

VE til proces

Mogens Weel

Email: mwh@weel-sandvig.dk

TI den 27/11 & 3/12 2013

Weel & Sandvig
ENERGI OG PROCESINNOVATION

Diplomvej, Bygning 377-stuen, 2800 Kgs. Lyngby

Telefon: 2671 0045 eller 2671 0046

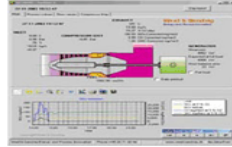
email: weel-sandvig@weel-sandvig.dk

web: www.weel-sandvig.dk

Weel & Sandvig Energi og procesinnovation

- Mindre firma specialiceret inden for procesoptimering
- Lokalitet : Scion DTU
- Main product and services:
 - Simulatore til WTE , biomasse & termiske kraftværker
 - Performance Monitoring systemer til gas- & dampturbiner
 - Preditive emissions monitorering til gasturbiner og kedelanlæg.
 - Nye energikoncepter & Proces Integration HEX optimering
- Kunder
 - PEMS & Performance Monitoring: Oil & Gas industri (Oxy, Gasco, Bunduq, Saudi Aramco, Hess, Dong)
 - Simulatore: Vattenfall, Vestforbrænding, Amagerforbr., TAS, Ege, BW-Volund, Sønderborg KVV etc
 - Energy opti: Novozymes, statoil, Dong, Topsøe, Novo Nordisk, CPKelco, Junckers, Ardagh glas, DEA (Energinet.dk, etc)

Weel & Sandvig offers simulators tailored for specific processes and plants. We have developed dynamic simulators for a complete waste-to-energy plant, steam turbine system, predictive emission monitoring system (PEMS) for gas turbines and performance monitoring systems for gas turbines as well as steam turbines.



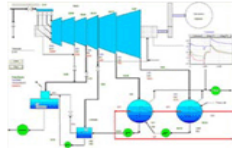
WS.GT-PEMS

Online predictive emission monitoring system (PEMS) for gas turbines.



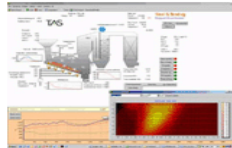
WS.PerformS

System for on- or off-line performance monitoring of gas and steam turbines. Does your power plant cycle fulfil the expected power output? When is the optimal time to wash? Does your turbine have small defects that might develop to critical defects?



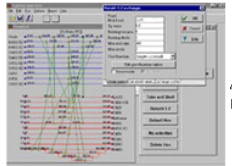
WS.Steam Turb-simulator

Comprehensive dynamic simulator developed for steam turbines including feed water train heaters and condensers. The model describes among others the governor control valves, the inertia of momentum, major aerodynamic losses in the steam turbine expansion path and the full control system.



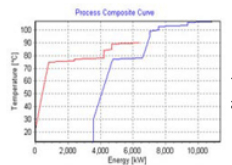
WS.WTE-simulator

Comprehensive dynamic simulation of grate fired boilers for municipality solid waste (MSW), biomass and coal. Developed for education and training of operational staff and optimisation of plant operation.



WS.HEN-Explorer

Advanced design tool for the economic optimal configuration of heat exchanger networks (HENs) and integration of processes and utilities.



WS.Pinch

Targeting tool (Pinch program) for calculation of the potential for heat recovery and a systematic tool for process integration analyses.

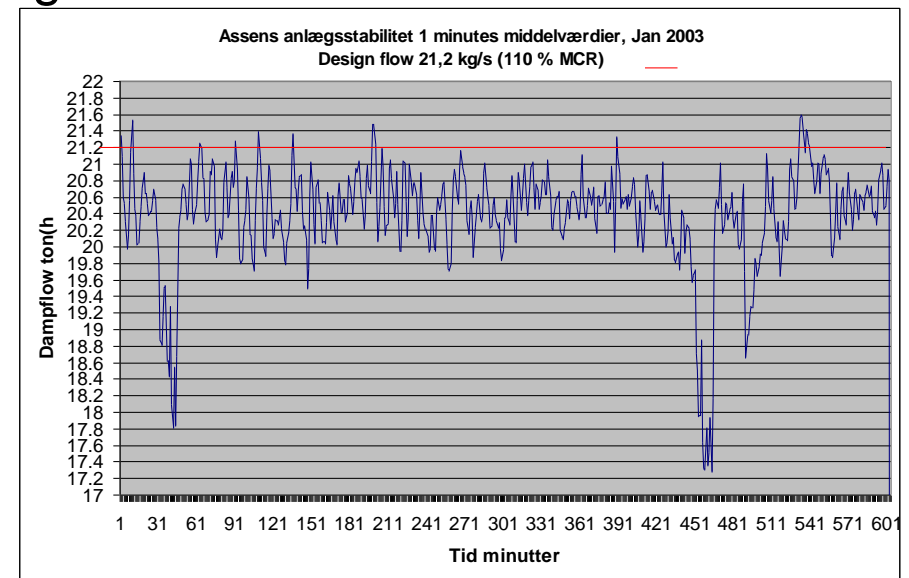
VE til process: Biobrændsel –varmepumper- energibesparelser?

- Hvad er resourcebehovet ved de forskellige teknologier:
- Typisk vil en varmepumpe kunne have en energieffektivitet på mellem 300 – 800 %
- Pris for CO2 reduktion v.h.a. varmepumper er ofte langt under 300 kr/ton CO2.
- Den Relative marginale CO2-reduktion fra anvendelse af primært brændsel ved anvendelse af el til Varmepumper ved forskellige teknologi scenarier er vist i tabel nedenfor når det antages at el produceret på kraftværk kan anvendes i en lokal varmepumpe med en COP-værdi på 5 (industri COP = 5 – 8, Bolig COP = 2,5 -5).

	kraftværk kul, kondens	Kraftværk kul & Fjernvarme	Kraftværk gas, kondens	Kraftværk gas, Fjernvarme	Kraftværk bio, kondens	Kraftværk bio, Fjernvarme	Decentralt kraftværk bio, Fjernvarme	Simpel kedel, bio	Vind/Sol	Energibesparelser
Elvirkningsgrad	0.46	0.39	0.6	0.54	0.43	0.36	0.275	0	1	
Varmevirkningsgrad	0	0.56	0	0.41	0	0.59	0.675	0.95	0	
Q_brændsel GJ	0.46	0.43	0.35	0.35	0.49	0.46	0.54	1.32	0	
EL GJ	0.21	0.17	0.21	0.19	0.21	0.16	0.15	0	0.21	
Fjernvarme 90 C	0	0.24	0	0.14	0	0.27	0.37	1.25	0	0
Netto fjernvarme (20 % tab)	0	0.19	0	0.11	0	0.22	0.29	1.00	0	
VP (COP=5) Total varmeenergi, 5 % tab i elnet	1.00	0.81	1.00	0.89	1.00	0.78	0.71	0	1	
Total varme nytte energi, GJ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
CO2 besparelse i kg per GJ varme	-11.5	-13.7	-35.7	-36.0	-55	-55	-55	-55	-55	-55
CO2 reduktion i %	20.9	24.9	64.9	65.4	100	100	100	100	100	100
CO2 reduktion per GJ brændsel	-25.2	-31.5	-101.8	-104.1	-112.3	-120.0	-101.5	-41.8		

VE til Proces: Bio brændsel

- Omstilling til biobrændsel:
- Biokedel (træflis) med lager m.m.: 5- 6 mio. Kr/MWth
- Bio kraftvarme (træflis) m. Lager m.m: 7 – 10 mio. Kr/MWth
- Temperatur behov?
 - Damp eller varmt vand (hedt vand)
- Dampstabilitet?
 - Korttids forbrugsmønstre, hvor hurtig kan kedlen regulere.
- Drifttid gerne > 5000 eq. fuldlasttimer
- Biobrændsel er pladskrævende m.m.



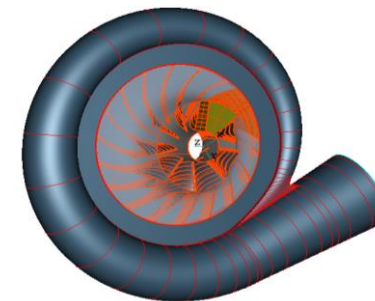
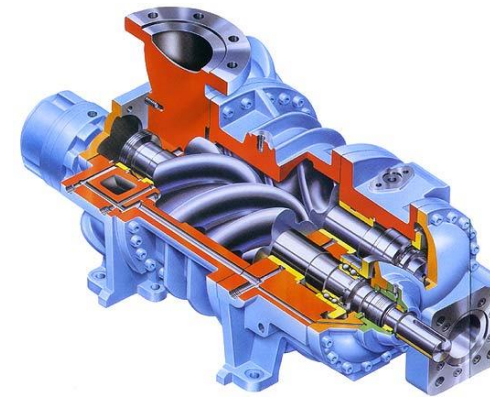
VE til proces: Varmepumper Høj temperatur

- Undersøgelse viser at industrien kan dække ca. 20 PJ procesvarme med varmepumper i temperatur intervallet fra 90 – 180 C med et temperaturløft mellem 20 og 70 C.
- Er der varmepumper som kan dække behovet for temperaturer over 100 C?
 - Typisk vil man bruge vanddamp
 - Højtryksblæsere: $dT = 5 - 15$ C
 - Kapsel blæse: $dT = 10 - 15$ C
 - Skruekompressor: $dT = 20 - 30$ C
 - Turbokompressor: $dT = 15 - 50$ C

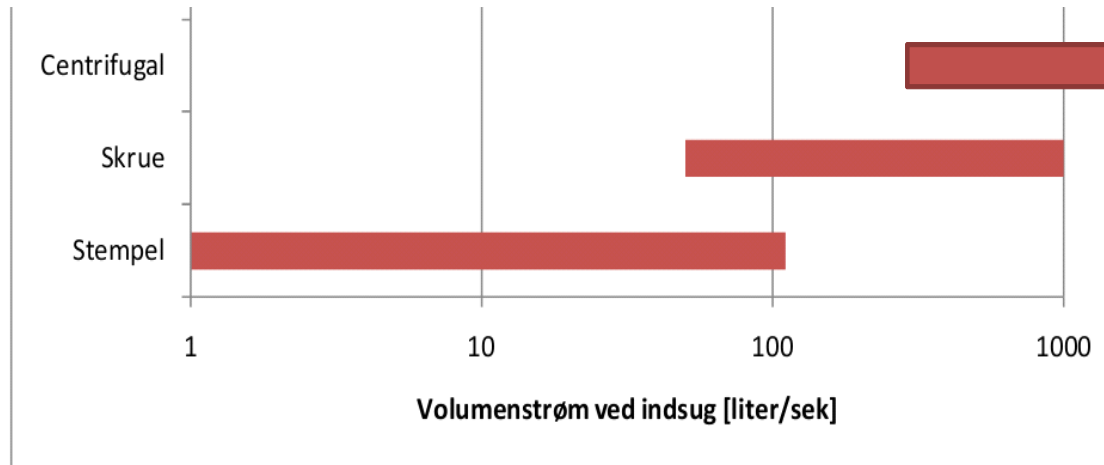


Kompressor typer

- **Stempel (fortrængning)**
Arbejde = PdV
Typisk 1500 RPM
Stempel hast. 3 -8 m/s
- **Skrue (fortrængning)**
Arbejde = PdV
Typisk 3000 – 10000 RPM
Rotor tipspeed 25 – 80 m/s
- **Turbo kompressor (Dynamisk)**
Arbejde = $U*(C_{\theta 2} - C_{\theta 1})$
Typisk 20000 – 100000 RPM
afhængig af slagvolumen
Rotor Tipspeed 180 – 550 m/s



Typisk slagvolumen for forskellige kompressortyper til varmepumper og opnåelige kompressorvirkningsgrader



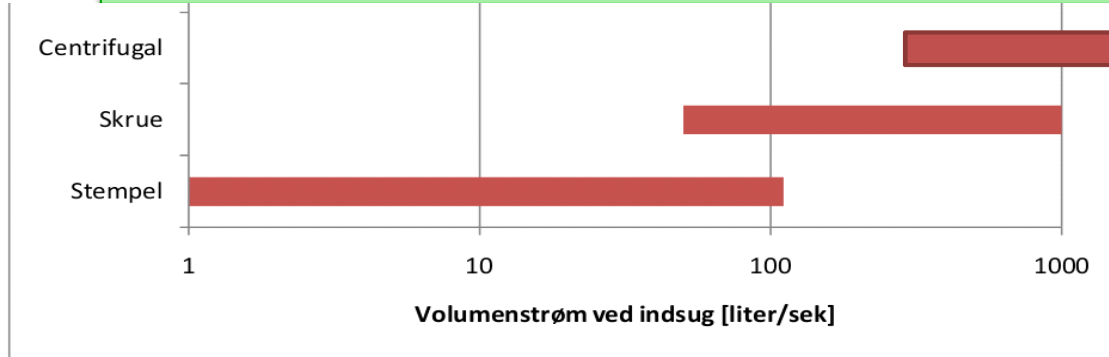
Axial compressors:
 FAN: 1700 m³/s, Pr=1,5
 Core: 188 M³/s, Pr=42
 Eta_{pol}= 0,90

	Stempel kompressor	Skruekompressor, tør	Skruekompressor, våd	Turbokompressor (radial)
Isentrop virkningsgrad	0,80	0,70	0,80	0,70 - 0,82
Varmevirkningsgrad	0,95	0,97	0,8	0,99
Kompressorvirkningsgrad	0,76	0,8	0,64	0,69-0,81
Typisk tryk forhold	2,5 - 12	2,5 -10	2,5 - 12	1,5 - 3 (vanddamp)

$$\eta_{\text{kompressor}} = \eta_{\text{isentrop_målt}} * \eta_{\text{varmевirkningsgrad}} = W_{\text{isentrop}} / W_{\text{målt}}$$

Kompressortyper til højtemperatur varmepumper

- Demand:
 - Inlet pressure 0.2 – 2 bara (60 – 120 C)
 - Pressure ratio 5 – 8 (Temperature lift 40 – 60 K for drying applications)
 - Suction (Swept) Volume 1000 – 2000 m3/h (heat effect = $V \text{ [m3/h]} \cdot P_{in} \cdot 0.5$)



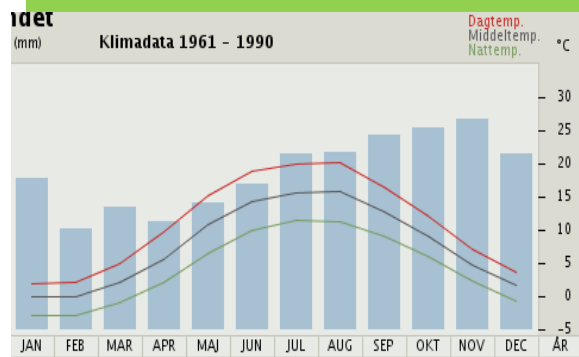
Axial compressors:
 FAN: 1700 m3/s, Pr=1,5
 Core: 188 M3/s, Pr=42
 Eta_pol= 0,90

	Piston Compressor	Screw Compressor, dry	Screw Compressor, wet	Turbokompressor (radial)
Isentropic efficiency	0,80	0,70	0,80	0,70 - 0,82
Heat efficiency	0,95	0,97	0,8	0,99
Compressor efficiency $\eta_{is} \cdot \eta_{heat}$	0,76	0,68	0,64	0,69-0,81
Typically pressure ratio one stage	2,5 - 12	2,5 - 10	2,5 - 12	1,5 - 3 (water vapor one stage)
Weight, kg (Suction volume 10000 m3/h)		6000	6000	80 (12 x rotrex with friction gear)
Operating envelope	Good	Good	Good	medium (Modular concept good)

Hvilken varmekilde kan vi bruge til varmepumpen og ved hvilken temperatur skal varmen leveres?

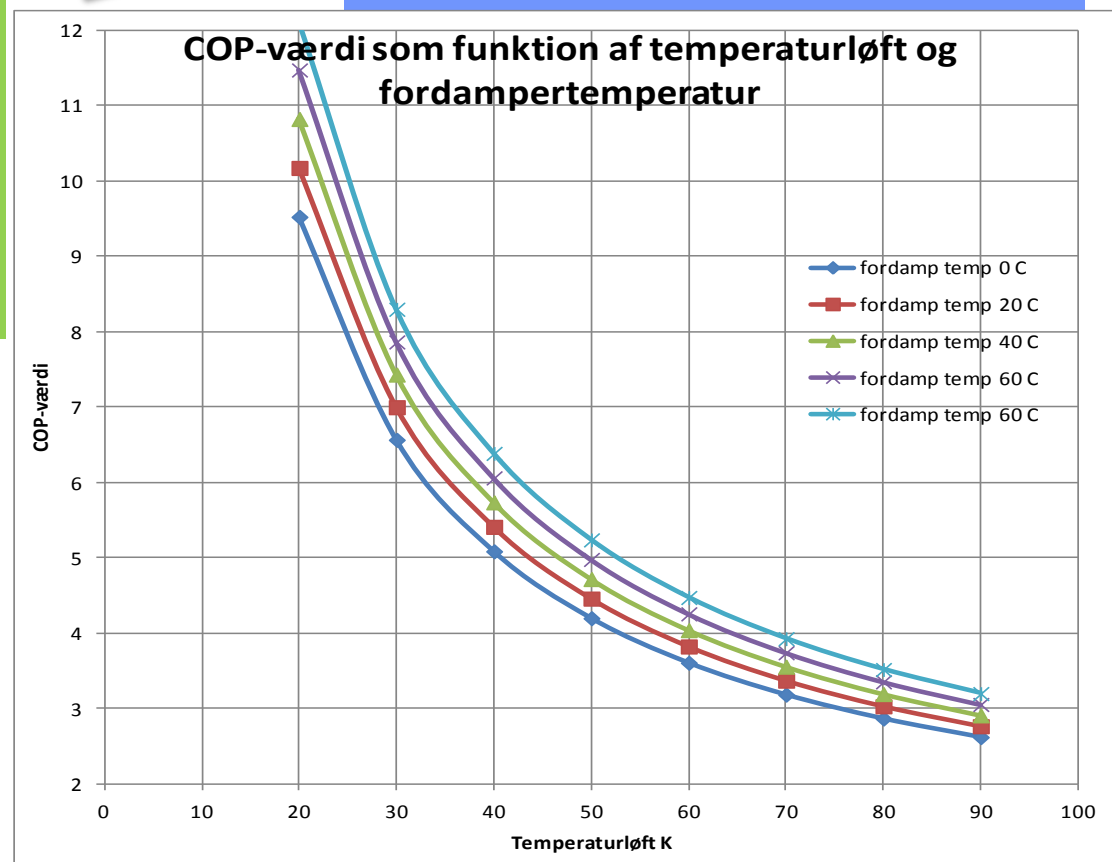
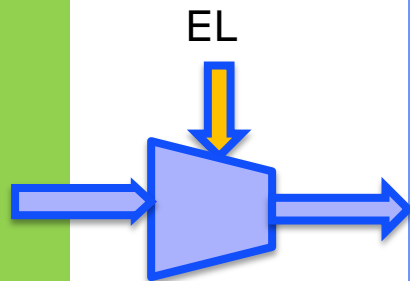
Varmekilder:

- Luft: (-10 – 20 C)
- Jordvarme (5 C):
- Spildevand (12 C):
- Grundvand (8 C):
- Røggaskondensering (30 – 55 C):
- Overskudvarme “køleanlæg” (25 – 35)
- Fjernvarme (35 – 90 C, typisk):
- Overskudvarme fra industri (30– 150 C):



Varmebehov:

- Procesvarme > 80 - 200 C
- Fjernvarme system (35 – 80 C), nogen op til 130 C



Typiske Varmekilder til varmepumper til process eller fjernvarme:

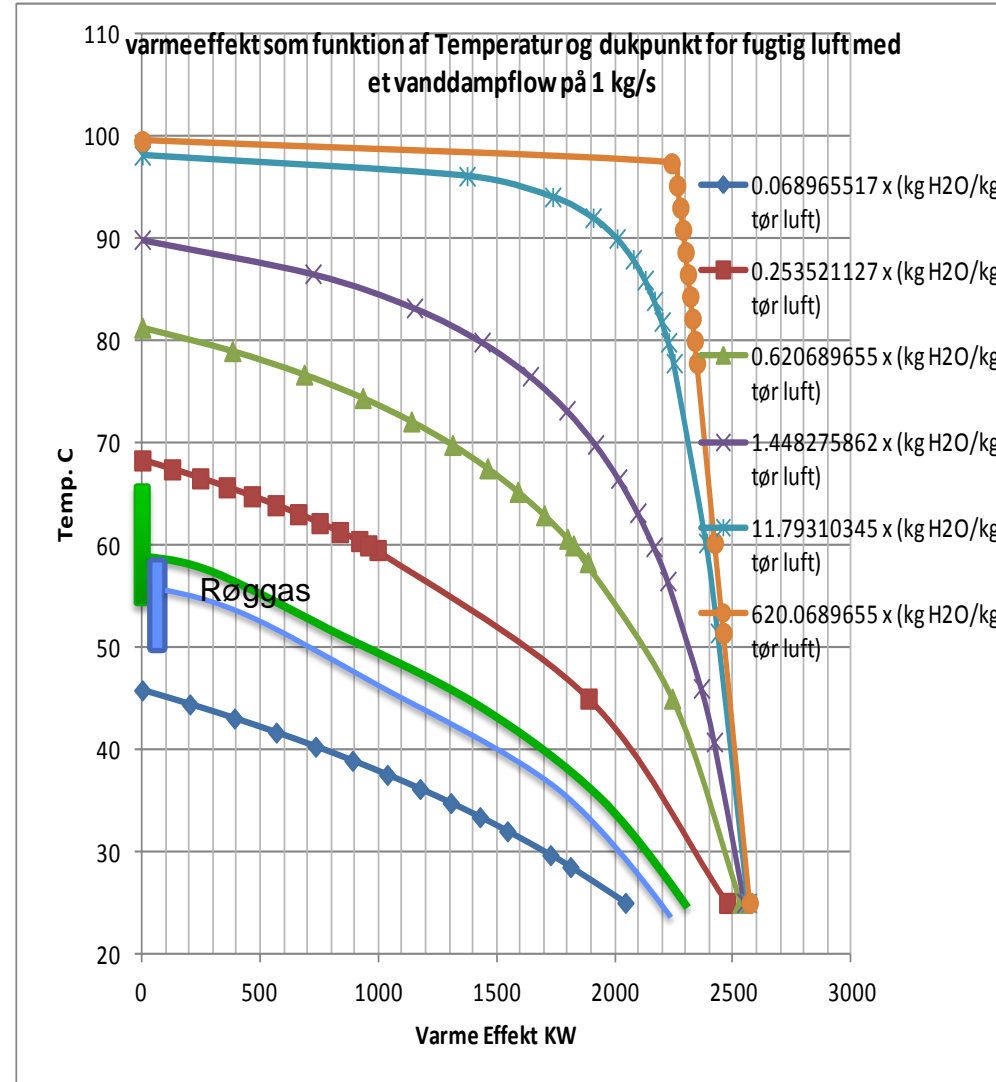
- Fugtig luft fra industrielle tørre-processer og røggas

Typisk 25 – 75 C:

- Varme fra køleprocesser (typisk 10 – 35 C)
F.eks. Fra køling af Bioreaktorer.



Industrien bruger ca 87 PJ brændsel til Procesopvarmning
Næsten alt (undtagen kemisk bunden” er “tilgængelig som Sensibel eller latent overskudvarme”

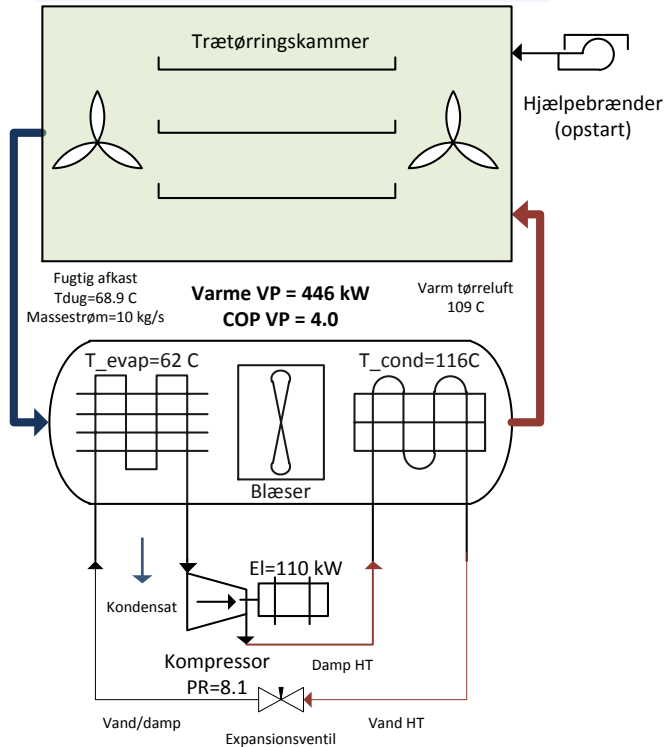


procesvarme eksempler

- Vanddamp som arbejdsmedium
- Temperaturområde: 70°C til 180°C.

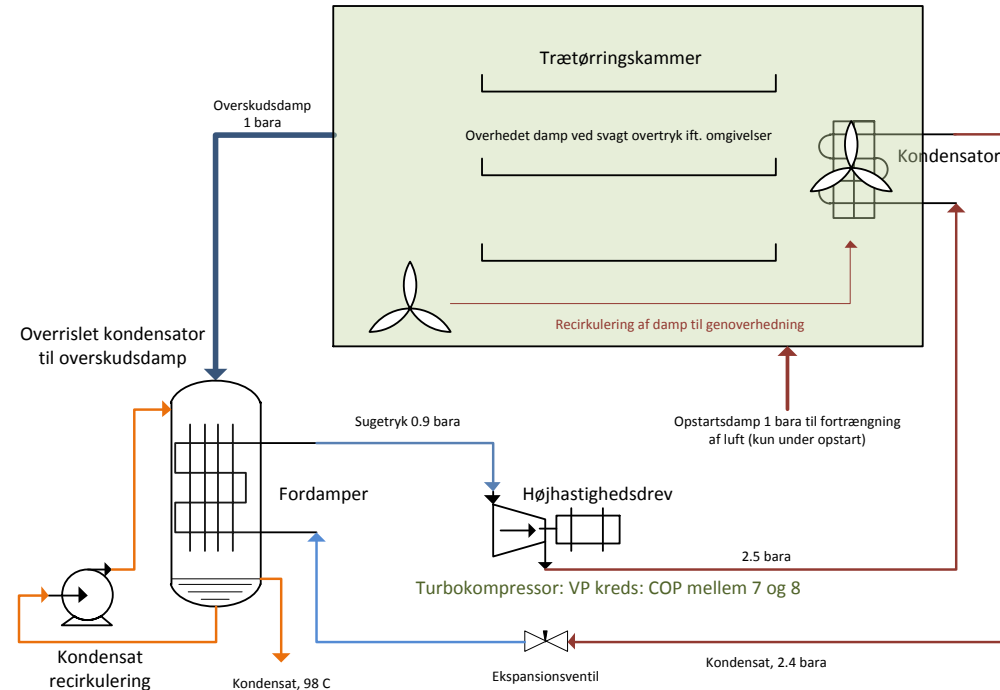
• En undersøgelse viser at 24 % (20 PJ) af Industrien procesenergiforbrug vil kunne dækkes af varmepumper med en COP-værdi på 4,4 i temperaturområdet 90 – 180 C

Eksempel : trætørring:
Varmepumpe som opvarmer
luften i tørrekammeret

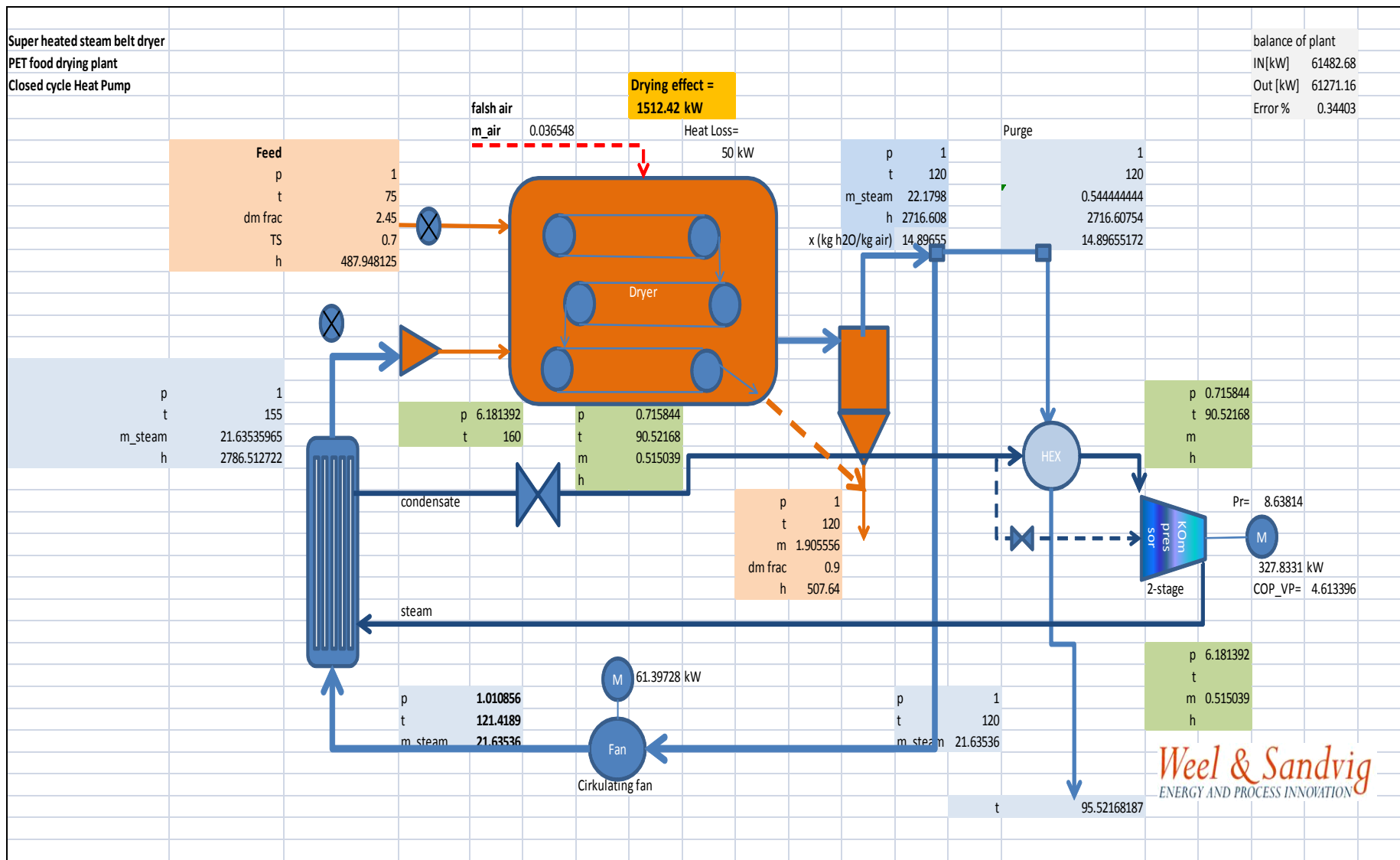


- Bryggerier og malterier.
- Fødevareindustri med kogeprocesser etc.
- Destillations anlæg.
- Inddampningsanlæg(fx.gylleinddampning).
- Tørre processer ().
- Autoklave, sterilisation.
- Slagterier, fisk & ben mel etc

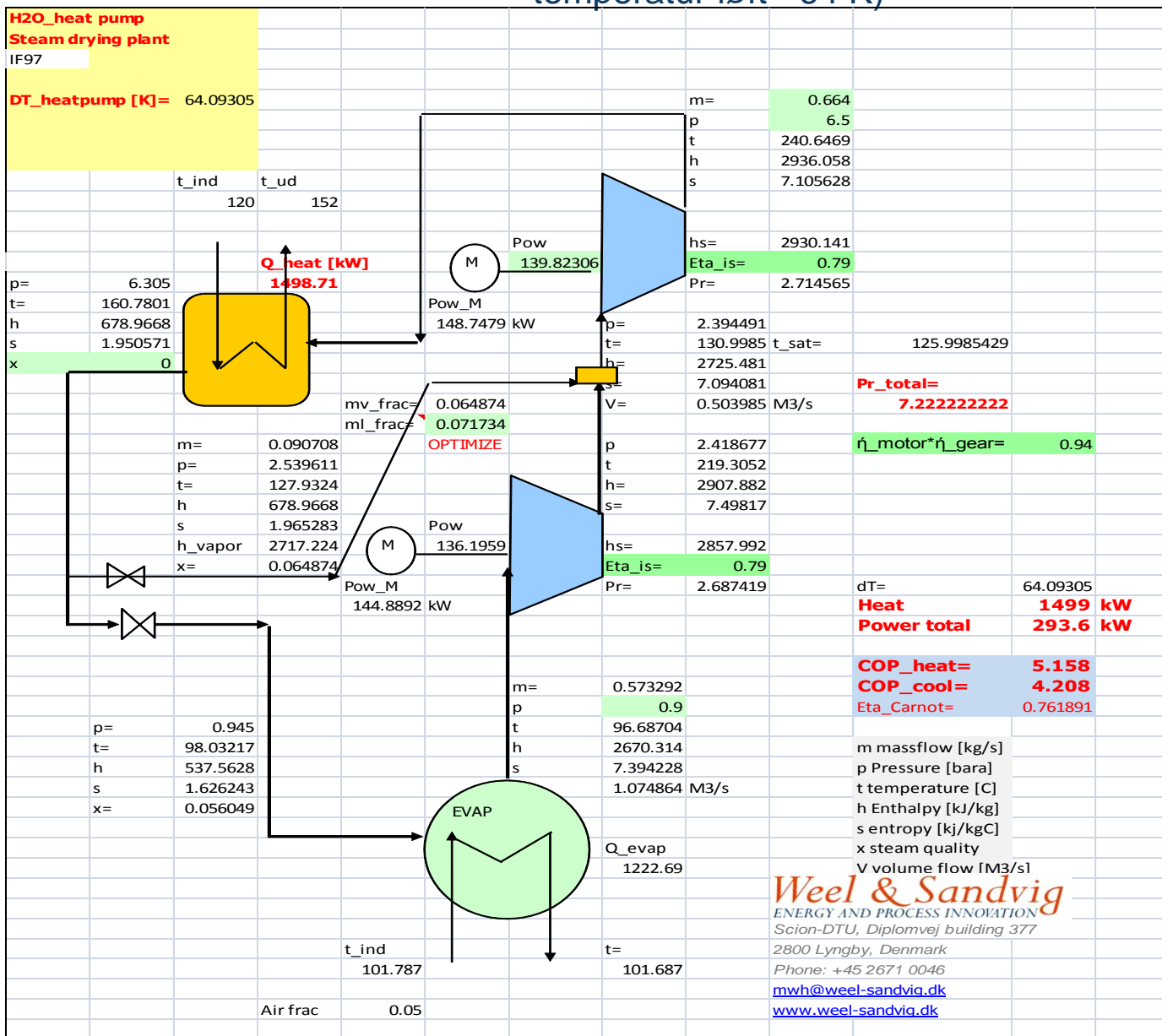
Example: Trætørring ved tørring i
overhededet damp v.h.a en varmepumpe



Eksempel på anvendelse af højtemperatur varmepumpe for en "Super heated steam dryer" application



Kredsprocesberegning for Varmepumpe til Overhedet damp tørring (to –trin, samlet temperatur løft= 64 K)

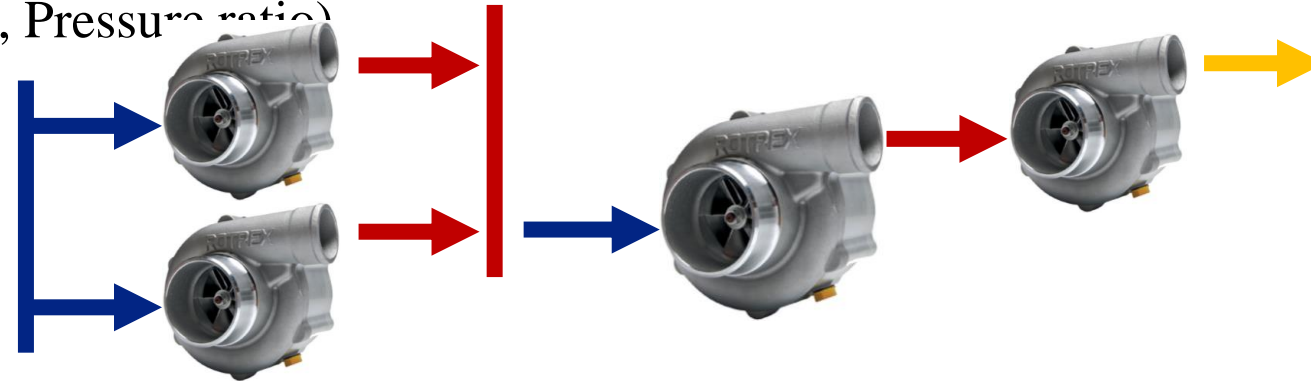


Turbokompressor til vanddamp kompression

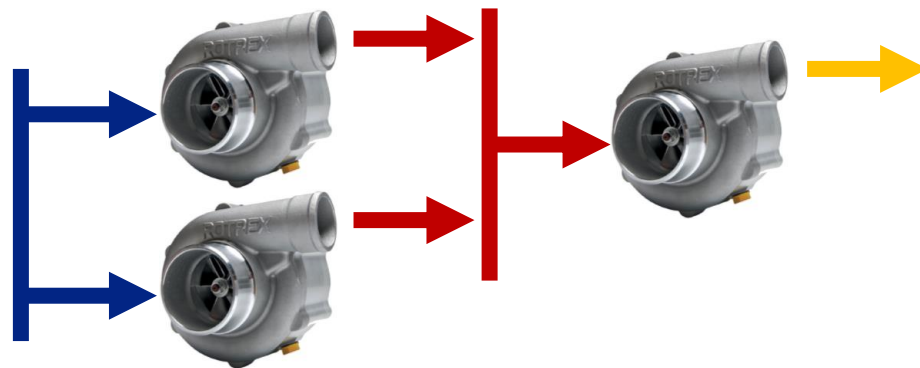
Slagvolumen 0,3 – 0,4 M³/s, Trykforhold 2 – 3 per trin (temperturløft 20 – 30 C)

Ved en fordampertemperatur på 80 C, svarer det til en varmeeffekt på 270 kW.

- Parallel Configuration (1-stages, capacity) & seriel Configuration (Multi stages, Pressure ratio)



- Seriel Configuration (Multi stages Compression) with equal type Compressor.



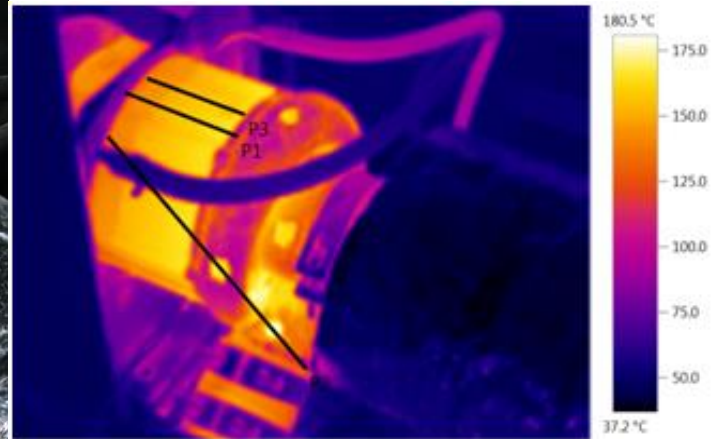
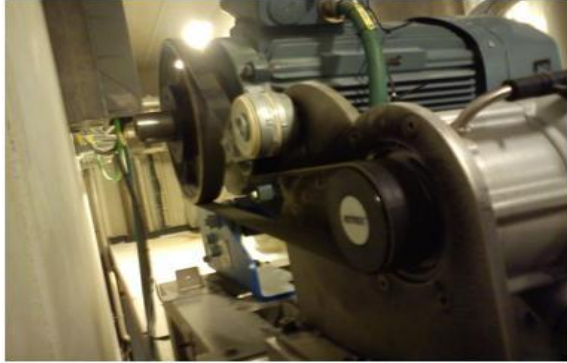
- 1 generation:
Remtræk & friktionsgear
- 2 generation:
Højhastigheds motor & friktionsgear

Construction of the drive and connection

- Haldor Topsøe (Bjarne Sørensen) in Cooperation With Weel & Sandvig.

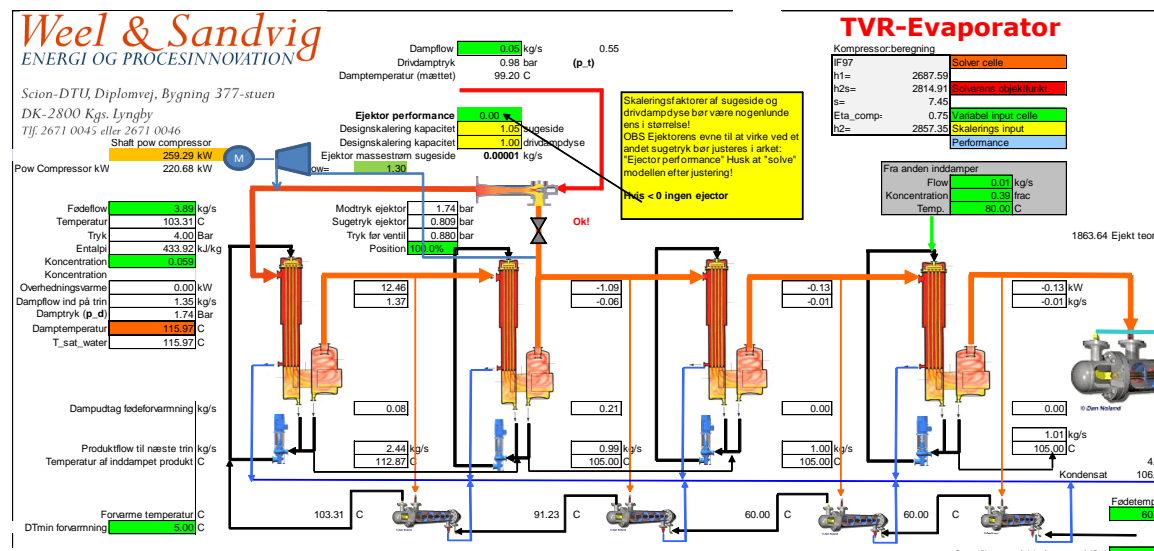


Images of Compressor operating at an industrial test installation at Haldor Topsoe A/S



Inddampningsanlæg

- Ombygning af 4-trins inddampningsanlæg med termokompression til MVR i 2 x 2 konfiguration



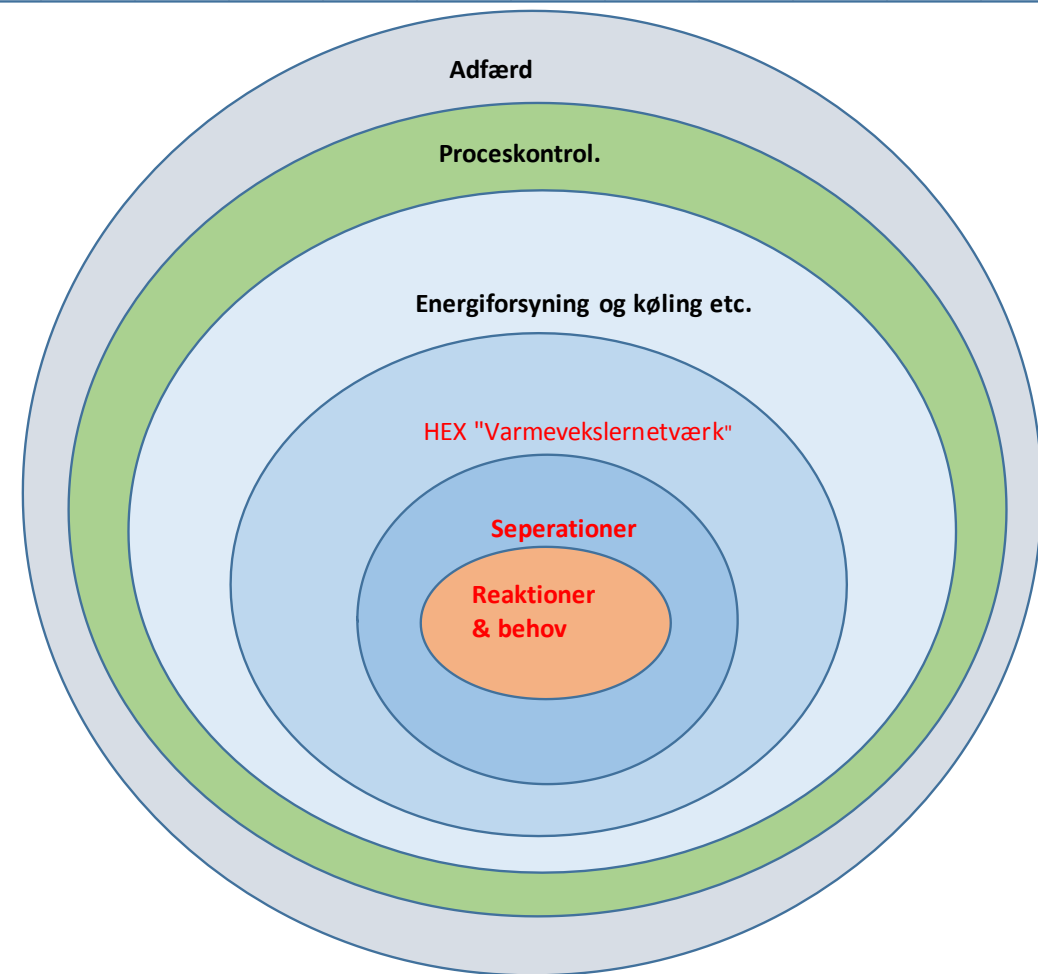
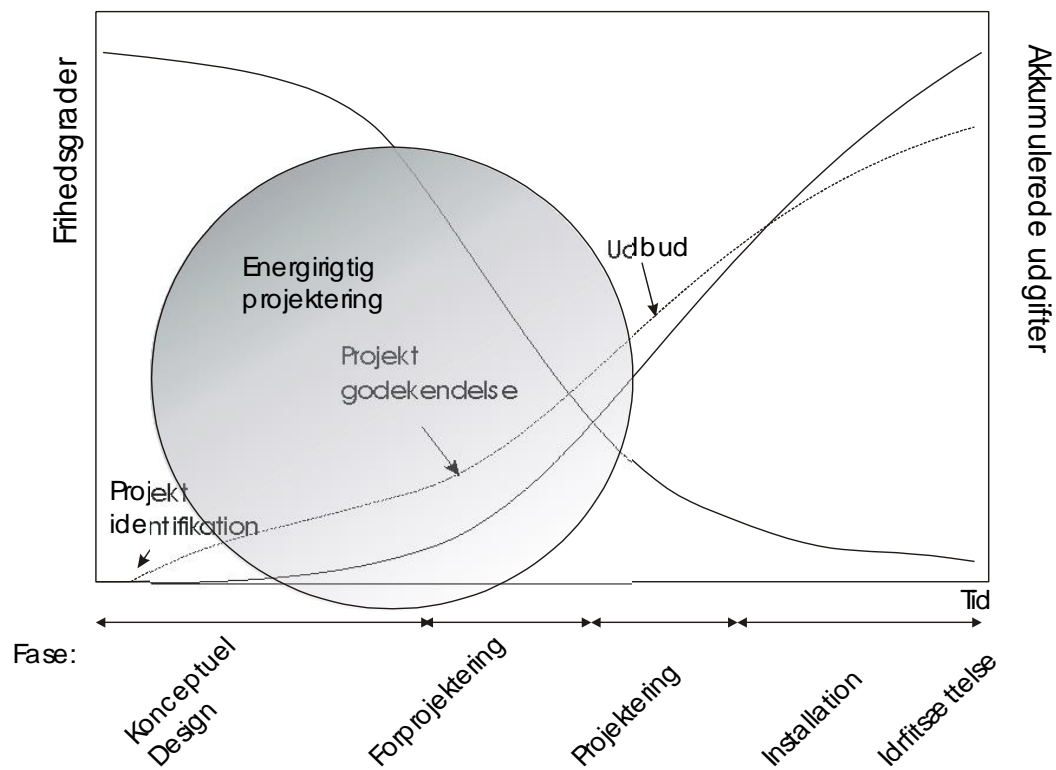
Forudsætninger:		TVR	MVR 2 x 2
Årlig driftstid	5000 timer	Dampforbrug	0.55 kg/s
Brændværdi af naturgas	11 kWh/nm ³	Elforbrug	0.23 MW
Virkningsgrad dampkedel	0.9	COP ift TVR	6.0
Varmebehov dampproduktion	2.5 MJ/kg	Årlig energiforbrug til damp	7638.9 MWh
Pris for naturgas	2.8 kr/nm ³	Årlig elforbrug	1150 MWh e
Pris for el	650 kr/MWh	Udgift til gas	1.944 Mio.kr./år
		Udgift til el	0.748 Mio.kr./år
		Vedligehold af kompressor	0.100 Mio.kr./år
		Samlet driftsudgift	1.944 Mio.kr./år
		Besparelse ved ombygning til MVR	0.920 Mio.kr./år
		Anslået investering til kompressorer og ombygning af inddamper inkl. SRO:	1.3 Mio. kr.
		Tilbagebetalingstid (simpl)	1.5 År

Energioptimering: Aldtid energioptimering først

Løgdiagrammet:

Udfordr:

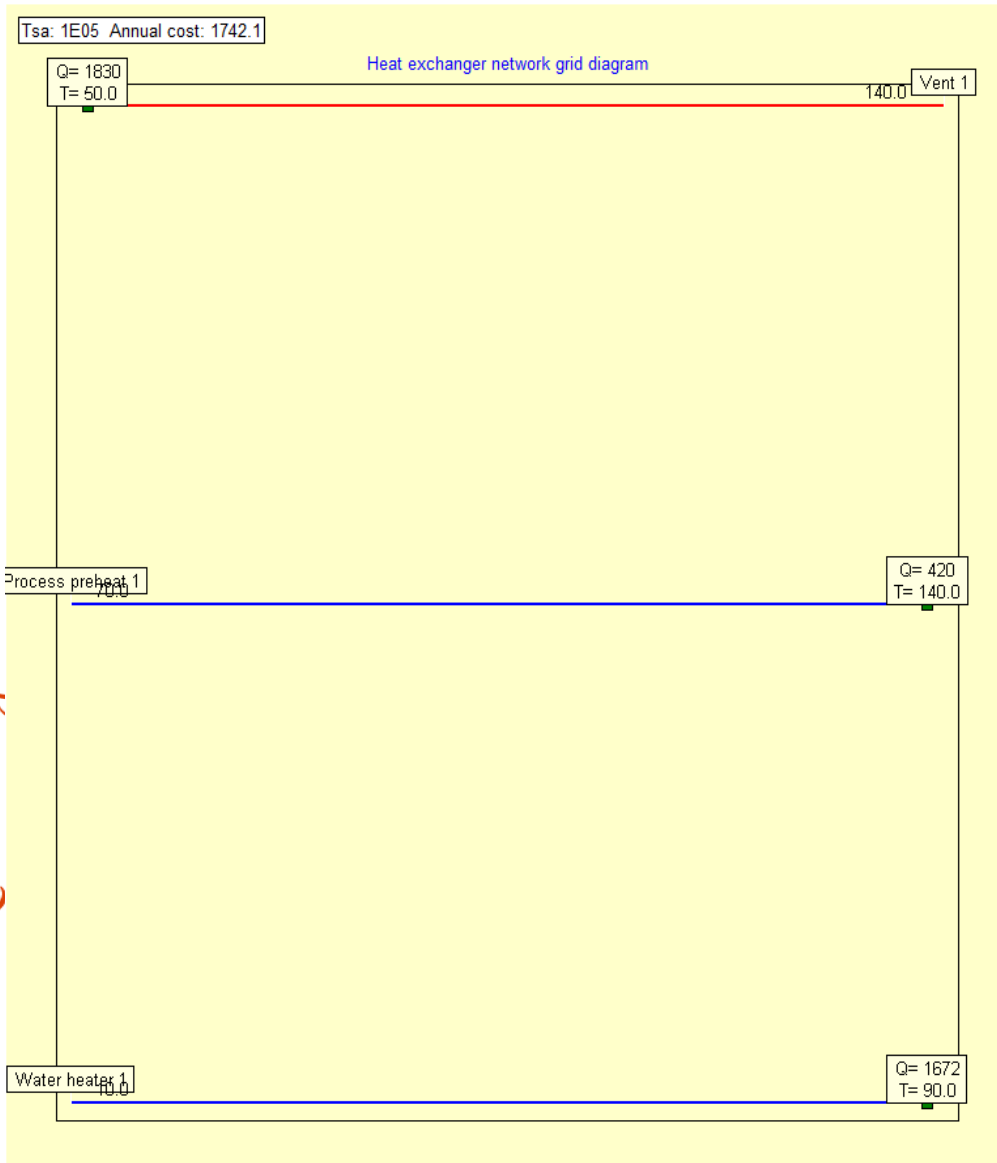
- Reaktionen og behov: hvad er behovene
- Kan man ændre på separationsbetingelserne eller metoderne
- HEX: optimal varmeveksling for at genvinde energi
- Smart energiforsyning og køling



Eksempel simpel proces

Minimum varme og Kølebehov?

To kolde strømme og en varm strøm:

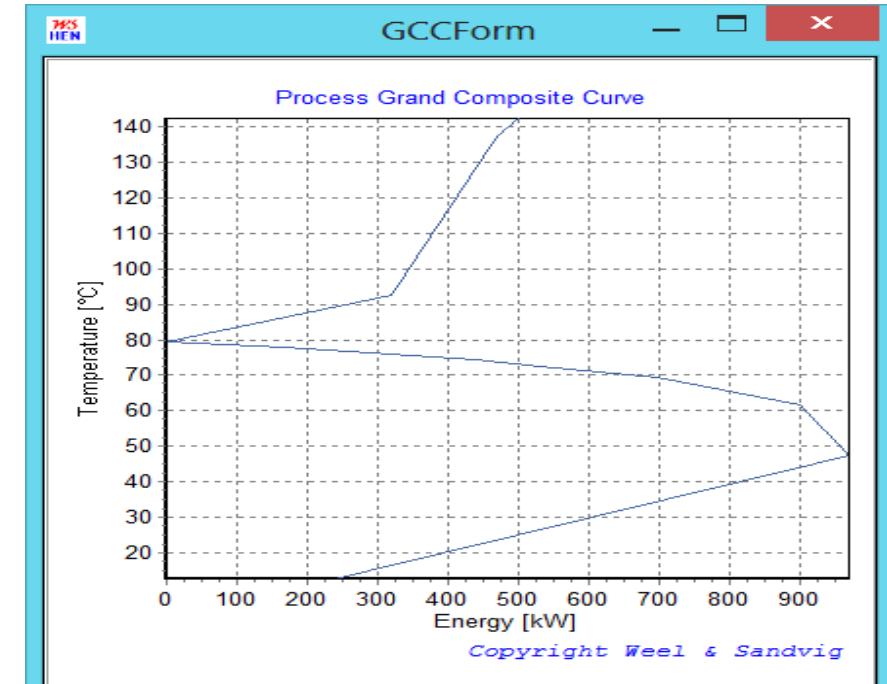
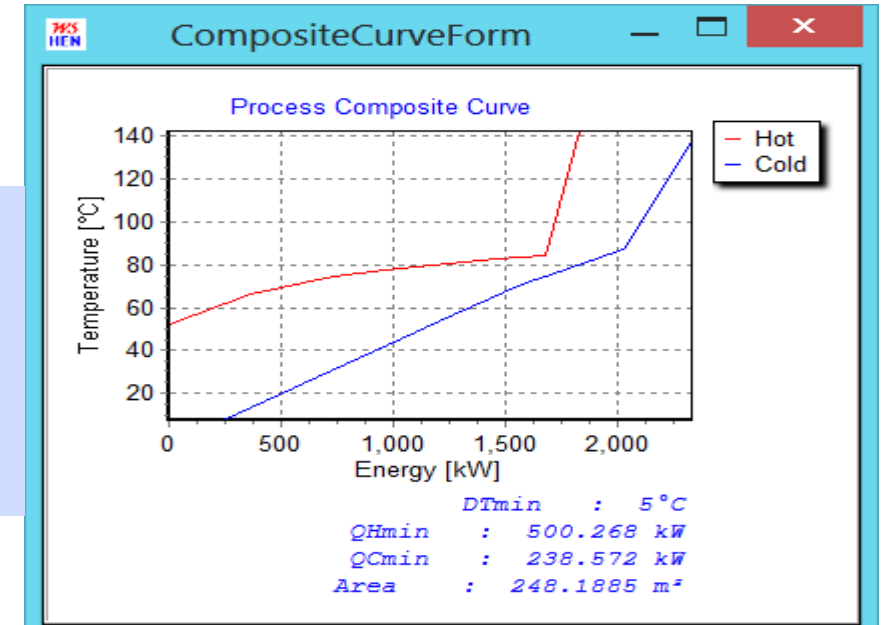


Pinch analyse:

Kolde og varme strømme
Sammensættes til komposit kurver

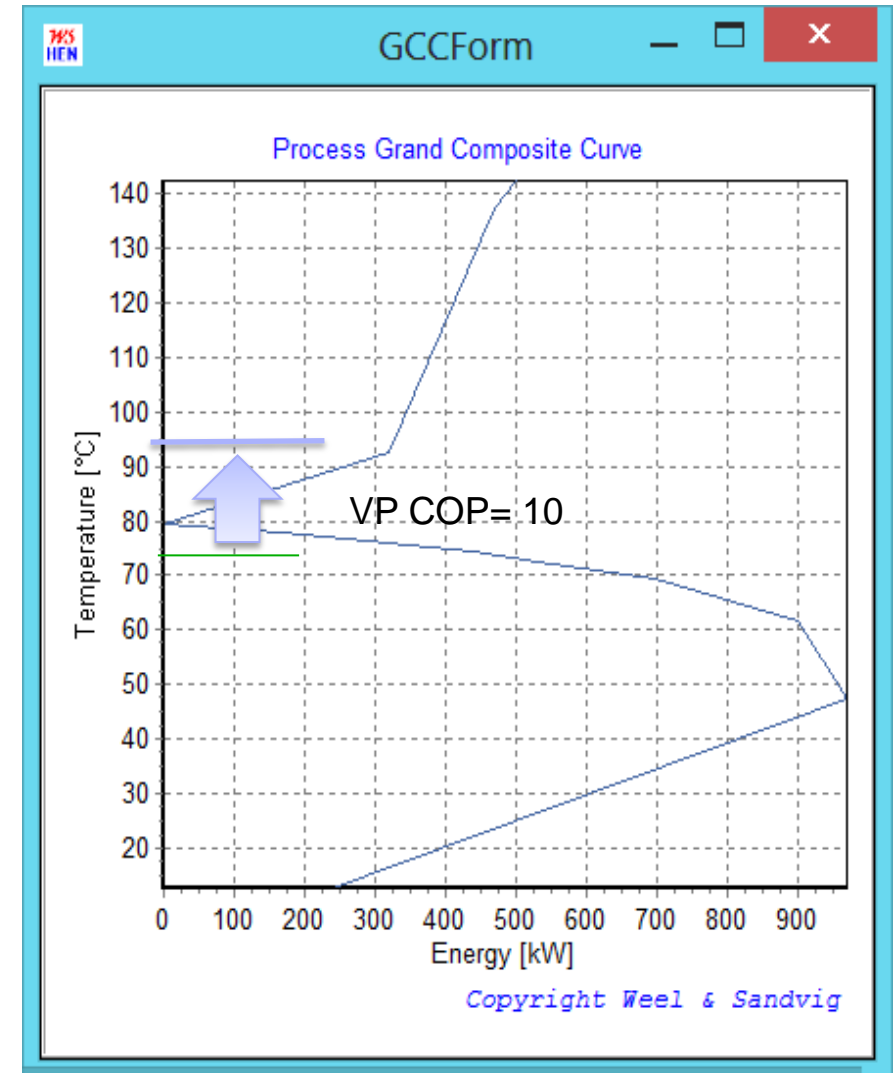
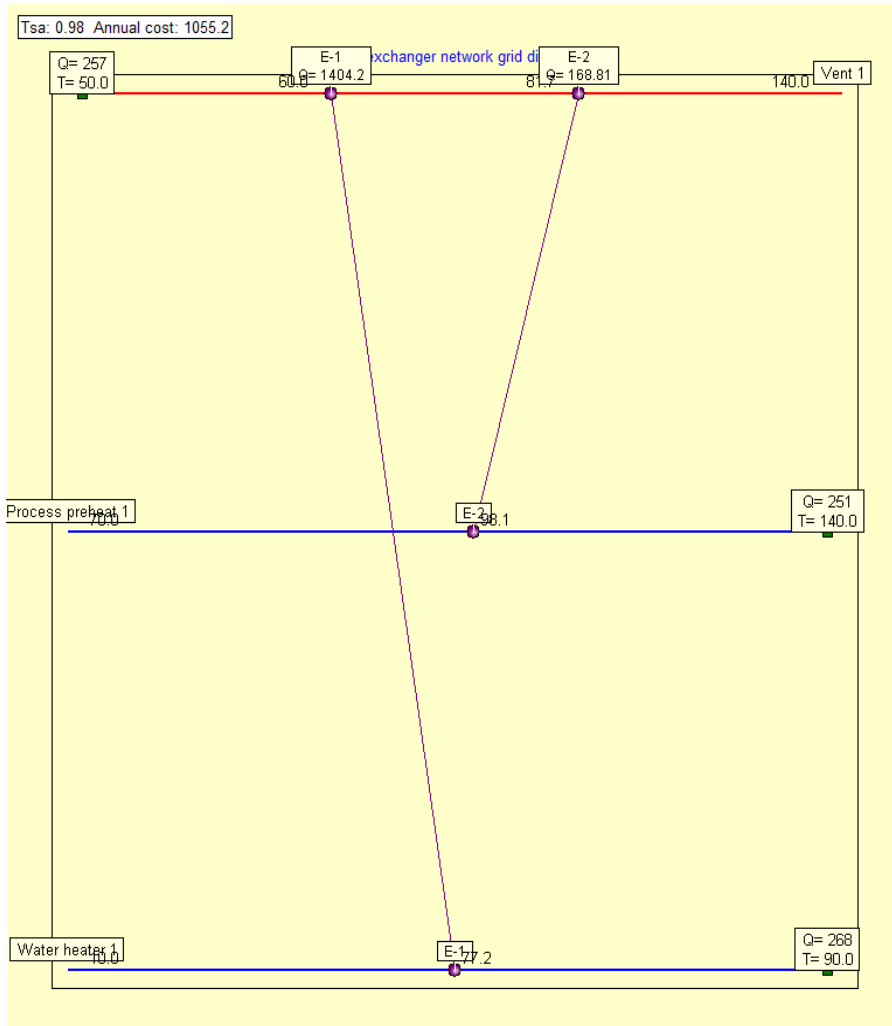
Energimål ved $dT = 10\text{ C}$

Q=500 kW



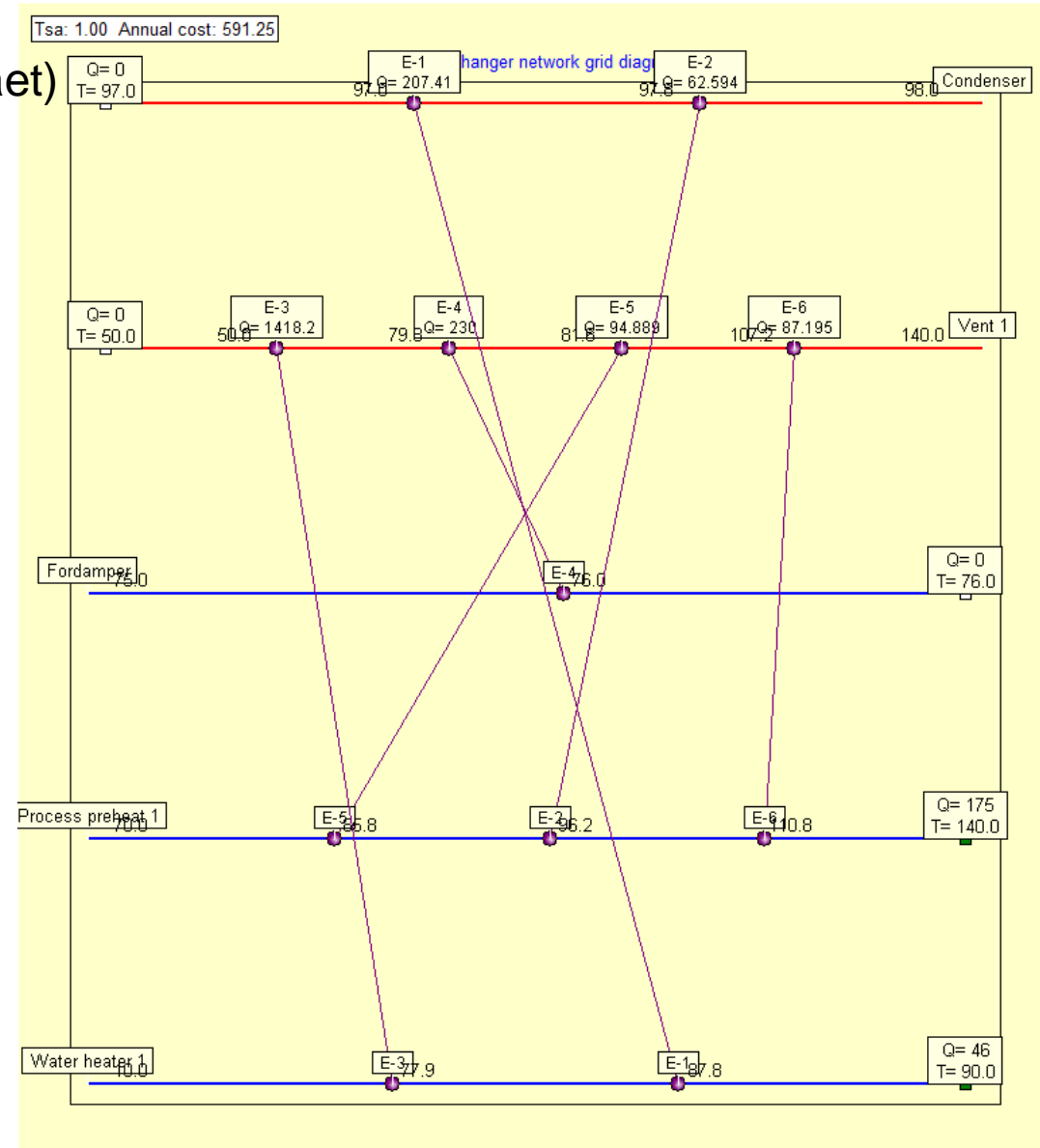
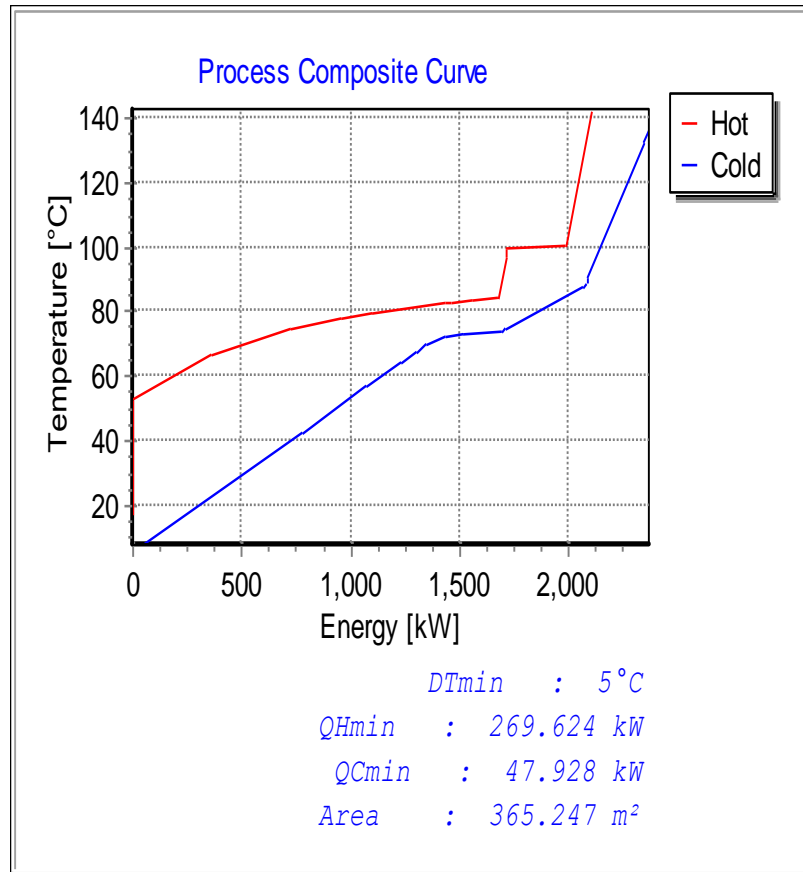
Varmeveksler netværksoptimering

Optimering: (Minimer kapital og energiomkostninger over periode på f.eks. 6 år)
 Løsning med to varmevekslere kan opfylde energimål på 500 kW

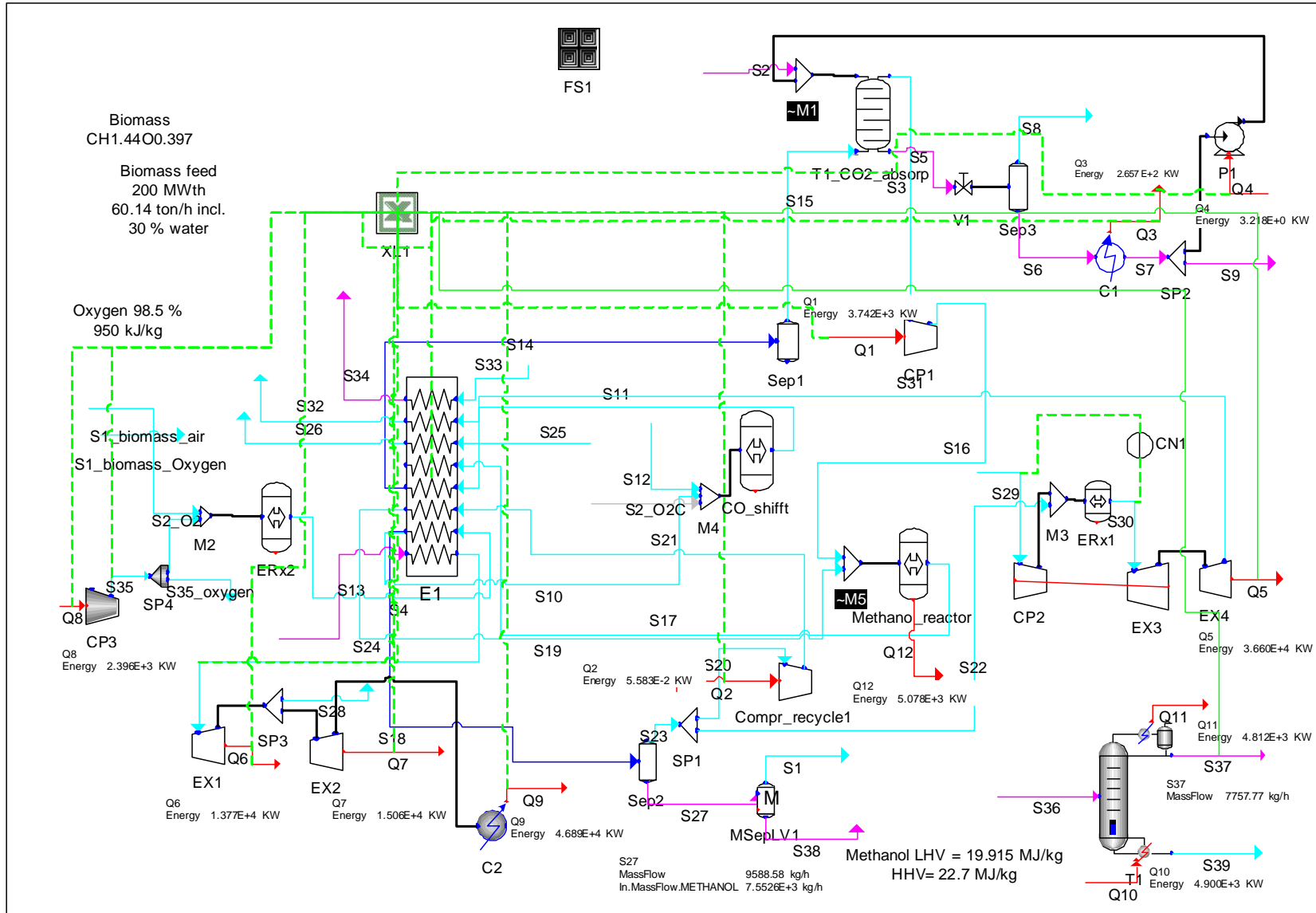


Varmepumpe integration

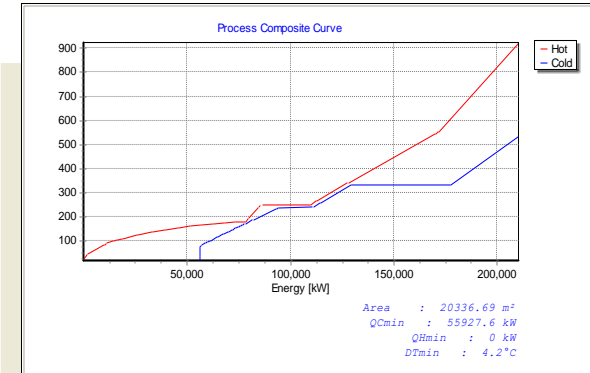
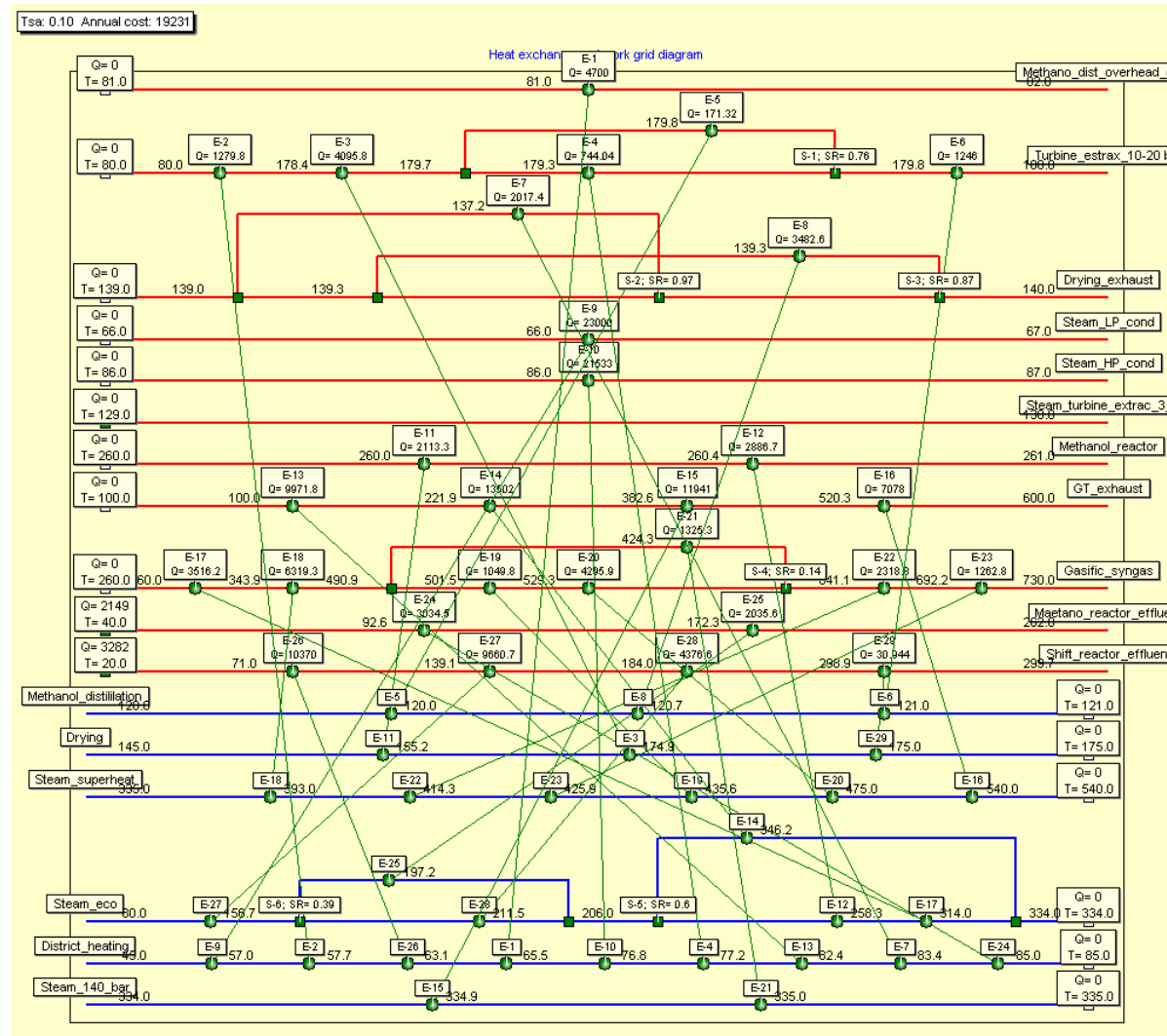
Kræver 6 vekslere inklusive VP
 Fordamper og kondensator opfylder
 Energimål på 269 kW (221 kW opnået)



Eksempel Biomasse til Methanol Process flow conceptual



Metanol proces heat exchanger net-work 10 – 20 % forbedring er opnået i forhold til eksisterende ved bedre energiintegration



Total investment cost	1000 DKK	83690.55
Total annual cost	1000 DKK/y	19230.69
Total annual energy cost	1000 DKK/y	10861.64
Total annual heat exchanger	1000 DKK/y	8369.055
Total annual utility invest.	1000 DKK/y	0
Total hot utility	kW	0
Existing hot utility	kW	0
Heat saving	kW	0
Total cold utility	kW	5430.819
Existing cold utility	kW	0
Cooling saving	kW	-5430.819
Value of energy savings	1000 DKK/y	-10861.64
Pay back period	yr	1000
Total Heat exchangers		29
Total splits		2
Total heat recovery	kW	159358.3
Total heat exchange area	m ²	21700.26
Annualisation factor		0.1
Penalty costs	1000 DKK/y	0