

Energisystemer til Kraftvarmeanlæg

Århus

21. april 2008

Torben M. Hansen og Kim G. Christensen

ADVANSOR
ENERGISYSTEMER

Agenda

- Om Advansor
- Om CO2 varmepumper
- Implementeringsmuligheder i fht. gasmotor og turbineanlæg
 - Røggas
 - Net-installeret varmepumpe
 - Returvand
 - Anden varmekilde
 - Vindkraft
 - Varmegenvinding
- Koblinger til gasmotoranlægget:
- Klassificering af kraftvarmeværker
 - IKV
 - DCKV
 - Spildvarmegenvindig
- Driftsøkonomi
 - parametre af betydning
 - Produktionsalternativ
- Praktiske forhold på værket

Om ADVANSOR

- **ADVANSOR er en teknologi- og produktionsvirksomhed på energiområdet indenfor køleanlæg og varmepumper**
 - Vi bruger CO₂ teknologi til CO₂ reduktion
- **ADVANSOR udvikler, producerer og udfører projekter indenfor**
 - Kraftvarme: Industrielle og decentrale værker
 - Procesindustri
 - Fødevarefremstilling
- **Vi samarbejder med brancheorganisatører, GTS'er, universiteter, Miljøstyrelsen og industrien for at fremme bæredygtige energibesparelser**

ADVANSOR's produkter



compHEAT: Varme- og Kraftvarme-produktion

Produkter skræddersyede til varme- og kraftvarmeanlæg. Direkte tilkobling til gasmotoren uden forstyrrende indgreb på vandsiden. Varmen leveres direkte til fjernvarmenettet mellem 80-90°C. Også mindre varmepumper primært til industrielt brug. Kapaciteter: 20 – 1200 kW



compBINE: Kombineret og kuldeproduktion

Integreret anlæg til samtidig produktion af varme og kulde. Producerer varmt ved 80-100°C og koldt vand til forbrug eller isbank. Anvendelse bl.a. til pasteurisering af fødevarerprodukter samt fremstilling af varmt vand til rengøring samtidig med kulde. Kapaciteter: 80-800 kW



compFORT: Kuldeproduktion

Koldt vands anlæg til luftkonditionering eller proceskøling. compFORT producerer koldt vand i området 0-16°C. Anlæggene kan anvende adiabatisk og frikøling, hvilket giver et meget lavt energiforbrug. Endeligt er støjniveauet et af de laveste på markedet. Kapaciteter: 80-400 kW



compSUPER: Køl/ frys

Advansor tilbyder også køle/ fryseanlæg til supermarkeder og andre kommercielle og industrielle køle/ fryse-applikationer. Anlæggene anvender kun CO₂ som kølemiddel og fokus ligger på pålidelighed, serviceevenlighed og lavt energiforbrug. Kapaciteter: 6/15 – 50/150 kW

Transkritisk varmepumpe: **compHEAT**

Patentanmeldt: Metode og apparat, specifikt til kraftvarmeanlæg

- **compHEAT** varmepumperne er de første af sin art udviklet i DK af TI i 2003-2005
- **compHEAT** adskiller sig fra konventionelle varmepumper ved
 - Ingen kondensering ved varmeafkast
 - Modstrømsveksling mellem vand og gas med høj densitet
- **compHEAT** muliggør
 - Valgfri afgangstemperatur på vandsiden, eksempelvis fra 80°C til 100°C
 - Meget høj effektfaktor (3.7-3.8)
- **ADVANSOR** sikrer dig
 - Den nyeste varmepumpeteknologi
 - Den optimale implementering og drift af varmepumper på netop dit værk

Transkritisk varmepumpe: compHEAT

Baggrund for udviklingen:

- 1986: Augustenborg (havvand)
- 1996/98: Varmepumper i industrien
 - Forbedring af virkningsgrader på kraftvarmeanlæg
 - Termisk løft for ikke højt nok
- 2003-06: EFP projektet ExpressDK: Analyse, udvikling og demo af transkritiske varmepumper
 - Teknologisk Institut, Foreningen Danske Kraftvarmeværker, Danfoss, Naturgas Midt-Nord, m.fl.
 - Bygger videre på erfaringerne, men det termisk løft forbedres
 - Prototype testes ved Teknologisk Institut
- 2006: ADVANSOR markedsfører compHEAT varmepumperne som er de første af sin art
- Patentanmeldt 2006: Metode og apparat, specifikt til kraftvarmeanlæg
- 2008/09: Demonstration af teknologien på kraftvarmeanlæg

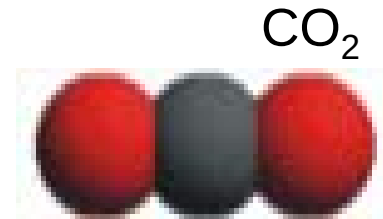
Juni 2006: Prototypen til test ved Teknologisk Institut



Karakteristika for CO₂

Generelle egenskaber:

- Gruppe II (L1) med ODP = 0 + GWP = 1 (NH₃ = L2, R290 = L3)
- Ingen begrænsninger på opstillingssted og anvendelse
- Temperatur og trykområde: -55 -> +31°C (5.5 -> 73 Bar)
- Tungere end luft, i det hele taget en "tung" gas

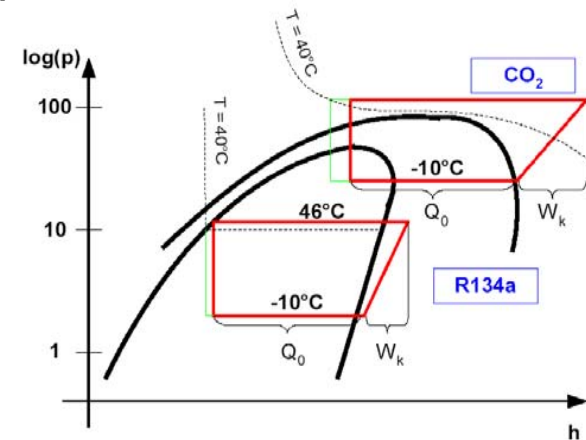


Fordele:

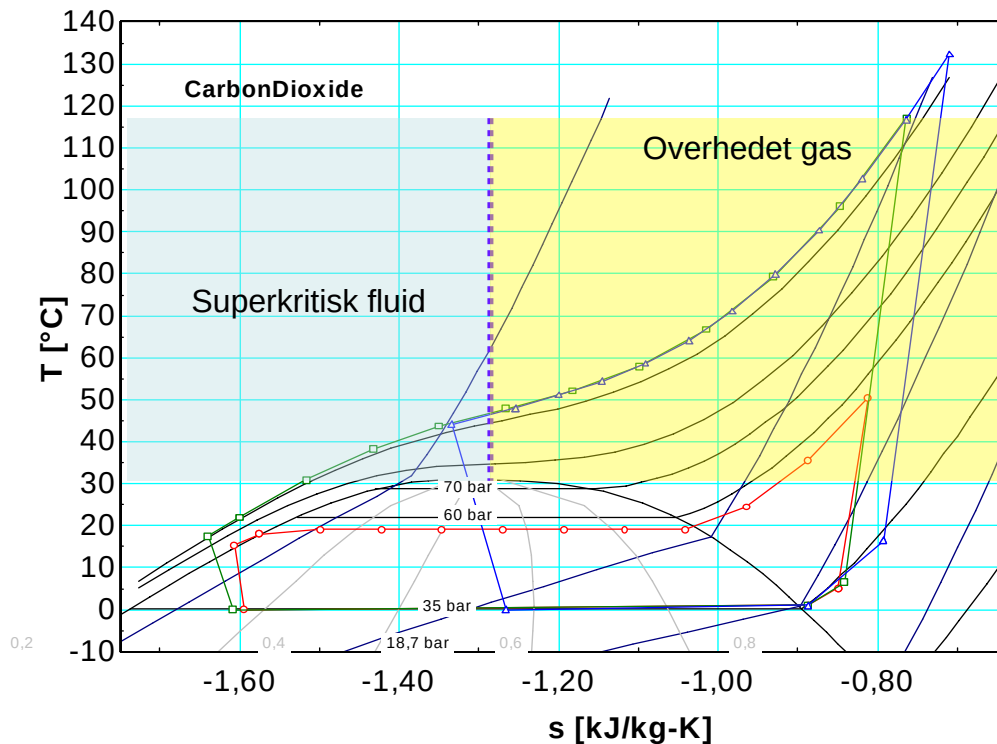
- Små rørdimensioner og små tryktab
- Bedre virkningsgrader på kompressorer og høj volumetrisk kølekapacitet
- Bedre varmeovergang – specielt ved "pool-boiling"

Udfordringer:

- Højere tryk (op til 130 bar)
- Høje stilstandstryk
- Anvendelse af sikkerhedsventiler
- Udskilning af olie/ væske-dråber fra CO₂-gassen
- Sikring af anlæggets COP ved høje temperaturer
- Pris på komponenter



Transkritisk versus subkritisk drift



Transkritisk:

- Gaskøler: ingen faseskifte ved varmeafgivelse
- $[T, p]$ er indbyrdes uafhængige
- tryk for optimal COP afhænger af p_0 , T_{uk} , ε_{iv} og η_s
- god afkøling i gaskøler er vigtig for optimal COP
- pinch point skal undgås i veksleren

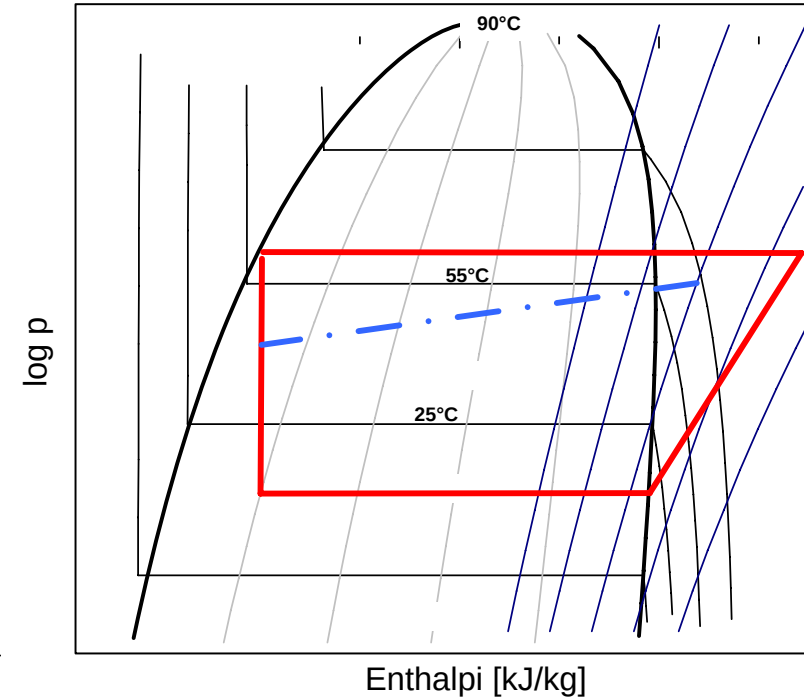
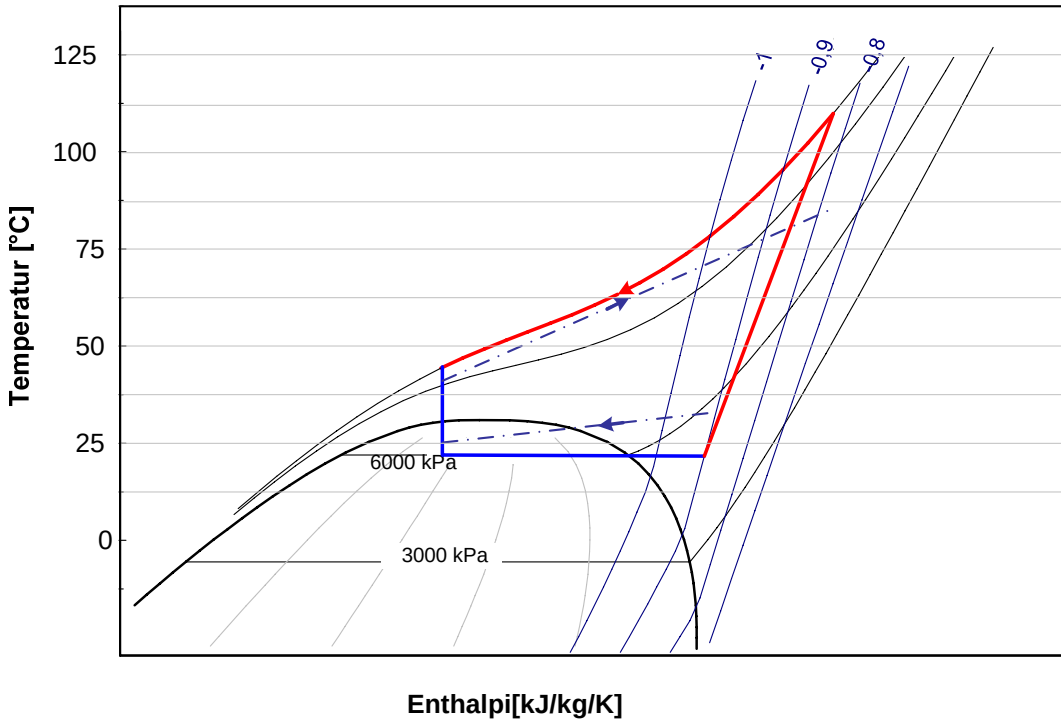
Subkritisk: "business as usual"

- Fordele
 - små dimensioner
 - materiale valg
- Udfordringer
 - Få komponenter er tilgængelige som standard

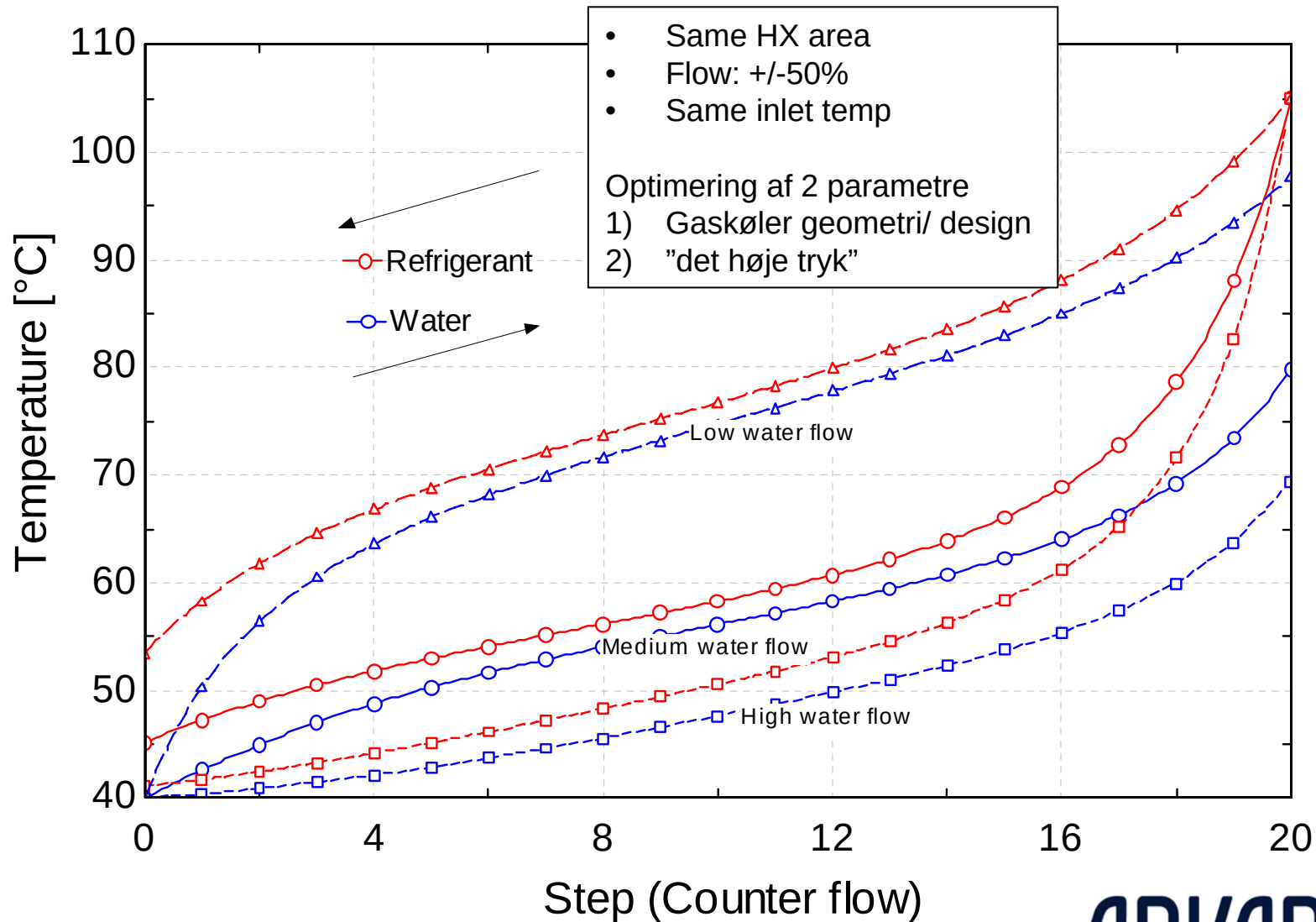
Transition:

- anlægget skal kunne skifte mellem de 2 driftsformer
 - styring
 - anlæggets udformning

Kort om teknikken: Transkritisk varmepumpe vrs kondenserende

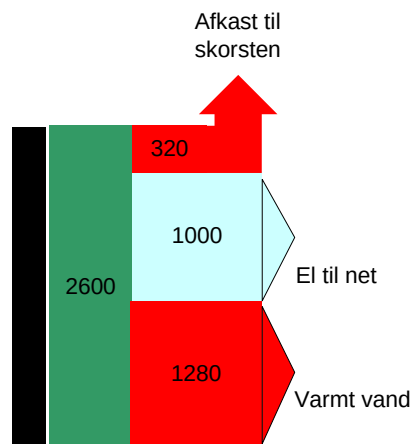
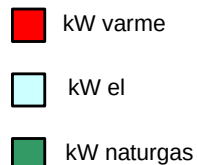


Varmevekslere til CO₂ - gaskølere

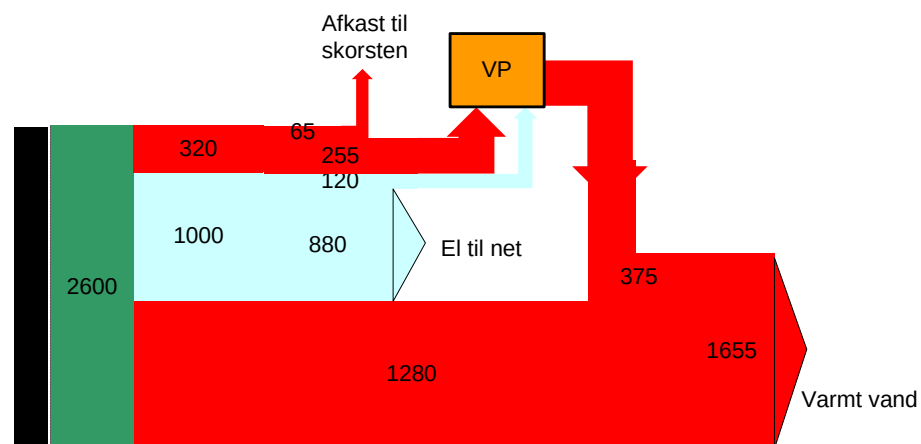


Øget totalvirkningsgrad på kraftvarmeanlæg

Hvordan opstår besparelsen?

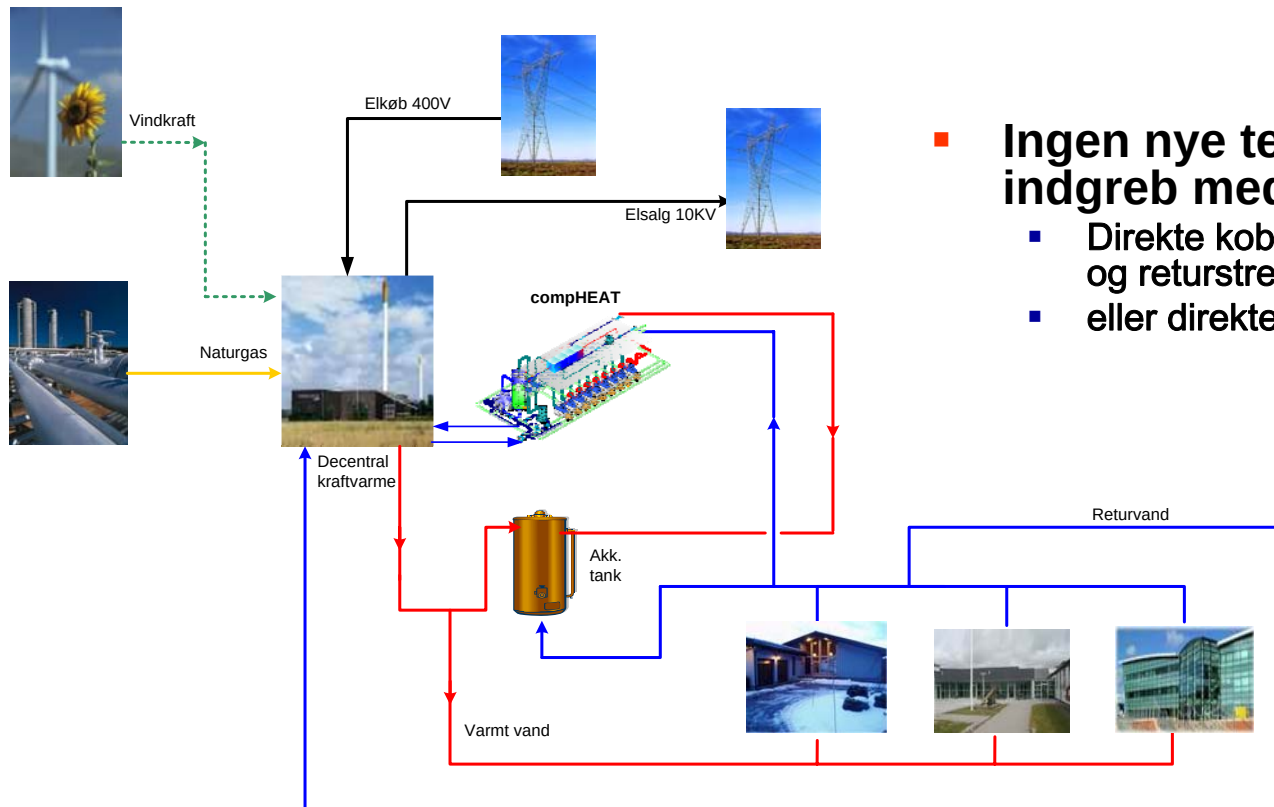


Uden varmepumpe, totalvirkningsgrad 88%



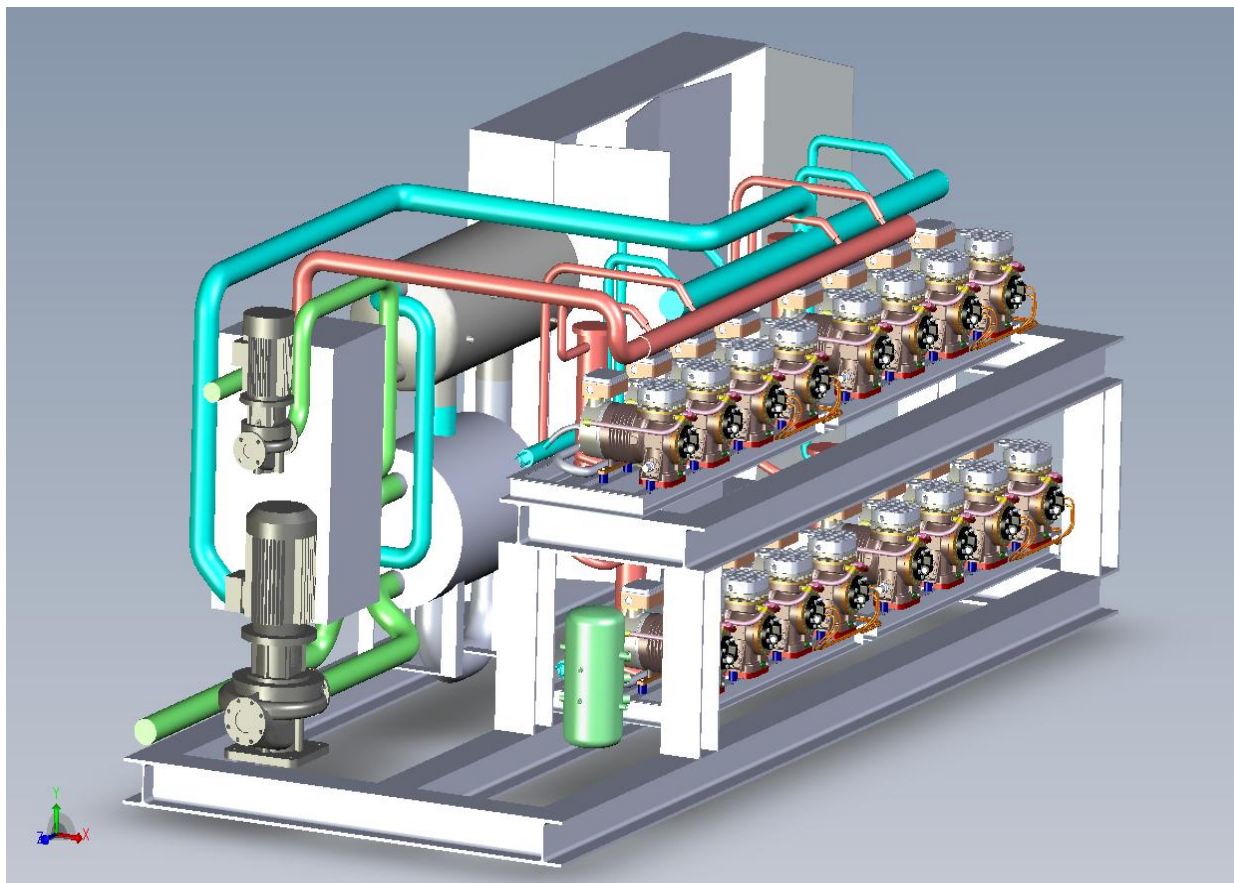
Med varmepumpe, totalvirkningsgrad 97,5%

"Plug and play" - installation

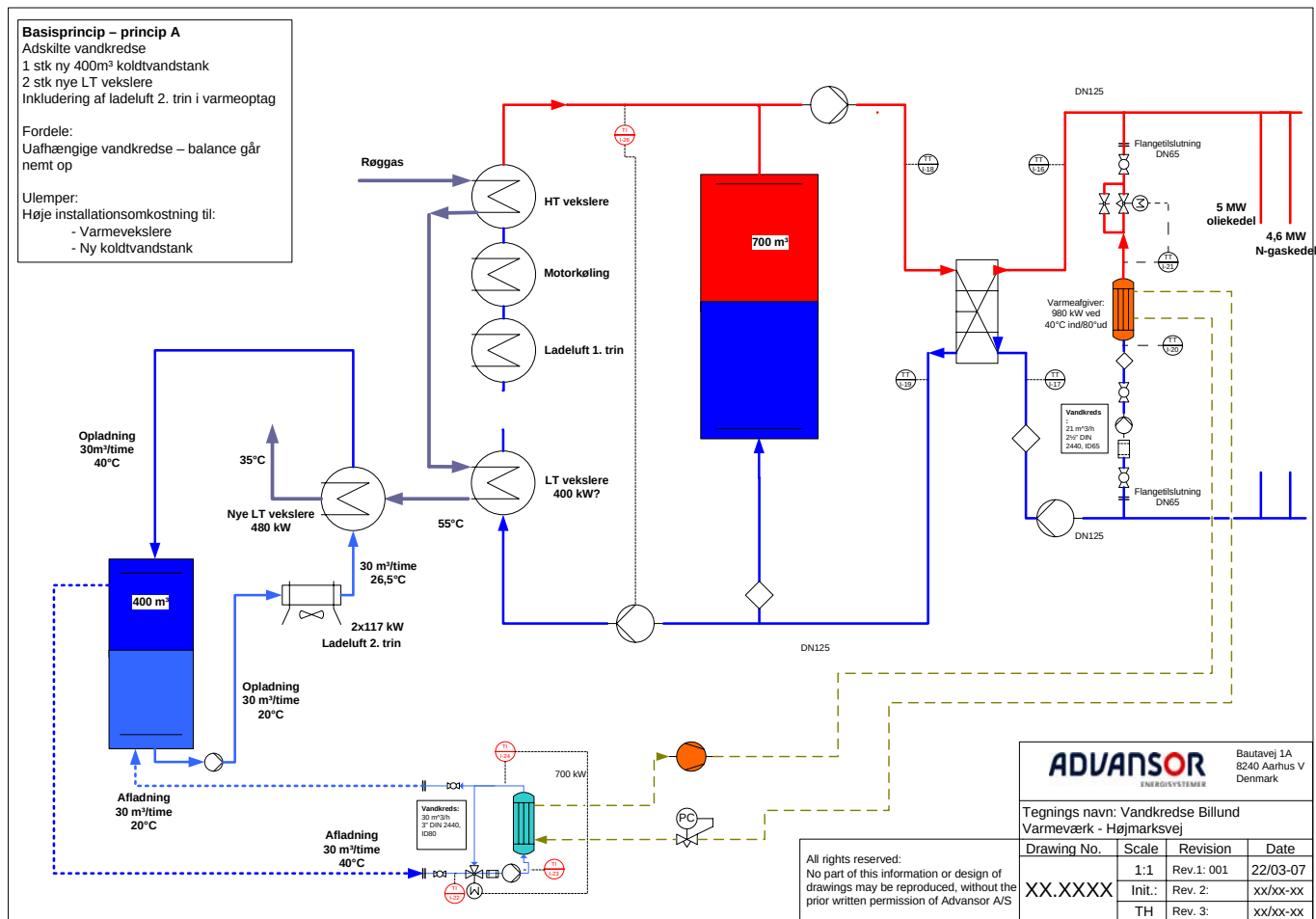


- **Ingen nye termiske indgreb med motoren**
 - Direkte kobling på fremløb og returstrøg
 - eller direkte på akk.tanken

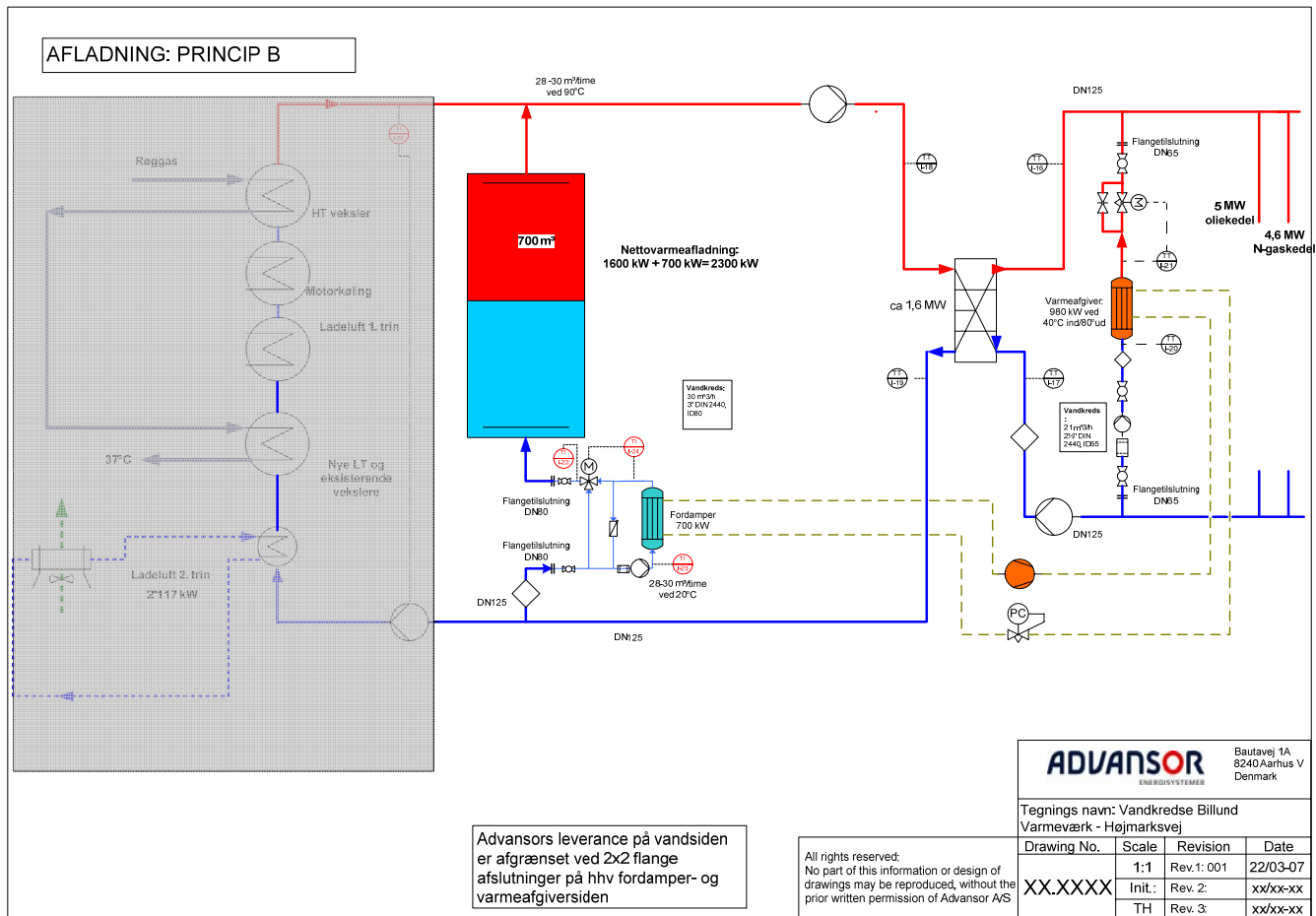
compHEAT 4-IKV, layout: 1.000 kW varmeproduktion



Varmepumpe med koldt lager – basis princip



Varmepumpe med koldt lager – variant B

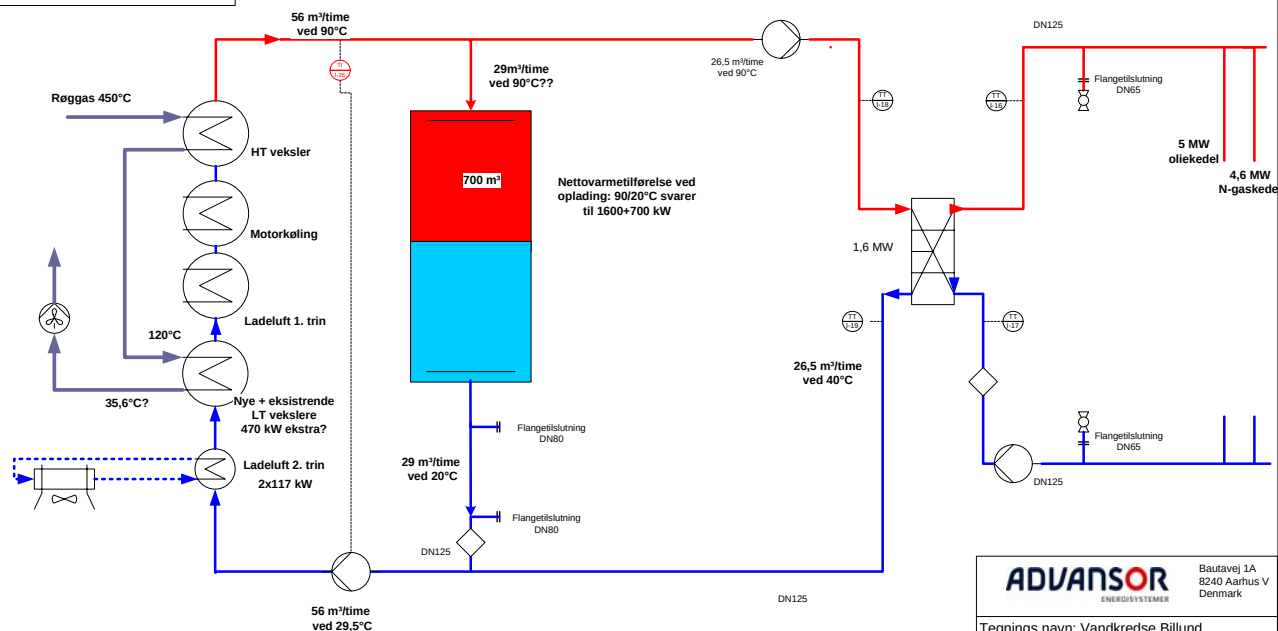


Varmepumpe med koldt lager – variant B

OPLADNING: PRINCIP B
Ny motorkreds med nye vekslere
yder ca. 3920 kW ved opladning:
 $56 \text{ m}^3/\text{time} * 4,2 * (90-30) / 3,6 = 3920 \text{ kW}$

Fordele:
Den eksisterende tank kan genanvendes
Flow balancerne er på plads

Ulemper:
Ny LT vekslere kræves



ADVANSOR
ENERGISYSTEMER

Bautavej 1A
8240 Aarhus V
Denmark

Tegnings navn: Vandkredse Billund
Varmeværk - Højmarksvej

Drawing No.	Scale	Revision	Date
XX.XXXX	1:1	Rev.1: 001	22/03-07
	Init.:	Rev. 2:	xx/xx-xx
	TH	Rev. 3:	xx/xx-xx

All rights reserved:
No part of this information or design of
drawings may be reproduced, without the
prior written permission of Advansor A/S

Varmepumper i kraftvarme

Den afgiftsbelagte gasmængde på gasmotoren skal beregnes ud fra e/v-formel

På den afgiftsbelagte gasmængde beregnes afgiften således:

- Rumopvarmning: Energiafgift + CO₂-afgift
- Let proces: CO₂-afgift
- Tung proces: 5/18 af CO₂-afgift

Afgifter på el

- Rumopvarmning: E-afgift (53.1) + CO₂-afgift (9) + PSO (0,6) + El-dist (4) = 66,7
- Industriel proces: ~~E-afgift (53.1) + CO₂-afgift (9) + PSO (0,6) + El-dist (4)~~

▪ Varmepumper til decentrale kraftvarmeværker (rumopvarmning)

- Eldrevet varmepumpe: 66,7 øre/ kWh
- Gasdrevet VP: Energi- og CO₂-afgifterne (204,2+19 øre/Nm³) ~ 20,3 øre/kWh
- 1 kWh gas giver 0,35 kWh el og 0,57 kWh varme (92%)
- Ligelig fordeling af afgift 22 øre/kWh mekanisk energi

Varmepriser med varmepumper i decentral kraftvarme

- Ved f.eks. el købt på 2008 termin DK : 340 kr/MWh
- **Mekanisk drevne**
 - $E\text{-omk} = E\text{-pris} + E\text{-afgift} = 34 \text{ øre/ kWh} + 22 \text{ øre/ kWh} = 56 \text{ øre/ kWh}$
 - $\text{Varmepri s} = 560 / 3,7 = 151 \text{ kr./ MWh}$
- **Elektrisk drevne**
 - $E\text{-omk} = E\text{-pris} + E\text{-afgift} = 34 \text{ øre/ kWh} + 67 \text{ øre/ kWh} = 101 \text{ øre/ kWh}$
 - $\text{Varmepri s} = 1010 / 3,7 = 273 \text{ kr./ MWh}$
- **Varmeafgift ved udmøntning af L81: 18 (16,2+1,8) øre/kWh varme**
 - $E\text{-omk} = E\text{-pris} + \cancel{E\text{-afgift}} = 34 \text{ øre/ kWh} = 34 \text{ øre/ kWh}$
 - $\text{Varmepri s} = 340 / 3,7 + 180 = 272 \text{ kr./ MWh}$
- **Varmeafgift ved udmøntning af L81: 18 (16,2+1,8) øre/kWh varme**
 - $E\text{-omk} = E\text{-pris} + \cancel{E\text{-afgift}} = 34 \text{ øre/ kWh} = 34 \text{ øre/ kWh}$
 - $\text{Varmepri s} = 340 / 3,7 + 180 / 3,7 = 140 \text{ kr./ MWh}$

Varmepumpen er ens – men værkerne funktion og vilkår er forskellige

Funktion	Industriel kraftvarme: Tung proces eller let proces - ingen energifgift på gas - reduceret CO2 afgift på gas - mange driftstimer - proces tilpassede	Decentral kraftvarme - varmegrundlag - typisk 40°C / 80°C stor spredning på anlægsdata	
Anlægskapacitet	Elproduktion <5 MW	5 MW > Elproduktion	Totalinstalleret effekt >20 MW
Regler	Frivillig 3 leds tarif eller markedsvilkår	Tvunget markedsvilkår	CO2 kvote omfattet virksomhed
Virkemidler	Spids- og højlast prioritet	Regulerkraftfunktioner mulig Spotafhængig driftsplanlægning	

Mange værker har flere produktionsalternativer, fx. gas-, olie, kulkedler eller biomasse.

Praktiske forhold på værket

- **Røggaskondensering:**
 - LT veksler: Ny/eksisterende?
 - Skorstenskernelen og røggaskanaler i rustfri
 - Spildevandsafledning til rensningsanlæg
 - Olieskimmer, oxidering og neutralisering
 - Særlige forhold?
 - Pladsforhold!
- **Mekanisk kobling til motor:**
 - Hydraulikpumpe, hydraulikmotor og gear
 - Kraftudtag på motoren
- **Akkumuleringstank**
 - Kapacitet
- **Kølemiddeludslip**
 - Emmission til motor
 - Emmission til boligområder
- **Indpasning ift de øvrige produktionsalternativer**

Parametre med indflydelse på økonomi i varmepumper

Teknik: **Stabile forudsætninger**

- Driftstimeprofil
- Elvirkningsgrad
- Varmevirkningsgrad
- Indfyret effekt
- Returvandets temperatur
- Temperatur efter LT veksler

- Geografi

Marked: **Dynamiske forudsætninger**

- Elsalg på markedsvilkår
- Elspotprisudvikling
- CO2 kvoteprisudvikling
- Gaspris
- Afgiftsregler

Udgangspunkt: Hvad koster varmen?

■ Gasmotor, -turbine, -kedel:

- Omkostninger
 - Gaspris inkl transmission
 - Vedligehold
 - Energiafgift
 - CO2 afgift
 - CO2 kvoter
- Indtægter
 - Elsalg
 - 3led/Marked
 - Reservekraft

■ Varmepumpe:

- Elpris
 - Terminsaftale
 - Spot-el
- Afgift
 - Rumopvarmningsafgift
 - Varmeafgift efter L81
 - Varmegenvindingsafgift

$$\text{Varmepri}s = \frac{\text{Elpris} + \text{Afgift}}{\text{Effektfaktor}}$$

$$\text{Effektfaktor} = \frac{\text{Varmeproduktion}}{\text{Effektoptag}}$$

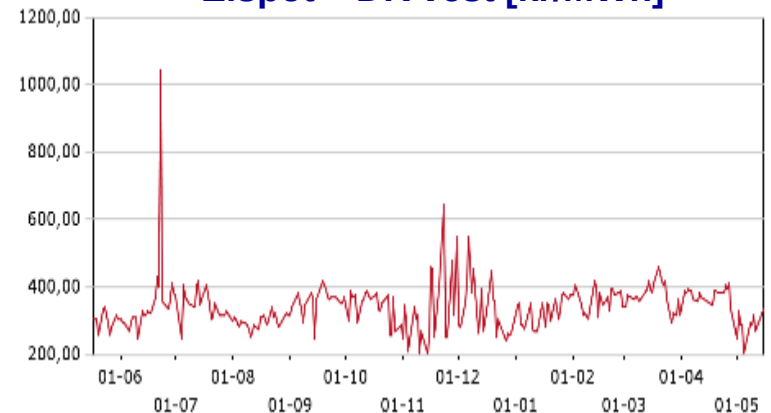
Dynamiske forudsætninger

- Det er svært at spå
 - især om fremtiden.....

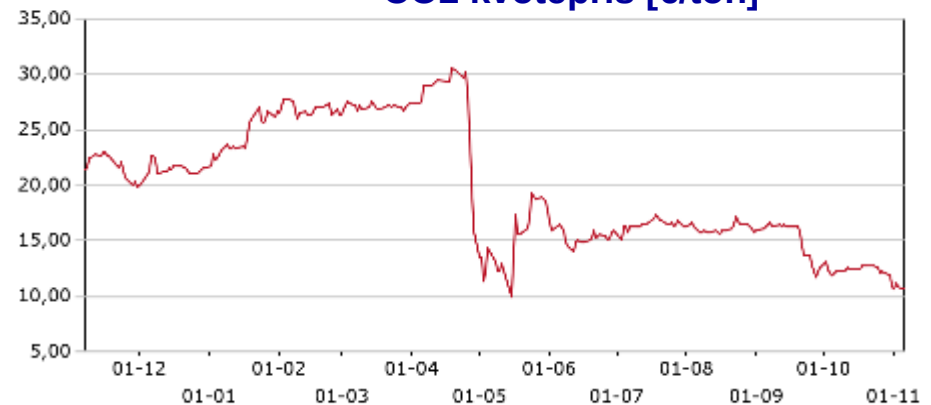
Gaspris [øre/Nm³]



Elspot – DK vest [kr/MWh]



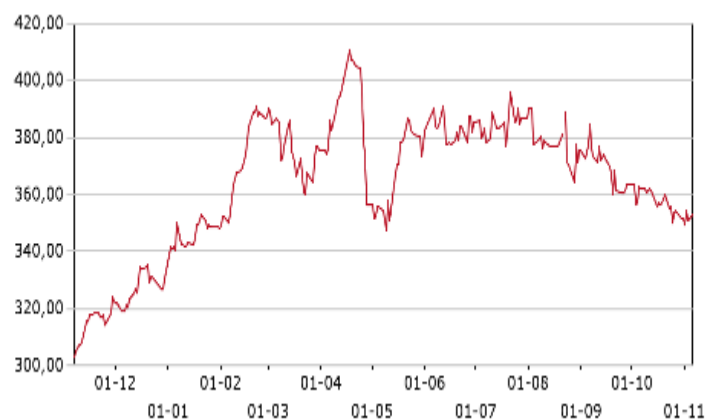
CO2 kvotepris [€/ton]



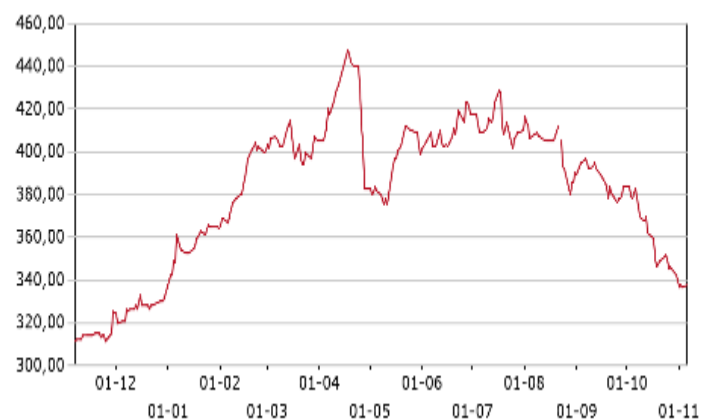
Terminspriser 2008

DK øst, DK vest

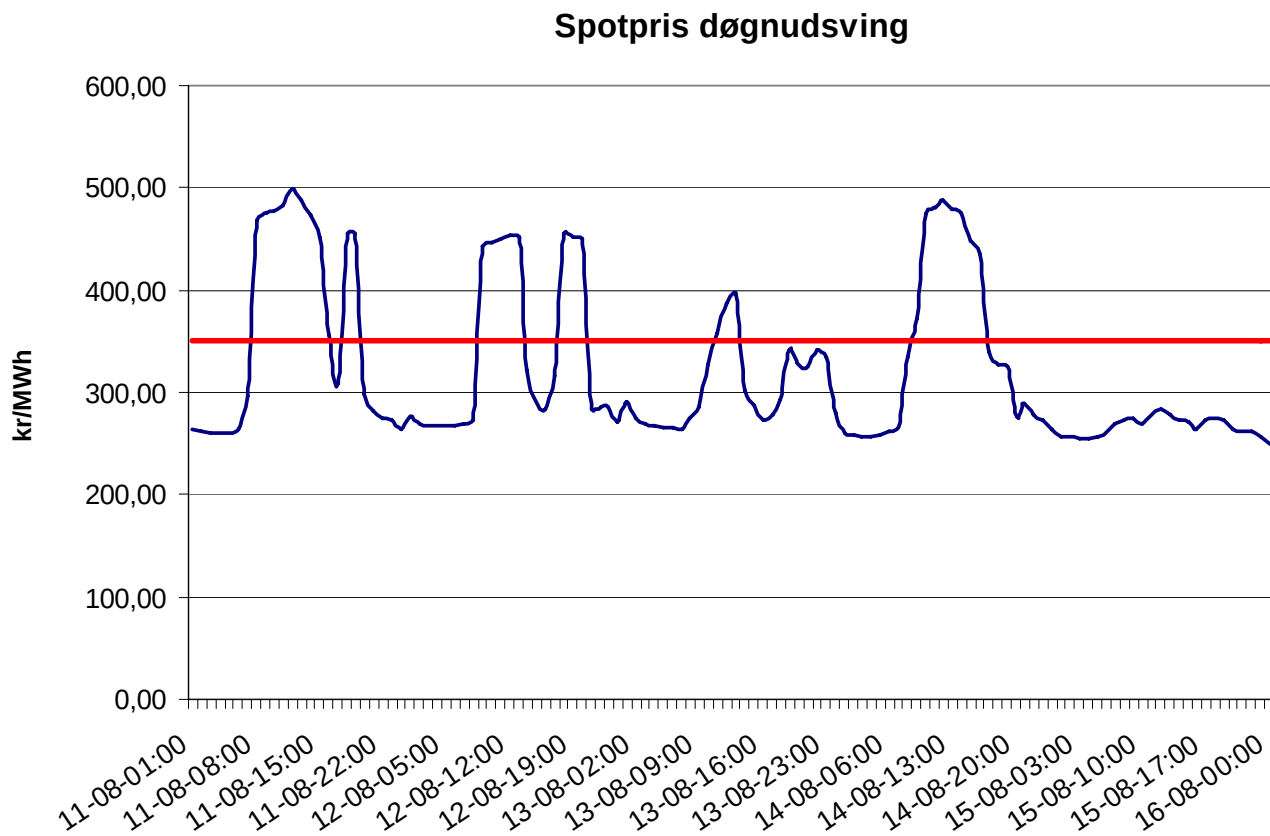
DK øst 2008



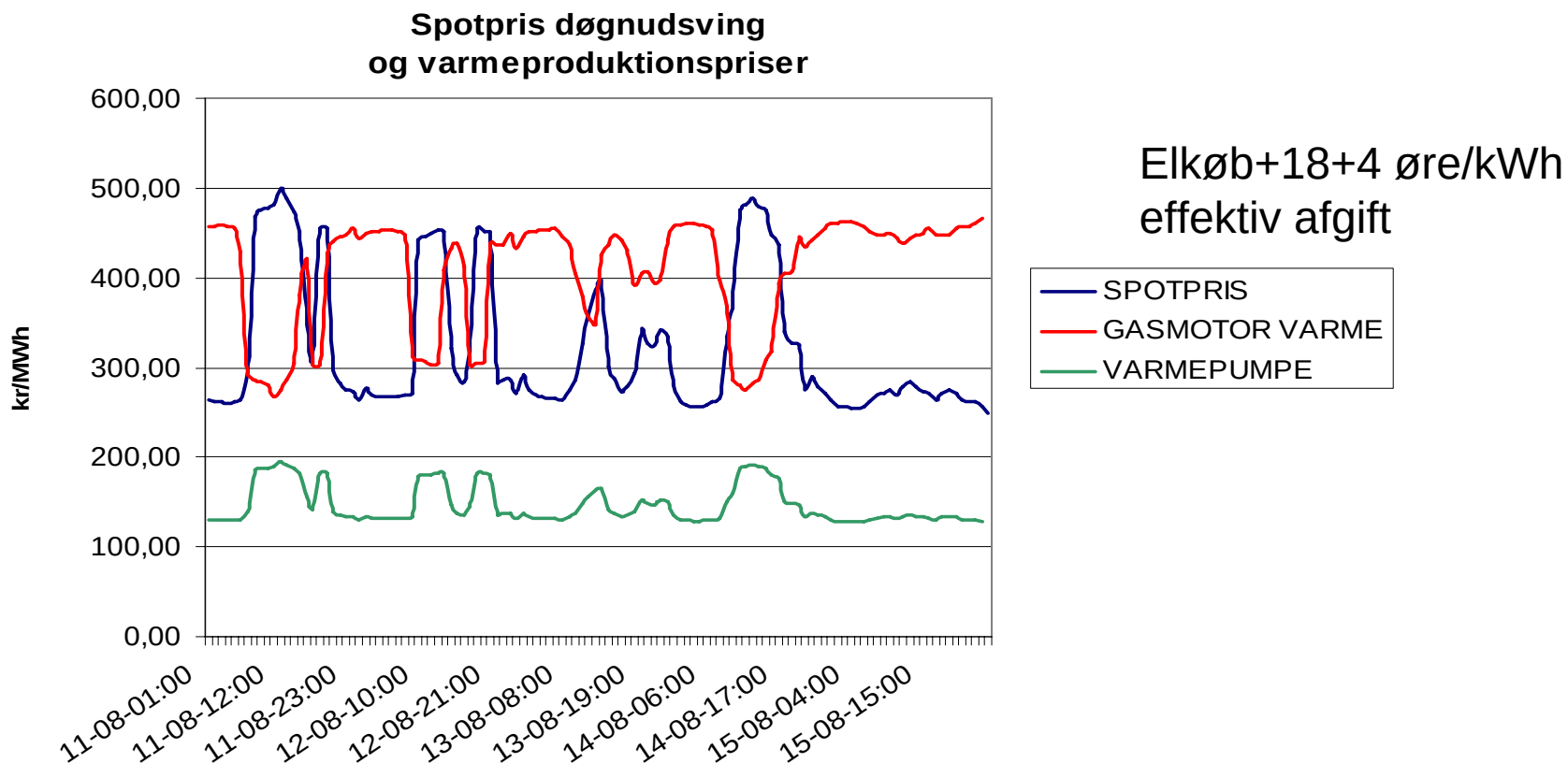
DK vest 2008



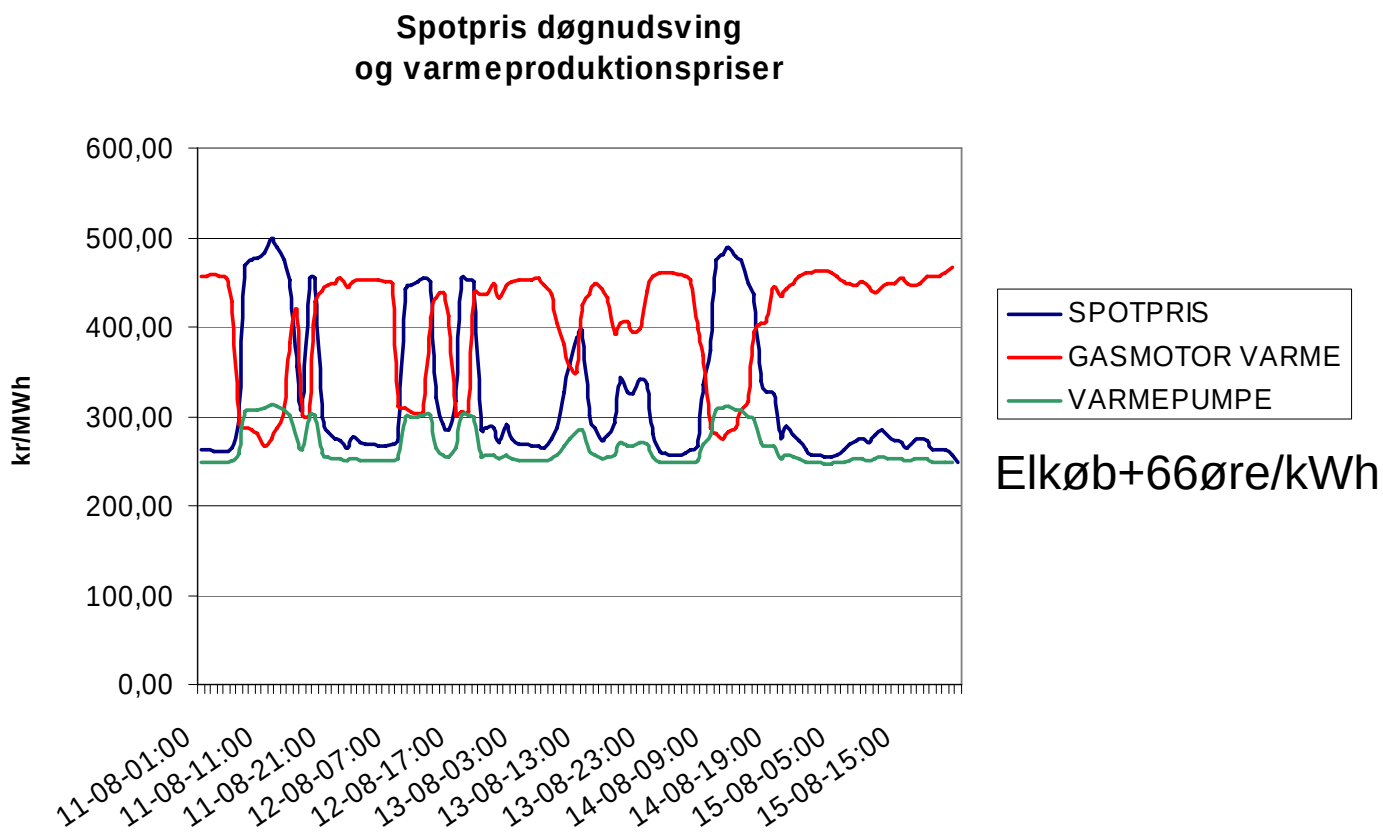
Spotprisudsving henover flere døgn



Varmeproduktionspriser for varmepumpe og gasmotor



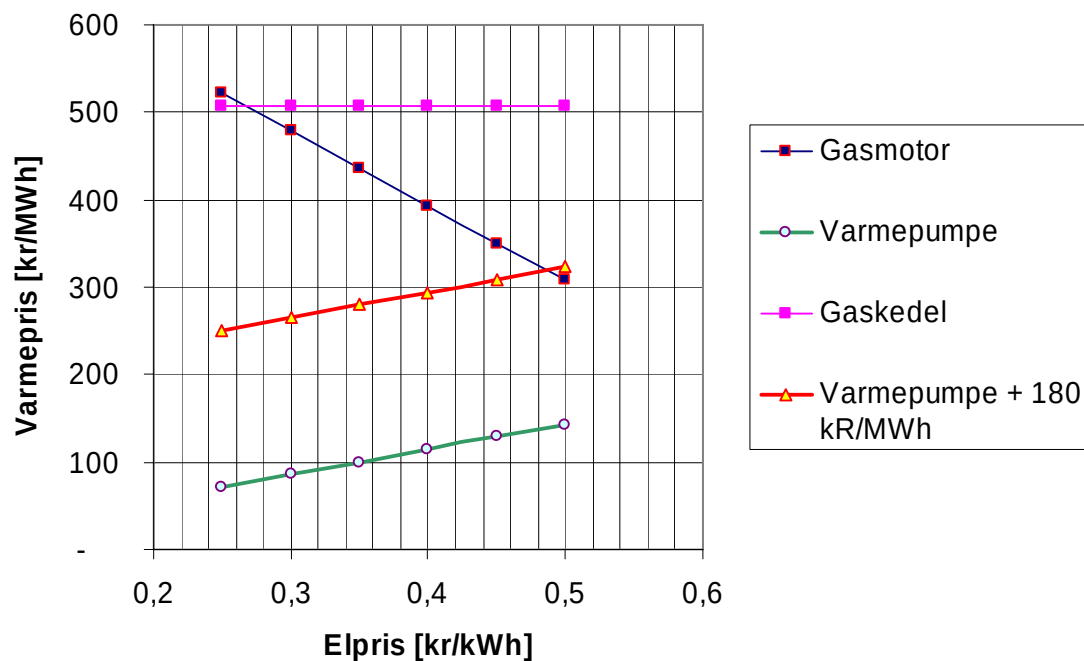
Varmeproduktionspriser for varmepumpe og gasmotor



Varmeprissammenligninger

Decentralt kraftvarmeværk med gasmotor

Dragsholm Fjernvarme



Elvirkningsgrad
Varmevirkningsgrad
Total virkningsgrad

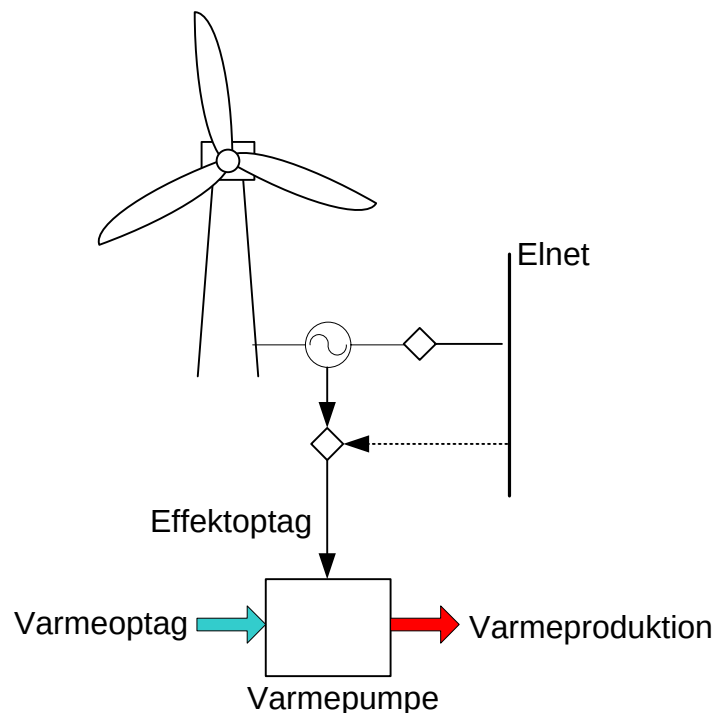
0,500
0,880

Vindmøller og varmepumpe ejet af varmeværk

- **Varmeoptag: 700 kW**
 - Røggas eller andet
- **Effektoptag: 330 kW a 42 øre/kWh**
- **Varmeproduktion: 1030 kW**
fortrænger varme til 360 kr/MWh
- **Driftstid 8000 timer/år (VP som grundlast)**

Besparelsesværdi for værket

$$(8000 \times 1,030) \text{ MWh/år} \times (360 - 420/3) = 1.812.000 \text{ kr/år}$$



Vindmøller og varmepumpe ejet af vindmølleproducent

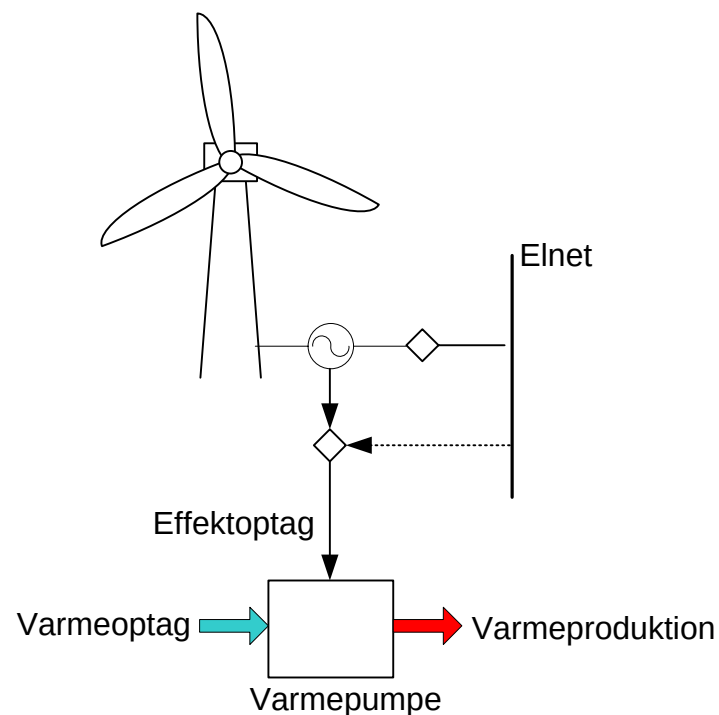
- **Varmeoptag: 700 kW**
 - Jord, vand, som eller spildvarme
- **Effektoptag: 330 kW a 35 øre/kWh (markedspris)**
- **Varmeproduktion: 1030 kW**
 - Salgspris 200 kr/MWh
 - Ækvivalent elpris = $200/3 = 67$ øre/kWh
- **Driftstid 8000 timer/år (VP som grundlast)**

Værdi for vindmøllejer = Varmesalg – Tabt elsalg
 $(8000 \times 1,030) \text{ MWh/år} \times 200 - (330 \times 8000 \times 0,35) =$
 $1.648.000 - 924.000 = 724.000 \text{ kr/år}$

Følsomhed:

Varmesalg $\pm 50 \text{ kr/MWh} = \pm 412.000$

Elpris: $\pm 0,05 \text{ kr/kWh} = \pm 132.000$



Jordslangeoplægning PEL rør

Effekt 25 W/m
Optag 700.000 W
Længde 28.000 m
Varmeydelse i varmepumpe

1000 kW

Eksempel

Grundens længde

150 m

125 m/m

Nødvendige bredde

224 m

Nødvendigt jordareal

33.600 m²

Effektoptag

20,83333 W/m²

Andre data på optager

Tør sandet jord

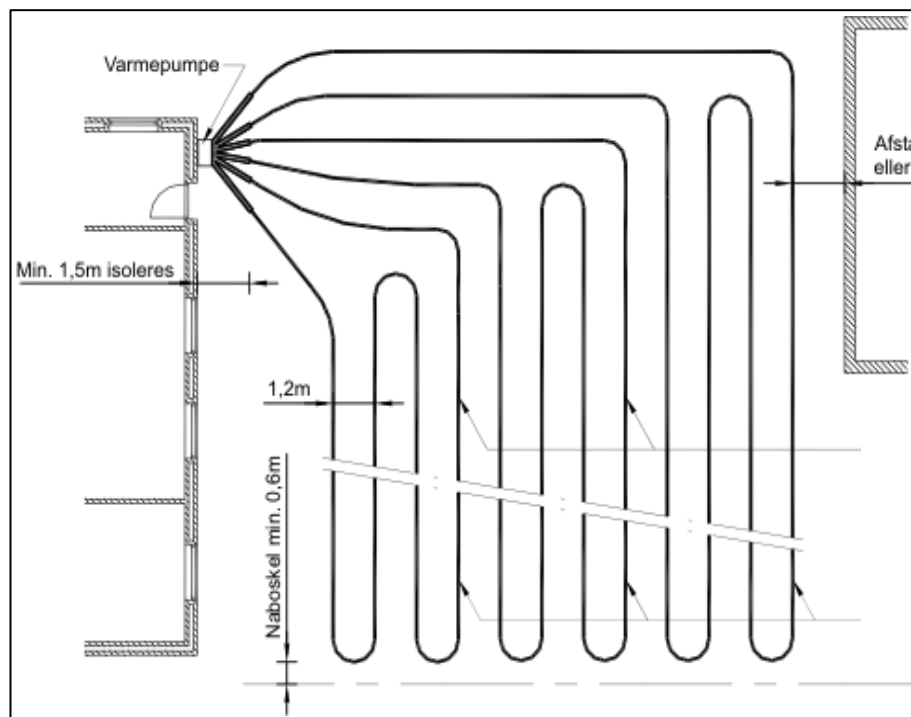
10 W/m²

Fugtig lerjord

30 W/m²

Vandførende lag

40 W/m²



Varmekilder for varmepumper

- **COP værdier for compHEAT varmepumper:**

- $T_0/T_{vi}/T_{vu}$
- Ved 20/40/80: COP= 3,70
- Ved 10/40/80: COP=2,95
- Ved 10/35/80: COP=3,30
- Ved 0/40/80: COP = 2,50
- Ved 0/35/80: COP = 2,75

Hyppige varmekilder	
Kilde	Temperaturområde (°C)
Omgivende luft	-10 - 15
Ventilationsafkast	15 - 25
Grundvand	4 - 10
Søvand	0 - 10
Flodvand	0 - 10
Havvand	3 - 8
Granitlager	0 - 5
Jordvarme	0 – 10
Spildevand	>10
Industriel spildvarme	20-60

Barrierer for varmegenvinding

- Besparelser er interessante – men daglig drift er essentiel
- Varmepumpen isoleret set er økonomisk – men den samlede installation ved eksisterende anlæg kan flytte billedet væsentlig
- Nye installationer med varmegenvinding er og vil i stigende omfang blive relevante
- Begrænset viden hos slutbruger – er det muligt??
- Indgroet misforståelse: "Varmegenvinding kan ikke betale sig..."
- Stadig reminiscenser af politisk modvilje (arven fra 80'erne)
- Afgiftsreglerne kunne godt blive mere favorable?!?

Konklusion og perspektiver

- CO2 varmepumper kan producere 80-90°C vand direkte til fjernvarmenettet
- Der kan isoleret set spares op til 25% gas og dermed reduceres emissioner (CO, CO₂, NO_x, CH₄, aldehyd og andet) fra den danske kraftvarmeproduktion ved anvendelse af varmepumper
- Reduktion af nettab kan i visse tilfælde øge besparelsen
- Besparelserne kan typisk tilbagebetale den totale anlægsinvestering indenfor 3-6 år
 - Besparelsen værksspecifik
 - Markedsmekanismerne er dynamiske og skal evalueres i sammenhæng med værkets drift
- Varmepumper kan yderligere indgå i visser værkers regulér-strategi
- Inddragelse af værkets tekniske installationer, driftsforhold og øvrige produktionsalternativer er mindst ligeså betydningsfuldt som varmepumpen
- Gældende afgiftsregler er vigtige for den rette varmepumpe implementering.
- AUC estimerer at store varmepumper kan udbygge vindkraftens andel i den danske elforsyning op til 40% uden at der skal eksporteres stadig mere "overskudsstrøm"
- varmepumper skaber øget reguleringsfleksibilitet i det samlede el-system
- Varmepumper kan indgå som virkemidler til opfyldelse af "Bekendtgørelse om energispareydelser i net- og distributionsvirksomheder "