



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

# “Drejebog” til store varmepumper

*Lars Reinholdt  
Teknologisk Institut*

12. og 17. juni 2015





# Indhold

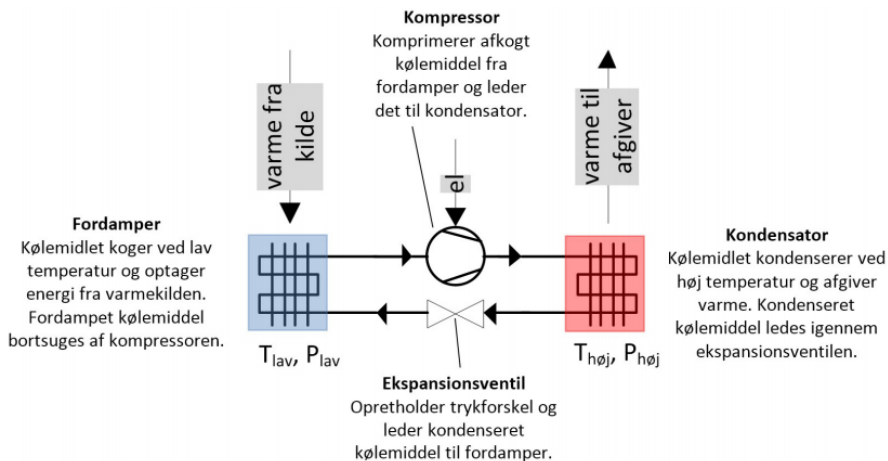
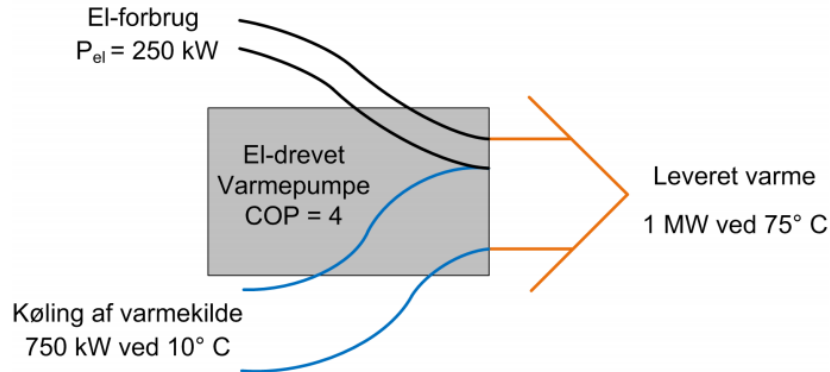
- Hvorfor varmepumper?
- Potentialet for højtemperatur varmepumper
- Drejebogen (med lidt teori)
- Inspirationskataloget
- Overskudsvarme
- Køling af røggas
- Varmedrevet køling
- Varmegenvinding
  - Pulvermælk
  - Tromlevasker
- Vanddamp i varmepumper

# Hvorfor varmepumper?

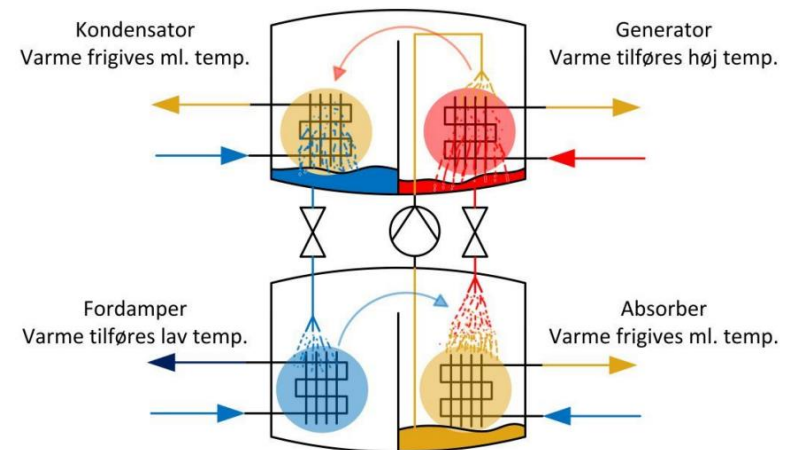
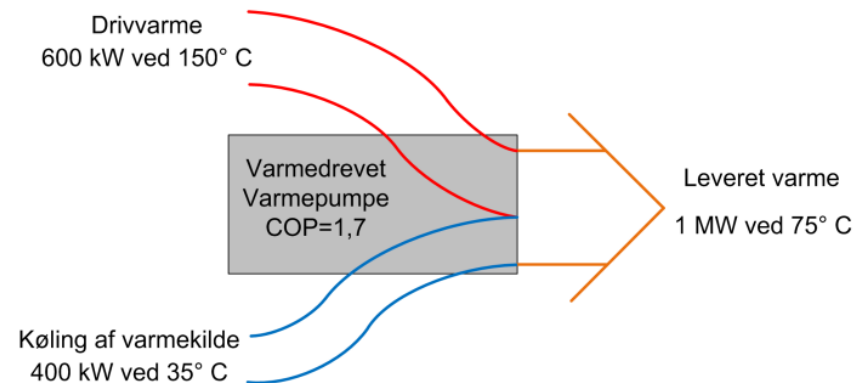


- Varmepumper leverer mere varme end der tilføres af (driv) energi
- Effektiv måde at anvende el til varmeproduktion

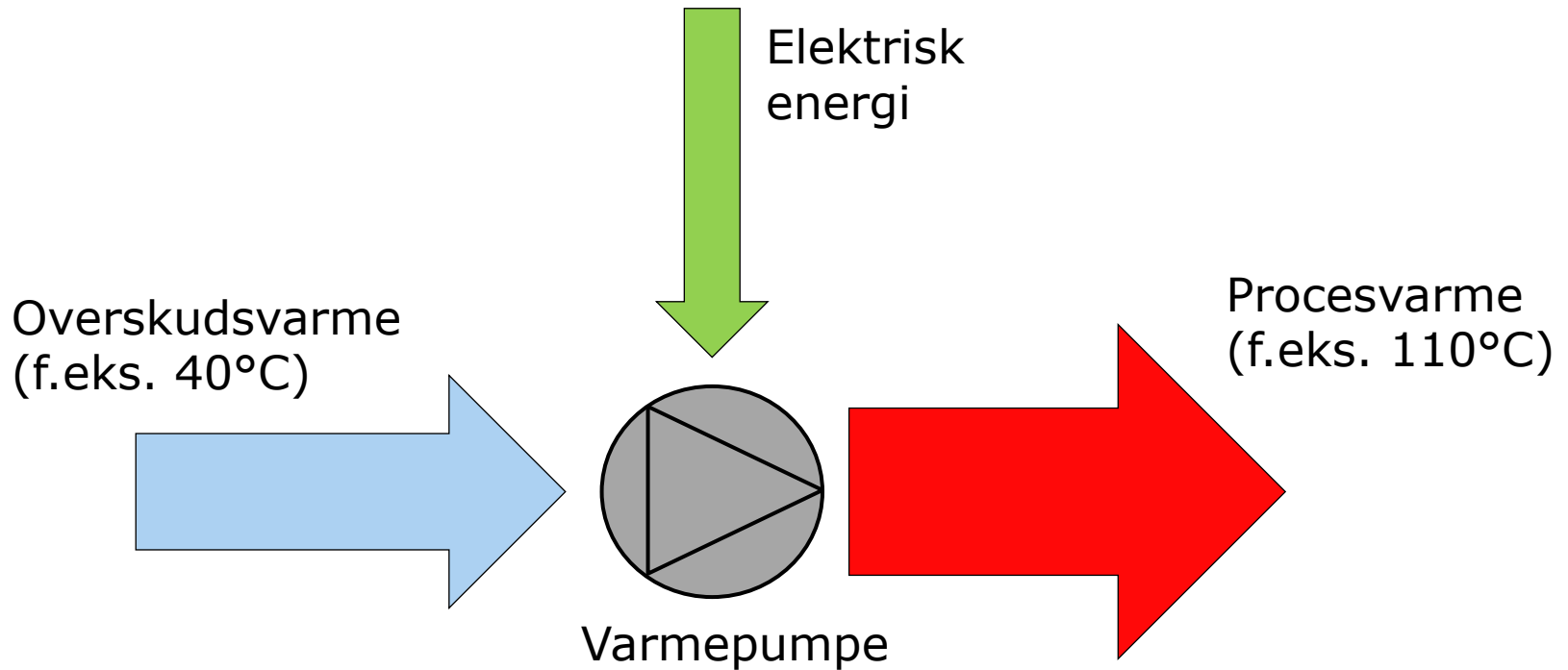
## Mekanisk varmepumpe



## Varmedrevet varmepumpe



# Lidt teori



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

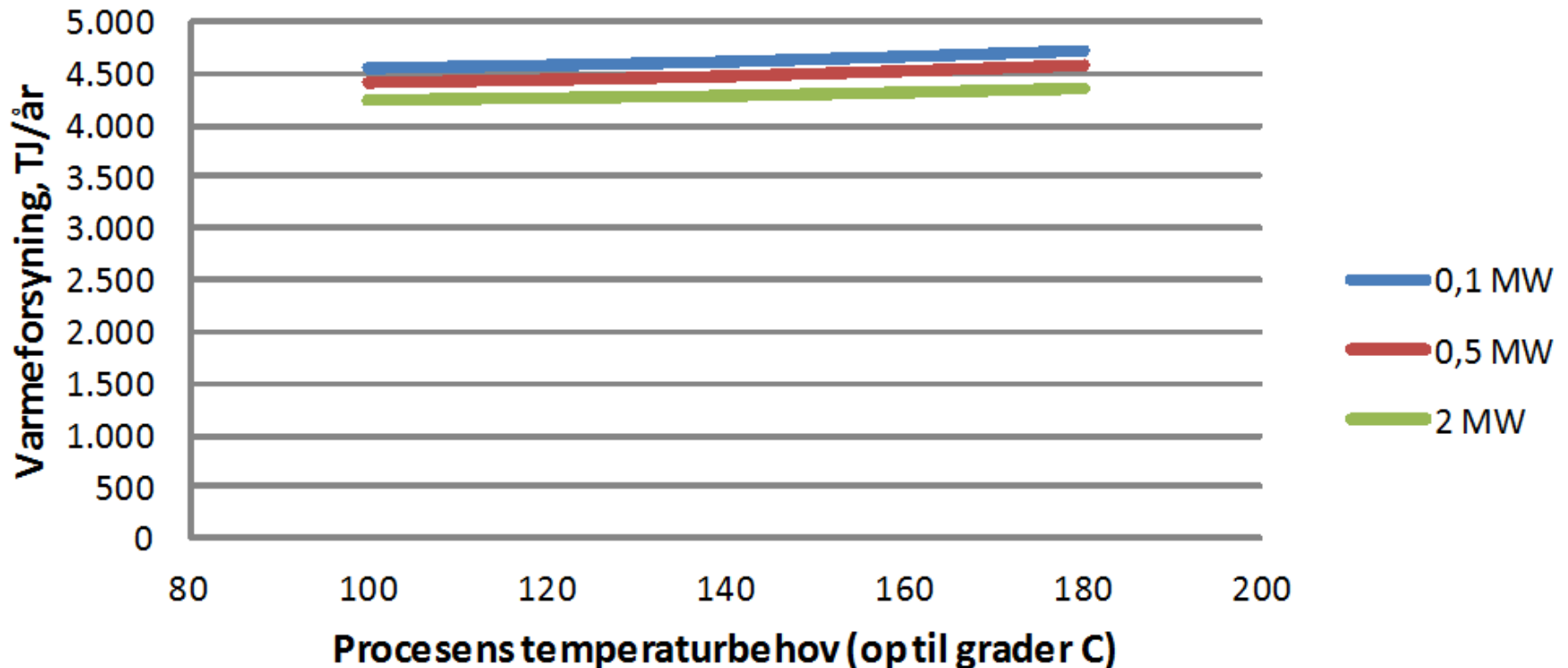
# Potentiale

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



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

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



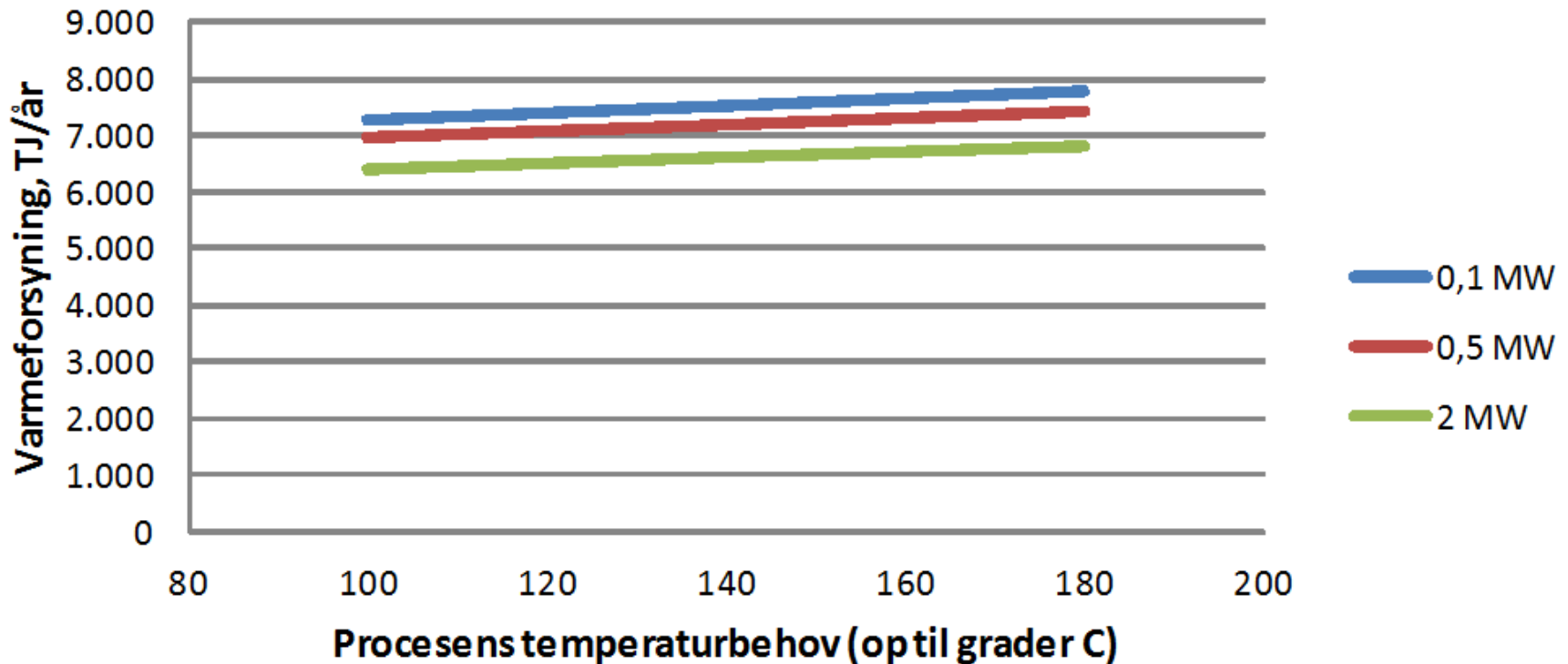
# Potentiale

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



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

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



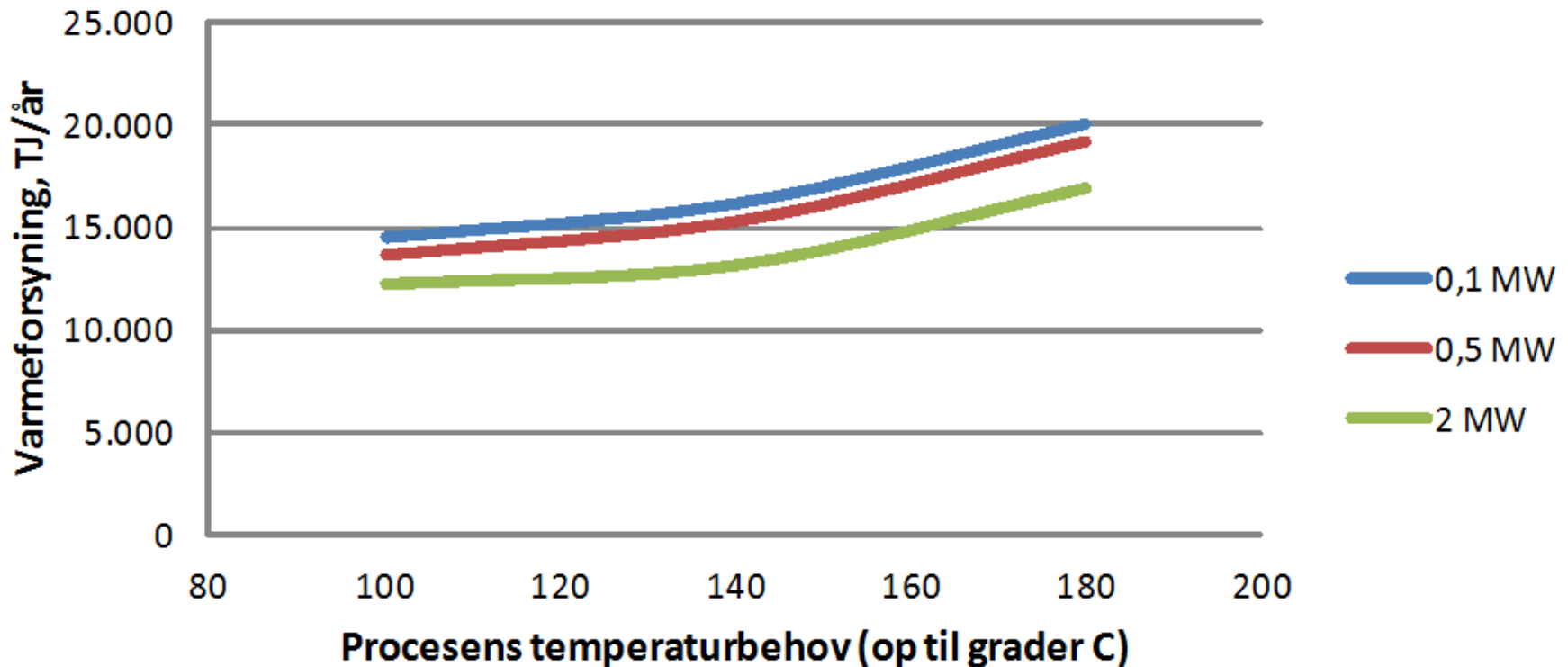
# Potentiale

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



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

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



# Potentiale

(fra "Potentialet for højtemperatur-varmepumper i industrien)



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

## Sammenfatning

- Med et delta T for varmepumpen på 20 C er potentialet opgjort til ca. 4.500 TJ/år.
- Det stiger til ca. 7.000 TJ/år hvis varmepumpen kan løfte temperaturen 40 C
- og til 15.000-20.000 TJ/år ved et temperaturløft på 70 C.
- Hovedparten af varmen kan dækkes med varmepumper, som kan levere en varme passende til 100 C temperaturbehov, og kun ved et delta T 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 en mindre del af det opgjorte potentiale vil kunne dækkes med dagens varmepumper. Vi skønner, at 1.000 – 1.500 TJ/år vil kunne dækkes af varmepumper, der kan løfte temperaturen op til 80 C.



# Potentiale 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 leverer varme ved 100-120 °C.
- Store varmepumper med kapaciteter fra 1-2 MW vil dække en meget stor del af markedet.

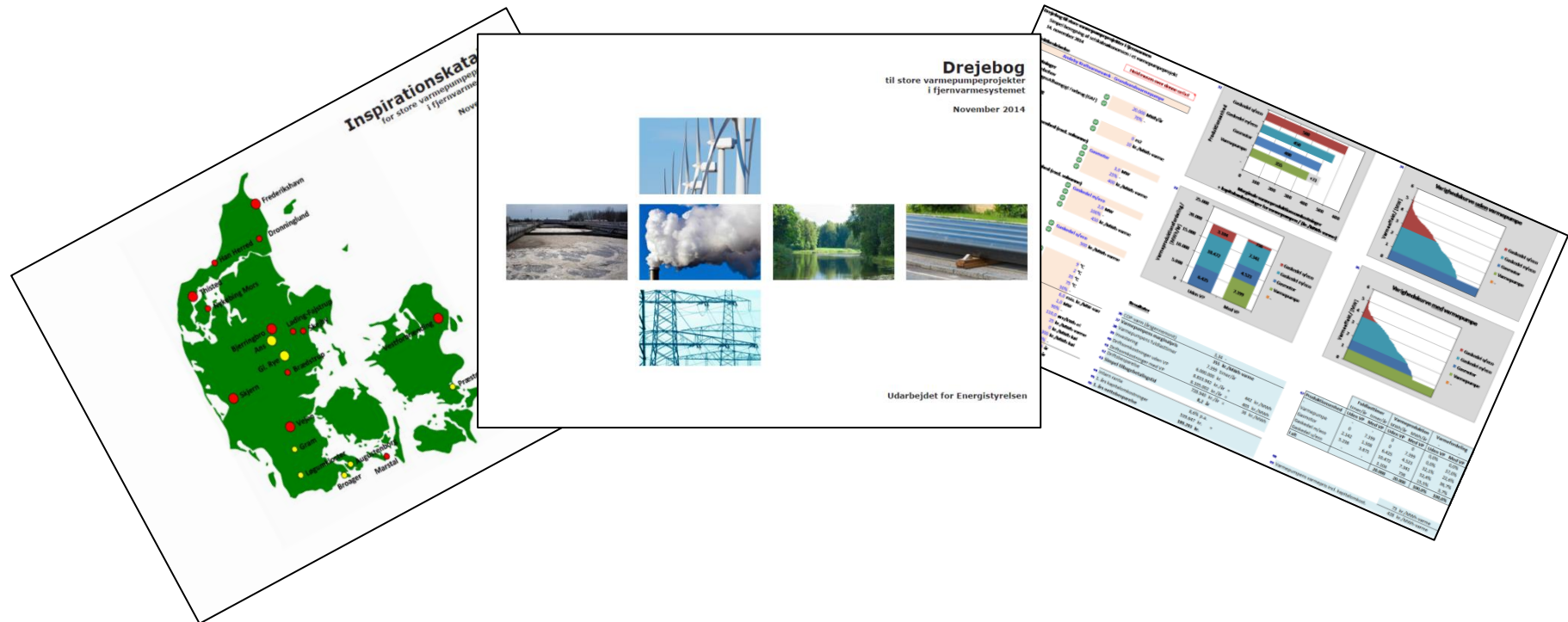


# Inspiration: Drejebog om store varmepumper

- Drejebog
- Inspirationskatalog
- Beregningsprogram

Tilgængelig på nettet

<http://www.danskjernvarme.dk/groen-energi/projekter/drejebog-om-store-varmepumper>





# Dreiebogen

Resumé	Større udbredelse af varmepumper i fjernvarmen (5 sider)
Kapitel 1	Hvorfor overveje varmepumper i den nuværende fjernvarmeforsyning?
Kapitel 2	Hvilke varmekilder er til rådighed?
Kapitel 3	Valg af varmepumpe, systemintegration, anlægskoncepter samt vedligehold
Kapitel 4	Myndighedsgodkendelse
Kapitel 5	Økonomiske forudsætninger og markeder
Kapitel 6	Økonomi
Kapitel 7	<i>Vejledning til regneark til simple varmepumpeberegninger</i>
Kapitel 8	Organisation og kontraktforhold
Kapitel 9	Udbud og valg af leverandør
Kapitel 10	Test af ydelse/aflevering
Kapitel 11	Perspektivering
Ekstra	Mange interessante bilag



# Varmekilder

- Eksterne
- Interne

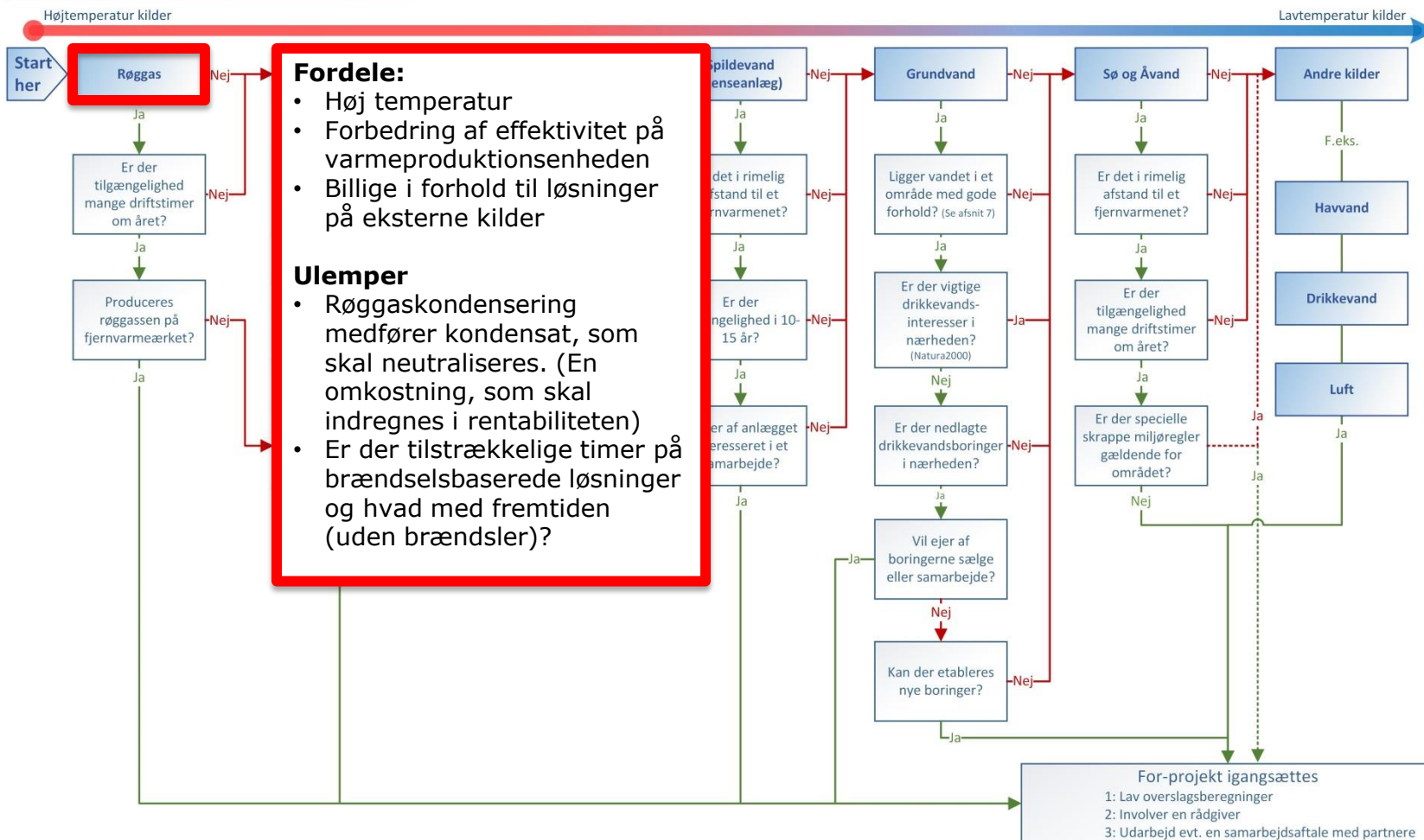
Kapitel 2 gennemgår:

- Røggas
- Overskudsvarme (fra industri og køleprocesser, herunder fjernkøling)
- Geotermi
- Spildevand
- Grundvand, herunder grundvandslager (ATES), og drænvand fra afværgeboringer mv.
- Sø- og åvand
- Andre varmekilder (luft, havvand, jordvarme, drikkevand, solvarme og varmelagre)

# Varmekilder og udfordringer



Hvilken varmekilde findes i dit lokale område?

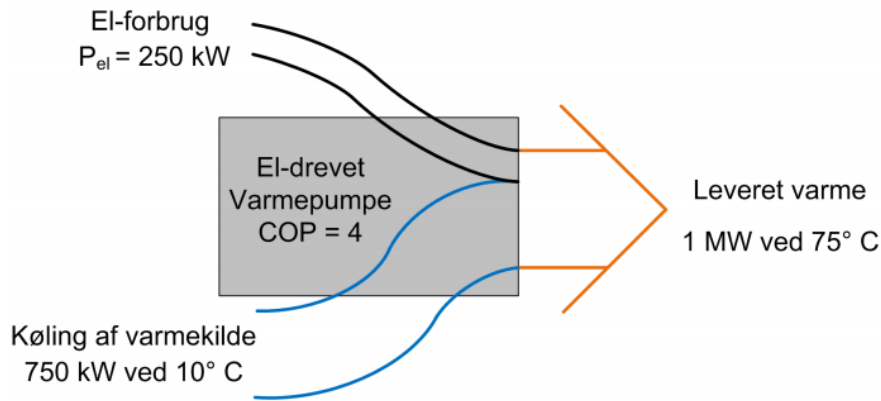


# Kapitel 3

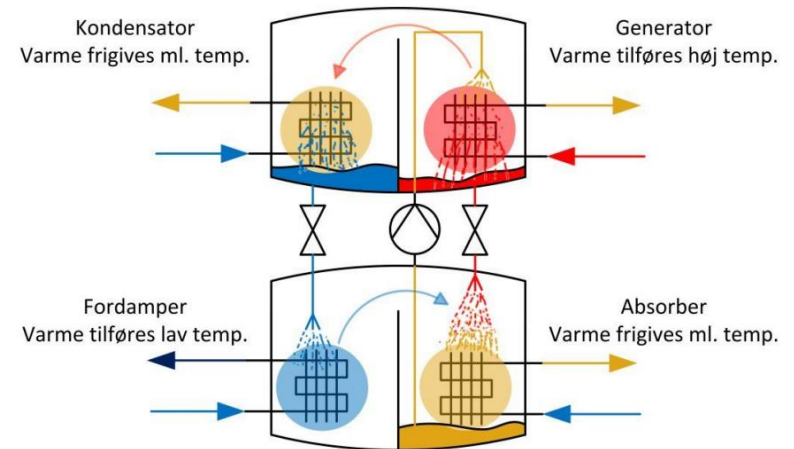
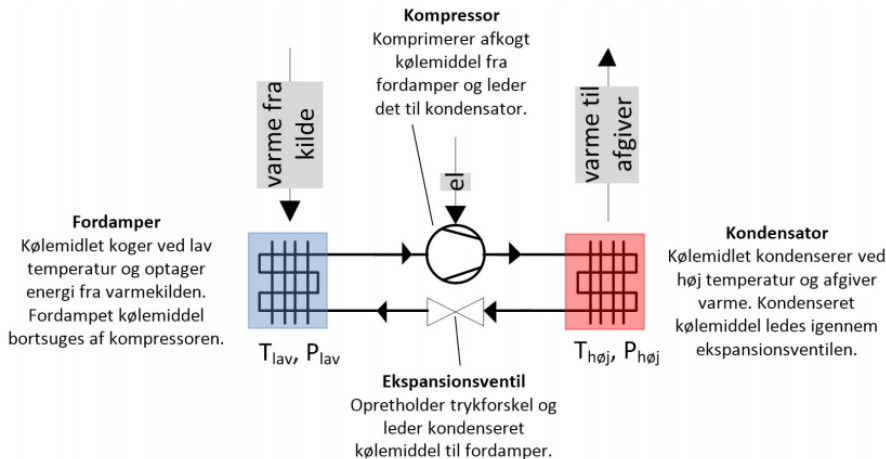
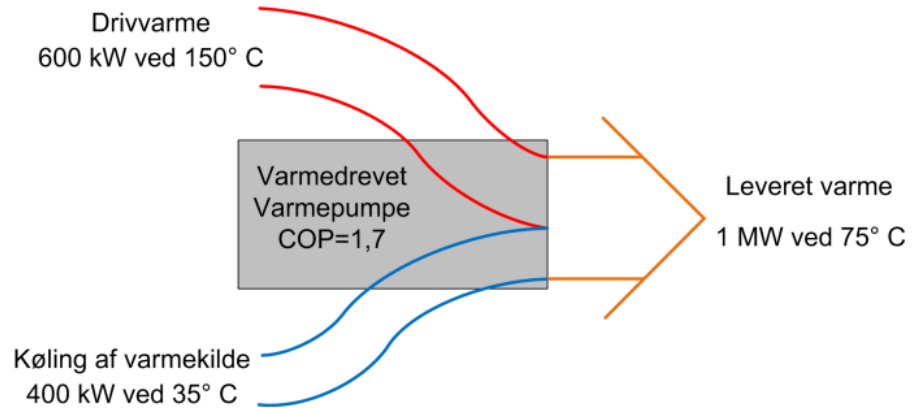
## Valg af varmepumpe, systemintegration, anlægskoncepter samt vedligehold



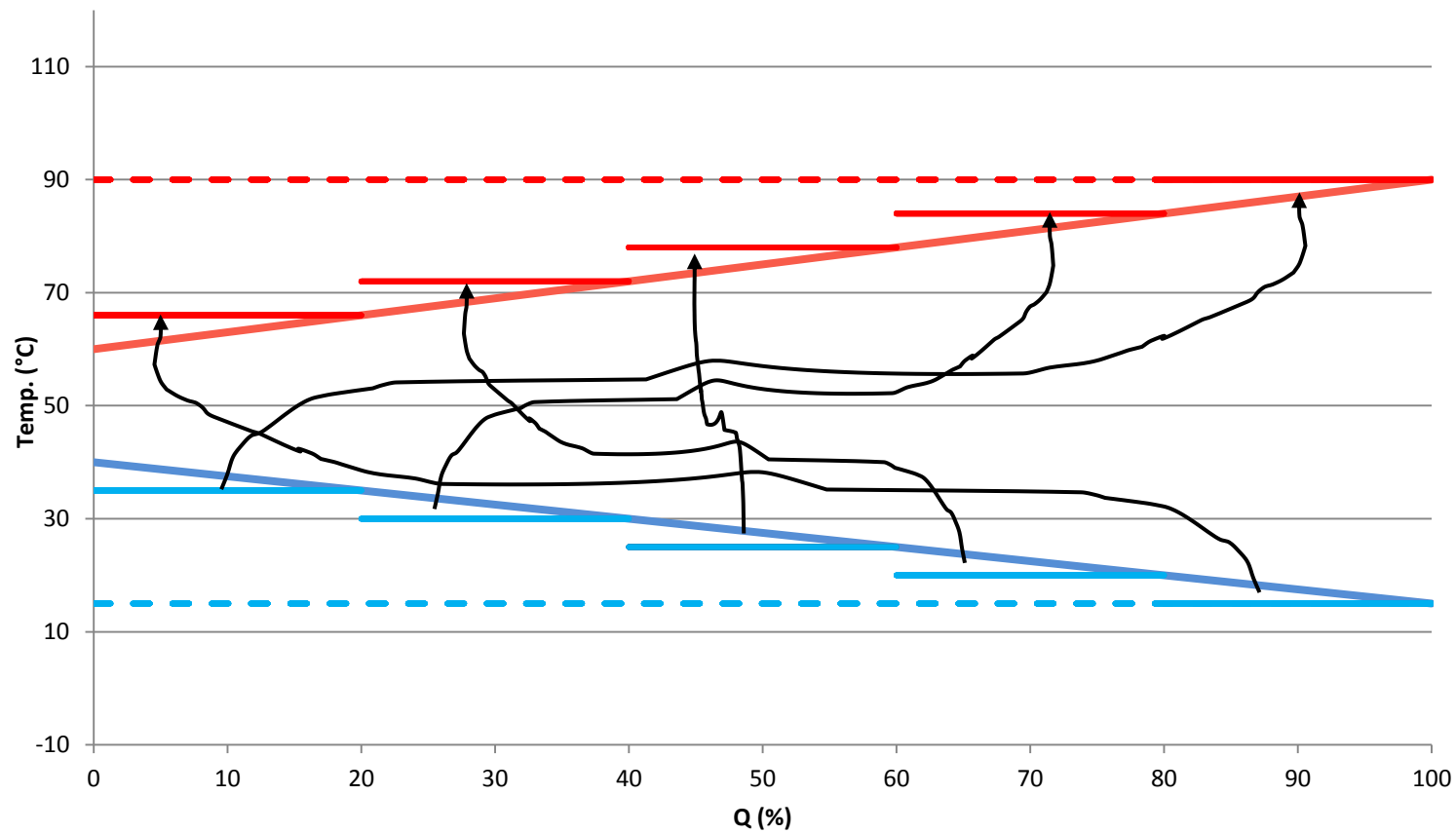
### Mekanisk varmepumpe



### Varmedrevet varmepumpe



# COP for varmepumper



# Beregning af potentiale: Teoretisk maksimal COP

- 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")

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

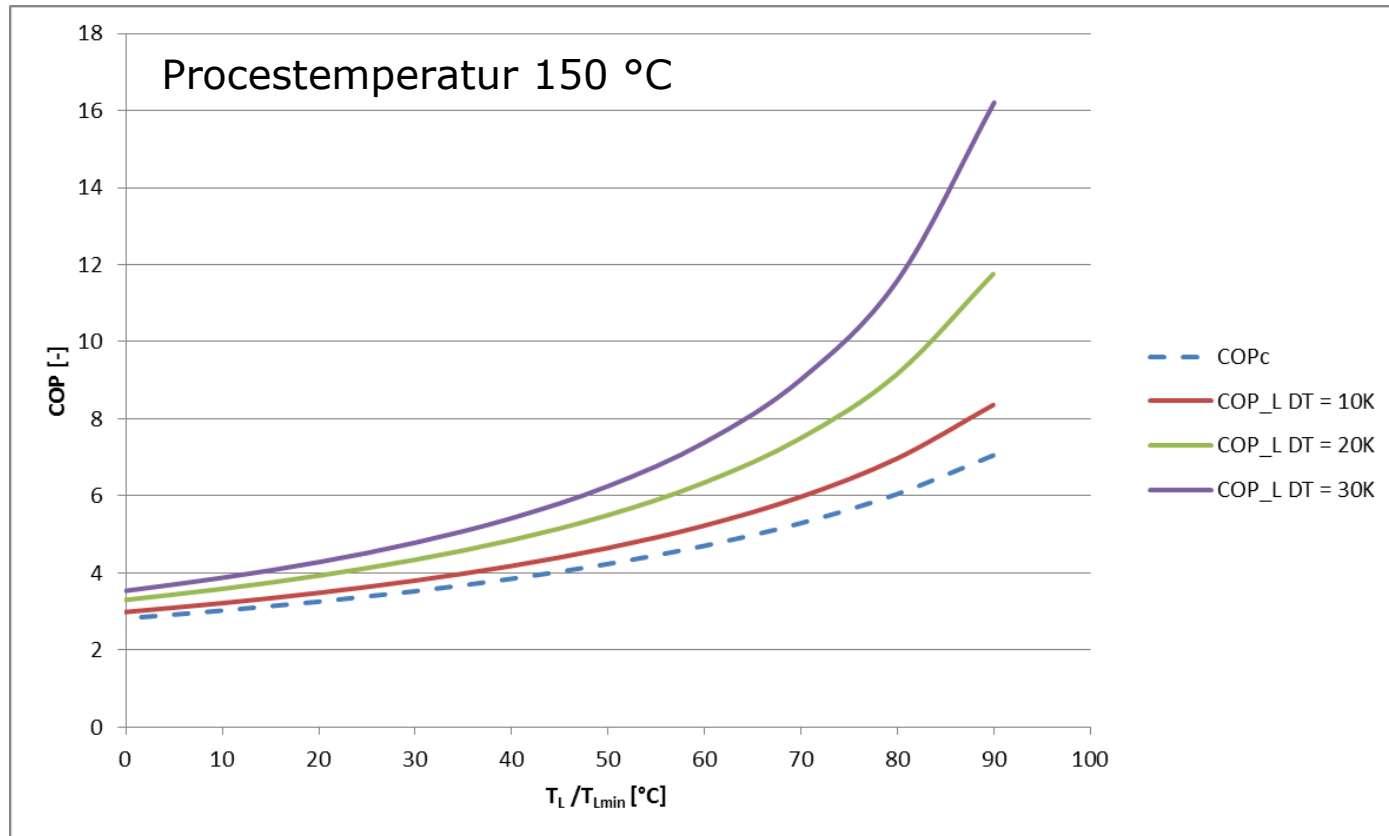
$T_{lmH}$  = log mid. temp. dræn (K)

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

- **I virkelige anlæg: Maksimalt 55-60% af teoretisk COP**



# Maksimal COP



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

# $COP_{VP}$ ift. $COSP$

- Varmepumpens COP

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

- Systemets COP ( $COSP$ )

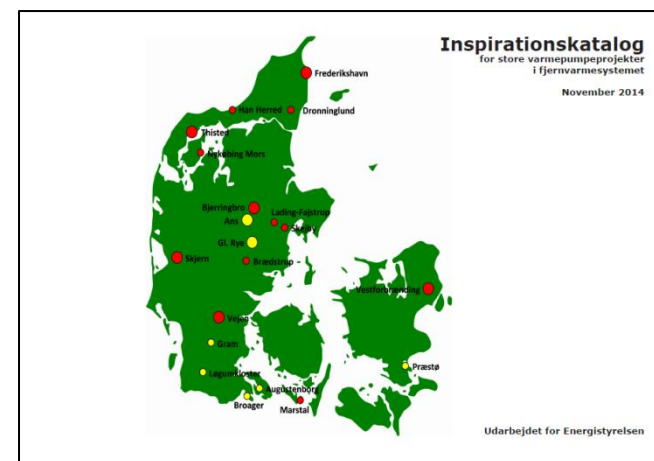
$$COSP = \frac{\text{Varmeproduktion tilført systemet}}{\text{El - forbrug}}$$

# Inspirationskataloget

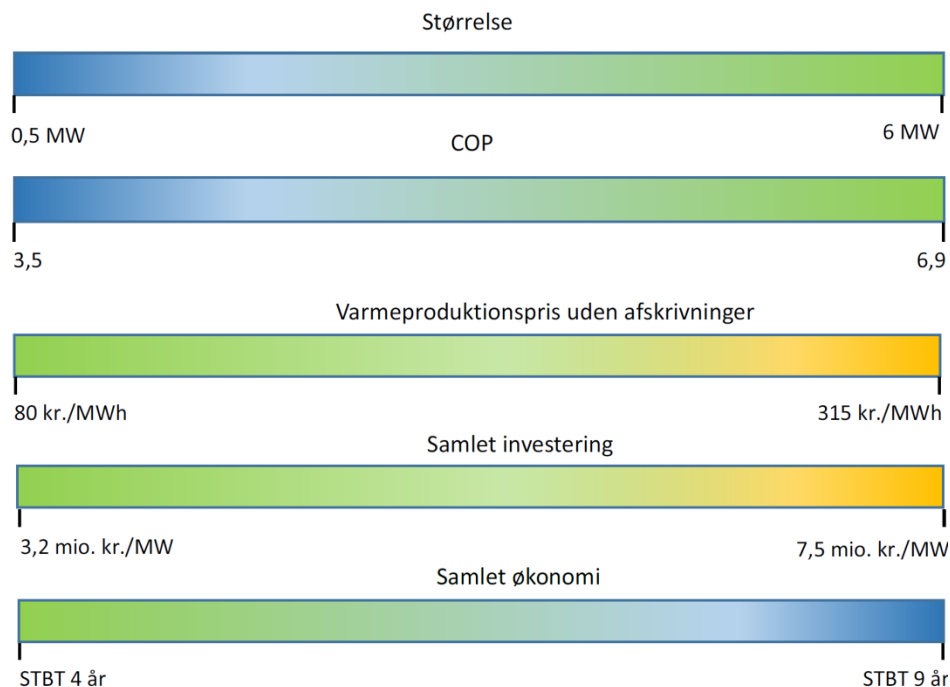


TEKNOLOGISK  
INSTITUT

- Kapitel 1 Indledning – inspirationskatalog
- Kapitel 2 **Røggas**
- Kapitel 3 Overskudsvarme
- Kapitel 4 Geotermi
- Kapitel 5 **Spildevand**
- Kapitel 6 **Grundvand**
- Kapitel 7 Sø- og åvand
- Kapitel 8 Andre varmekilder



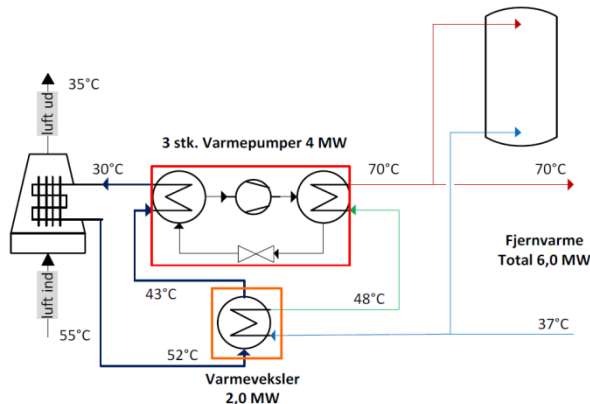
[www.planenergi.dk/varmepumper](http://www.planenergi.dk/varmepumper)



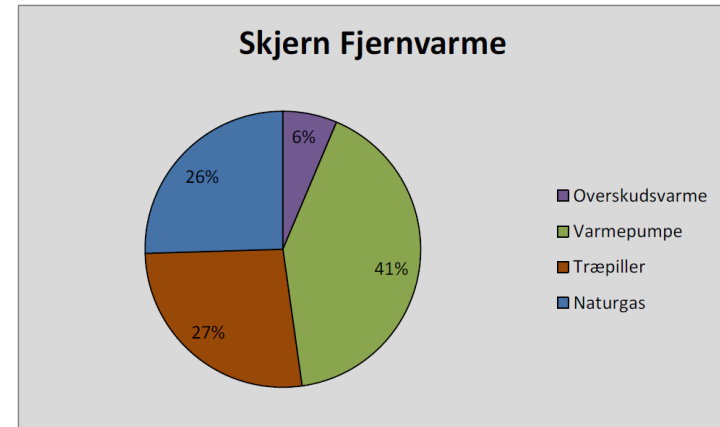
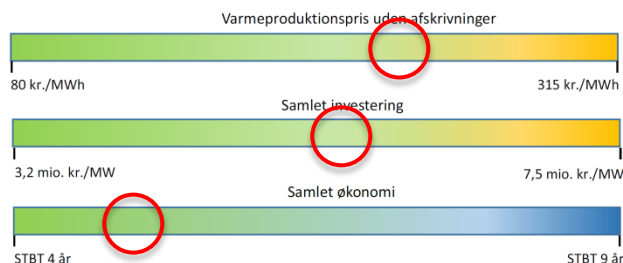
# Overskudsvarme

## Skjern Papirfabrik (spildvarme fra tørreproces)

- Årlige driftstimer: 8.000 timer
- Årlig varmeproduktion: 32.000 MWh
- Samlet investering
  - Skjern Fjernvarme: 5 mio. kr.
  - Skjern Papirfabrik: 22 mio. kr.
- Årlig driftsbesparelse/overskud:
  - Skjern Fjernvarme: 1.920.000 kr.
  - Skjern Papirfabrik: 2.302.003 kr.



Figur 3.6 – Luft/vand-veksler og varmepumpe i kombination med direkte varmeveksling. Kilde: Teknologisk Institut.



Figur 3.5 – Varmeproduktionsfordeling ved Skjern Fjernvarme.

Årlig varmeproduktion: 80.000 MWh

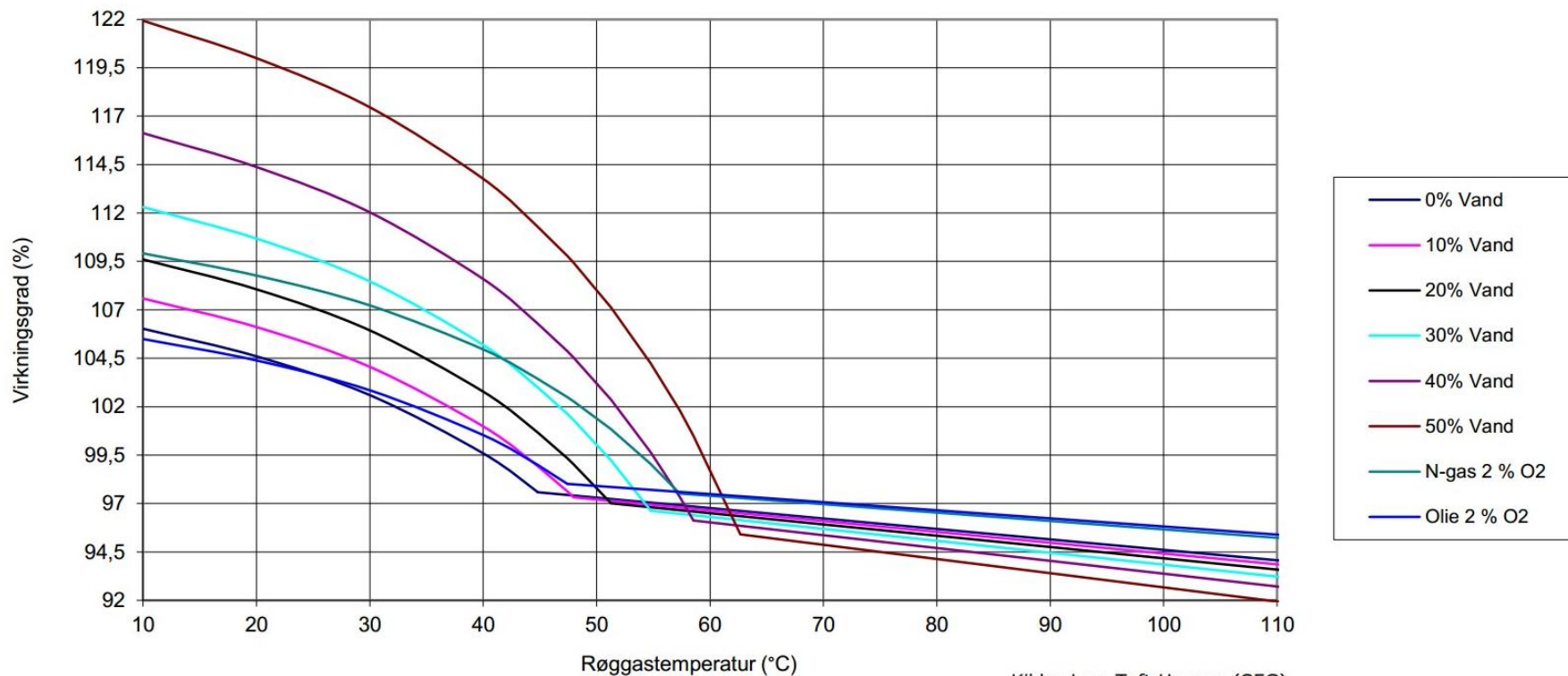
- **Idriftsatte anlæg i Danmark**
  - Skjern Papirfabrik (6,0 MW)
  - Bjerringbro Varmeværk (3,7 MW)

# Køling af røggas



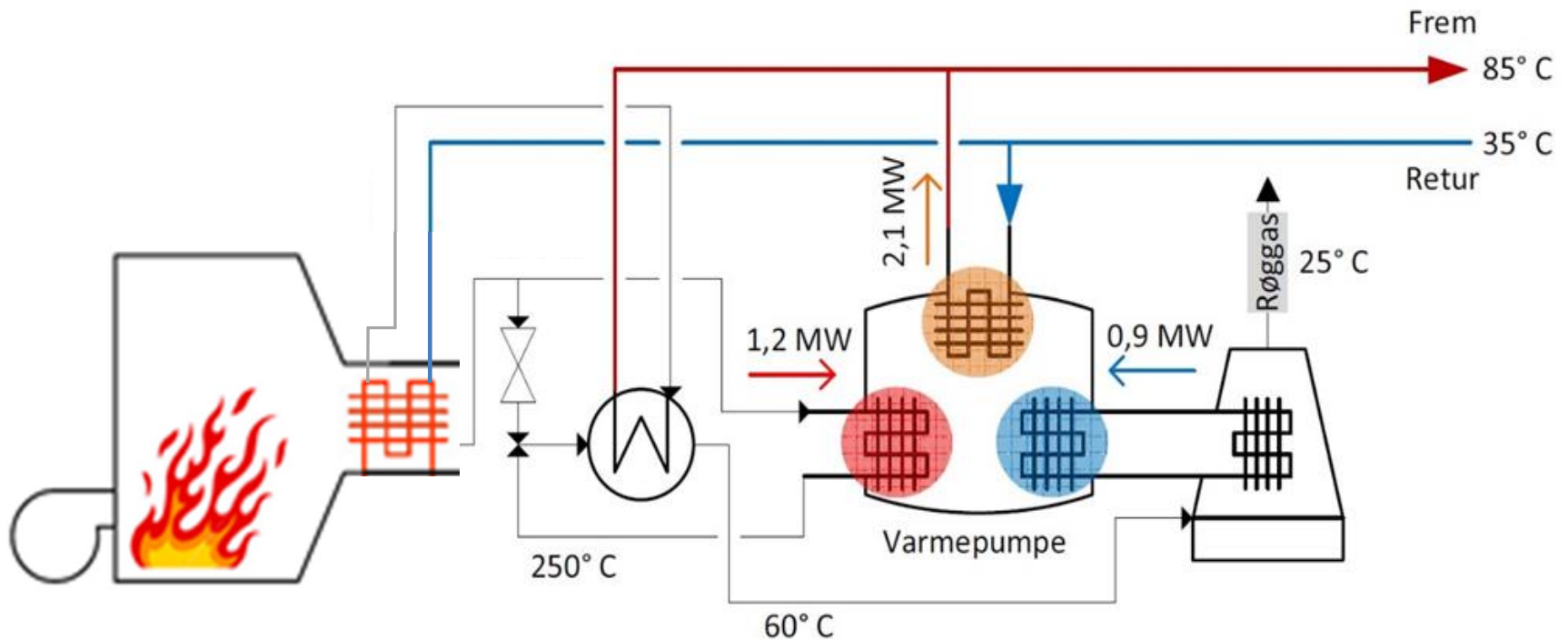
- Op til 22% højere virkningsgrad ved 10°C røggastemperatur

Kedelvirkningsgrad ved træfyring  
(7 % ilt i tør røggasfraktion, 0 °C forbrændingsluft, tab fra kedeloverflade udeladt)



# Varmedrevene absorptionsvarmepumper

- Eks.: Biobrændselskedel: Køling af røggas
- Skematisk eksempel



# Hybridanlæg ammoniak/vand

## Arla Arinco

- Op til 100-110° C med standard NH<sub>3</sub> komponenter (lavt tryk)
- Højere temperature er mulige
- Bedst med temperaturglid på både varmeoptager og varmekilde (varm og kold side)
- Løgumkloster Fjernvarme





## Hybrid varmepumpe Arinco

---

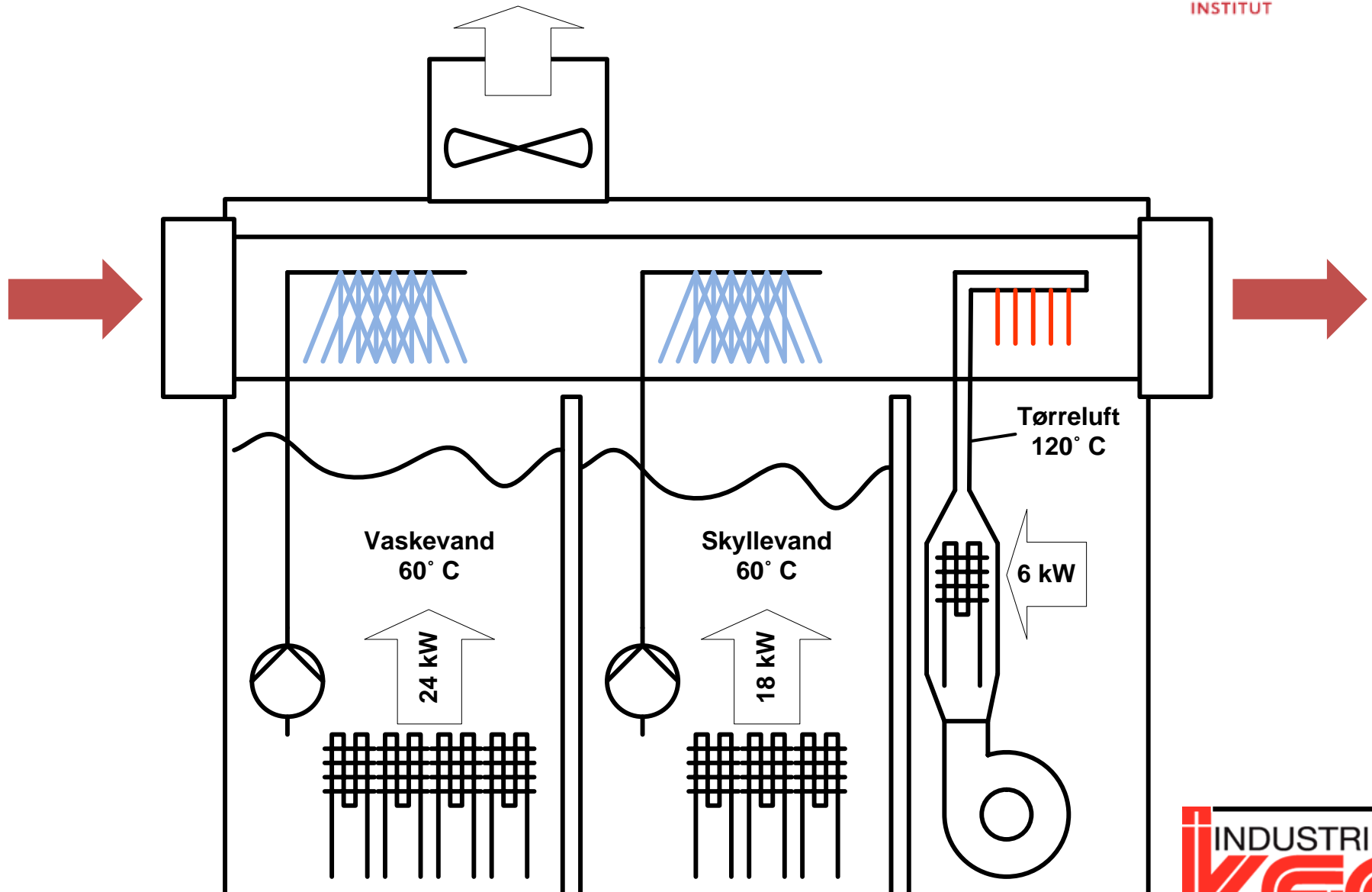
- Varmepumpens effekt er 1.250 KW.
- COP er dokumenteret til 4,6.
- Drifttid 7.400 timer pr. år.
- Investering i selve varmepumpen ca. 4 mill. kr.
- Invstering i bygninger ca. 1 mill. kr.
- Investering i øvrig udstyr for afsætning af varme – ca. 3,5 mill. kr.
- Optimering af energiforbrug på anlæg før investering i varmepumpe – ca. 2,5 mill. kr.
- Investering i kvalitetsmæssige forbedringer – ca. 1,5 mill. kr.
- Samlet investering ca. 12,5 mill. kr.



# Gennemløbsvasker - tromletype



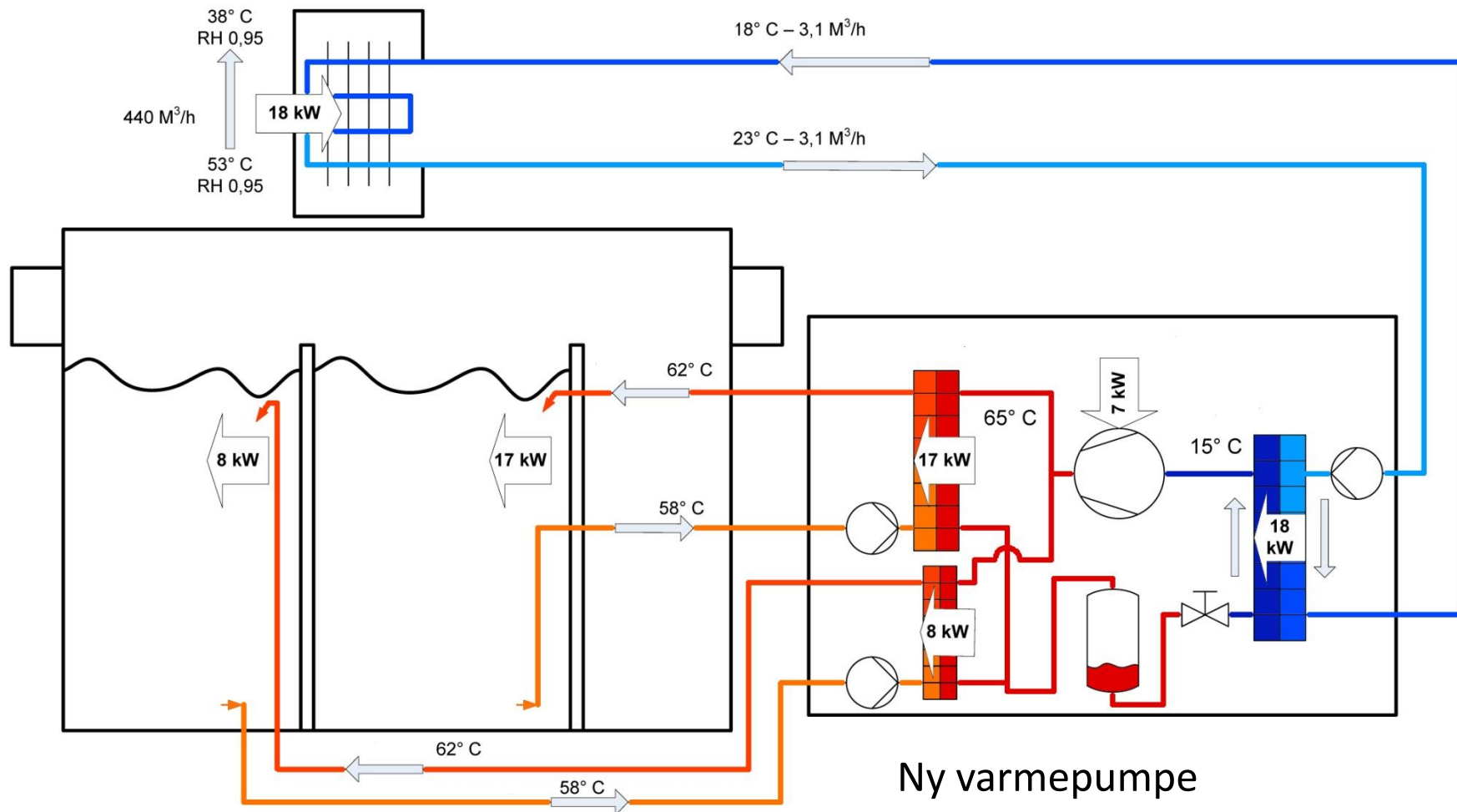
# Gennemløbsvasker - tromletype



# Gennemløbsvasker - tromletype



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

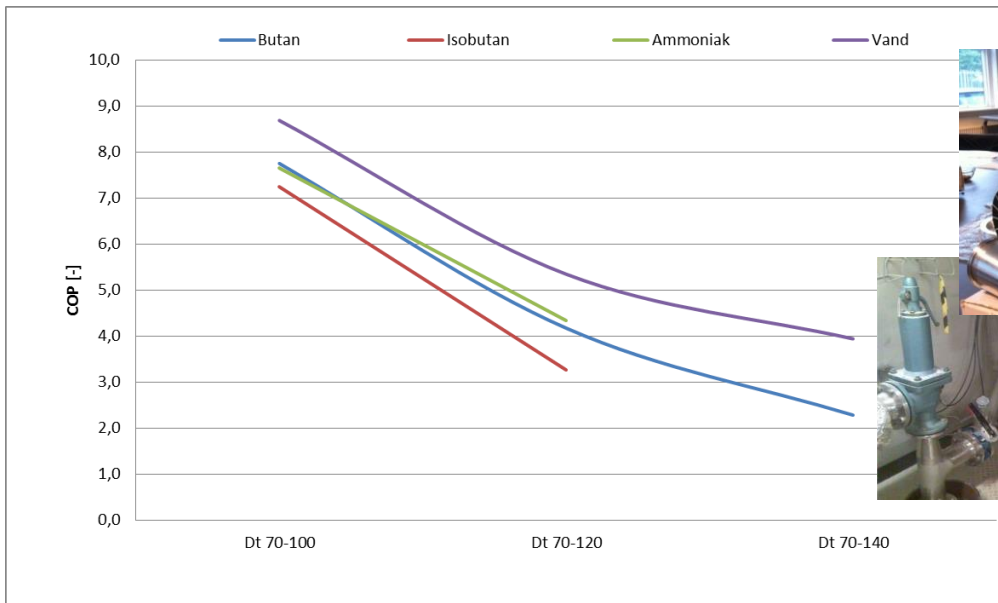
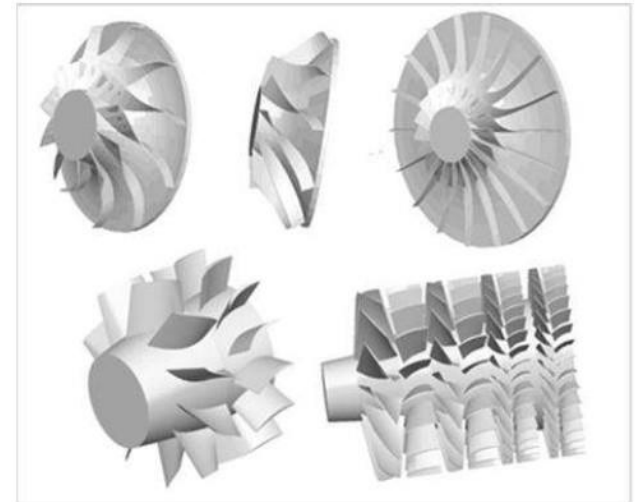


Eksisterende vaskeanlæg  
**50% el-besparelse + besparelse på vand**

# Nær fremtid: Vanddamp som medie i varmepumpeprocesser

- Ny radial og aksial kompressor

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





TEKNOLOGISK  
INSTITUT

# Mange tak

Lars Reinholdt

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

Tlf. 7220 1270