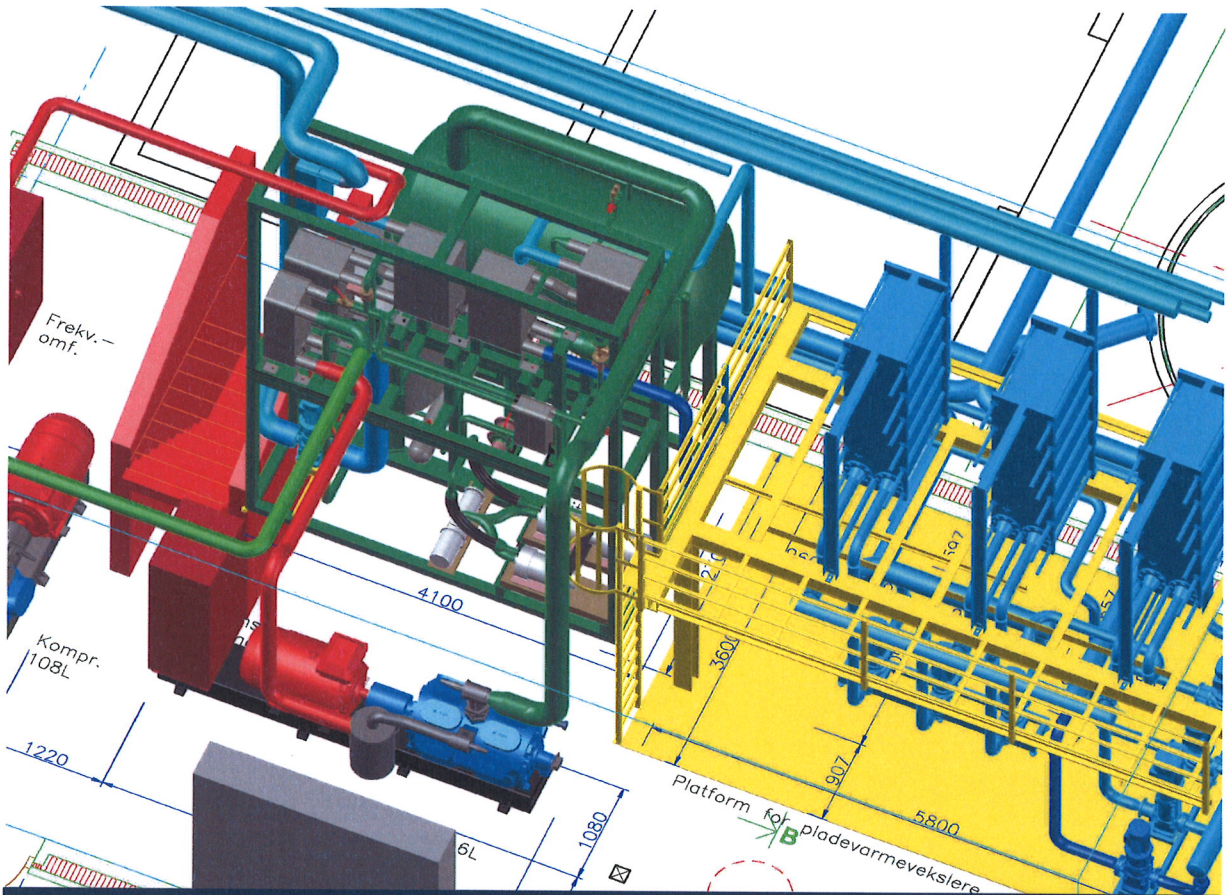


Utilization of low grade industrial waste energy by means of new emerging high temperature heat pumps



EUDP project: 64010-0026

Projektdeltagere: Århus Slagtehus, Arla, Thise Mejeri, SPX APV, Teknologisk Institut og Industri Montage samt Grontmij A/S

Rapport juli 2013



TEKNOLOGISK
INSTITUT



INDHOLDSFORTEGNELSE		SIDE
1	KONKLUSIONER	3
2	PROJEKTETS RAMMER	4
3	OPDRAGET	5
4	ARBEJDSMETODE	6
5	OM BAGGRUNDEN FOR PROJEKTET	8
6	DELTAGENDE VIRKSOMHEDER	11
	6.1.1 Arla Foods	11
	6.1.2 Århus Slagtehus	12
	6.1.3 Thise Mejeri	12
	6.1.4 SPX APV	12
	6.1.5 Industri Montage	13
	6.1.6 Teknologisk Institut	13
	6.1.7 Grontmij	13
7	EKSISTERENDE VARMEPUMPEAPPLIKATIONER	14
	7.1.1 Ammoniak	14
	7.1.2 Kuldioxid	15
	7.1.3 Hybrid	15
	7.1.4 Vand	16
	7.1.5 Kulbrinter (HC)	17
8	SAMMENLIGNING MELLEML DE FORSKELLIGE APPLIKATIONER	18
9	SAMMENLIGNING MED ANDRE OPVARMNINGSMETODER	19
10	SCREENINGSVÆRKTØJ	20
10.1	Forudsætninger for programmet	20
10.2	Sammenligningsparameter	21
10.3	Sammenligningsgrundlag	21
10.4	Antagelser	23
	10.4.1 CO ₂	23
	10.4.2 NH ₃	24
	10.4.3 H ₂ O	26
	10.4.4 R600a	27
	10.4.5 Hybrid	27

10.5	COP-skema for varmepumpeteknologierne	28
10.5.1	Programmet	32
10.5.2	Begrænsninger i screeningsprogrammet	36
11	BARRIERER FOR VARMEPUMPER	36
12	UNDERSØGELSER PÅ SITE	36
12.1.1	Århus Slagtehus	36
12.1.2	Thise Mejeri	38
12.1.3	SPX APV	39
12.1.4	Arla	39
13	DEMONSTRATIONSANLÆGGET	42
14	HENVISNINGER	47
14.1	EUDP-projekter	47
14.2	Rapporter	47
15	FORMIDLING	47
	BILAG 1: HVAD ER EN VARMEPUMPE	49

1 KONKLUSIONER

Projektets overordnede formål er at fremme brugen af højtemperatur varmepumper i Danmark.

Projektet blev startet op i august 2010, og ved projektets afslutning er der installeret en 1,24 MW varmepumpe ved Arlas mælkepulverfabrik Arinco i Videbæk.

Varmepumpeløsningen og de energibesparende foranstaltninger der er iværksat sparer årligt Arinco for knap 14 mio. kWh og atmosfæren for 1.150 tons CO₂.

Disse tal samt en tilbagebetalingstid på 2,3 år (1,5 år med tilskud indregnet) viser, at store industrielle varmepumper rigtigt anvendt vil være en god forretning for såvel virksomheder som samfundet.

En anden konklusion fra projektet er, at engineering, design, opbygning, commissioning og drift af et varmepumpeanlæg helt er at sammenligne med et almindeligt køleanlæg.

Da projektet startede, fandtes der stort set ingen store varmepumpeanlæg i Danmark. I dag er adskillige pumper sat i gang, flere projekter er i færd med at blive igangsat – og mange er i støbeskeen. Dette er ikke (udelukkende) dette projekts fortjeneste, men – i al beskedenhed – har projektet været medvirkende, og flere af projektdeltagerne er nu involveret i andre projekter med store varmepumper.

Det er vores indtryk, at det har været centralt, at emnet blev sat på dagsordenen, at viden om varmepumper blev udbredt, og at nogen gik foran og dermed har været en inspiration for andre.

Projektet har også til formål at udvikle værktøjer, der kan anskueliggøre, hvilke(n) type teknologi der er relevant, hvilken størrelse COP der kan forventes, og hvad en sandsynlig tilbagebetalingstid kan være. Denne del har ikke været så vellykket. Det er ikke vanskeligt at sammenligne traditionelle ammoniak- og CO₂-anlæg. Men det er ikke lykkedes os at finde en 'retfærdig' måde at bringe hybrid-anlæg ind i værktøjet.

Projektet har arbejdet ud fra devisen om at

1. Minimere energibehovet
2. Varmeveksle, hvor det er muligt
3. Overveje, om en varmepumpe er den bedste løsning til det varmebehov, der er tilbage.

På denne måde sættes varmepumpen ind i en generel energibesparelseskontekst, som vi opfatter som vigtig. En varmepumpe valgt ud fra et nugældende behov kan vise sig at være for stor, og investeringen vil derefter kunne blokere for senere energibesparende tiltag.

Eller udtrykt med Poul Erik Madsens (Arla) ord:
'Havde vi ikke været med i dette projekt, havde vi haft en varmepumpe et år tidligere.
Og tak for det – den ville have været på 2,4 MW, nu fik vi en, der kan det samme,
men er på 1,2 MW'.

Forskellen ligger i de interne procesoptimeringer, som blev foretaget inden investeringen.

Via disse procesoptimeringer og implementeringen af varmepumpe har Arla fået en dokumenteret energibesparelse på lige under 15 mio. kWh/år.

2 PROJEKTETS RAMMER

Som titlen fortæller, handler dette projekt om udnyttelse af industriel overskudsvarme ved hjælp af varmepumper, der er i stand til at levere vand ved høje temperaturer.

I den oprindelige ansøgning blev der både set på varmepumper til procesvarme og til rumopvarmning (fjernvarme). Da den tildelte støtte krævede justeringer, blev projektet indsnævret til udelukkende at se på anlæg anvendt til procesvarme.

Dette betragter vi i dag som en fornuftig indsnævring. Herved kom projektet til at fokusere på at få et demonstrationsanlæg op at stå – det kom til at handle om at udnytte en overskudsvarme internt på en virksomhed til proces. Således beskæftiger projektet sig kun perifert med de barrierer/udfordringer, som afgiftssystemer, selskabsstrukturer m.m. medfører.

Hovedsigtet med projektet har været at få etableret et demonstrationsanlæg, der skulle opfylde kravene:

1. Varmekapacitet på over 500 kW
2. Varmtvandstemperatur over 85 °C
3. Naturlige kølemidler.

Desuden har vi kun set på elektrisk drevne varmepumper.

Det første krav er ikke i sig selv nogen udfordring – der findes mange anlæg, hvor varmebehovet er i den størrelsesorden.

Det andet krav er derimod en udfordring. Traditionelt har varmepumper med naturlige kølemidler ikke kunnet levere højere vandtemperaturer end ca. 70 °C.

At der skal anvendes naturlige kølemidler er for en dansker naturligt – for HFC-freoner, som er alternativet, har Danmark en maksimumsgrænse på 10 kg kølemiddel, og det vil være langt overskredet med en kapacitet på 500 kW. I andre lande med anden lovgivning vil valget af naturlige kølemidler være knap så indlysende.

Godt midtvejs i projektet blev Arlas mælkepulverfabrik Arinco i Videbæk valgt til demonstrationsanlæg. Her er nu etableret en 1,24 MW varmepumpe.

Det skal pointeres, at det i projektet har været en forudsætning, at et demonstrationsprojekt skal køre på rent kommercielle vilkår – projektets bidrag har alene været i forbindelse med feasibility studier. Demonstrationsanlægget er således købt og bliver drevet på almindelige kommercielle vilkår – på nær at projektet har bidraget med et par ekstra måleinstrumenter af hensyn til en kommende dokumentation af driften.

3 OPDRAGET

Projektets formål er defineret således:

The project objective is to accelerate the implementation of new large (> 500 kW) high-temperature heat pumps by means of full-scale demonstration. The new heat pump solutions can produce heat at 95-150 °C (e.g. water), which makes it possible to utilize industrial waste heat for process heating in new, interesting ways. In Denmark, 5000 TJ/year can be recovered from industrial processes according to recently published reports, which initially forms the energy savings potential for the project. Although many other factors besides heat pump technology influence the feasibility of such technology, these new products will through the combination of high output temperature, refrigerant type and size of commercially available heat pumps, dismantle some of the existing heat pump barriers. The constituted project group ensures that all aspects of the market potential for this technology will be enlightened, analyzed and disseminated.

Projektet er delt op i 2 hoveddele:

1. En undersøgelse af eksisterende varmepumpesystemer
2. Et feasibility studie, der resulterer i et demonstrationsprojekt.

Det er projektets opgave at opstille en kortlægning af de forskellige varmepumpeteknologier. Det betyder, at vi har undersøgt:

- Hvilke der teknologier findes
- Hvor de enkelte teknologier har deres styrke og svagheder (sammenligning mellem effektfaktorer, COP)
- Hvilket besparelspotentiale der er ved sammenligning mellem en varmepumpe og alternativ opvarmning (oliefyr, gasfyr, el-varme, fjernvarme).

Vores overordnede mål har, udtryk lidt populært, været, at et feasibility studie ikke skal tage 1 år, men 1 måned, ikke skal koste en million, men 100.000 kr.

Ansøgningen tog i sin tid udgangspunkt i en monoskruekompressor fra Vilter med ammoniak som kølemiddel, der er i stand til at levere tryk, der er ensbetydende med, at der kan opnås vandtemperaturer på op mod 100 ° C. Efter starten af projektet blev vi opmærksomme på det norske firma Hybrid-Energi, der med et anlæg, som kører på en blanding af ammoniak og vand, vil være i stand til at levere endnu højere vandtemperaturer.

Som en sideeffekt af projektet har Industri Montage i dag fået agentur på at levere Hybrid-Energis anlæg i Danmark, og de skriver i deres beretning:

Vi ser især et nyt marked for energigenvinding fra industrielle processer og har på det grundlag indgået en samarbejdsaftale med Hybrid Energi om salg og markedsføring af Hybridvarmepumpen. Denne varmepumpe kan opbygges med for firmaet kendte materialer og komponenter. Hybridvarmepumpen bringer firmaet i en unik position for at udføre varmegenkendingsopgaver fra processindustrien og tilføre energien til fjernvarmesystemer.

Parallelt hermed har ICS-Energy i Gundsømagle indgået aftale med Vilter/Star Refrigeration (Skotland) om agentur på monoskrue varmepumper. Dette tillader vi os også at betragte som en sideeffekt af dette EUDP-projekt.

Parallelt med dette projekt findes flere andre EUDP-projekter med beslægtede emner – fx Deltagelse i Joint IEA/IETS Annex 35/13 "Application of Industrial Heat Pumps" j-nr. 64011-0034 og Ultra-høj-temperatur varmepumpe j-nr. 64011-0351.

4 ARBEJDSMETODE

Generelt kan det siges, at vi opfatter projektet som et bidrag til debatten om at gøre Danmark fri af fossile brændstoffer 2050.

Det betyder, at projektgruppen har set det som et væsentligt mål at få et demonstrationsanlæg op at køre – men ikke for enhver pris.

Derfor blev det fra starten af projektet besluttet, at ved de screeninger, der blev foretaget, skulle prioriteringen være:

1. Spare på energien
2. Varmeveksle, hvor dette er muligt
3. Først derefter kan det overvejes, om en varmepumpe vil være relevant.
Her handler det om at se på, hvilken varmekilde er til rådighed, og hvor varme kan afleveres: temperaturer, kapaciteter, samtidighed, afstande ...

Dette betyder, at screeningen eller energikortlægningen har til formål at:

- Give overblik over forbrug af energikilder
- Danne grundlag for indsatsområder og besparelser

- Skabe nøgletal til brug i den daglige drift.

Selve målingerne for at finde energistrømmene har været de samme for de forskellige anlæg, men da de produktionsvirksomheder, der er involveret, er meget forskellige, er der anvendt forskellige redskaber til at illustrere energistrømmene.

Det er sket for anvendelighedens skyld, men afspejler også, at ansvarlig anvendelse af varmepumper kræver konkret kendskab til de processer, hvor de tilkøbes.

For Århus Slagtehus' vedkommende har vi fundet, at et Sankey-diagram for hhv. den kolde side og for den varme side er velegnet. Produktionen er meget ensartet, hvilket betyder, at der kun er små udsving i energibehovet i løbet af arbejdsdagen. Samtidig heden mellem hhv. varme- og kuldebehov er derfor ikke en barriere her.

Gennemgangen af varmebehovet ved Århus Slagtehus resulterede i, at varmebehovet kom et stykke under 500 kW, og dermed diskvalificerede vores screening denne virksomhed som demo-site.

Thise Mejeri har mange produkter og en meget varieret produktion. Der er næppe to dage, der har helt samme profil for energibehovet. Derfor har vi her primært benyttet de direkte tidsrelaterede målinger.

Arlas produktion ved Arinco er seriebaseret, men arbejdende med variationer specielt over døgnet. Her er anvendt lagkagediagrammer – hvor første del af opgaven – at spare på energien – handler om at minimere størrelsen af lagkagen.

Til anden del er der anvendt pinch-analyse for at identificere, hvor meget energi der er påkrævet, og ved hvilke temperaturer. Dette redskab anvendes til at optimere anvendelsen af varmeveksling internt i processen.

5 OM BAGGRUNDEN FOR PROJEKTET

Projektet tager afsæt i forskellige rapporter/undersøgelser, som er kommet inden for de sidste år.



I rapporten *Virksomhedsrentabel udnyttelse af overskudsvarme* (Energistyrelsen, 2009) afdækkes, at der i Danmark er et overskudsvarmeproduktion på ca. 160.000 TJ/år.

Af denne vurderes, at det er rentabelt at genanvende ca. 5.000 TJ/år i dag (2009).

I denne rapport er der ikke taget hensyn til anvendelse af højtemperatur varmepumper – således er der for eksempel kun taget højde for genanvendelse af overhedningsvarme fra kølekompressorer, der producerer en stor mængde energi på 20°- 40° C, som bortledes via kondensatorer, og som via varmepumpe kan nyttiggøres.

Tilsvarende har rapporten i forbindelse med ammoniakvarmepumper taget den forudsætning, at højeste opnåelige vandtemperatur er ca. 60 °C. Derfor er der kun opereret med opvarmning af returvand i fjernvarmesystemet.

For transkritiske CO₂-anlæg antages vandtemperaturer op til 95 °C, men med meget store investeringsomkostninger.

Forudsætningerne er i dag væsentligt ændret – kommercielt tilgængelige ammoniakvarmepumper kan levere vand til 95 °C, og kompressorer til transkritisk CO₂ er i dag væsentlig større, end de var, da rapporten blev skrevet.

Dette ændrer ikke ved størrelsen af den potentielle overskudsvarmeproduktion, men det udfordrer vurderingen af, at kun 3 % er rentabelt at genanvende.

Varmeplan Danmark 2010 (Rambøll, 2010) anbefaler en udvidelse af fjernvarmeforsyningen til ca. 70 %. Samtidig påpeger rapporten, at 'fjernvarme er vigtig i 100 % VE-systemer, da det kan mindske presset på biomasseressourcen ved at udnytte varme fra storskala solvarme, varmepumper i fjernvarmeområder, industriel overskudsvarme, geotermi og affaldsforbrænding.' (side 10).

Konklusionen af disse to rapporter er således, at

- Danmark har et væsentligt potentiel i form af uudnyttet industriel overskudsvarme
- Danmark har et ønske om at udvide fjernvarmenettet.

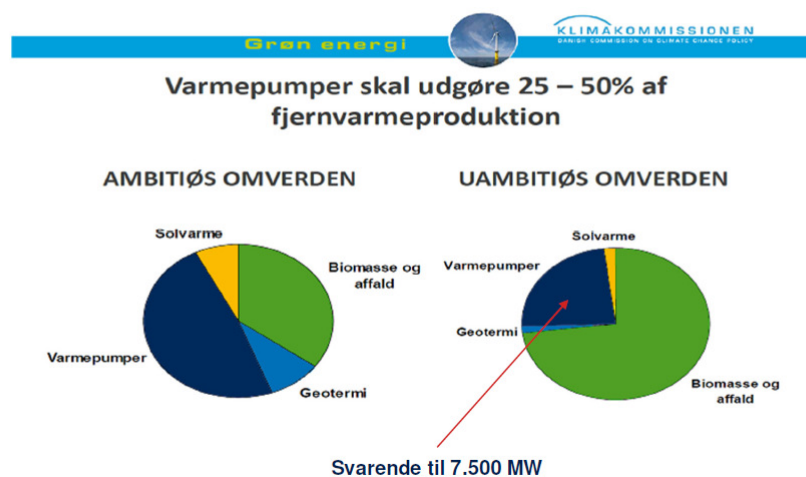


I september 2010 udkom Klimakommissionens rapport, der anviser veje til, at Danmark kan blive uafhængig af fossile brændstoffer i 2050. I rapporten anbefales bl.a.:

- Nye anlægskoncepter for fjernvarme kan afprøves
- Varmepumper i fjernvarmeforsyningen skal fremmes.

I forbindelse med rapporten har kommissionens formand Katharine Richardson estimeret varmepumpernes fremtidige rolle i fjernvarmeproduktionen, som det ses i nedenstående slide:

Varmepumpens rolle



Uanset om varmepumperne skal udgøre 25 % eller 50 % eller en helt anden procent, indikeres, at varmepumper vil få en central position i fremtidens varmeforsyning.

Dette står i kontrast til, at der i dag kun er installeret ganske få MW industrielle varmepumper. Da projektet startede i 2010, var det største anlæg et i Frederikshavn på knap 1 MW. I dag er der installeret flere anlæg – bl.a. et 3,6 MW anlæg ved Grundfos. Desuden er der de sidste år installeret ca. 40.000 husstandsvarmepumper, primært som erstatning for oliefyr.

For god ordens skyld skal nævnes, at både den tidligere og den nuværende regering er enige i Klimakommissionens overordnede mål: at Danmark skal være uafhængig af fossile brændstoffer senest i 2050.

Samtidig er Danmark privilegeret, idet

- Danmark er førende på vindenergi
- Danmark har et af verdens mest udbyggede fjernvarmesystemer
- Danmark traditionelt har haft en førerposition på industriel køl.

Det sidste er interessant her, idet en varmepumpe og et køleanlæg er det samme. Den eneste forskel består i, hvor styresignalet kommer fra. Kommer det fra den varme side, er det en varmepumpe. Kommer det fra den kolde side, er det et køleanlæg.

Uafhængigt af de nævnte rapporter er der sket en teknologisk udvikling inden for varmepumper i de sidste 5 år. Tidligere blev den øvre grænse for varmvandstemperatur fra en varmepumpe sat til ca. 70 °C. I dag er det kommercielt muligt at få varmepumper – drevet af naturlige kølemidler – der kan levere vandtemperaturer på op til 130 °C.

Der er således et stort forventet behov for varmepumper, men stort set ingen danske erfaringer med industrielle varmepumper.

Det er dette forhold, der har inspireret til dette projekt og dets hovedformål: at få implementeret højtemperatur varmepumper.

Projektet er afgrænset til at beskæftige sig med varmepumper, der udnytter industriel overskudsvarme og anvender varmen til procesvarme. Altså intern anvendelse på egen matrikel.

Årsagen til dette ligger i, at det danske skatte- og afgiftssystem skelner mellem varme anvendt til proces (ikke afgiftsbelagt) og til rumopvarmning (afgiftsbelagt), samt at Varmeforsyningsloven sætter begrænsninger for, hvad forsyningsselskaber kan og må.

Det er således for at forsimple problematikken til tekniske spørgsmål om, hvad en stor industriel varmepumpe kan, og for at få danske erfaringer med en sådan størrelse, at projektet er indsnævret. Der er i projektgruppen enighed om, at det største potentiale for store varmepumper netop ligger i at koble disse på fjernvarmen.

6 DELTAGENDE VIRKSOMHEDER

Et centralt tema for projektet har været at bringe forskellige virksomheder med komplementære interesser og kvalifikationer sammen.

De deltagende virksomheder er: Arla Foods, Århus Slagtehus, Thise Mejeri, Anhydro (der har skiftet navn til SPX APV), Industri Montage, Teknologisk Institut og Grontmij | Carl Bro (nu Grontmij).

6.1.1 Arla Foods



Arla Foods' interesse i projektet er en undersøgelse af mulighederne for at inkorporere varmepumper i deres eksisterende produktion, bl.a. for herigennem at kunne styrke deres aktiviteter inden for energieffektivitet. Arla har derfor foretaget et større internt screeningsarbejde, der har ledt til identifikation af nogle mulige forsøgssites.

Et kendetegn for Arla er, at hver produktionsenhed har sin egen serielignende produktion. På Rødkærsbro produceres fx mozzarella, på Arinco mælkepulver.

6.1.2 Århus Slagtehus



Århus Slagtehus anvender damp fra en nabovirksomhed til varmeproduktionen. Deres interesse er en reduktion af varmeudgifterne. Screeningen har afsløret nogle besparelspotentialer, der gør, at det potentielle varmebehov på virksomheden er mindre end de 500 kW, som er projektets minimumsgrænse. En delrapport er vedlagt som bilag.

Århus Slagtehus slagter dagligt ca. 380 køer i en serielignende produktion.

6.1.3 Thise Mejeri



Thise Mejeri har et ønske om at optimere energiforbruget samt styrke deres grønne profil.

Thise har et meget stort sortiment af varer, der produceres i batch. Den ene dags produktion ligner derfor ikke den næste dags, hvorfor energibehovet veksler meget både over dag og over uge.

6.1.4 SPX APV



SPX APV laver skræddersyede indtørringssystemer – systemer, der er meget varme- forbrugende. Deres interesse er energioptimering på deres linjer, altså at kunne supplere deres produktsortiment.

6.1.5 Industri Montage



Industri Montage er en af de største køle- og varmepumpefirmaer i Danmark. De har i løbet af projektet indgået handelsaftale med Hybrid-Energy i Norge. I ansøgningsgruppen ønskede vi ikke en leverandørrepræsentant for mere frit at kunne vurdere de forskellige teknologier. Vi er derfor opmærksomme på, at relationen mellem Industri Montage og Hybrid-Energy kunne give slagside. Samtidig må vi også glæde os, idet et udkomme af projektet gerne skulle være flere varmepumper, og det kræver jo tæt samarbejde mellem de forskellige interessenter.

6.1.6 Teknologisk Institut



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Teknologisk Institut har stået for målinger og analyser af resultaterne. Desuden bidrager de til screeningsværktøjet.

6.1.7 Grontmij



Grontmij står som projektleder. Desuden bidrager de til screeningsværktøjet. Firmaet har internt besluttet, at varmepumper (i alle størrelse) skal være et fremtidigt indsatsområde.

7 EKSISTERENDE VARMEPUMPEAPPLIKATIONER

Der er i projektet kun set på varmepumper med de naturlige kølemidler:

- R717 (ammoniak)
- R744 (CO₂)
- Hybrid (kombination af ammoniak og vand)
- R718 (vand)
- HC (kulbrinter, fx isobutan).

Projektet fokuserer på anlæg, der kan levere højtemperaturløsninger, hvilket her er defineret som vandtemperatur > 85 °C.

Desuden er fokus på anlæg med en kapacitet over 500 kW.

7.1.1 Ammoniak

Traditionelt har R717 ikke være egnet til varmepumpedrift, når vandtemperaturen skulle være over 70 °C. De høje temperaturer modsvares også af høje tryk, og komponenterne til dette har traditionelt ikke været lagervarer.

I de sidste år er anlæg til 40/50/65 bar blevet standard varer – om end dyrere end normale køleanlæg.

I dag bygges R717-kompressorer (og andre komponenter) til de høje tryk, og det åbner nye muligheder.

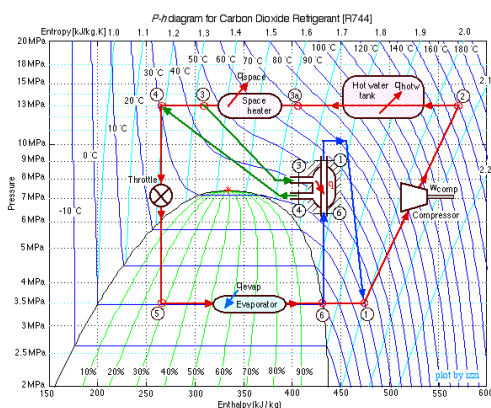
Teknisk er et R717-anlæg helt at sammenligne med et traditionelt køleanlæg – blot er temperaturerne og trykkene højere, og det er kondenseringsiden, der har interesse.



7.1.2 Kuldioxid

At R744 er et glimrende kølemiddel, har længe været kendt. Her er en af udfordringerne, at 500 kW ligger langt over, hvad en R744-kompressor kan levere. Nye højtydende kompressorer bliver lanceret i disse år, men det vil stadig være nødvendigt at have flere kompressorer i parallel.

Teknisk bliver en R744 varmepumpe et transkritisk system, hvilket bl.a. betyder, at trykkene bliver høje (op mod 120 bar).



7.1.3 Hybrid

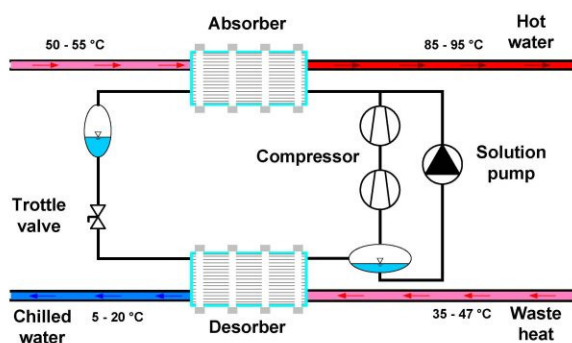
Hybrid er en blanding af ammoniak og vand, hvor det udnyttes, at blandingen har højere kogepunkt end ren ammoniak. De to stoffer blandes i absorberen, hvorved temperaturen stiger, og skilles i desorberen.

Derfor vil denne type anlæg have et temperaturlid på både kondensator- (absorber) og fordamper- (desorber) siden. Dette, samt det forhold at blandingsforholdet mellem ammoniak og vand er afgørende for temperaturerne, gør det vanskeligt at sammenligne denne proces med de øvrige processer.

Processen bag hybrid er en Osenbrück-kreds. Denne type anlæg har været kendt længe, men det er først inden for de sidste 10 år, at det har været udnyttet kommercielt. Det er således en 'ny' proces med 6 kørende anlæg i Norge (alle over 500 kW – det ældste med over 20.000 timer på bagen).

En fordel ved denne type anlæg er, at der kan anvendes 25 bar komponenter (almindelig standard kølekompressor) trods den høje temperatur.

Demonstrationsanlægget ved Arla er et hybrid-anlæg.



7.1.4 Vand

Mekaniske dampkompressionssystemer har været i brug i mange år i de såkaldte MVR-processer (Mechanical Vapour Recompression), men kun ganske få anlæg har haft et temperaturløft på mere end 20-30 K.

Forskningsinstitutioner som DTI (Danmark) og ILK (Tyskland) arbejder i dag med såvel køle- som varmepumpeteknologi baseret på vanddamp i samarbejde med store internationale firmaer. Teknologien forventes at være kommercielt tilgængelig inden for 5-10 år.

Varmepumpeprocessen baseret på vand som kølemiddel er en standard Carnot-kreds, og systemet fungerer derfor som en ammoniak varmepumpe. Fordelen ved vand som kølemiddel er, at det kritiske punkt ligger ved 370 °C, hvilket er meget højt sammenlignet med andre kølemidler. Det vil derfor være muligt at konstruere en effektiv varmepumpe med en vandkondensering på fx 180 °C (11 bar) eller højere med en fordamningstemperatur ved 100 °C (1 bar). Dette er forhold, der ikke vil være mulige ved anvendelse af andre kølemidler.

Hovedudfordringen er, at der i dag ikke findes standardiserede kompressorer til processen. Desuden er varmevekslerteknologien kun delvist udviklet.



7.1.5 Kulbrinter (HC)

Kulbrinter er eksplosive, og anlæg, der anvender disse som kølemiddel, skal derfor udføres efter Atex-regler.

Når det gælder højtemperaturanlæg vil butan (R600) og isobutan (R600a) være aktuelle. Disse kan udføres som almindelig Rankine-kredsproces.

For både propan (R290) og propylen (R1270) er det kritiske punkt lidt over 90 °C, og hvis disse skulle anvendes, ville det være som transkritiske anlæg. Sådanne anlæg er så vidt vides endnu ikke lavet.

Kulbrinteanlæg kan laves af kobberør.

En ulempe ved kulbrinter er, at densiteten af damp er relativt lav, hvilket betyder, at de volumenmængder, der skal flyttes, er meget store (ca. 4 gange større end ammoniak ved samme kapacitet), og dermed bliver specielt kompressorstørrelserne problematiske.

De varmepumper, der er etableret med kulbrinter som kølemiddel, er mindre end dette projekts grænse på 500 kW.

8 SAMMENLIGNING MELLEM DE FORSKELLIGE APPLIKATIONER

I denne rapport har vi set bort fra R718 (vand) som kølemiddel, fordi denne anlægstype endnu ikke er kommercielt tilgængelig og heller ikke vil blive det i de første par år.

I forbindelse med udviklingen af et screeningsværktøj har vi også set bort fra kulbrinte-løsningen, idet anlægstypen ikke vil være kommercielt tilgængelig til de høje temperaturer, vi arbejder med. Dette ændrer ikke ved, at HC-anlæg kan være relevante for mindre opgaver, specielt ved lavere temperaturer end de 85 °C, der er grænsen for dette projekt.

I projektgruppen var det fra starten et ønske ikke bare at kunne sammenligne de forskellige varmepumpeteknologier, men også at skabe et offentligt tilgængeligt sammenligningsprogram.

Det er relativt uproblematisk at sammenligne R717-, R744- samt HC-anlæg.

De opererer alle med Rankine-kredsproces. Et transkritisk R744-anlæg adskiller sig dog ved, at der ikke sker en kondensering på højtrykssiden, og derfor er der et temperaturglid.

Ved sammenligningen mellem disse anlæg har vi taget udgangspunkt i et DTU-speciale fra Michael Mølgaard Markussen og Stefan Wuust Christensen: *Industriel varmegenvinding med CO₂- og NH₃-baserede varmepumper*.

I dette speciale har forfatterne undersøgt, hvilke parametre der har størst indflydelse på et anlægs COP-værdi. Deres resultat er, at kender man fordampningstemperaturen samt det varme vands temperatur ind og ud, kan man med en sikkerhed på ±10 % sige, hvad COP vil blive.

Dette resultat er baseret på en række antagelser, fx fast isentropisk virkningsgrad, som kan diskuteres. Det må også her nævnes, at erfaringerne med specielt Vilter-pumpen er meget begrænsede.

Men vi mener, at grundideen med, at man via få relativt simple spørgsmål kan identificere de relevante teknologier, er meget væsentlig, og vi har derfor bygget videre på den.

Redskabet skal bruges til hurtigt at identificere de relevante løsningsmodeller.

Det er anderledes med hybrid-processen, som er en Osenbrück-kredsproces. Her vil der være et temperaturglid på både højtryks- og lavtrykssiden. Desuden har denne teknologi en yderligere parameter, blandingsforholdet, som der kan justeres på.

9 SAMMENLIGNING MED ANDRE OPVARMNINGSMETODER

Formålet med en varmepumpe er at producere varmeenergi ved et højt brugbart temperaturniveau vha. varmeenergi fra lavt ubrugbart temperaturniveau og dermed foretage en opvarmning.

Men der findes mange andre metoder til opvarmning, og derfor må en varmepumpe-løsning altid sammenlignes med alternative muligheder.

Sammenligningen skal ske både med øjnene rettet mod

- CO₂-udledningen
- Økonomien og
- Processen.

Ang. CO₂-udledning

En varmepumpe drives normalt af en el-motor, og da CO₂-belastningen for el ligger ca. 3 gange så højt som for naturgas, betyder det, at en varmepumpe skal have en virkningsgrad på minimum 3 for udledningsmæssigt at kunne konkurrere.

Omvendt er CO₂-belastningen fra et flis- eller biogasfyr minimal, og her vil en varmepumpe kun kunne konkurrere, hvis varmepumpen drives af grøn strøm.

Vi har i første omgang valgt at se bort fra CO₂-belastningen. Denne bør implementeres senere i udvælgelsesprogrammet.

Ang. økonomien

Rentabiliteten i et varmepumpeanlæg vil være meget afhængig af de statslige afgifter og af energipriserne.

Vores udvælgelsesværktøj (se nedenfor) forsøger at se over en 5-årig periode. De aktuelle energifgifter med de kendte ændringer, der vil komme de næste 5 år, er inkorporeret. Desuden er energipriserne baseret på gældende priser samt en 5-årig fremskrivning.

I projektets 3-årige periode er der sket store ændringer på afgiftsområdet, og el- og energiprisernes udvikling har været væsentlig anderledes end forventet – primært pga. skifergas.

Der er derfor stor usikkerhed på disse værdier – men det er de bedste skøn, vi kan gøre på nuværende tidspunkt.

Ang. processen

I modsætning til alternativerne har en varmepumpe både en varm og en kold side. Når vi sammenligner varmeydelsen fra en varmepumpe med alternative opvarmingskilder, ser vi bort fra den nyttevirkning, den kolde side har/kan have. Den optimale anvendelse af en varmepumpe er der, hvor der både er brug for den kolde og for den varme side og de to virkningsgrader kan lægges sammen.

Men meget ofte er der ikke særlig god samtidighed mellem behovet for varme og kulde, og derfor vil bufferanordninger til energilagring på den varme og/eller kolde side ofte kunne øge den samlede virkningsgrad for en varmepumpe/køleanlæg betragteligt.

10 SCREENINGSVÆRKTØJ

10.1 Forudsætninger for programmet

Ideen i screeningsværktøjet har været at finde en metode til hurtigt at:

1. Lokalisere, hvilke varmepumpeteknologier der kan være relevante
2. Estimere, hvilken størrelse varme-COP der kan forventes
3. Estimere, hvilken årlig driftsbesparelse der kan forventes.

COP står for Coefficient of Performance og angiver forholdet mellem den energi, der nyttiggøres, og den energi, der bruges. I bilag 1, hvor funktionen af en varmepumpe forklares, er der en uddybning af, hvad COP er.

En varmepumpe/køleanlæg vil have både en varme-COP og en kulde-COP. I denne rapport vil det være varme-COP'en, der henvises til.

Formålet med skemalægning af varmepumpeteknologier er at give erhvervslivet et brugbart værktøj til bestemmelse af, hvilken varmepumpeteknologi der er mest fordelagtig at vælge under de driftsforhold, som en specifik virksomhed kan levere. På nuværende tidspunkt er det for både virksomheder og konsulenter meget besværligt at finde frem til, hvilken teknologi der er bedst at vælge under forskellige driftsforhold. Mange parametre har indflydelse på, hvordan en varmepumpe vil levere under forskellige driftsforhold, og mange oplysninger kan være svære at få fat i. Værktøjet vil ud fra de mest bestemmende parametre forudsige mulige COP-værdier i forskellige driftssituationer. Værktøjet vil derved give virksomheder og konsulenter et godt overblik over, hvilke varmepumpeteknologier der er interessante ud fra de nuværende mulige markedskomponenter. Værktøjet til skemalægning af varmepumpeteknologier udspringer fra et kandidatprojekt skrevet af Michael Mølgaard Markussen og Stefan Wuust Christensen med titlen "Industriell varmegenvinding med CO₂ og NH₃ baserede varmepumper", som har skemalagt CO₂ og NH₃ varmepumpesystemer. Der er i rapporten analyseret de forskellige parametres indflydelse på COP-værdien, og ud fra de samme konklusioner, som findes i rapporten, er de mange parametre skåret ned til nogle få betydningsfulde parametre.

I denne skemalægning af varmepumpeteknologier er det kun naturlige kølemidler, der er fundet interessante at undersøge, da markedet bevæger sig mod udelukkende at benytte disse. Yderligere er grænserne for dette EUDP-projekt sat til undersøgelse af varmepumper, der laver vand på 85 °C eller derover. Derudover er grænserne sat til at være varmepumper med en kapacitet på over 500 kW. Ud fra disse kriterier er følgende varmepumpesystemer fundet interessante at sammenligne.

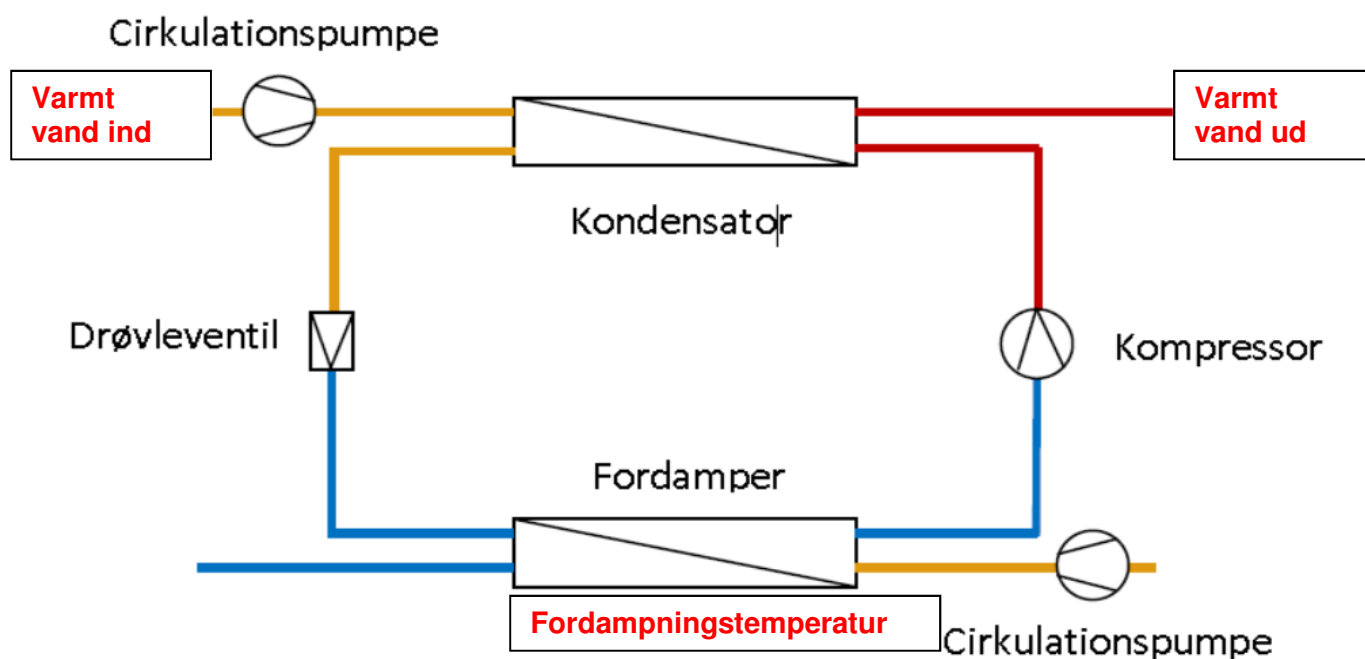
- NH₃ - Et- og tottrins subkritiske varmepumpesystemer
- CO₂ – Ettrins transkritisk varmepumpesystem
- Hybrid – Absorptionsvarmepumpe med NH₃ og H₂O
- H₂O – Et- og tottrins subkritiske varmepumpesystemer
- Isobutan – Et- og tottrins subkritiske varmepumpesystemer
- Kaskade – NH₃ og H₂O.

10.2 Sammenligningsparameter

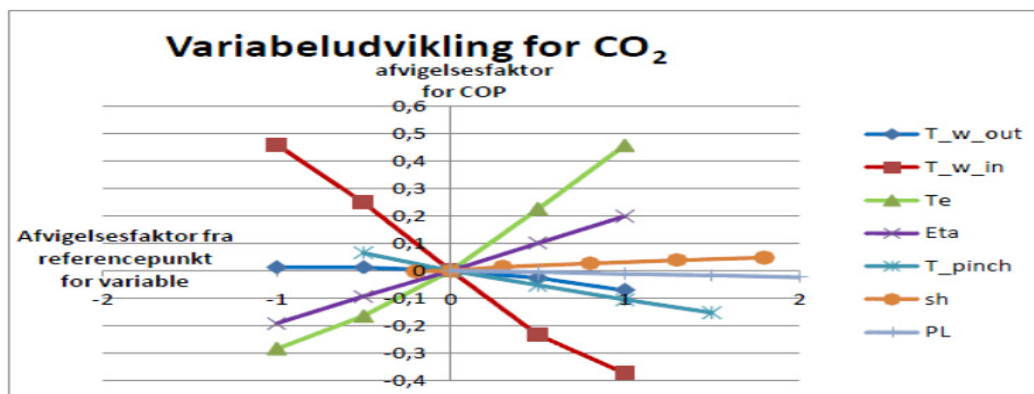
Den generelle måde at sammenligne varmepumpers effektivitet på er ved at sammenligne varme-COP-værdier. Dette vælges derfor også som sammenligningsparameteren i dette EUDP-projekt. COP er i dette projekt defineret som forholdet mellem den producerede varmeydelse og det reelle energiforbrug i kompressoren, dvs. inklusive energitab i motoren. Energiforbruget til distribution af vandet på vandsiden i COP-værdien er ikke inddraget i dette projekt.

10.3 Sammenligningsgrundlag

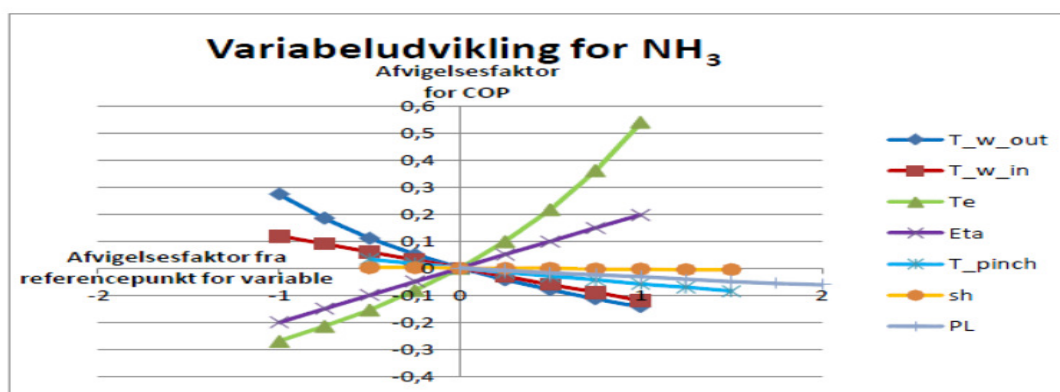
De nævnte varmepumpetyper er vidt forskelligt opbygget, og det kan derved være svært at finde et sammenligningsgrundlag, der er 'fair' for alle varmepumpeteknologierne. I Markussen/Christensens rapport blev det vist, at en sammenligning af varmepumpesystemer med fordel kan skæres ned til at variere på tre forskellige parametre. Disse parametre er fordampningstemperaturen, indløbstemperaturen på det vand, man vil opvarme, samt udløbstemperaturen på denne vandstrøm. Se nedenstående tegning.



Figur 1: Principskitse af en simpel varmepumpeproces



Figur 40: Variation i COP for CO₂ mht. ændring i de forskellige variable. Denne variation er for referencepunkt 1.



Figur 41: Variation i COP for NH₃ mht. ændring i de forskellige variable. Denne variation er for referencepunkt 1.

Man skal dog være opmærksom på, at det for hybrid ikke er helt korrekt at sammenligne med en fordampningstemperatur. For hybrid vil der være glid på fordampningstemperaturen, og det er derfor nødvendigt at kigge på de temperaturer, man har til rådighed i den specifikke virksomhed.

Det antages, at temperaturen på varmepumpens varmekilde (den kolde side) er mindre end indløbstemperaturen på det vand, som man ønsker opvarmet. Hvis dette ikke er tilfældet, vil en simpel varmeveksling mellem indløbstemperaturen og den energikilde, der er til rådighed, være det mest optimale.

Det vil for CO₂ og R600a være muligt at benytte energikilden til at producere overhedning, da dette giver en anelse bedre COP, men der er i dette projekt set bort fra denne mulighed. Det forudsættes, at den nødvendige overhedning kan laves med en intern varmeveksler.

For NH_3 , H_2O og kaskade forbedrer overhedning ikke COP-værdien, og indløbstemperaturen på energikilden ($T_{ind,kv}$) har derved kun indflydelse på fordampers areal. I tilfælde med totrinsanlæg og meget store temperaturfald kan det tænkes, at $T_{ind,kv}$ først vil kunne afkøles over en fordamper ved mellemtrykket. I denne situation vil $T_{ind,kv}$ have en væsentlig betydning for COP-værdien. For simplifikationens skyld ses der bort fra dette specialtilfælde.

Ved at lave disse antagelser er $T_{ind,kv}$ ikke bestemmende for den opnåelige COP-værdi i varmepumpesystemerne NH_3 , CO_2 , H_2O , isobutan og kaskade.

For et hybrid varmepumpesystem er $T_{ind,kv}$ stadig en interessant parameter, eftersom der forekommer glid i fordampningstemperaturen. For at komme uden om dette undersøges hybrid for en lille og en stor temperaturreduktion på koldsiden for at se glidets indflydelse på COP-værdien.

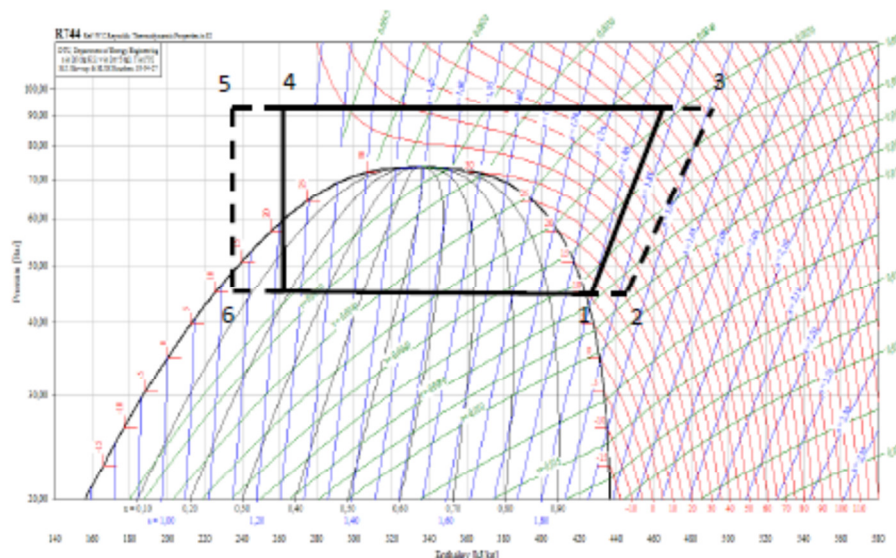
Udløbstemperaturen på energikilden er direkte afhængig af fordampningstemperaturen, og da der skrues på fordampningstemperaturen, ses der bort fra udløbstemperaturen på energikilden. Der sættes som standard en pinch på $2\text{ }^\circ\text{C}$ i fordamper, kondensator, underkøler, mellemkøler o.l.

10.4 Antagelser

COP-værdierne er beregnet ud fra en analyse af kompressorer, der bestemmer virkningsgrader og grænser for varmepumpesystemerne. Generelt er grænserne og derved COP-værdierne beregnet ud fra kompressorer, der kører ved fuld last. I tilfælde hvor kompressoren kører i dellast, kan andre virkningsgrader og driftsgrænser forekomme.

10.4.1 CO_2

For mediet CO_2 er der undersøgt en ettrins transkritisk proces med intern varmeveksler. Dette system er rent COP-mæssigt ud fra Markussen/Christensens rapport blevet vurderet som det bedste system med CO_2 som medie. Der søges at lave så stor overhedning efter fordamperen som muligt via en intern varmeveksler, da dette vil øge COP-værdien. Energivekslingen i den interne varmeveksler foregår som vist på nedenstående $\log(P)$, h -diagram. Så vidt muligt overhedes dampen til udløbstemperaturen efter kondensatoren minus 2 K . Hvis der ikke er nok energi til rådighed efter kondensatoren, overhedes dampen så meget som muligt.



Det forudsættes, at en pinch på 2 °C er opnåelig i både kondensator og intern varmeveksler. Yderligere er det ud fra kompressoranalysen fastsat, at den maksimale fordamningstemperatur er på 15 °C og det maksimale gaskølertryk er på 130 bar. Der er benyttet en isentropisk og effektiv virkningsgrad på kompressoren på hhv. 0,65 og 0,63, hvilket har vist sig at være karakteristisk for denne kompressortype. Der er i den effektive virkningsgrad taget højde for, at kompressortypen er semi-hermetisk, og varmen fra motoren forsvinder derfor stort set ikke ud af systemet, men overføres i høj grad til CO₂'en. COP-værdierne er som tidligere nævnt baseret på den effektive virkningsgrad, som inkluderer motorens energiforbrug.

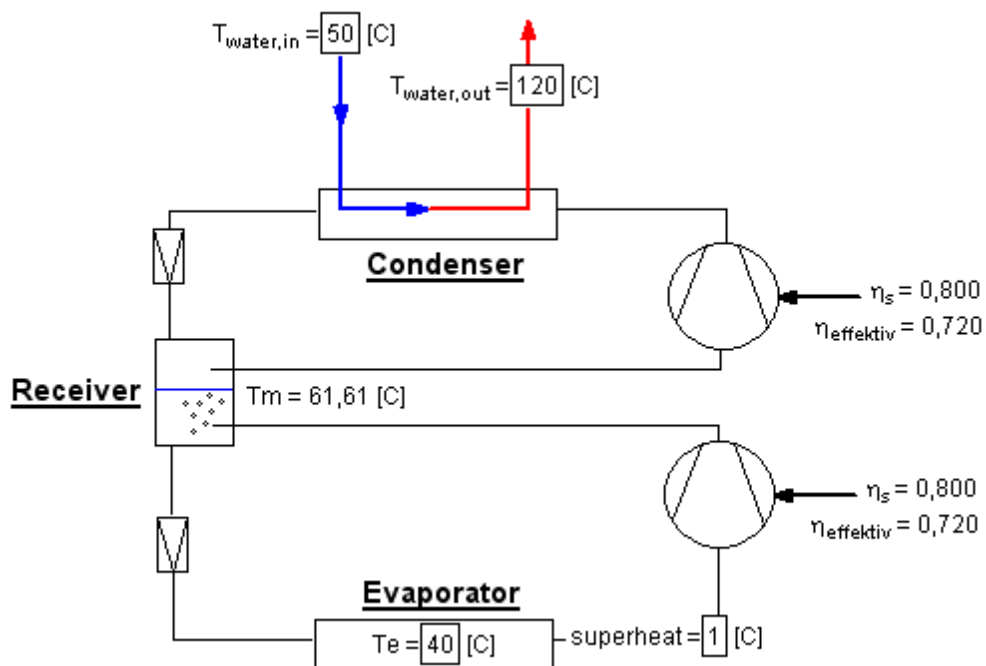
10.4.2 NH₃

Der er for NH₃ analyseret flere forskellige varmepumpesystemer. I disse systemer er der benyttet tre forskellige kompressortyper, som kan ses i nedenstående tabel. En nærmere undersøgelse af disse kompressortyper kan findes hos Markusen/Christensen.¹

Kompressor type	Max Pc/Tc	Max Te	η_{is}	η_e
Åben stempel NH ₃	55 °C	26 °C	0,85	0,74
Højtryk stempel NH ₃	56-76 °C	43 °C	0,85	0,78
Single skrue NH ₃	82-102 °C	70 °C	0,88	0,65

¹ De valgte isentropiske virkningsgrader forekommer noget høje og står for Markusen/Christensens regning.

Driftsgrænserne varierer med driftsforholdene for disse kompressorer, så det er for hver enkelt driftssituation nødvendigt at vurdere grænserne for den respektive kompressortype. Ud over kompressorerne, som er undersøgt hos Markusen/Christensen, er en højtryks stempelkompressor fra Grasso blevet undersøgt. Driftsgrænserne for denne kompressortype er vist på nedenstående figur. Det antages, at denne kompressortype vil kunne opnå de samme virkningsgrader som andre højtryks stempelkompressorer.



Der er med disse kompressortyper blevet undersøgt følgende varmepumpesystemer:

- Etrins NH_3 med åben stempelkompressor
- Etrins NH_3 med olieølet single skruekompressor fra Vilter
- Totrins NH_3 med åben mellemkøler samt stempelkompressorer i begge trin
- Totrins NH_3 med åben mellemkøler samt olieølet single skruekompressor i øverste trin samt stempelkompressor i nederste trin.

COP-værdierne for disse varmepumpesystemer kan for forskellige driftsforhold udregnes. De bedste COP-værdier for hhv. ettrins og totrins varmepumperne benyttes i denne analyse til at vurdere, hvilke COP-værdier der kan opnås med NH_3 som medie.

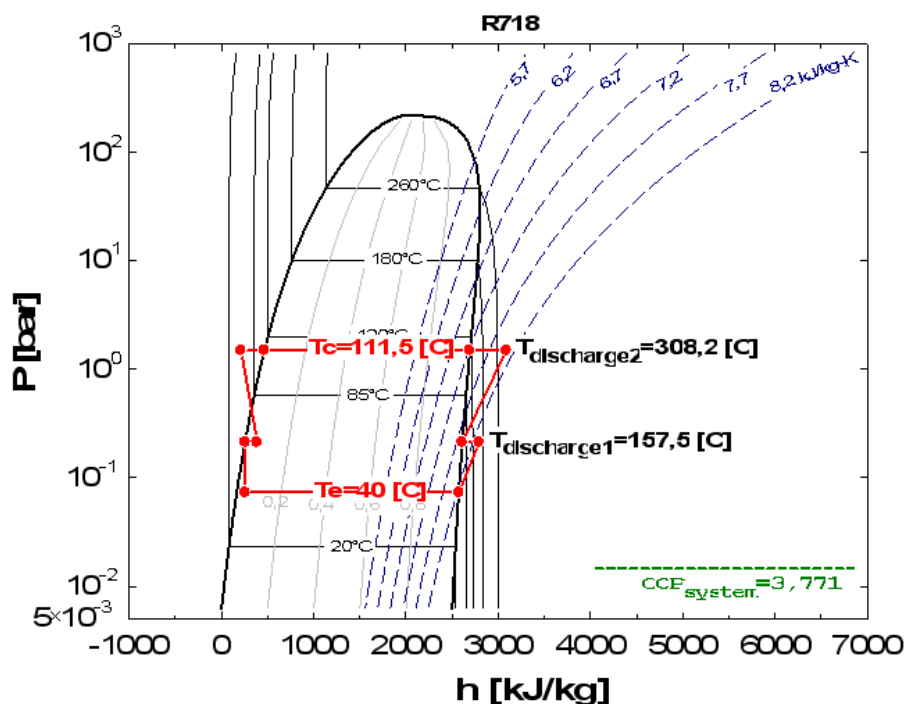
Måden, hvorpå de forskellige systemer er opbygget, kan findes i rapporten Markusen/Christensen. Oliekølingen i Vilters single skruekompressor bliver udnyttet til at opvarme en separat vandstrøm, så kølingen på den måde ikke påvirker den energimængde, som varmepumpen giver som output. Oliekølingen påvirker derved kun COP-værdien, da et højere kondenseringstryk er nødvendigt pga. en lavere afgangstemperatur.

Det forudsættes, at det er muligt at opnå en pinch på 2 °C i kondensatoren, og at underkøling også kan ske ned til en pinch på 2 °C.

10.4.3 H₂O

Der er for vanddamp blevet undersøgt et ettrinsanlæg og et tottrinsanlæg. Tottrinsanlægget er opbygget sådan, at gassen efter første kompressor føres over i en receiver og blandes med mediet efter underkøleren. Derved udtages damp ved klokkekurven til anden kompressor. Det antages her, at der ikke er noget tryktab i sugeledningen til kompressorerne. Principskitse af systemet ses nedenfor.

Ovenstående proces indtegnes i et log(P),h-diagram.



Ud fra oplysninger fra Hans Madsbøll er den isentropiske virkningsgrad sat til 0,8, og den effektive virkningsgrad er sat til 0,72. Den maksimale afgangstemperatur efter en kompressor er sat til 450 °C. Der er forudsat en pinch på 2 K, og som standard er der sat en overhedning efter fordamperen på 1 °C.

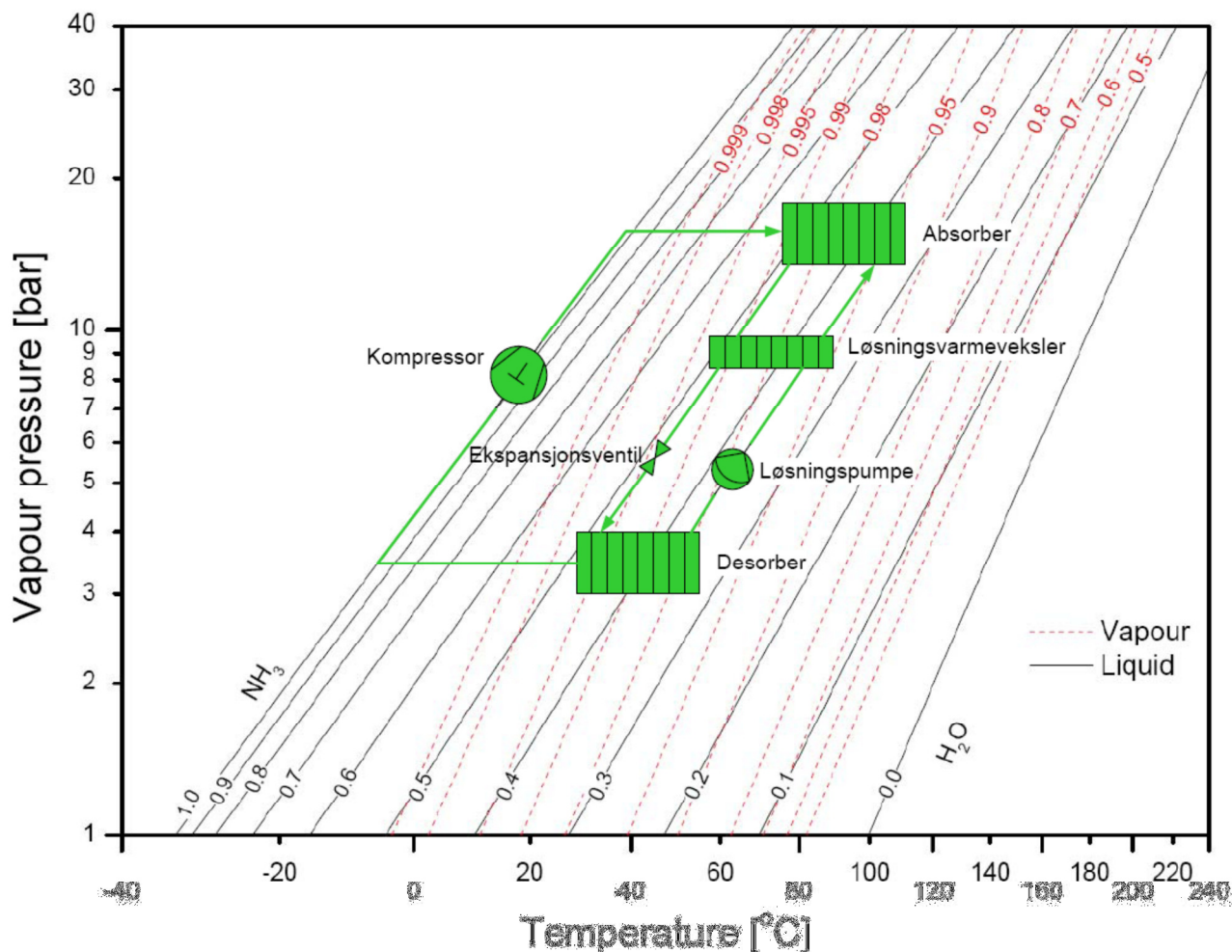
10.4.4 R600a

Der er ingen tilgængelige kompressortyper til R600a med kapacitet på over 500 kW. Det er ifølge Alexander Pachai muligt at benytte turbokompressorer til R600a og derved opnå de ønskede kapaciteter. Derfor er der som udgangspunkt benyttet de samme grænser som ved kompressorerne for H₂O. Den eneste ændring i systemet for R600a i forhold til H₂O er, at der for R600a benyttes en intern varmeveksler til at overhede dampen efter fordamperen. Den interne varmeveksler er sat til at fungere på samme måde som den interne varmeveksler for CO₂. Det sættes som kriterium, at dampen skal overhedes minimum 15 K i den interne varmeveksler, så der ikke er risiko for at komprimere til væske.

Der er i første omgang ikke sat nogen begrænsning på, hvor meget der må overhedes, og det er derved den energi, der er til rådighed, samt pinch på 2 K, der sætter grænserne for overhedningen.

10.4.5 Hybrid

Hybrid-teknologien er en kredsproces, der bygger på Osenbruck-processen. Der er tale om en kombination af et kompressions- og et absorptionsanlæg.



I kompressoren komprimeres ren R717, hvorved der opnås et tryk og en overhedning. I det viste tilfælde er det på ca. 14 bar og 80 °C. Herefter indsprøjtes vand (eller rettere en blanding af vand og ammoniak), hvorved der ved absorptionen sker en varmedannelse og temperaturen stiger til ca. 100 °C. Via ekspansionsventilen føres det kondenserede kølemiddel til desorbereren, hvor ammoniakdamp udskilles og atter kan komprimeres i kompressoren. Tilbage er en blanding af vand og ammoniak, der via en pumpe kan blæses ind i ammoniakdampen ved absorbereren, og kredsen er sluttet.

10.5 COP-skema for varmepumpeteknologierne

Dette afsnit viser et eksempel på de skemaer, der findes i bilaget. Afsnittet skal dermed ses som en vejledning til at forstå skemaerne i bilaget.

Figur 1 viser skemaet for 15 °C fordampningstemperatur. Tabel 1 viser farvekoderne tilhørende hver varmepumpeteknologi. Søjlerner i figuren viser udløbstemperaturen på det vand, der ønskes opvarmet. Rækkerne viser temperaturforskellen mellem udløbs- og indløbstemperaturen på vandet, der ønskes opvarmet. Farvekoden øverst i cellerne viser, hvilken varmepumpeteknologi der giver bedst COP, samt de teknologier, der ligger inden for 10 % af den bedste varmepumpeteknologi i de givne driftsforhold.

Der skal gøres opmærksom på, at alle COP-værdier er lavet ud fra maksimal kompressorkapacitet. COP værdierne er derfor kun vejledende ift., hvad der kan forventes under en given driftssituation. Ved ændring af kompressorkapaciteten ændres driftsgrænserne for kompressorerne, og dette kan have afgørende indflydelse på, hvad der kan opnås af temperaturer i en given driftssituation. Det skal understreges, at H₂O- og isobutan-løsningerne ikke er udviklet som hyldevare endnu, og løsningerne bygger derved på forventede virkningsgrader og driftsgrænser for de kompressortyper, der passer til medierne.

Parentesen omkring nogle af COP-værdierne illustrerer, at det er et totrins-system.

Som bruger af skemaet skal man være opmærksom på, hvad der kan fås af effektkapaciteter ved brug af de forskellige medier. Det skal nævnes, at CO₂ på nuværende tidspunkt har forholdsvis små kompressorer, og derved skal der mange til for at få høj effekt. Samtidig er Vilters skruekompressorer store, og skal der kun bruges 500 kW, er disse kompressortyper overdimensionerede.

Flere forhold gør sig gældende. Blandt andet vil COP være meget påvirket af valg af ikke bare kølemiddel, men også af kompressortype.

Varmepumpeteknologier
- R717 (NH ₃)
- R744 (CO ₂)
- R717 + R718 (Hybrid)
- R718 (H ₂ O)
- R600a (Isobutan)
- R717/R718 (Kaskade)

Tabel 1: Farvekode tilhørende varmepumpeteknologierne

Fordampningstemperatur 15 C											
Udløbtemp. [C]	80		90		100		110		130		
ΔT [C]											
10											
	3 (3,8)	1,9	[3]	---	---	---	---	---	---	---	---
		[3,6]		[3,2]		---		---		---	---
30											
	3,3 (4,1)	2,8	[3,2]	2,3	[2,8]	1,8	---	---	---	---	---
		[3,8]		[3,3]		---		---		---	---
50											
	3,6 (4,5)	4,2	3,1 (3,9)	3,4	[3]	2,8	---	2,3	---	---	---
		[4]		[3,5]		---		---		---	---
70											
	---	---	3,4 (4,3)	4,2	[3,1]	3,6	---	3	---	---	---
		---		[3,6]		[3,2]		---		---	---
					[3,8]	---	[3,4]	---	[2,9]	---	---

Figur 1: COP skema for forskellige varmepumpeteknologier. Skemaet viser ved en fordampningstemperatur på 15 C.

Som allerede omtalt er det svært at sammenligne hybrid-teknologien med de øvrige teknologier, fordi blandingsforholdet indgår som parameter. Desuden indebærer hybridprocessen, at der er et temperaturglid både på den kolde og den varme side. Dette kan ved processer i nogle tilfælde være en fordel, i andre en ulempe. Det har både været overvejet at operere med faste glid (maksimale glid) og med faste blandingsforhold, men det har vist sig meget kompliceret.

Derfor er det valgt at se bort fra hybrid i screeningsværktøjet. Hybrid er i mange tilfælde teknisk set et godt valg, men må beregnes selvstændigt uden om screeningsværktøjet.

Ved at udelade hybrid mister screeningsværktøjet sin værdi som et generelt værktøj.

Ligeledes er kulbrinter ikke blevet indregnet i screeningsværktøjet, da det vurderes, at den type anlæg pga. lovkrav kun vil have en relevans i særlige tilfælde.

Det er væsentligt at vide, at ved at kende 3 parametre kan varme-COP estimeres. Det drejer sig altså om kendskab til:

- Temperaturen på den energikilde, hvorfra man henter sin energi
- Temperaturen på det procesvand/fjernvarmevand, man skal bruge
- Den nedkøling, dette vand skal have (eller returtemperaturen).

Disse værdier vil enhver driftsingeniør eller maskinmester kende for sine anlæg.

Den COP, der sammenlignes, gælder for fuldlast. Dette er relevant for systemer med indbygget buffer, hvor kompressorerne kan køre on/off. Ved anlæg uden buffer kan dellastbetragtninger være yderst relevante. Her har stempelkompressorer oftest bedre varme-COP end skruekompressorer; en forskel, der kan minimeres via brug af frekvensomformere.

Eksempelvis kan det i ovenstående skema ses, at hvis energikilden er ca. 17-18 °C (hvilket svarer til en fordampningstemperatur på 15 °C), og der ønskes at sætte opvarmningen af vand fra 50 til 80 °C, vil der kunne opnås en COP på 4,5.

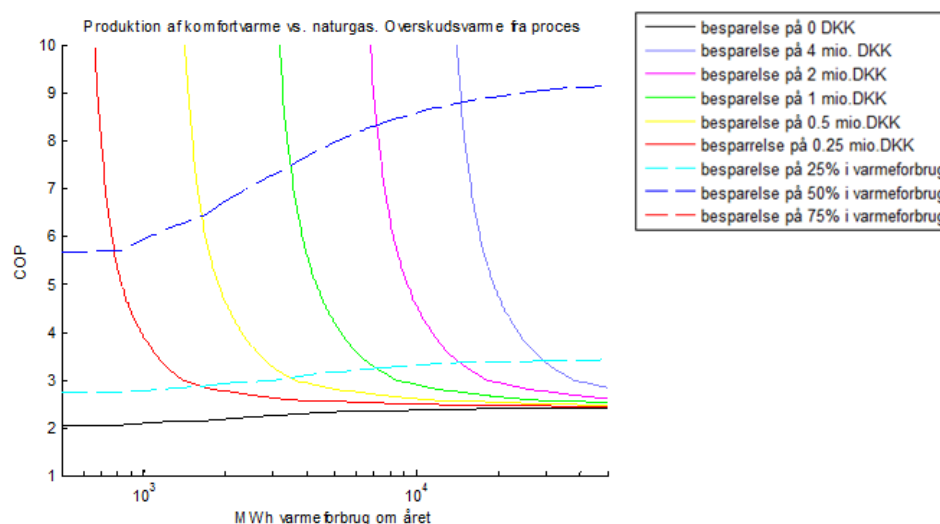
Dette opnås ved et totrins R717-anlæg. Alternativt vil et ettrins R600a-anlæg give en COP på 4,4, mens et ettrins CO₂-anlæg vil give 4,2.

Disse værdier ligger så tæt, at en nærmere undersøgelse vil være nødvendig, før anlægstype bestemmes.

Det skal bemærkes, at levetiden for varmepumper er meget lang – ofte 20-30 år – og derfor udgør driftsomkostningerne en meget stor del (ofte over 80 %) af levetidsomkostningerne.

Markussen/Wuust undersøgte også afgifters og energiprises betydning for den mulige besparelse. I denne del af deres speciale har de vurderet en varmepumpe i forhold til andre varmekilder: olie, gas, fjernvarme, el. Desuden er der set på afgifter, som er afhængige af et antal parametre: hvad er varmekilden, hvad anvendes varmen til, hvem er leverandør, hvem er aftager. Dette er resulteret i en serie kurver – her en hvor den alternative varmekilde har været naturgas og energien hentes fra overskudsvarme fra proces.

Varmepumpe vs. naturgas



Ud af X-aksen afsættes varmeforbruget, og kombineres dette med den allerede estimerede varme-COP, kan en årlig besparelse aflæses.

Tidligere opstillede vi et driftseksempel, hvor vi fik en estimeret varme-COP på 4,5 – hvis dette kombineres med et varmeforbrug på 10.000 MWh/år, fås en forventet årlig driftsbesparelse på ca. 1,8 mio. Hvis dette tal ganges med den ønskede maksimale tilbagebetalingstid, fås et tal for, hvor meget der kan investeres i en varmepumpe.

Hvad selve varmepumpen koster, findes der tommelfingertal for, men hvad installationer på hhv. den kolde og den varme side koster, vil kunne variere så meget, at der ikke er nogen mening i at gætte. Derfor er det fornuftigt at operere med, 'hvilket beløb er til rådighed til investering', og 'hvad kan jeg få for pengene'.

Der er i sammenligningerne ikke taget hensyn til reparationsomkostninger og 'nede-tid'. Vilter-kompressoren tillader længere interval mellem vedligehold og overhaling end normale skruer.

Levetiden for en varmepumpe vil typisk være over 20 år, og som tommelfingerregel kan det siges, at over 80 % af en varmepumpes livsomkostninger vil være omkostningerne til drift, og de vil dermed være direkte afhængige af varme-COP.

10.5.1 Programmet

Programmet har 3 faneblade til input:

1. Referencen
2. Varmebehovet
3. Overskudsvarmen

Ad 1: Referencen

Referencen			
Opvarmningsform 4 Fjernvarme		Anlæg udskiftet med VP	
Nuværende priser <input checked="" type="radio"/> Indtast Energifris inkl. afgifter <input type="radio"/> Brug estimerede priser		Effektstørrelse kW 200 Kondenserende anlæg? <input type="checkbox"/> Alder År 15 Indtast selv virkningsgrad Indtast % 100 Indtast forventet udskiftning <input type="checkbox"/> Indtast År 5 Beregnet År 5	
Indtast virksomhedens energipriser		Indtast varmepumpe effekt <input type="checkbox"/> Indtast kW 250 Beregn kW 3183,128	
Energifris	Afgifter til varme		
400 Kr./MWh	0 Kr./MWh		
Brug estimerede priser 2012			
Energifris	Afgifter til varme		
350 Kr./MWh	150 Kr./MWh		

Her indtastes

1. Nuværende opvarmningsform (naturgas, fyringsolie, elektricitet, biomasse, fjernvarme)
2. Nuværende priser (der vælges mellem virksomhedens priser og generelle priser)
3. Data på nuværende anlæg (størrelse, type, alder, virkningsgrad, forventet udskiftning).

Ad 2: Varmebehov

Varmebehovet					
Indtast fremløbtemperatur		Indtast returløbtemperatur			
70 °C		40 °C			
<input type="radio"/> Varmebehov i månedsværdier <input checked="" type="radio"/> Varmebehov i årsværdier					
		Månedsværdier i MWh		Årsværdier i MWh	
		Proces varme	Komfort varme	Proces varme	Komfort varme
				Graddage	Konstant
				0	10000
				0	0
Dage	Måned	Proces varme	Komfort varme	Proces varme	Komfort varme
31	Jan	29,75		0	1549
28	feb	20,75		0	1398
31	Mar	16,75		0	1374
30	Apr	0		0	952
31	Maj	24,75		0	527
30	Jun	24,75		0	240
31	Jul	24,75		0	95
31	Aug	24,75		0	120
30	Sep	26,75		0	370
31	Okt	36,75		0	758
30	Nov	29,75		0	1158
31	Dec	45		0	1460
365	År	304,5	0	0	10000

Her indtastes

1. Ønsket frem- og returtemperatur
2. Specifikt behov pr. måned eller årsbehov
3. Der skelnes mellem komfortbehov og procesbehov.

Ad 3: Overskudsvarme

Overskudsvarmen

Type overskudsvarme vælges

Konstant temperaturniveau, f.eks. kondensator

Varierende temperaturniveau, f.eks. vandflow

Overskudsvarmens afgiftsbelastning

1 Procesvarme

Varierende temperaturniveau, V

2 Vandflow + overskudsvarme

Temperaturen af overskudsvarmen

Månedsvariende temperatur

Temperatur konstant årlig	Temperatur månedlig
10 C	Måned Temp. C
	Jan 5,1
	Feb 4,8
	Mar 7,5
	Apr 11,7
	Maj 14,7
	Jun 18,8
	Jul 21,4
	Aug 19,2
	Sep 16,8
	Okt 13,5
	Nov 10,5
	Dec 5,5

Kondensatorvarme

Månedsvariende kondensatorvarme

Overskudsvarme pr. År	Overskudsvarme pr. måned
20000 MWh	Måned Energi MWh
	Jan 200
	Feb 200
	Mar 200
	Apr 200
	Maj 200
	Jun 200
	Jul 200
	Aug 200
	Sep 200
	Okt 200
	Nov 200
	Dec 200

Vandflow	Kg/s	s
Udløbtemp. C	15	
Overskudsvarme MWh	1000	
Vandflow kg/s	-5,5	
Udløbtemp. C	4,5	
Overskudsvarme MWh	-903	

Måneder	Vand-flow Kg/s	Udløb temp. C
Jan	5	15
Feb	5	15
Mar	5	15
Apr	5	15
Maj	5	15
Jun	5	15
Jul	5	15
Aug	5	15
Sep	5	15
Okt	5	15
Nov	5	15
Dec	5	15

Her indtastes

1. Type overskudsvarme (konstant eller varierende temperatur)
2. Temperaturen på overskudsvarme
3. Varme til rådighed indsættes (pr. måned).

Efter indtastning vælges fanebladet 'bereg'n'. Når der trykkes på knappen, vil de 5 anlægstyper, der er vist, blive beregnet.

System 1 - CO2		Resultat CO2
Investeringspris VP	kr.	7.957.820
COP værdi		2,9
Overskud første år	kr.	-550.973
Intern rente	%	Ikke mulig
Overskud (20 år)	kr.	#####



Bereg'n

System 4 - Vilter 1 trin		Resultat Vilter 1
Investeringspris VP	kr.	12.732.512
COP værdi		3,3
Overskud første år	kr.	-73.762
Intern rente	%	-6,1%
Overskud (20 år)	kr.	-8.549.486

System 2 - NH3 1 trin		Resultat NH3 1 trin
Investeringspris VP	kr.	7.957.820
COP værdi		Ikke mulig
Overskud første år	kr.	Ikke mulig
Intern rente	%	Ikke mulig
Overskud (20 år)	kr.	Ikke mulig

System 3 - NH3 2 trin		Resultat NH3 2 trin
Investeringspris VP	kr.	11.777.573
COP værdi		4,2
Overskud første år	kr.	117.649
Intern rente	%	2,2%
Overskud (20 år)	kr.	-2.760.380

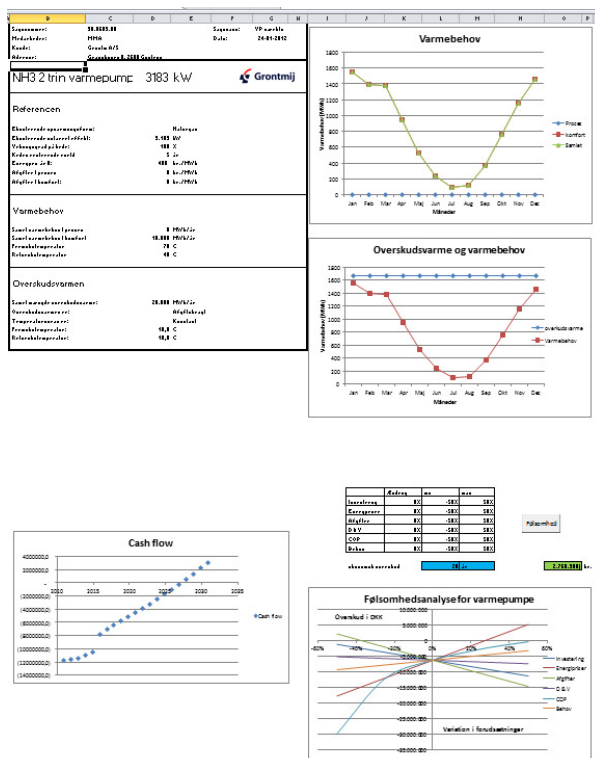
System 5 - Vilter 2 trin		Resultat Vilter 2
Investeringspris VP	kr.	16.552.265
COP værdi		3,7
Overskud første år	kr.	125.266
Intern rente	%	-2,5%
Overskud (20 år)	kr.	-8.793.056

I programmet er brændselspriser fremskrevet i forhold til Energiministeriets fremskrivninger, og afgifter er indsat 5 år frem.

Som allerede nævnt er de 5 valgte systemer ikke fyldestgørende. Specielt gælder det, at hybrid ikke kan sammenlignes direkte. Men for at give en indikation er det alligevel valgt at indbefatte en beregning af hybrid-løsningen, som dog må tages med et vist forbehold. Her er derfor kun estimeret en varme-COP og en investeringspris.

Andet system		Resultat anden
Varmepumpe navn	Hybrid varmepumpe	
COP værdi		4
Investeringspris	kr./kW	3000
D & V	% af invest.	2%

Trykker man på resultatknappen for den løsning, man ønsker at undersøge, vil man på faneblad 'resultat' få et resultatark som vist nedenfor.



Der er et felt med de tilgrundliggende data, et par kurver med fordelingen af varmebehov, overskudsvarme samt cash flow. Og ikke mindst er der en grafisk fremstilling af følsomhed for forskellige parametre. Ønskes det at se konsekvenserne af, at fx energipriserne stiger 20 % mere end estimeret, kan dette plottes ind, og når der trykkes på knappen 'følsomhed', vil alle kurver rette sig efter de nye energipriser.

10.5.2 Begrænsninger i screeningsprogrammet

Programmet undersøger kun 5 forskellige anlægstyper. Selvom disse er delvis dækkende, er de langt fra fuldkomne. Totrinsanlæg med forskellige kølemidler er således ikke medtaget.

Desuden giver det ingen mening at lave et sådant program alene for anvendelse af overskudsvarme fra procesformål, som er projektets ramme. Programmet tager derfor også højde for anvendelse i forhold til rumopvarmning, herunder fjernvarme, og til forskellige energikilder.

Dermed går programmet videre end projektets ramme, og derfor er det kun delvist finansieret af projektet. Grøntmij har stået for halvdelen.

11 BARRIERER FOR VARMEPUMPER

Afgiftssystemet spænder ben for en fornuftig udnyttelse af varmepumper, fordi varmepumper er afgiftsbelagt væsentlig hårdere end andre produktionsformer. Paradoksalt nok betales der ikke afgift af den mængde energi, der anvendes til varmeproduktion (og dermed udledningen af CO₂), men i stedet af den mængde varme, der produceres.

Dette EUDP-projekt handler om varmegenvinding til proces, og dermed burde afgiftsdiskussionen være irrelevant. I praksis har det dog vist sig, at skellet mellem, hvad der er rumopvarmning, og hvad der er proces, afhænger af øjnene, der ser – også af hvilken skattemedarbejder der ser.

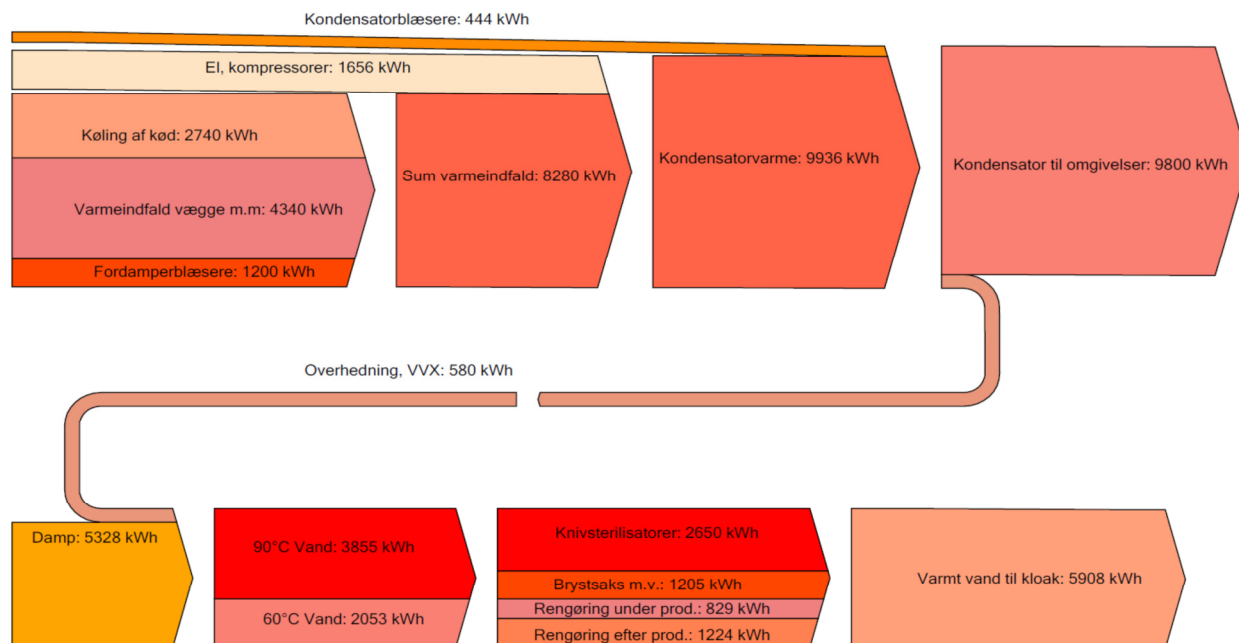
Det må derfor anbefales alle, der ønsker et industrielt varmepumpeanlæg, at søge bindende svar hos skattemyndighederne på afgiftsspørgsmålet.

12 UNDERSØGELSER PÅ SITE

12.1.1 Århus Slagtehus

Der er foretaget en screening af energiflowet både for køle/frostdelen og for opvarmningssiden.

Resultaterne ses i dette Sankey-diagram.



Den øverste linje viser, at:

- Der er reelt behov for 2.740 kWh til køling af kød.
Varmeindfald, blæsere m.m. er alle 'overflødige' belastninger, der kan minimeres.
- Der tilføres 1.656 kWh el til kompressorerne.
Reduceres de overflødige belastninger, vil dette tal også reduceres.
- Der genereres 9.936 kWh, hvoraf de 9.800 kWh sendes som varm luft ud i omgivelserne, og de sidste 580 genvindes via en overhedningsfjerner på kompressorernes afgangsside.

Den nederste linje viser:

- 65 % af det opvarmede vand bruges til 90 °C varmt vand
- 69 % af dette anvendes til knivsterilisator
- Der sendes 5.908 kWh ud til Århus Bugten.

Første del af vores opgave var at identificere overflødig energiforbrug. Det medførte, at varmetilførslen til knivsterilisatorerne kunne reduceres voldsomt. I den oprindelige opsætning blev temperaturen i sterilisatorerne styret ved at tilføre mere 90 °C vand, når temperaturen faldt under 82 °C. Dette betød imidlertid, at overløbet, med en temperatur på 82 °C, blev ført direkte i kloakken. Ved at ændre sterilisatorerne til elopvarmning og styre vandudskiftningen på tid blev forbruget af 90 °C vand halveret – tilbagebetalingstiden for investeringen var få dage.

Ligeledes blotlagde projektet, at en del af 90 °C vandet kunne erstattes af 60 °C, hvilket giver samlet lavere energiforbrug.

Efter disse energibesparelser var gennemført var potentialet for en varmepumpe væsentligt under de 500 kW, som er projektets minimumsgrænse.

Delrapport om Århus Slagtehus er vedhæftet.

12.1.2 Thise Mejeri

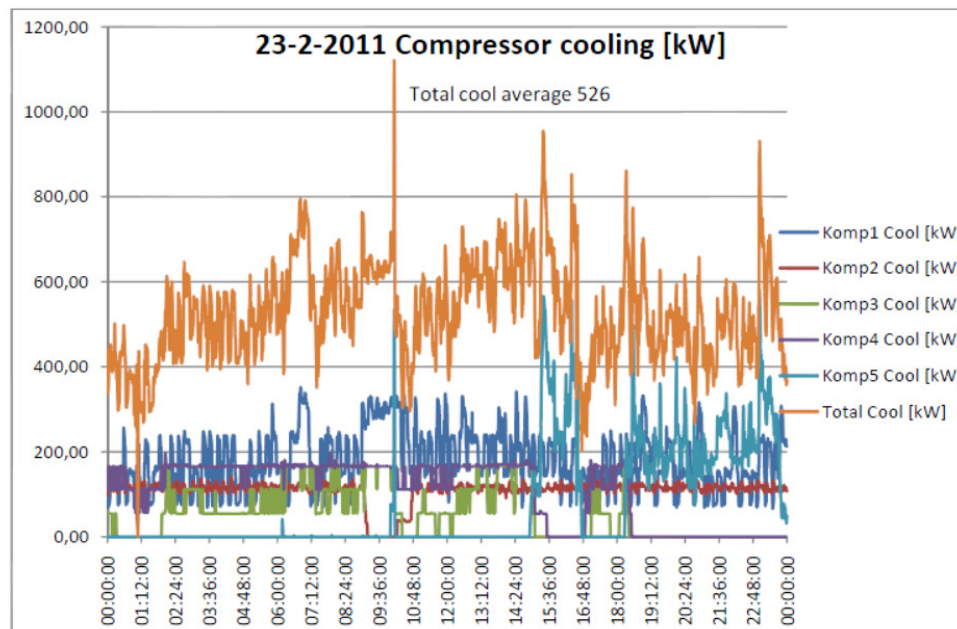
Thise Mejeri har et meget stort antal varmekonsumenter, der alle forsynes med damp fra en fælles kedel. Af forskellige årsager ønskede Thise Mejeri i første omgang IKKE at forsyne pasteuriseringsanlæg og CIP-anlæg ved hjælp af en varmepumpe. Målingerne blev derfor koncentreret omkring varmekonsumenter til rumopvarmning og varmt vand til rengøring samt de mulige varmekilder: køleanlægget og trykluftkompressorerne.

De første målinger viste et samlet forbrug til rumopvarmning og rengøringsvand på ca. 4.200 kWh/døgn.

Varmekilderne skønnedes ud fra målingerne at kunne levere hhv. 1.200 kWh (trykluftkompressor) og 20.000 kWh (køleanlæg/varmepumpe). Der er således rigelig effekt til at dække varmebehovet.

Dampkedlen havde på dette tidspunkt en **nominel** effekt på 2.300 kW (dvs. 55.200 kWh/døgn), og kunne på nogle tidspunkter ikke opretholde damptrykket, hvilket indikerede, at den var overbelastet. Det blev derfor besluttet at måle den reelle effekt. Målingerne viste, at effekten svinger meget over døgn, og at den totalt afgivne effekt ligger på ca. 29.400 kWh/døgn. Rumopvarmning og rengøringsvand udgør altså kun ca. 14 % af kedlens effekt.

På denne baggrund er det besluttet at lave målinger på udvalgte pasteuriseringsanlæg og CIP-anlægget, for at få et overblik over disse forbrugere, der oprindeligt var valgt fra. Det viste sig yderst vanskeligt at få pålidelige målinger på CIP-anlægget, hvorimod pasteuriseringsanlæggene gav gode resultater, der bekræftede, at disse kunne forsynes fra en varmepumpe. Målingerne på CIP-anlægget og pasteuriseringsanlæggene blev gennemført ultimo 2011.



Produktionen ved Thise er yderst varieret – der produceres over 40 forskellige slags mælk og oste. Det betyder, at der kan være meget stor forskel i produktion og energiflow fra dag til dag.

En varmepumpe vil sagtens kunne være relevant for Thise, men dimensionering og driftsbetingelser vil hele tiden skifte og kunne mudre en konklusion omkring en varmepumpe.

Ud fra dette blev Thise også fravalgt som demonstrationssted.

12.1.3 SPX APV

Ved SPX APV er der foretaget forskellige vurderinger af muligheder for at inkorporere varmepumper i deres tørreanlæg. Dette er sket i forbindelse med tilbudsarbejde primært til projekter til udlandet.

SPX APV ønsker ikke af konkurrencehensyn at offentliggøre resultaterne af screeningerne.

Virksomheden overvejer at købe en varmepumpe til deres interne forsøgsanlæg.

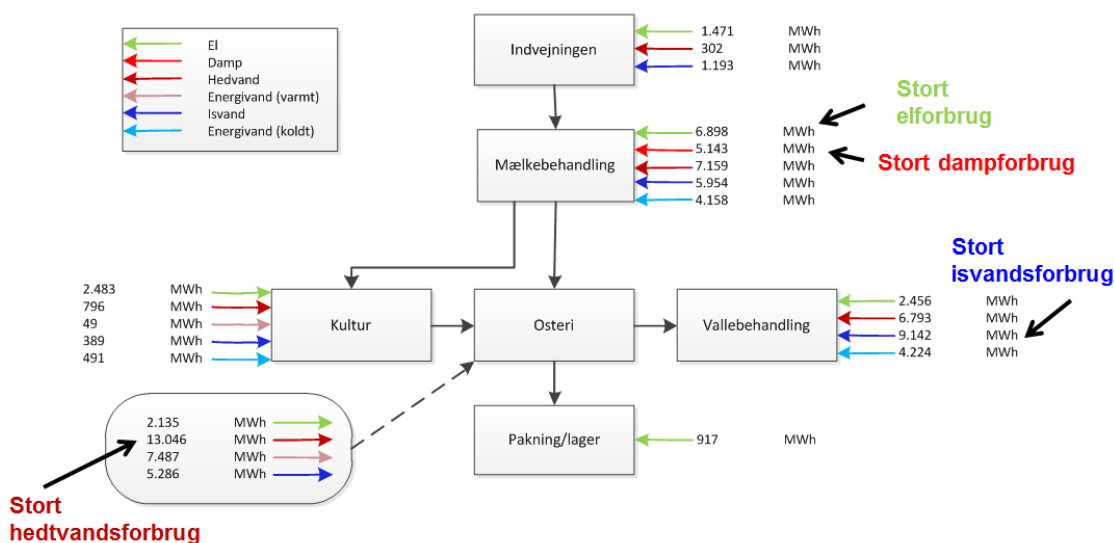
12.1.4 Arla

Under ledelse af Poul Erik Madsen er der foretaget en screening på Arla.

Det er sket i tre faser:

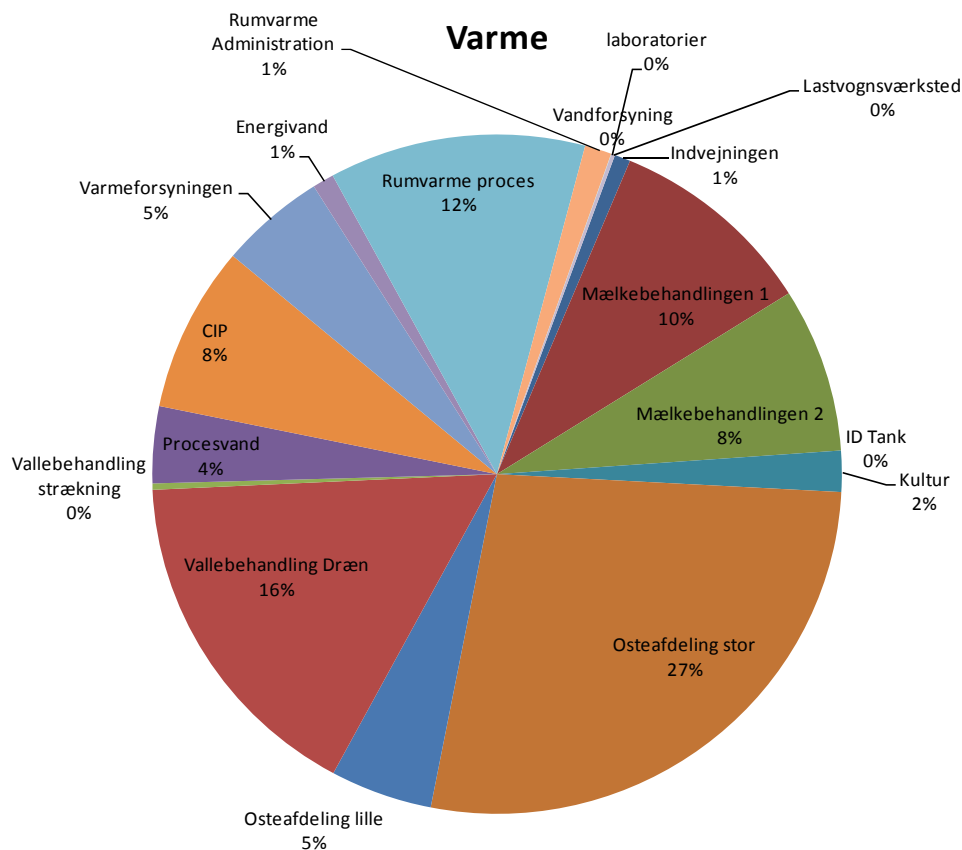
1. Energikortlægning
2. Energivand og regenerativer
3. Energiprojekter.

Første fase har i første omgang handlet om at kortlægge den enkelte fabriks totale energiflow.



Herudfra analyseres data med henblik på indsatsområder og besparelser, og der skabes nøgletal eller idealer til brug for driftspersonalet.

Nedenstående lagkage viser kortlægning af varmeforbruget:



Ud over at danne et solidt datagrundlag for analyser blev det også konstateret, at inddragelse af driftspersonalet i processen skabte et stort engagement.

Der blev også foretaget en pinch-analyse, der bl.a. afslørede, at > 90 % af det nødvendige varmeforbrug ligger under 79 °C.

De enkelte processer blev herefter gennemgået og besparelsesforslag opridset.

Først da dette arbejde var foretaget, blev det besluttet at dække dele af den nødvendige energitilførsel via en varmepumpe.

Screeningen ved Arla er foregået ved flere fabrikker, men mælkepulverfabrikken Arinco, Videbæk blev udvalgt til demonstrationsanlæg.

Det kan i øvrigt nævnes, at Arla efterfølgende har investeret i varmepumper på anlægget i Rødkærsbro.

13 DEMONSTRATIONSANLÆGGET

Efter omfattende analyser af energiflowene i mælkepulverproduktionen vedtog Arla at indkøbe en varmepumpe. Energi hentes fra en 45 °C buffertank, og varmen anvendes til opvarmning af indsugningsluft til et spraytårn.

Tallene for anlægget ses her:



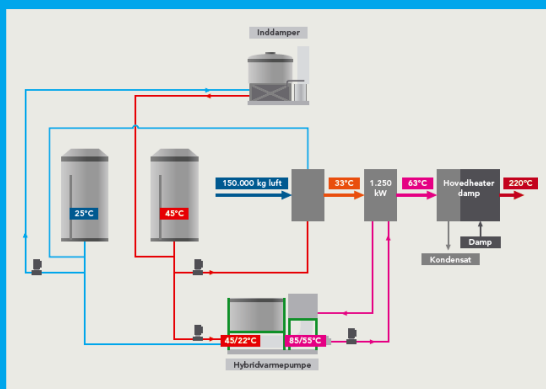
Hybrid varmepumpe Arinco

- 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.

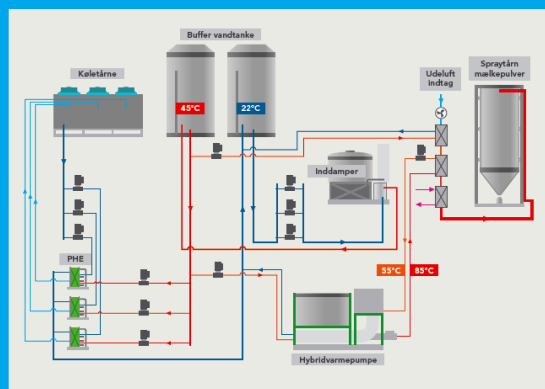
Opbygningen fremgår af nedenstående tegning.

HYBRID VARMEPUMPE - ARINCO, VIDEBÆK

Kølemiddel:	Ammoniak / vand	Årsproduktion af energi:	8.300 MWh/år
Kapacitet:	1.250 kW	Energiforbrug:	1.800 kWh/år
Afgivet vandtemperatur:	85 °C	Effektivitet (COP):	4,6
Varmekilde temperatur:	45 °C	Reduktion i CO ₂ udledning:	1.150 Tons/år



Arla Foods Global Categories and Operations
 Principskitse for udnyttelse af køletårnsenergi ved anvendelse af varmepumpeteknologi.

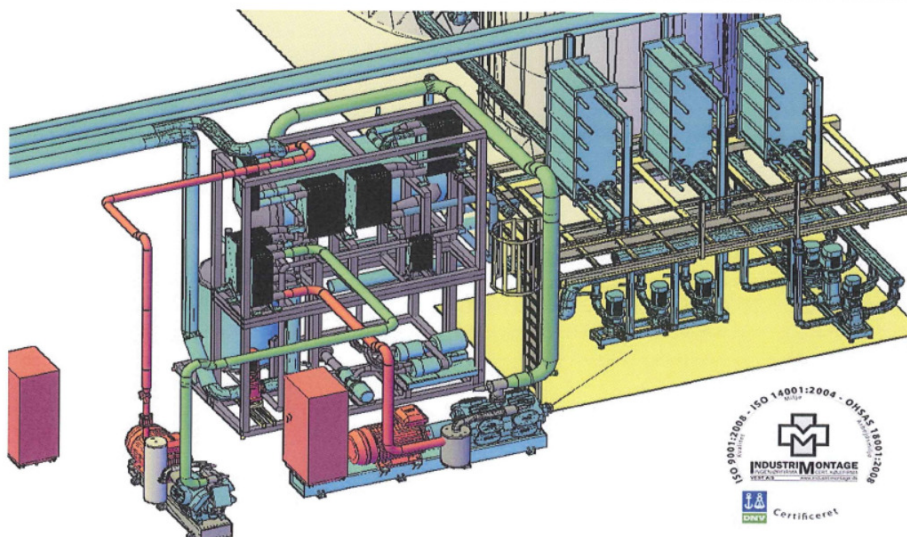


Principdiagram
 Mælkepulver produktion

Der er altså tale om energi, der alternativt skulle smides ud via et køletårn. Det betyder, at varmepumpen ud over nyttiggørelse af spildenergi også medfører mindre drift af køletårn og dermed mindre vand- og kemikalieforbrug. Denne besparelse er ikke medregnet i Arlas beregninger.

Selve varmepumpen er placeret i et nyt maskinhus, se tegning og fotos.

Hybrid varmepumpe Arinco



Hybrid varmepumpe Arinco



Der er valgt en hybrid varmepumpe – den første i Danmark.

Som tidligere omtalt er det i projektet ikke lykkedes at inkorporere hybrid-teknologien i det beregningsark, som blev udarbejdet. Kapacitetsberegningerne stod firmaet Hybrid-Energi for, og vi var ikke i stand til at checke resultaterne på forhånd.

De valgte kompressorer er af mærket Sabroe fra Johnson Controls, Århus. Varmevexlerne er fra Alfa Laval. Anlægget er leveret af Industri Montage. Projektet blev styret af Rambøll.

Anlægget blev igangsat i september 2012. Flere kapacitetstest blev udført i oktober 2012.

Nedenstående er et repræsentativt eksempel, der viser, at varmepumpen lever op til de beregninger, der lå til grund for beslutningen. Eksempelvis er varmeproduktionen 4,3 % højere, mens COP er 0,4 % lavere end forventet.

Aflæsninger		VV = Varmt Vand til varmeplade VF02			VK = Varmekilde fra tank BT01			Tilført effekt [kW]	Komp. Kap. %
Tid kl.	VV ud TT05 [°C]	VV ind TT06 [°C]	VV flow FT02 [m3/h]	VK ud TT08 [°C]	VK ind TT07 [°C]	VK flow FT03 [m3/h]			
1 18:18	85,1	49,5	30,3	22,5	44,5	38,7	280	100	
2 18:43	84,9	49,5	30,4	22,7	44,7	39,0	276	100	
3 19:28	85,1	49,3	30,7	21,9	44,8	37,9	285	100	
Middel	85,0	49,4	30,5	22,4	44,7	38,5	280	100	

Energi beregning baseret på middelværdiaflæsningen:

	Δ % ift. kontrakt	
Varmekapacitet [kW]	1.262	4,3%
Varme COP	4,50	-0,4%
Kølekapacitet [kW]	998	2,8%

Ydelser og data iht. kontrakt:

Varmekapacitet	[kW]	1210
Varmt vand ind (VV TT06)	[°C]	55
Varmt vand ud (VV TT05)	[°C]	85
Flow (VV FT02)	[m3/h]	34,7
COP varme		4,52
Optaget effekt	[kW]	268
Kølekapacitet	[kW]	970
Varmekilde ind (VK TT07)	[°C]	45
Varmekilde ud (VK TT08)	[°C]	22
Flow (VK FT03)	[m3/h]	36,7

Bemærkninger:

TEST 2
 Aflæst tilført øjeblikkeffekt værdier varierer +/- 15 kW på få sek., hvilket gør COP beregningen unøjagtigt.

Denne variation skyldes ikke fejl på anlægget, men udelukkende manglende dæmpning af effekt forbrug inputsignaler.

For beregning af nøjagtige testresultater se fil "Ytelsestest 1 og 2 Arla Arinco 10 oktober 2012 med Plots", som dækker løbende logning af data i samme tidsrum kl. 18:18 til 19:28 d. 10-10-2012.

For uddybende forklaring på performance test resultater og afvigende temperaturer og flows ift. designdata se tilhørende fil "HE kommentarer til kapacitetstest" af 26-10-2012.

Viegand & Maagøe Aps har for Arla foretaget en verificering af energibesparelserne i forbindelse med varmepumpeløsningen. Denne rapport dokumenterer den faktiske og den tilskudsberettigede besparelse.

I rapporten sammenfattes besparelsen således:

På baggrund af de forrige afsnit kan både den faktiske og den tilskudsberettigede besparelse opgøres til følgende i afsnit 4.8:

Den faktiske besparelse

Forvarme	6.435.150 kWh
Eftervarmen	9.964.550 kWh
Totale Varmebesparelse	16.399.700 kWh
Varmepumpe	-2.065.022 kWh
Utility	658.600 kWh
Total el	-1.406.422 kWh
Total besparelse	14.993.778 kWh

På baggrund af ovenstående kan Arla Foods indberette 14.993.778 kWh, som også svarer til den faktiske årlige besparelse.

Ved et salg af energibesparelsen til **0,30 kr./kWh** giver det et tilskud på **4.497.984 kr.**

Tilsvarende dokumenteres i afsnit 5.2 tilbagebetalingstiden:

Dokumentation af tilbagebetalingstid

*Gasprisen på Arla Foods produktionssteder er 0,35 kr/kWh svarende til ca. 3,1 kr/Nm³ og elprisen er 0,25 kr/kWh. Da energibesparelsen er på 14.993.778 kWh (16.399.700 gas og -1.496.422 el), svarer det til en årlig økonomisk besparelse på 5.739.895 kr. Som det fremgår af bilag J, er den samlede projektinvestering på **ca. 12,5 mio. kr.** Med den opnåede besparelse giver det en simpel tilbagebetalingstid på **2,3 år** (inkl. tilskud 1,5 år).*

Hertil skal tilføjes, at besparelser i vandbrug og vandafledning samt kemikalier til køletårne ikke er medregnet.

Ovenstående viser, at den installerede varmepumpe er en god forretning for Arla.

Men set ud fra projektets målsætning er det lige så vigtigt, at installation og igangsætninger er foregået uden nævneværdige problemer, samt at driften efterfølgende ikke har været ramt af uforudsete hændelser, der kunne tilskrives varmepumpeanlægget.

Anlægget har nu kørt i ca. 6.000 timer.

Industri Montage har i juni 2013 udført serviceeftersyn på højtryksskumpressoren iht. producentens anbefalinger. Inspektion af de normale sliddele såsom suge- og tryk-ventilplader og ventilsæder viser ingen tegn på slidtage og ingen form for overbelastning/overophedning. Kompressorens tilstand var som ny.

14 HENVISNINGER

14.1 EUDP-projekter

Joint IEA/IETS Annex 35/13 'Application of Industrial Heat Pumps' j-nr. 64011-0034
Ultra højtemperatur varmpumpe, j-nr. 64011-0351

14.2 Rapporter

Virksomhedsrentabel udnyttelse af overskudsvarme, Energistyrelsen 2009

Varmeplan Danmark 2010, Rambøll, 2010

Grøn Energi, Klimakommissionen, 2010

Industriell varmegenvinding med CO₂- og NH₃-baserede varmpumper, Michael Mølgård Markussen og Stefan Wuust Christensen, Speciale DTU

Verificering af energibesparelser i forbindelse med projektet: Varmepumpeløsning til udnyttelse af køleenergi fra inddamper 6 til spray 6, Viegand & Maagøe, 2013.

15 FORMIDLING

Projektet har været emne for flere oplæg på konferencer og seminarer:

Marts 2013, CoolEnergy, Odense (Peter Brøndum)

November 2012, Temadag om industrielle energibesparelser, TI, Århus (Poul Erik Madsen)

Juni 2012 10th, Gustav Lorentzen Conference, Delfts, Holland (Lars Reinholdt)

April 2012, DANVAK-dagen, Lyngby (Peter Brøndum)

Oktober 2011, Oplæg på Fjernvarmens Landsmøde, Ålborg (Peter Brøndum)

April 2011 3th, IIR Conference on natural refrigerants, Ohrid, Makedonien (Peter Brøndum)

Januar 2011, IDA konference om Klimakommissionens rapport, København (Peter Brøndum)

Januar 2011, Selskabet for Køleteknik seminar om Varmepumper, København (Peter Brøndum)

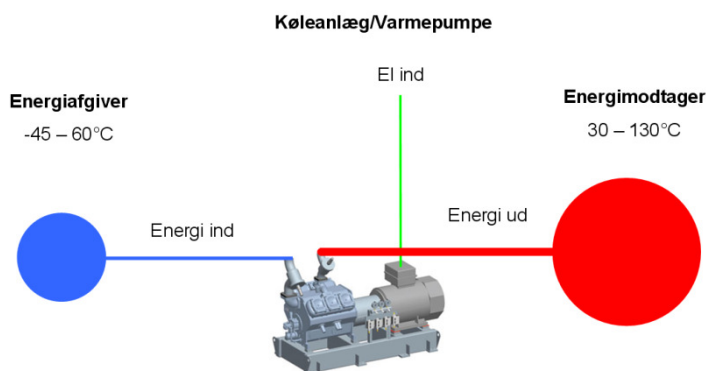
November 2010, VE-netværk (Ebbe Nørgaard)

Projektet har været beskrevet i artikler i følgende fagtidsskrifter: HVAC Magasinet (flere artikler), Kulde, Fjernvarmen (flere artikler), Fjernvarmen.dk, Ingeniøren (flere artikler), Ing.dk (flere artikler), BygTek, DEF.dk, ByggeTeknik, I dag.dk, Jernindustri.dk, Licitationen.dk, Nyhedsbladet Dansk Energi samt Vedvarende Energi og Miljø.

BILAG 1: HVAD ER EN VARMEPUMPE

En varmepumpe flytter energi fra et temperaturniveau til et højere.

Varmepumpe - princip



Energien hentes ved at køle energigiveren, og den afleveres ved at opvarme energimodtageren.

Processen kræver tilførsel af energi – oftest i form af el. Typisk vil der flyttes 3-4 gange mere energi mellem afgiver og modtager, end der tilføres fra el-nettet. Det betyder, at en varmepumpe er mere energieffektiv end en elpatron, der afleverer samme energi, som den tilføres.

Et køleanlæg og en varmepumpe er det samme. Er anlægget installeret for at afkøle ved energiafgiveren, er der tale om et køleanlæg. Er det energimodtageren, der er væsentligst, er det en varmepumpe.

Det optimale – et anlæg hvor både den kolde og den varme side anvendes – findes der desværre ikke et navn for: en køle/varmepumpe eller køle/varmeanlæg?

I denne rapport er kun eldrevne varmepumper behandlet.

Varmepumper drevet via gasmotorer er et interessant perspektiv i forhold til at anvende biogas og dermed reducere CO₂-udledningen. Dels på grund af startmoment og dels på grund af de høje omdrejningstal (for skruekompressorer 3.000 omd/min.) har gasmotorfabrikanterne p.t. ikke ønsket at levere motorer til industrielle varmepumper.

En reduktion af CO₂-udledningen opnås også ved at anvende vindmøllestrøm.

Ret beset er varmepumpen 'ligeglad' med drivmidlet, men da det er dette projekts opdrag at få implementeret en varmepumpe, har vi valgt at forudsætte, at der er anvendt el fra nettet. Anvendes gasmotor eller vindmøllestrøm, vil CO₂-besparelsen øges væsentligt.

Anlæggets virkningsgrad angives som en COP (Coefficient of Performance), defineret som forholdet mellem den nyttiggjorte energi og den forbrugte energi. Hvis vi ser på ovenstående tegning, vil et køleanlæg have en

$$\text{kulde COP} = \text{Energi ind} / \text{El ind}$$

mens en varmepumpe har

$$\text{varme COP} = \text{Energi ud} / \text{El ind}$$

Overordnet kan man sige, at $\text{Energi ind} + \text{El ind} = \text{Energi ud}$, hvilket betyder, at

$$\text{Kulde COP} + 1 = \text{Varme COP}.$$