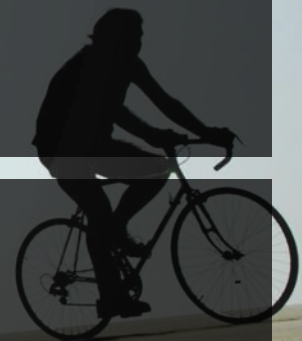




TEKNOLOGISK  
INSTITUT

# Energieffektivisering i industrien med højtemperaturvarmepumper

Lars Reinholdt  
Teknologisk Institut, Energi og Klima



# Højtemperaturvarmepumper



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

## Hvorfor nu?

Varmepumper er en effektiv komponent til energieffektivisering gennem opgradering af varmestrømme.

### Lidt historie

- Traditionel køleteknik arbejder med maksimalt systemtryk på 25 bar, hvilket er nok til drift af *køleanlæg* i selv meget varme omgivelser
- Tidligere lå maksimaltemperaturen for varmepumper ved 75-80°C

### Nu

- Stigende marked for CO<sub>2</sub>køleanlæg samt udsigt til gennembrud for store varmepumper har ført til markedsføring af flere industrielle højtrykskompressorer til 50-60 bar og en enkelt til 130 bar (transkritisk CO<sub>2</sub>: 1MW)
- Varmepumper er "nice to have": De leverer "bare" billigere varme

# Potentiale

fra "Potentialet for højtemperatur-varmepumper i industrien"



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Branche	6	7	8	10	11	12	15	16
	Salt mv.	Slagteri	Fisk	Olier	Mejerier	Stivelse	Sukker	Øl
Slutanvendelse	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ
Opvarmning / kogning	174	864	702	685	1.113	585	1.115	1.096
Tørring	1.079	798	457	277	938	1.491	556	430
Inddampning	1.257	115	206	96	748	990	1.182	159
Destillation	0	0	0	0	0	448	0	119
Anden varme op til 150 C	0	0	0	0	93	0	0	0
Anden varme over 150 C	0	561	0	0	0	0	0	0
Sum (GJ)	2.510	2.338	1.365	1.058	2.891	3.514	2.853	1.803

Branche	21	22	26	33	34	40	<b>SUM</b>
	Træ	Papir	Mineralolie	Medicinal	Kemiske pr.	Beton	
Slutanvendelse	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	<i>TJ</i>
Opvarmning / kogning	146	195	11.788	400	579	921	20.362
Tørring	1.280	1.839	0	250	484	2.178	12.057
Inddampning	0	0	0	177	0	0	4.930
Destillation	0	0	3.143	21	0	0	3.732
Anden varme op til 150 C	39	0	0	0	0	0	132
Anden varme over 150 C	58	0	0	0	0	228	847
Sum (GJ)	1.523	2.034	14.931	848	1.063	3.328	42.059

Tabel 4. Brændselsforbrug 2006 i industribrancher med væsentligt energiforbrug. Brænding, støbning og rumvarme er udeladt. (Litt. 4)

- Samlet potentiale 42 TJ

# Potentiale

fra "Potentialet for højtemperatur-varmepumper i industrien"



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

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 det at knap 50% kan genvindes
- Temperaturløft på 70°C udgør ca. 60% af varmeleveringen og 80% af elforbruget

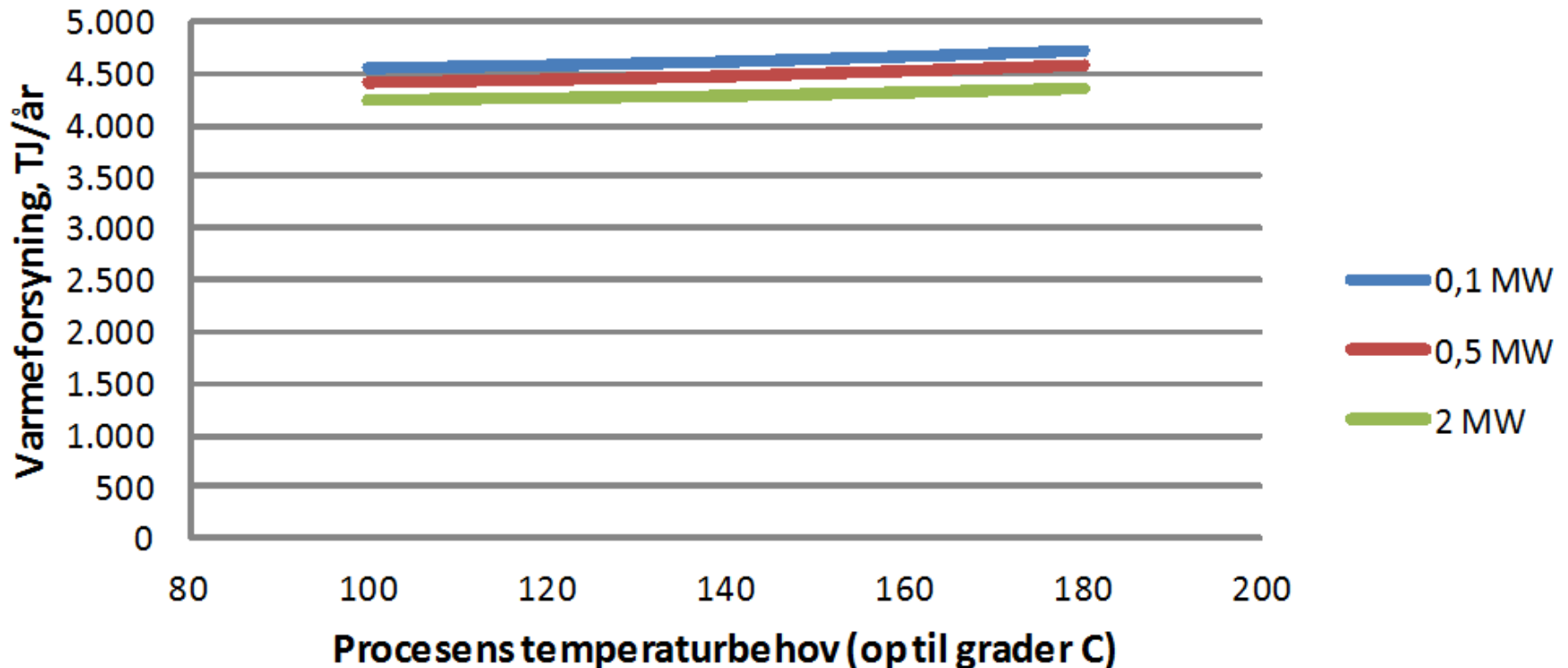
# Potentiale

(fra "Potentialet for højtemperatur-varmepumper i industrien")



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

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



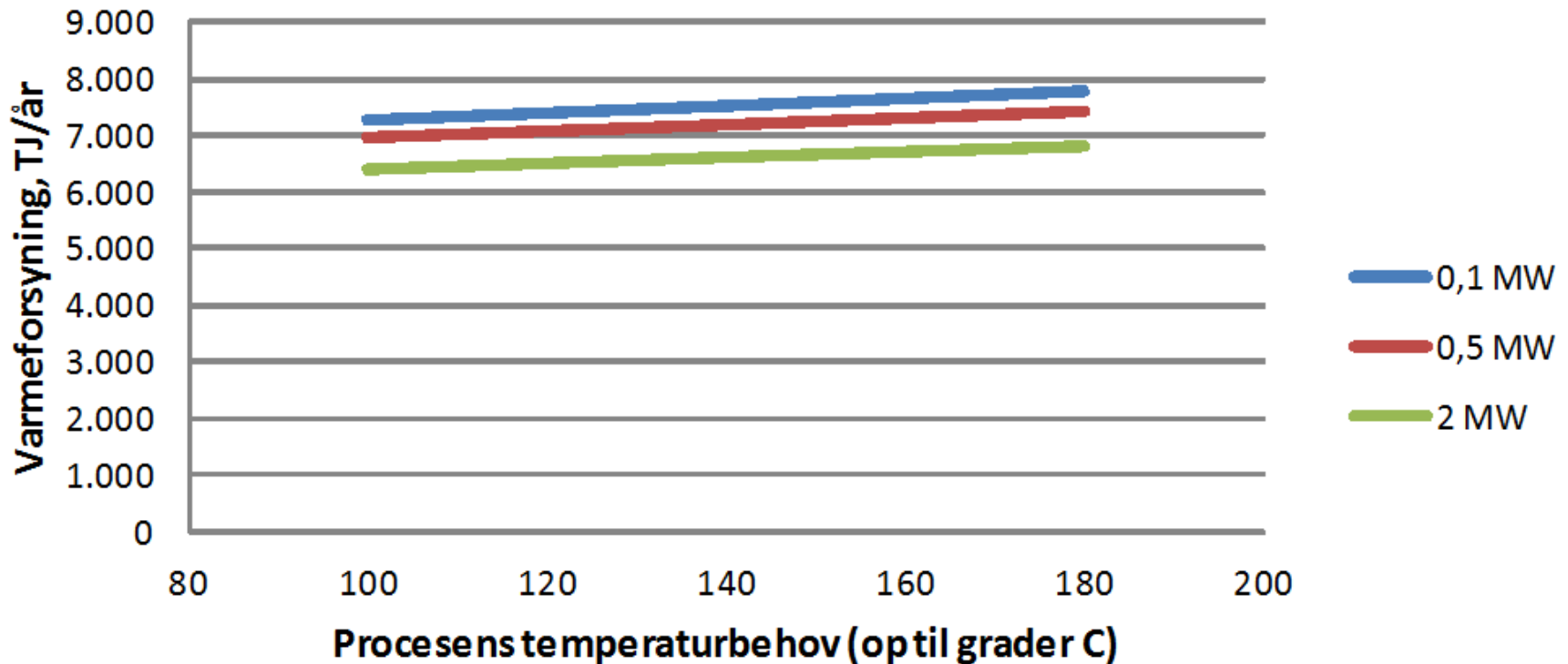
# Potentiale

(fra "Potentialet for højtemperatur-varmepumper i industrien")



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

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



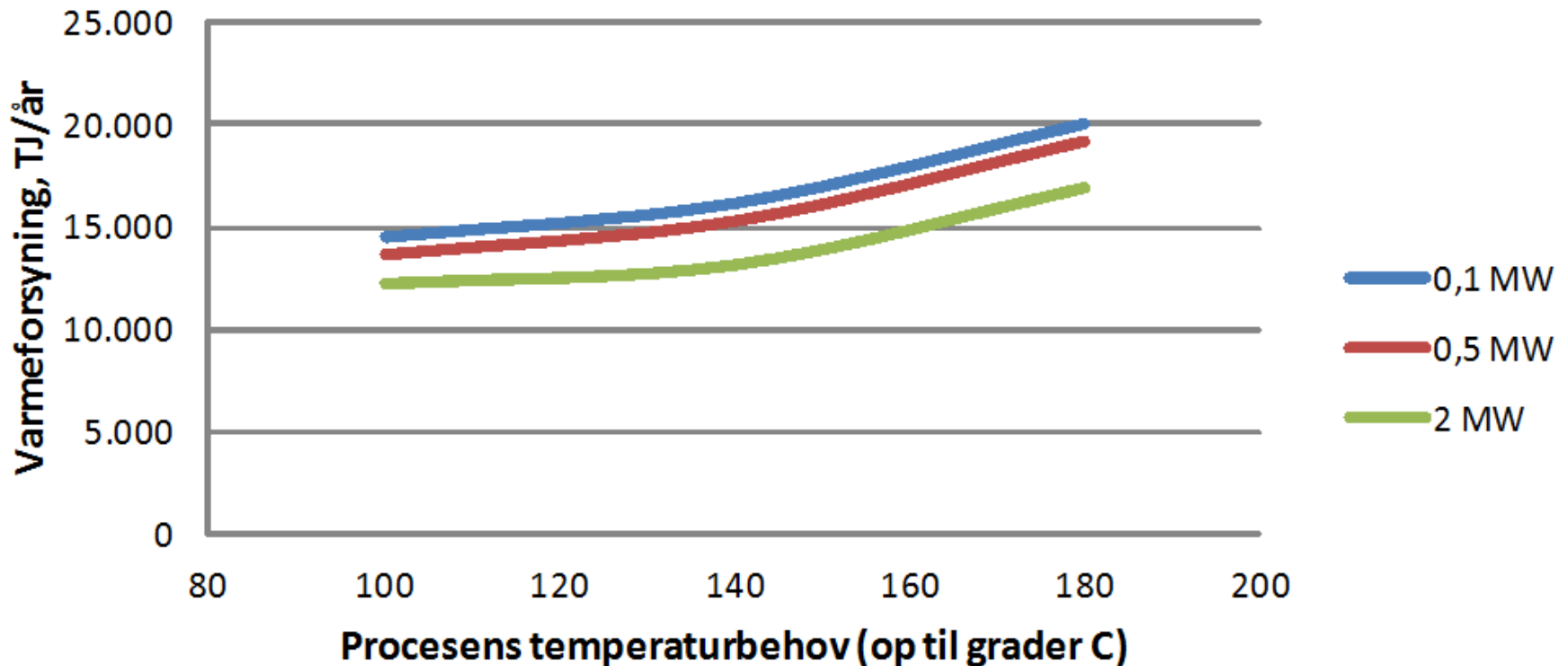
# Potentiale

(fra "Potentialet for højtemperatur-varmepumper i industrien")



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

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



# Sammenfatning

## Potentiale for varmepumper ved 100-180°C

- 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 6-24% 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



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

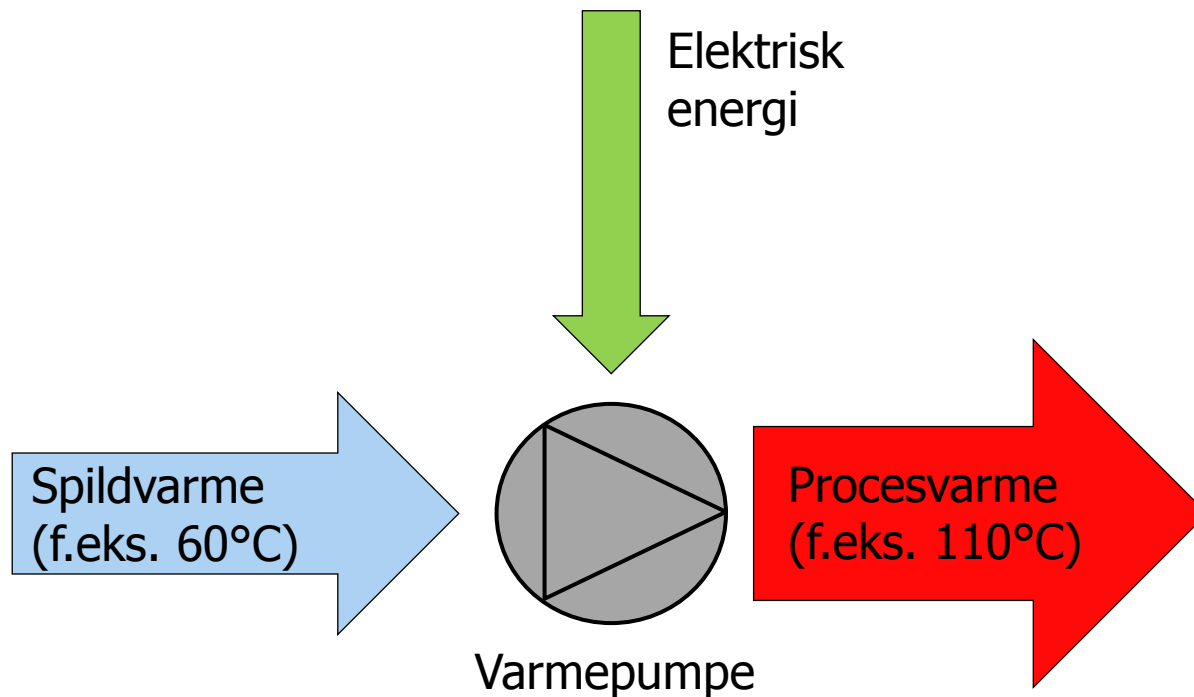
## Konklusion

- 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



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



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

# Lidt teori

## Teoretisk maksimal COP



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

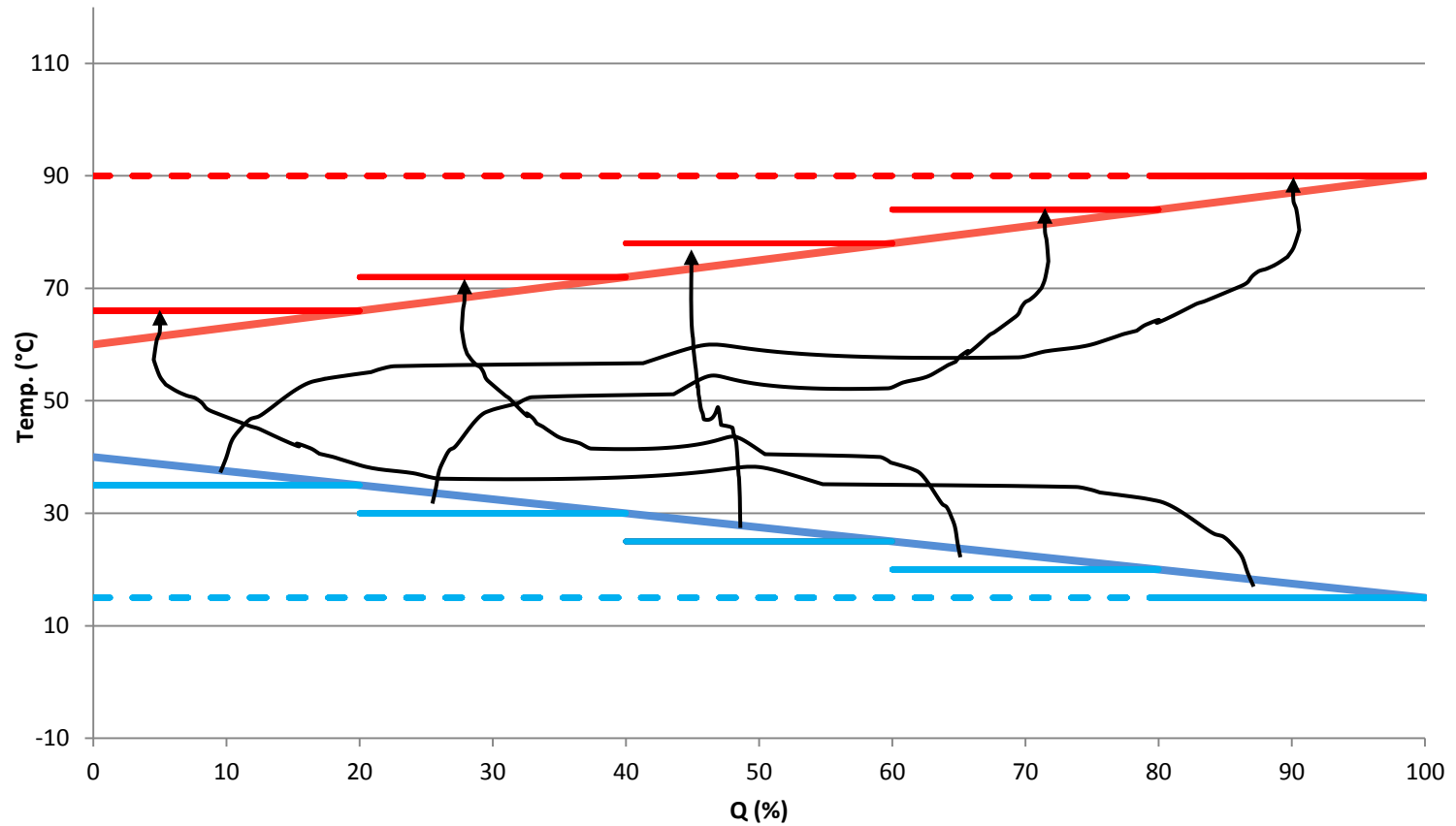
COP Carnot

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

$T_H$  = 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")

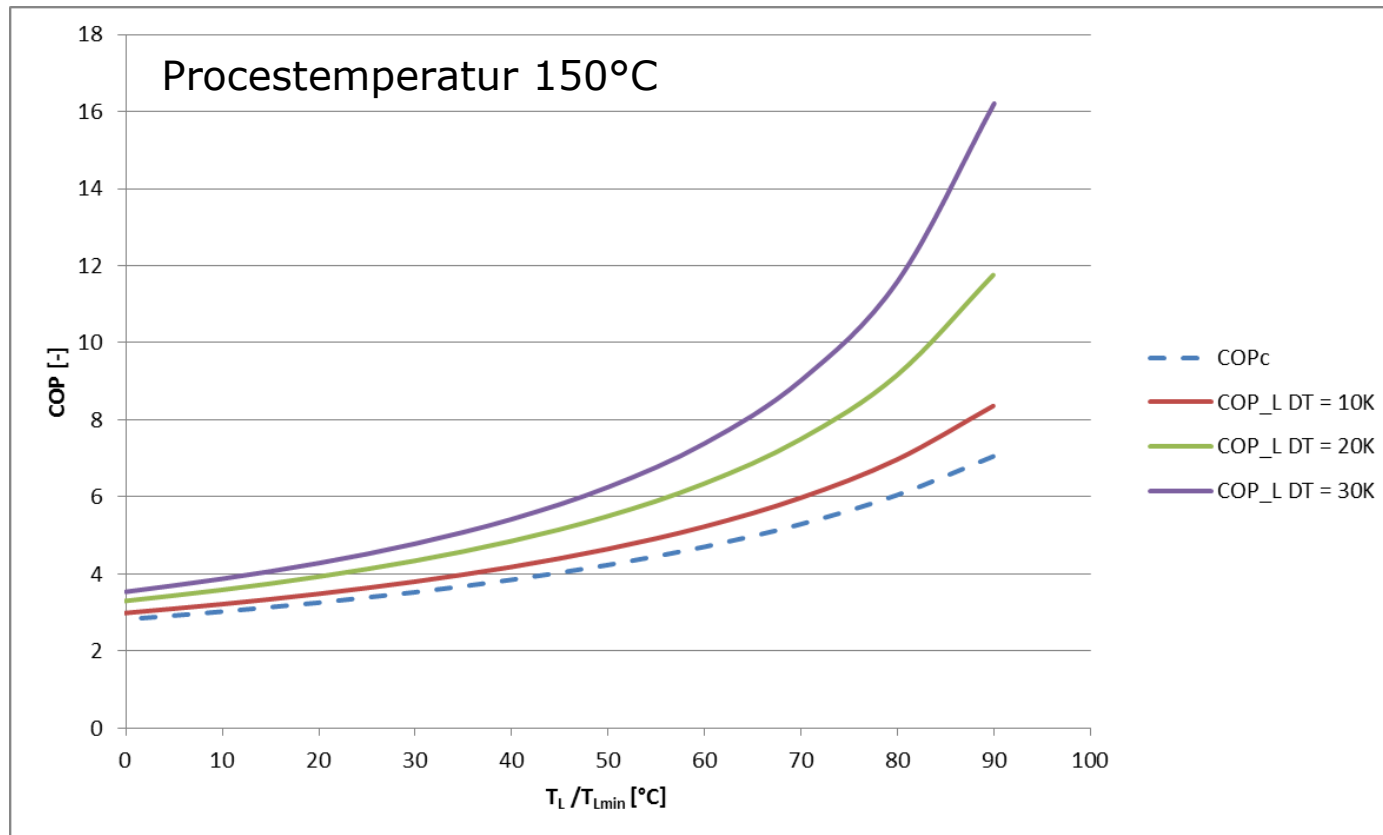
$$COP_L = \frac{T_{lmH}}{T_{lmH} - T_{lmL}}$$

$T_{lmH}$  = 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...

# Sammenfatning

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

# 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



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

- VE i industrien ift. Smart Grid/fleksibelt el-system:  
Industrien ønsker "24/7"-udnyttelse af udstyret, der investeres i:
  - Begrænset mulighed for regulering pga. manglende 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

# Integration i energisystemer

## Behov

Behov for udbredelse af viden om systemdesignets betydning for varmepumper

- Temperaturniveauer og –løft
- Teknologier
- Energoptimering
  - De tre bud:
    - 1) Spar
    - 2) Varmeveksel
    - 3) Kan varmepumpe anvendes?
- Tidsserieanalyse og pinch analyse
  - Driftstid
  - Samtidighed mellem kilde og forbrug (evt. lager)
  - Lastprofil

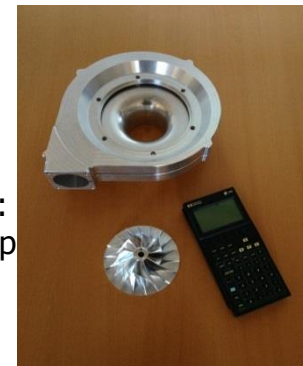
# “Krystalkuglen” ift. højtemperaturvarmepumper:



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

- Naturlige kølemidler
- Lavtryk-processer (komponentpris)
  - Vanddamp
    - Mange processer med vand: Koge/inddampning/tørring/frysetørring
  - Hybridprocessen
- Flertrinsanlæg/kombinerede anlæg
- Proof of concept:
  - Test af løsninger/komponenter
  - Verifikation
- Det rigtige hold skal sættes: Mange forskellige kompetencer

PSO  
“Rotrex”:  
vanddamp  
500 kW

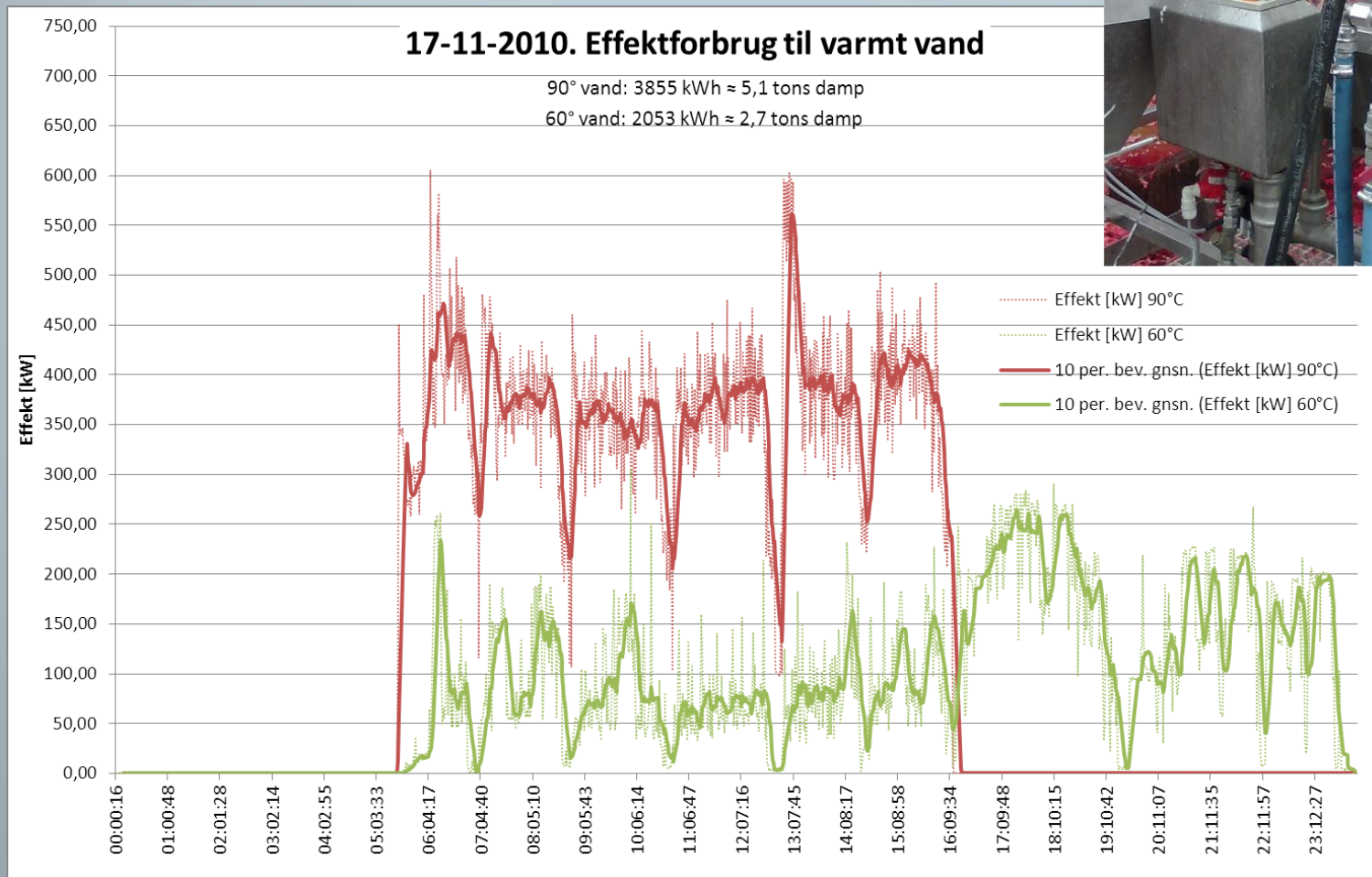


# Eksempel 1

## Århus Slagtehus

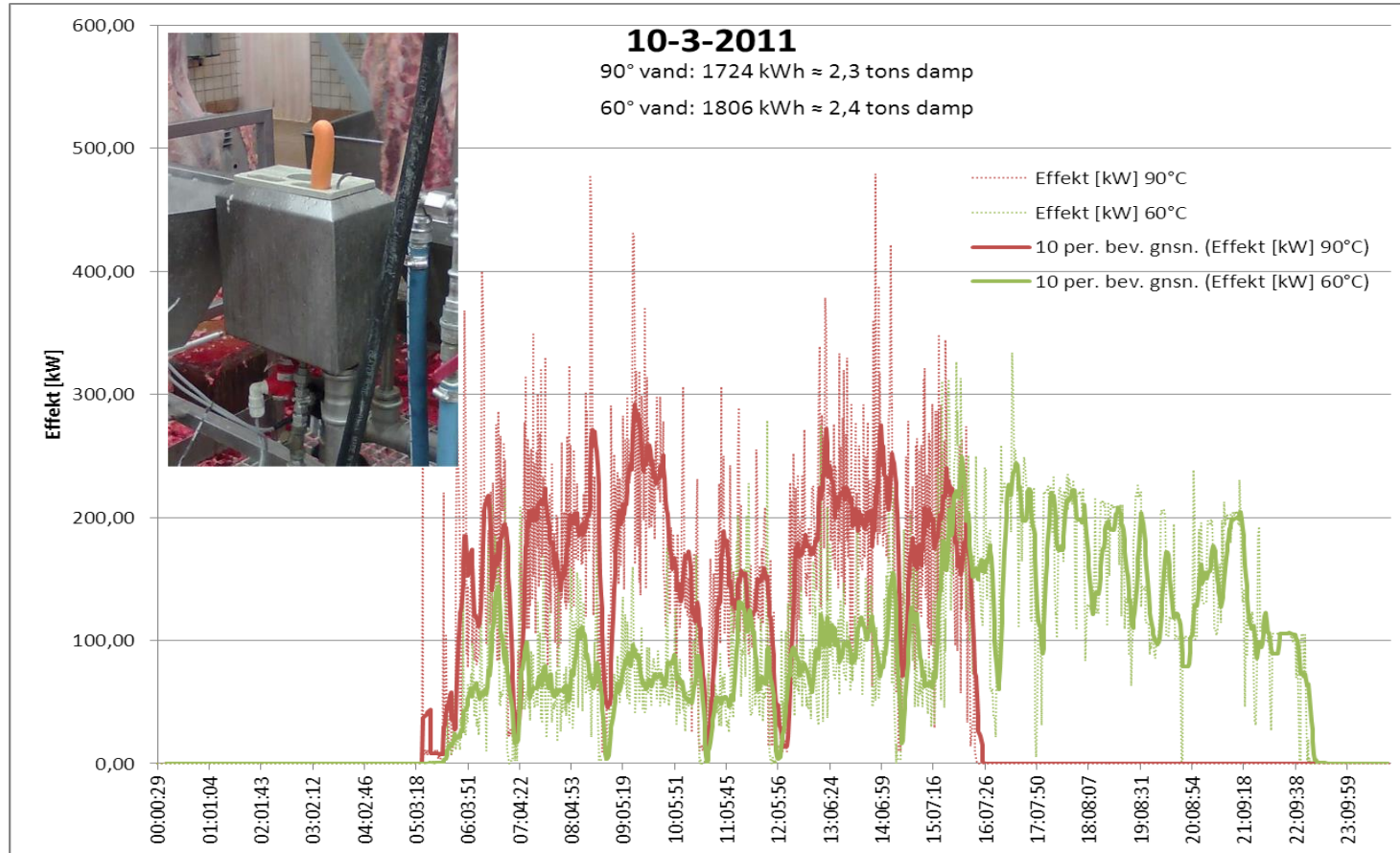


TEKNOLOGISK  
INSTITUT



# Eksempel 1

## Århus Slagtehus



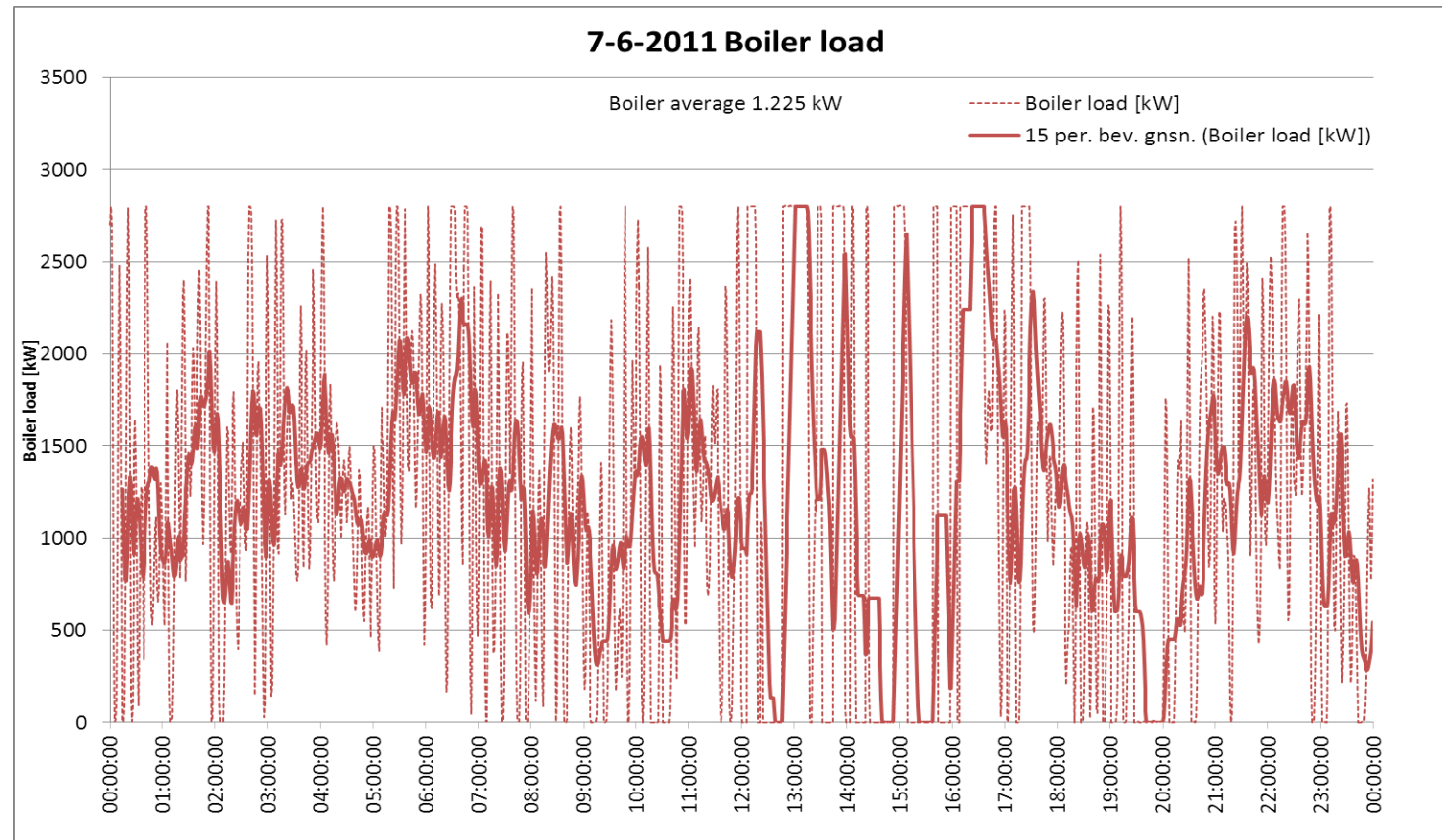
- Kniv-sterilisatorer ændret til el-opvarmning >90°C behov sænket >55% varmepumpe blev fravalgt...

# Eksempel 2

## Thises Mejeri



- Dampsystem 2,8 MW



- Varmepumpe kan vanskeligt regulere så hurtigt, men lasten kan udjævnes...

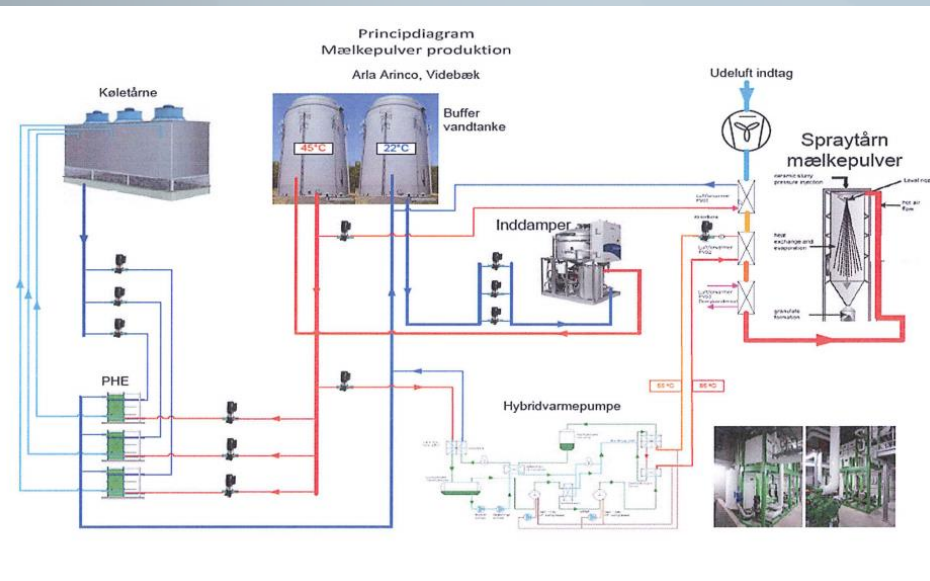
# Eksempel 3

## Arla Arinco (pulvermælk)



Spraytørring: Forvarmning af tørreluft

- Oprindeligt: 2,5 MW
- Installeret: 1,2 MW
- Dimensioneret temperatur: 85°C. Efter idriftsættelse: 83°C for ikke at øge tab fra røggas!!!



# Mange tak...

## **Lars Ove Reinholdt**

Sektionsleder  
Køle- og Varmepumpeteknik  
Energi og Klima

Mobil +45 72 20 12 70

[lre@teknologisk.dk](mailto:lre@teknologisk.dk)



# Temadag "VE til proces"

- 3. december i Taastrup



ve til proces  
Teknologisk Institut > Kurser > Energi og byggen > Vædvarende energi > VE til proces - Temadag

Ydelser Projekter Laboratorier Kurser Job Om os In English

Tid og sted  
Aarhus 21. november 2013  
Taastrup 3. december 2013

1 dag  
Nr. 27415 A  
DKK 700  
ekskl. moms

Tilmeld dig her

Kursusadministration  
Kontakt os for tilmelding og spørgsmål  
vædvarende kurser og konferencer.

Send e-mail  
72 20 30 00

1 dages konference

## VE til proces - Temadag

Hør mere om den nye tilslædsordning til konvertering af procesenergi fra fossilt til vædvarende energi eller fjernvarme på temadagen.

Som en opfølgning på energitælleren fra foråret 2012, er der etableret en ny tilslædsordning "VE til proces". I alt er der afsat 3,75 mia. kr. i 2013, er der afsat i alt 250 mio. kr. og de efterfølgende år frem til 2020 er der afsat 500 mio. kr. årligt. Ordningen er målrettet virksomheder, der konverterer deres procesenergi fra fossilt til vædvarende energi eller