

Højtemperatur varmepumper til industriel køling

Elforsk-projekt nr. 342-078
2013



Indholdsfortegnelse

Forord	2
Resume	3
1 Indledning	4
1.1 Baggrund	4
1.2 Projektformål	4
2 Varmepumpeafgifter	6
2.1 El og overskudsvarme	6
2.2 Formålsbestemt afgiftspålæggelse	7
2.3 Konkretiseret afgiftspålæggelse: Jensen Køkken.....	8
3 Varmepumper – Generelt	11
3.1 Kredsprocessen	11
4 Systemintegration af varmepumper	12
4.1 Fordampningskondensatorer	12
4.2 Valg af varmekilder til varmepumpen	13
4.3 Valg af direkte eller indirekte varmeveksling	15
4.4 Valg af kølemiddel	17
4.4.1 Varmepumpe med IsoButan (R600a) som kølemiddel.....	17
4.4.2 Varmepumpe med CO ₂ (R744) som kølemiddel.....	20
4.4.3 Indsatsområde for R600a og R744 varmepumper	21
5 Case: Jensens Køkken	22
5.1 Varmepumpen	22
5.2 Systemdesign	24
5.3 Systembeskrivelse	24
5.4 Styringsbeskrivelse	26
5.5 Driftsresultater	28
5.6 CO ₂ -emisioner	30
6 Konklusion	31
7 Kildehenvisninger	33
Bilag 1 R600a varmepumper – ALECTIA + JCI	34
Bilag 2 Overhedningsfjerner	51
Bilag 3 Case beskrivelse fra Go’Energi	52
Bilag 4 Artikel i DDV vedrørende Jensen Køkken	55

Forord

Denne rapport gengiver resultaterne af et Elforsk-projekt j.nr. 342-078 med titlen "Højefektive – højtemperatur varmepumper til industri køling".

Rapporten skal ses dels som en afrapportering af de i projektet gennemførte aktiviteter samt, som en introduktion til/vejledning i, hvorledes systemer til implementering af varmepumper for industriel varme kan oprettes.

Rapporten tager udgangspunkt i og handler altovervejende om en varmepumpe installeret hos Jensens Køkken, i Struer. Varmepumpen udnytter overskudsvarmen fra eksisterende Ammoniak-køleanlæg til opvarmning af vand til rengøringsformål.

Rapporten beskriver den leverede varmepumpe mht. til ydelser, virkemåde etc. Samtidig dokumenterer rapporten det økonomiske aspekt set fra slutbrugerens synspunkt ud fra målte data og værdier fra den daglige drift med anlægget, ligesom afskriftsbetingelserne er beskrevet.

Projektet er udført af:
Advansor A/S: Lars Rasmussen og Jacob Nielsen
Cronborg: Hanne Kronborg
Jensens Køkken: Klaus Skouenborg

Der rettes en speciel tak til Elforsk for den økonomiske støtte til projektet, samt ALECTIA og JCI for support vdr. R600a varmepumper.

Advansor A/S

Jacob Nielsen, projektleder
Marts 2013

Resume

Projektet "Højtemperatur varmepumper til industri køling" er et projekt bevilget under Elforsk-puljen, som administreres af Dansk Energi.

Rapporten omhandler teoretisk analyse af forskellige former for integration af varmepumper i industrien, såvel som et demonstrationsanlæg, der tjener til projektets praktiske udførelse.

Varmepumpeteknologien har været kendt gennem mange år og varmepumper har været tilgængelige i ligeså mange. De har gennem de seneste årtier holdt sit indtog som billigt alternativ til fjernvarme i privat boligbebyggelse samt som favorabel varmekilde i egne uden varmforsyning så som landejendomme og sommerhuse.

Til gengæld har det haltet lidt med udbredelsen på det industrielle marked, hvor antallet af enheder stadig er begrænset sammenlignet med vores nabolande. Dette har grobund i flere forskellige problemstillinger: Elpris, udvalg af produkter med tilstrækkelig høj temperatur, stor andel af fjernvarme, usikkerhed om afgiftsforhold og lignende. Det er projektgruppens opfattelse at afgifterne er med til at afskrække evt. interessenter og derfor falder mulige projekter til jorden allerede inden de ser dagens lys. Holdningen synes at være: *"Det kan ikke lønne sig, når der skal betales afgifter"*. Dette er imidlertid ikke hele sandheden og oftest skal en grundig analyse danne grundlag for en endelig vurdering. Det i konkrete tilfælde fra Jensens Køkken viser at en fornuftig rentabilitet opnås, selv med fuld afgiftspåtegning. Endvidere synliggøres det, at den mulige årlige besparelse forhøjes, når man betragter systemet i et ikke afgiftsbelagt perspektiv.

Rapporten beskriver systemintegration mellem varmepumper og eksisterende industrielle køleanlæg. Ammoniak anlæg i industrien anslås at have en fordelingsnøgle på 85%, hvorfor kun en analyse af denne type installation som overskudsvarmegiver er inkluderet i denne rapport. Som potentiel varmeoptager undersøges derimod både varmepumper med CO₂ og Isobutan som kølemedie, da disse er de interessante kølemedier til frembringelse af højtemperatur varme. Det ses gennem projektet at kombinationen af varmepumpe med eksisterende køleanlæg kan frembringe fordelagtige situationer, hvor virkningsgraden på varmepumpen er særdeles høj samtidig med at el- og vandforbruget til køleanlægget reduceres. Analysen gengiver at CO₂ er foretrukket frem for Isobutan i de tilfælde hvor et højt temperaturløft er ønsket, hvorimod fordelene tipper til Isobutans side ved lavere temperaturløft.

I demonstrationsprojektet viser rapporten at varmepumpen isoleret set har en COP på 4,1, mens man ved at betragte systemet som helhed, opnår en COP på 5,5. Udover øget virkningsgrad profiterer løsningen ved at have en reduktion i CO₂-udledning på 81 ton/år, og en besparelse på 470.000 kr/år.

1 Indledning

1.1 Baggrund

Anvendelse af varmepumper i den danske proces- og fødevarerindustri er begrænset. Dette skyldes dels mangel på varmepumper, som er i stand til at levere den ønskede procestemperatur, idet de fleste traditionelle varmepumper er teknisk begrænset omkring 60°C og dels at effektiviteten samtidig er så lav ved høje temperaturer, at den økonomiske gevinst er begrænset ift. gaskedler etc. Varmepumper der benytter CO₂ eller Isobutan som kølemiddel - vil imidlertid kunne levere temperaturer omkring 80-90°C ved en effektfaktor over 4,5 ved de rette systemintegrationsbetingelser og dermed være direkte attraktive som varmeproducerende enheder til fortrængning af fossilt brændsel. I de tilfælde, hvor proceskøling også skal nyttiggøres, kan behovet dækkes ned til -10°C.

Transkritiske varmepumper med CO₂ som kølemiddel er en ny teknologi, men teknologien er allerede afprøvet i et antal større projekter i Danmark, herunder blandt andre nedenstående varmepumper:

- Marstal - 1500 kW varme
- Frederikshavn - 1000 kW varme
- Hjortebjerg - 700 kW varme
- Københavns energi - 160 kW varme

Anvendelsen af isobutan til varmepumper er ligeledes en ny teknologi, og i Danmark kører der:

- Skejby Sygehus - 450 kW varme

Med El-forsk projektet ønskedes demonstreret nye løsninger til industriens anvendelse af køleanlæg ved systemintegration af samtidig varmeproduktion. En grundlæggende barriere for virksomheders realisering af denne type projekter skyldes ikke mindst uklarhed omkring forholdene omkring afgiftsregler ved udnyttelse af overskudsvarme. Det er dog udgangspunktet, at der ved integration af køle og varmefunktioner kan opnås både installationsmæssige besparelser og ikke mindst nedbragt energiforbrug. Heraf foreligger der danske virksomheder et samlet udnyttelsespotentiale af overskudsvarme på op mod 10% af erhvervslivets energiforbrug.

1.2 Projektformål

Såvel teknologiske nye muligheder for at skabe synergi mellem køle- og varmeproduktion, samt økonomiske konsekvenser heraf, søges kortlagt ved på baggrund af projektet at opstille systemintegrationsbetingelser i forhold til procesindustrien; herunder forsøg på at kortlægge samspil med eksisterende køleanlæg og samtidighedsforhold for varme- og kuldebehov. Hvor der ikke eksisterer et erfaringsgrundlag for varmepumper i industrielle anvendelser, ønskes dette etableret gennem fuldskala demonstration.

Til projektet er der opført en fuldskala varmepumpeinstallation hos Jensens Køkken, i Struer. Varmepumpen udnytter overskudsvarmen fra et eksisterende ammoniak-køleanlæg og åbner således op for fuldskala demonstration og hermed etableringen af et erfaringsgrundlag. Heraf skal nærværende rapport dels ses som en afrapportering af gennemførte projektaktiviteter, og dels som en introduktion til/vejledning i, hvorledes systemer til implementering af varmepumper for industriel varme kan oprettes. Samtidig er det målet at bruge projektet til at dokumentere det økonomiske aspekt set fra slut-

brugerens synspunkt ud fra målte data og værdier fra den daglige drift med varmepumpen hos Jensens Køkken. Herved skal der behandles både muligheder for, samt konsekvenser ved systemintegration.

2 Varmepumpeafgifter

Det er projektgruppens opfattelse, at der forud for projektet er generel uklarhed i kølebranchen omkring afgifter og økonomi ved installation og drift af en varmepumpe. Uklarheden udspringer af komplekse afgiftsregler, som typisk har ført til den ofte forkerte konklusion; at en varmepumpeløsning helt generelt ikke kan svare sig. I daglig praksis forpasses således mulige rentable varmebesparelser. Sammenlignet med det øvrige Europa må Danmark desværre karakteriseres som et "uland" indenfor varmepumper, og der foreligger et presserende behov for at differentiere varmeformål, temperaturkrav og kapaciteter i forhold til gældende afgifter og priser på el, olie og gas.

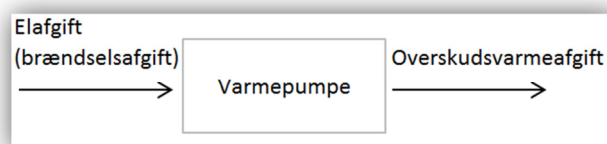
Denne usikkerhed omkring afgifter er en uheldig barriere, der er til gene for både slutbrugere og andre interessenter.

Nærværende afsnit sammenfatter og konkretiserer relevante afgifter for emnet *Højtemperatur varmepumper til industriel køling*. Redegørelsen danner samtidig grundlag for rapportens opgørelse af de driftsøkonomiske konsekvenser for integrationen af varmepumpeinstallationen hos Jensen Køkken.

2.1 El og overskudsvarme

Ved benyttelse af varmepumper til industriel køling kan man være omfattet af to typer afgifter:

- Afgift på varmepumpens drivmiddel
- Afgift på varmepumpens output



Figur 1: Afgiftstyperne fordeles mellem varmepumpens optagne el og afgift på overskudsvarme

Afgift på varmepumpens drivmiddel er en afgift, der pålægges den mængde el eller brændsel (kul, olie, gas, biogas etc.) som benyttes til at drive varmepumpen. I de fleste tilfælde og i nærværende projekt benyttes elektricitet som drivmiddel. Derfor behandles kun forhold omkring elafgift.

Afgift på varmepumpens output er en afgift der kan pålægges den mængde varme, som varmepumpen producerer. Denne afgift kaldes overskudsvarmeafgift. Denne afgift skal kun svares af den mængde nyttiggjort arbejde, der overstiger elforbruget tre gange (dvs. varmepumpe med en COP på over 3.0) og såfremt at varmen ikke benyttes til procesmæssige forhold.

2.2 Formålsbestemt afgiftspålæggelse

Forholdene omkring afgiftspålæggelse skal sættes i relation til hvilket forbrugsformål der anvendes elektricitet. Her skelnes der overordnet mellem elforbrug til produktion af procesvarme eller rumvarme. Alt efter formålet tillægges overskudsvarmeafgift.

Procesvarme:

I industrien, hvor elektriciteten anvendes til belysning, drift af maskiner, samt EDB-udstyr og ventilation (dog ikke komfortkøling), kan virksomheden som hovedregel få godtgjort 100% af elafgiften (inkl. elsparebidrag og tillægsafgift). Der kan kun opnås 75% godtgørelse af eldistributionsafgiften af et årligt forbrug op til 15 mio. kWh. Ved forbrug herudover er der mulighed for 100% fradrag af eldistributionsafgiften. Der er ikke fradrag for energispareafgiften (CO₂ afgiften). Der skal ikke betales overskudsvarmeafgift.

Elafgift	
Afgifter på elektricitet består af*:	
	Øre/kWh
Elafgift	64,70
Elsparebidrag	0,60
Eldistributionsbidrag	4,00
Tillægsafgift	6,20
Deltotal	75,50
Energispareafgift (tidl. CO ₂ -afgift)	6,50
Total	82,00

*) afgift i øre/kWh 2012

Figur 2: Elafgiftens bestanddele, 2012

Rumvarme:

Virksomheder skal betale afgift af overskudsvarme, hvis virksomheden ved særlige installationer udnytter overskudsvarme fra procesformål til rumvarme eller opvarmning af vand eller komfortkøling. Dette gælder f.eks. varme og varmt vand fra procesformål, der anvendes i rør- eller radiatorsystemer til rumopvarmning eller opvarmning af varmt vand. Virksomhedens betaling af overskudsvarmeafgift sker ved at modregne en beregnet afgift af overskudsvarme i den afgift, som virksomheden søger godtgjort fra procesformål.

Ved overskudsvarme forstås varme fra et optimeret procesanlæg (hvor der ydes refusion af elafgifter på forbrugt el til procesformål), der således ikke anvender mere el end nødvendigt til procesformålet. Overskudsvarmen må således ikke opstå fordi procesanlægget dimensioneres eller opereres med nedsat effektivitet, og derved laver mere overskudsvarme, som ellers ikke ville være fremkommet.

Godtgørelsen af energiafgifter skal nedsættes med et beløb i kr. pr. gigajoule (GJ) overskudsvarme, der anvendes i virksomheden til rumopvarmning eller varmt vand. Altså gøres der brug af en modregningsmetodik for afgiftspålæggelsen.

For nyttiggjort overskudsvarme udgør overskudsvarmeafgiften (nedsættelse af afgiftsgodtgørelsen) 51,5 kr/GJ i 2013.

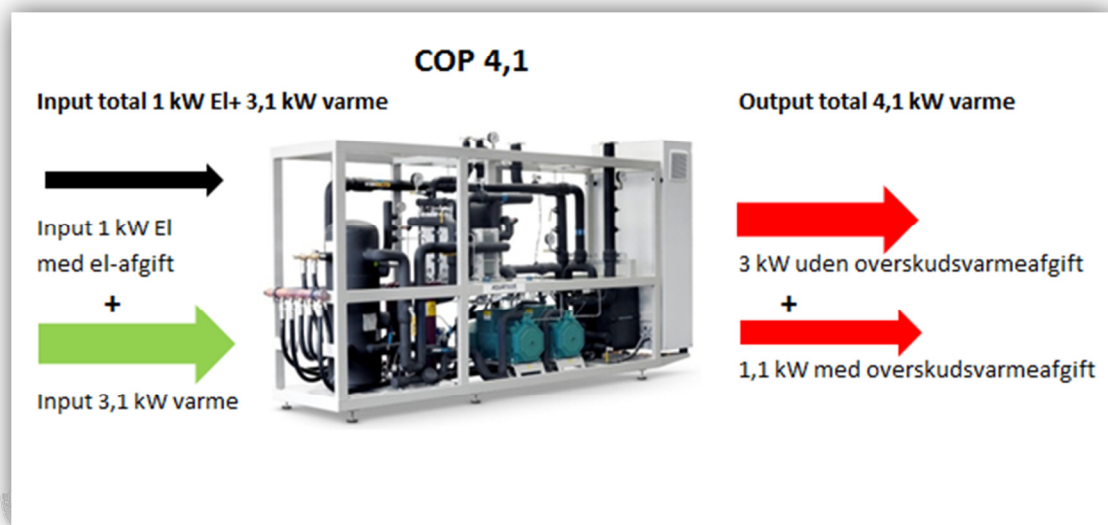
Virksomheden skal kun betale afgift af nyttiggjort overskudsvarme til eget forbrug af rumvarme i virksomheden eller internt forbrug af varmt vand, der er fremstillet af overskudsvarme i perioden 1. oktober til 31. marts (typisk fyringssæson). Der skal ikke betales overskudsvarmeafgift, hvis overskudsvarmen anvendes til procesformål.

For varmepumper gælder det, at der skal betales overskudsvarmeafgift af den mængde nyttiggjort arbejde, der overstiger elforbruget tre gange (dvs. varmepumpe med en COP på over 3).

2.3 Konkretiseret afgiftspålægning: Jensen Køkken

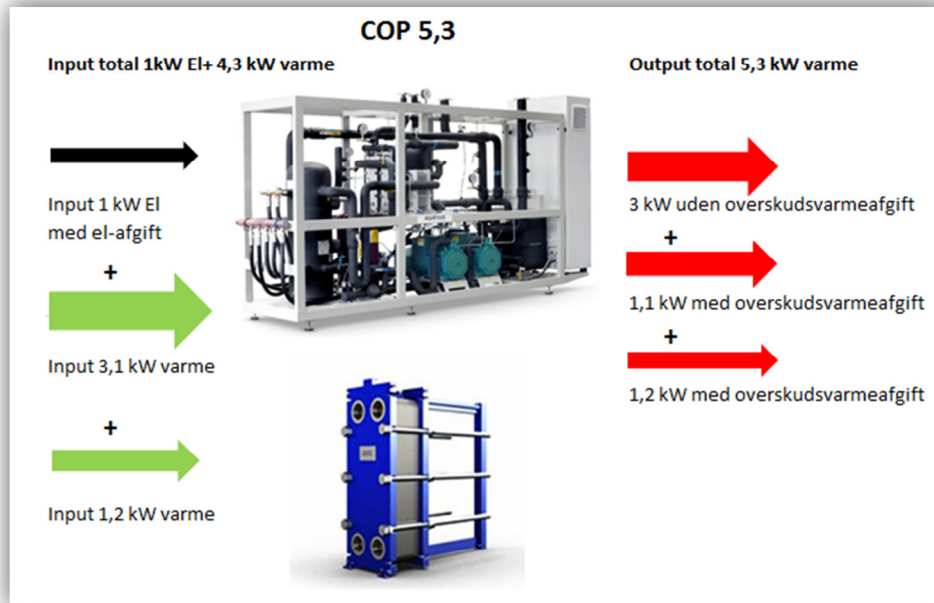
Afgiftsforholdene for den installerede varmepumpe hos Jensen Køkken i Struer, er herunder fremlagt. Der ses konkret og udelukkende på konsekvensen for den specifikke kWh-pris når varmepumpen er i drift henover et år.

Ser man på varmepumpen isoleret, producerer denne varme med en COP = 4,1 (jfr. kapitel 5.5) til rengøringsformål og der skal derfor betales afgift af brændslet – i dette tilfælde den optagne el-effekt. Denne afgift er på 82 øre (se figur 2). Varmepumpens system vises på figur 3.



Figur3: Eksempel på energiforhold og afgiftsforhold for en varmepumpe.

Ses varmepumpesystemet som en helhed, består konceptet, udover varmepumpen, yderligere af en varmeveksler, der forvarmer rengøringsvandet inden den strømmer videre ind i varmepumpens veksler (se figur 3a). Denne installation øger systemets COP-værdi fra 4,1 til 5,3. Dvs. at denne veksler i sig selv yder 1,2 kW – denne ydelse skal pålægges overskudsvarmeafgift (jf. formuleringen i lovtæksten, der beskriver at: *overskudsvarmeafgift er pligtig, såfremt der ved særlig installation opnås varme fra procesformål...* - Det er netop tilfældet her)



Figur 3a Eksempel på energi og afgiftsforhold for en varmepumpe, der kører parallelt med en overhedningsfjerner.

Pr. 1. januar 2013 gives refusion af 41,3 øre såfremt den forbrugte elektricitet anvendes til rumvarme, opvarmning af vand og komfortkøling.

Overskudsvarmeafgift skal betales af den mængde produceret varme, der overstiger en COP på 3, jf. forudgående afsnit.

Overskudsvarmeafgiften betales kun fra 1. oktober til 31. marts.

Herunder ses den sammenfattede opgørelse af kWh-pris for henholdsvis elafgift og overskudsvarmeafgift.

Elafgift:

Varmepumpeinstallationen afgiftsbelægges på elforbruget, eftersom overskudsvarme fra procesformål udnyttes til opvarmning af rengøringsvand. Grundet refusionsydelse pr. 1. januar 2013, reduceres den samlet kWh-pris til 40,70 øre/kWh.

Elafgift	
	Øre/kWh
Elafgift	64,70
Elsparebidrag	0,60
Eldistributionsbidrag	4,00
Tillægsafgift	6,20
Deltotal	75,50
Energispareafgift (tidl. CO2-afgift)	
	6,50
Refusioner:	
Elafgift (pr. 1. januar 2013)	41,30
Total	40,70

Figur 4: Elafgift kWh-pris, Jensens Køkken

Overskudsvarmeafgift:

Overskudsvarme fra procesformål udnyttes til opvarmning af rengøringsvand, hvor der kun afgiftsbelægges i perioden 1. oktober til 31. marts. Der pålægges afgift på den mængde produceret varme som overstiger en COP = 3 (se evt. figur 3).

Overskudsvarme	
	Øre/kWh
Overskudsvarmeafgift vinterhalvår	
(kun af det mængde der overstiger COP på 3 - dvs. 2,3 (5,3-3))	
Overskudsvarmeafgift 2,3 * 18,54 øre	42,64
Overskudsvarmeafgift sommerhalvår	
	0,00

Figur 5: Overskudsvarmeafgift kWh-pris, Jensens Køkken

Samlede afgifter:

Samlet årsafgifter (El + overskudsvarme)	
	Øre/kWh
Vinterhalvår	
(40,70+42,64 øre/kWh)/ 5,3	
	15,72
Sommerhalvår	
(40,70 øre/kWh)/ 5,3	
	7,68

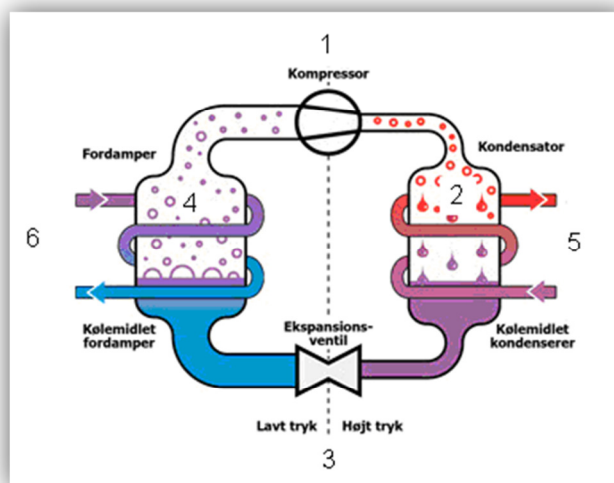
Figur 6: Samlet afgifts kWh-pris, Jensens Køkken

3 Varmepumper – Generelt

En varmepumpe er et anlæg, der ved hjælp af en kredsløbsproces er i stand til at flytte varme fra en kilde til en anden. De fleste varmepumper flytter varme fra en lav temperatur til en højere temperatur. Varmepumper er oftest drevet af el, men varianter drevet af forskellige typer forbrændingsmotorer kan også forekomme, ligesom absorptionsvarmepumper, der udnytter varmeenergi som drivmiddel.

3.1 Kredsløbsprocessen

Varmepumpens kredsløb (gælder ikke for absorptionsvarmepumper) består af et lukket system, der indeholder et medie, der i systemet er enten på gasform eller væskeform. Man kalder gassen/væsken for et kølemiddel, idet kredsløbsprocessen er identisk med den som foregår i et køleanlæg.



Figur 7: Principskitse for kredsløbsprocessen

Kompressoren (1) er hjertet i varmepumpen. Den tilføres effekt gennem el eller forbrænding og udnytter denne energi til at komprimere kølemidlet. Komprimeringsprocessen gør, at gassen kommer under et højt tryk og samtidig bliver meget varm (op til 140° C ved CO₂). I kondensatoren (2) fortættes den varme gas og bliver til væske. Den afgiver herved sin varme til det omkringliggende system (5). Væsken, der fortsat er under højt tryk, strømmer fra kondensatoren videre mod ekspansionsventilen. Væsken ekspanderer over ekspansionsventilen (3) og bliver til en blanding af væske og gas ved lavt tryk. Denne blanding strømmer videre mod fordamperen (4). Her fordampes al væsken og bliver til gas. Fordampningen kræver en stor mængde energi, der tages fra omgivelserne (se punkt 6) og derfor køles omgivelserne. Gassen strømmer herfra tilbage til kompressoren og er klar til at begynde processen forfra.

I de sekundære systemer (5 og 6) afgives og optages varme. I kondensatorens sekundærsystem afsættes varmen fra kondensatoren. Det betyder at den væske, der strømmer ind i kondensatoren, har en lavere temperatur end når den kommer ud. I fordampere ns sekundærsystem forholder det sig lige omvendt. Her har væsken en højere indgangstemperatur end udgangstemperatur.

4 Systemintegration af varmepumper

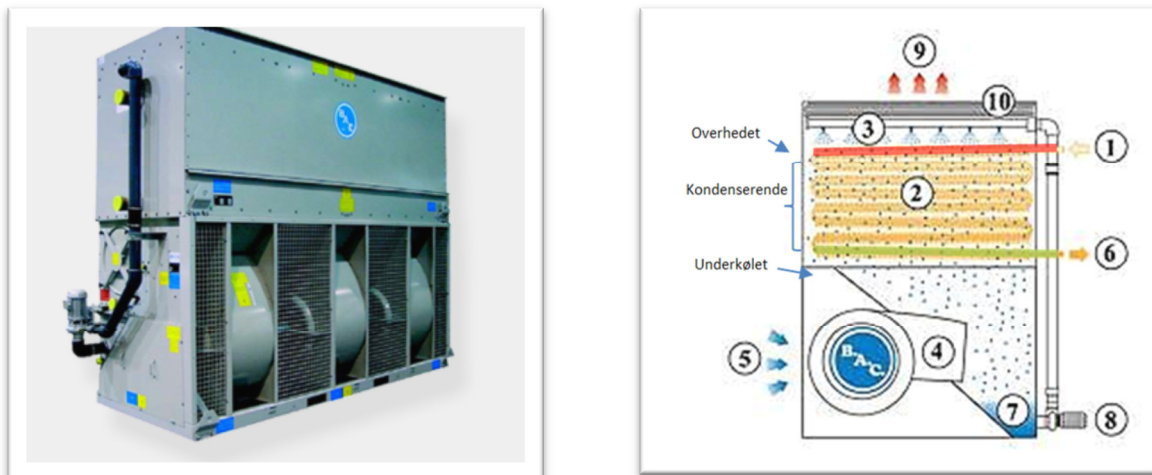
For at udnytte overskudsvarme fra et industrikøleanlæg er det nødvendigt at varmepumpen integreres på kondensatorsiden af anlægget. Denne type køleanlæg opererer normalt med ammoniak (NH_3) som kølemiddel, og kondensatorsiden består normalt af en af følgende typer kondensatorer:

- Fordampningskondensator
- Pladevekslerkondensator med køletårn
- Luftkølet kondensator
- Søvandskølet kondensator

Hovedparten af danske industrianlæg kører med fordampningskondensatorer (skønsmæssigt over 90%), og det vil derfor ikke umiddelbart være relevant at undersøge andre optioner.

4.1 Fordampningskondensatorer

I en fordampningskondensator kondenserer NH_3 i et rørbundt (2) (se figur og principskitse herunder), som oversprayes med recirkuleret vand. I modstrøm med vandet trækkes luft forbi rørbundet vha. en ventilator. Sprayvandet opsamles i bunden (sumpen) af kondensatoren (7), og pumpes direkte til dyserne i toppen af kondensatoren vha. en sprayvandpumpe (8). Alternativt ledes sprayvandet til et centralt reservoir, der kan være fælles for flere kondensatorer. Fra dette reservoir pumpes vandet til spraydyserne (3).



Figur 8: Eksempel på fordampningskondensator. 1: NH_3 gas ind (overhedet); 2: kondensator rørbundt; 3: sprayvands dyser; 4: centrifugal ventilator; 5: tilgangs luft; 6: NH_3 kondensat ud (underkølet); 7: lokalt vand reservoir (=sump); 8: sprayvand pumpe; 9: varmt, fugtig luft ud (100% RH); 10: dråbe fang.

Processen i kondensatoren er, at den overhede trykgas fra kompressorerne føres ind i toppen af rørbundet, og det cirkulerede sprayvand, der strømmer hen over rørbundet, fjerner hele kondensatorvarmen fra rørene ved fordampning af sprayvand og samtidig opvarmning og befugtning af luften. Kondensatet ud af rørbundet er underkølet omkring 3 grader.

Sprayvandets temperatur ligger typisk et sted midt mellem kondenseringstemperaturen og luftens våd-temperatur, dvs. sommertemperatur = 25-28°C og vintertemperatur = 5-15°C.

Kondenseringstemperaturen ligger omkring 10-15°C over luftens vådtemperatur, der i Danmark ikke overstiger 21°C om sommeren. Og hvis kondenseringstemperaturen kommer under ca. 15°C, stoppes vandflowet, så køleanlægget ikke kommer uden for dets arbejdsområde. Kondenseringstemperaturen vandrer dermed mellem f.eks 15 og 36°C gennem året.

Da vandet i kondensatoren gradvist koncentrerer mere og mere pga. den kontinuerlige afdampning, er det nødvendigt altid at tilføre mere spædevand end der fordampes, samtidig med at der af tappes vand fra kondensatorens sump (Bleed off). Bleed off mængden afhænger af spædevandets hårdhedsgrad, og ved ubehandlet råvand i Danmark anvendes Bleed Off-rate på mellem 0,5 og 2,5 gange den fordampede mængde vand. For at reducere vandforbruget, anvendes ofte vandbehandlet spædevand, hvilket reducerer Bleed-off raten til omkring 0,2 gange den fordampede vandmængde. Vandprisen stiger dog samtidig pga. kemikalieforbruget.

Delproces	Nominelt forbrug
Spædevands flow	<u>Vandforbrug:</u> 1,3 m ³ /h pr. MW ved vandbehandlet vand <u>Vandforbrug:</u> 1,7 m ³ /h pr. MW ved blødt vand <u>Vandforbrug:</u> 3,9 m ³ /h pr. MW ved hårdt vand
Sprayvands flow	<u>Elforbrug:</u> 4 kW/MW (70-100 m ³ /h pr. MW)
Luft flow	<u>Elforbrug:</u> 21 kW/MW (92.800 m ³ /h pr. MW)
Samlet El-forbrug	<u>Elforbrug:</u> (4+21 kW =) 25 kW/MW

Figur 9: Nominelt forbrug for fordampningskondensator med centrifugalventilator.

4.2 Valg af varmekilder til varmepumpen

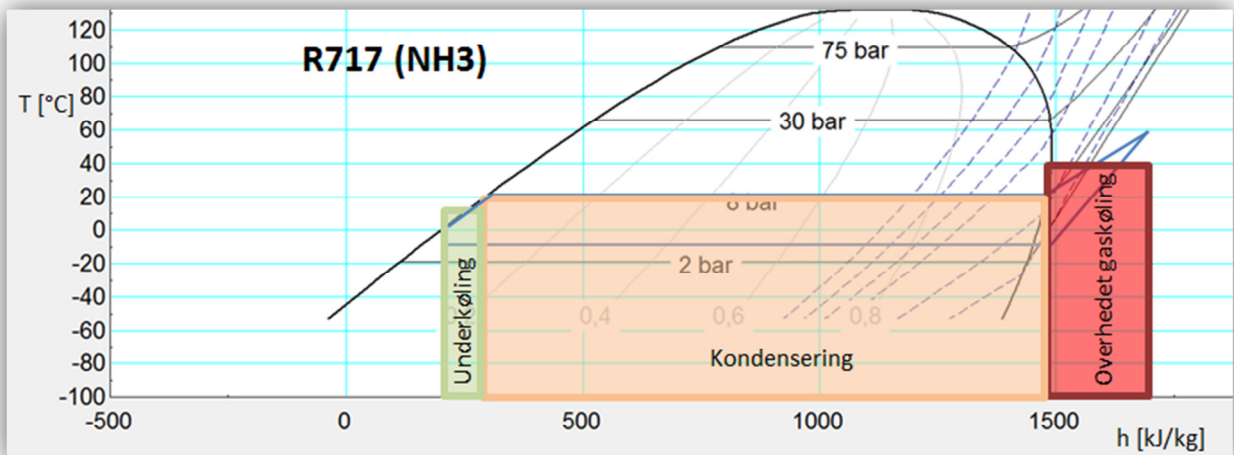
Kondensatoren varetager normalt hele processen med overhedningsfjerning, kondensering og underkøling, men ved en integration med en varmepumpe, kan varmen trækkes ud af anlægget ved at installere varmevekslere før, parallelt med eller efter den eksisterende kondensator. Alternativt kan varmen trækkes ud af sprayvandet. De 4 positioner har forskellige temperaturniveauer og kapaciteter.

Varmepumpens varmekilde skal have en tilstrækkelig kapacitet, som afhængig af design og det aktuelle varmtvandsforbrug, fx kan variere mellem 10 og 100% af NH₃ anlæggets kondensatorkapacitet. Samtidig er det optimalt at tage varmen ud af NH₃ anlægget på så højt et temperaturniveau som muligt, for at opnå den mest energioptimale varmeproduktion.

Køleanlæggets kondensatorkapacitet og temperaturniveau afhænger kraftigt af omgivelsetemperaturen og belastnings profilet på anlægget, og et NH₃ anlæg med fx nominelt 500 kW kondensatorydelse ved 35°C kondenseringstemperatur, vil godt kunne have en års-gennemsnitlig ydelse på 300 kW og en gennemsnitlig kondenseringstemperatur på 25°C. I perioder vil ydelse og temperatur naturligvis kunne falde yderligere. Det er derfor nødvendigt dels at dimensionere varmepumpens veksler til den forventede middel kapacitet og temperatur, og samtidig gøre den robust overfor de store udsving der vil forekomme.

Der skal således vælges en veksler-position der både har det ønskelige temperaturniveau og varmekapacitet. Følgende vil kunne udnyttes:

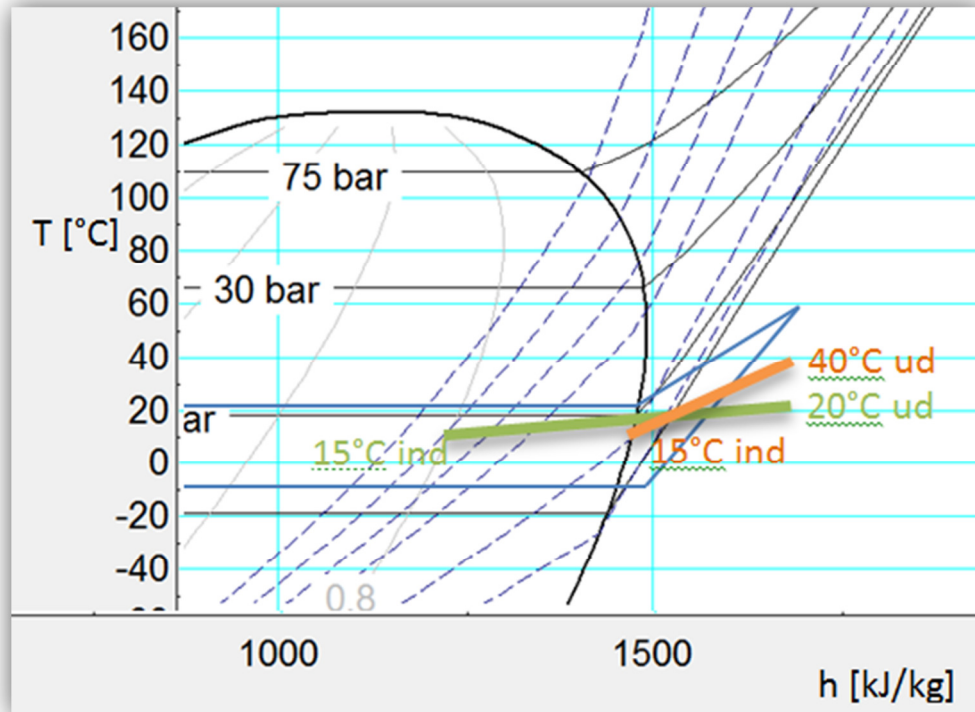
1. Overhedningsvarmen
 - Overhedningsvarmen fra køleanlægget har et højt temperaturniveau, men kapaciteten er lille. Det vil ofte ikke være tilstrækkelig kapacitet i overhedningen som eneste varmekilde til varmepumpen.
 - Op til 10% kapacitet ved gennemsnitlig NH₃ temperatur = 40-45°C
2. Kondenseringsvarmen
 - Kondenseringsvarmen er den kapacitet der afgives i kondenseringszonen, og udgør derfor den største varmekapacitet. Temperaturen her er lavere end i overhedningszonen, og fordampningstemperaturen i varmepumpen skal derfor vælges tilsvarende lavt.
 - Op til 100% kapacitet ved gennemsnitlig NH₃ temperatur = 20-35°C
3. Underkølingsvarme
 - Underkølingsvarmen, dvs. den restvarme der er i NH₃'en efter kondenseringszone, har et lavt temperaturniveau, og vil kunne udnyttes hvis der er behov.
 - Op til 5% kapacitet ved gennemsnitlig NH₃ temperatur = 10-25°C
4. Sprayvandsvarme
 - Hvis sprayvandet udnyttes som varmekilde, kan dette gøres uden indgreb i NH₃ anlægget da sprayvandet kan bruges direkte til veksling i varmepumpen. Der kræves dog en effektiv vandfiltrering for at beskytte veksleren.
 - Op til 50% kapacitet ved gennemsnitlig vand temperatur = 5-20°C



Figur 9: Eksempel på sammensætning af kondensatorvarme fra NH₃ anlæg. Zonen med overhedet gas er varm, men udgør kun en lille andel af den samlede varme.

For at opnå både høj temperatur og tilstrækkelig varmekapacitet, synes den optimale løsning at være én pladeveksler, der placeres i serie med den eksisterende fordampningskondensator. Herved vil den overføre så meget af den varme overhedning som muligt, og hvis der er større behov end den tilgængelige overhedningskapacitet, så kan den yderligere overføre en større eller mindre andel af kondenseringsvarmen (se nedenstående figur 11).

Pladeveksleren dimensioneres til varmepumpens kapacitet ved fuld last. Herved vil pladeveksleren ved lav vandbelastning være overhedningsfjerner, og kunne levere ret høje temperaturer, og den vil ved øget vandbelastning yderligere overtage en del af kondenseringszonen.



Figur 10: Eksempel på temperaturprofilen for vand under veksling med NH_3 i overhedet zone (orange vand ind=15°C/ud=40°C) og i en kombination af overhedet zone og starten af kondenseringszonen (grøn vand ind=15°C/ud=20°C).

Hvis varmepumpen har så stor ydelse at den kan aftage 100% af køleanlæggets kondensatorvarme, kan køleanlæggets kondenseringstemperatur vælges optimalt, så både køleanlæg og varmepumpe kører mest effektivt. Men da varmepumpen ikke formodes at kunne aftage hele kondensatorvarmen, vil køleanlæggets kondenseringstemperatur reelt være uberørt af om varmepumpen kører eller ej. Varmepumpen skal derfor designes til at fungere under det store naturlige sæsonudsving, der dermed stadig er på kondenseringstemperaturen.

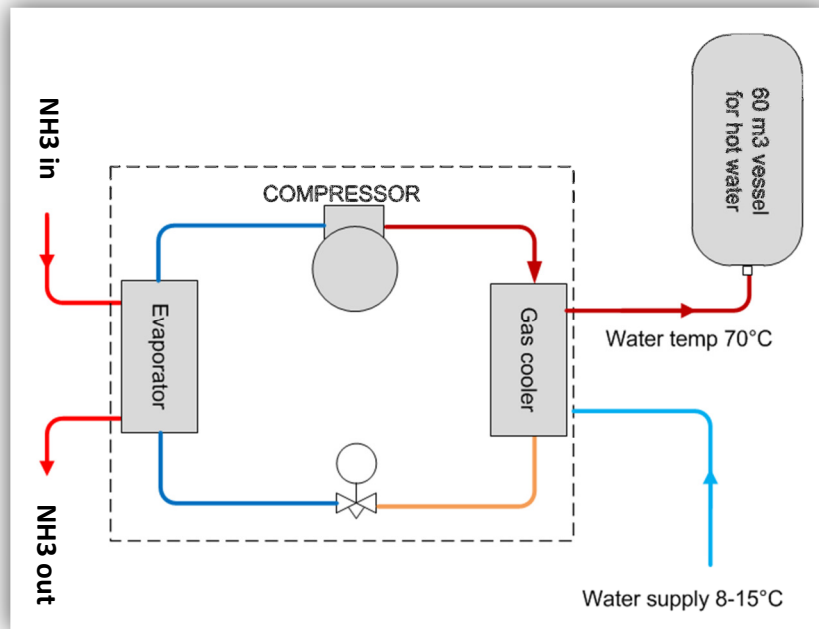
Uanset hvilken varmekilde der udnyttes, så vil varmepumpen foretage en effektiv køling af køleanlæggets kondensatorside, og dermed aflaste fordampningskondensatorerne med en tilsvarende kapacitet, hvilket vil spare både strøm og vand.

4.3 Valg af direkte eller indirekte varmeveksling

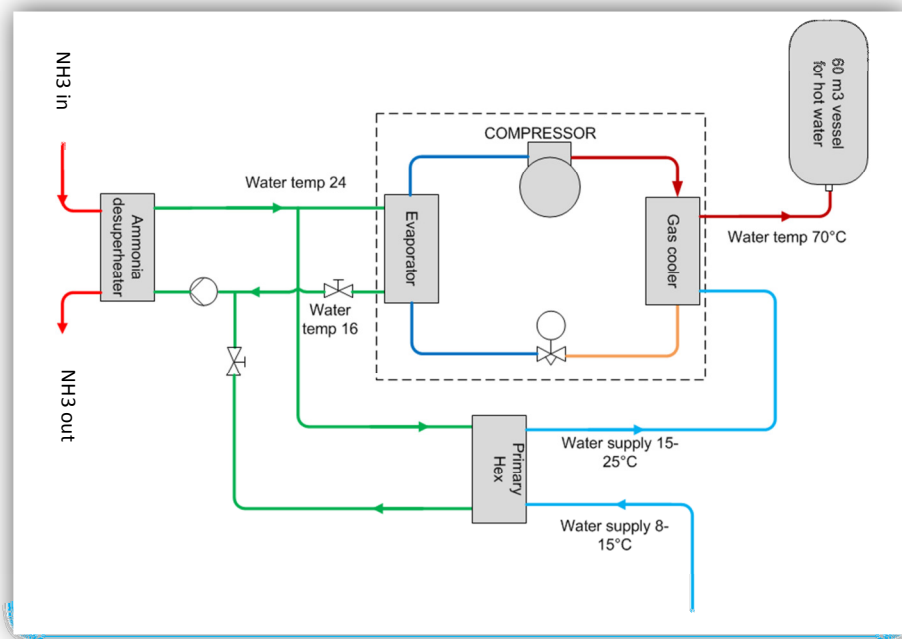
Foruden valget af varmekilde, skal der vælges om vekslingen skal ske ved direkte eller indirekte fordampning op mod NH_3 anlægget. Den direkte fordampning er mest effektiv da der ikke optræder noget unødigt temperaturtab, men lækager i veksleren vil kunne forurene enten varmepumpens kølemiddel, eller i værste fald beskadige NH_3 -anlægget, hvilket ville være voldsomt dyrt i tabt produktion og reparation af anlægget. CO_2 og NH_3 reagerer kemisk og danner hjortetaksalt som blokerer kølerørene.

En indirekte fordampning, hvor der anvendes en vandkreds som varmebærer, beskytter begge anlæg mod gensidig forurening, og reducerer samtidig integrationen mellem an-

læggene til et håndgribeligt vandsystem. Vandsystemet gør det samtidig let at indregulere varmepumpen, da varmekilden herved kan kapacitetsstyres vha. vandventiler og vandpumpe. Yderligere giver det indirekte system gode muligheder for at fordele varmen fra NH₃ anlægget, så den del af vandet der er varmt nok til direkte at blive brugt til opvarmning af brugsvandet blot kan bypasse varmepumpens fordamper, og derved reducer kompressorarbejde.



Figur 11: Systemkoncept med direkte veksling mellem NH₃ og varmepumpens kølemiddel.



Figur 12: Systemkoncept med indirekte veksling mellem NH₃ og varmepumpens kølemiddel, via vandloop.

4.4 Valg af kølemiddel

Varmepumpens kølemiddel er naturligvis af meget stor betydning for konceptet. De kølemidler der undersøges i indeværende rapport er:

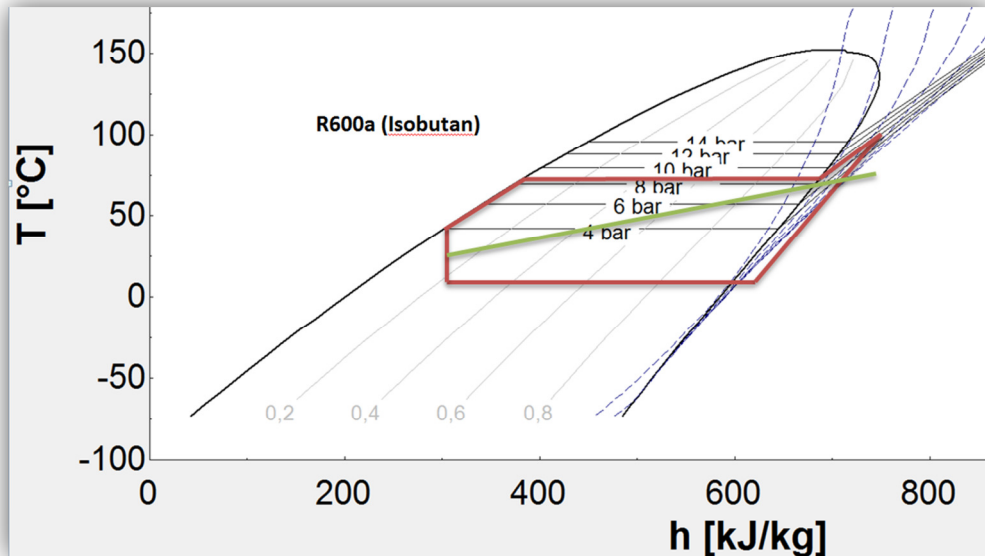
- Isobutan - R600a
- CO₂ – R744

4.4.1 Varmepumpe med IsoButan (R600a) som kølemiddel

Isobutan er et lavtryks kølemiddel med lave mætningstryk og en lille overhedning af trykgastemperaturen. Mætningstrykket ved 20°C er 3 bar(a) og ved 70°C er trykket 11 bar(a). Trykgassens overhedningszone er kort og trykgassen køles hurtigt ned til den dominerende kondenseringszone. Den korte overhedningszone bevirker at kondenseringstemperaturen er på niveau med vandtemperaturen ud af kondensatoren, da der ellers vil opstå pinchpoint problemer, hvor temperaturprofilen for vandside og R600a kommer så tæt ved hinanden at LMTD bliver for lav. Pinchpoint under 2K vil normalt give så lille LMTD at veksleren skal have meget stort areal og hvorved den bliver meget dyr.

Isobutan har en meget høj opløselighed med olien, hvilket giver store fordele for olie-cirkulationen i anlægget, men det bevirker samtidig at oliens smøreevne i kompressoren reduceres dramatisk, hvis olien ikke er tilstrækkeligt varm. Da trykrørstemperaturen i forvejen ikke er særlig varm, vil den ikke bidrage tilstrækkeligt til at holde olien varm, og dermed er der brug for en stor sugegasoverhedning (omkring 20K) for at kompressoroli- en beholder tilstrækkelig smøreevne. Dette opnås nemt vha. en sugegasveksler, men da varmen skal hentes ved veksling med kondensatorens drænrør, reduceres muligheden delvist for at underkøle kølemidlet med procesvandet, da sugegasveksleren herved mister drivende temperaturdifferens. Den reducerede underkøling reducerer COP.

En typisk kølecyklus for R600a ses på nedenstående T-h diagram. Da overhedningszonen er lille ifht kondenseringszonen, kan den ikke opvarme vandet varmere end kondenseringstemperaturen. I figuren er køleprocessen optegnet i et T-h diagram, selvom køleprocesser tegnes normalt i et LogP-h diagram. Disse er dog ikke optimale til at illustrere temperaturprofilen på kondensatorsiden i en varmpumpe.



Figur 13: T-h diagram for typisk kølecyklus med R600a ved 10°C fordampningstemperatur og 70°C kondenseringstemperatur. Den grønne kurve viser vandtemperaturprofilen gennem den varme side, med 20°C tilgangstemperatur og 70°C afgangstemperatur.

Vand ind/ud	Fordampnings temperatur	Kondenserings temperatur	Underkøling	COP
8/70°C	10°C	68°C	20	4,1
40/70°C	10°C	68°C	5	3,7

Figur 14: Teoretisk varme COP for R600a ved forskellige vand ind/ud temperaturer.

ALECTIA har sammen med JCI opført 2 stk. R600a varmepumper ved Skejby Sygehus. Disse anlæg har en varmeproduktion ved 40°C /70°C og anvender sygehusets airconditioningvand (15°C/9°C) som varmekilde (Bilag 1). Anlæggene producerer dermed både varme og kulde, hvilket giver en optimal udnyttelse. Fordampningstemperatur er 5°C og kondenseringstemperaturen er 68°C, hvilket ifølge ALECTIA/JCI giver en teoretisk ERR på 3,8. Den målte COP er 3,1, hvilket menes at skyldes underisolering og andre forhold, som forventes at kunne forbedres ved fremtidige anlæg. COP-værdier på 3,4 skønnes derfor fremadrettet at være opnåelige med konceptet ved Skejby.

Varmepumpekonceptet ved Skejby ligger tæt op ad konceptet i indeværende projekt, selvom temperaturforholdene afgiver på nogle punkter. Funktion hvor både varmepumpens kolde og varme kapacitet udnyttes, svarer til konceptet ved Jensen Køkken, hvor fordamper-kapaciteten bruges til at nedsætte NH₃-anlæggets el-forbrug, og kondensatorkapaciteten bruges til varmt vand. Det er derfor relevant at estimere hvordan en R600a varmepumpe vil fungere sammen med et NH₃ anlæg, som ved Jensen Køkken:

Direkte energiforhold	8°C/70°C	40°C/70°C	
Varmeproduktion (vand ind/ud = 8°C/70°C)	200	155	kW
Optagen kompressor effekt	41,1	45,6	kW
Direkte effektfaktor COP	4,9	3,4	-
Indirekte energiforhold			
Optagen cirkulationspumpeeffekt (30m ³ /h@1,5 bar)	2,5	2,5	kW
Effektbesparelse på kondensatorventilator og sprayvandspumpe	-3,9	-2,7	kW
Vandbesparelse pga. reduceret sprayvand (50% bleed off)	-0,27	-0,19	m ³ /h
Samlede energiforhold			
Samlet varmeproduktion	200	155	kW
Samlet optagen el-effekt	40	45	kW
Samlet effektfaktor COP	5,0	3,4	-
Samlet varmepris pr. kWh, excl. afgifter	0,119	0,192	kr/kWh

Figur 15: Estimerede data for R600a varmepumpe under de målte drift forhold ved Jensen Køkken. Forbrugspriser: El = 0,75 kr/kWh excl. afgifter; ubehandlet vand = 22,6 kr/m³.

Som det fremgår af ovenstående tabel, kan R600a varmepumpen både bruges til opvarmning af brugsvand fra 8 til 70°C med en COP = 5,0, og er også velegnet til opvarmning af recirkuleret vand fra f.eks. et varmeanlæg fra 40°C til 70°C med en COP på 3,4. Hovedårsagen til at COP er lav ved 40°C/70°C varmeproduktion, er at der ikke kan hentes noget "fri-varme" fra NH₃ anlægget, og brugsvandet yderligere ikke kan bidrage med nogen nævneværdig underkøling.

Afgifter			
Produceret varme fra VP + overhedningsfjerner	200	155	kW(varme)
Varmemængde udover det der laves ved COP=3 (200-40*3)	69	11	kW(varme)
Optaget kompressor + pumpe el-effekt (37,5+2,5)	44	48	kW(el)
Overskudsvarme – Vinter			
Afgift pr. kWh(el) der bruges til varmepumpen	0,407	0,407	kr/kWh(el)
Omregnet til afgift pr. kWh produceret varme (0,407*40/200)	0,089	0,126	kr/kWh(varme)
Afgift pr. kWh overskudsvarme fra VP (over varmen v. COP=3)	0,185	0,185	kr/kWh(varme)
Afgift pr. kWh overskudsvarme fra VP (aktuel (0,185*80/200))	0,064	0,013	kr/kWh(varme)
Samlet afgift pr. produceret kWh varme (vinter)	0,153	0,139	kr/kWh(varme)
Overskudsvarme – sommer			
Afgift pr. kWh(el) der bruges til varmepumpen	0,407	0,407	kr/kWh(el)
Omregnet til afgift pr. kWh produceret varme (0,407*40/200)	0,089	0,126	kr/kWh(varme)
Samlet afgift på varmen (antaget 60% i sommermdr.)	0,115	0,131	kr/kWh(varme)
Samlet energipris for R600a VP varme, incl. afgifter	0,233	0,324	kr/kWh(varme)

Figur 16: Afgiftsforhold for varme produceret ved 8°C/70°C og 40°C /70°C med R600a varmepumpe.

4.4.2 Varmepumpe med CO₂ (R744) som kølemiddel

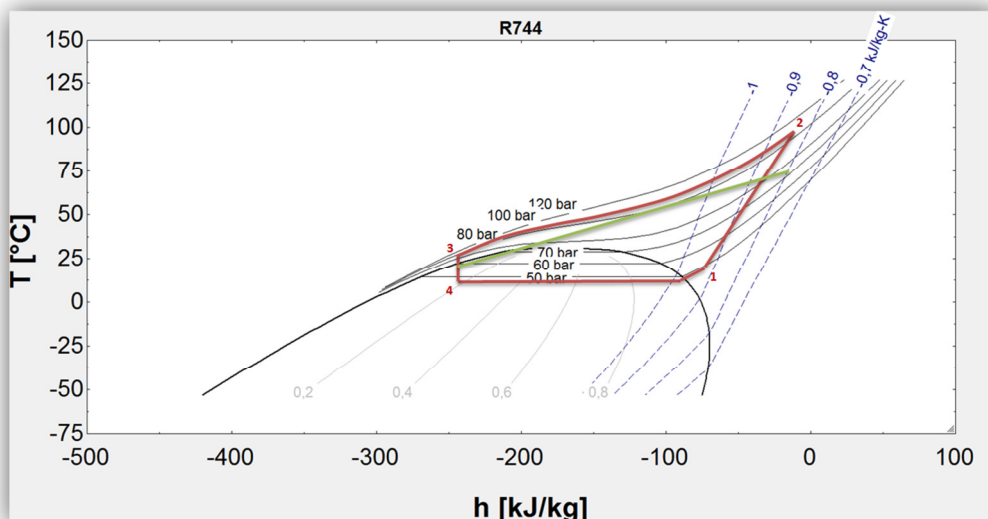
CO₂ er et højtryksskølemiddel, hvor trykniveauet i gaskøleren er omkring 90-110 bar under varmepumpedrift. Mætningstrykket ved 20°C er 58bar(a).

Kølemidlet udmærker sig ved at have høje trykrørstemperaturer, og da der ikke er nogen kondenseringszone ved transkritisk drift, så strækker overhedningszonen sig over hele varmeafgiversiden. Temperaturprofilen er højt og jævnt faldende gennem hele zonen. For at opnå en god COP har CO₂ brug for en stor nedkøling af kølemidlet ud af gaskøleren, og dette opnås ved at tilgangsvandtemperaturen er så kold som muligt. Til gengæld er trykrørstemperaturen i CO₂-anlæg så høj, at vandet kan varmes op til høje temperaturniveauer, hvilket er gunstigt for varmepumper, hvor der f.eks. opvarmes rengøringsvand fra 8°C til 70°C

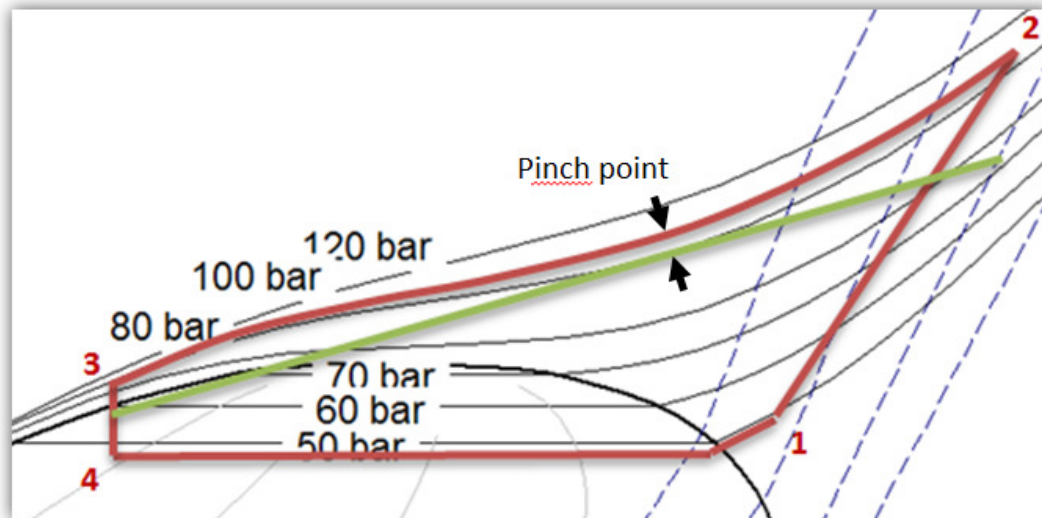
En typisk kølecyklus for CO₂ i varmepumpedrift ses på nedenstående T-h diagram. Kurven læses fra venstre (pkt.2) hvor CO₂ gassen strømmer ind i veksleren, hvor den kontinuerligt ned mod udgangstemperaturen (pkt.3). Gassens temperaturprofil fra punkt 2 til 3 har en karakteristisk S-formede udvikling, hvilket skyldes en meget varierende varmekapacitet.

Vandet strømmer i modstrøm med CO₂-gassen, og varmes derved kontinuerligt op fra gennem veksleren. Vandets opvarmning ses som en ret linje i diagrammet, da vandets varmekapacitet (tilnærmelsesvis) er konstant under opvarmningen.

Pinchpoint for varmevekslingen ligger dybt inde i veksleren. Dette betyder at det nødvendige gaskølertryk ikke bestemmes alene af vandtemperaturen ud af veksleren (fx 70°C), men i stor grad afhænger mere af vandtemperaturen ind i veksleren (fx 20°C). Gaskølertrykket skal være så højt at CO₂-temperaturprofilen til en hver tid ligger over det ønskede vandtemperaturprofil, da pinch point ellers ville være negativ, hvilket ikke er fysisk muligt. Pinch point temperaturdifferensen bør vælges større end 2K, for at opnå en rentabel veksler størrelse.



Figur 17: T-h diagram for typisk kølecyklus med R744 (CO₂) ved 10°C for-dampningstemperatur og 107bar afgangstryk. Den grønne kurve viser vandtemperaturprofilen gennem den varme side, med 20°C tilgangstemperatur og 70°C afgangstemperatur.



Figur 18: Udsnit af figur 17, med markeret Pinch point, hvor CO₂ og vandtemperatur nærmer sig hinanden. Pinch point (=temperaturdifferensen) har stor betydning for veksleren nødvendige areal. Hvis Pinch point under ca. 2K er meget fordyrende for veksleren.

4.4.3 Indsatsområde for R600a og R744 varmepumper

Indsatsområdet for en varmepumpe afhænger af kompressorernes og systemets tilladelige tryk og temperaturforhold, og inden for indsatsområdet er det interessant at vurdere varmepumpens COP. Nedenstående tabel viser temperatursæt for vand ind/ud og COP-værdier for R744 og R600a varmepumper ved en fordampningstemperatur på +10°C. Felter markeret med grønt er der hvor CO₂ varmepumpen har højst COP og felter markeret med blå er der hvor isobutan varmepumpen har højst COP. Røde felter ligger uden for begge varmepumpers driftsområde.

Generelt kan det ses for begge varmepumpetyper at jo koldere tilgangsvandet er, des højere COP kan der opnås. Ligeledes har afgangsvandets temperatur en stor betydning for COP, og jo koldere afgangsvand, des højere COP kan der opnås.

Begge kølemidler viser sig at have et stort indsatsområde, og CO₂ er optimalt ved tilgangstemperaturer under 30°C, og kan reelt ikke bruges ved tilgangstemperaturen over 45°C. Isobutan er optimalt ved temperaturer over 30°C, COP under 30°C er på næsten på niveau med CO₂.

COP for R744 og R600a som funktion af vand temp. ind/ud. Fordampningstemperatur = +10°C						
	Tilgangsvand					
	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
Afgangsvand	R744/R600a	R744/R600a	R744/R600a	R744/R600a	R744/R600a	R744/R600a
50°C	6,5/6,4	5,3/5,2	4,3/5,1	3,3/3,7		
60°C	6,0/5,8	4,8/4,6	4,4/4,3	3,3/3,7	2,5/3,5	0/3,5
70°C	5,5/5,3	4,3/4,1	4,0/3,8	3,3/3,6	2,4/3,5	0/3,5
80°C	5,3/4,9	4,1/3,7	3,8/3,5	3,2/3,3	2,3/3,1	0/3,0

Figur 19: Sammenhængende COP værdier for forskellige vand ind/ud temperatursæt. Fordampningstemperaturen er +10°C.

5 Case: Jensens Køkken

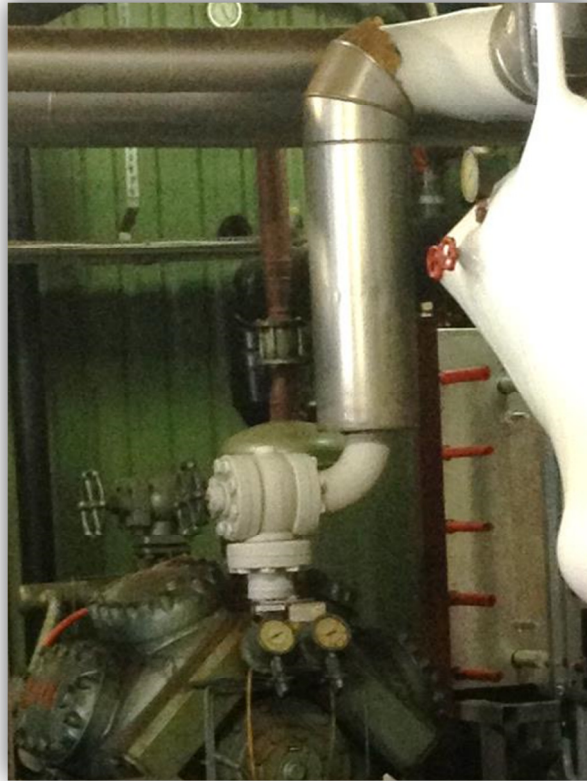
Gennem et samarbejde med Cronborg Aps, leverede Advansor A/S en varmepumpe til Jensens Køkken i 2012. Denne varmepumpe indgår som fuldskala demonstrations-case for projektet, idet varmepumpen blev integreret i et eksisterende NH₃-køleanlægssystem og blev leveret med fuld adgang for driftsovervågning og heraf med grundlag for dataopsamling samt driftsanalyse.

5.1 Varmepumpen

Varmepumpen er et 1-trins transkritisk CO₂ anlæg der blev leveret som et samlet anlægsrack, bestående af kompressorer med frekvensregulering, komplet oliestyringssystem, receiver, og integreret varmeveksler som kondensator, intern veksler og fordamper. Hertil leveret med el-tavle indeholdende regulatorer og mulighed for fjernovervågning af anlægsdriften.

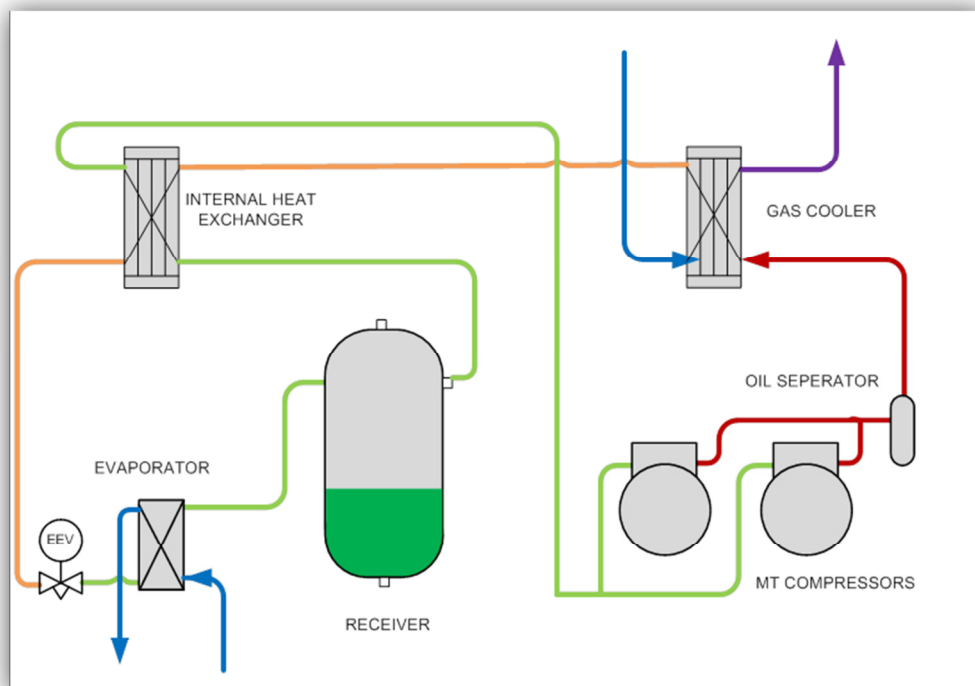


Figur 20: foto af CO₂ varmepumpe ved Jensen Køkken



Figur 20a: Foto af NH₃ kompressor og isoleret overhedningsfjerner ved Jensen Køkken

Varmepumpen der er opstillet ved Jensens Køkken består over ordnet set af følgende hovedkomponenterne, der fremgår af figur 21:



Figur 21: Skematisk PI-diagram af varmepumpe

Anlægget har to kompressorer. Den ene er forsynet med en frekvensomformer, mens den anden er direkte koblet. Dette gør at anlægget kan operere under reduceret last – ned til ca. 25%. I kompressoren komprimeres CO₂-gassen til et meget højt tryk (op til 110 bar), hvilket samtidig gør trykgassen varm. Den varme gas afkøles i gaskøleren som udgøres af et sæt pladevarmevekslere, og gassen afkøles fra omkring 110°C til 30°C, samtidig med at procesvandet opvarmes fra ca. 20°C til 70°C.

Herefter køles CO₂-gassen yderligere ned i en intern CO₂-/ CO₂-varmeveksler (beskrevet senere) inden den ekspanderer. Ekspansionsventilen er elektronisk reguleret og styrer højtrykket efter et fast setpunkt – 103 bar på dette anlæg.

Fordamperen er beregnet som værende en "netop oversvømmet fordamper", uden overhedning, og med en cirkulationsgrad på 1. Derfor er receiveren placeret på lavtrykssiden. Da gassen ud af receiveren har lav (eller ingen) overhedning benyttes en intern gas-/gasveksler der veksler den kolde sugegas med den varme trykgas.

5.2 Systemdesign

Jensens Køkken har et stort behov for rengøringsvand og i forbindelse med indførelsen af varmepumpen, har man på siden etableret en stor vandtank som buffer. Tanken rummer 60m³ og tømmes hver dag til rengøringsformål. Når tanken er "ladet op" med varmt vand har tanken en temperatur på 68-70°C

Systemdesignet ved Jensen Køkken kombinerer gamle og nye elementer:

- Et ældre 900kW ammoniakkøleanlæg, til køling af råvarer samt færdigvarer.
- En ny varmepumpe med CO₂ som kølemiddel.
- En ny 60 m³ lagertank for opbevaring af vand til rengøringsmæssige forhold.

5.3 Systembeskrivelse

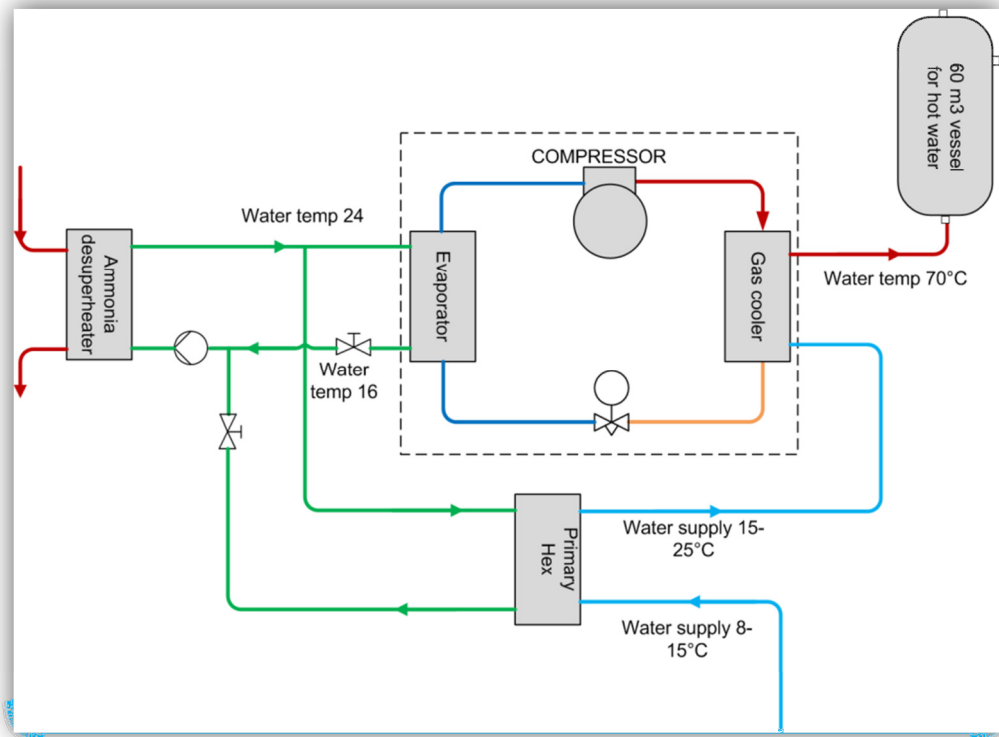
Under daglig drift kører CO₂-anlægget, så længe der foregår bearbejdning af råvarer. I dette tidsrum kører NH₃-anlægget og derfor er der potentiale for varmegenvinding.

Varmepumpen ved Jensens Køkken er installeret efter det beskrevne koblingskoncept af NH₃-anlægget og CO₂-anlægget, hvor overskudsvarme fra NH₃-anlægget bruges som energikilde til varmepumpen, der derved producerer 200 kW brugsvand ved 70°C til rengøring. Opvarmningen af brugsvandet foretages i 2 trin:

Trin 1: Opvarmning af vandet vha. NH₃ overhedningsfjernerer fra 8°C til 20°C.

Trin 2: Opvarmning af vandet vha. varmepumpen fra 20°C til 70°C.

Dermed bruges varmepumpen kun til den del af opvarmningen som kræver kompressorarbejde.



Figur 21a: Skematisk flow diagram for varmepumpe ved Jensen Food. Vandloopet (grøn) forbinder NH₃ overhedningsfjerner med CO₂ fordamper.

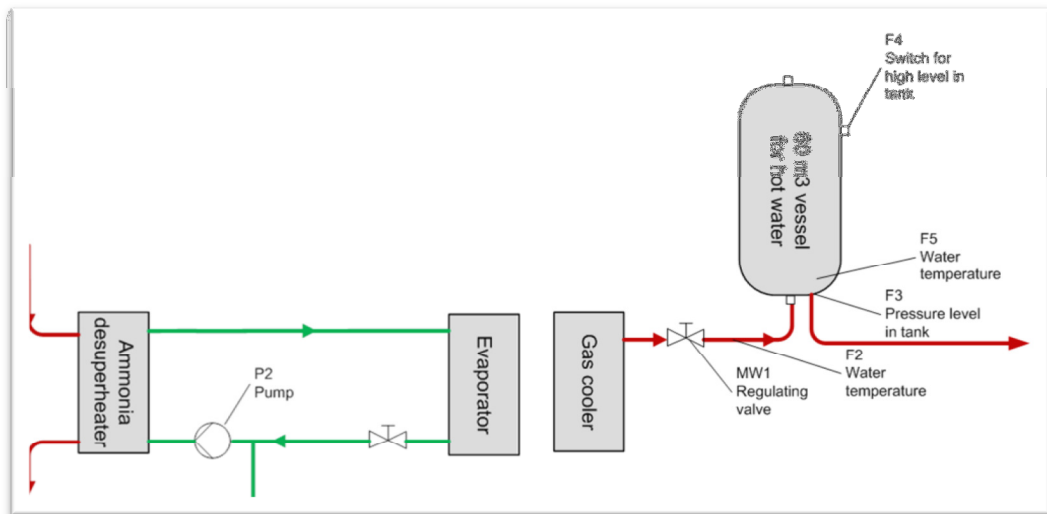
Det eksisterende NH₃-anlæg og CO₂-varmepumpen er således forbundet via et vandloop. Vandloop'et er et lukket kredsløb som har forbindelse til:

- En overhedningsfjerner på ammoniakkeleanlægget
- CO₂-varmepumpens fordamper
- En pladevarmeveksler, der forvarmer rengøringsvandet.

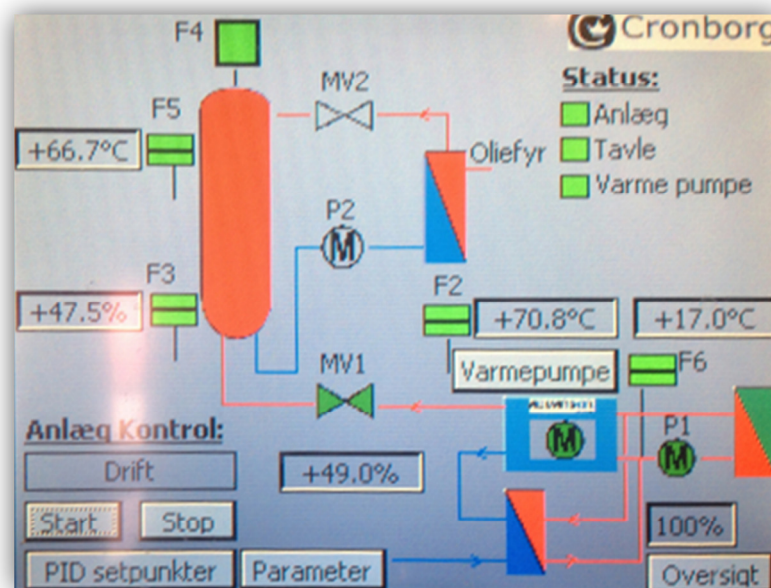
Vandloopet befinder sig indendørs og kræver ikke frostsikring.

5.4 Styringsbeskrivelse

Følgende diagram beskriver de essentielle dele af styringen.



Figur 21a: Skematisk flow diagram for varmepumpe ved Jensen Køkken. Vandloopet (grøn) forbinder NH_3 overhedningsfjerner med CO_2 fordampere.



Figur 21b: Foto af PLC skærm ved Jensen Køkken

Komponenter:

P1	Grundfos pumpe	Pumper flowet i kredsen mellem ammoniak og CO_2 -veksler
MV1	Reguleringsventil	Ventil der styrer flowet på varmekredsen
F2	Temperatur føler	måler vandtemperatur ud af varmepumpen
F3	Tryk transmitter	Måler trykket i tanken
F4	Top niveau switch	Registrerer max niveau i tanken
F5	Temperatur føler	Måler temperature i bunden af tanken.

Sekvens drift forudsætninger:

1. Konstant overvågning af F2 temperatur. Må ikke være under 65°C gennemsnitligt målt over 15 min.
2. Overvågning af F4 niveauswitch - Skal være lav.

Start-/driftsekvens

- P1 startes
- MV1 startes / aktiveres
- PID regulator aktiveres
- Når der modtages driftstilbage melding for P1, sættes dennes hastighed til defineret minimumhastighed, og der startes en timer på 10 sekunder.
- Efter timerudløb for P1 driftsaktivering, afventes der at MV1 er åben med en, minimums PV værdi, samtidig med at temperatur målt ved F2 er under en via en parameter defineret maximum temperatur.
- Ved opfyldelse af ovenstående betingelser i kontinuerligt 5 sekunder, gives startsignal til varme pumpe, og der gives start signal til rampehåndteringen for P1, således denne kører op til via parameter defineret max hastighed.

Stop

Anlægget stopper under følgende betingelser:

- F4 aktiveres (=højt niveau)
- F3 aktiveres
- Fejl på varmpumpe

Autostart

Anlægget genstarter under følgende betingelser:

- F4 deaktiveres
- F3 deaktiveres (=lavt niveau)

5.5 Driftsresultater

Der er dels foretaget korte loggeperioder for analyse af spotværdier, og dels en 12 mdr måling af de totale energiforbrug og energiproduktion vha. Kamstrup energimåler og Carlo Gavazzi elmåler. De loggede data fra varmepumpen danner grundlag for nedenstående analyse.

Gennemsnitsværdierne for varmepumpen i den 12 måneder lange måleperiode fremgår af nedenstående tabel.

Energiforhold baseret på 12mdr måledata		
Direkte elforbrug (april 2012 til april 2013)	132.719	kWh
Varmeproduktion (april 2012 til april 2013)	674.000	kWh
Gennemsnitlig ON tid for anlægget	38	%
Årsmiddel COP (april 2012 til april 2013)	5,1	-

Figur 22: Årsmiddelværdier for varmepumpen ved Jensens Køkken

Logning af spotværdierne viser at varmepumpen yder 200 kW og det direkte energiforbrug til varmepumpens kompressorer er 37,5kW. COP i den målte situation er 5,3 og dermed 5% højere end den målte årsmiddel COP. Dette skyldes en lavere COP under indreguleringen i starten af den 12mdr lange måleperiode.

Når varmepumpen kører, så køler den NH₃-anlæggets kondensatorside kraftigt, og denne køling betyder at NH₃-anlægget udkobler en tilsvarende kapacitet på de kørende fordampningskondensatorer. Der spares hermed en mængde el på ventilator og sprayvandspumpe, og fordampningen af sprayvand reduceres. Beregningen af denne besparelse kan foretages vha. normtallene for kondensatoren, som beskrevet i afsnittet omkring fordampningskondensator. Systemet bruger endvidere effekt på cirkulationspumpen.

Direkte energiforhold		
Varmeproduktion (vand ind/ud = 8°C/70°C)	200	kW
Varmeproduktion varmepumpe-andel (21,4°C/70°C)	155	kW
Optagen kompressor effekt	37,5	kW
Direkte effektfaktor varmepumpe COP	4,1	-
Direkte effektfaktor system COP	5,3	-
Indirekte energiforhold		
Optagen cirkulationspumpeeffekt (30m ³ /h@1,5 bar)	2,5	kW
Effektbesparelse på kondensator ventilator og sprayvandspumpe	-4,0	kW
Vandbesparelse pga. reduceret sprayvand (50% bleed off)	-0,26	m ³ /h
Samlede energiforhold		
Samlet varmeproduktion	200	kW
Samlet optagen el-effekt	36	kW
Samlet effektfaktor COP	5,5	-
Samlet varmepris pr. kWh (36*0,75 - 0,26*22,6)/200, excl. afgifter	0,11	kr/kWh

Figur 23: Gennemsnitsværdier ved max. varmekapacitet - Måledata for Jensen Food.
Forbrugspriser: El = 0,75 kr/kWh excl. afgifter; ubehandlet vand = 22,6 kr/m³

Afgifter		
Produceret varme fra VP + overhedningsfjerner	200	kW(varme)
Varmemængde udover det der laves ved COP=3 (200-40*3)	80	kW(varme)
Optaget kompressor + pumpe el-effekt (37,5+2,5)	40	kW(el)
Overskudsvarme – Vinter		
Afgift pr. kWh(el) der bruges til varmepumpen	0,407	kr/kWh(el)
Omregnet til afgift pr. kWh produceret varme (0,407*40/200)	0,082	kr/kWh(varme)
Afgift pr. kWh overskudsvarme fra VP, udover varmen v. COP=3	0,185	kr/kWh(varme)
Afgift pr. kWh overskudsvarme fra VP – aktuel varme (0,185*80/200)	0,074	kr/kWh(varme)
Samlet afgift pr. produceret kWh varme (vinter)	0,155	kr/kWh(varme)
Overskudsvarme – sommer		
Afgift pr. kWh(el) der bruges til varmepumpen	0,407	kr/kWh(el)
Omregnet til afgift pr. kWh produceret varme (0,407*40/200)	0,082	kr/kWh(varme)
Samlet afgift på varmen (antaget 60% i sommermdr.)	0,111	kr/kWh(varme)
Samlet energipris for produceret VP varme, incl. afgifter	0,215	kr/kWh(varme)

Figur 24: Afgiftforhold for varme produceret ved 8°C/70°C og 40°C /70°C med CO² varmepumpe.

Reelt bør den optagne el kun indgå med 36kW, svarende til hvad der er det ægte forøgede el-forbrug ved drift af varmepumpen. Dette forbrug er dog svært at måle, da besparelse på kondensatoren ikke er direkte målbar.

Varmeproduktion har i måleperioden været 674.000 kWh/år, og dette giver en stor direkte besparelse på olieforbruget (73.268 ltr/år), som naturligvis modvejes af energiforbruget til varmepumpen.

Nettoresultatet er en årlig besparelse på 485.191 kr

Besparelse		
Produceret varme	674.000	kWh/år
Forbrug til VP (0,215 kr/kWh)	144.910	kr/år
Besparelse af fyringsolie (73.268 ltr)	630.101	kr/år
Besparelse totalt	485.191	kr/år
Besparelse pr. kWh	0,72	kr/kWh

Figur 25: Forbrugspriser: Olie = 0,930 kr/kWh; Varmepriis med afgift ved CO₂-VP = 0,215 kr/kWh

Af ovenstående afsnit ses det at Jensens køkkens besparelse er opgjort til 485.191 kr/år – vurderet ud fra omkostningerne til etablering af systemet (pris for denne indgår ikke denne rapport) har der en høj rentabilitet og deraf afledt en kort tilbagebetalingstid (se Bilag 3 og 4). Varmepriisen inkl. afgift ender på 215 kr./MWh

Yderligere bemærkes det, at såfremt man kunne argumentere for at varmen skulle benyttes til procesformål ville besparelsen være 20 % højere, da man i det tilfælde ville kunne blive fritaget for afgift. Varmepriisen uden afgift på 110 kr./MWh

5.6 CO₂-emisioner

Med langsigtede ambitiøse mål om fremtidig reduktion af CO₂ udledningen findes det interessant at belyse udledningen af CO₂ på varmepumpesystemet. Gennem anskueliggørelsen af denne emission er det muligt at opgøre reduktionen af CO₂-udledningen.

Af afsnit 5.4 ses opgørelse over hvor meget olieforbruget er reduceret med implementeringen af varmepumpen, og hvor meget elforbruget samtidig er forøget.

Opgørelse over reduktion i CO₂-udledning apr. 2012 – apr. 2013 som følge af lavere fyringsolieforbrug		
Reduktion, fyringsolie	70.717	L
Reduktion, CO ₂ -udslip. (Omregnet til CO ₂ ækvivalent (70.717 * 2,65))	139.951	kg/år

Opgørelse over tillæg i CO₂-udledning apr. 2012 – apr. 2013 som følge af el til varmepumpe		
Tillæg, el	118.280	kWh/år
Tillæg, CO ₂ -udslip (Omregnet til CO ₂ ækvivalent (118.280 * 0,5)	59.140	kg/år

CO₂-reduktion totalt		
Reduktion (139.951 – 59.140)	80.811	kg/år

6 Konklusion

Rentabiliteten ved udnyttelsen af overskudsvarmen fra et industrikøleanlæg er meget påvirket af afgifterne. Reglerne kan forekomme forvirrende og uigennemskuelige, og det er derfor nødvendigt at lave en grundig undersøgelse forud for et muligt projekt. Både fordi at afgiften ikke nødvendigvis er en "show stopper", men også fordi afgiftssatserne kan variere meget over tid. Afgiftsopgørelsen for dette studie viser at man både skal kigge på elafgifter og overskudsvarmeafgifter og ydermere tage sig i agt, at den samlede afgift er forskellig fra sommer til vinter.

Ved systemintegrationen af en varmepumpe med et eksisterende ammoniak-anlæg ses det, at både CO₂ og isobutan har højere COP jo koldere tilgangsvandet er. Ligeledes har afgangsvandets temperatur en stor betydning for COP, og jo koldere afgangsvand, des højere COP kan der opnås. Begge kølemidler viser sig at have et relativt stort indsatsområde, og CO₂ er optimalt ved tilgangstemperaturer under 30°C, og kan reelt ikke bruges ved tilgangstemperaturer over 45°C. Isobutan er optimalt ved temperaturer over 30°C, mens COP under 30°C stadig er god, og næsten på niveau med CO₂.

Projektets praktiske udførsel er et demonstrationsanlæg ved Jensens Køkken i Struer. Der er her tale om et 200 kW CO₂-varmepumpeanlæg integreret med et eksisterende 900 kW ammoniak-køleanlæg. Erfaringer med dette system viser at en sammenkobling mellem sådanne to anlæg er interessant ud fra flere betragtninger. Selve forbindelsen mellem anlæggene er skabt vha. en vandkreds og dette system har vist sig nyttigt. Vandkredsen er taknemmelig ud fra et reguleringsmæssigt synspunkt og viser sig som en god buffer mellem udsving i hhv. ammoniak- og CO₂-anlæg. Desuden er det en sikkerhedsmæssig god ide, idet at en evt. lækage ikke vil resultere i nær de samme problemer som en lækage i en kaskadeveksler, hvor indsivning af kølemiddel mellem de to anlæg kan være fatale.

Driftsresultaterne for varmepumpen viser, at varmepumpen isoleret set opnår en COP på 4,1 ved opvarmning af brugsvand fra 20°C til 70°C. Denne effektfaktor forøges væsentligt (til COP=5,3) når man indregner den varmeveksler der, uden kompressorarbejde, forvarmer rengøringsvandet fra 8°C til 20°C, inden det strømmer ind i varmepumpen. Slutteligt øges systemets COP til 5,5 når man inkluderer den reducerede vandmængde i fordampningskondensatoren samt det reducerede ventilatorelforbrug. På bundlinen ud-mønter den høje COP sig i en økonomisk besparelse på tæt ved 500.000 kr på årlig basis. En besparelse der ville være 20% større såfremt det varme vand kunne omsættes til procesformål. Jensens Køkken opnår en varmeproduktionspris på 215 kr/MWh inkl. alle afgifter.

Oven i den økonomiske besparelse giver anlægskonstellation et reduceret CO₂-udslip på ca. 80.000 kg/år

7 Kildehenvisninger

Elafgifter:

*§ 6 stk. 2 i Lov om Afgift af Elektricitet
§ 9 og bilag 1 Lov om kuldioxidafgift
§ 11 stk. 3 i Lov om afgift af elektricitet*

Overskudsvarme:

§ 11 stk. 9. i Lov om Afgift af Elektricitet

Bilag 1 R600a varmepumper – ALECTIA + JCI

Danske køledage 2011

Nye varmepumper på Skejby Sygehus med Isobutan som kølemiddel.



ALECTIA

Nye varmepumper på Skejby Sygehus med Isobutan som kølemiddel.

ALECTIA

Velkommen til
Århus Universitetshospital Skejby



RÅDGIVERGRUPPEN
DNU

Johnson
Controls

ALECTIA

Projekt organisation

- **Rådgivergruppen DNU**
- ARKITEKTFIRMAET C. F. MØLLER A/S
- CUBO ARKITEKTER A/S
- SØREN JENSEN RÅGIVENDE INGENIØRFIRMA
- RAMBØLL DANMARK A/S
- ALECTIA A/S

ALECTIA

Det Nye Universitetshospital

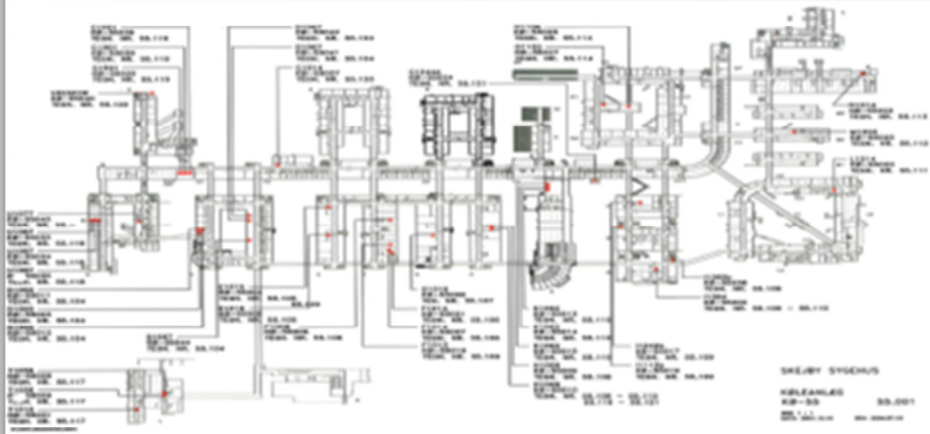
- **Byggeherre ; Region Midtjylland**
- Udvidelse af nuværende Skejby Sygehus; 160.000 m2
- Nyt byggeri ; 190.000 m2
- Budget ; 6.300 millioner kroner
- Tidsplan ;

Rådgivergruppen DNU vinder opgaven	13 dec. 2007
Helheds Plan;	2008-2010
Fase 0 ;	2008-2010
1 spade stik;	26 okt. 2010
Byggeperiode,	2010-2019
Første indflytning	2015

Udfasning af HCFC og HFC kølemidler FASE 0 projekt

ALECTIA

Mange R22 anlæg med store fyldninger



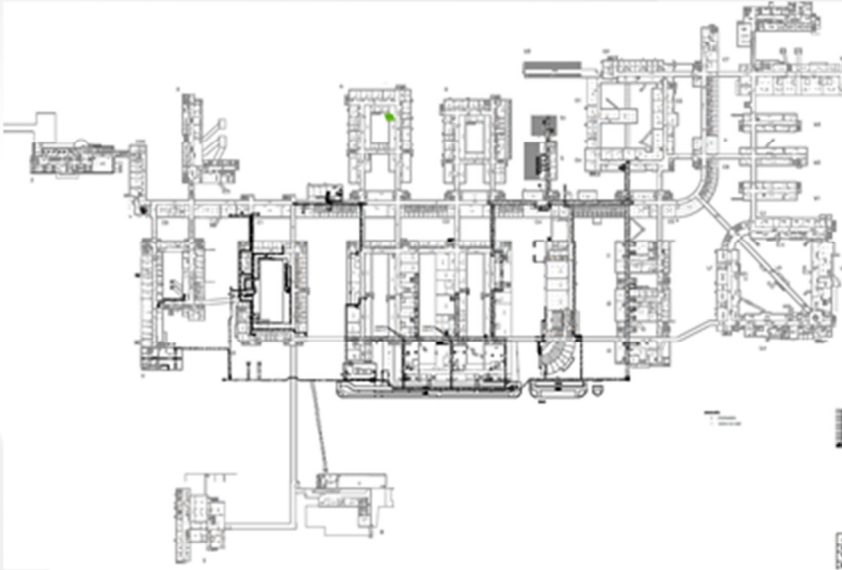
Ny kølecentral

ALECTIA

- Ny Central forsyning af hele det eksisterende Skejby Sygehus
- Forsynings sikkerhed.
- Fremtid sikring
- Kølecentral Skulle kunne udbygges etapevis
- MILJØ og ENERGI venlig drift skulle tilgodeses

Skejby

ALECTIA



Overblik Kølegård

ALECTIA



ALECTIA

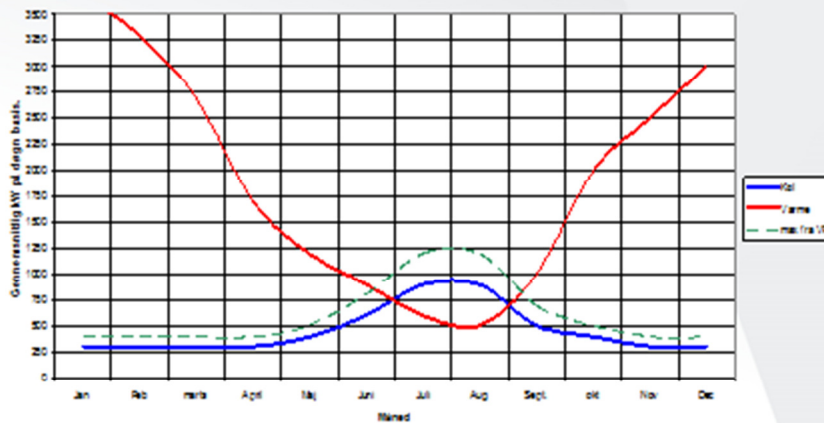
Energi optimerings muligheder

- Belastning og muligheder for kombineret af varme
- Køle og varme produceret samtidigt
- Vinter :
 - Kølebehov 200 kW - 400 kW , 9°C/15°C
 - Varme behov ; 3500 kW - 5000 kW
Vandtemperatur; 80°C/40°C
- Sommer
 - Køle behov ; 2000 kW-2500 kW 9°C/15°C
Ved Max last , Døgn middel estimeret 800 kW-1000 kW
 - Varmebehov; 350kW-500 kW Juni - August
Vandtemperatur; 75°C/40°C

ALECTIA

Varme og køle behov

Varme og køleforbrug



ALECTIA

Valg af varmepumpe

- Køle og varme producent på samme tid
- Skulle være naturligt kølemiddel
- **CO2** , Op til 120°C Men helst vand ind på 30°C.
- **NH3**; Kun til 60°C , ellers 2 trins
- **Propan** Kan kun producere til 60°C
- Forslag fra Johnson Control ; **ISOBUTAN** ?????

CO2 eller Isobutan ?

ALECTIA

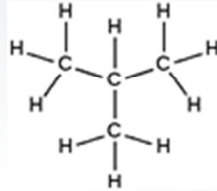
Sammenligning teoretisk

	Isobutan		CO2	
	40/70	40/80	40/70	40/80
COP Varme	3,7	3,3	2,9	2,9
Forudsætning	Tev=5°C Tkond=68°C UK=25°C	Tev=5°C Tkond=78°C UK=25°C	Tev =5°C Hotgas=110 bar	

Isobutan

ALECTIA

- **Stofdata**
- Isobutan (eller 2-methylpropane) er en Hydrocarbon
- Formel : C₄H₁₀ eller CH(CH₃)₃
- kølemiddel nr. R600a
- Klassificering iht EN378 ; Gruppe A3



- **Isobutan sammenligning med Propan**

ALECTIA

		Isobutan R600a	Propan R290
Antændelse temperatur		460 °C	470 °C
NedreBrænd	LFL	0,043 kg/m ³	0,038 kg/m ³
Akutgiftighed	ATEL / ODL	0,060 kg/m ³	0,090 kg/m ³
LowerEks Limit	LEL (20°C, 0 bar)	1,8 %	2,1 %
UpperEks Limit	UEL (20°C, 0 bar)	8,4 %	10,1 %

Tryk forhold , sammenligning af kølemidler

ALECTIA

	Isobutan R600a	Propan R290	HFC R134A	NH3 R717
Tryk ved Tfor = 5°C	1,9 bar	4,5 bar	2,5 bar	4,2 bar
Temp. Ved Tryk= 0 barg	-12,2 °C	-42,2 °C	-26,4 °C	-33,6 °C
Tryk ved Tkond = 60°	7,8 Bar	20,2 bar	15,8 bar	25,1 bar
Tryk ved Tkond = 70°	10,0 bar	24,9 bar	20,2 bar	32,1 bar
ca gas temp. Ved TC= 70	90,0 °C	110,0 °C	100,0 °C	220,0 °C

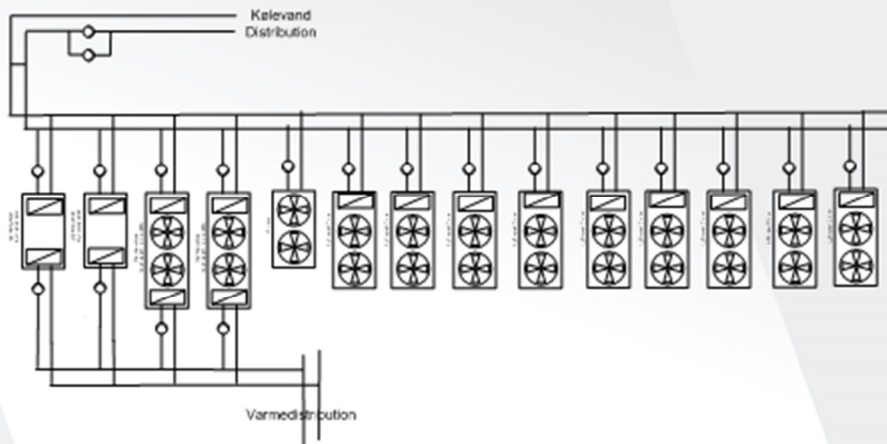
ALECTIA

System design. Fokus punkter

- Overvinde differens tryk til fjernvarmenettet
- Stabil vand temperatur ind på Fjernvarmenettet .
- Sikre vand flow over varmepumpen. Så kondenseringstryk er stabilt
- Kompressorregulering afhængig af Kondensatortryk
- Fordamperside / Kølevand. Skal kunne variere afhængig af afsat effekt på fjernvarme

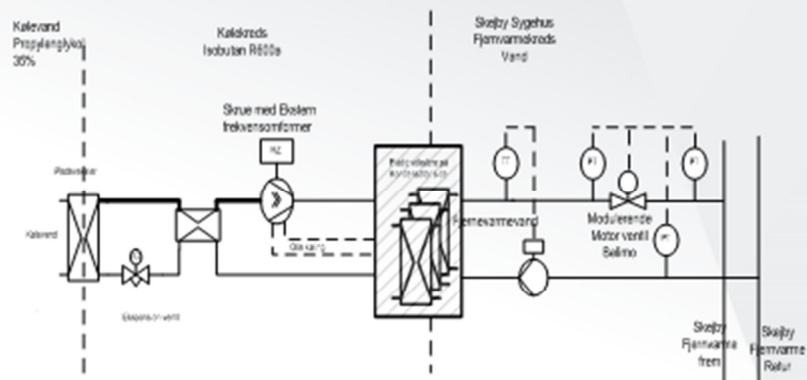
Kølegård princip diagram

ALECTIA



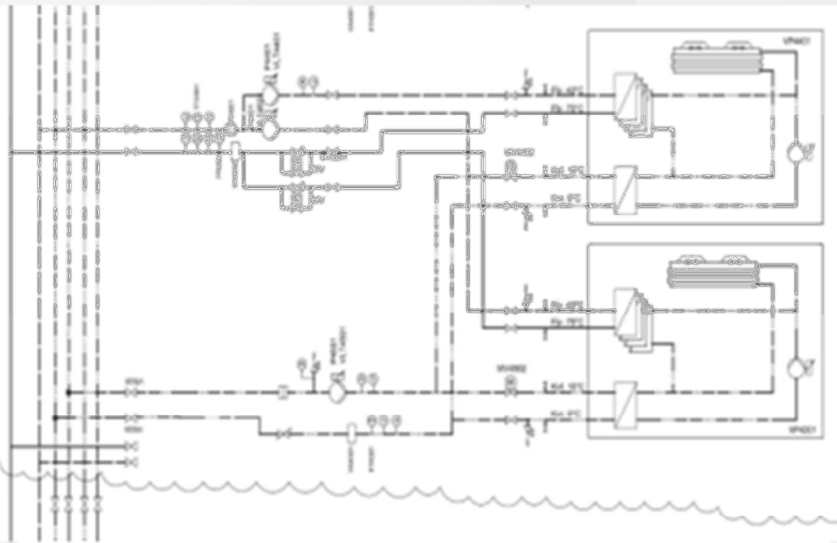
Varmepumpe

ALECTIA



Varmepumpe opkobling

ALECTIA



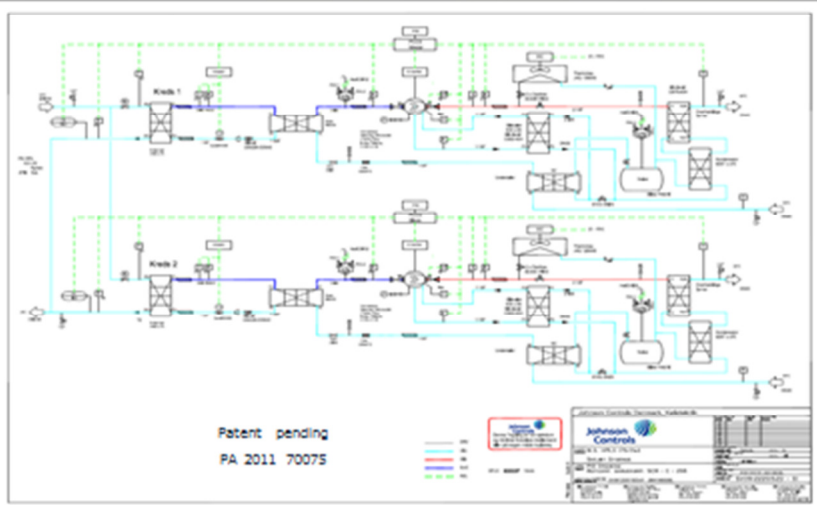
ALECTIA

Komponenter;

- Hoved Komponenter ;
- Kompressor fabrikat; REFCOM skrue
- Pladevekslere; Fabrikat SWEP
i alt 6 stk ;Overhedningsfjerner, Kondensator,
underkøler, oliekoeler, mellemkoeler og fordampner
- Luftkølet kondensator; Fabrikat Thermokey
- Styling Carel pCO3
- Danfoss Frekvensomformer

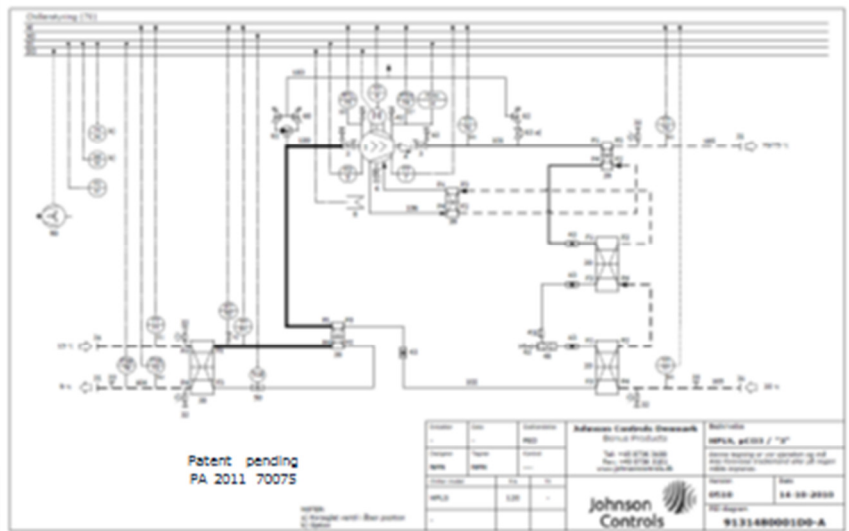
PID Kombineret Varmepumpe / luftkøle Chiller

ALECTIA



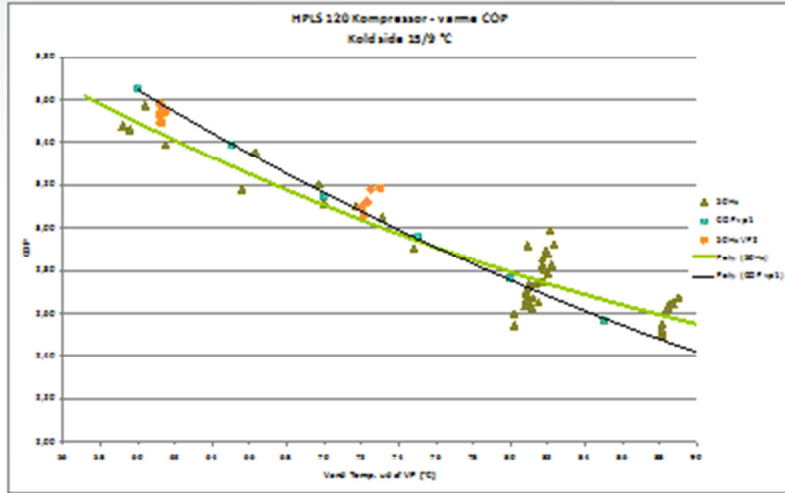
PID Varmepumpe

ALECTIA



Test data

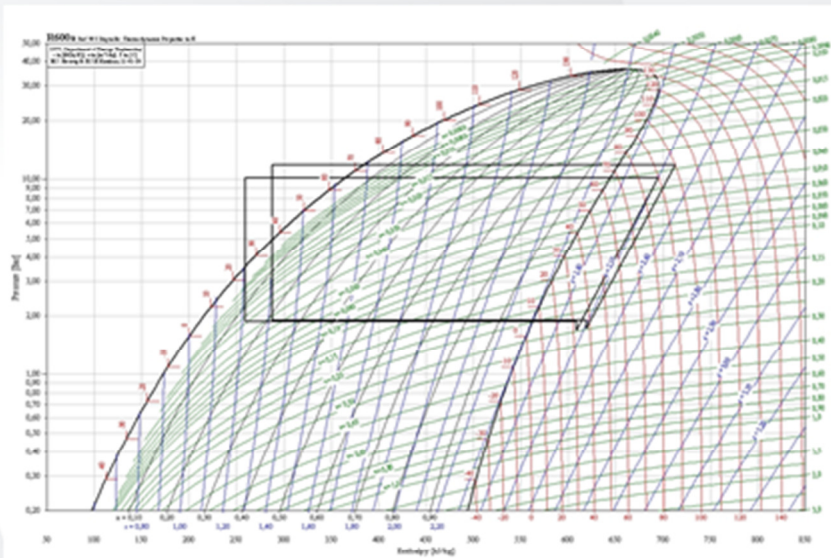
ALECTIA



Data fra 61 målinger

Testforløb i LogPh diagram

ALECTIA



Beregninger

ALECTIA

	Enhed	Varmt vand temp.	
		70°C/40°C	80°C/40°C
Beregnet masse flow	Kg/s	0,300	0,308
Entalpi i Olie køle	KJ / kg	31,0	25,77
Entalpi målt log ph	KJ / kg	395,0	402,0
Samlet entalpi	KJ / kg	426,0	427,8
Q varme afgivet fra log ph	kW	127,8	131,8
Q varme målt i vand	kW	113,2	111,4
Tab mellem log ph og målt	kW	14,6	20,4
tab i %	pct	11,4	15,5
El Effekt Entalpi	KJ / kg	85,5	91,1
Med masse flow	kW	25,7	28,1
Olie køler	kW	9,3	7,9
Samlet	kW	34,9	36,0
Målt	KW	36,5	40,8
Teoretisk COP på Log ph.	-----	3,7	3,6
MÅLT COP målt vand / målt el	-----	3,1	2,7

COP, Målt og Teoretisk

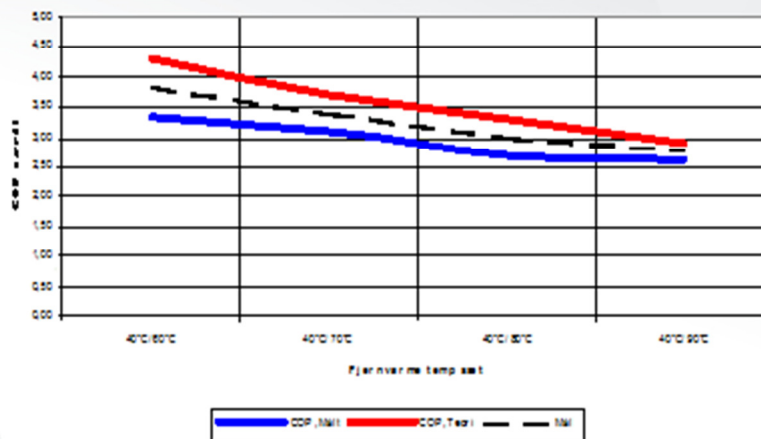
ALECTIA

COP for Varme pumpe

COP

Målt: Fra teknisk til pårøbet vand Johnsoncontrols

Teori: Fra COOLPACK, Tev45°C, UK 425°C



Forskel mellem teori og målinger

ALECTIA

- Energitalbet på varmesiden er større end forventet. Derfor er det nødvendigt med mere isolering.
 - Isolering med 13 mm Armaflex. Ændres fremad til 50 mm
 - Kompressoren er ikke isoleret.
- Muligvis tætnet Olie ikke helt optimalt i kompressoren.
- Olie i fordampere.
- Forbedring af COP på 10 % anses for sandsynlig

Erfaringer

ALECTIA

- Designet af kondensator siden har vist at være langt mere kompleks end forudset..
- Dimensionering af vekslerne på kondensator siden og den indbyrdes kobling af disse har vist at være meget afgørende, dels for ydelse og COP, men også drift stabilitet under vekslende forhold både i varme nettet, på kølesiden, og med variation i indkoblet kapacitet.
- Derfor har der været testet mange indbyrdes koblinger og flere forskellige veksler før den endelige konfiguration var på plads.

ALECTIA**Erfaringer**

- For Isobutan gælder specielt at sugesiden arbejder tæt ved vaccum. Det betyder at tryk tab på denne side har meget stor betydning. Et forholdsvis lille tryktab på sugesiden betyder nemlig at gassen fortyndes pct vis rigtig meget og derved bliver masseflowet i hele kredsen mindre.
- Specielt dimensioneringen af mellemkøleren vigtig. Den er nødvendig for at tryk gassen er varm nok for at kunne opnå vandtemperatur på 70°C-80°C. Derfor det vigtigt at den lægges meget præcist ud både mht ydelse og mht tryktab.

ALECTIA**Erfaringer**

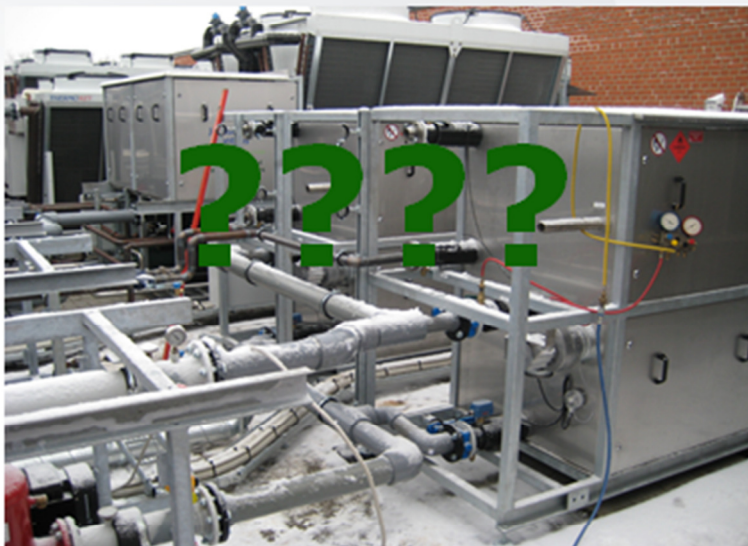
- Den styring der er anvendt på Skejby har vist sig at være meget stabil.
- Dels er kølebelastning stor nok til at varmepumperne kan køre stabilt og med 100 % last,
- Samtidigt kan varmelasten afsættes i fjernvarme ledningen
- Dog har vi ikke set driften en sommer endnu

Design

ALECTIA

- Er varmepumpens primære opgave er at producere kulde eller varme. ????
- Styringen skal tilrettelægges så den primære funktion tilgodeses,
- Dernæst er det vigtigt at den forsyningsmæssige sekundære side, kan aftage enten det varme eller kolde vand og at der på denne side er muligt at ændre belastning.
- Balance mellem den kolde- og varmeside under ALLE drift forhold.

ALECTIA



Bilag 2 Overhedningsfjerner

Data for NH3 overhedningsfjerner-pladeveksler hos Jensen Køkken.

Monteret af Industri Montage:

	Ammoniak	Vand
Effekt	270 kW	270 kW
Masse flow	1.000 kg/h	30.000kg/h
Temp. ind	85°C	16°C
Temp. ud	25°C (sat = 23,3°C)	27°C
Drifttryk	9,94bar(a)	
Trykfald	1,05	49,7 kPa
Mål (h x b x l)	1115 x 470 x 905 mm	
Vægt total	545kg	



Bilag 3 Case beskrivelse fra Go'Energi

GO' ENERGI CASE

Overskudsvarme

Go'Energi

Juli 2012

Kolde kyllinger giver varmt rengøringsvand



Jensen's Køkken sparer fremover en halv million kroner om året ved at udnytte overskudsvarme fra køling af kyllingevinger, spareribs og sovs. Varmen bliver brugt til at opvarme rengøringsvand. Det er ikke småting, eftersom Jensen's Køkken bruger 80 til 90 kubikmeter varmt vand til rengøring i døgnet.

JENSEN'S KØKKEN: UDNYTTELSE AF OVERSKUDS- VARME FRA KØLEKOMPRES- SOR VIA VARMEPUMPE

Emne:
Udnyttelse af overskudsvarme

Segment: Erhverv

Årlig kontant besparelse på olie, fratrukket el til varmepumpe, beregnet: 528.000 kroner

Investering: 1,8 millioner kroner

Årlig forrentning: 36 %

Investeringens levetid: Mindst 15 år

Salg af energibesparelse: 208.000 kroner

Samlet besparelse i investeringens levetid: Ca. 8,2 mio. kroner



Klaus Skouenborg, maskinmester hos Jensen's Køkken, ved den vandtank, der i løbet af dagen akkumulerer varme fra produktionen til varmt vand, der bruges til den omfattende rengøring på fabrikken.

"Bortset fra strøm til varmepumpen er det gratis varme, og det er langt billigere end olien. Vi sparer godt 500.000 kroner om året, når strøm til varmepumpen er trukket fra. Så det er absolut et rigtig godt projekt," siger maskinmester i Jensen's Køkken, Klaus Skouenborg.

"Vi sparer godt 500.000 kroner om året, når strøm til varmepumpen er trukket fra. Så det er absolut et rigtig godt projekt"

Klaus Skouenborg

OBS! OM AFGIFTER PÅ OVERSKUDSVARME

Udnyttelse af overskudsvarme er som hovedregel afgiftsneutralt. Det gælder også hos Jensen's Køkken. Ved udnyttelse af overskudsvarme fra proces til varmt rengøringsvand via varmepumpe skal der kun betales rumvarmeafgift for den del af varmemængden, der overstiger tre gange den mængde el, der benyttes i varmepumpen (COP 3). Det skyldes, at der ved den primære energiudnyttelse betales fuld afgift på strøm til varmepumpen, men til gengæld ikke på energi til proces. Overskudsvarmen produceres både af strøm til varmepumpen og af procesenergi.

Maskinmesteren taler om den besparelse, som Jensen's Køkken opnår ved at udnytte overskudsvarme fra kølekompressor på fabrikken, der fremstiller spareribs, kyllingevinger og sovs til blandt andre Jensen's Bøfhus. Produktionen af fødevarer kræver, at der er pinligt rent på fabrikken – og det kræver igen meget varmt vand til rengøring. Vel at mærke vand, der tidligere blev varmet op med dyr olie.

1

Vandet klar til rengøringstid

"Vi bruger frygtelig meget varmt vand til rengøring. Vi havde en vandtank på fem kubikmeter vand, og den kunne slet ikke følge med længere. Vi bruger jo mellem 80 og 90 kubikmeter vand til rengøring i døgnet. Så vi overgik til en højtemperatur-CO₂-varmepumpe, som udnytter kølevandet fra vores kølekompressorer til frostrum og de lokaler, der skal være kølige (12 °C. red.). Samtidig fik vi en vandtank på 60 kubikmeter, som i løbet af dagen bliver fyldt stille og roligt op med varmt vand

fra varmepumpen. Når rengøringen går i gang om eftermiddagen, er vandet i tanken klar med en temperatur på 68 °C," fortæller Klaus Skouenborg.

Besparelse overgår forventning

Investeringen i vandtank og varmepumpe var 1,8 millioner kroner. Ifølge beregningerne skulle investeringen være betalt tilbage på små tre år. Den tekniske løsning inklusive rådgivning fik Jensen's Køkken fra leverandøren Cronborg, og projektet er blevet gennemført uden problemer.

POTENTIALE

Det er ikke kun hos Jensen's Køkken, at det betaler sig at udnytte overskudsvarmen. I danske produktionsvirksomheder er der et samlet potentiale på helt op mod 10 % af erhvervslivets energiforbrug. Det gælder, når potentialet for udnyttelse af overskudsvarme via varmepumper regnes med, og når løsninger med forrentning ned til 10 % accepteres. I snit er forrentningen i potentiale vurderingen 20 %. Med et Go' Energi-tjek kan I finde ud af, hvordan jeres virksomhed kan spare penge ved at udnytte overskudsvarme.

Bestil et tjek: GoEnergi.dk/tjek

"Som det ser ud nu, kommer investeringen til at betale sig hjem på mindre end to år"

Klaus Skouenborg

Udnyttelsen af overskudsvarme begyndte i april 2012. De første to måneders besparelser på olien tyder på, at besparelsen vil komme til at overgå forventningen.

"Som det ser ud nu, kommer investeringen til at betale sig hjem på mindre end to år," siger Klaus Skouenborg.

3 gode råd

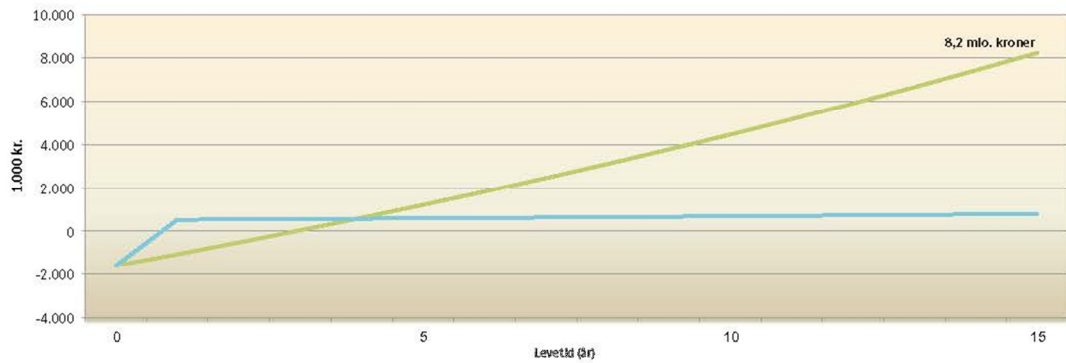
- 1 Hvis I har produktionsudstyr, der udvikler varme, eller et trykluft-, køle, eller ventilationsanlæg uden varmegenvinding, er det sandsynligvis en god forretning at udnytte varmen til rumvarme eller varmt brugsvand eller til et andet sted i jeres produktion eller proces, hvor der er behov for varme
- 2 Du kan bestille et Go' Energi-tjek til overskudsvarme for at finde ud af, om I har mulighed for rentabel udnyttelse af overskudsvarme på virksomheden: GoEnergi.dk/tjek
- 3 Få et bud på, om det er rentabelt at udnytte overskudsvarmen i jeres virksomhed. Gå ind på Go' Energis beregner til ver-skudsvarme: GoEnergi.dk/overskudsvarmeberegner

Kilder: Go' Energi



Varmegenvindingsanlæg ved kølekompressor hos Jensen's Køkken. Varme fra kølekompressorer overføres i løbet af dagen til tanken med varmt vand til rengøring.

Besparelser hos Jensen's Køkken

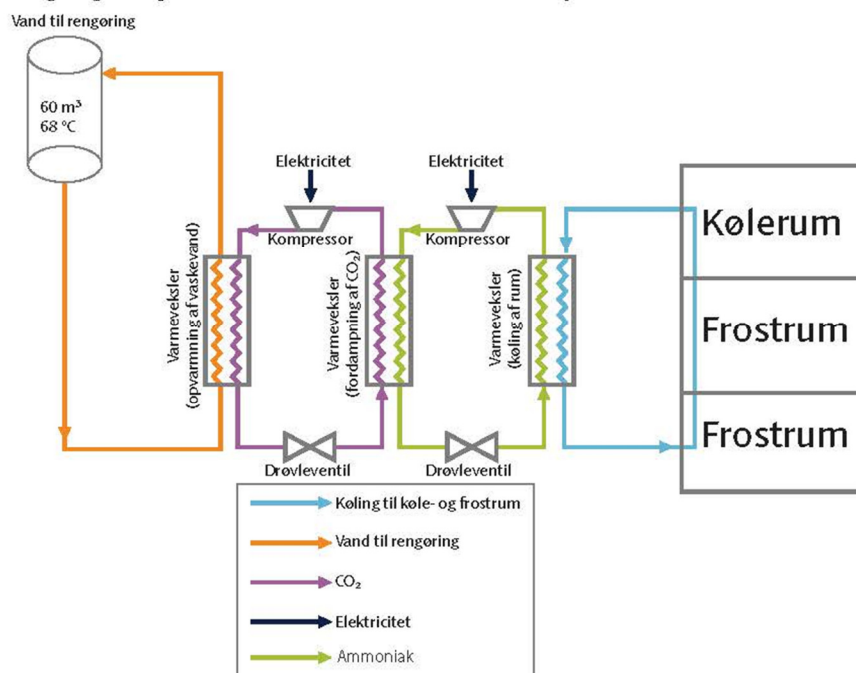


Grafen viser besparelsen ved investeringen i udnyttelse af overskudsvarme i Jensen's Køkken:

- Årlig besparelse
- Samlet besparelse

Der, hvor den grønne kurve krydser nul på y-aksen, har investeringen tjent sig selv hjem i energibesparelser. Resten er ren profit. Jensen's Køkken kan se frem til at spare i alt 8,2 millioner kroner i investeringens levetid.

Teknisk tegning: Udnyttelse af overskudsvarme fra kølekompressorer hos Jensen's Køkken



KONTAKTINFORMATION

Go' Energi: Projektleder Thomas Drivsholm, e-mail: tdr@goenergi.dk, tlf.: 33 95 58 09
Jensen's Foods A/S: Maskinmester Klaus Skouenborg, e-mail: ks@jensensfoods.dk, tlf.: 96 84 25 73

Bilag 4 Artikel i DDV vedrørende Jensen Køkken

Optimering

Køkken sparer millioner på genbrug af varme

John Seitzinger kortlagde energibehovet hos Jensens Køkken og udarbejdede en løsning til at genbruge varmen fra et køleanlæg til at rengøre produktionsudstyret. Nu sparer virksomheden over en halv million kroner årligt

Af Christina Tækker
Foto Lars Møller

En besparelse på 600.000 kroner og en CO₂-reduktion på 156 tons årligt. Det er de kontante resultater af en studieopgave som den 41-årige praktikant John Seitzinger afleverede til Jen-

sens Køkken, der fremstiller saucer og præparater til kød til restaurantkæden Jensens Bøfhus.

Mens han var i praktik hos energirådgivningsfirmaet Cronborg skrev han et bachelorprojekt om Jensens Køkken, hvor han kortlagde energibehovet og udarbejdede en løsning for at genbruge varmen.

Maskinmester Klaus Skouenborg fra Jensens Køkken blev så glad for rapportens perspektiver, at han tog imod rådet fra John Seitzinger og investerede i en varmepumpe, der anvender overskudsvarmen fra en kølekompressor. En varme, der hidtil er blevet lukket ud i luften.

»Udfordringen for Jensens Køkken var, at de brugte omkring 300 kubikmeter olie til at opvarme vand til rengøring. Men de smed meget varme ud i luften fra deres to køleanlæg. Deres spørgsmål var, om overskudsvarmen kunne genbruges til at varme vandet ved hjælp af en varmepumpe. De vidste ikke, om det var nødvendigt at bruge vandet fra begge køleanlæg,« fortæller John Seitzinger.

Anlæg er tjent ind på tre år

Under studiet viste det sig, at der var så meget varme til overs fra det ene køleanlæg, at det ikke var nødvendigt at montere to varmepumper til at garantere en konstant vandtemperatur på 60° C.

I dag er varmepumpeanlægget dimensioneret til at fungerer året rundt, selv om der er en mindre produktion om vinteren. Overskudsvarmen bruger Jensens Køkken til at opvarme vandet til at rengøre produktionsudstyret. Med metoden kan de varme 80.000 liter vand om dagen. En investering, der ifølge John Seitzinger, vil være tjent ind inden for tre år.

John Seitzinger har det indtryk, at mange virksomheder er skeptiske ved at kaste sig ud i at installere en varmepumpe, da det blandt andet kan være uigennemskueligt at finde ud af, hvor meget man skal betale i skat for overskudsvarmen.





John Seitzinger, th., ser store perspektiver for andre virksomheder som mejerier, fiskeforretninger, fiskehaller og transportvirksomheder, der transporterer kølevarer, i at genanvende overskudsvarmen fra køleanlæggene.

Interesse for energi

Energioptimeringer har længe haft John Seitzingers interesse. Han kommer oprindeligt fra Holland, hvor han har en uddannelse som projektleder inden for VVS og har arbejdet 10 år i søværnet som maskinist. Da han flyttede til Danmark for ni år siden begyndte han som voksenlæring inden for køleteknik og blev uddannet som maskinmester fra Fredericia Maskinmesterskole. Siden begyndelsen af februar har John Seitzinger været ansat i Ringkøbing-Skjern Forsyning og har som driftsleder ansvar for transport af spildevand. Et job, hvor han skal overvåge de mange pumpestationer, der pumper spildevand op fra renseanlægget.

Tænk kreativt og spar penge

»Jeg synes, at det er interessant at se på, hvor meget energi en virksomhed kan spare ved at tænke kreativt. De penge, der tjenes ind på effektivise-

ringer, kan virksomheden bruge til videreudvikling. I takt med at priserne stiger, er der store omkostninger for virksomheder, der måske bliver nødt til at stoppe med at producere. Det kan måske forhindres ved at genbruge overskudsvarmen,« siger John Seitzinger.

Han tror, at mange virksomheder er skeptiske ved at kaste sig ud i at installere en varmepumpe, da det kan være uigennemskueligt at finde ud af, hvor meget man skal betale i skat for overskudsvarmen. Mange er også i tvivl, om de har nok energi, som de kan genbruge – og hvor skal de genbruge energien. Men trods barriererne ser John Seitzinger store perspektiver for varmepumper til at genbruge overskudsvarme:

»Der er mange brancher, der med stor fordel kan kaste sig ud i lignende projekter som Jensens Køkken. Mejerier, fiskeforretninger, fiskehaller og transportvirksomheder, der trans-

porterer kølevarer, har alle køleanlæg, der genererer overskudsvarme som man kan genvinde med en varmepumpe og sende det tilbage i for eksempel centralvarmesystemet. Hvis man har et meget stort overskud kan varmen endda levereres til fjernvarmeværket, så andre også får glæde af den.«

Sådan skaber varmepumpen værdi

En varmepumpe er et køleanlæg, der haren høj fordampningstemperatur og derfor også en høj kondenseringstemperatur. Den høje kondenseringstemperatur kan man udnytte til at varme for eksempel brugsvand til brusebad og rengøring eller vand til centralvarmesystemer.