

Energisystemer til Kraftvarmeanlæg

Århus

26. september 2007

Torben M. Hansen og Kim G. Christensen

ADVANSOR
ENERGISYSTEMER

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
 - Fødevarerfremstilling
- **Vi samarbejder med brancheorganisatøner, GTS'er, universiteter, Miljøstyrelsen og industrien for at fremme bæredygtige energibesparelser**

ADVANSORS produkter



compHEAT: Kraftvarmeproduktion

Produkter skræddersyede til kraftvarmeanlæg.
Direkte tilkobling til gasmotoren uden forstyrrende indgreb på vandsiden. Varmen leveres direkte til fjernvarmenettet mellem 80-90°C.

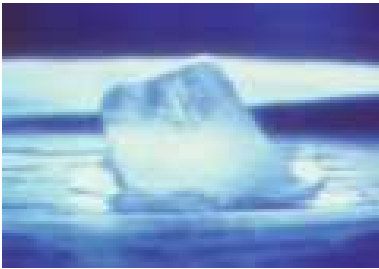
Reducerer gasforbruget og emissioner med op til 25%.



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



compFORT: Kuldeproduktion

Koldtandsanlæg til luftkonditionering eller proceskøling

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

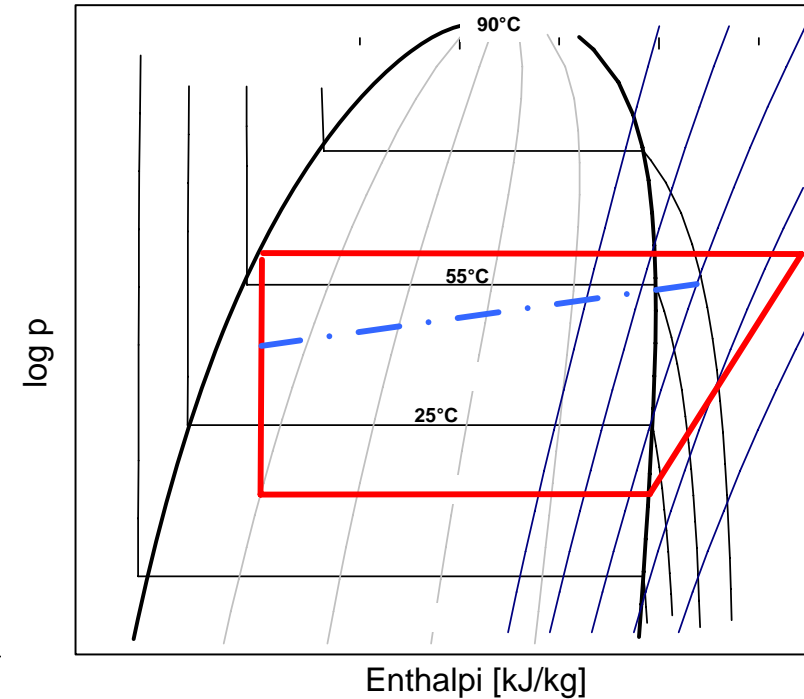
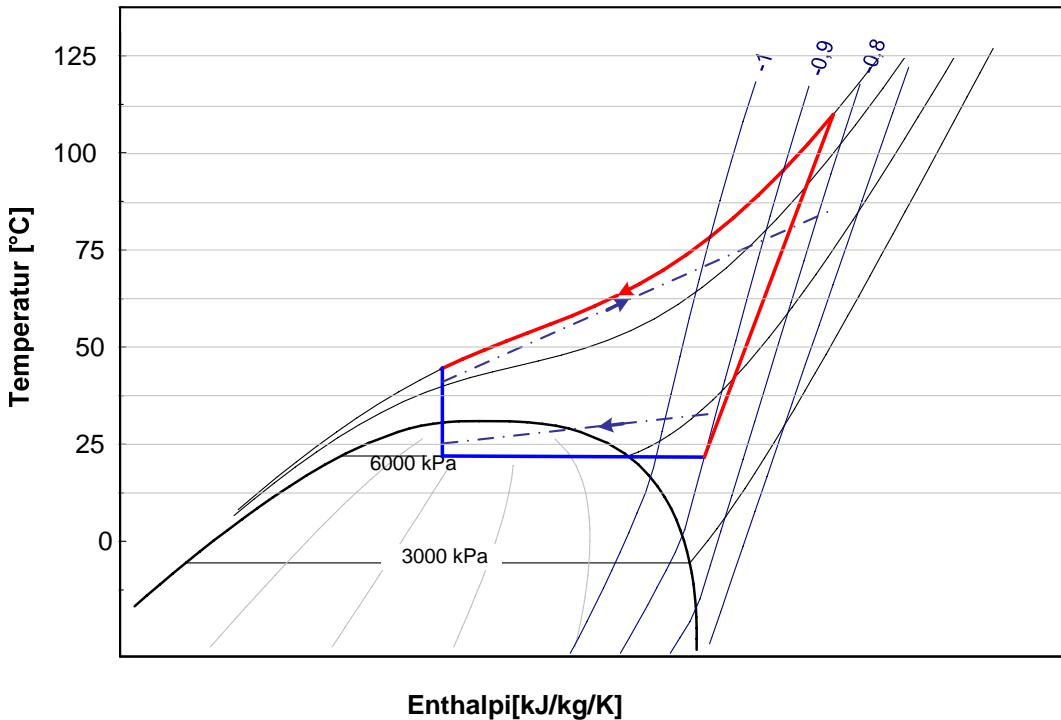
Baggrund for udviklingen:

- 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
- 2007: Demonstration af teknologien på kraftvarmeanlæg

Juni 2006: Prototypen til test ved Teknologisk Institut

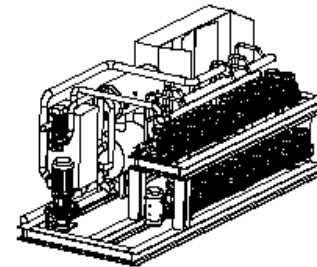
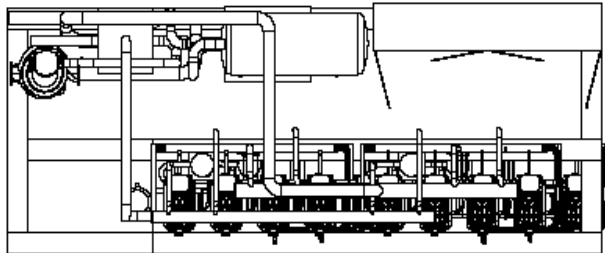
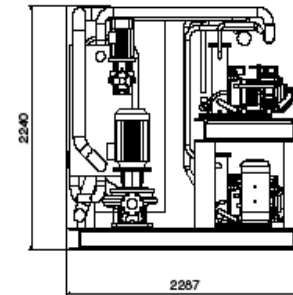
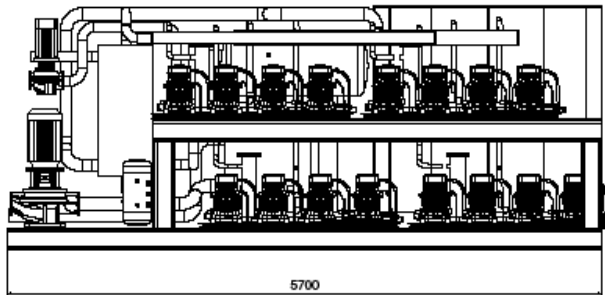


Kort om teknikken: Transkrittisk varmepumpe vrs kondenserende



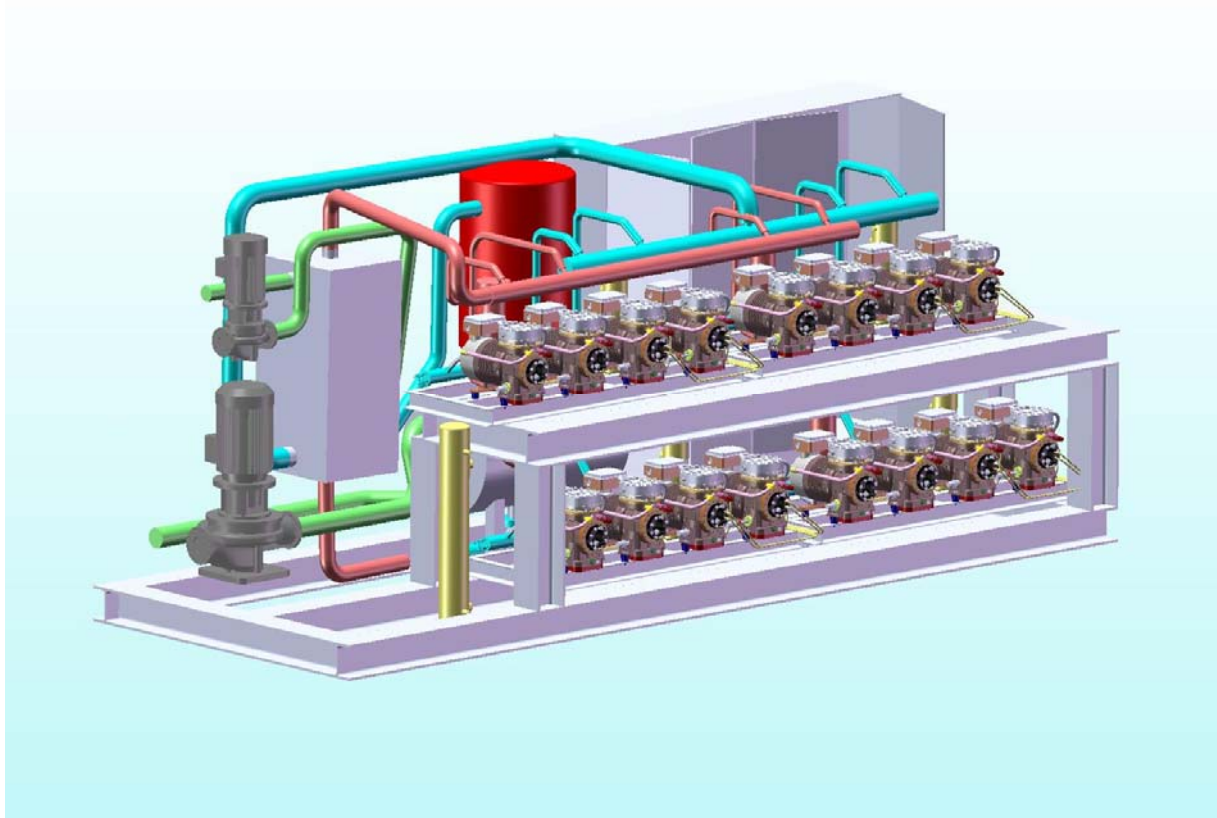
Jo lavere returvandstemperatur, jo bedre COP

compHEAT 4-IKV, layout: 1.000 kW varmeproduktion



Advansor AS	100001-4
compHEAT 4	100001-4

compHEAT 4-IKV, layout: 1.000 kW varmeproduktion

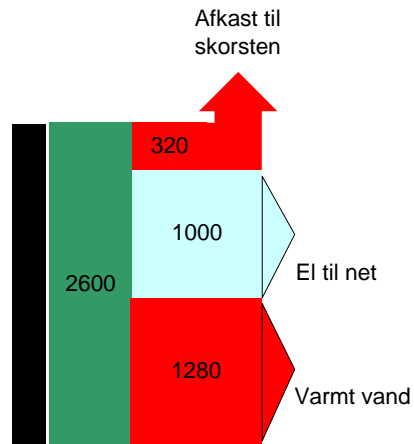


Implementeringsmuligheder for varmepumper i fjernvarmen

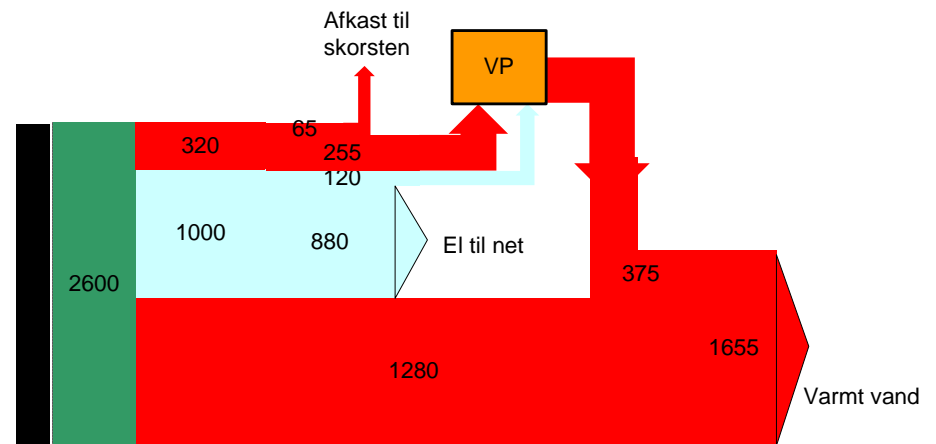
- **Røggaskondensering på motor og kedler**
 - Afgiftsforhold og marginal elproduktionspris
- **Varmeproduktion uden fossile brændsler**
 - Større krav til infrastruktur, men fleksibel løsning
 - Almindelig eldrevet varmepumpe: Høj varmepris pga afgift
 - Varmepumper drevet med "grøn" strøm, f.eks vindmøllestrøm
- **Kombination af begge dele**

Øget totalvirkningsgrad på kraftvarmeanlæg

Hvordan opstår besparelsen ved røggaskondensering?

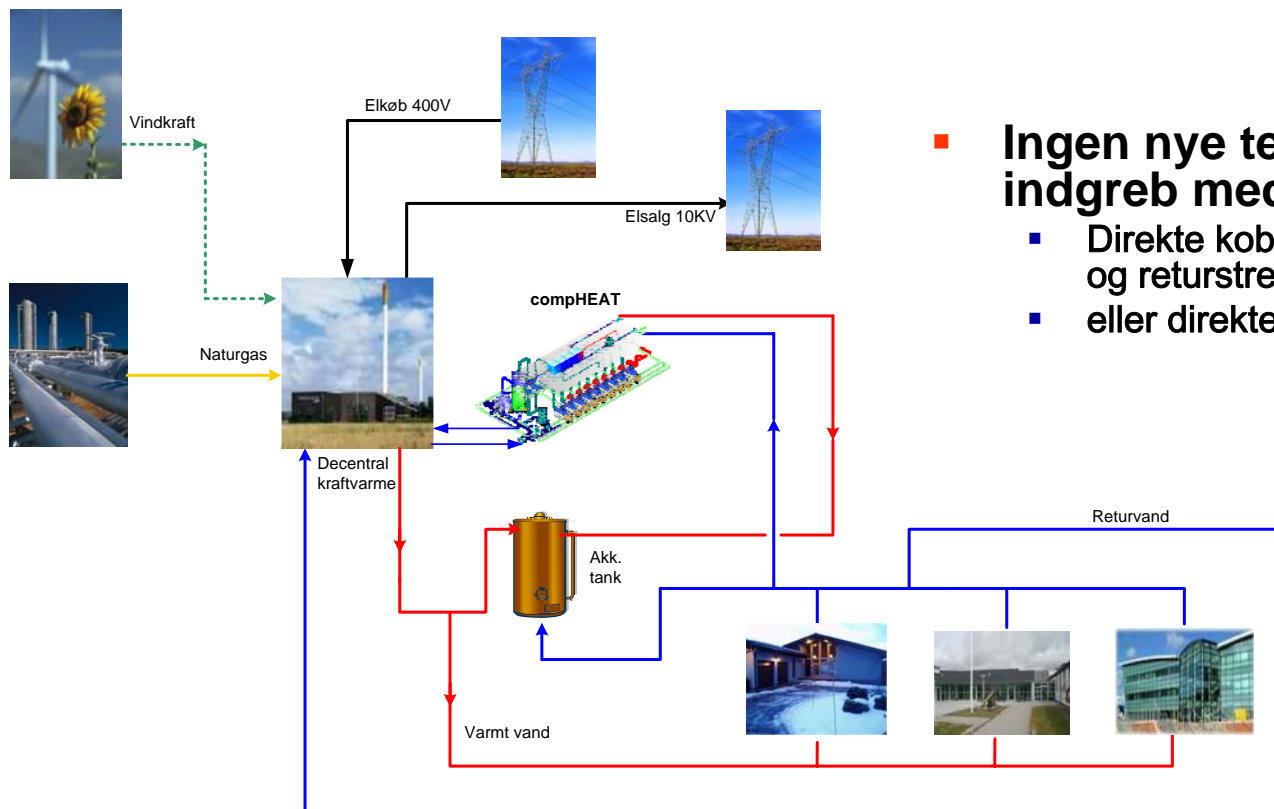


Uden varmepumpe, totalvirkningsgrad 88%



Med varmepumpe, totalvirkningsgrad 97,5%

”Plug and play” – installation til røggaskondensering



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

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-omk = E-pris + E-afgift = 34 øre/ kWh + 22 øre/ kWh = 56 øre/ kWh
 - Varmepris = 560/ 3,7 = 151 kr./ MWh
- **Elektrisk drevne**
 - E-omk = E-pris + E-afgift = 34 øre/ kWh + 67 øre/ kWh = 101 øre/ kWh
 - Varmepris = 1010/ 3,7 = 273 kr./ MWh
- **Varmeafgift ved udmøntning af L81: 18 (16,2+1,8) øre/kWh varme**
 - E-omk = E-pris + ~~E-afgift~~ = 34 øre/ kWh = 34 øre/ kWh
 - Varmepris = 340/ 3,7 + ~~180/3,7~~ = 140 kr./ MWh

Praktiske forhold på værket

- **Røggaskondensering:**
 - LT veksler: Ny/eksisterende?
 - Skorstenskernen 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
- Returnvandets 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
 - Energifgift
 - CO2 afgift
 - CO2 kvoter

■ Indtægter

- Elsalg
 - 3led/Marked
 - Reservekraft

■ Varmepumpe:

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

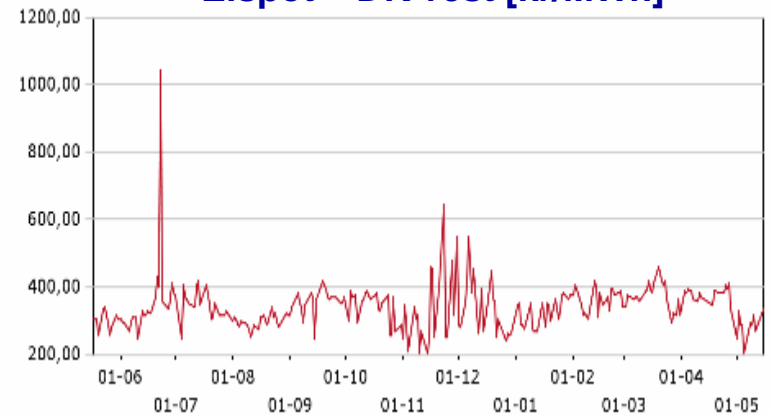
$$\text{Varmepri}s = \frac{\text{Elpris} + \text{Afgift}}{\text{Effektfaktor}}$$

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

Dynamiske forudsætninger

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

Elspot – DK vest [kr/MWh]



Gaspris [øre/Nm³]



CO2 kvotepris [€/ton]



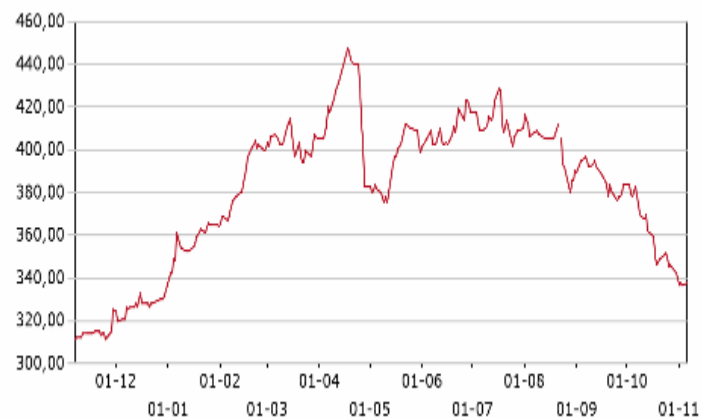
Terminspriser 2008

DK øst, DK vest

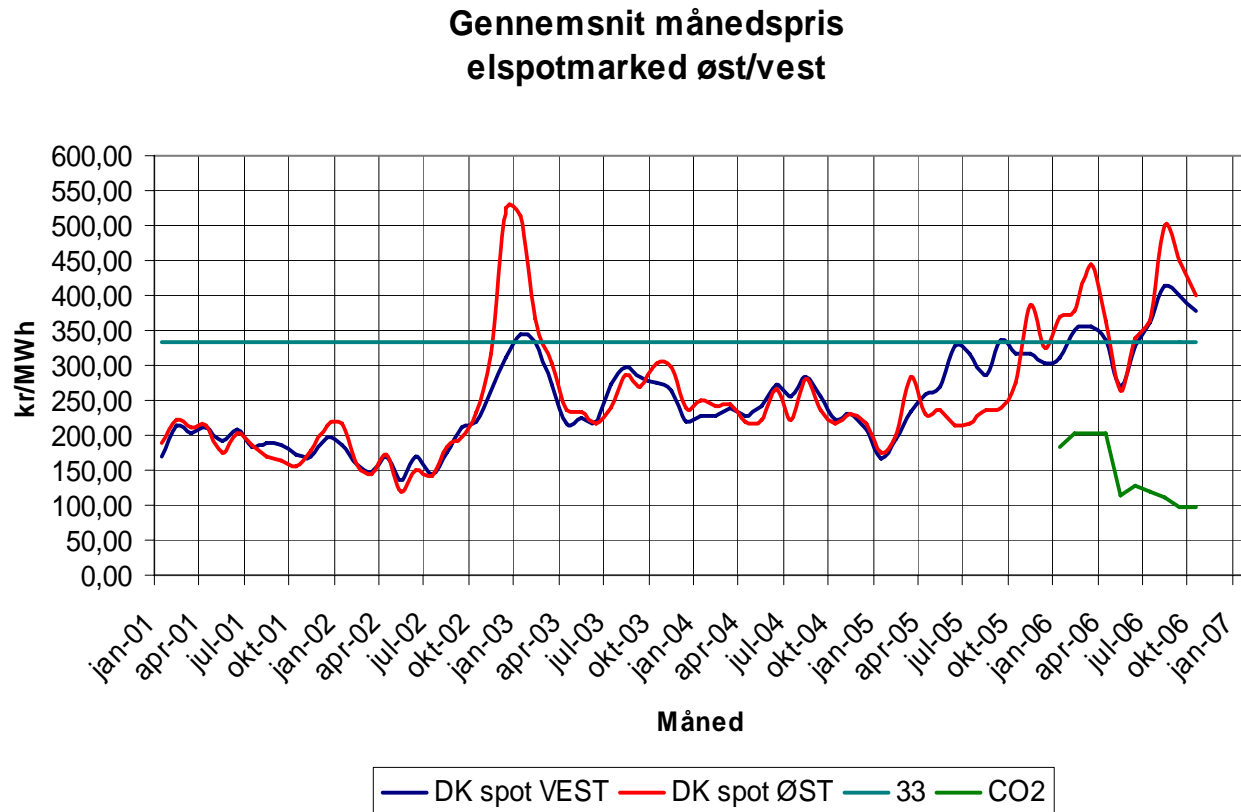
DK øst 2008



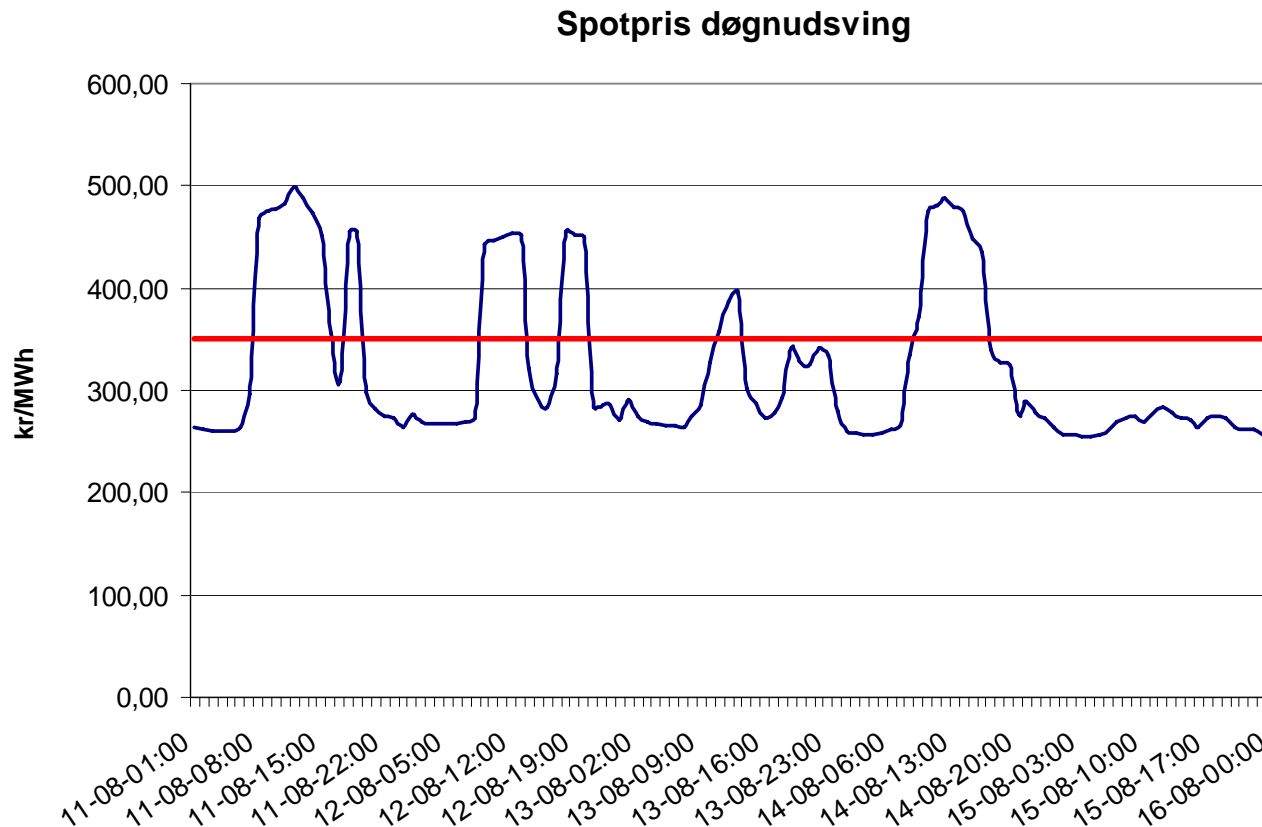
DK vest 2008



Historiske el og CO₂ -kvotepriser

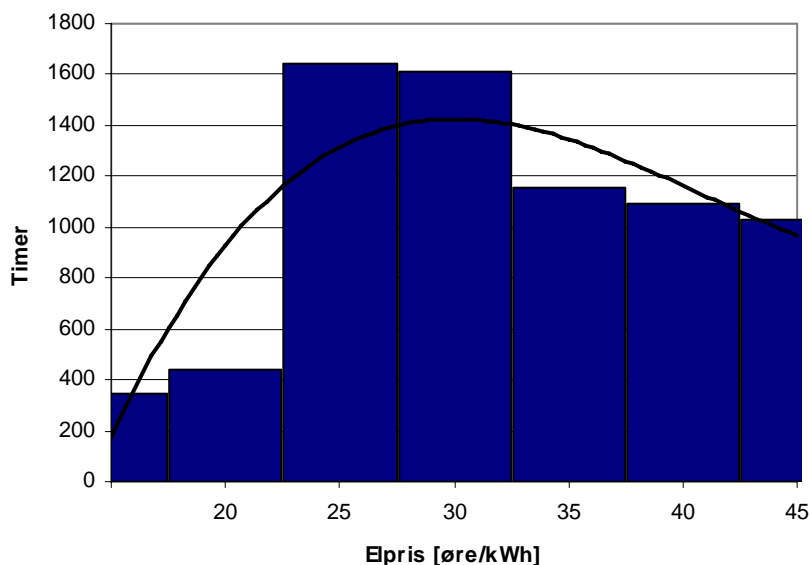


Spotprisudsving henover flere døgn



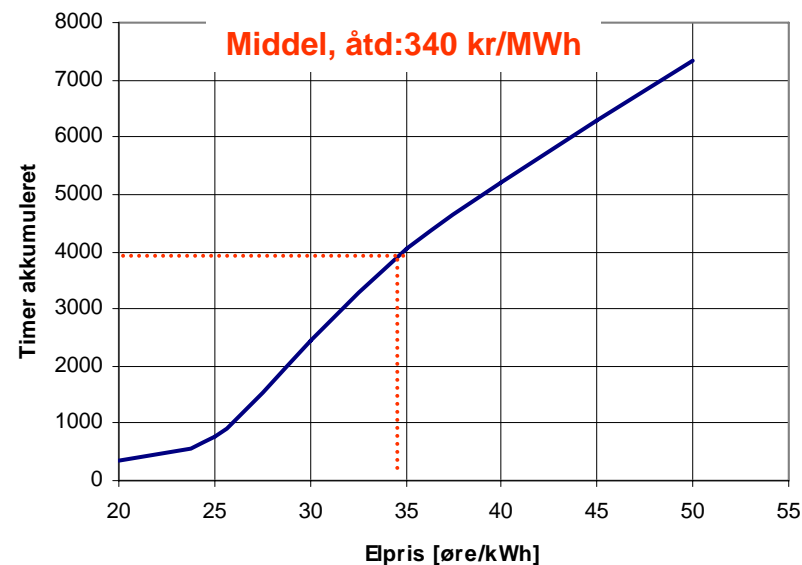
Lidt statistisk på årets elspotpriser 2006, Vestdanmark

SPOTVEST
Jan-Nov 2006



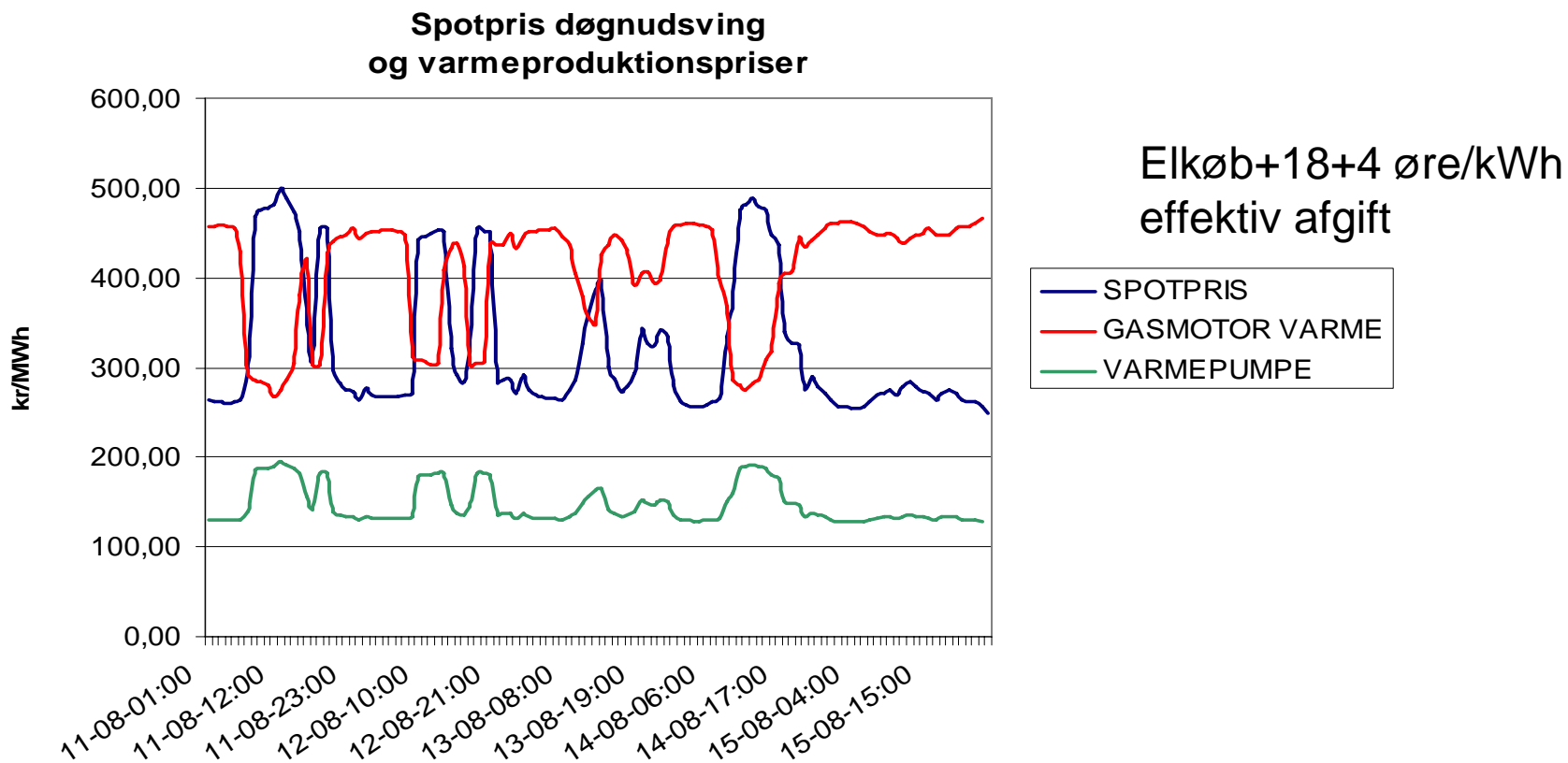
SPOTVEST
Jan-Nov 2006

ADVANSOR
ENERGISYSTEMER



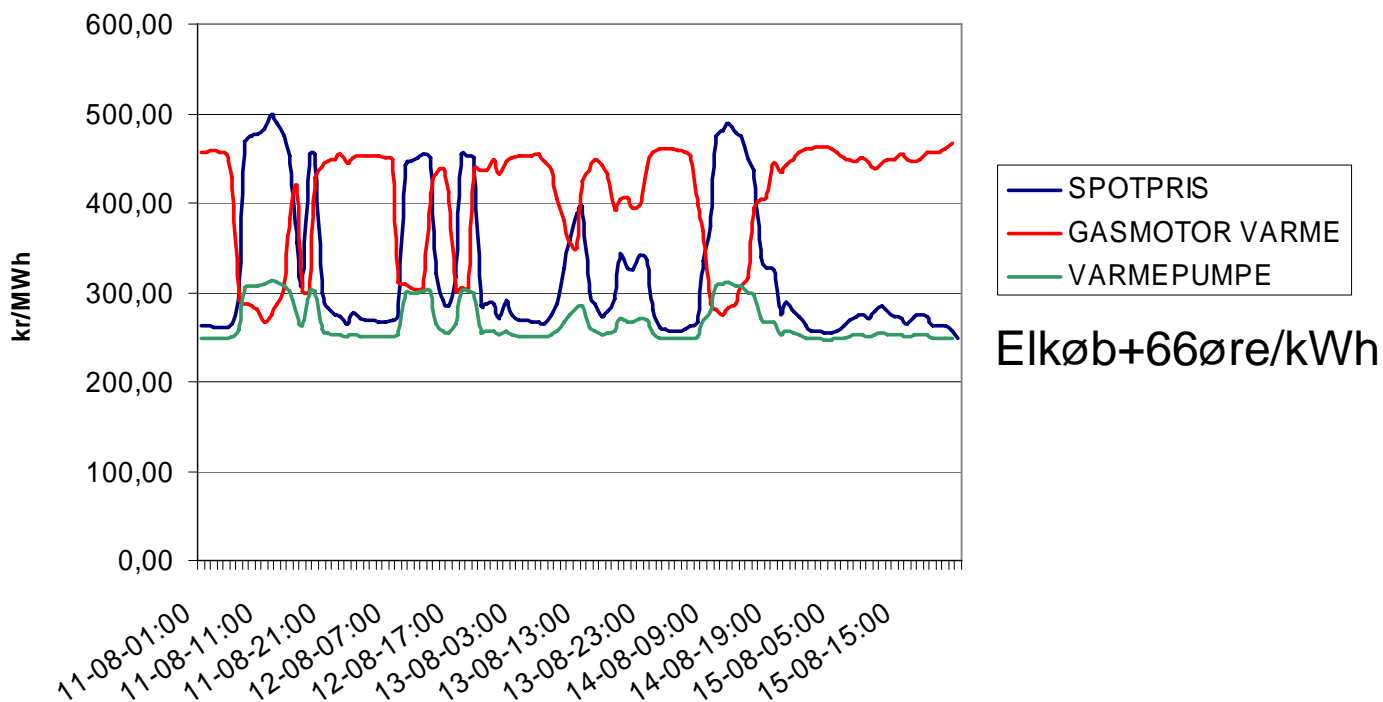
ADVANSOR
ENERGISYSTEMER

Varmeproduktionspriser for varmepumpe og gasmotor



Varmeproduktionspriser for varmepumpe og gasmotor

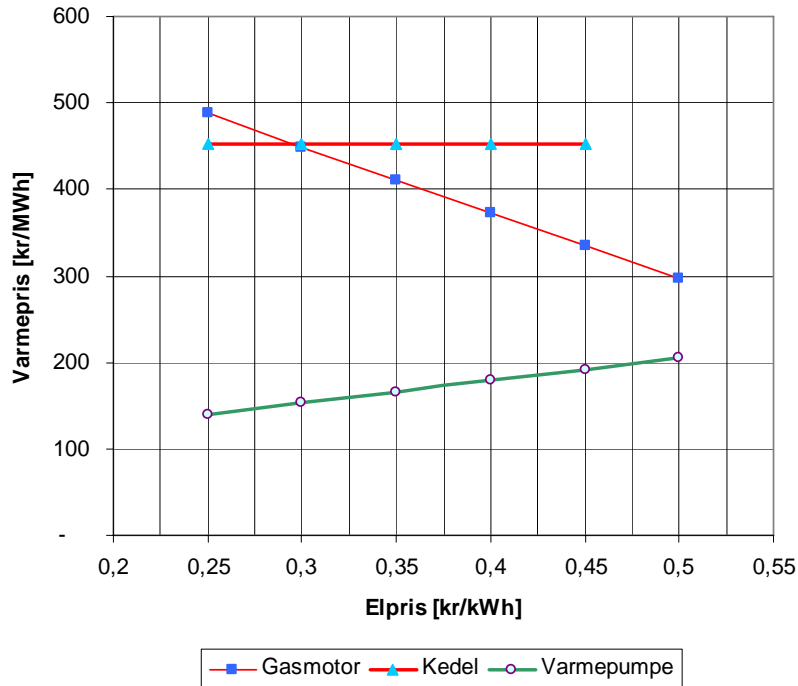
Spotpris døgnudsving
og varmeproduktionspriser



Elkøb+66øre/kWh

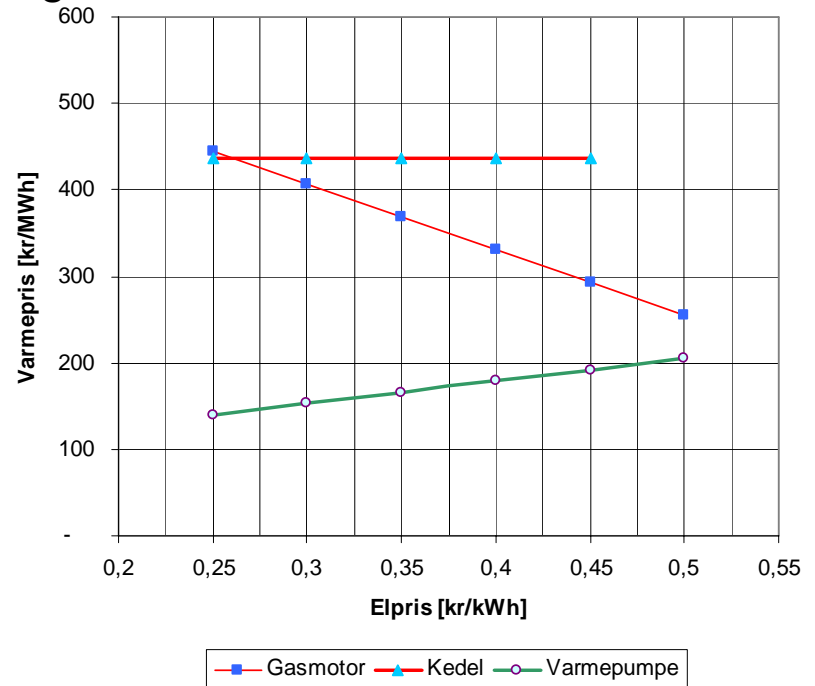
Varmepriksammenligninger

Decentralt kraftvarmeverk med gasmotor
 Total indfyret effekt > 20MW
 Elgeneratoreffekt > 10 MW

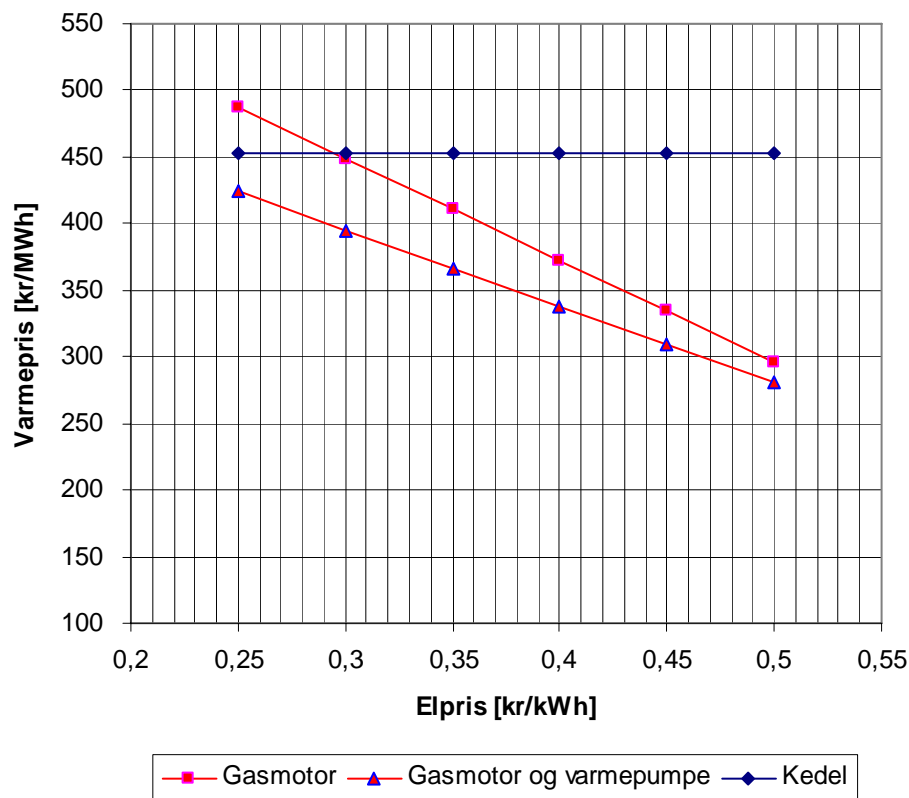


Elvirkningsgrad 0,38
 Varmevirkningsgrad 0,500
 Total virkningsgrad 0,880

Decentralt kraftvarmeverk med gasmotor
 Total indfyret effekt < 20MW
 Elgeneratoreffekt > 10 MW

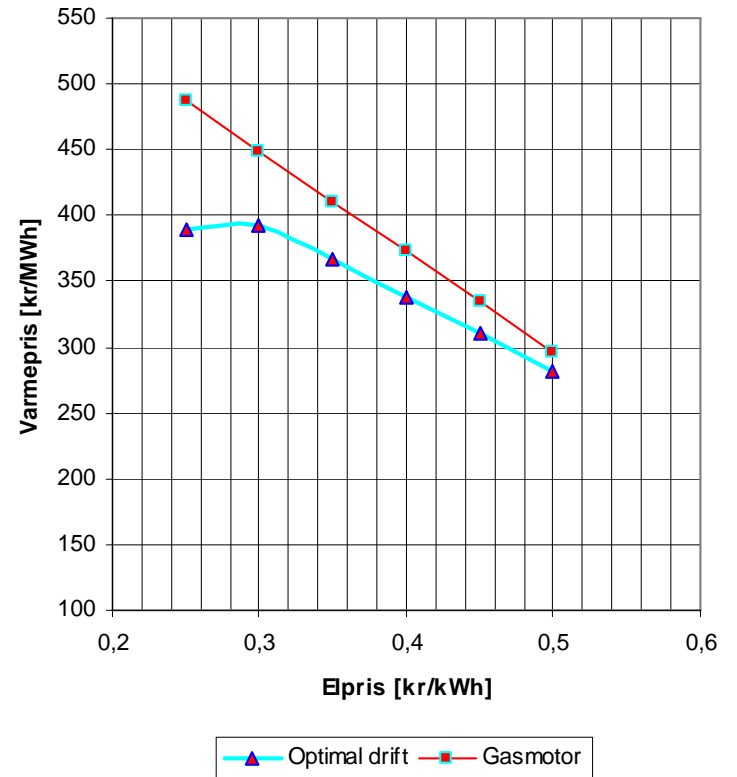
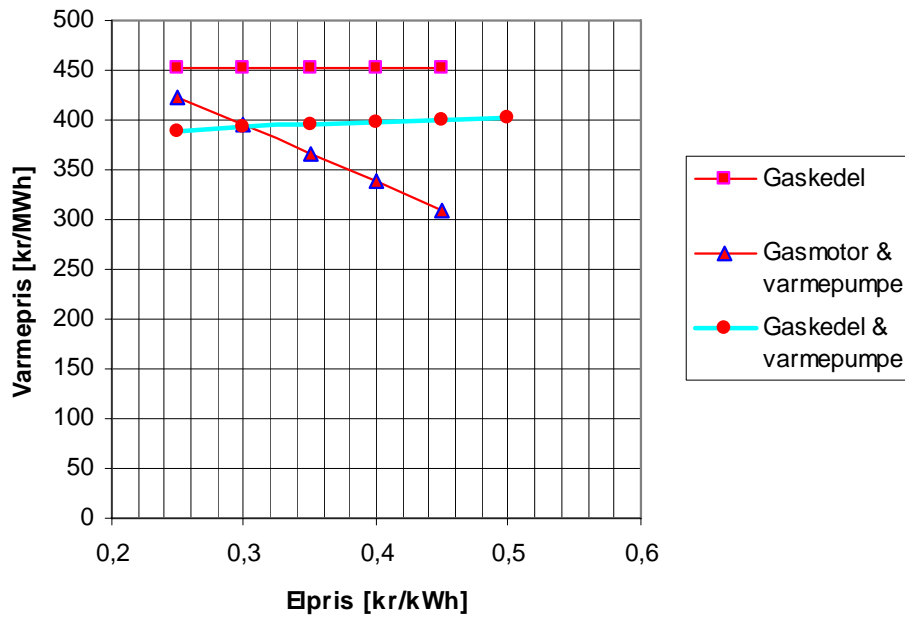


Gasmotor i samdrift med varmepumpe



- Varmepumpen udnytter spildvarmen i motorens røggas (20% af varmeproduktionen)
- Gasmotorens driftsvindue øges ved at kipprisen sænkes
 - Flere motortimer
 - Fald i kip fra 30 til 25 åbner et motordriftsvindue på ekstra 1500 timer
 - Større kraftvarmeproduktion pr. Nm³ gas
 - Varmepumpen fortrænger gaskedeldrift

Samdrift med gaskedel



Eksempel på drift på værk 3 ledstarif

Almindelig drift uden varmepumpe

Elproduktion 3480 kW
 Varmeproduktion 5772 kW

Varmebehov 17.812.234 kWh

Driftstimer 3086 timer/år

Driftstime profil	TIMEPROFIL	Spids			Høj			Lav			sum		
		time/periode	time/periode	time/periode	time/periode	time/periode	time/periode	time/periode	time/periode	time/periode	time/periode	time/periode	total time/periode
Jan	285	132	153	0	285								
Feb	293	120	170	3	293								
Mar	389	104	230	56	389								
Apr	299	77	170	53	299								
Maj	258	95	164	0	258								
Jun	236	95	142	0	236								
Jul	119	95	25	0	119								
Aug	178	104	75	0	178								
Sep	192	95	98	0	192								
Okt	256	99	157	0	256								
Nov	298	132	166	0	298								
Dec	283	114	162	8	283								
Sum i periode	3086	1258,5	1709	119	3086								

Varmeproduktionspr	Produktion			Total varmeprod kWh/måned	Spids			Høj			Lav			Samlet		
	spids kWh	høj kWh	lav kWh		Varmeprod omk kr/periode	Varmeprod omk kr/periode	Varmeprod omk kr/periode	Varmeprod omk kr/periode	Varmeprod omk kr/periode	Varmeprod omk kr/periode	Varmeprod omk kr/periode	Varmeprod omk kr/periode	Varmeprod omk kr/periode	Varmeprod omk kr/periode	Varmeprod omk kr/periode	Varmeprod omk kr/periode
Jan	761.897	883.108	0	1.645.005	115.046	321.451	-	436.498								
Feb	692.634	981.231	17315,84637	1.691.181	104.588	357.168	7.446	469.202								
Mar	597.397	1.327.548	320.343	2.245.288	90.207	483.228	137.748	711.182								
Apr	441.554	981.231	303027,3115	1.725.813	66.675	357.168	130.302	554.145								
Maj	545.449	943.714	0	1.489.163	82.363	343.512	-	425.875								
Jun	545.449	816.731	0	1.362.180	82.363	297.290	-	379.653								
Jul	545.449	141.413	0	686.862	82.363	51.474	-	133.837								
Aug	597.397	430.010	0	1.027.407	90.207	156.524	-	246.731								
Sep	545.449	562.765	0	1.108.214	82.363	204.846	-	287.209								
Okt	571.423	906.196	0	1.477.619	86.285	329.855	-	416.140								
Nov	761.897	958.143	0	1.720.041	115.046	348.764	-	463.811								
Dec	658.002	932.170	43289,61593	1.633.462	99.358	339.310	18.615	457.283								
Sum i periode	7.263.998	9.864.260	683.976	17.812.234	1.096.864	3.590.591	294.110	4.981.564 kr/MWh/år								

Gennemsnitlig varmepris

17.812.234

kr/år
280 kr/MWh

Eksempel på drift på værk 3 ledstarif og varmepumpe

Elproduktion	3480 kW				COP VP		3,7		
Varmeproduktion	5772 kW				Varmeproduktion VP		956 kW		
Varmemængde i røggas	967 kW		17%		Elforbrug VP		258 kW		
		2.477.290 kWh/år			Mulige driftstimer med VP		3551 timer/år		
Røggasvarmemængden omsat i varmepumpen		3.146.827 kWh/år							
Årligt varmebehov		17.812.234 kWh							
Driftstimer	3.086 normal drift				Motor	Motor	VP		
	2562 med varmepumpe		83%		Spids	Høj	Lav+høj	sum	
Driftstimer					time/periode	time/periode	time/periode	total time/periode	
Driftstimer									
Jan	1.645.005	0,0924	228784	304	132	103	304	539	
Feb	1.691.181	0,0949	235206	313	120	121	313	554	
Mar	2.245.288	0,1261	312270	415	104	217	415	735	
Apr	1.725.813	0,0969	240023	319	77	170	319	565	
Maj	1.489.163	0,0836	207110	275	95	118	275	488	
Jun	1.362.180	0,0765	189449	252	95	100	252	446	
Jul	686.862	0,0386	95527	127	95	25	0	119	
Aug	1.027.407	0,0577	142890	190	104	43	190	336	
Sep	1.108.214	0,0622	154128	205	95	64	205	363	
Okt	1.477.619	0,0830	205504	273	99	112	273	484	
Nov	1.720.041	0,0966	239220	318	132	113	318	563	
Dec	1.633.462	0,0917	227179	302	114	119	302	535	
					1259	1303	3165	5727	
	Motor uden VP	Motor uden VP	VP solo	Total	Motor uden VP	Motor uden VP	VP solo		
	kWh	kWh	kWh	varmeproduktion	Varmerprod omk	kr/periode	Med tillæg fo	kr	
	Produktion	Produktion	Produktion	kWh/måned	kr/periode	kr/periode	kr/periode		
	spids	høj	lav+høj						
Jan	761.897	592.491	290.618	1.645.005	115.046	215.667	49.562	380.275	
Feb	692.634	699.772	298.775	1.691.181	104.588	254.717	50.953	410.258	
Mar	597.397	1.251.224	396.667	2.245.288	90.207	455.445	67.648	613.300	
Apr	441.554	979.365	304.894	1.725.813	66.675	356.489	51.997	475.160	
Maj	545.449	680.628	263.085	1.489.163	82.363	247.749	44.867	374.978	
Jun	545.449	576.079	240.652	1.362.180	82.363	209.693	41.041	333.096	
Jul	545.449	141.413	-	686.862	82.363	51.474	-	133.837	
Aug	597.397	248.502	181.509	1.027.407	90.207	90.455	30.955	211.616	
Sep	545.449	366.981	195.784	1.108.214	82.363	133.581	33.389	249.333	
Okt	571.423	645.150	261.046	1.477.619	86.285	234.835	44.519	365.638	
Nov	761.897	654.270	303.874	1.720.041	115.046	238.154	51.823	405.023	
Dec	658.002	686.881	288.578	1.633.462	99.358	250.025	49.214	398.597	
Sum i peric	7.263.998	7.522.755	3.025.482	17.812.234	1.096.864	2.738.283	515.967	4.351.114	
kr/MWh	151	364	171						
		Gasbesparelse	17.812.234						
			17%						
Gennemsnitlig varmepris								244	

Eksempel på drift på værk markedsvilkår – forskudt elkøb

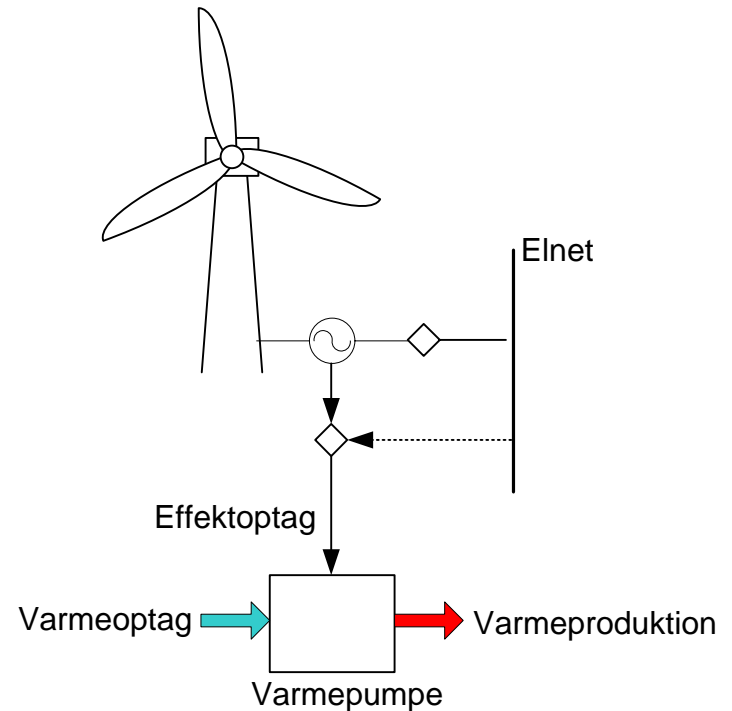
Interval			Varmeproduktionspris ¹		
Espotpris øre/kWh		Antal timer 2006	Gasmotor Middel kr/MWh	Kedel Middel kr/MWh	VP Middel kr/MWh
0	20	534	>481	418	126
20	25	396	481	418	133
25	30	2027	460	418	146
30	35	2692	419	418	159
35	40	1548	379	418	172
40	45	1177	338	418	186
45	100	387	<276	418	193

5,9 MW_{el}
CO₂ kvoter
Totalvirkningsgrad: 94%

Interval			Varmeproduktion		
Espotpris øre/kWh		Antal timer 2006	VP produktion MWh	Produktions Omkostning Kr	Besparelse i forhold til kedeldrift
0	20	534	508	64.109	147.882
20	25	396	376	49.943	107.028
25	30	2027	1.926	281.228	523.044
30	35	2692	2.557	407.108	660.940
35	40	1548	Motor 4	Motor 4	Motor 4
40	45	1177	Motor 4	Motor 4	Motor 4
45	100	387	Motor 4	Motor 4	Motor 4
Produceret varmemængde [MWh/år]			5.366		
Produktionsomkostning [kr/år]				802.388	
Gennemsnitvarmepris [kr/MWh]			149	Ved afgift på 18 øre/kWh	Ved afgift på 57,7 øre/kWh
Samlet besparelse[kr/år]				1.438.893	902.000

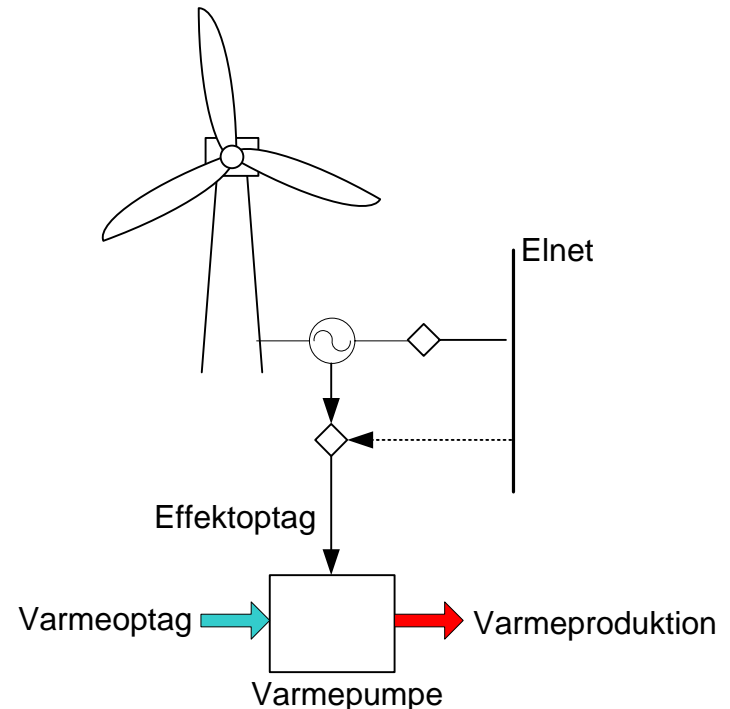
Vindmøller og varmepumper

- **Varmeoptag**
 - Jord, vand, sol etc
 - Spildvarme
 - Røggas
- **Effektoptag**
 - 50-300 kW
- **Varmeproduktion**
 - Fjernvarme: 40/80°C



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)**

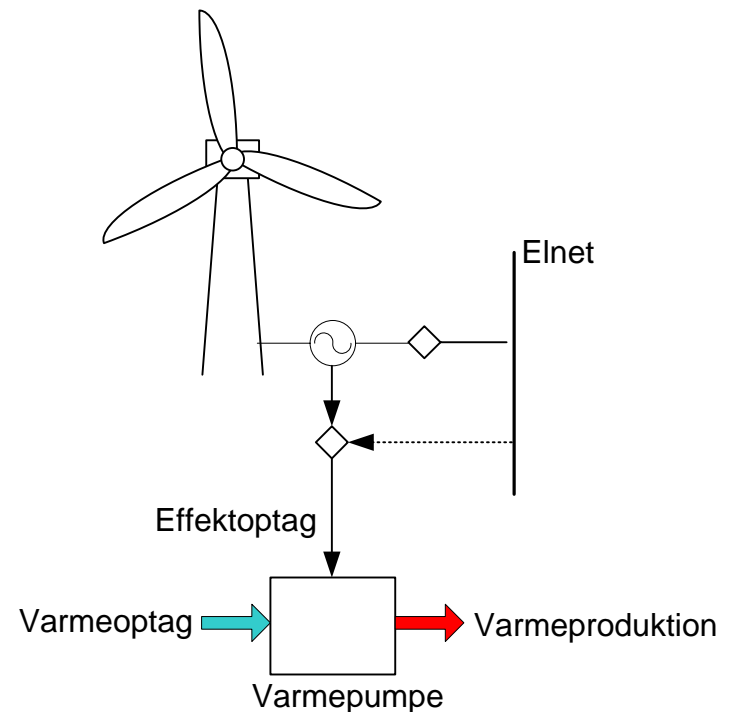
Værdi for vindmølleejers = Varmesalg – Tabt elsalg
(8000 x 1,030)MWh/år x 200 – (330x8000*0,35) =

1.648.000-924.000 = 724.000 kr/år

Følsomhed:

Varmesalg ± 50 kr/MWh = ± 412.000

Elpris: $\pm 0,05$ kr/kWh = ± 132.000



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 - 20
Flodvand	0 - 15
Havvand	3 - 18
Granitlager	0 - 5
Jordvarme	0 - 10
Spildevand	>10
Industriel spildvarme	20-60

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

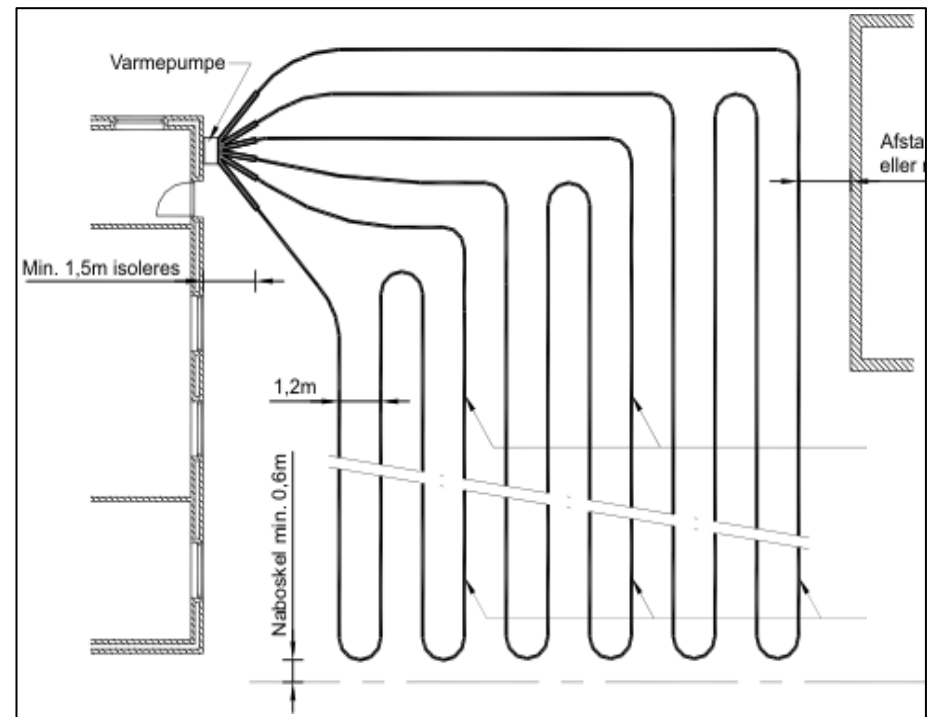
10 W/m²

Fugtig lerjord

30 W/m²

Vandførende lag

40 W/m²



Konklusion og perspektiver

- CO2 varmepumper kan producere 80-90°C vand direkte til fjernvarmenettet
- Der kan isoleret set spares op til 25% gas og følgeemissioner (CO, CO₂, NO_x, CH₄, aldehyd og andet) fra den danske kraftvarmeproduktion ved anvendelse af varmepumper til røggaskondensering
- Besparelserne kan typisk tilbagebetale den totale anlægsinvestering indenfor 2-6 år
- Teknologien er klar, vi venter på embedsmændene....
- Inddragelse af værkets tekniske installationer, driftsforhold og øvrige produktionsalternativer er mindst ligeså betydningsfuldt som varmepumpen
- Gældende afgiftsregler er vigtige for den rette varmepumpe implementering.
- El drevne varmepumper kan indgå i en udfasning af fossile brændsel på kraftvarmeværker
 - 2 trins raket: Trin 1: Røggaskondensering, Trin 2: Naturlig varme eller spildvarmeopgradering
 - Varmepumper i kombination med udfasning af gasmotordrift
 - Fuld konvertering
- Der kan opnås rigtig god økonomi, når de rette betingelser er tilstede