur-varmepumper på 0,1 MW eller større, som dækker det opgjorte potentiale

- Gennem procesoptimeringer anslås knap 50% kan genvindes
- Temperaturløft på 70°C udgør ca. 60% af varmelieferingen og 80% af elforbruget.

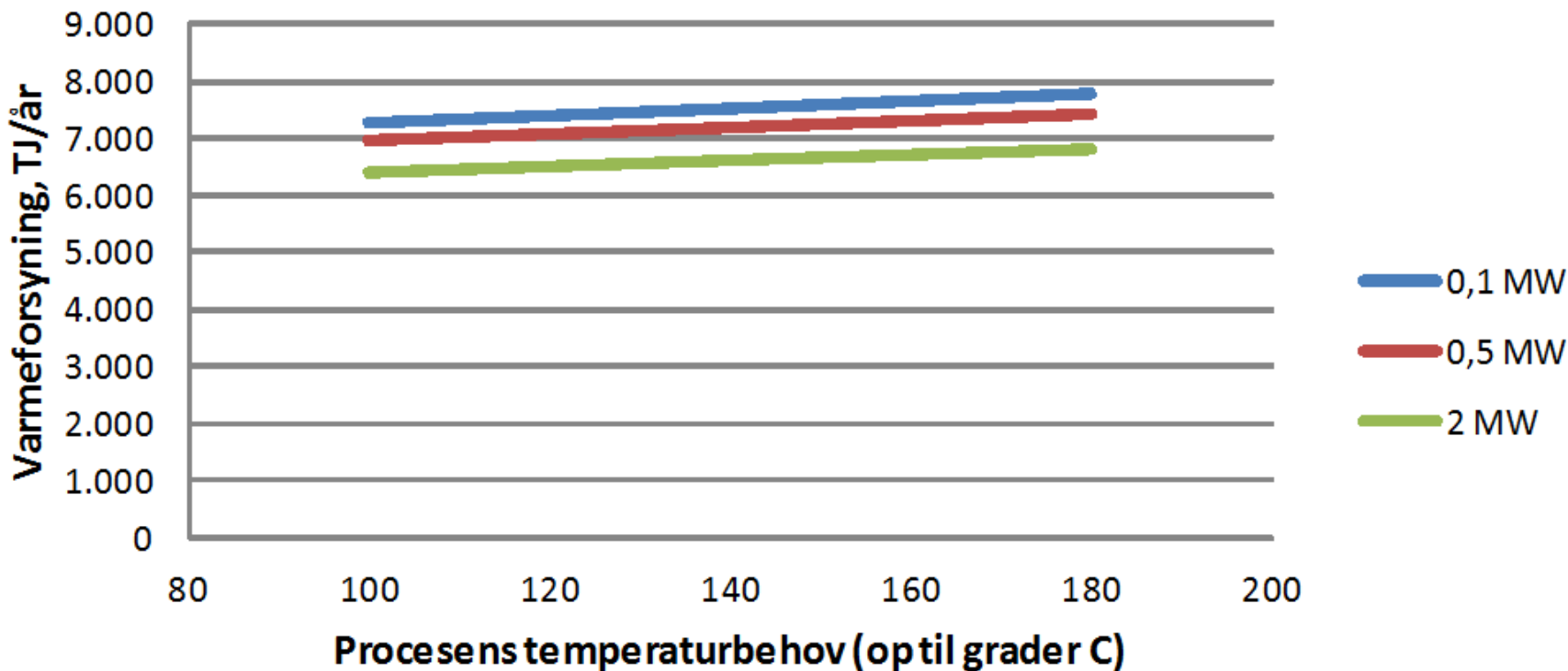


## Potentiale for varmegenvinding i industrien med varmepumpe med delta T = 20 C



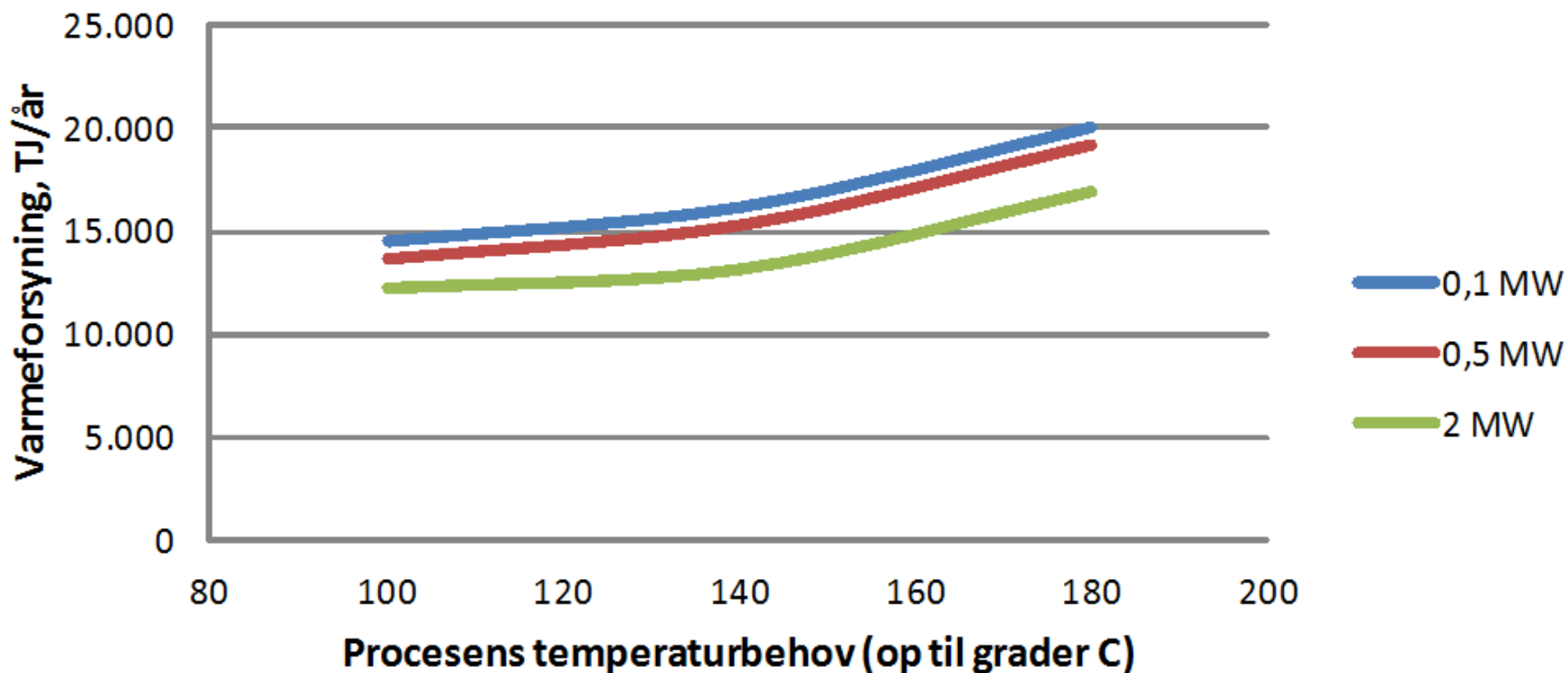


## Potentiale for varmegenvinding i industrien med varmepumpe med delta T = 40 C





## Potentiale for varmegenvinding i industrien med varmepumpe med delta T = 70 C





# Potentiale

## Konklusion (den lange)

- Med et temperaturløft for varmepumpen på 20°C er potentialet opgjort til ca. 4.500 TJ/år.
- Med et temperaturløft for varmepumpen på 40°C er potentialet opgjort til ca. 7.000 TJ/år.
- Med et temperaturløft for varmepumpen på 70°C er potentialet opgjort til ca. 15.000-20.000 TJ/år.
- Hovedparten af varmen kan dækkes med varmepumper, som kan levere en varme passende til 100°C temperaturbehov.  
Kun ved et temperaturløft på 70°C stiger potentialet væsentligt med ca. 40%, hvis varmepumpen kan dække temperaturbehov op til 180°C.
- Reduceres minimumsstørrelsen for varmepumpen fra 0,1 MW til 2 MW falder potentialet med 5 – 15%.

Ovenstående udgør 6 til 24% af industriens samlede brændselsforbrug (2006)

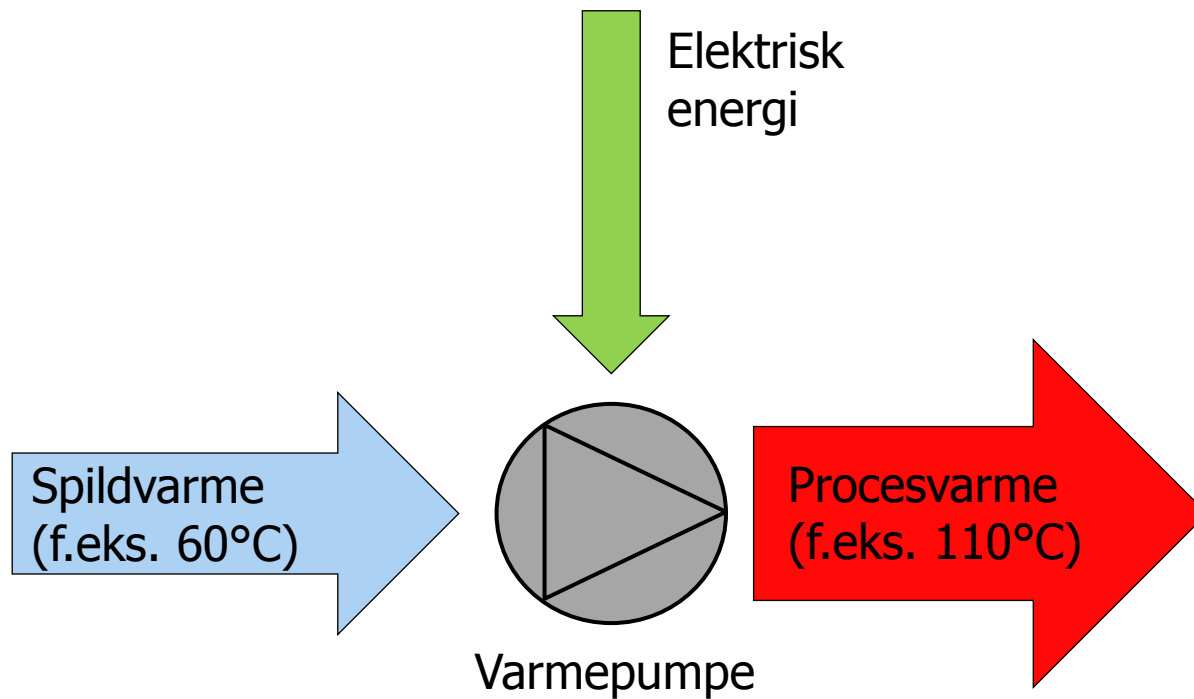
- Kun 1.000 – 1.500 TJ/år vil kunne dækkes af varmepumper, der kan løfte temperaturen op til 80°C (dagens varmepumper)

# Potentiale

## Konklusion (den korte)

- Kun en lille del af potentialet kan dækkes med varmepumper, der leverer varmen ved op til 80 °C.
- Hovedparten af varmen kan dækkes med varmepumper, som kan levere varme ved 100-120 °C.
- Udvikling af store varmepumper med kapaciteter fra 1-2 MW vil dække en meget stor del af markedet.

# Lidt teori



$$COP_{VP} = \frac{\text{Varmeproduktion}}{\text{El - forbrug}}$$

Lidt teori

Teoretisk maksimal COP



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

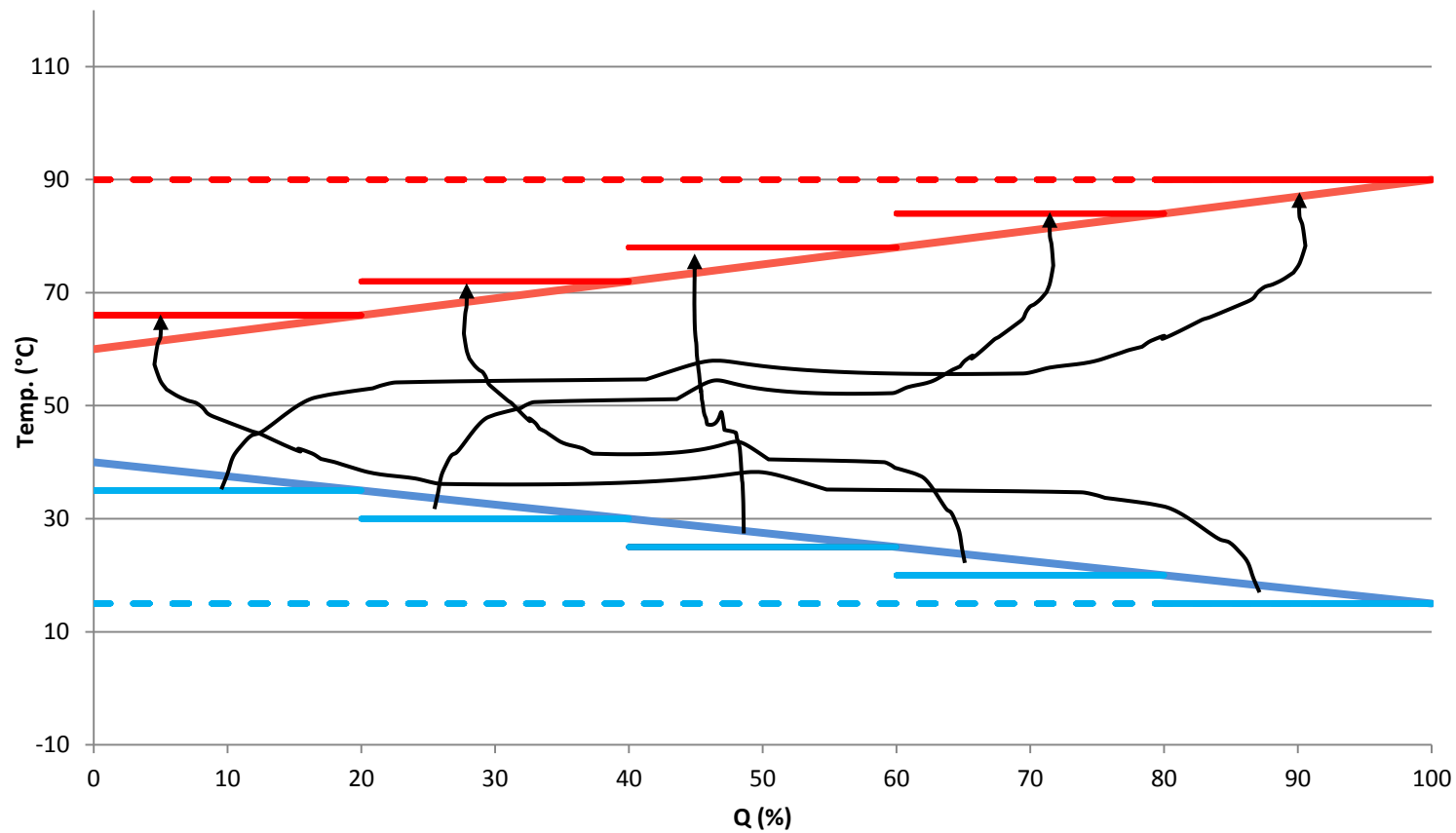
COP Carnot

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

$T_H$  = leverings-temperatur (dræn) (K)

$T_L$  = optage-temperatur (kilde) (K)

# COP for varmepumper



# Lidt teori

- COP Carnot (konstant kilde og dræn)

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

$T_H$  = Dræn-temperatur (K)

$T_L$  = Kilde-temperatur (K)

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

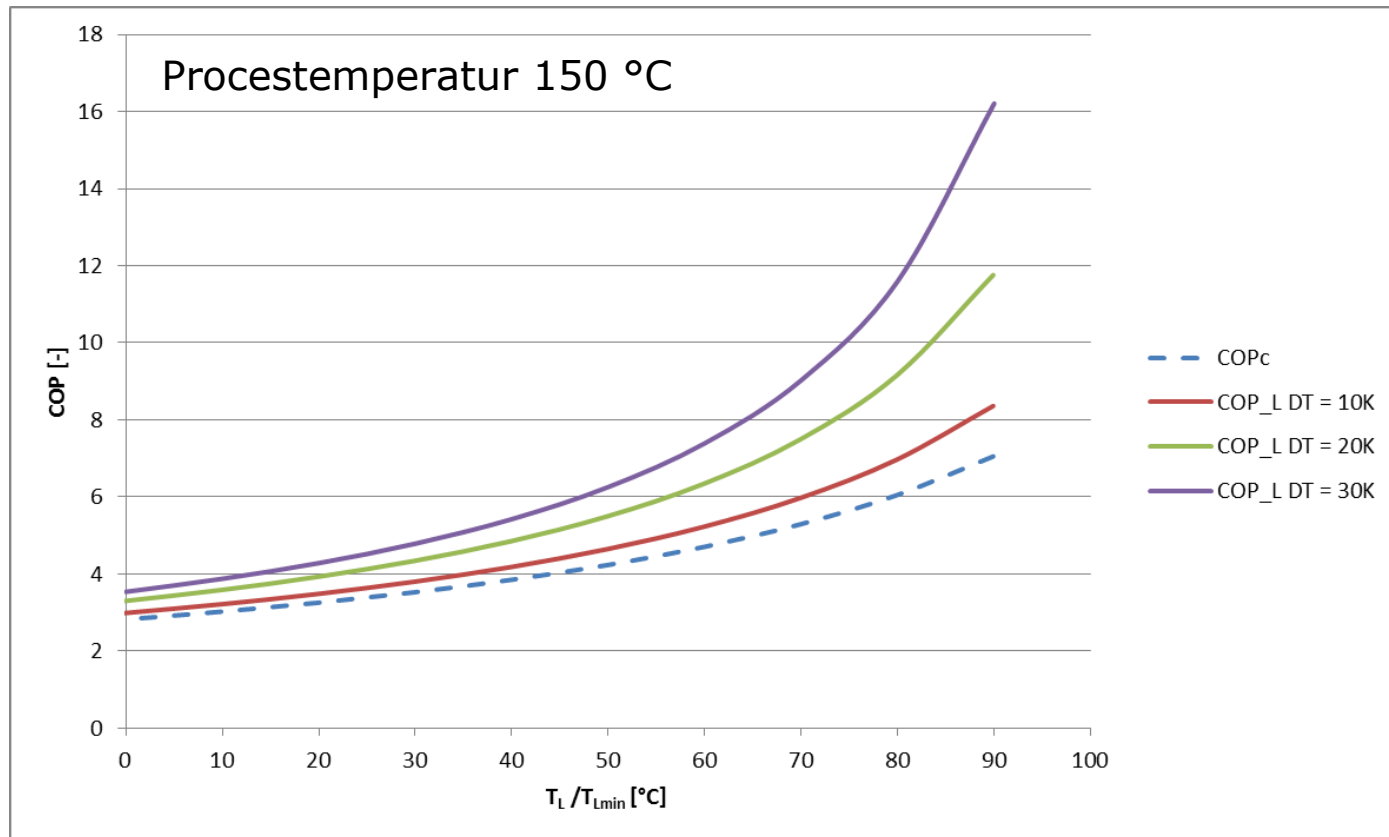
$$COP_L = \frac{T_{lmH}}{T_{lmH} - T_{lmL}}$$

$T_{lmH}$  = log mid. temp. dræn (K)

$T_{lmL}$  = log mid. temp. kilde (K)

# Lidt teori

## Maksimal COP



- COP for de allerbedste anlæg er i dag 50-60% af det teoretisk mulige...

# Integration i energisystemer

## Udfordringer 1/2

Energisystemer er traditionelt ikke designet ud fra energieffektivitet

- Størrelse og installation
- Omkostning
- Kapacitet
  
- Varmepumper er "Nice to have" ikke "Need to have"
  - Ikke-tekniske barrierer
  - Økonomiske kalkulationsmodeller
  - Finansieringsmodeller
  
- Varmepumper giver ofte større binding på processerne
  - Behov for samtidighed mellem overskudsvarme og varmebehov
  - Mere kompleks styring



# Integration i energisystemer

## Udfordringer 2/2

- VE i industrien ift. Smart grid / fleksibelt elsystem:  
Industrien ønsker "24/7"-udnyttelse af udstyret, der investeres i:
  - Begrænset mulighed for regulering pga. mangelen på overkapacitet: Dårligt ift. Smart Grid
  - Lange driftstider: Godt for systemøkonomien
- Entreprisegrænserne flyder ud
  - Varme-, proces- og køleentrepriserne samt styring griber mere ind i hinanden
- Rammevilkår påvirker markedet meget
  - VE i industrien
  - El-afgift

# Implementering og valg af varmepumper

## ”De tre bud”

- Spar
- Varmeveksel
- Varmepumpe
  - Vælg de ”rigtige” processtrømme
  - vurdér om det er en god løsning

## Højeste COP

- Hent varmen ved så høj temperatur som mulig
- Aflevér varmen ved så lav temperatur som muligt
- Hvis der er tale om store temperaturændringer:
  - Kig på muligheder for at dele processen op i flere varmepumper og/eller
  - Anvend varmepumpe-processer med ”glid”

# Status højtemperaturvarmepumper

## ”i dag”



- Kommercielt tilgængelige, traditionelle teknologier: Maksimalt ca. 80°C
- Ammoniak/Vand hybrid processen: 95°C kører i dag, 110°C er tilbudt

## ”I morgen”

- Udvikling af store varmepumper med kapaciteter fra 1-2 MW vil dække en meget stor del af markedet.

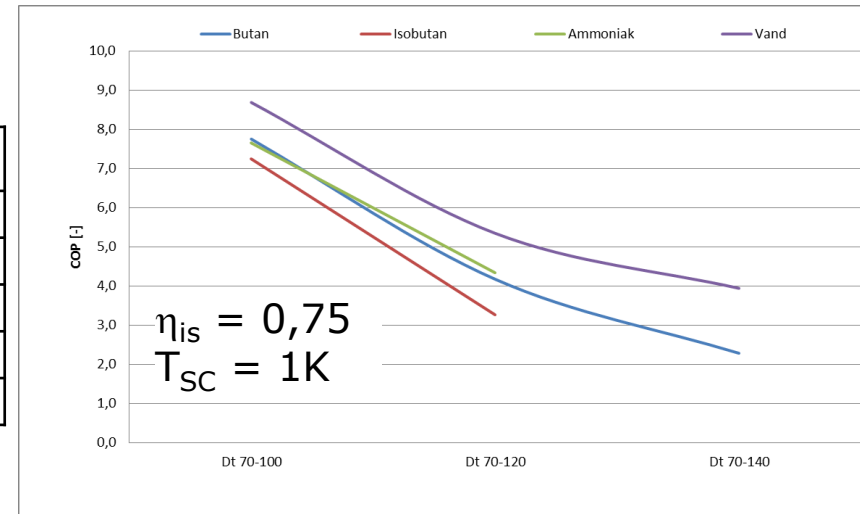
# Status højtemperaturvarmepumper "i morgen"

- Ammoniak/Vand hybrid processen:
  - 110°C er tilbudt
  - 130°C kan nås med tilgængelige højtrykskompressorer
- Vanddamp
- "Split condensing"

# Vand som medie i varmepumpeprocessen

## Udvalgte naturlige kølemidler

Kølemiddel	$T_{\text{kritisk}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	$T_{\text{C,max}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	$P_{\text{kritisk}} \text{ (bar a)}$
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



## ELFORSKprojekt "Udvikling af Rotrex turbokompressor til vanddampkompression"

- Konceptet er bevist:  $\Delta T = 22\text{-}23 \text{ }^\circ\text{C}$
- Langtidstest skal gennemføres
- Produktmodning



# Ammoniak "Split condensing"

ELFORSK-projekt "Energieffektiv ammoniak varmepumpe"

EUDP-projekt "Fleksibel, energioptimeret ammoniak varmepumpe med split kondensator"

- Mål: Forbedre energieffektiviteten med 30% gennem...
- Kondensering delt på to varmevekslere med forskelligt vandflow
- Højtryksammoniakkompressor (50 bar)
- Er vist: 40% af energimængden ved 120°C, resten ved 75°C





TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Mange tak