



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



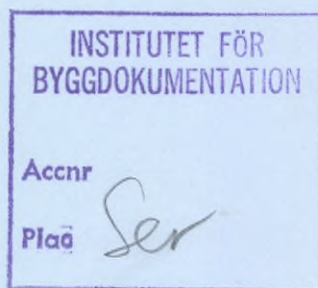
Rapport

R67:1987

Värmepumpar i Japan 1985

**Rapport från en gästprofessur
vid Kogakuin University, Tokyo**

Bernt Bäckström



Byggnadsforskningsrådet

R67:1987

VÄRMEPUMPAR I JAPAN 1985

Rapport från en gästprofessur
vid Kogakuin University, Tokyo

Bernt Bäckström

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 850403-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen
för installationsteknik, Chalmers tekniska högskola,
Göteborg.

REFERAT

Under hösten 1985 har jag vistats i Japan för att studera den där pågående utvecklingen inom värmepumpområdet. Tiden har delats mellan en gästprofessur vid Kogakuin University i Tokyo och studiebesök vid ett flertal industriföretag, i huvudsak värmepumptillverkare. Kontakter har också tagits med branschorganisationer, statliga forskningslaboratorier, el- och gasföretag samt tekniska högskolor.

På hemväg från Tokyo har jag passerat USA och där haft möjlighet att kontakta några högskolor och industriföretag för att kollationera vissa av de i Japan erhållna uppgifterna och intrycken.

Studiernas genomförande och resultat redovisas i två olika rapporter, dels denna dels en intern rapport. I den sistnämnda rapporten lämnas endast översiktliga uppgifter om de genomförda studierna, kontaktade forskningsorganisationer, högskolor, företag samt namn- och adressuppgifter. Rapporten har en "administrativ" karaktär och är i första hand avsedd för internt bruk.

I denna mer utförliga och tekniskt betonade rapport redovisas allt det material av tekniskt intresse, som på olika sätt inhämtats och bearbetats. Även här lämnas uppgifter om vissa forskningsorganisationer, statliga FoU-projekt etc, som inte enbart är av teknisk karaktär.

I Byggnadsforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R67:1987

ISBN 91-540-4750-1
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	Sid
FÖRORD	3
1 FORSKNING OCH UTVECKLING	4
1.1 Statlig energiforskning	4
1.1.1 Organisationer	4
1.2 SUPER HEAT PUMP-projektet	5
1.3 STIRLING-projektet	12
1.4 Forskningsinstitut	14
1.5 Metallhydridvärmepumpar	16
2 VÄRMEPUMPBRANSCHEN I JAPAN	17
2.1 Inledning	17
2.2 Branschorganisationer	17
2.3 Värmepumptillverkare	18
2.4 Besökta företag	19
2.4.1 Hitachi Ltd, Tokyo	19
2.4.2 Meyekawa MFG Co Ltd, Tokyo	20
2.4.3 Mitsubishi Electric Corp, Tokyo	20
2.4.4 Mitsubichi Heavy Industries Ltd, Tokyo	21
2.4.5 Toshiba Corporation, Fuji Works, Fuji-City Shizuoka	22
2.4.6 Tokyo Sanyo Electric Co Ltd, Sakata Oizumi Ora-Gun Gumma	24
2.4.7 Hitachi, Shimiru Works	25
2.4.8 Matsushita Electric Industrial Co Ltd, Compressor and Airconditioner division, Kusatsu	26
2.4.9 Dakin Industries Ltd, Osaka	27
2.4.10 Ebara Corporation, Tokyo	28
2.4.11 Saginomiya Seisakusho inc, Tokyo	29
2.5 Tillverkningsvolym och marknader	30
3 VÄRMEPUMPTILLÄMPNINGAR	33
3.1 Inledning	33
3.2 Kompressorvärmepumpar	34
3.2.1 Exempel 1 - Vörtpanna i bryggeri	35
3.2.2 Exempel 2 - kokare i sockerfabrik	37
3.2.3 Exempel 3 - Destillationskolonn för etylalkohol	39
3.2.4 Övrigt	39
3.3 Absorptionsvärmepumpar	39
3.2.1 Tillämpningsexempel	41

INNEHÅLLSFÖRTECKNING		Sid
4	UTVECKLINGSTENDENSER OCH NYHETER	63
4.1	Inledning	63
4.2	Små värmepumpar	63
4.3	"Nya" kompressortyper	64
4.4	Kapacitetsreglering - INVERTER	65
4.5	Elektroniskt styrda expansionsventiler	66
4.6	Luft/vatten-värmepump med 2-stegskoppling	66
BILAGA 1	METALLHYDRIDTEKNOLOGI	
BILAGA 2	EN STOR VÄRMEPUMP FÖR HÖGA TEMPERATURER	
BILAGA 3	SCROLL-KOMPRESSORN	
BILAGA 4	AVANCERAD ELDRIVEN VILLAVÄRMEPUMP UTVECKLAD I USA	

FÖRORD

Under hösten 1985 har jag vistats i Japan för att studera den där pågående utvecklingen inom värmepumpområdet. Tiden har delats mellan en gästprofessur vid Kogakuin University i Tokyo och studiebesök vid ett flertal industriföretag, i huvudsak värmepumptillverkare. Kontakter har också tagits med branschorganisationer, statliga forskningslaboratorier, el- och gasföretag samt tekniska högskolor.

På hemväg från Tokyo har jag passerat USA och där haft möjlighet att kontakta några högskolor och industriföretag för att kolla in vissa av de i Japan erhållna uppgifterna och intrycken.

Studiernas genomförande och resultat redovisas i två olika rapporter, dels denna dels en intern rapport. I den sistnämnda rapporten lämnas endast översiktliga uppgifter om de genomförda studierna, kontaktade forskningsorganisationer, högskolor, företag samt namn- och adressuppgifter. Rapporten har en "administrativ" karaktär och är i första hand avsedd för internt bruk.

I denna mer utförliga och tekniskt betonade rapport redovisas allt det material av tekniskt intresse, som på olika sätt inhämtats och bearbetats. Även här lämnas uppgifter om vissa forskningsorganisationer, statliga FoU-projekt etc, som inte enbart är av teknisk karaktär.

1 FORSKNING OCH UTVECKLING

Forskning och utveckling inom värmepumpområdet bedrivs dels som statligt stödda FoU-projekt inom ramen för ett övergripande energiforskningsprogram dels av de tillverkande företagen. I det sistnämnda fallet är det oftast fråga om mycket målinriktad produktutveckling och om denna lämnas givetvis mycket sällan några uppgifter förrän produkten är färdig för marknadsföring. Några exempel på produkter och tillämpningar kommer att lämnas i andra avsnitt av denna rapport.

Universitetsfolk i Japan påpekar ofta att egentlig grundforskning sällan bedrivs där och att forskningen även vid universiteten snarare bör betecknas som grundläggande FoU-verksamhet ofta med direkt anknytning till produkt- eller processutveckling. Mina relativt fåtaliga kontakter med universitetsforskningen bekräftar i huvudsak den ovan nämnda uppfattningen. Det kan dock tilläggas att de stora industrieföretagen har ekonomiska möjligheter att sätta in avsevärda resurser i projekt av grundforskningskaraktär om sådana bedöms vara nödvändiga för den egna produktutvecklingen.

1.1 Statlig energiforskning

Nedan ges en översiktlig beskrivning av den statligt stödda FoU-verksamheten inom energiområdet i Japan hösten 1985, dess organisation och omfattning. Värmepumpprojekten behandlas mot bakgrund av den övriga energiforskningen.

1.1.1 Organisationer

AIST - Agency of Industrial Science and Technology inom the Ministry of International Trade and Industry - MITI - stödjer inom energiområdet två nationella forskningsprogram, nämligen:

- "Sunshine Project" för utveckling av ny energiteknologi
- "Moonlight Project" för utveckling av energibesparings-teknologi.

AIST är en gammal och stor organisation. Den bildades redan 1948 och har efterhand kommit att täcka ett flertal olika forskningsområden. AIST driver en rad centrala laboratorier, bl a Tsukuba Research Center.

AIST:s budget för budgetåret 1984 (840401--850331) var cirka $113 \cdot 10^9$ yen (cirka 4500 MSEK) och antalet anställda cirka 4000.

En stor del av energiforskningen har under senare år tagits över av en statlig organisation - "New Energy Development Organization" - NEDO -, som startades 1980 och har en personal på cirka 350 personer.

NEDO:s FoU-plan för 1985 kan sammanfattas som följer:

<u>FoU-område</u>	<u>Budget för bå 1985 i 10⁹ yen</u>
Kol-teknologi	22,7
Solenergi inkl solceller och vindkraft	9,1
Geotermisk energi	3,9
Alkohol/biomassa	0,7
Omvandling och lagring	<u>8,5</u>
	44,9 x 10 ⁹ yen

som motsvarar cirka 1800 MSEK.

Det sistnämnda området, "omvandling och lagring", domineras av delområdet bränsleceller. Här finns också de enda värmepump-projekten nämligen:

- "Super Heat Pump"-projektet och
- "Stirling"-projektet.

1.2 SUPER HEAT PUMP-projektet

Det förstnämnda, som har den fullständiga titeln "Super Heat Pump Accumulation System", är ett nystartat projekt med en budget för 1985/86 på 607 Myen (cirka 24 MSEK), d v s mindre än 1,5 % av NEDO:s totala energiforskningsbudget detta år. Projektet skall pågå t o m år 1991 och beräknas kosta totalt cirka 10 000 Myen (cirka 400 MSEK).

Grundtanken bakom "Super Heat Pump"-projektet är att bidra till bättre utnyttjande av elproduktionssystemet genom en kombination av högeffektiva eldrivna värmepumpar och värmelager. Värmepumparna skall således vara i drift under elnätets låglastperioder - nätter och helger.

Man avser att utveckla 4 olika typer av kompressorvärmepumpar och hög- respektive lågtemperaturvärmelager enligt olika fasomvandlings-sorptions-principer.

Av en plan för projektet framgår bl a:

- att ett komplett koncept skall finnas "på pappret" för storleken 30 MW år 1991
- att en komplett pilotanläggning på 1 MW skall ha byggts och testats 1989-91
- att komponent- och elementstudier skall pågå till mitten av 1986
- att en anläggning i laboratorieskala (100 kW värme) skall finnas i slutet av 1988.

Det framhålls att projektet innehåller en mängd delproblem, som när de löses kan ge spin-off-effekter inom andra användningsområden. Det krävs grundläggande FoU-arbete inom områdena arbetsmedier för kompressionsprocessen och för kemisk energilagring. Andra intressanta områden är material i roterande kompressormaskindelar, kompressionsförlopp, värmeväxlare etc. Värmepumpar för områden med kallt klimat nämns också som intressanta.

För de högeffektiva typerna av värmepumpar siktar man på värmefaktorer dubbelt så höga som för nu konventionella värmepumpar. Bättre värmeväxlare anses här spela en viktig roll. Det nämns bl a att COP kan höjas 30 % genom att utveckla en motströmsvärmeväxlare där man utnyttjar EHD-effekt (Electro-Hydro-Dynamic) vilket innebär att vätskefilmen på en kondensoryta transporteras bort med hjälp av ett elektriskt högspänningsfält!

25-30 % bättre COP kan också fås genom vätskeinsprutning under kompressionen (approximativt isoterm kompression) respektive flerstegskompression. Värmeåtervinning av motorförluster, minskat läckage genom optimal skruvform etc är andra faktorer, som framhålls. Man föreslår att expansionsventilen i vissa fall ersätts med en expansionsmaskin, som får leverera en del av kompressorns drivenergi. Optimalt valda arbetsmedier för de olika värmepumpstyperna anses viktigt. Man nämner icke-azeotropa blandningar, exempelvis R12 + R114, och hänvisar till IEA-projektet Advanced Heat Pump Annex VI, där bl a Japan och Sverige deltagit.

För högtemperaturvärmepumparna kräver man COP-värden minst motsvarande vad som uppnås idag men dessutom högre kondenserings-temperaturer, +150 respektive +300 °C, och 100 respektive 150 K temperaturstegring. Detta kräver flerstegskompression och utveckling av nya kompressorkonstruktioner. Temperaturtåligare arbetsmedier krävs. För området 150-300 °C anses vattenånga bäst. För högtemperaturkonceptet har man föreslagit en snabbgående kolmaskin.

Som nämnts omfattar Super Heat Pump-projektet också hög- och lågtemperaturlager för värme. Man tänker sig s k kemisk energilagring och refererar bl a till Tepidus-projektet i Sverige och till Rocket Research Institute i USA, som undersökt svavelsyra-vattensystem.

Man påstår att man jämfört med konventionella lager för latent eller sensibelt värme med kemisk lagring kan nå 10 gånger större energitäthet. Man tar också zeoliter som exempel och nämner att om man lagrar en torr zeolit och ånga var för sig så får man ut värme när absorption tillåts. Frågan är givetvis hur man lagrar ångan? På den punkten lämnas inga förslag. Tepidus-systemet lider ju av samma svaghet, d v s man lagrar i princip drivenergi men måste lagra det lågvärdiga värmets utanför systemet, t ex i ett jordvärmelager, och det är då felaktigt att tala om 10 ggr högre energitäthet för kemiska lager. Framtiden - fram till år 1991 i detta fall - får utvisa hur man lyckas.

När det gäller lågtemperaturlagring - lagring av kyla för luftkonditionering i byggnader - så talar man om hydreringsprocesser. Som exempel nämns att om man släpper in ett ämne som förångas - t ex ett halogenkoldmedium (Freon) - i en tank med vatten så bildas kristaller av hydrater vanligen vid en temperatur av +5 - +14 °C. Det sägs att energisättningen är mindre än för is av

rent vatten men att man får mycket god värmeöverföring. Möjligt ser man det som en fördel att fasomvandlingen sker vid högre temperatur än ± 0 °C eftersom köldalstringen blir mer ekonomisk vid högre förångningstemperatur men samtidigt blir ju den "lagrade kylan" mindre användbar. Särskilt vid temperaturer uppåt +14 torde det bli besvärligt att kyla ventilationsluft med rimliga värmeöverföringsytor. Grundläggande forskning beträffande hydrater har utförts av National Chemical Laboratory for Industry. Fr o m detta budgetår skall fortsatt FoU och kommersialisering tas över av en privat organisation.

Super Heat Pump-projektet inrymmer en rad fantasifulla tekniska lösningar och en mängd olösta tekniska problem. För svensk del kan delar av själva värmepumpkonstruktionerna vara av intresse. Projektet är dock ännu alltför nytt för att några FoU-resultat skall finnas tillgängliga.

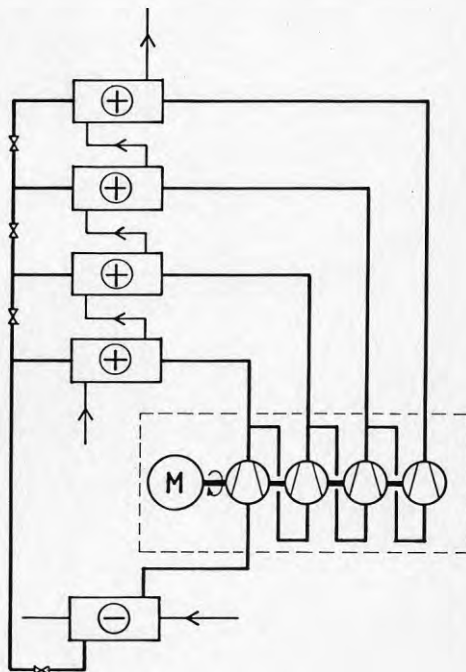
Det skulle vara mycket förvånande om inte både de skisserade tekniska lösningarna och FoU-planen som sådan efterhand kommer att ändras och kompletteras i betydande omfattning.

Ordspråket "Friskt vågat är hälften vunnet" torde gälla här och även om ingen av de tänkta lösningarna kan genomföras i sin helhet så kan dellösningar och komponenter utvecklas inom ramen för detta projektet och sedan visa sig mycket användbara i andra sammanhang.

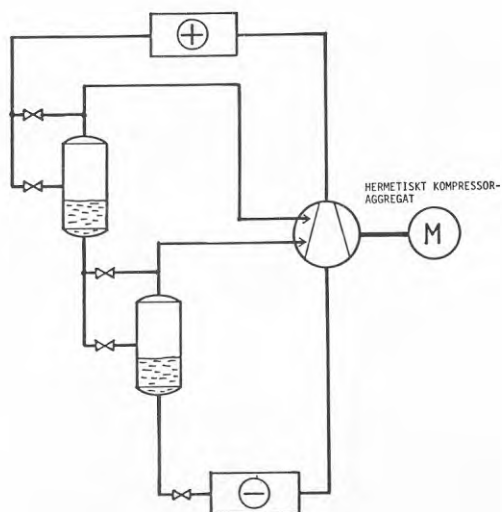
Ett förslag till lösning av "Super high performance compressor heat pump - high efficiency type - for heating only" framgår av principfiguren 1.2 A nedan. Man siktar här på COP = 8 och temperaturen +85 på värmebäraren. Icke-azeotropa köldmedieblandningar skall användas.

Figur 1.2 A

Värmepump med 4-stegs turbokompressor för ickeazeotrop köldmedieblandning - principskiss.

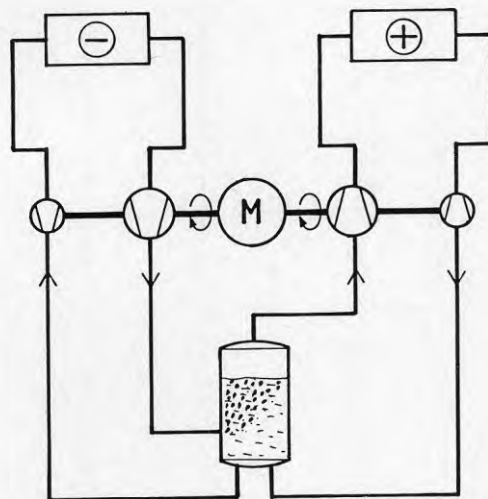


Ett förslag till lösning av "heating and cooling" (+45 respektive +7 °C med COP 6 respektive 7) framgår av figur 1.2 B. Man avser här att utnyttja 3-stegs-strykning och gasinlopp i kompressorn på tre olika trycknivåer.



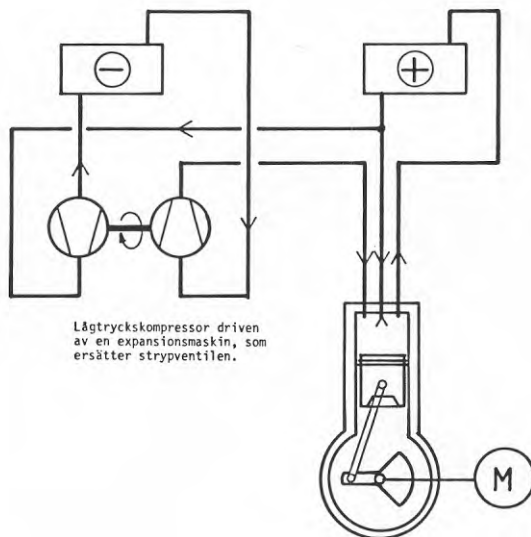
Figur 1.2 B Värmepump med 3-stegsstrykning och skruvkompressor med gasinlopp på tre olika trycknivåer - principskiss.

En principlösning för "High temp output type - low temp heat source" (ca 150 °C värmebärare och COP > 3) framgår av figur 1.2 C. Man avser här att använda en 2-stegsprocess med genombubblingsmellankylare. Skruvkompressorerna skall användas och expansionsventilerna är i bägge stegen ersatta av expansionsmaskiner av skruv-typ.



Figur 1.2 C Värmepump med 2-stegskompression, genombubblingsmellankylare och expansionsmaskiner i stället för strypventiler - princijskiss.

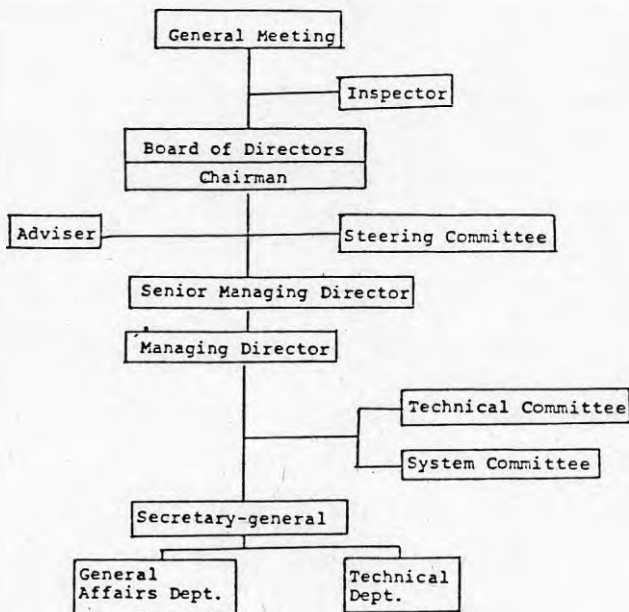
För alternativet "high temp output type - high temp heat source" redovisas ett förslag till principlösning enligt figur 1.2 D. Kompressorn är här en höghastighetskolvmaskin med kolvhastigheter på 6 till 12 m/s och vätskeinsprutning i cylindern under kompressionen. Förkompression sker i en turbokompressor driven av en expansionsmaskin, som ersätter expansionsventilen. För driftsförhållandena +170/+320 °C anges COP = 5.



Figur 1.2 D Värmepump med bl a vätskeinsprutad kolvmaskin som högtryckssteg - principskiss.

För att genomföra "Super Heat Pump"-projektet bildades i maj 1985 en särskild organisation, en s k "Technology Research Association", som under överinseende av AIST, Agency of Industrial and Technology, skall styra projektet. Organisationen framgår av schemat nedan och är som synes tämligen omfattande.

Hittills har nedan förtecknade 17 industriföretag knutits till projektet och är s k "Member Companies of the Association".



Organisationsschema för "Technology Research Association" för styrning av "Super Heat Pump"-projektet.

Member Companies of the Association (oktober 1985):

- Asahi Glass Co., Ltd
- Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd
- Ube Industries, Ltd
- Ebara Corporation
- Ohbayashi Corporation General Contractors
- Kobe Steel, Ltd
- Shimizu Construction Co., Ltd
- Sumitomo Precision Products Co., Ltd
- Daikin Industries, Ltd

- Central Research Institute of Electric Power Industry
- Toshiba Corporation
- JGC Corporation Engineers & Constructors
- Hitachi, Ltd
- Hitachi Zosen Corporation
- Mayekawa MFG Co., Ltd
- Mitsui Engineering-SHY'S Building Co., Ltd
- Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

1.3 STIRLING-projektet

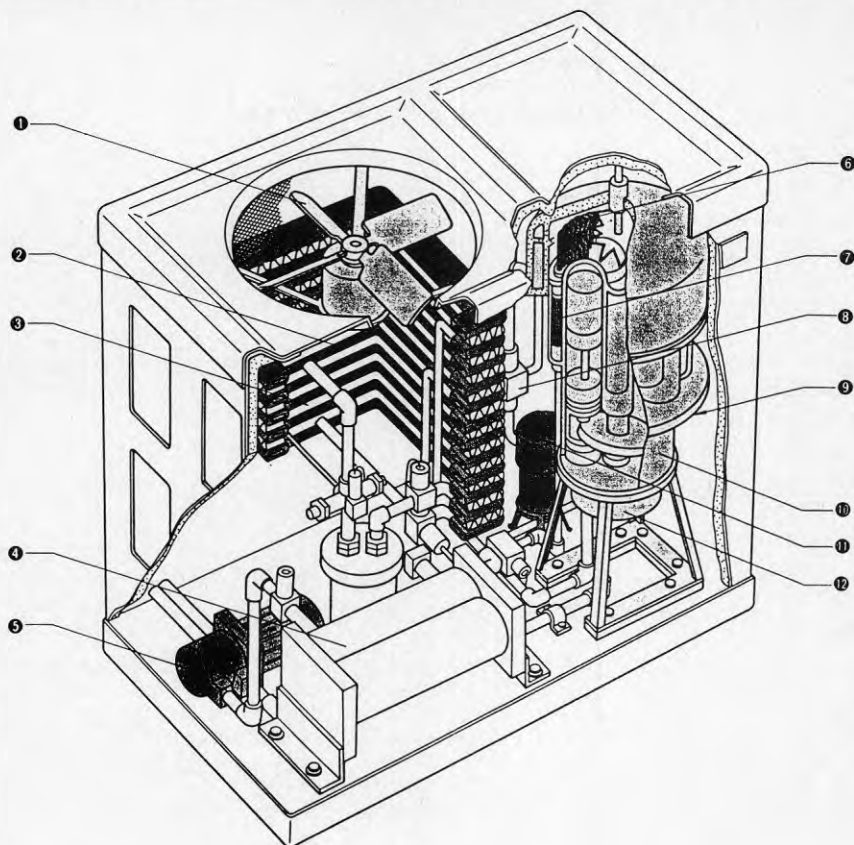
Stirlingprojektet har den fullständiga benämningen Development of a Stirling Engine for Wide Use. Projektet skall pågå 1982-87 och har en ungefär total omslutning på cirka 10 000 Myen, d v s samma storlek som Super Heat Pump-projektet. Budgeten för budgetåret 185/86 är 1475 Myen.

Projektet avser:

- utveckling av en 3 kW Stirling-motordriven kylvärmepump-enhet för småhus
- utveckling av en 30 kW Stirling-motordriven kylvärmepump-enhet för större byggnader
- utveckling av en 30 kW Stirling-motordriven elgenerator-enhet.

Under detta budgetåret satsas huvuddelen av anslagen, cirka 75 %, på de värmepumpbetonade delarna av projektet.

Målsättningen är att utveckla en drivenhet - motor - med hög termisk verkningsgrad, 32-37 %, låg ljudnivå, små luftföroreningar och lång livslängd. För närvarande arbetar man på två olika motortyper för vart och ett av de två effektområdena, 3 och 30 kW. FoU skall också gälla motorernas applicering i systemet samt flerbränslesystem. Experimentmotorer finns i drift och används för utprovning av komponenter.



Stirlingmotor-driven värmepump

1. Fläkt
2. Kondensator vid kyl drift
3. Förångare vid värmepump drift
4. Kondensator vid värmepump drift
5. Cirkulationspump
6. Värmare
7. Regenerator
8. Reglerventil för bränsle/luft-blandning
9. Motorblock
10. Värmepumpkompressor
11. Kompressor för förbränningsluft
12. Startmotor

1.4 Forskningsinstitut

Under Ministry of International Trade and Industry, MITI, sorterar Agency of Industrial Science and Technology, AIST, som bl a driver en rad statliga laboratorier i Tsukuba Science City.

Två av dessa laboratorier - Mechanical Engineering Laboratory - MEL - och National Chemical Laboratory for Industry - NCL - är involverade i energiforskningen och några få av projekten där har anknytning till värmepumpar.

MEL har för närvarande totalt cirka 290 heltidsanställda varav 220 är forskare och 70 administrativ personal. Årsbudgeten är på cirka 3200 Myen (cirka 130 MSEK).

För NCL gäller att personalstyrkan är 377 varav 292 forskare och årsbudgeten är 3900 Myen (cirka 155 MSEK).

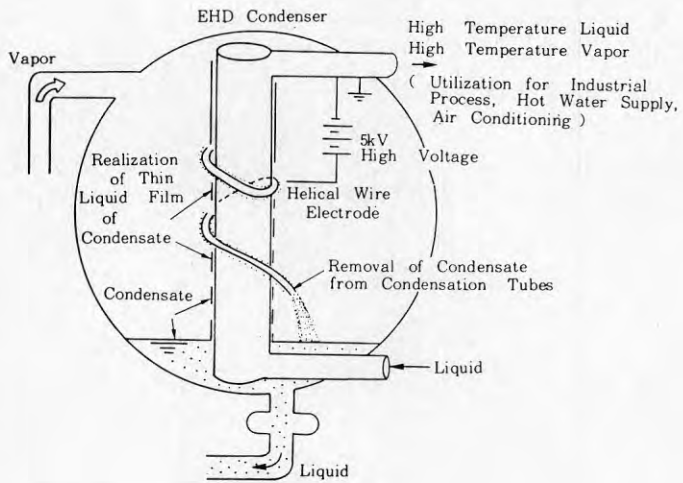
Vid besök på nämnda laboratorier visade man på MEL upp två aktuella delprojekt inom ramen för "Super Heat Pump"-projektet, nämligen:

- Advanced Electro - Hydro - Dynamical heat exchangers och
- Heat Pump Compressors with liquid injection.

Principen för det förstnämnda projektet är att man med hjälp av en hög elektrisk spänning avleder kondensatfilmen från utsidan på ett vertikalt rör i en kondensor - se figur 1.4 A. Man har med försök visat att värmeövergångskoefficienten kan göras upp till nästan 3 gånger större genom denna s k EHD-teknik. Det är dock svårt att se hur denna tämligen komplicerade teknik skall kunna utnyttjas praktiskt och ge totalt sett konkurrenskraftigare kondensorer.

I det andra nämnda projektet hade man byggt en speciell kolvkompressor och gjorde försök med att spruta in vätskeformigt köldmedium under kompressionen för att minska temperaturstegringen och därmed kompressionsarbetet. Några resultat kunde man ännu inte presentera.

Det enda man på NCL visade upp som pågående energiforskning var försök med hydrater, som bildades genom inblåsning av halogenköldmedier i vatten. Man uppgav att energilagringkapaciteten var ungefär densamma som för ren is, d v s något mindre än 0,1 kWh/kg, men fasomvandlingen kunde åstadkommas vid andra temperaturer än ± 0 °C. De pågående försöken hade grundforskningskaraktär, d v s man höll på att bestämma tryck, temperatur och energi för olika medier, vilka utöver de vanliga såsom R12, R22, etc ville man dock inte avslöja. Även här kan man anta att vägen till praktiska tillämpningar är lång och besvärlig.



Figur 1.4 A

Principskiss över kondensor med s k EHD-system för av
avlänkning av kondensatfilmen från kondensorytan.

1.5 Metallhydridvärmepumpar

Laboratoriet för kemisk energiforskning är en institution inom avdelningen för kemi vid Kogakuin-universitetet, som är ett privat universitet i Tokyo.

FoU-verksamheten, under ledning av professor S. Suda, har en mycket tillämpad inriktning och finansieras genom bidrag från privata företag och/eller från MITI - Ministry of International Trade and Industry. Institutionens forskning är sedan flera år helt inriktad på metallhydrider, d v s vissa metallegeringars förmåga att under vissa förhållanden uppta, binda och avge väte. Vid s k hydrering och dehydrering avges respektive upptas energi i form av värme på liknande sätt som vid sorptionsprocesser. Metallhydridtekniken kan därför bl a användas för värmedrivna värmepumpar, tänkbara även för högre temperatur ($> +300$ °C).

En kortfattad orientering om metallhydridteknologin återfinns i bilaga 1.

2 VÄRMEPUMPBRANSCHEN I JAPAN

2.1 Inledning

S k luftkonditionering, d v s kylning av ventilationsluft med hjälp av "mekanisk" kylanläggning, har använts länge i Japan. Den första anläggningen sägs ha installerats redan år 1907 i en textilfabrik.

I och med oljekrisen 1973 steg intresset för värmepumpar markant men redan 1961 fanns små massproducerade värmepumpaggregat på marknaden i Japan. Ca 20 år senare, såldes över 1 milj sådana enheter på hemmamarknaden varav mer än 0,8 milj enheter var s k "room air conditioners". Samma år såldes i Japan 176 000 värmepumpaggregat av s k kommersiell typ, d v s med 5 HP kompressor och större.

Den helt övervägande delen av värmepumparna i Japan används inom sektorerna bostäder och kommersiella byggnader och det är således fråga om klimatkylanläggningar utförda för alternativ värmepumpdrift. Ökad användning av egentliga värmepumpar särskilt inom industrin anses synnerligen önskvärd ur energibesparingssynpunkt för nationen. Det skall dock understrykas att kylning av avfuktning är de primära behoven och möjligheten att använda de s k RAC-enheterna (Room-Air-Conditioners) även för värming, d v s som värmepump, är ett andrahandsbehov som dock uppskattas mer och mer.

Som nämnts ovan är s k "room air conditioners" den stora produkten och 70 å 80 % av dem som tillverkas under 1985 har alternativ värmepumpfunktion. De vanliga enheterna har kompressorer med nominell eleffekt från ca 0,4 till 1,4 kW (0,5-2 HP).

Det finns i Japan inga tillverkande företag som sysslar enbart med värmepumpar utan dessa är också verksamma inom kyl- och luftkonditioneringsområdena. Gränsdragningen mellan värmepump och närliggande produkter - exempelvis vissa typer av s k "air-conditioners" - kan också vara svår att göra.

2.2 Branschorganisationer

Huvuddelen - 95 % - av kyl-, luftkonditionerings- och värmepumpföretagen i Japan, cirka 140 företag - är medlemmar i branschorganisationen "The Japan Refrigeration and Airconditioning Industry Association - JRAIA".

Installatörerna, cirka 3000 företag av vilka en del är mycket små, har en egen branschförening och endast tillverkande företag ingår i JRAIA.

JRAIA har ett kontor i Tokyo med cirka 20 fast anställda och arbetar i övrigt genom en mängd olika kommittéer där representanter från medlemsföretagen ingår.

Organisationen startades redan 1949 under namnet "The Japan Refrigerating Machine Manufacturers Association" och omorganiserades och fick det nuvarande namnet 1969. JRAIA svarar i många fall för branschens gemensamma internationella kontakter och organiserar

bl a Japans National Team i IEA Heat Pump Center.

JRAIA driver också sedan 1978 ett "Testing Laboratory" för provning av "air-conditioners".

2.3 Värmepumptillverkare

JRAIA har gjort en översikt av värmepumpföretagen per september 1985, som återges nedan.

Av översikten framgår bl a att det är totalt 14 företag i Japan, som uppges tillverka någon typ av värmepump. Endast 3 av dessa täcker samtliga 7 upptagna produkttyper. Två företag täcker för närvarande 6 av 7 produkttyper. Det kan också noteras att var och en av kategorierna "Screw", "Centrifugal" och "Absorption" täcks av inte mindre än 8 företag trots den relativt obetydliga hemmamarknaden. Detta torde hänga samman med den speciella industri- och företagsstrukturen i Japan.

Heat Pump Manufactures (*) in Japan

September 1985
JRAIA

Manufactures	Heat Pump Air Conditioners	Heat Pump Commercial Air Conditioners	Heat Pump Chilling Water Units	Reciprocating Heat Pump Refrigerators	Screw Heat Pumps	Centrifugal Heat Pumps	Absorption Heat Pumps
Daikin Industries, Ltd.	*	*	*	*	*	*	*
Ebara Corporation					*	*	*
Fuji Denki Sosetsu Co., Ltd.	*	*	*				
The General Corporation	*						
General Aircon, Ltd.	*	*					
Hitachi, Ltd.	*	*	*	*	*	*	*
Ishikawajima Harima Heavy Industries, Co., Ltd.					*	*	
Kawasaki Thermal Engineering Co., Ltd.							*
Kobe Steel, Ltd.				*	*		
Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.	*	*	*	*			
Mayekawa Mfg. Co., Ltd.				*	*		
Mitsubishi Electric Corporation	*	*	*	*		*	*
Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.	*	*	*	*	*	*	*
NEC Home Electronics Ltd.	*						
Sanyo Electric Co., Ltd.	*	*	*	*	*		*
Sharp Corporation	*	*					
Toshiba Corporation	*	*	*	*		*	
Toyo Carrier Engineering Co., Ltd.	*	*	*	*		*	*
Uchida Mfg. Co., Ltd.	*						
Total Number of Manufactures	14	11	9	10	8	8	8

2.4 Besökta företag

En del av de aktuella företagen har besökts för insamling av information och diskussion av vissa system- och teknikfrågor. Nedan följer sammanfattningar av vad som framkommit vid nämnda besök.

2.4.1 Hitachi Ltd, Tokyo

Företaget erbjuder:

- hela det konventionella registret av luftkonditionerings-, kyl- och värmepumpstrustning
- hermetiska kolvkompressorer upp till 15 HP
- hermetiska rotationskompressorer upp till 1,5 HP
- semihermetiska kompressorer av kolv- och skruvtyp upp till 15 respektive 60 HP
- stora vätskekylaggregat med skruv- och turbokompressorer
- absorptionsaggregat för hetvatten, ånga och direktledning med gas och olja
- luftavfuktningssaggregat enligt värmepumpprincipen för industribruk i 3 storlekar upp till cirka 6 kg/h utfällt vatten.

Beträffande hermetiska kompressorer kan särskilt nämnas den tämligen nyutvecklade SCROLL-kompressorn, som man fortfarande är ensam om på marknaden. Den används i room-air-conditioners och finns nu tillgänglig som komponent för aggregattillverkare i 3 storlekar nämligen inom området ca 2-4 kW nominell eleffekt.

Kompressorn har 2-polig motor och med s k INVERTER kan frekvensen ändras från 30 till 75 Hz och varvtalet därmed från 1800 till 4500 rpm.

Kompressortypen uppges ha alla möjliga fördelar jämfört med den traditionella kolvkompressorn såsom högre volymetrisk och adiabatisk verkningsgrad, lägre ljudnivå särskilt vid höga varvtal, små variationer i vridmoment etc.

Det uppges också att man med 1-stegskompression klarar exempelvis $\pm 0/+80$ °C med R12. Suggasen leds direkt in i kompressorn och motorn kyls med högtrycksgas. Kompressorhöljets nedre del fungerar som oljeavskiljare och oljesump.

Konkurrenterna i både Japan och USA förväntas när som helst komma med liknande kompressorer.

Kompressortypen har uppenbarligen kommit för att stanna på marknaden och den kan bli mycket intressant för mindre värmepumpar. Den beskrivs närmare på annan plats i denna rapport.

För mindre luft/luft-värmepumpar använder man s k "inverters" liksom konkurrenterna. Hittills har man inte introducerat elektriska expansionsventiler eller något alternativ till den konventionella 4-vägsventilen för reversering.

På särskild fråga varför man envisas med att för uteluftbatterier till värmepumpar använda mycket tät flänsdelning liksom i konden-

sorbatterierna svarade man att det var tillverknings sidan som bestämt motsatte sig varje ändring särskilt om den medförde minsta höjning av tillverkningskostnaderna. Man försökte i stället ytterligare pressa materialåtgången genom mindre materialtjocklekar, exempelvis i just luftberörda flänsar. Man vill också gärna hålla ner apparaternas ytterdimensioner. Min uppgiftslämnare tyckte personligen att man i vissa avseende var på väg att gå för långt i kostnadsjakten på tillverknings sidan.

2.4.2 Mayekawa MFG Co Ltd, Tokyo

Vid besöket visades fabriken i Tsukuba och framförallt en omfattande provningsverksamhet. Den tekniska utvecklingen speciellt beträffande skruvmaskiner för vattenånga diskuterades ingående.

Man saluför idag skruvkompressorer för vattenånga från ca 100 °C till ca 150 °C och expansionsmaskiner med ingående ångtemperatur på max ca +180 °C. Med en skruvkompressor för R12 driven av en ångdriven skruvexpander kan med en spillvärmekälla på ca +30 °C värma vatten från +60 till +90 °C med en värmefaktor på 1,5 till 1,65 räknat på värmeinnehållet i oljan till ångpannan.

Antalet kommersiella anläggningar är ännu mycket litet. Man har några få i drift varav en för kompression av ånga från en vörtpanna i ett bryggeri, som varit i drift några år med gott resultat.

Representanterna för Mayekawa ansåg att värmepump tekniken kunde utvecklas ytterligare och då speciellt för högre temperaturer och tillämpningar inom processindustrin. Vatten som arbetsmedium är intressant, men var dock hittills inte villig att gå nämnvärt under +100 °C i förångningstemperatur, d v s man vill inte arbeta med undertryck på sugsidan. Med skruvmaskiner behärskas givetvis inte lika stora volymflöden som med turbomaskiner.

Smörjningen av skruvmaskinerna arbetande med vatten ansåg man sig ha löst så att någon risk för oljeläckage till arbetsmediet inte föreligger.

Värmepump anläggningar för kylning av rökgaser i samband med rökgasrening - s k kondenserande system - hade inte diskuterats inom företaget och man kände inte till någon sådan förfrågan eller anläggning.

Förutom skruvmaskiner så tillverkas större kolvkompressorer samt kompletta kyl- och värmepumpaggregat. Bland annat serietillverkas en typ av dieseldrivna värmepumpaggregat med kolvkompressorer och en axeleffekt på ca 40 kW. Aggregaten användes huvudsakligen för värmning och kylning av växthusanläggningar.

Företagets årsomsättning är ca 1000 MSEK. Europa bearbetas för närvarande från ett kontor i Belgien och man avsåg att på något sätt förbättra representationen i Skandinavien eftersom försäljningen via TETAB upphört.

2.4.3 Mitsubishi Electric Corp, Tokyo

Företaget, som startades 1921, är en koncern med 66 000 anställda

och en omsättning på cirka 8×10^9 USD. Verksamheten är spridd på en rad teknikområden varav kyl- och luftkonditioneringsutrustningen faller inom två av företagets huvudområden, nämligen "Industrial Products" och "Consumer Products". Företaget är i Skandinavien representerat av ett dotterbolag i Sollentuna.

Man tillverkar och säljer hela det sedvanliga sortimentet av luftkonditioneringsaggregat och värmepumpar, hermetiska kompressorer av kolv- och rotationstyp, semihermetiska kolvkompressorer från 2 till 130 kW eleffekt och vattenkylaggregat med sådana kompressorer upp till cirka 700 kW kyleffekt. Man gör också turbokompressorer och vattenkylaggregat med kyleffekt från 400 till cirka 2000 kW. På kylsidan gör man bl a kyl- och frysdiskar samt brinekylaggregat ner till -60 °C. Man har satsat på masstillverkning av hermetiska rotationskompressorer även i kylskåpsstorlek, 100-250 W eleffekt.

Absorptionskyla har man inte på programmet och har inte heller för avsikt att ta upp sådan.

Av luft/vattenvärmepumpar tillverkar man bl a en typ för värmepumpföretaget IVT i Tranås.

Det nämndes att två nya kompressortyper var under utveckling nämligen:

- hermetisk scrollkompressor
- "single screw compressor".

Data och tidpunkt för marknadsföring ville man inte lämna nu. Det var också oklart vilken typ av skruvkompressor man höll på med, möjligen en s k "mono-screw" typ Grasso.

Av nyheter på kyl- och värmepumpsidan nämndes särskilt följande:

- en elektrisk styrd expansionsventil med tillhörande elektronikdel
- ett luft/vatten-värmepumpsystem med 1-stegsdrift för uppvärmningsdelen (R22) och en form av 2-stegsdrift för tappvattendelen benämnt "Combination Q".

Dessa beskrivs närmare på annan plats i denna rapport.

2.4.4 Mitsubishi Heavy Industries Ltd, Tokyo

Mitsubichi HI - Air Conditioning and Refrigeration Division - tillverkar:

- hela registret av "Air to Air Room Air Conditioners" varav en del med VP-funktion
- luft- och vattenkylda kylaggregat för luftkonditionering
- luft-vatten värmepumpar (även för kylning)
- konditioneringsaggregat för datarum och andra speciella ändamål
- kompressoraggregat (condensing units) för kyl och fry

- kyl- och frysaggregat för containers
- luftbehandlingsutrustning för bilar och bussar
- hermetiska kompressorer av typ kolv och rotation
- semihermetiska kolvkompressorer för 10 kW el.

MHI har i samarbete med SRM utvecklat en liten öppen skruvkompressor avsedd för luftkonditionering av bussar. Med R12, 3000 rpm och $\pm 0/+65$ °C, är kyleffekten ca 15 kW och driveffekten 8,5 kW.

MHI samarbetar sedan 1964 med York division of Borg-Warner Corp USA genom ett särskilt bolag, MHI-York, med huvudkontor i Takasago City, Hyogo Pref.

MHI-York tillverkar stora vätskekylaggregat med turbo-, skruv- och kolvkompressorer samt absorptionsaggregat med kyleffekter vid vattentemperaturerna $+7/+32$ °C från cirka 500 till cirka 6000 kW. Direkteldade absorptionsaggregat finns från 350 till 4000 kW kyl-effekt. Man har också kombinationer av turbo- och absorptionsaggregat.

Luft-vatten-värmepumpar, enhetsaggregat med skruvkompressor inom området 550-1750 kW värme vid ± 0 °C utelufttemperatur och utgående värmebärare $+45$ °C och med kolvkompressorer från 85 till 165 kW värme.

I övrigt tillverkas öppna och semihermetiska kolvkompressorer samt skruvkompressorer typ SRM.

Man har sedan cirka 5 år också tillverkning av mono-skruvkompressorer, typ Grasso, närmast avsedda som s k boosterkompressorer för R22 och ammoniak.

Beträffande "nyheter" så har man exempelvis ännu inte börjat använda elektriska expansionsventiler i småaggregat. S k "inverters" används för luft/luft-aggregaten liksom av alla konkurrenter inom denna sektor.

Den nyaste produkten är den ovannämnda öppna skruvkompressorn för bussar.

MHI representeras i Sverige - huvudsakligen mindre värmepumpar - av Clima AB i Ängelholm.

Den tekniska utvecklingen är förlagd till MHI Technical Institute i Nagoya.

2.4.5 Toshiba Corporation, Fuji Works, Fuji-City Shizuoka

Företagsgruppen TOSHIBA startades 1875 och har idag totalt cirka 67 000 anställda. Verksamheten spänner över en mängd områden. Industriproduktion finns på 29 olika platser och utvecklingslaboratorier på 7 av dessa.

Fuji-fabriken startades 1943, har en byggnadsyta på över 150 000 m² och cirka 2600 anställda.

Tillverkningen av hermetiska kompressorer är koncentrerad hit. Storlekar från "kylskåpskapacitet" upp till 15 hp tillverkas.

Produktionsvolymen är för närvarande 1,8 å 2 miljoner enheter per år. Vidare tillverkar man övriga komponenter och kompletta "room air conditioners". Idag är ca 70 % av dessa med värmepumpfunktion mot cirka 40 % för 3 år sedan. I Fuji-fabriken färdigställs 1 komplett RAC var 40:e sekund, d v s cirka 90 st per timme.

Varvtalsreglering genom frekvensomvandlare, s k inverter, mikrodatorstyrning och elektrisk styrd expansionsventil används i ökad omfattning. Toshiba har varit föregångare på dessa områden. Inverters, även för 3-fas upp till cirka 7 kW, tillverkas i Fuji-fabriken liksom mikrodatorerna.

För 1985 beräknas produktionen i Japan av RAC-enheter bli cirka 3,4 miljoner enheter varav cirka 60 % har värmepumpfunktion och cirka 25 % inverter.

Inverters infördes för cirka 4 år sedan av Toshiba. Den uppges nu ha en elektrisk verkningsgrad på 92-96 % men besparingen genom högre genomsnittsvärden både för köld- och värmefaktorerna anses vara väsentlig - som exempel nämns att elenergiförbrukningen för en RAC i Tokyo-klimat sjunker med 40 % genom inverter.

Av "nyheter" kan för övrigt nämnas att man bl a tillverkar en värmepump där utomhusdelen försetts med en liten gaseldad panna i vilken köldmedium förångas. Detta kondenseras i inomhusapparaternas kondensorer. Gaspinnan används inte parallellt med kompressorn utan endast alternativt. Med gas som bränsle behövs ingen skorsten och själva pannan är uppbyggd av aluminiumblock med inlagda kopparrör för köldmediet. En gaseldad "köldmediepanna" på cirka 6 kW har uppskattningsvis måtten 0,3 x 0,3 x 0,2 m.

Kompressorer av Scroll-typ sades vara under utveckling men ännu inte i produktion.

Vid Fuji-fabriken finns utvecklingsavdelningen för hermetiska kompressorer och "room air conditioners" med omfattande laboratorieresurser.

Värmepumpar och komponenter - bl a kompressorer - för drift vid låga temperaturer diskuterades ingående. Möjligheterna att för prov i Sverige köpa några inomhusenheter med inverter berördes. Ett tekniskt problem i sammanhanget är att det för styrningen krävs en elektronikenhet och denna är för närvarande delvis placerad i inomhusdelen. Microprocessorn är dessutom programmerad för flertal av de speciella funktioner som RAC-systemet kräver såsom styrning av kapaciteten - varvtalet - med ledning av ett flertal temperaturer, styrning av avfrostning, expansions- och omkastningsventil m m, m m.

Fuji-fabriken är som nämnts helt inriktad på massproduktion av de stora volymprodukterna inom AC-sektorn, d v s hermetiska kompressorer och "room air conditioners" av typen luft/luft i s k "split-utförande". Det kan nämnas att de mindre storlekarna i split-utförande med inverter och mikroprocessorstyrning kan köpas i varuhuset för priser runt 200 000 yen, d v s cirka 8000 SEK. Kunden får då själv svara för hemtransport och installation. Säljaren lämnar 1 års garanti på samma sätt som för andra kapitalvaror. I leveransen ingår bl a förfyllda köldmedieledningar med snabbkopplingar. De vanliga storlekarna är av 1-fasutförande varför anslutning kan ske till vanligt vägguttag och någon egentlig elinstallation

erfordras således inte. Färdiga kablar finns för förbindelserna mellan utomhus- och inomhusdelarna.

2.4.6 Tokyo Sanyo Electric Co. Ltd, Sakata Oizumi Ora-Gun Gumma

Företaget hade 1984 en total försäljning på över 480 000 Myen och 13 000 anställda. Huvuddelen av verksamheten är inriktad på elektronik, kontorsautomation och dyligt. Förutom kyl- och luftkonditioneringsutrustning tillverkas också varuautomater bl a för kylda drycker.

Företaget startades 1959 med fabriker för TV och kylskåp. 1960 började man tillverka "air conditioners" och utvecklade en 2-polig hermetisk kompressor. Fläktkylare har tillverkats sedan 1966 och stora kolvkompressorer (100 hp) sedan 1968. 1969 startades tillverkning av rotationskompressorer och 1974 hade man tillverkat totalt 1 milj enheter.

Under 1984 hade man sammanlagt levererat över 3000 stora absorptionskylaggregat och 5 milj enheter room air conditioners.

Absorptionsaggregat i värmepumpförande började levereras 1980 och idag är cirka 90 aggregat i drift mestadels i textilfabriker och liknande industrier.

Totalt har man hittills levererat endast 5 aggregat av s k "type II heat pump", d v s värmetransformatorer. Dessa har en avgiven värmeeffekt per aggregat från cirka 1 MW till cirka 2,5 MW.

Man uppger att återvinningsgraden för typ II är cirka 0,5 och att värdet varierar ganska litet med driftsförhållandena, 0,45 till 0,53 anges som gränser.

För närvarande produceras cirka 500 absorptionsaggregat per år av olika storlekar. 20-30 % av dessa är ångdrivna och resten direkteldade med gas.

Beträffande tillförlitlighet och servicebehov nämndes bl a följande:

- vacuumpumpen bör köras 1 gång per vecka
- flänsförband bör packas om 1 gång per år
- eventuellt läckage kan observeras genom observation av vätskenivån i en behållare för okondenserbara gaser.

På värme/köldbäraresidan klarar man korrosionsproblemen genom att välja tubmaterial i värmeväxlare beroende på mediernas krav. Man ansåg inte att det fanns några allvarliga korrosionsskador på LiBr-sidan om man bara såg till att man inte hade några luftläckor! Inhibitortillsatser användes som standard.

För typ I-värmepumpar uppger man standardvärdet 1,7 som värmefaktor.

För kylaggregat med s k "double-effect" uppger man köldfaktorn vara över 1,25 vid standardförhållanden, d v s man skulle kunna få en värmefaktor på 2,25. Hittills används dock "double-effect"

normalt inte i värmepumpaggregat.

Inom Sanyo Electric har man för luftkonditioneringskyla koncentrerat sig på absorptionsaggregat och tillverkar t ex inte alls aggregat med turbokompressorer eller större skruvkompressorer.

2.4.7 Hitachi, Shimizu Works

Fabriken startades 1943 och sysselsätter idag cirka 1200 arbetare. Den är avsedd för tillverkning av viss kyl- och luftkonditioneringsutrustning, bl a skruv- och scroll-kompressorer.

Vissa storlekar av luft/vattenvärmepumpar tillverkas bl a för Europa.

Room-air-conditioners - split system - med värmepumpfunktion, scroll-kompressor och inverter kommer troligen att marknadsföras på exportmarknaderna inklusive Europa fr o m våren -86.

Scroll-kompressorn diskuterades ingående och bl a nämndes:

Extra "gasuttag" för s k economiserkoppling kan anordnas på kompressorerna men utnyttjas normalt endast som en kapacitetsregleringsmöjlighet och levereras därför inte tillsammans med inverter. 2-stegsstrykning, d v s economiserkoppling - ansågs bli komplicerad vid värmepumputförande, d v s reverserbar drift med hjälp av 4-vägs omkastningsventil.

Tillsammans med inverter använder man elektriskt styrd expansionsventil. Sådana och 4-vägsventiler köpes utifrån bl a från Saginomiya. Inverters tillverkas av ett elektronikföretag i Hitachi-koncernen.

Inverters ansågs fortfarande vara för dyra och uppgavs kosta mer än kompressorn i en normal "room air conditioner". Inverters ansågs dock ha kommit för att stanna och man måste kunna erbjuda sådana för att vara med på den hårda men stora marknaden för "room air conditioners".

Scroll-kompressorn är fortfarande en volymsmässigt liten produkt - för närvarande cirka 40 000 enheter per år i 3 olika storlekar.

Volymen antas komma att växa och installation av nya maskinlinjer pågick i fabriken enligt uppgift bl a för att kunna öka tillverkningen av scroll-kompressorer. Sådana skall också lanseras av ett Hitachi-företag som tryckluftkompressorer. Slutbearbetningen och monteringen av Scroll-spiralerna utfördes i "hemligt" rum. Som tidigare nämnts har Hitachi fått vara ensamma om Scroll-kompressorn ovanligt länge. Inget konkurrentföretag i Japan har ännu sagt något bestämt när man kommer med en liknande konstruktion. Copeland Corp i USA har annonserat att man avser att komma med en kylkompressor av Scroll-typ.

Hitachi nämner i sin reklam att deras konstruktion är skyddad med 290 olika patent. Scroll-principen lär ha beskrivits första gången för cirka 80 år sedan. Anledningen till att den inte tidigare tillämpats anses vara att man inte tidigare kunnat tillverka de väsentliga maskindelarna med erforderlig precision till acceptabelt pris. Något samarbete mellan Copeland och Hitachi lär inte före-

komma.

Vid Shimiru-fabriken finns Hitachis "kyl- och luftkonditionerings"-skola för ingenjörer och servicetekniker. Egen och kundens (installatörernas) personal utbildas här. Kurser - mestadels korta sådana på 1-3 dagar - pågår nästan ständigt. Alla de större företagen i branschen har liknande utbildningsverksamhet, som anses vara mycket viktig.

2.4.8 Matsushita Electric Industrial Co Ltd, Compressor and Airconditioner divisions, Kusatsu

Företaget MEI är en av de stora tillverkarna av hermetiska kompressorer och room air conditioners, RAC. RAC-apparaterna marknadsförs under namnen "National" och "Panasonic".

RAC-tillverkningen startades 1958 och redan 1961 började man med värmepumpsutförande. RAC i split-type-utförande började tillverkas 1965. Följande ger en viss uppfattning om tillverkningsvolymens tillväxt:

- volymen	1 x 10 ⁶	RAC-enheter	passerades	under	år	1972
- "	2 "	" "	" "	" "	" "	1974
- "	3 "	" "	" "	" "	" "	1976
- "	5 "	" "	" "	" "	" "	1979
- "	9 "	" "	" "	" "	" "	1985.

Under 1984 passerades en exportvolym på totalt 2 milj RAC-enheter. RAC-enheterna finns i olika storlekar från cirka 400 W till cirka 1200 W nominellt eleffektbehov med rotationskompressorer och upp till cirka 2,6 kW el med kolvkompressorer.

Cirka 70 % av AC-enheterna tillverkade i år har värmepumpfunktion och cirka 40 % av dessa är försedda med sk inverter som för övrigt tillverkas för 1- och 3-fas-utförande upp till cirka 1,5 kW eleffekt.

Tillverkningsvolymen är för närvarande cirka 1 milj enheter per år varav cirka 0,8 milj för hemmamarknaden.

Huvuddelen av exporten går till Sydostasien.

RAC-enheter med inverter exporteras inte för närvarande.

Kapillärrör används mest som stryporgan men vissa typer har elektrisk expansionsventil av fabrikat Saginomiya.

Inverters började tillverkas 1982. Priset för en komplett AC-enhet, split-type, är ca 20 % högre med inverter eller cirka 300 000 yen i stället för cirka 250 000 yen - pris till slutkund för en vanlig utrustning.

Tillverkning av hermetiska kolvkompressorer startades 1958 och 1984 hade man tillverkat totalt cirka 5 milj enheter. Serietillverkning av rotationskompressorer startades 1976 och 1984 hade man framställt över 6 milj enheter. Under 1984 tillverkades cirka 1,7 milj enheter och rotationskompressorer är nu den helt dominerande typen.

Kompressorerna användas i de tillverkade kompletta PAC-enheterna och säljs för övrigt som komponent. Förutom RAC och kompressorer tillverkar man AC-enheter för personbilar.

Matsushita Electric - kompressorer tillverkas nu också på licens i Taiwan och Malaysia.

Den största typen av rotationskompressorer, serie J, har slagvolymen från 28,2 till 43,4 cm³/varv. Med inverter kan frekvensen ändras från cirka 30 till 90 Hz och i vissa fall även något högre.

I värmepumpenheterna användes genomgående den vanliga 4-vägsventilen. Man ansåg inte att läckage eller andra driftstörningar var allvarliga brister.

Kompressor av scroll-typ uppgavs vara under utveckling men man visste inte idag när den skulle kunna vara på marknaden. Skälet till satsningen på scroll-kompressorutveckling sades vara "det gamla vanliga", d v s när ett av de stora i branschen - i detta fall Hitachi - kommer med något nytt så måste de övriga "hänga med".

I övrigt hade man inga speciella nyheter som man idag kunde avslöja. Man avsåg att satsa på inverters och bättre expansionsventiler - bl a elektroniskt styrda. Man skulle också kommersiellt använda en blandning av R22 och R13 B1. Skälet till att inverters enbart såldes i Japan ansågs vara att kunderna på exportmarknaderna inte var beredda att betala det något högre priset. Det borde inte vara några hinder för att till Sverige få köpa utomhusenheter med inverters eller av kompressorer med tillhörande inverter-utrustning.

Man var tämligen främmande för tanken att öka flänsdelningen i utomhusapparaternas batterier för att minska frostkänsligheten. Man ansåg det bättre att avfrosta ofta. Normalt rekommenderades inte drift vid lägre utetemperaturer än cirka -10 °C. Kompressorer för låga förångningstemperaturer och låga tryckförhållanden diskuterades. Någon förklaring till eventuell låg kompressorverkningsgrad vid nämnda driftsförhållanden hade man inte.

2.4.9 Daikin Industries Ltd, Osaka

Fabrikerna för kompressorer och air-conditioners besöktes. Företaget startades 1924 och 1934 påbörjades verksamhet inom kylområdet med tillverkning av kylkompressorer för metylklorid. Redan 1951 startades serietillverning av "packaged air conditioners". År 1957 hade man utvecklat en rotationskompressor och 1962 vattenkylaggregat med turbokompressorer.

Försäljningsvolymen var 1984 220 000 x 10⁶ yen varav cirka 70 % är "air conditioning and refrigeration".

Daikin äger också kemisk industri och tillverkar bl a halogenköldmedier.

Daikin tillverkar de flesta typer av kompressorer och aggregat. Kolvkompressorer är fortfarande vanligast.

Beträffande skruvkompressorer så håller "twin-screw"-kompressorer

på att ersättas av "mono-screw" (typ Grasso!). Skälen härför angavs mycket vagt.

Större delen av AC-enheterna har numera av värmepumputförande. Daikin tillverkar en större andel stora värmepumpaggregat än flera av konkurrenterna.

Inverters köps utifrån och finns för kompressorer upp till 5 hp. Elektriska expansionsventiler används och köps från Saginomiya.

Beträffande inverters nämnde man att man för de mindre enheterna kunde gå in med 1-fas och ut med 3-fas, d v s kompressormotorerna var alltid en 3-fasmotor som ansågs bättre än 1-fasmotor.

För kolvkompressorerna använder man 30-75 Hz, d v s max 4500 r/min.

Invertern uppgavs kosta ungefär lika mycket som kompressorn, som den var avsedd för. Kompressorn ansågs kosta $\approx 25\%$ av ett komplett aggregat vilket gjorde att priset för en komplett värmepump med inverter blir cirka 25 % högre än för samma enhet utan inverter.

Aggregatkonstruktörerna ansåg att man med inverters följde krav på "elektriskt styrda expansionsventiler".

Liksom de flesta andra tillverkarna av små kompressorer uppgav man sig hålla på att utveckla en scroll-kompressor.

Prov pågick i laboratorierna med något slag av kompressor som var "mycket högvarvig", sannolikt någon form av rotationsmaskin. Man provade också prototypaggregat för icke-azeotropa köldmedieblandningar. Förångare och kondensorer var av typen koaxial-växlare och det var fråga om måttligt stora enheter med hermetiska kompressorer (≈ 5 hp). Hermetiska kompressorer upp till 20 hp tillverkas.

För normal kapacitetsreglering menade man att en 5 hp kompressor med inverter kunde kombineras med 2 å 3 konstantvarviga kompressorer. På så sätt kunde man få anläggningar med god kapacitetsanpassning. Principen är dock inte gångbar om man vill öka den totala kompressionskapaciteten för att kompensera för sjunkande förångningstemperatur, som kan vara aktuellt i Sverige.

Daikin har samarbete beträffande fryssare med Frigoscandia AB i Helsingborg.

2.4.10 Ebara Corporation, Tokyo

Företaget startades 1912, har ca 4600 anställda och en omsättning på ca 5000 MSEK. Tillverkningen är fördelad på fyra fabriker och en mängd produkter såsom pumpar, turbiner, ångpannor m m.

Kyl- och värmepumpsidan omfattar bl a vätskekylaggregat med turbo- och skruvkompressorer samt absorptionsaggregat med LiBr/vatten. Fördelningen är idag ca 70 % absorption, 30 % turbokompressor och praktiskt taget inga skruvkompressoraggregat.

Beträffande absorption och turbo har man sedan lång tid tillbaka nära samarbete med Carrier Corp, USA. Totalt har man hittills

levererat mer än 4000 vattenkylaggregat i huvudsak för luftkonditionerina.

Turbokompressoraggregat tillverkas i en mängd utföranden med 1-4 kompressorsteg, öppna och semihärlmetiska. Med 4-stegs turbo och R113 kan man uppnå driftsförhållandena $\pm 0/+85$ °C, d v s med en värmekälla på +5 å +10 °C åstadkomma värmebärlaretemperaturer på +75 å +80 °C. Kapacitetsområdet är 2-10 MW.

Absorptionsaggregat tillverkas i 1- och 2-stegsutförande även för värmepumpdrift men s k typ II-värmepumpar, d v s heat transformer avser man enligt uppgift inte att gå in på. Drivenergi är värme i form av ånga, ca 5 bar, eller hetvatten, 130-150 °C. Direkteldade aggregat med gas och även lättolja som bränsle är en vanlig produkt. Aggregat kan utformas för kylning och viss samtidig värmning av tappvarmvatten samt för varmvattenvärmning, d v s som värmepanna, då kylbehov inte föreligger.

Kylning för komfort- och processändamål är den helt dominerande marknaden för företagens produkter inom denna sektor. Renodlade värmepumpapplikationer har hittills utgjort en mycket ringa andel av den totala volymen. Intresset för kylanläggningar utrustade för samtidig eller alternativ värmeproduktion kan dock sägas vara i stigande.

2.4.11 Saginomiya Seisakusho inc, Tokyo

Saginomiya är Japans ledande kylautomatikkföretag med 3 fabriker och totalt cirka 1700 anställda. Tillverkningen omfattar alla de traditionella kylautomatikkomponenterna såsom expansions- och magnetventiler, termostater, pressostater etc etc. Huvuddelen säljs till de stora tillverkarna av olika slags kylaggregat, airconditioners, värmepumpar m m.

I sortimentet ingår också ventiler, reglermotorer och enklare reglercentraler för VVS-området.

Saginomiya är i princip enbart komponenttillverkare och går inte in på systemleveranser. Exempelvis tillverkas inte fördelare för köldmedium utan sådana tillverkar batteri-(aggregat-)tillverkarna själva.

Saginomiya har elektriskt styrda expansionsventiler både med elektromagnetisk linjär ställmotor och med s k "step motor". Endast ventiler med (hermetiskt integrerad) motor tillverkas och säljs. Kunderna - aggregattillverkarna - använder dessa tillsammans med sina egna elektroniska styrsystem med s k mikroprocessor. Skälet härtill är att aggregattillverkarna ofta är storföretag med egen verksamhet även inom elektronikområdet.

Mikroprocessorer används också för en rad andra funktioner utöver styrning av expansionsventilen.

S k 4-vägs omkastningsventiler av traditionellt utförande tillverkas för exempelvis värmepumpar. Dessa ansågs vara av ungefär samma klass som konkurrenternas och konstruktionen gör att läckage från hög- till lågtryckssidan aldrig helt kan undvikas.

S k "inverters" för varvtalsreglering är en helt elektrisk kompo-

ment och tillverkas inte av Saginomiya utan endast av de stora aggregattillverkarna själva. Införandet av inverters har starkt bidragit till behovet av bättre expansionsventiler än de vanliga självverkande mekaniska, d v s de elektriskt styrda, som nu finns för olika kapaciteter. Svårigheten har varit att få fram en bra och driftsäker ventil till lågt pris. Priskonkurrensen uppges vara mycket hård när det gäller komponenter till "room air conditioners" och andra massproducerade aggregattyper.

Utvecklingen hos Saginomiya är helt inriktad på att ta fram komponenter, som motsvarar aggregattillverkarnas krav och önskemål och man försöker inte påverka eller delta i utvecklingen av system eller aggregat.

2.5 Tillverkningsvolym och marknader

Nedanstående tabell visar JRAIA:s sammanställning av antalet värmepumpar levererade i Japan 1980-1984.

Som synes dominerar kategorin "Room Air Conditioners" antalsmässigt. Totala antalet sålda på hemmamarknaden är mer än 2 miljoner enheter per år vilket betyder att andelen som var VP-funktion har stigit och var 1984 70 å 80 % av nämnda kategori.

Volymen av "Chilling Water Units" av typen luft/vatten är helt obetydlig på den inhemska marknaden och här säljs det mesta på export. Säkra volymuppgifter är svåra att få.

Det kan också noteras att antalet stora värmepumpaggregat både av kompressor- och absorptionstyp är förvånansvärt litet.

Sammanfattningsvis kan sägas att det visserligen finns en mängd varianter av större värmepumpaggregat men antalet sålda är fortfarande mycket ringa och marknadsmässigt är det enbart reverserbara "room air conditioners" som har någon betydelse.

DOMESTIC SHIPMENT OF HEAT PUMPS IN JAPAN

	Room Air Conditioners		Commercial Air Conditioners		Chilling Water Units	
	(Air - Air)	Unit	(Water - Air)	Unit	(Air - Water)	Unit
Oct.1979 - Sept.1980	514,000		161,500	9,500	13,000	
Oct.1980 - Sept.1981	553,000		164,000	9,000	9,800	
Oct.1981 - Sept.1982	768,000		183,500	6,500	8,600	
Oct.1982 - Sept.1983	1,160,000		224,000	7,700	6,900	
Oct.1983 - Sept.1984	1,804,000		300,000	8,500	6,900	

	Centrifugal Heat Pumps			Screw Heat Pumps			Absorption Heat Pumps		
	Refrigeration Capacity			Elec. Moter Input			Type I		
	Unit	Total USKRT	Average USKRT	Over 50 kW	Unit	Unit	Unit	Refrigeration Capacity	Type II
Oct.1979 - Sept.1980	16	3,570	223	37	5	695	135	0	
Oct.1980 - Sept.1981	16	4,929	308	59	11	2,264	206	1	
Oct.1981 - Sept.1982	20	4,971	249	60	11	2,253	205	2	
Oct.1982 - Sept.1983	34	10,200	300	54	14	3,833	274	2	
Oct.1983 - Sept.1984	32	13,208	413	62	11	2,576	234	3	

Source: Japan Refrigeration and Air Conditioning Association, Sept.1985

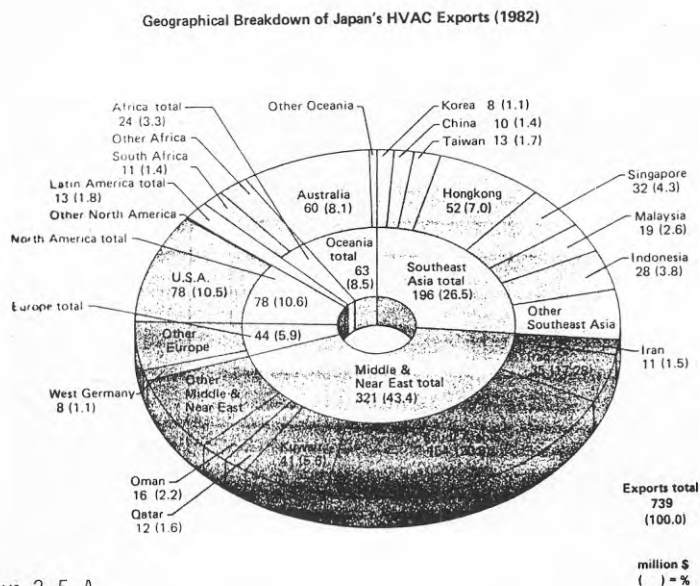
Figur 2.5 A visar storlek och fördelning av Japans export inom hela HVAC-sektorn, d v s utrustning för värmning, kylning och luftkonditionering. Av figuren framgår bl a:

- att totala exportvolymen var 739 M US \$
- att USA och Europa tillsammans svarade för endast 16,5 % eller 122 M US \$.

Exporten var cirka 16 % av totala produktionen inom HVAC-sektorn och denna var alltså cirka $4,6 \times 10^9$ US \$ år 1982, vilket är mer än 1/10 av den totala svenska industriproduktionen.

Värmepumpar för kallare klimat, d v s skandinaviska länderna, Kanada och nordligaste delen av USA, kan aldrig tänkas bli annat än en mycket ringa del av det totala behovet av kyl- och värme produkter i USA och Europa och dessa marknader tar som sagts ovan endast 1/6 av Japans export från HVAC-industrin. Slutsatsen härav blir att värmepumpar för "kalla" klimat aldrig kan tänkas nå en volym, som på något sätt storleksmässigt kan bli intressant för den japanska värmepumpindustrin. Speciellt utvecklad utrustning för dessa marknader kan alltså knappast förväntas.

Däremot kan en rad komponenter, som ingår i "room air conditioners" och liknande masstillverkade produkter, genom de stora volymerna bli ekonomiskt och tekniskt intressanta för svenska "assemblers". Nämnda massproduktmarknader utgör också basen för utveckling av intressanta komponenter till attraktiva priser och i den mån dessa kan utnyttjas i exempelvis svensktillverkade värmepumpar så kan utvecklingen påverkas mot bättre teknik och lägre priser. Utvecklingen av komponenter kan alltså förväntas ske även framgent i Japan och USA medan utvecklingen av system och anläggningar rimligtvis bör ske där behoven finns, d v s i Sverige när det gäller exempelvis luft/vattenvärmepumpar för låga utetemperaturer.



Figur 2.5 A

3 VÄRMEPUMPTILLÄMPNINGAR

3.1 Inledning

Avsikten är att här något orientera om den utveckling som synes pågå i Japan och ge några exempel på tillämpningar för energibesparing inom industrin.

Prisrelationen mellan elenergi och andra energiformer såsom värme producerat med olja, gas eller kol är i Japan helt annorlunda än i Sverige. Elpriserna i Japan är 3 å 4 gånger högre än de svenska. Detta gör att ganska stort intresse ägnas åt värmedrivna värmepumpprocesser särskilt för industriella och s k kommersiella tillämpningar.

Som ovan nämnts finns redan eldrivna värmepumpar i stor mängd för lokaluppvärmning särskilt inom bostadssektorn. Skälet härtill är att det finns ett förstahandbehov av kyla under den varma årstiden i en stor del av Japan och detta tillfredsställs enklast med hjälp av små, eldrivna kylaggregat s k Room Air Conditioners. På senare år har det blivit allt vanligare att dessa utförs så att de alternativt kan fungera som värmepumpar då uppvärmningsbehov föreligger.

Bostäderna är till mycket stor del enbostadshus men även i flerbostadshusen är det vanligt att kylning/värmning sker lägenhetsvis.

Det ovan beskrivna Super Heat Pump-projektet syftar bl a till att med hjälp av värmepumpar och energilagring utnyttja elproduktions-systemet effektivare.

Inom ramen för ett annat statligt utvecklingsprojekt - Stirlingprojektet - avser man som också nämnts ovan att utveckla två storlekar av gaseldade, Stirlingmotordrivna kylaggregat värmepumpar med axeleffekterna 3 respektive 30 kW för småhus respektive kommersiella ändamål.

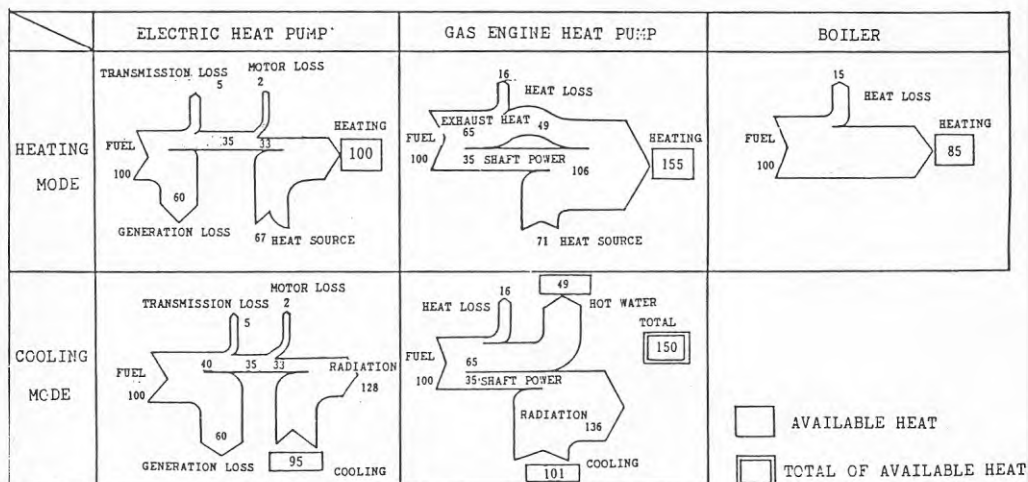
För kylning av större luftkonditioneringsanläggningar och industriprocesser tillverkas sedan länge absorptionsaggregat, som kan drivas med ånga och hetvatten eller alternativt direkteldas med gas. Dessa aggregat, som drivs med högvärdigt värme, kan också utnyttjas som värmepumpar och benämnas då "Absorptionsvärmepump typ I".

Med absorptionsvärmepumpar typ II menas s k värmetransformatorer - Heat Transformers eller Temperature Upgraders - dvs absorptionsanläggningar med vars hjälp en del - ofta cirka 50 % - av ett spillvärmefflöde kan höjas till en användbar temperatur utan tillförsel av högvärdig energi annat än en ringa andel elenergi för drift av cirkulationspumpar och styrutrustning.

De stora gasbolagen, av vilka de tre största är Tokyo Gas, Osaka Gas och Toho Gas, driver på utvecklingen av gasmotordrivna kompressorvärmepumpar och sådana aggregat av olika storlekar finns nu färdiga för marknadsföring. Ett antal demonstrationsanläggningar finns i drift.

T o m år 1985 har i Japan installerats totalt endast ca 100 gasmotordrivna värmepumpar så det är inte frågan om något "genombrott" för denna teknik.

Gasbolagen konkurrerar framförallt med eldistributörerna och gör ofta jämförelser mellan gas och el av den typ som finns i figur 3.1 nedan.



Figur 3.1

Huvuddelen - cirka 2/3 - av bränslets energi blir som bekant spillvärme i det termiska (kondens-) kraftverket, ett förhållande som givetvis bör beaktas där så är fallet om man vill se energifrågan i sitt "stora" sammanhang.

Nyttjaren - värmeförbrukaren - kan givetvis inte förväntas se "i stort" utan väljer efter de egna ekonomiska förutsättningarna - d v s kan han köpa elenergi till ett lågt pris i förhållande till gas, olja eller andra bränslen så väljer han rimligen en elpanna eller möjligen en eldriven värmepump för sin värmeproduktion.

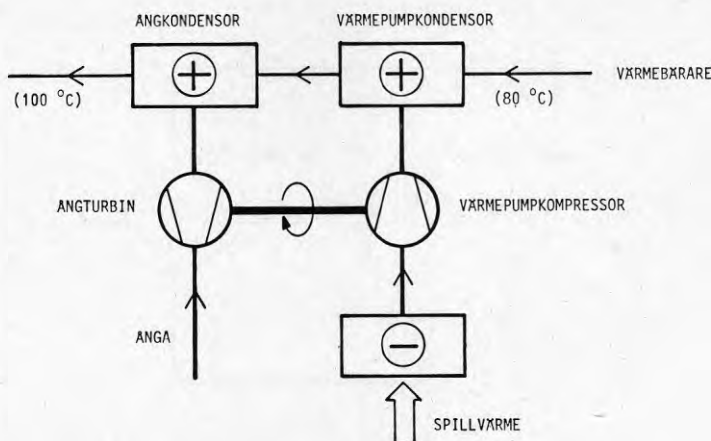
Om gasen kan köpas billigare än el så kan nyttjaren överväga att delvis täcka sitt värmebehov genom en värmedriven värmepump som för typ I ofta har en värmefaktor mellan 1,5 och 1,6, dvs den kan sägas ha en verkningsgrad på 150 å 160 % jämfört med en panna, som har ungefär halva detta värde.

3.2 Kompressorvärmepumpar

Kompressorvärmepumpen kan också göras värmedriven om dess drivmotor är exempelvis en ångmaskin - s k Rankine-Rankine process.

Drivmotorn för kompressorn - ångmaskinen - kan vara av flera olika typer. För större effekter är ångturbin i kombination med turbo-kompressor en lämplig lösning.

Skruvmaskiner - hittills använda enbart som kompressorer - har visat sig användbara även som expansionsmaskiner för vattenånga. Inom temperaturområdet cirka +80 °C och högre kan vatten användas också i kompressorkretsen d v s konventionella köldmedier kan då helt undvikas.



Figur 3.2 A Principschema för ångturbindriven värmepump.
(Värmebäraretemperaturerna är exempel.)

Skruvkompressorn för vattenånga kan givetvis också förses med el- eller dieselmotor om detta är fördelaktigare.

Ångkompression kan i vissa industriprocesser ge mycket höga värmefaktorer och kan således bli attraktivt om maskinerna visar sig ha god tillgänglighet och måttliga underhållskostnader.

En förutsättning för att ångexpandern skall vara konkurrenskraftig är givetvis att energin på dess sekundärsida kan nyttiggöras, dvs den kan exempelvis arbeta mellan ångtrycken 10 och 3 bar i en industri i stället för att 3-barsnätet försörjs genom tryckreducering från 10-barsnätet. Om expansionsmaskinen arbetar mot en kondensator så bör värmets från denna kunna nyttiggöras i högsta möjliga grad.

Följande tre exempel på kompressorvärmepumpar har tagits fram av Mayekawa Manufacturing. Diesel- respektive elmotorerna i exemplen kan givetvis bytas ut mot "ångmaskiner" om dessa visar sig konkurrenskraftiga i det enskilda fallet.

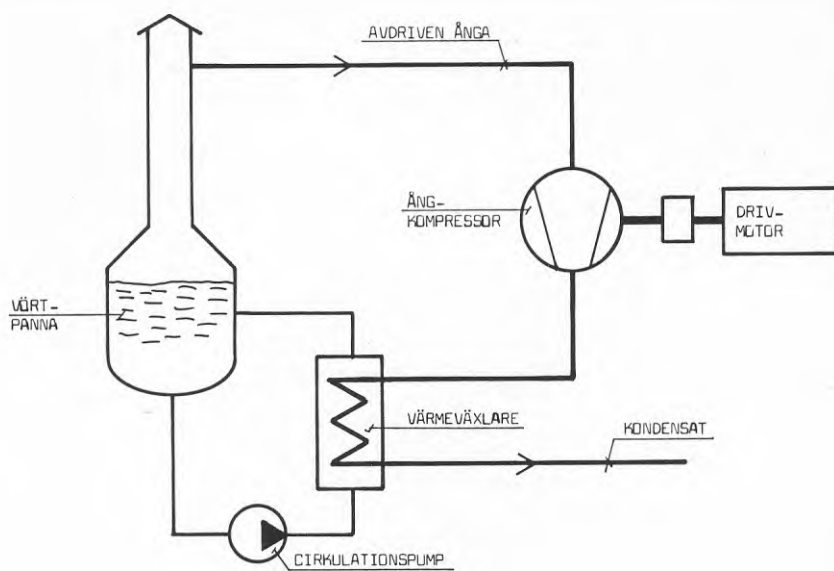
3.2.1 Exempel 1 - Vörtpanna i bryggeri

Principen framgår av figur 3.2 B.

I det ursprungliga utförandet kokas vörten genom att cirkuleras genom en värmeväxlare, som värms med ånga.

För anläggningen gäller följande tekniska data:

- Vörtpannans volym 150 m³
- Koktid 1,5 h
- Värmeväxlare tubpanna 140 m²



Figur 3.2 B Vörtpanna med direktkopplad värmepump (s k ångkompression).

- Kompressor	MYCOM 510 LL
. slagvolym	17000 m ³ /h (4,72 m ³ /s)
. varvtal	3000 r/min
. effektbehov	800 kW
- Drivmotor	diesel, 1750 r/min
. maxeffekt	1400 hk (1030 kW)
. medeffekt	1130 hk (830 kW)
. spec bränsleförbrukn	0,165 kg/hhk
. oljans täthet	850 kg/m ³
. genomsnittlig bränsle- förbrukning	0,219 m ³ /h
- Värmepumpens avgivna effekt	
10800 kg/h x 0,627 kWh/kg =	6770 kW
- Värmepumpens axeleffekt =	830 kW
- Värmepumpens COP (axel)	
6770/830 ≈	8

Med elmotor skulle COP räknat på tillförd el (motorverkningsgrad 0,9) bli cirka 7,3. I exemplet har värmepumpens avgivna effekt räknats som enbart det latent värmet i ångan. Antas att det något förorenade kondensatet kan kylas till säg +30 °C och värmets nyttiggöras i bryggprocessen så ökar den avgivna effekten till 10800 x 0,708 = 7650 kW och värmefaktorn vid elmotordrift blir cirka 8,3. Carnotverkningsgraden är för detta fall cirka 0,73.

3.2.2 Exempel 2 - Kokare i sockerfabrik

Princip och tekniska data framgår av figur 3.2 C.

Tekniska data:

- Kompressor	MYCOM STM-510 LL
. slagvolym	15000 m ³ /h (4,17 m ³ /s)
. varvtal	2750 r/min
. axeleffektbehov	648 kW

Om värmepumpens "avgivna effekt" räknas som värmeinnehållet i det ångflöde som alternativt skulle åtgå så erhålles följande om processkondensatet användes för att förvärma matarvattnet till cirka +30 °C.

Effekten blir 10031 kg/h x 0,72 kWh/kg = 7230 kW

och värmefaktorn 7230/648 x 0,9 = 10,0.

Carnotverkningsgraden är 0,81 beräknad på tillförd el och temperaturerna +100/+133 °C.

3.2.3 Exempel 3 - Destillationskolonn för etylalkohol

Principen och vissa tekniska data framgår av figur 3.2 D.

Till skillnad från de tidigare exemplen är det här frågan om ett slutet värmepumpsystem med vatten som arbetsmedium och driftsförhållandena $+70/+112$ °C. Tryckförhållandet är $1,5/0,31 = 4,8$.

Tekniska data:

- Kompressor	MYCOM STM 320 LL
. slagvolym	11000 m ³ /h (3,06 m ³ /s)
. varvtal	7790 r/min
. axeleffektbehov	278 kW

Kondensoreffekten är $3024 \text{ kg/h} \times 0,614 \text{ kWh/kg} = 1857 \text{ kW}$ och värmefaktorn räknad på tillförd el med 90 % motorverkningsgrad blir således $1857/278 \times 0,9 = 6,0$. Carnotverkningsgraden är 0,65.

3.2.4 Övrigt

Av de ovan redovisade exemplen har anläggningen enligt exempel 1 varit i drift under några år vid Suntory Ltd, Tonegawa Brewery, med tillfresställande resultat.

Som ett led i utvecklingen av skruvmaskinerna och med strävan att nå högre effektivitet har Mayekawa också utvecklat en expansionsmaskin för gas-vätskeblandning som är avsedd att ersätta expansionsventilen. Denna komponent är under utveckling inom ramen för det pågående s k "Super Heat Pump Project". Att ersätta expansionsventilen med en expansionsmaskin är teoretiskt riktigt men är givetvis tänkbart endast i stora anläggningar.

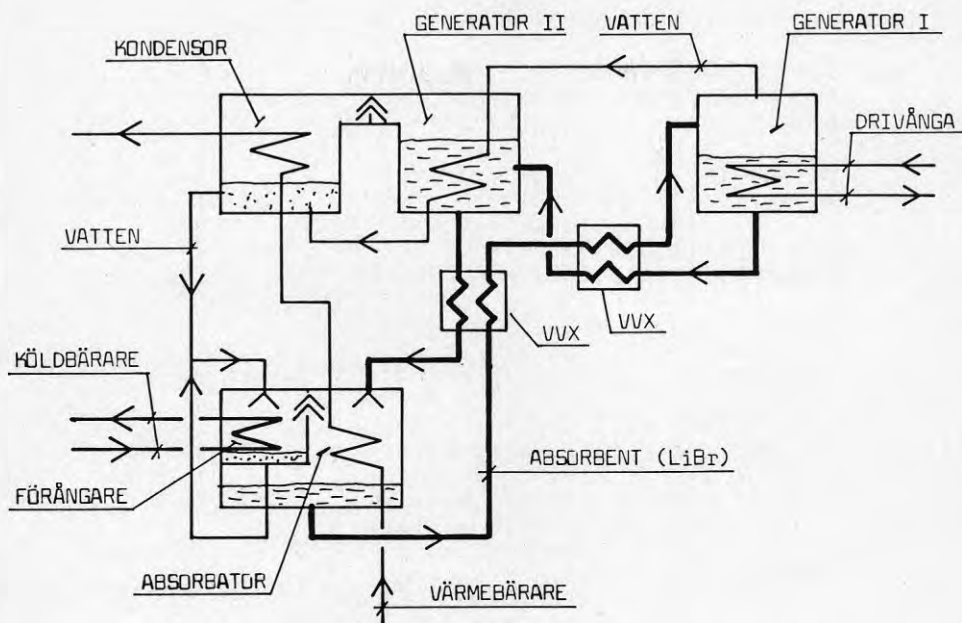
För värmepumpning från cirka $+60$ °C och därunder till temperaturer över $+100$ °C har föreslagits kaskadkopplade anläggningar med konventionellt köldmedium (R12) i lågtemperatursteget och eventuellt vatten i högtemperatursteget. Sådana anläggningar finns dock ännu inte i verkligheten men kan tänkas i "Super Heat Pump Project" och kommersiellt om man kan finna bra tillämpningar i industrin. Något egentligt "genombrott" för värmepumpar inom industrin i Japan har ännu inte skett. Det gäller här framförallt att anläggningar med mycket hög tillförlitlighet och låga underhållskostnader kan visas upp.

I bilaga 2 till denna rapport redovisas ett amerikanskt experimentbyggnadsprojekt avseende en stor kompressorvärmepump för höga temperaturer.

3.3 Absorptionsvärmepumpar

Absorptionsprincipen har sedan länge och i betydande omfattning tillämpats för kyländamål särskilt för luftkonditionering men även för s k processkyla i industrin ner till cirka $+5$ °C. Det är vanligen litiumbromid - vatten som används i sådana anläggningar.

I anläggningar med både kyl- och värmebehov ligger det nära till



Figur 3.3 B Absorptionsvärmepump med tvåstegsgenerator s k "double effect" - principskiss.

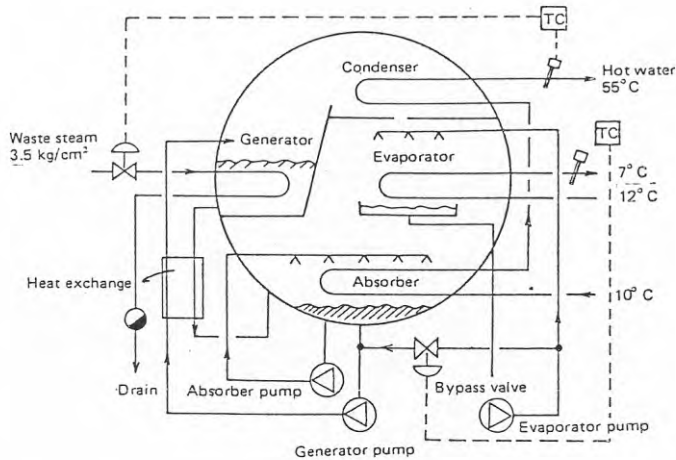
3.3.1 Tillämpningsexempel

Nedan följer 15 exempel på utförda absorptionsvärmepumpar typ I varav 10 har ånga som drivenergi och 5 är gaseldade.

Det bör här nämnas att i exemplen angivna siffervärden snarare är "katalogvärden" än vid driftsprov erhållna resultat.

PLANT No. 1

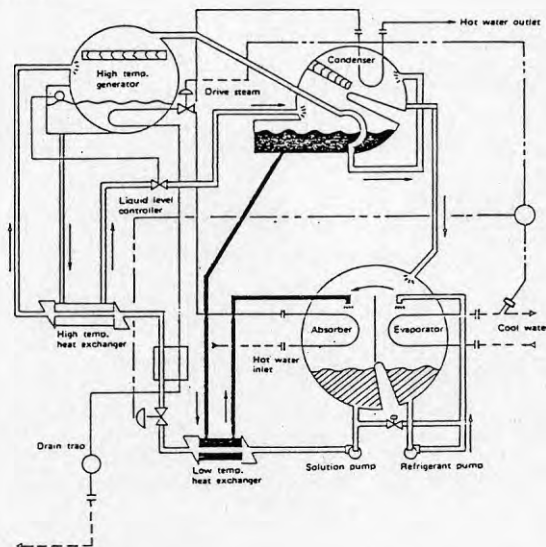
- a) GENERAL
 Heat pump cycle : Type I, Single Effect, Steam-Driven
 Location : Aichi, JAPAN
 Owner : Spinning Mill
 Manufacturer : Ebara Corporation
 Purpose : Simultaneous production of hot water for process heating and cold water for process cooling
 Start of operation : 1971
 Load factor : Continuous operation for year
- b) TYPE
 Working pair : $H_2O + LiBr$
 Heat source : Circulating water for process cooling
- c) OPERATIONAL CONDITIONS:
- | | | |
|-------------------|--|------------|
| Drive heat source | : Generator inlet temp. | 147°C |
| | : Drive heat capacity (Q_G) | 1520Mcal/h |
| Heat source water | : Evaporator inlet temp. | 12°C |
| | : Evaporator outlet temp. | 7°C |
| | : Heat source input (Q_E) | 907Mcal/h |
| Process output | : Absorber inlet temp. | 10°C |
| | : Condenser outlet temp. | 55°C |
| | : Useful heat capacity ($Q_A + Q_C$) | 2430Mcal/h |
| COP | : $(Q_A + Q_C)/Q_G$ | 1.60 |
- d) FLOW SHEET



- e) REMARKS
 In summer, hot water inlet temp. is 27°C, and outlet temp. is 55°C.
 Cool water inlet temp. is 18°C, and outlet temp. is 13°C.
 This is Japan's first domestic absorption heat pump.

PLANT No. 2

- a) GENERAL
- Heat pump cycle : Type I, Double Effect, Steam-Driven
 Location : Republic of Costa Rica
 Owner : Spinning Mill
 Manufacturer : Ebara Corporation
 Purpose : Simultaneous production of hot water for process heating and cold water for process cooling
- Start of operation : 1974
 Load factor : Continuous operation for year
- b) TYPE
- Working pair : $H_2O+LiBr$
 Heat source : Circulating water for cooling
- c) OPERATIONAL CONDITIONS
- | | | |
|-------------------|----------------------------------|------------|
| Drive heat source | : Generator inlet temp. | 170°C |
| | : Drive heat capacity (QG) | 890Mcal/h |
| Heat source water | : Evaporator inlet temp. | 17°C |
| | : Evaporator outlet temp. | 12°C |
| | : Heat source input (QE) | 983Mcal/h |
| Process output | : Absorber inlet temp. | 21°C |
| | : Condenser outlet temp. | 41°C |
| | : Useful heat capacity (QA + QC) | 1860Mcal/h |
| COP | : $(Q_A + Q_C)/Q_G$ | 2.09 |
- d) FLOW SHEET



- e) REMARKS
- This is Japan's first double effect absorption heat pump manufactured in Japan.

PLANT No. 4

a) GENERAL

Heat pump cycle : Type I, Steam-Driven
 Location : Kanagawa, JAPAN
 Owner : Manufacture
 Manufacturer : Hitachi, Ltd.
 Purpose : Simultaneous production of hot water for process heating and cold water for process cooling
 Start of operation : August, 1982
 Load factor : 7,000 h/year

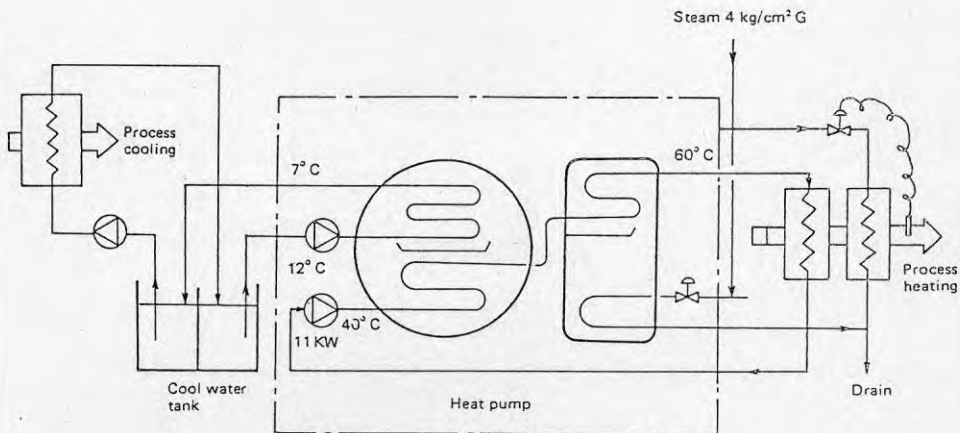
b) TYPE

Working pair : $H_2O + LiBr$
 Heat source : Cooling water

c) OPERATIONAL CONDITIONS

Drive heat source	: Generator inlet temp.	143°C
	: Generator outlet temp.	90°C
	: Drive heat capacity (Q _G)	900Mcal/h
Heat source water	: Evaporator inlet temp.	12°C
	: Evaporator outlet temp.	7°C
	: Heat source input (Q _E)	600Mcal/h
Process output	: Absorber inlet temp.	40°C
	: Condenser outlet temp.	60°C
	: Useful heat capacity (Q _A + Q _C)	1500Mcal/h
COP	: (Q _A + Q _C)/Q _G	1.67

d) FLOW SHEET



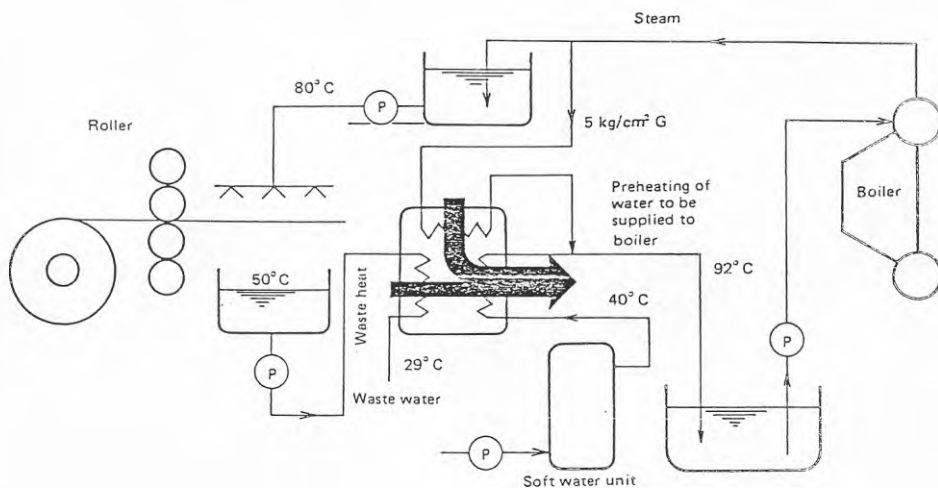
e) REMARKS

Effectively prevents waste of energy due to simultaneous production of cool and hot water.

PLANT No. 5

- a) GENERAL :
- Heat pump cycle : Type I, Steam-Driven
- Location : Yamaguchi, JAPAN
- Owner : Steel Mill
- Manufacturer : Hitachi, Ltd.
- Purpose : Pre-heating of boiler supply water
- Start of operation : April, 1983
- Load factor : 8,000 h/year
- b) TYPE
- Working pair : $H_2O + LiBr$
- Heat source : Waste water for steel washing
- c) OPERATIONAL CONDITIONS
- | | | |
|-------------------|--------------------------------------|------------|
| Drive heat source | Generator inlet temp. | 151°C |
| | Generator outlet temp. | 90°C |
| | Drive heat capacity (Q_G) | 928Mcal/h |
| Heat source water | Evaporator inlet temp. | 50°C |
| | Evaporator outlet temp. | 29°C |
| | Heat source input (Q_E) | 840Mcal/h |
| Process output | Absorber inlet temp. | 40°C |
| | Condenser outlet temp. | 92°C |
| | Useful heat capacity ($Q_A + Q_C$) | 1768Mcal/h |
| COP | $(Q_A + Q_C)/Q_G$ | 1.91 |

FLOW SHEET



- e) REMARKS
- Equipped with cleaning device in the heat source water side.

PLANT No. 6

a) GENERAL

Heat pump cycle : Type I, Steam-Driven
 Location : Kyoto, JAPAN
 Owner : Dye Works
 Manufacturer : Tokyo Sanyo Electric Co., Ltd.
 Purpose : Simultaneous production hot water for dyeing process and cold water for air conditioning of works
 Start of operation : April, 1980
 Load factor : 5,000h/year

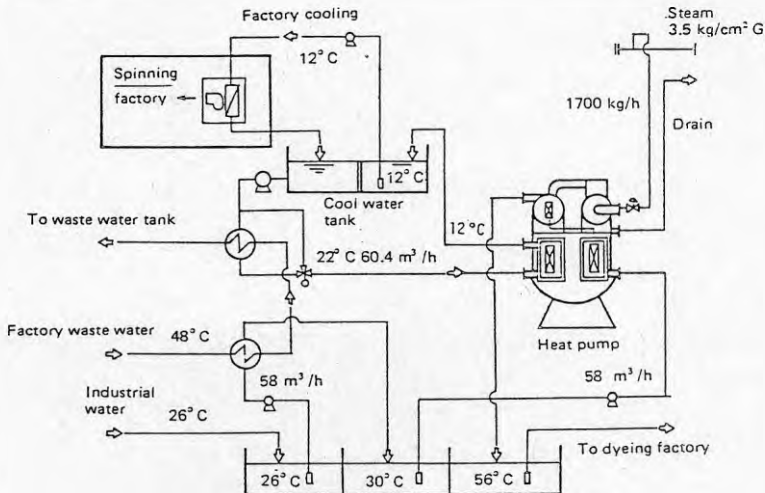
b) TYPE

Working pair : $H_2O+LiBr$
 Heat source : Waste water in works

c) OPERATIONAL CONDITIONS

Drive heat source	: Generator inlet temp.	138°C
	Drive heat capacity (QG)	904Mcal/h
Heat source water	: Evaporator inlet temp.	22°C
	: Evaporator outlet temp.	12°C
	: Heat source input (QE)	604Mcal/h
Process output	: Absorber inlet temp.	30°C
	: Condenser outlet temp.	56°C
	: Useful heat capacity (QA+QC)	1508Mcal/h
COP	: (QA+QC)/QG	1.67

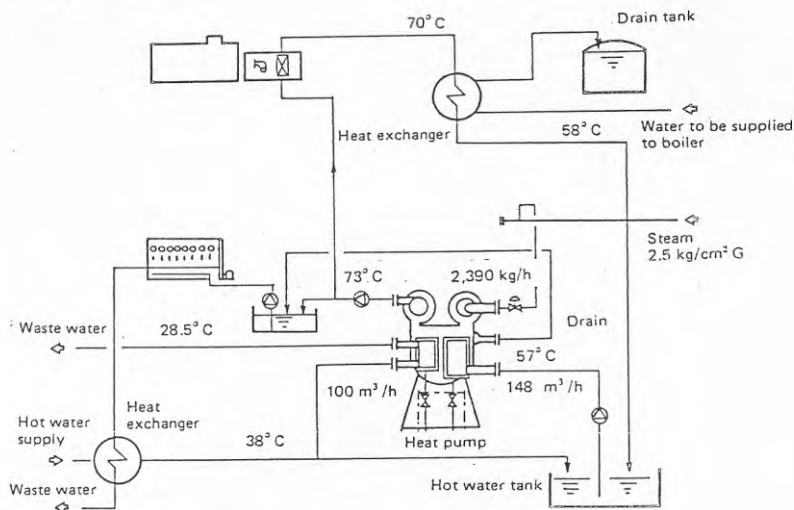
d) FLOW SHEET



e) REMARKS

PLANT No. 7

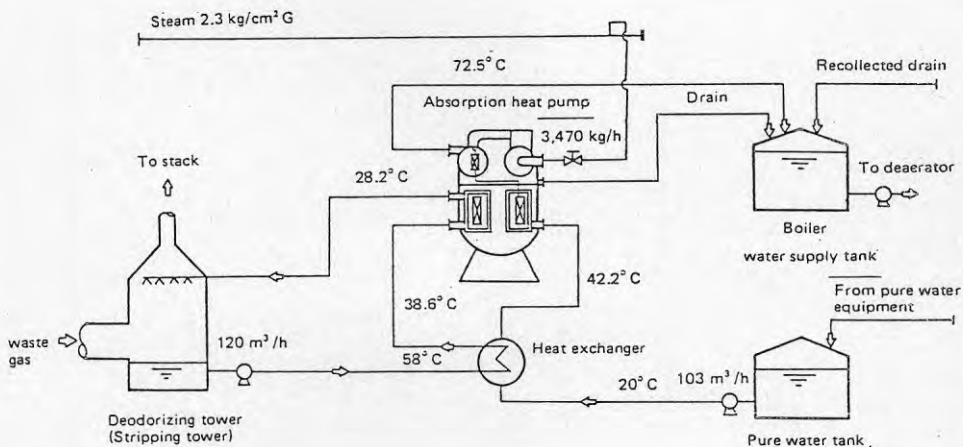
- a) GENERAL
- Heat pump cycle : Type I, Steam-Driven
 Location : Aichi, JAPAN
 Owner : Spinning Mill
 Manufacturer : Tokyo Sanyo Electric Co., Ltd.
 Purpose : Hot water heating for boiler supply water and process water
 Start of operation : November, 1981
 Load factor : 8,000 h/year
- b) TYPE
- Working pair : $H_2O+LiBr$
 Heat source : Waste water in works
- c) OPERATIONAL CONDITIONS
- | | | |
|-------------------|---|--------------------------------|
| Drive heat source | : Generator inlet temp. | 2.5 kg/cm ² G 180°C |
| | Drive heat capacity (Q _G) | 1418 Mcal/h |
| Heat source water | : Evaporator inlet temp. | 38°C |
| | : Evaporator outlet temp. | 28.5°C |
| | : Heat source input (Q _E) | 950 Mcal/h |
| Process output | : Absorber inlet temp. | 57°C |
| | : Condenser outlet temp. | 73°C |
| | : Useful heat capacity (Q _A + Q _C) | 2368 Mcal/h |
| COP | : (Q _A + Q _C)/Q _G | 1.67 |
- d) FLOW SHEET



- e) REMARKS

PLANT No. 8

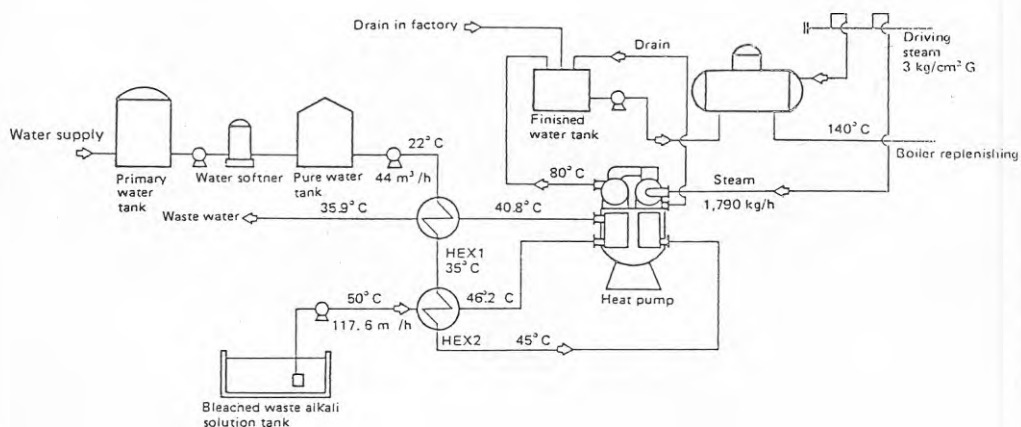
- a) GENERAL
 Heat pump cycle : Type I, Steam-Driven
 Location : Tokushima, JAPAN
 Owner : Paper Mill
 Manufacturer : Tokyo Sanyo Electric Co., Ltd.
 Purpose : Pre-heat of supplying water for boiler
 Start of operation : August, 1982
 Load factor : 8,000 h/year
- b) TYPE
 Working pair : $H_2O + LiBr$
 Heat source : Waste solution of deodorization tower
- c) OPERATIONAL CONDITIONS
- | | | | |
|-------------------|--|--------------------------|------------|
| Drive heat source | : Generator inlet temp. | 2.3 kg/cm ² G | 160° C |
| | Drive heat capacity (Q _G) | | 1873Mcal/h |
| Heat source water | : Evaporator inlet temp. | | 38.6° C |
| | : Evaporator outlet temp. | | 28.2° C |
| | : Heat source input (Q _E) | | 1248Mcal/h |
| Process output | : Absorber inlet temp. | | 42.2° C |
| | : Condenser outlet temp. | | 72.5° C |
| | : Useful heat capacity (Q _A +Q _C) | | 3121Mcal/h |
| COP | : (Q _A +Q _C)/Q _G | | 1.67 |
- d) FLOW SHEET



e) REMARKS

PLANT No. 9

- a) GENERAL
 Heat pump cycle : Type I, Steam-Driven
 Location : Toyama, JAPAN
 Owner : Pulp Works
 Manufacturer : Tokyo Sanyo Electric Co., Ltd.
 Purpose : Pre-heat of supplying water for boiler
 Start of operation : September, 1982
 Load factor : 8,000 h/year
- b) TYPE
 Working pair : $H_2O + LiBr$
 Heat source : Waste water in bleaching process
- c) OPERATIONAL CONDITIONS
- | | | | |
|-------------------|--|------------------------|-------------|
| Drive heat source | : Generator inlet temp. | 3 kg/cm ² G | 165°C |
| | Drive heat capacity (QG) | | 905 Mcal/h |
| Heat source water | : Evaporator inlet temp. | | 46.2°C |
| | : Evaporator outlet temp. | | 40.8°C |
| | : Heat source input (QE) | | 635 Mcal/h |
| Process output | : Absorber inlet temp. | | 45°C |
| | : Condenser outlet temp. | | 80°C |
| | : Useful heat capacity (Q _A +Q _C) | | 1540 Mcal/h |
| COP | : (Q _A +Q _C)/Q _G | | 1.70 |
- d) FLOW SHEET



- e) REMARKS

PLANT No. 10

a) GENERAL

Heat pump cycle : Type I, Steam-Driven
 Location : Yamaguchi, JAPAN
 Owner : Chemical Plant
 Manufacturer : Tokyo Sanyo Electric Co., Ltd.
 Purpose : Steam generation for process heating
 Start of operation : August, 1982
 Load factor : 7,000 h/year

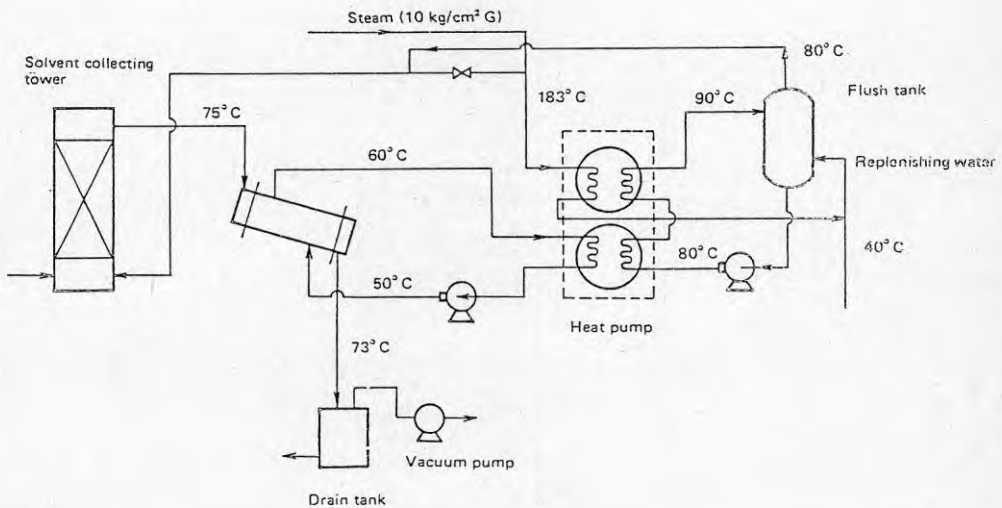
b) TYPE

Working pair : $H_2O + LiBr$
 Heat source : Organic steam of tower top

c) OPERATIONAL CONDITIONS

Drive heat source	: Generator inlet temp.	10 kg/cm ² G	183°C
	Drive heat capacity (Q _G)		1157 Mcal/h
Heat source water	: Evaporator inlet temp.		60°C
	: Evaporator outlet temp.		50°C
	Heat source input (Q _E)		807 Mcal/h
Process output	: Absorber inlet temp.		80°C
	: Condenser outlet temp.		90°C
	Useful heat capacity (Q _A + Q _C)		1960 Mcal/h
COP	: (Q _A + Q _C)/Q _G		1.69

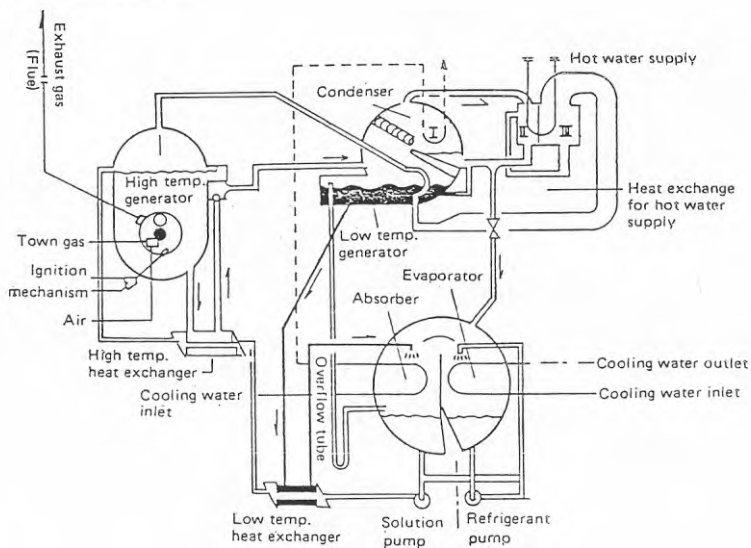
d) FLOW SHEET



e) REMARKS

PLANT No. 11

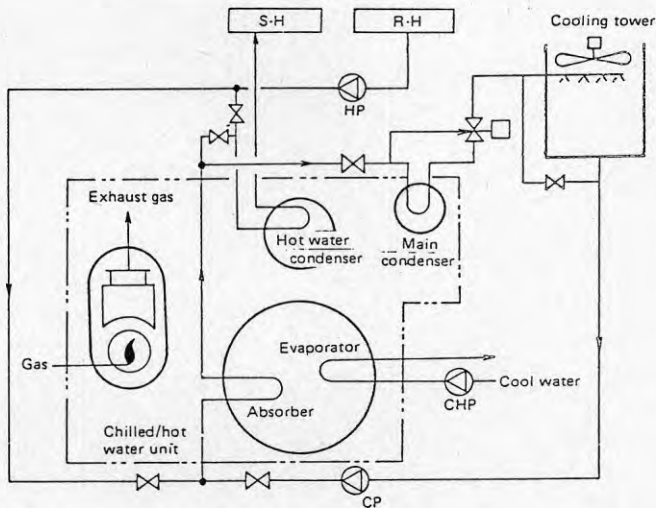
- a) GENERAL
 Heat pump cycle : Type I, Gas-Fired, Triple Bundle
 Location : Kanagawa, JAPAN
 Owner : Gas Utility
 Manufacturer : Ebara Corporation
 Purpose : Simultaneous production of hot water for supplying and cold water for air conditioning
 Start of operation : 1980
 Load factor : —
- b) TYPE
 Working pair : $H_2O + LiBr$
 Drive heat : Town gas
 Heat source : Circulating water for air conditioning
- c) OPERATIONAL CONDITIONS
- | | | |
|-------------------|--|-----------|
| Drive heat source | : Drive heat capacity (QG) | 227Mcal/h |
| Heat source water | : Evaporator inlet temp. | 12°C |
| | : Evaporator outlet temp. | 7°C |
| | : Heat source input (QE) | 227Mcal/h |
| Process output | : Condenser inlet temp. | 20°C |
| | : Condenser outlet temp. | 35°C |
| | : Useful heat capacity ($Q_A + Q_C$) | 90Mcal/h |
- COP
 —
- d) FLOW SHEET



- e) REMARKS

PLANT No. 12

- a) GENERAL
 Heat pump cycle : Type I, Gas-Fired, Double Bandle
 Location : Kagoshima, JAPAN
 Owner : Meiji Century Memorial Holl
 Manufacturer : Ebara Corporation
 Purpose : Space heating/hot water supplying in winter and
 air conditioning/hot water supplying in summer
 Start of operation : 1981
 Load factor : -
- b) TYPE
 Working pair : $H_2O+LiBr$
 Heat source : Circulating water for air conditioning
- c) OPERATIONAL CONDITIONS
- | | | |
|-------------------|--------------------------------|-----------|
| Drive heat source | : Drive heat capacity (QG) | 470Mcal/h |
| Heat source water | : Evaporator inlet temp. | 12°C |
| | : Evaporator outlet temp. | 7°C |
| | : Heat source input (QE) | 544Mcal/h |
| Process output | : Absorber inlet temp. | 37°C |
| | : Condenser outlet temp. q | 40°C |
| | : Useful heat capacity(QA +QC) | 260Mcal/h |
| | COP | - |
- d) FLOW SHEET



- e) REMARKS
 In winter, used for simple heating + hot water supply (60°C);
 In summer and intermediate months, cooling + hot water supply

PLANT No. 13

a) GENERAL

Heat pump cycle : Type I, Gas-Fired
 Location : Tokyo, JAPAN
 Owner : Tokyo University
 Manufacturer : Ebara Corporation
 Purpose : Air Conditioning for laboratory
 Start of operation : January, 1982
 Load factor : -

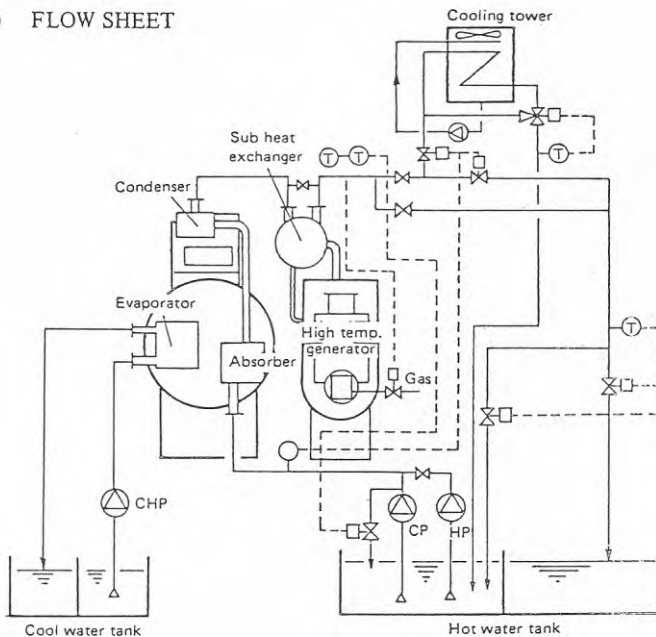
b) TYPE

Working pair : $H_2O+LiBr$
 Heat source : Circulating water for cooling

c) OPERATIONAL CONDITIONS

Drive heat source	: Drive heat capacity (Q _G)	390Mcal/h
Heat source water	: Evaporator inlet temp.	11.7°C
	: Evaporator outlet temp.	7°C
	: Heat source input (Q _E)	345Mcal/h
Process output	: Absorber inlet temp.	33°C
	: Condenser outlet temp.	39°C
	: Useful heat capacity (Q _A +Q _C)	698Mcal/h
COP	: (Q _A +Q _C)/Q _G	1.79

d) FLOW SHEET

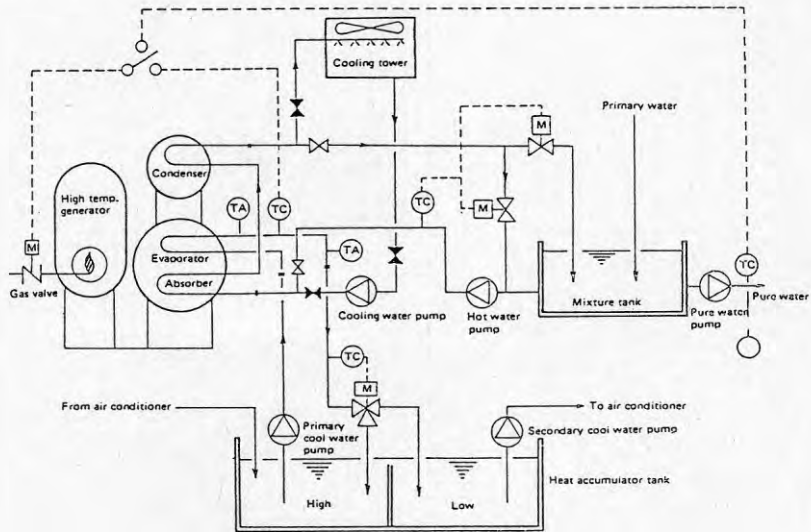


e) REMARKS

For clean rooms intended to study various physical properties concerning laser and strong magnetic field.
 In winter, hot water temp. is 43°C.

PLANT No. 14

- a) GENERAL
- Heat pump cycle : Type I, Gas-Fired
 Location : Oita, JAPAN
 Owner : Semiconductor Plant
 Manufacturer : Ebara Corporation
 Purpose : Simultaneous production of hot water for process heating and cold water for air conditioning
 Start of operation : 1983
 Load factor : —
- b) TYPE
- Working pair : $H_2O+LiBr$
 Heat source : Cooling water
- c) OPERATIONAL CONDITIONS
- | | | |
|--------------------|------------------------------------|------------|
| Drive heat source: | Drive heat capacity (Q_G) | 1420Mcal/h |
| Heat source water | Evaporator inlet temp. | 17°C |
| | Evaporator outlet temp. | 7°C |
| | Heat source input (Q_E) | 1512Mcal/h |
| Process output | Absorber inlet temp. | 32°C |
| | Condenser outlet temp. | 38°C |
| | Useful heat capacity (Q_A+Q_C) | 2880Mcal/h |
| COP | $(Q_A+Q_C)/Q_G$ | 2.03 |
- d) FLOW SHEET

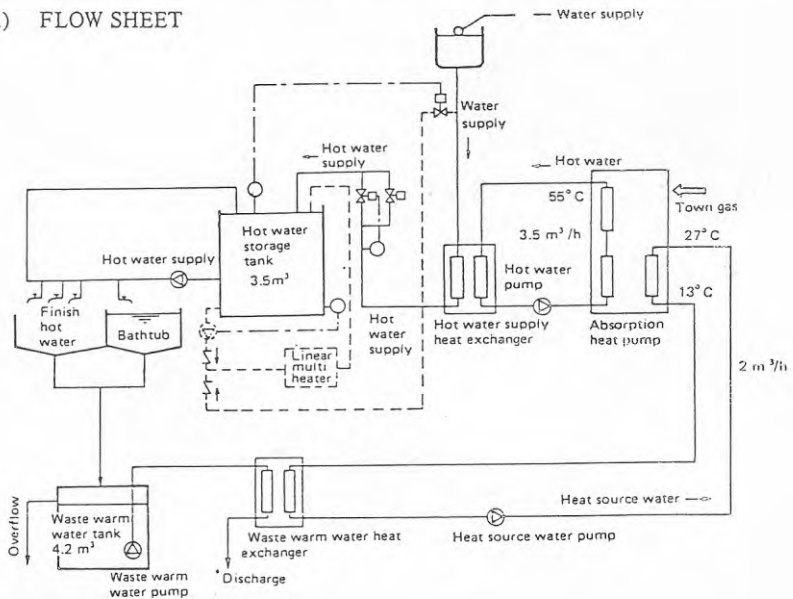


e) REMARKS

PLANT No. 15

- a) GENERAL
 Heat pump cycle : Type I, Gas-Fired
 Location : Tokyo, JAPAN
 Owner : Office Building
 Manufacturer : Tokyo Sanyo Electric Co., Ltd.
 Purpose : Hot water supplying
 Start of operation : November, 1982
 Load factor : 1,500 h/year
- b) TYPE
 Working pair : $H_2O + LiBr$
 Heat source : Waste hot water
- c) OPERATIONAL CONDITIONS
- | | | |
|-------------------|--|------------|
| Drive heat source | : Drive heat capacity (QG) | 53.5Mcal/h |
| Heat source water | : Evaporator inlet temp. | 27°C |
| | : Evaporator outlet temp. | 13°C |
| | : Heat source input (QE) | 28Mcal/h |
| Process output | : Absorber inlet temp. | 35°C |
| | : Condenser outlet temp. | 55°C |
| | : Useful heat capacity (Q + Q _c) | 70Mcal/h |
| COP | : $(Q_A + Q_C) / Q_G$ | 1.27 |
| | : $(Q_A + Q_C) / [(Q_A + Q_C) - Q_E]$ | 1.67 |

d) FLOW SHEET



e) REMARKS

Since this absorption heat pump provided with a boiler function, it is capable of boiler operation if waste hot water is not available.

Värmepumpar typ II benämnes också "Heat transformers" eller "temperature upgraders" och kan också betecknas som "spillvärme-drivna" värmepumpar. Värmepumpen typ II har samma uppbyggnad som typ I men den fungerar på så sätt att om spillvärme (+60 - +30 °C) tillförs till förångare och generator (kokare) medan kondensorn kyls med kylvatten (+10 - +30 °C) så kan 40-50 % av tillfört spillvärme utvinnas vid högre temperatur (+70 - +100 °C) från absorbatoren.

Genom en värmepump typ II kan alltså upp till nästan 50 % av ett spillvärmeflöde "transformeras" upp till högre och användbar temperatur utan tillförsel av högvärdig energi med undantag för den mycket ringa del energi, som krävs för drift av i systemet ingående cirkulationspumpar. Eleffektbehovet är av storleksordningen 1 till 4 % av avgiven nyttig värmeeffekt.

Principen för värmetransformatoren enligt absorptionsprincipen har varit känd mycket länge men det har varit ganska få praktiska tillämpningar. I Japan har några företag satsat på stora absorptionsanläggningar typ II, dock inte alla absorptionskylföretagen.

Nedan ges 4 exempel på anläggningar av typ II som är i drift.

Värmepumpar av typ II kan också byggas med kompressor driven av en spillvärmedriven expansionsmaskin i princip enligt figur 3.3 D.

En väsentlig olägenhet är att expansionsmaskinen, turbo- eller skruvmaskin, måste arbeta med mycket stora volymflöden per effekt-enhet och detta leder lätt till helt orimliga maskindimensioner och därmed oacceptabel ekonomi.

Anläggningen i Chiba - exempel 18 - besöktes 1985-10-09 tillsammans med Hideo Ishizuka, JARIA, och vi sammanträffade med driftchefen och en driftingenjör. Den senare hade ansvaret för värmepumpen och var mycket väl insatt i dess drift.

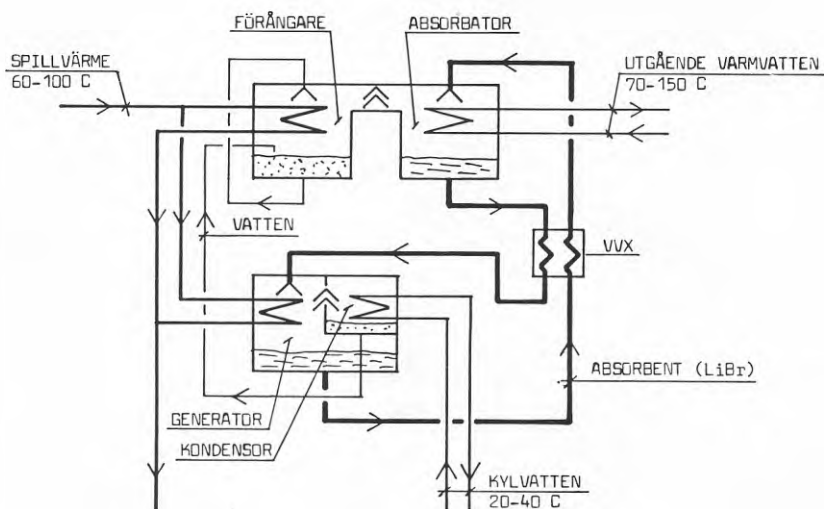
Anläggningen har varit i drift sedan 1981, d v s i cirka 4 år.

Efter cirka 3 års drift fick man korrosionsskador på tuber i högtemperaturdelen och har fått byta till ett speciellt rostfritt stål. Anledningen till korrosionsskadorna var inläckage av luft och detta kontrollerades nu 1 gång per dag i stället för som tidigare 1 gång per vecka.

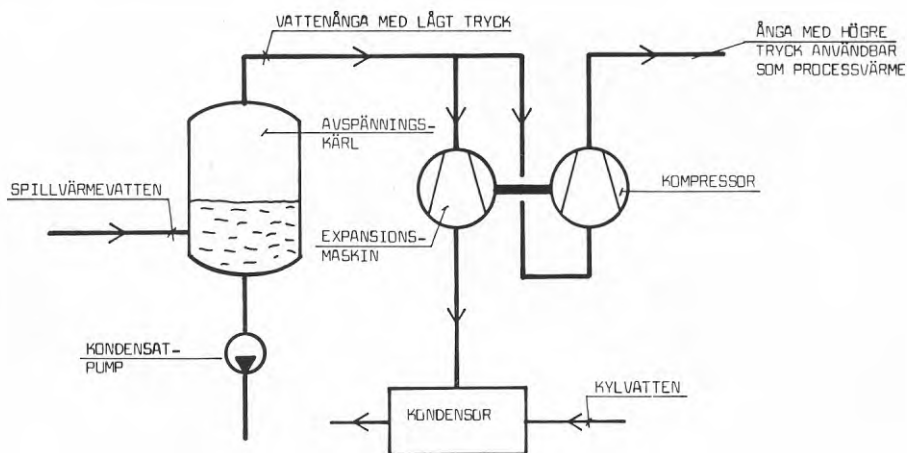
Man hade också haft vissa driftstörningar dels till följd av bristande funktion hos droppavskiljare, som gjort att LiBr kommit över i renvattenkretsen, dels på grund av kristallisation.

Enkel pay-back hade på sin tid beräknats till cirka 1,5 år men man visste inte om det hade hållit. Normalt accepterade man upp till 2 års pay-back inom företaget för liknande anläggningsdelar.

Man hade valt anläggningen en gång för att den ansågs vara enkel och ha få rörliga delar. I dag skulle man inte välja samma värmepumptyp igen utan snarare någon mer avancerad sådan, troligen mekanisk kompressor och ångkompression. Skälet härtill var i första hand den nuvarande anläggningens bristande tillförlitlighet. Man höll inte för otroligt att ångkompression också skulle kunna vara ekonomiskt fördelaktigare.



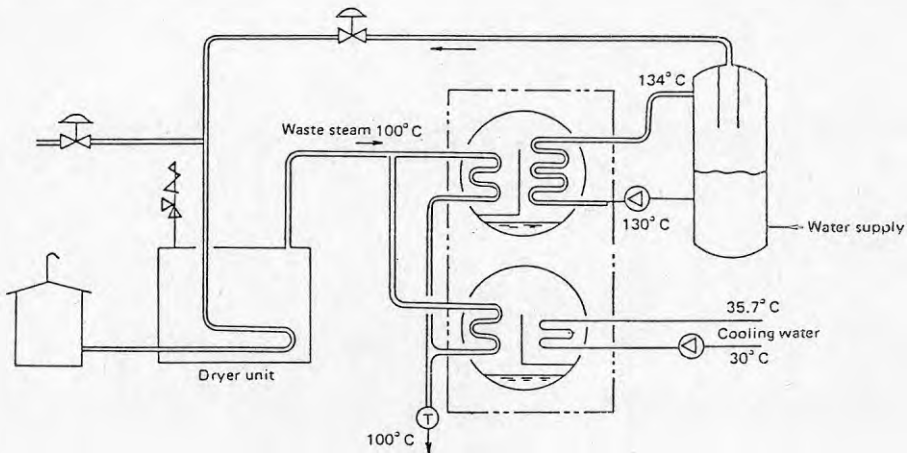
Figur 3.3 C Värmepump typ II enligt absorptionsprincipen.



Figur 3.3 D Värmepump typ II med expansionsmaskin/kompressor.

PLANT No. 16

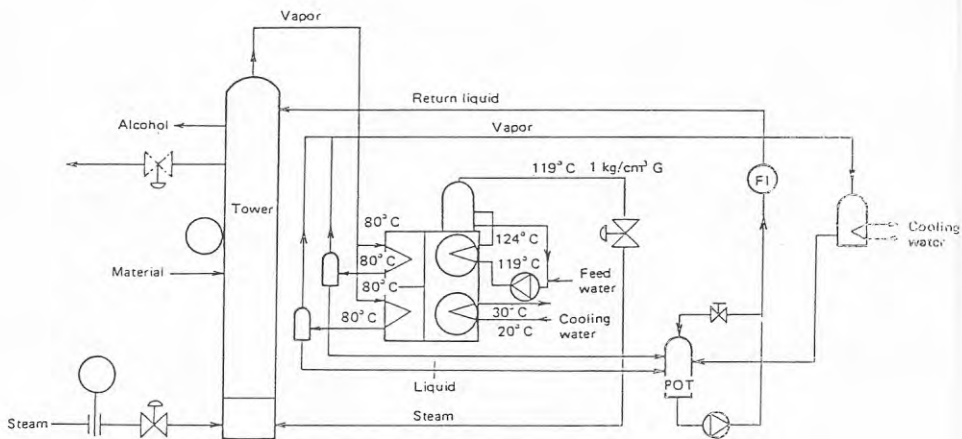
- a) GENERAL
 Heat pump cycle : Type II
 Location : Federal Republic of Germany
 Owner : Food Industrv
 Manufacturer : Kawasaki Thermal Engineering Co., Ltd.
 Purpose : Heat recovery of waste steam in drying process
 Start of operation : March, 1984
 Load factor : - h/year
- b) TYPE
 Working pair : $H_2O+LiBr$
 Drive heat : Waste steam
 Process output condition : Low pressure steam
- c) OPERATIONAL CONDITIONS
- | | | |
|--------------------|---|------------|
| Drive heat source: | Evaporator & generator inlets temp. | 100°C |
| | Drain temp. | 100°C |
| | Drive heat capacity (Q_E+Q_G) | 2200Mcal/h |
| Cooling water | Flow rate | 227ton/h |
| | Condenser inlet temp. | 30°C |
| | Condenser outlet temp. | 35.7°C |
| Process output | Absorber inlet temp. (about saturation) | °C |
| | Absorber outlet temp. | 134°C |
| | Useful heat capacity (Q_A) | 1000Mcal/h |
| COP | $Q_A/(Q_E+Q_G)$ | 0.45 |
- d) FLOW SHEET



e) REMARKS

PLANT No. 17

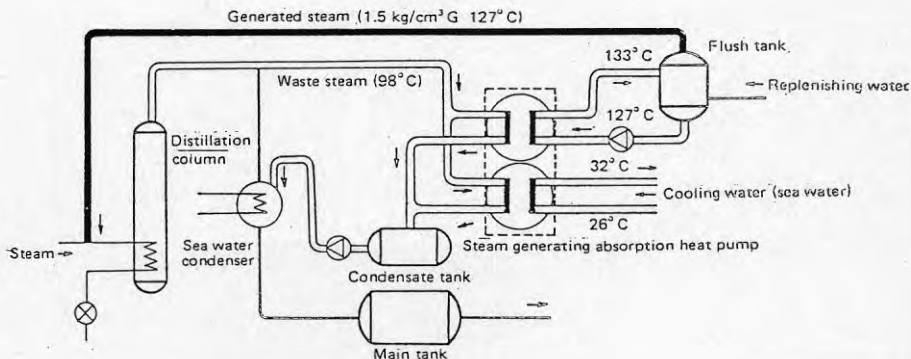
- a) GENERAL
- | | |
|--------------------|---|
| Heat pump cycle | : Type II |
| Location | : Kagoshima, JAPAN |
| Owner | : Ethylalcohol Distillation Plant |
| Manufacturer | : Tokyo Sanyo Electric Co., Ltd. |
| Purpose | : Heat recovery of ethylalcohol condensation heat |
| Start of operation | : January, 1984 |
| Load factor | : 7200 h/year |
- b) TYPE
- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| Working pair | : H ₂ O+LiBr |
| Drive heat | : Alcohol steam |
| Process output condition | : Low pressure steam |
- c) OPERATIONAL CONDITIONS
- | | | |
|-------------------|--------------------------------------|------------|
| Drive heat source | : Evaporator & generator inlet temp. | 80° C |
| | Drain temp. | 80° C |
| | Drive heat capacity (QE +QG) | 1635Mcal/h |
| Cooling water | : Flow rate | 85ton/h |
| | Condenser inlet temp. | 20° C |
| | Condenser outlet temp. | 30° C |
| Process outlet | : Absorber inlet temp. | 119° C |
| | Absorber outlet temp. | 124° C |
| | Useful heat capacity (QA) | 785Mcal/h |
| COP | : QA / (QE +QG) | 0.45 |
- d) FLOW SHEET



- e) REMARKS

PLANT No. 18

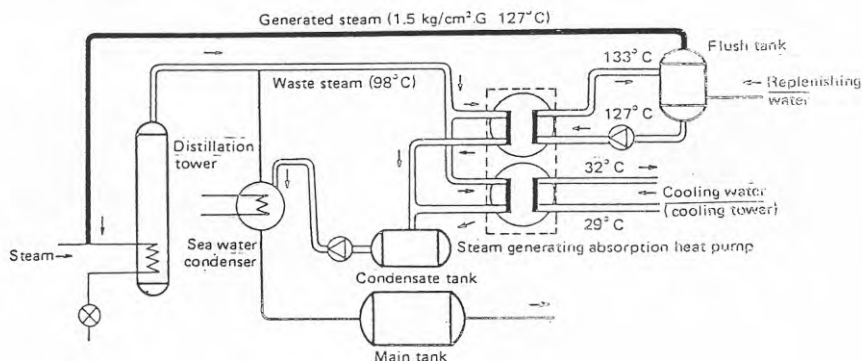
- a) GENERAL
- | | |
|--------------------|--|
| Heat pump cycle | : Type II |
| Location | : Chiba, JAPAN |
| Owner | : Butadiene Rubber Plant |
| Manufacturer | : Tokyo Sanyo Electric Co., Ltd. |
| Purpose | : Steam generation for process heating by heat recovery of waste steam |
| Start of operation | : December, 1981 |
| Load factor | : 8000 h/year |
- b) TYPE
- | | |
|--------------------------|----------------------|
| Working pair | : $H_2O+LiBr$ |
| Drive heat | : Waste steam |
| Process output condition | : Low pressure steam |
- c) OPERATIONAL CONDITIONS
- | | | |
|-------------------|--------------------------------------|------------|
| Drive heat source | : Evaporator & generator inlet temp. | 98 °C |
| | Drain temp. | 88 °C |
| | Drive heat capacity (QE+QG) | 4300Mcal/h |
| Cooling water | : Flow rate | 380ton/h |
| | Condenser inlet temp. | 26 °C |
| | Condenser outlet temp. | 32 °C |
| Process output | : Absorber inlet temp. | 127 °C |
| | Absorber outlet temp. | 133 °C |
| | Useful heat capacity (QA) | 2020Mcal/h |
| COP | : $QA/(QE+QG)$ | 0.47 |
- d) FLOW SHEET



- e) REMARKS

PLANT No. 19

- a) GENERAL
- Heat pump cycle : Type II
 Location : Republic of Korea
 Owner : Butadiene Rubber Plant
 Manufacturer : Tokyo Sanyo Electric Co., Ltd.
 Purpose : Steam generation for process heating by heat recovery of waste steam
- Start of operation : July, 1983
 Load factor : 8000 h/year
- b) TYPE
- Working pair : $H_2O + LiBr$
 Drive heat : Waste steam
 Process output condition : Low pressure steam
- c) OPERATIONAL CONDITIONS
- | | | |
|-------------------|---------------------------------------|------------|
| Drive heat source | : Evaporator & generator inlet temp. | 98° C |
| | : Drain temp. | 88° C |
| Cooling water | : Drive heat capacity ($Q_E + Q_G$) | 4300Mcal/h |
| | : Flow rate | 744ton/h |
| | : Condenser inlet temp. | 29° C |
| Process output | : Condenser outlet temp. | 32° C |
| | : Absorber inlet temp. | 127° C |
| | : Absorber outlet temp. | 133° C |
| COP | : Useful heat capacity (Q_A) | 2060Mcal/h |
| | : $Q_A / (Q_E + Q_G)$ | 0.48 |
- d) FLOW SHEET



- e) REMARKS

4 UTVECKLINGSTENDENSER OCH NYHETER

4.1 Inledning

Avsikten är att i detta avsnitt antyda några av de utvecklingstendenser, som nu synes råda inom kyl- och värmepumpområdet i Japan. Några exempel på "nyheter" skall också ges.

4.2 Små värmepumpar dominerar

Som nämnts på andra ställen i denna rapport så är i Japan "småvärmepumpar" d v s sådana med en nominell elmotoreffekt på omkring 2 kW, helt dominerande ur marknads- och tillverkningsvolym synpunkt. Det skall också kraftigt understrykas att utvecklingen skett genom att små luftkonditioneringsaggregat kompletterats för alternativ drift som värmepumpar.

I både Japan och USA har sedan länge funnits en marknad för små enhetsaggregat avsedda att placeras i eller under fönster, s k "in window units". Dessa apparater är givetvis avsedda att betjäna endast det rum de är placerade i. Det är också här alltid fråga om luft/luft-aggregat i första hand för kylning.

I Japan har en övergång skett från "in window units" till s k "split units" d v s sådana aggregat där utrustningen är uppdelad på en utomhusenhet innehållande kompressor och fläktkyld kondensator samt en inomhusdel bestående av en flätkonvektor som förångare. I värmepumputförandet kompletteras med omkastningsventil, kondensator blir kondensator/förångare och förångaren blir förångare/kondensator. Den enkla "split-unit" enheten kan fortfarande i princip endast kyla/värma ett rum.

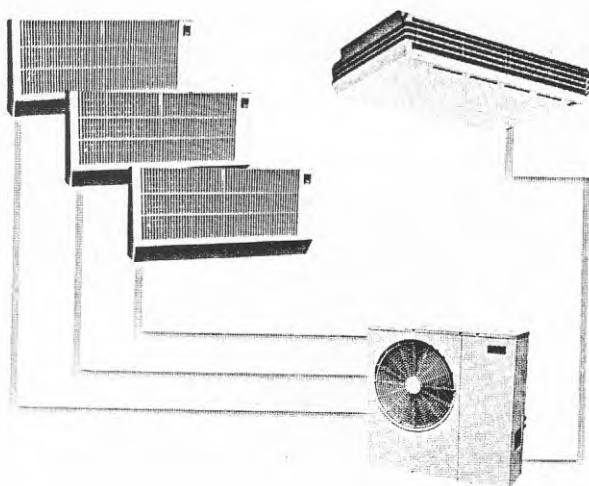
För att betjäna flera rum i exempelvis en bostadslägenhet har i Japan under de senaste åren s k "multi split type" lanserats d v s system där 2-4 inomhusenheter kan anslutas till en gemensam utomhusdel ibland försedd med 2 kompressorer och 2 olika köldmediekretsar. Det är dock komplicerat att komplettera dessa "multi split systems" för värmepumpdrift.

I USA är det vanligt att bostäder förses med kanalsystem för kylning och alternativt värmning av de olika rummen och i sådana installationer ingår således ett centralt aggregat för kylning/värmning. Kylsystemet är då ofta av typen "split-system" och i stället för värmepumpdrift sker värmningen genom gaseldning eller elbatteri i centralaggregatet.

Den japanska typen av "split-systems" benämnes ibland i USA för "Japan-split" och man frågar sig där inom branschen med viss oro vad den japanska industrin eventuellt kommer att satsa på för den amerikanska marknaden.

Det finns också en klar tendens i Japan att gå över från vattenburna kylsystem till mindre enheter för direktförångning även inom sektorn kommersiella byggnader och industri. Denna trend är helt klar för aggregat med kompressorer på 1,5-6 kW nominell el-effekt. Sammanbyggda aggregat på totalt upp till cirka 35 kW el finns idag och även här stiger andelen aggregat som är avsedda för alternativ värmepumpdrift.

Multi-Split Type

**Note:**

**Four indoor units, as the maximum,
can be combined to one indoor unit.**

4.3 "Nya" kompressortyper

Rotationskompressorerna dominerar när det gäller de vanligaste storlekarna, 0,4-1,4 kW el, och rotationskompressorerna tar nu också en ökande andel av storleken 2-2,5 kW el.

Ett företag, Hitachi - tillverkar sedan ett par år tillbaka en speciell typ av rotationskompressor kallad "SCROLL". Denna finns nu för 2-3,5 kW el i RAC-enheter för hemmarknaden.

Scroll-kompressorn beskrivs närmare i bilaga 3 till denna rapport.

Hitachi är fortfarande ensamma om denna scroll-kompressor vilket torde vara ovanligt i Japan där man synes ha en ofrånkomlig "följa John"-vana, d v s en ny produkt eller variant från något av de ledande företagen i branschen följs snabbt av liknande från de övriga. De flesta konkurrentföretagen uppger också att en scroll-kompressor är under utveckling men ingen vill närmare ange när den kan förväntas vara färdig.

Kompressortillverkaren Copeland i USA har också satsat hårt på scroll-kompressorn, som där är på väg att marknadsintroduceras.

4.4 Kapacitetsreglering - INVERTER

Under de senaste åren har det, som ovan nämnts, skett en snabb övergång från kolv- till rotationskompressorer och de sistnämnda är nu helt dominerande för det ovannämnda vanliga effektområdet för "room air conditioners".

Under några år var ROTARY tydligen det stora slagordet och beteckningen fanns i form av en prålig skylt på alla RAC-apparater oberoende av fabrikat.

Under år 1982 introducerades på allvar statiska frekvensomvandlare - s k INVERTER - för kapacitetsreglering och nu är INVERTER beteckningen på modet.

Frekvensen och därmed varvtalet kan med "invertern" regleras inom området cirka 50 till 150 %, d v s vid 50 Hz från cirka 1500 till 4500 r/min beroende på vad som anses acceptabelt för ifrågavarande kompressortyp och aktuella driftsförhållanden. Kapacitetsregleringen har i första hand ansetts önskvärd för att åstadkomma en bättre anpassning till det aktuella kyleffektbehovet eftersom man vid direktverkande luft/luft-system ju har en mycket begränsad energiackumuleringsmöjlighet jämfört med t ex ett vattenburet kyl/värme-system. Varvtalsregleringen har ju uppenbara fördelar och även om "invertern" har vissa ofrånkomliga elektriska förluster - verkningsgrader på 0,92 till 0,96 har nämnts - så anses den ge en minskning av den årliga elenergiförbrukningen på 15 å 20 %, ja upp till 40 % nämns i vissa optimistiska utredningar.

Statiska frekvensomvandlare har funnits länge men priset har varit ett hinder för denna användning. I och med att man bestämde sig för användning av inverters i stor skala så kunde man få ner priset per enhet. Detta anges för närvarande vara av samma storleksordning som för kompressorn i en vanlig "room air conditioner".

Om kompressorn kostar cirka 25 % av den kompletta RAC-enheten så innebär invertern en prisökning med cirka 25 % och det är ungefär vad katalogpriserna idag indikerar. Inverters och tillhörande mikrodatare för styrningen tillverkas nu ofta av de stora kompressor- och RAC-fabrikerna och det finns sådana som nu tillverkar mer än 1 milj enheter per år. Modeordet i RAC-branschen är sedan några år tillbaka "INVERTER" och hela produktionen är tills vidare avsedd för hemmamarknaden. Vissa anser att det högre priset inte ännu accepteras på exportmarknaderna.

Elservisen för småhus i Japan är oftast 1-fas. Japan är dessutom delat i ett område där elnätet har frekvensen 50 Hz och ett med 60 Hz.

Med hjälp av inverter kan man dels få önskat kompressorvarvtal oberoende av nätfrekvensen dels trots 1-fas-anslutningen leverera 3-fas-spänning till kompressormotorn. Omvandlingen sker således med hjälp av invertern och gör att en vanlig kortslutet 3-fas-motor kan användas för kompressorn.

4.5 Elektroniskt styrda expansionsventiler

Den vanliga termostatiska expansionsventilen, som ju är en helt mekanisk, självverkande reglerventil, har som bekant sina begränsningar men har hittills varit svår att konkurrera ut prismässigt när det gäller mindre kyl- och värmepumpsystem. Elektroniskt styrda expansionsventiler har dock nu börjat användas av flera tillverkare bl a i RAC-enheter.

Skälen härtill är bl a följande:

- RAC-aggregaten utförs i ökad utsträckning för alternativ värmepumpdrift och förses med inverter för kapacitetsreglering vilket ställer markant ökade krav på expansionsventilens funktion
- elektronisk styrutrustning är förhållandevis billig, utnyttjas kanske redan för andra styr- och övervakningsfunktioner i aggregatet och det är då tämligen enkelt att lägga till ytterligare en funktion d v s styrning av expansionsventilen
- genom de stora tillverkningsserierna, som alltid gäller för RAC-tillverkningen, kan utvecklingskostnaderna slås ut på många enheter och elektroniken blir då också prismässigt konkurrenskraftig.

De stora RAC-tillverkarna utvecklar och tillverkar sina egna el- och elektronikenheter för de olika aggregattyperna medan expansionsventilen med någon form av elektriskt ställdon köpes från ventiltillverkare. Ställdonet kan vara av typen steqmotor, linjär magnet eller s k värmemotor d v s ett elvärt expansionselement.

I sammanhanget kan för övrigt nämnas att man också med elektronikkens hjälp och i strävan att ständigt komma med något nytt och säljande förser produkterna med "kosmetika". Sålunda har man när begreppen ROTARY och INVERTER börjat bli "standard" exempelvis försett RAC-aggregaten med löstagbara manöverpaneler med trådlös förbindning på samma sätt som fjärrkontollen till TV-apparater.

4.6 Luft/vatten-värmepump med 2-stegskoppling

Ett av värmepumpföretagen, Mitsubishi Electric, har utvecklat och lanserat en villavärmepump luft/vatten med ett särskilt litet värmepumpsystem för värmning av tappvarmvatten. Det sistnämnda systemet hämtar sitt värme från kyl/värme-systemet för huset och det är alltså fråga om en form av 2-stegskoppling. Systemet, som alternativt kan användas för kylning av rumsluften, kallas "Combination Q".

Uppbyggnad och funktionssätt framgår av principalschemat i figur 4.6 A.

Utrustningen omfattar följande huvuddelar:

- en utomhusdel innehållande dels en omkastningsbar luft/vatten-värmepump med köldmediet R22 dels kompressor och förångare ingående i ett mindre värmepumpsystem för tappvattenvärmning arbetande med R12
- en inomhusdel med varmvattentank, kondensor och cirkulationspump

- ett system för värmning/kylning av rummen med hjälp av pumpcirkulerat vatten, fläktkonvektorer och en ackumulatortank.

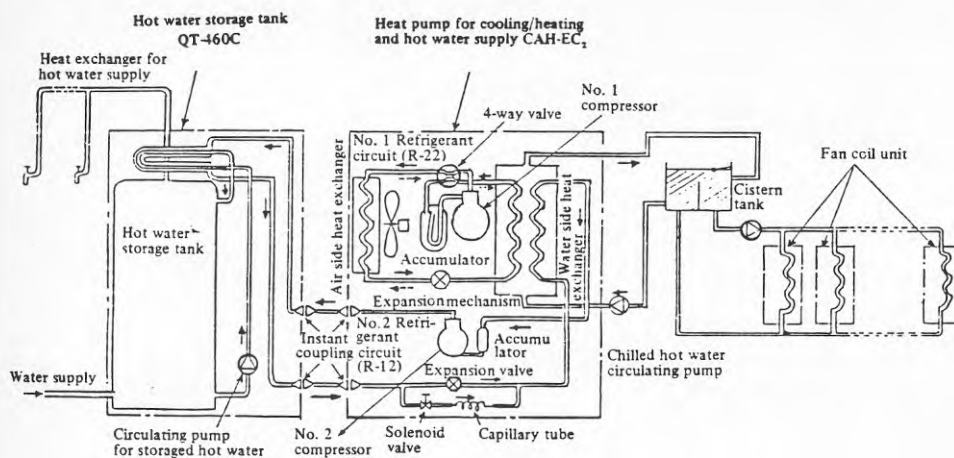
Den apparatmässiga utformningen av systemet kan emellertid ifrågasättas. Sålunda har man traditionsenligt valt att placera det mesta av utrustningen i utomhusdelen och man cirkulerar således både köldmedium och radiatorvatten mellan denna och inomhusplacerade delar. Man envisas för övrigt också med förångarebatterier av den konventionella tätflänsade typen.

S k "fan coil units" används givetvis för värmning/kylning av rummen och den högsta erforderliga vattentemperaturen vid värmning blir därför låg jämfört med vad som krävs för radiatorer, som ju för övrigt är olämpliga för kylfallet. Den relativt låga framledningstemperaturen även vid låg utetemperatur är ett skäl för att bibehålla enstegsdrift för rumsuppvärmningen.

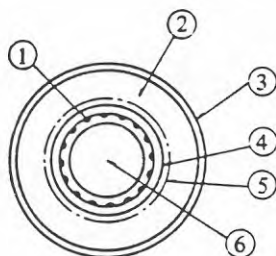
Man synes för övrigt inte ha haft som mål att åstadkomma bästa möjliga årsvärmefaktor. Exempelvis utnyttjar man inte 1-stegsanläggningen för att förvärma tappvattnet vilket givetvis är svårt med den valda apparatuppdelningen. I en del figurer, som beskriver systemutformningen, finns ackumulatortanken i "radiatorkretsen" men denna ingår inte i den normalt erbjudna standardutrustningen. En sådan ackumulatorvolym har ju vissa fördelar men den tar givetvis viss plats och kostar något i investering.

Till skillnad från vad som är vanligt i Sverige är systemet konstruerat för en tappvattentemperatur på normalt +60 å +65 °C. Maximalt kan fås ca +75 °C. Skälet härtill är inte primärt att man därigenom kan öka energiinnehållet i en viss ackumulatorvolym utan torde snarare bero på de något speciella badvanorna i Japan. För de flesta ändamål räcker även i Japan en tappvattentemperatur på 40-45 °C med just för s k "make-up-water" vid karbad kräver japaner av gammal hävd hög vattentemperatur, som ovan nämnts minst +60 °C och helst ännu högre.

En intressant utförandedetalj är kondensorn för tappvattenvärmning, som försetts med rör av speciell konstruktion. Som framgår av figur 4.6 B används ett dubbelväggigt rör mellan köldmedium och tappvatten. Genom spårerna i innerrörets mantelyta bildas s k "leak detecting channels", som står i öppen förbindelse med omgivningen och därigenom elimineras risken för läckage mellan de två medierna. Genom den speciella profileringen erhålles enligt uppgift god värmeomgång trots 2-skikts-konstruktionen.



Figur 4.6 A "Combination Q" - System för kylning/värming med 2-stegs kopplad värmepump för tappvatten-
värming.



Figur 4.6 B Sektion av rör i kondensör för värming av
tappvarmvatten.

1. Spår för läckindikering.
2. Köldmedium.
3. Ytterspår.
4. Dubbelrörets ytteryta.
5. Ytförstorande element (low fins).
6. Tappvatten.

Sammanfattningsvis kan sägas att "Combination Q" klart avviker från det i Japan hittills vanliga mönstret genom:

- att vatten används för distribution av värme/kyla
- att klimatisering och tappvattenvärmning lösts med en gemensam utrustning
- att 2-stegskoppling utnyttjas.

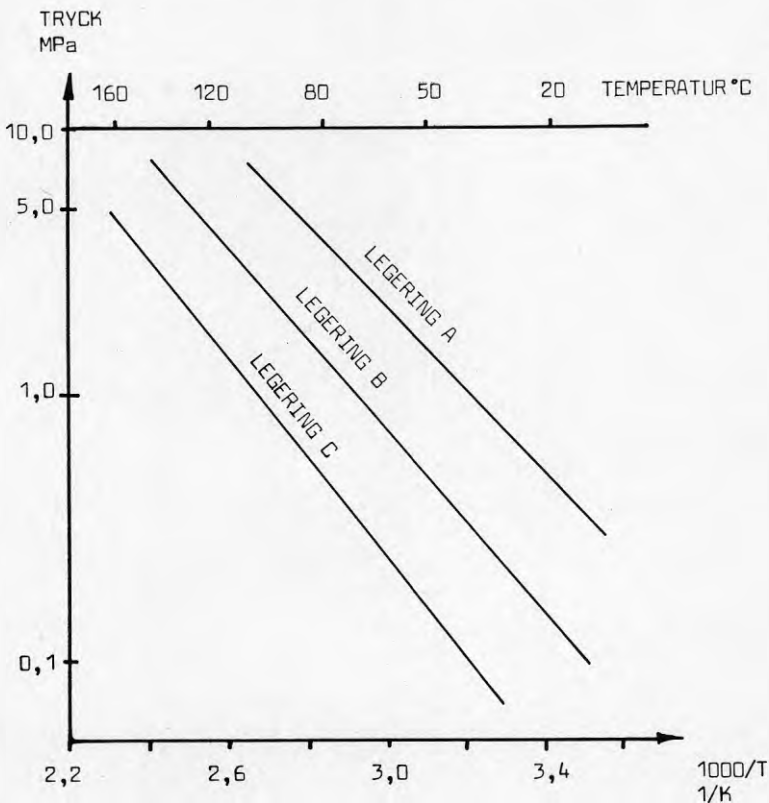
Framtiden får utvisa hur utvecklingen kommer att påverkas av dessa "nya idéer".

Systemet "Combination Q" marknadsförs tillsvidare enbart i Japan. Priset till slutkund för ett driftfärdigt system inklusive installation uppges ligga runt 2 M yen d v s ca 80 000 SEK. Det är alltså inget lågprissystem även om värmare/kylare för rummen ingår.

METALLHYDRIDTEKNOLOGI

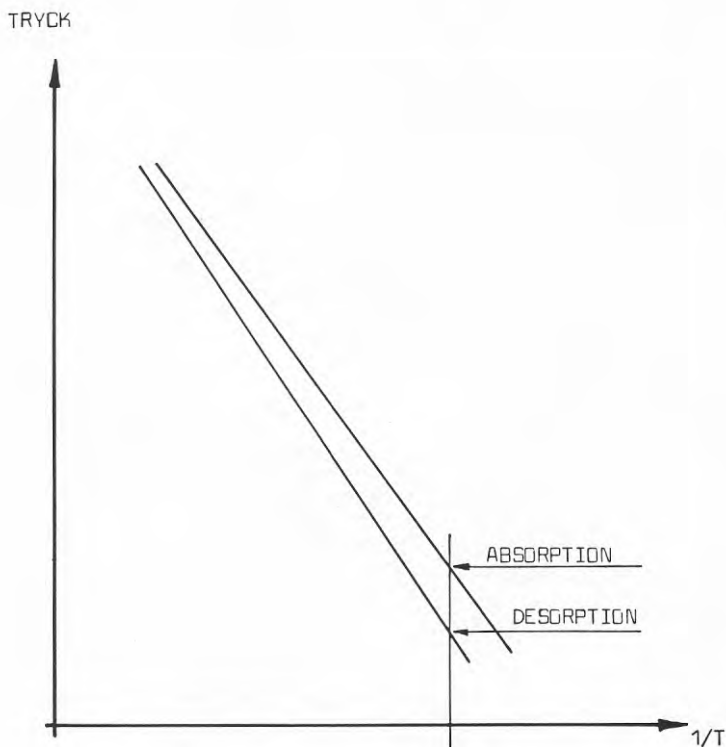
1. Kortfattad introduktion

Grunden för metallhydridernas användbarhet för att åstadkomma bl a värmedrivna kyl- och värmepumpprocesser är att vissa metalllegeringar reagerar kemiskt med vätgas och bildar s k metallhydrider. Det har visat att det för en viss legering gäller ett visst samband - en bestämd kurva - mellan vätgasstrycket vid metallpartikelytan och temperaturen förutsatt att vätgasinnehållet i legeringen (metallen) ligger inom vissa gränser. Diagram av den typ som visas i figur 1 kan således upprättas.



Figur 1 Temperatur-tryck-diagram för legeringar (s k van't Hoff-diagram).

I figur 1 är kurvan för varje legering visad som en enda linje, vilket emellertid är en viss idealisering. I verkligheten gäller snarare att trycket vid en viss temperatur varierar något med det aktuella väteinnehållet även inom det aktuella arbetsområdet så som i princip visas i figur 2.

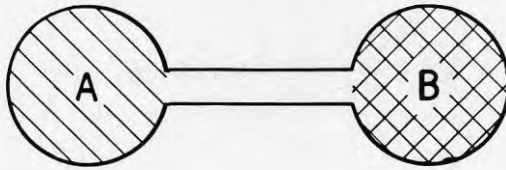


Figur 2 Temperatur-tryck-diagram för en legering vid absorption resp desorption.

Det kan dock noteras att skillnaden i tryck vid "absorption" resp "desorption" är betydligt mindre än skillnaden i tryck över "svag" resp "stark" lösning i ett normalt sorptionssystem med vilket ett metallhydridsystem för övrigt närmast kan jämföras.

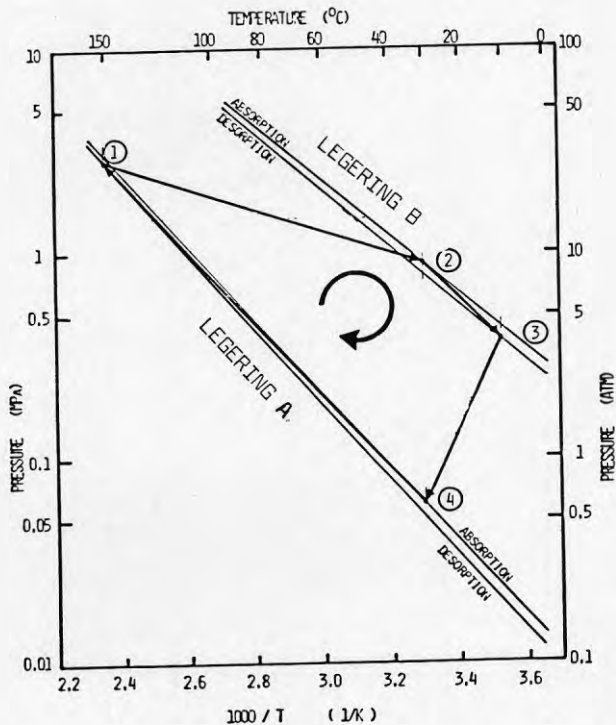
2. Hydridkylprocess

Den enkla hydridkylprocessen kan beskrivas på följande sätt.



Figur 3 Hydridkylsystem - principskiss.

De två behållarna, A och B, i figur 3 antas innehålla två olika metallegeringar och vätgas. Genom rörledningen mellan behållarna kan vätgasen vid behov strömma fritt i bägge riktningarna, dvs vätgastrycket är vid ett visst tillfälle detsamma i hela systemet. Legeringarna A och B kan antas ha tryck-temperatur-kurvor enligt figur 4.

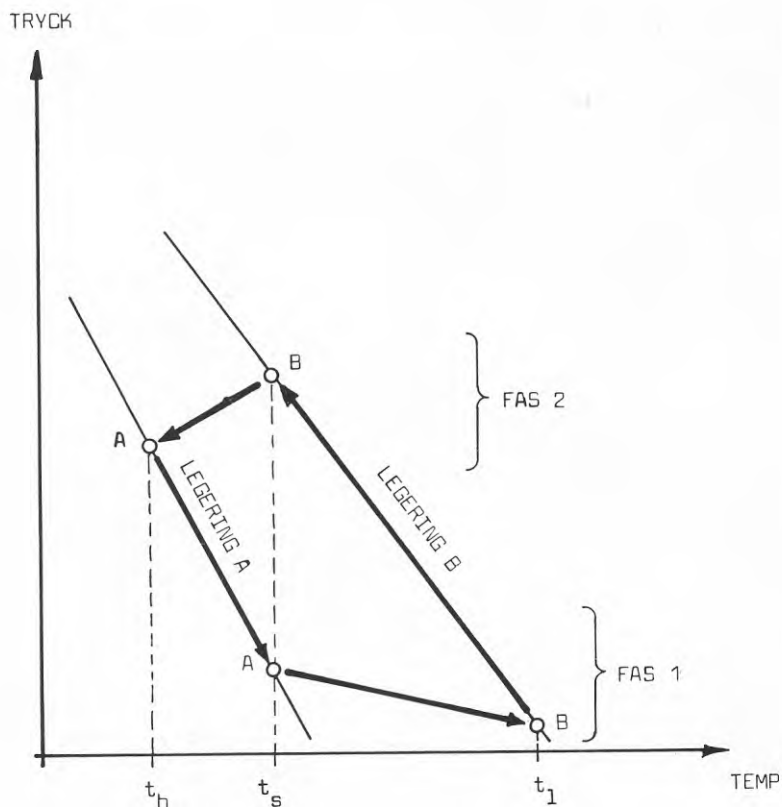


Figur 4 Kylprocess i temperatur-tryck-diagram.

Värmes legering A till $+150^{\circ}\text{C}$ (jämför figur 4) och B kyls till $+30^{\circ}\text{C}$ så kommer väte att avges från A och strömma över till B där det absorberas under värmeutveckling. Kvantiteterna av legeringarna A och B skall vara så avpassade att det med hänsyn till resp legerings förmåga att "lagra" väte för varje arbetscykel transporteras en lämplig kvantitet väte. När denna kvantitet förflyttats från A till B så kan A kylas till $+30^{\circ}\text{C}$, varigenom B kommer att kylas till $+10^{\circ}\text{C}$ genom att vätgas då frigörs i B och absorberas i A. Uttryckt i konventionell sorptionsprocessnomenklatur så är i fas 1 A "generator" och B "absorbator" och i fas 2 är A "kondensator" och B "förångare".

3. Hybridvärmepump

Vid den enkla hybridvärmepumpen används samma anordning som vid det ovan beskrivna hybridkylsystemet. Funktion hos denna värmedrivna värmepumpprocess (heat up-grading cycle) framgår av figur 5.



Figur 5 Värmepumpprocess i t-p-diagram.

Temperaturerna i diagrammet är följande:

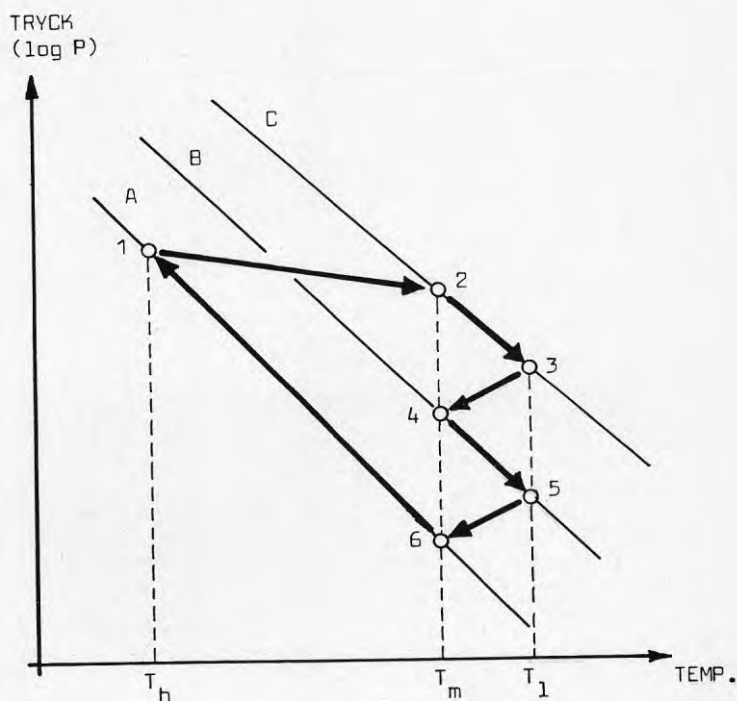
- t_h = den "höga" temperatur vid vilken värme avges
 t_s = temperaturen på mediet som utgör både drivenergi och värmekälla (spillvärme)
 t_l = temperaturen vid vilken lågvärdigt värme avges till en värmesänka.

Funktionen är i korthet följande:

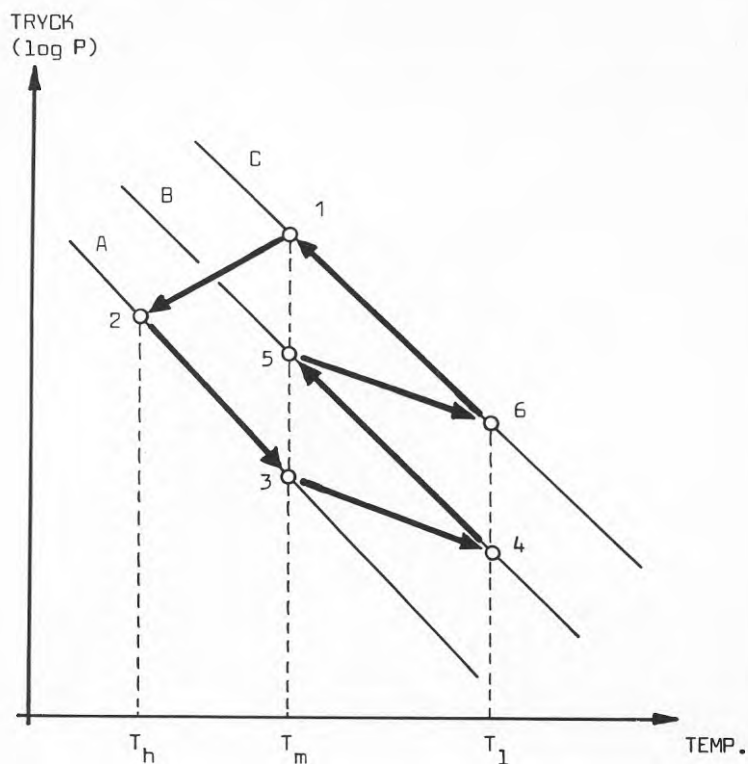
Under fas 1 hålles A genom värmning vid temperaturen t_s (spillvärmemetemperaturen) och B kyls med kylvatten eller uteluft. Vätgas går då över från A till B. Under fas 2, då alltså vätgasen finns lagrad i B, hålles B vid temperaturen t_s genom värmeförsel från värmekällan (spillvärmemet). A kommer^s då att anta den högre temperaturen, t_h , som alltså bör ligga på en sådan temperaturnivå att för ändamålet önskad värmning kan erhållas.

4. Två-stegsprocesser

För att öka arbetsområdet och effektiviteten har man här liksom inom sorptionsprocesstekniken börjat laborera med flerstegsprocesser. Ett system med 3 olika hydridlegeringar ger ett 2-stegs-system. Principen framgår av figur 6 för en 2-stegs kylprocess och av figur 7 för en 2-stegs värmepump.



Figur 6 Tvåstegs kylprocess.



Figur 7 Tvåstegs värmepumpprocess.

Pilarna i figurerna anger vätets förflyttning i systemen.

Ovan har enbart värmepumpprocesser typ II, dvs spillvärmedrivna processer, beskrivits. Typ I, dvs primärvärmedrivna värmepumpar kan givetvis också utföras med metallhydrider.

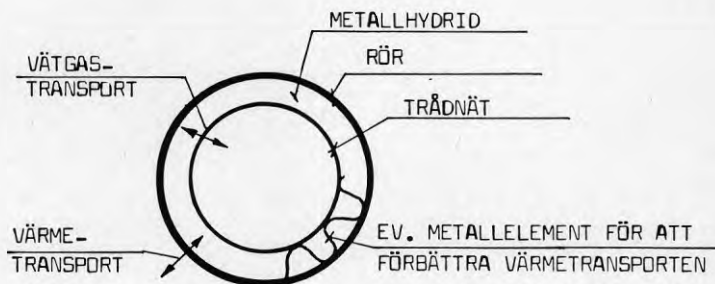
5. Problemmråden

Metallhydridtekniken är givetvis inte problemfri. Nedan skall kortfattat beröras några av de frågor, som måste få positiva svar genom forskning och utveckling om tekniken skall kunna få någon praktisk tillämpning. Förutom för kyl- och värmeprocesser har tekniken ansetts kunna få användning för värmelagring, rening och lagring av väte. I det sistnämnda fallet alternativt som bränsle dvs även då en energilagringmetod.

En grundläggande förutsättning för hydridprocesserna är att metallen - legeringen -

- har stor kontaktyta per massenhet dvs är finpulvriserad
- kan lagra tillräckligt stor mängd väte per massenhet
- kan appliceras på ett ur värmetransportsynpunkt acceptabelt sätt
- betingar ett acceptabelt pris.

Aktuella legeringar kan i regel ges en lämplig struktur med tanke på stor angreppsyta för vätgasen. Samtidigt med hydrering eller dehydrering måste emellertid värme tillräckligt snabbt kunna transporteras från resp till metallen. Sker inte detta så kommer metallen lokalt att anta en försänkt resp förhöjd temperatur och funktionen äventyras. Det gäller således att metallen, som måste vara innesluten i ett tätt metallhölje, kan anbringas så att både värme- och gastransportförmågan tillgodoses. Vanligen anbringas metallen i pulverform som ett skikt på insidan av rörformiga reaktorelement. Metallpulvret hålls på plats genom ett inre tätperforerat rör eller metalltrådnät. Det inre hålrummet utnyttjas för gastransporten och värmetransporten sker genom den utvändiga täta rörväggen. Principen framgår av figur 8.



Figur 8 Metallhydridreaktorelement - principskiss.

Kopparrör med en ytterdiameter på ca 25 mm har använts. Luftberörda reaktorrör förses med aluminiumflänsar för att förbättra värmetransporten. Mer grundliga mätningar för att klarlägga inverkan av värme- resp gastransporten har hittills inte gjorts. Man har tydligen varit mest inriktad på att göra mer "totala" funktionsprov för olika sofistikerade legeringar.

Väteupptagningsförmågan per kg metall har också mätts upp liksom tryck-temperatur-kurvor för ett otal legeringar.

Metallegeringar i fast form har hittills enbart använts vilket innebär diskontinuerliga processer. Detta medför att reaktorelementen växlar cykliskt mellan två olika temperaturer.

Det kännbara värmnet i såväl hydridlegeringen som reaktorhöljet påverkar processens effektivitet. Ju större mängd kännbart värme ju sämre process.

Köldfaktorn, COP, för hydridkylprocessen kan uttryckas som

$$\text{COP} = \frac{\Delta h_B - \Sigma(c_B \cdot m_B)(T_1 - T_2)}{\Delta h_A - \Sigma(c_A \cdot m_A)(T_3 - T_1)}$$

där

Δh_A = dehydreringsenergi per cykel för reaktor A

Δh_B = dehydreringsenergi per cykel för reaktor B

$\Sigma(c_A \cdot m_A)$ = energi per grad K för reaktor A
(metallhydrid + hölje)

$\Sigma(c_B \cdot m_B)$ = energi per grad K för reaktor B
(metallhydrid + hölje)

T_1 = "kondensortemperatur"

T_2 = "förångningstemperatur"

T_3 = drivenergibärarens temperatur

Uttrycket ovan för COP tar inte hänsyn till förluster genom ledning i förbindelserör mellan reaktoreorna och liknande.

Av ekvationen framgår bl a

- att COP kan minska kraftigt om det kännbara värmnet närmar sig dehydreringsenergin per cykel
- att $\Sigma(c \cdot m)$ dvs väreminnehållet i hydridmetallen och höljet skall vara så litet som möjligt per enhet transporterat väte
- att COP alltid är <1 för kylprocessen.

För de provreaktorer man laborerat med anges beräknade COP-värden på 0.25 till 0.5. Eftersom specifika värmevärdena för reaktormetall och hölje inte kan påverkas nämnvärt så är det av vikt

att vätgasmängden per massenhet reaktormetall är hög

att höljets massa per massenhet reaktormetall är så liten som möjligt.

Hydreringsenergin är ca 25 kJ/mol H_2 eller ca 12 500 kJ/kg H_2 . För de hittills utnyttjade legeringarna uppges ackumuleringsförmågan vara ca 0.8 vikt% eller 0.008 kg H_2 /kg metall. Detta innebär en hydreringsenergi på $0,008 \cdot 12\,500 = 100$ kJ/kg metall. Med ca 3 å 5 arbetscykler per timme, som uppges vara en rimlig frekvens, skulle kyleffekten bli:

$$(3 \text{ å } 5) \times \frac{100}{3600} \left(\frac{\text{kWs}}{\text{h}} \cdot \frac{\text{h}}{\text{s}} \right) \cong 80 \text{ å } 140 \text{ W/kg}$$

Man uppger sig ha uppnått effekter på 30-60 kcal/h·kg dvs ca 35-70 W/kg legering. Skillnaden mellan teoretiska och uppmätta värden beror givetvis på förlusterna, bl a det kännbara värmnet vid reaktorns nödvändiga temperatursvängningar. Man har ställt som mål mer än 100 kcal/h·kg = 116 W/kg. För att uppnå detta anser man sig behöva få fram legeringar som kan ta upp och avge 1.5 vikt-%, dvs 0.015 kg H₂/kg metall mot nuvarande ca 0.008 kg/kg. Vidare måste man få fram lättare reaktorer/värmeväxlare bl a för att minska kännbara värmnet. Det bör här framhållas att det som ovan nämnts gäller enbart kapaciteten - exempelvis kyleffekten - per kg apparatvikt. Även om man når det önskade värdet på 116 W/kg så krävs över 10 kg legering per kW kyleffekt. Värmefaktorn måste också ökas betydligt för metallhydridsystemen om de skall kunna konkurrera med konventionella absorptionssystem.

Det har också nämnts att legeringarna idag betingar alltför höga priser och detsamma gäller även hela apparaten.

Eftersom legeringar - hydridmetaller - hittills enbart finns i fast form i reaktorerna så är endast diskontinuerliga processer möjliga. Man har diskuterat uppslamning av metallen i någon fluid som en möjlighet att åstadkomma en kontinuerlig process men ingenting i den vägen har ännu prövats. Säkerhetsaspekter på arbetsmediet - vätgasfyllningen - har hittills inte heller slutgiltigt värderats.

6. Utvecklingsläge - experimentanläggningar

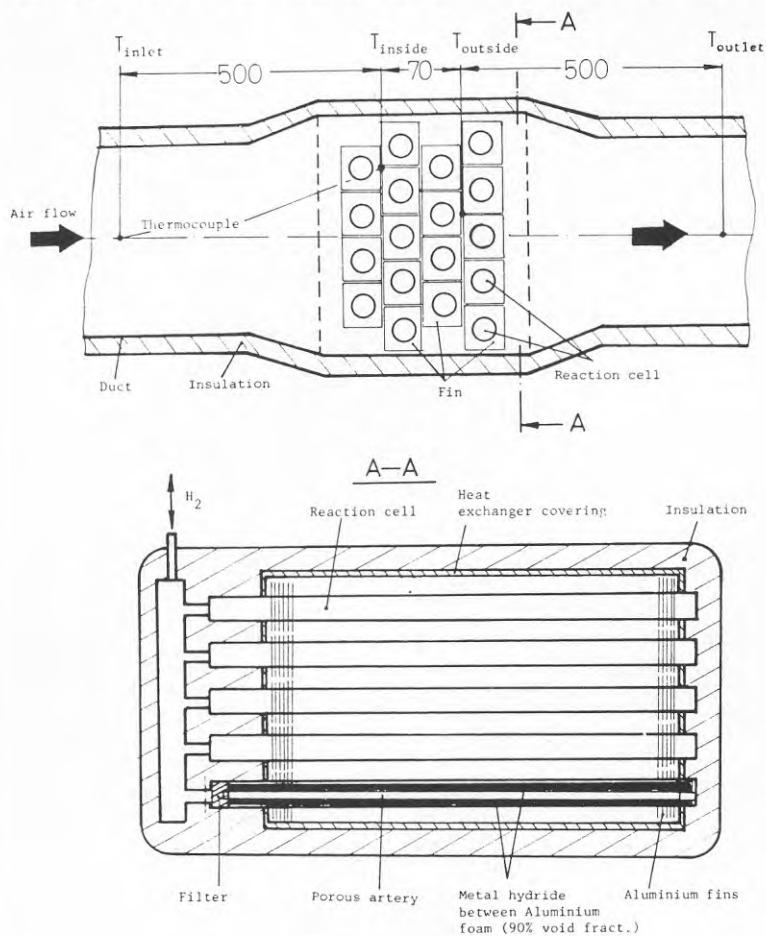
År 1980 startades ett 3-årigt utvecklingsprojekt finansierat av Japan Research and Development Corporation. Projektet gällde en soldriven värme- och kylapparat för småhus och drevs av Sekisui Chemical Industry.

I apparaten användes icke-stökiometriska LaNi- och LaNiAl-hydrider - totalt 90 kg. Kyleffekten uppges till 3.7 kW (med 65 kg hydridlegering) med en samtidigt effekt för varmvattenvärmning på 4.4 kW. För värmecykeln uppges snitteffekten för rumsuppvärmning till 10 kW och ca 3 kW för tappvattenvärmning. Momentana hydridingseffekten uppges till ca 200 W/kg legering.

Företaget Chuo Denki Kogyo har byggt en experimentanläggning för luftkylning. Drivenergin är varmluft på 140-160°C som erhålls som spillvärme vid svalning av stålgöt. Kylt vatten kan erhållas med en temperatur av ±0 - +15°C. För "kondensorkylningen" används ett kyltorn vid +32°C. Kyleffekten är 1.85 kW. Genomsnittliga hydrideffekten uppges till ca 90 W/kg legering. Cykeltiden (½ period) är 10 till 12 min inkl 1 till 3 min för uppvärmning resp nedkylning av reaktorn.

En 1-stegs experimentkylanläggning har provats sedan 1979 på Chemical Energy Research Laboratory, Kogakuin University i samarbete med Japan Metals and Chemical. Hydriderna i denna anläggning betecknas MnNi₄Fe₁O och LaNi₄Al_{0.3}. Anläggningen är avsedd för kylning av luft inom området +5 - +20°C med hjälp av 140°C varmluft som drivenergi och utomhusluften som värmesänka.

Varje värmväxlarepaket består av 18 reaktorceller med diametern 25 mm och längden 360 mm. Varje cell innehåller 0.5 kg metallhydridpulver och totala fyllningen är således ca 9 kg. Metallhydridpulvret är inlagt i en struktur av aluminium (Aluminium Foam).



Figur 9 Metallhydridreaktor med värmväxlareyta mot luft (prototyp).

Kylapparaten har provats under olika driftsförhållanden varvid man också försökt optimera parametrar såsom cyklingstid och vätgasfyllningens storlek.

Man har mätt upp en kyleffekt på ca 1.2 kW. Tiden per $\frac{1}{2}$ -period var ca 13 min och vätgasfyllningen per reaktorrör ca 1.6 liter av normaltillstånd. De olika luftflödenas storlek har viss inverkan på effekten. Följande luftflöden förbi växlarna har bl a använts

Kylkretsen	380 m ³ /h
"Kondensor"kretsen	1100 "
Drivenergikretsen	1000 "

Köldfaktorn ligger inom området 0.2-0.4 (s k COP actual).

Även tvåstegs experimentanläggningar, dvs med 3 olika typer av metallhydrider, har byggts. Sekisui Chemical Industry har tillämpat en sådan lösning i ett värmepumpprojekt för bostäder stött av Japan Research and Development Corporation startat 1980. Prof. Sudas laboratorium har tillsammans med några företag utvecklat ett 3-reaktorsystem för att generera ånga av +150°C med hjälp av spillvärme med temperatur under +100°C. Inom ramen för ett 3-årsprojekt som startade 1983 har man byggt en liten testanläggning med en kyleffekt på ca 7 kW (2 USRT) som skall generera värme vid +120°C med hjälp av vatten av +80°C. På den varma sidan används ett hetoljesystem och lågvärdigt värme avleds till omgivningen via ett kyltorn. Prov med denna utrustning pågår.

Prof Sudas laboratorium håller också på med konstruktionsarbete gällande en något större kylanläggning, som skall provas under verkliga förhållanden i en byggnad under uppförande inom universitetsområdet dit för övrigt energilaboratoriet skall flytta under nästa år.

7. Konkurrerande värmepump tekniker

Andra värmepump tekniker med liknande allmänna egenskaper, dvs värmedrivna, tystgående system med få rörliga delar, är som ovan nämnts de konventionella absorptionssystemen, som åtminstone när det gäller större aggregat är helt kommersiella idag. Det som närmast liknar metallhydrider är de s k Zeoliterna, som är fasta adsorptionsmedel. Peltier-apparater arbetar också tyst och utan rörliga delar men kräver el (likspänning) som drivenergi.

8. Energilagring

Det har antytts att metallhydridprocesser skulle kunna användas i samband med lagring av lågvärdigt värme.

Även med 1.5 vikts-% väte per kg metall, som ännu inte uppnåtts, så är det fråga om en hydreringsenergi på $0.015 \cdot 12.5 = 0.19$ MJ/kg metall. För ett komplett system erfordras två reaktorer och energin per kg metall blir således högt räknat 0.1 MJ/kg = 100 kJ/kg metall oräknat höljen. Det bör också framhållas att det egentligen är drivenergi, som lagras på samma sätt som i det svenska Tepdius-systemet. Utöver reaktorerna krävs alltså ett egentligt lager för lågvärdigt värme. Antas exempelvis isfrysning så kan ett 1-stegs reaktorsystem höja temperaturen till möjligen +30 ä +40°C. Därför erfordras för 1 kWh avgiven värme ca 11 kg vatten och ca 40 kg reaktormetall, vilket alltså exklusive höljen ger en vikt på >50 kg/kWh. Detta kan jämföras med att 50 kg vatten ackumulerar 1 kWh vid en temperaturändring på ca 17°C.

Energilagring med hjälp av metallhydrider är alltså för närvarande inte praktiskt-ekonomiskt tänkbar.

EN STOR VÄRMEPUMP FÖR HÖGA TEMPERATURER

- ett amerikanskt experimentbyggnadsprojekt

1. Inledning

Westinghouse Electric Corporation i Pittsburgh, USA, har på uppdrag av Department of Energy, DOE, projekterat, byggt och provkört en eldriven kompressorvärmepump avsedd i första hand för värmeåtervinning inom vissa industrier.

Den byggda experimentanläggningen har följande huvuddata:

- typ 2-stegs turbokompressor
- avgiven effekt 33 MBtu/h = cirka 10 MW
- värmebärare ånga
tryck 63 psig = 4,4 bar ö, 177 °C
- värmekälla ånga 10 psig = cirka 0,7 bar ö,
115 °C
- arbetsmedium metanol
- värmefaktor 4,5
- eleffektbehov 2,2 MW.

Anläggningen har provkörts laboriemässigt under tiden december 1983 till november 1984 med tillfredsställande resultat och har därefter endast underhållits. Avsikten var att efter provdriften flytta anläggningen till någon lämplig industri för att få driftserfarenhet under verkliga förhållanden och för att skapa en demonstrationsanläggning men detta har inte lyckats. Westinghouse Electric har under tiden lämnat kyl- och värmepumpområdet och har därför inte längre något intresse av en exploatering. Experimentanläggningen är i princip till salu.

I det följande beskrivs projektet kortfattat.

2. Målsättning

Målsättningen för projektet, som delvis formulerats av DOE, var att visa på möjligheterna att bygga en värmepump användbar för värmeåtervinning i industrin. Följande mål uppställdes:

- temperatur på avgivet värme 250-350 °F
(121-177 °C)
- värmekälla spillvärme med temperatur
180-250 °F (82-121 °C)
- värmefaktor, lägst 3
- pay-off-tid, högst 3 år
- effektområde (avgivet värme) 10-50 x 10⁶ Btu/h
(cirka 3-15 MW)
- god tillgänglighet och måttliga service- och underhållskostnader

- helautomatisk drift, god följsamhet till varierande ångbehov, enkel för normal kraftcentralpersonal att starta, driftövervaka och avställa.

3. Systemval

Kravet på hög värmefaktor gjorde att någon form av kompressorvärmepump måste väljas. Drivenergiformen har inte närmare diskuterats utan eldrift synes ha varit mer eller mindre en förutsättning. Mottrycksångturbin kunde ha varit ett annat sätt att driva kompressorn.

Så ångkompression, dvs direkt kompressions av vattenånga med hjälp av kompressor, är ett alternativ som övervägts. En nackdel med en sådan lösning är de föroreningar, som ofta finns i det tillgängliga spillvärmemediet. Svårigheterna kan undvikas genom värmväxling på förångaresidan. Vatten kan då fortfarande användas som arbetsmedium och den komprimerade ångan direkt användas vilket gör att kondensorn kan utgå. Vid aktuella temperaturer blir det fråga om stora volymflöden med vattenånga. Detta tillsammans med vattnets relativt låga molekylvikt leder till en stor och dyrbar kompressor. Man har uppskattat att med vatten som arbetsmedium skulle anläggningskostnaden stiga med mer än 1/3 trots att kondensorn då kan utgå.

4. Val av arbetsmedium

Som ovan nämnts var det angeläget att försöka välja ett annat arbetsmedium än vatten och inom projektets ram undersöktes en rad tänkbara medier.

Följande kriterier uppställdes:

- kritisk temperatur lägst 400 °F (204 °C)
- kokpunkt högst 180 °F (82 °C)
- termiskt stabilt upp till 400 °F (204 °C)
- självantändningstemperatur över 350 °F (177 °C)
- ej explosionsbenäget
- ej extremt giftigt eller cancerogent.

Av cirka 1000 övervägda ämnen kunde cirka 100 anses följa kravspecifikationen ovan. En utvärdering gjordes med följande kriterier som grund:

- inverkan på ekonomi vad gäller COP, kompressorstorlek och värmväxlareytor
- pris på själva mediet
- flampunkt och giftighet.

Av tänkbara medier detaljundersöktes 11 stycken. Slutligen valdes metanol, CH₃OH, av följande skäl:

- högt COP-värde

- liten kompressor
- låg kokpunkt men något högt systemtryck
- tillfredsställande stabilitet
- lågt pris.

Metanol ansågs dessutom tillfredsställande ur säkerhetssynpunkt. Explosionsgränsen ligger vid cirka 7 % i luftblandning varför god ventilation och minimering av läckageriskerna krävs.

Termisk och kemisk stabilitet har långtidsprovats under mer än ett år för flera alternativa medier, dels rena sådana i slutet rör, dels medier i kontakt med olika material som kan tänkas förekomma i ett system, vid temperaturer upp till 500 °F (260 °C).

5. Experimentanläggningens uppbyggnad och funktion

Experimentanläggningens uppbyggnad och huvudkomponenter framgår av figur 1. Man har utgått ifrån att det spillvärme, som skall utgöra värmekälla, finns i form av lågtrycksånga vilket är fallet i många processindustrier. Lågtrycksången kondenseras på utsidan av tuberna i den horisontella tubpanna, som utgör systemets förångare. I sugledningen mellan förångaren och kompressorn finns en överhettare värmd av högtrycksvätskan. Överhettaren är till för att säkerställa att inte metanol i droppform finns inblandad i suggasen till kompressorn.

Enligt processdiagrammet, figur 2, synes man räkna med en överhettning vid kompressorinloppet på 8 å 10 K. Droppformigt medium i kompressorinloppet ger förutom sänkt kompressorkapacitet risk för erosionsskador i kompressorn.

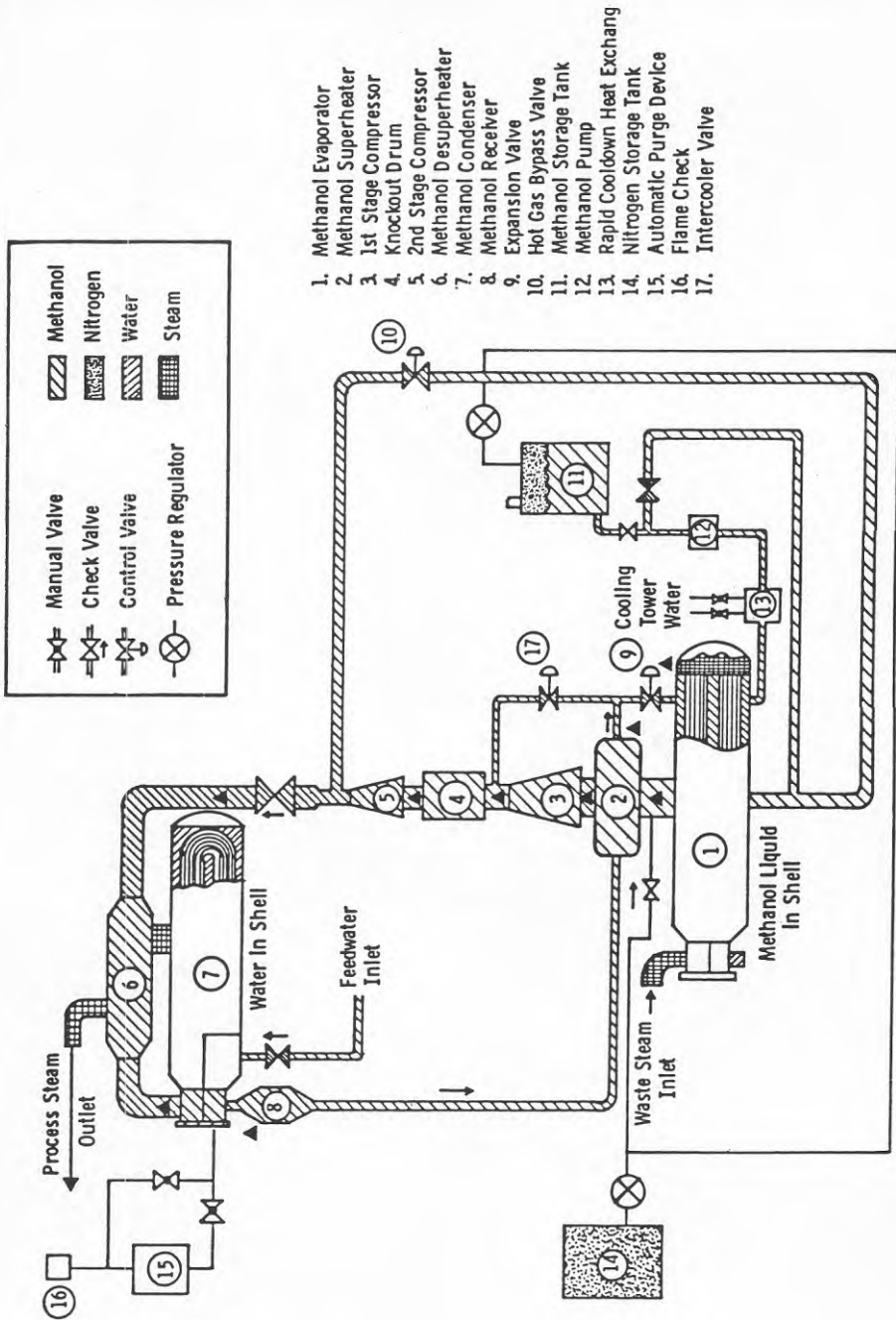
Den valda kompressorn är en 2-stegs-turbomaskin med två parallella axlar drivna från en gemensam kuggväxel. Varvtalen är 23500 respektive 31200 varv/min för låg- respektive högtrycksstegets rotorerna. Kompressorn är levererad av Atlas Copcos amerikanska företag Turbonetics.

Rotorernas oljesmorda lager med tillhörande labyrinttätning är skild med en torrlöpande axeltätning mot metanolsidan genom en mellanliggande kammare. Denna ventileras med tryckluft så att den metanol, som passerar axeltätningen, tas om hand på ett kontrollerat sätt. Olja blandas inte in i arbetsmediet.

Kompressoraggregatet är försett med värmare, pump och kylare för olja samt indikatorer för läckage och vibrationer. För att höja värmefaktorn och sänka temperaturen i utloppet från högtryckssteget användes vätskeinsprutning mellan kompressorstegen så att överhettningen vid inloppet till högtryckssteget är cirka 3 K. För att säkra högtryckssteget mot vätskeslag finns en droppavskiljare, som dräneras till förångaren.

Arbetsmediets överhettning vid utloppet från kompressorernas högtryckssteg utnyttjas för att i en särskild ångöverhettare överhettas den i kondensorn genererade vattenången upp till cirka 30 K.

Kompressordrivmotorn är en 2-polig 3-fasmotor med en nominell avgiven effekt på 1840 kW och avsedd för 4,2 kV.



Figur 1. Principschema för 2-stegsvärmepump.

Kondensorn är en horisontell tubpanna med rensbara tuber av kolstål och konstruerad för cirka 21 bars övertryck på metanolsidan. I förångaren används tuber av rostfritt stål - motsvarande SIS 2347.

6. System för styrning och säkerhet

Förångaren rymmer i manteln huvuddelen av systemets metanolfyllning och normalt ligger nivån kokande medium över det högst belägna tubskiktet. Nivån indikeras och om den tenderar att sjunka tillförs mer metanol från en trycksatt lagertank. Expansionsventilen styrs som en högtrycksflottörventil, d v s på så sätt att vätska alltid finns i den s k receivern (pos 8 i figur 1).

Om förändringar i ångbehov eller spillvärmertilgång gör att systemets driftsförhållanden tenderar att bli onormala så öppnas en bypassventil mellan hög- och lågtryckssidan. Avgiven kondensoreffekt kan därigenom regleras ner till den blir lika med tillförd motoreffekt.

Arbetsmediesystemets tryck kan vid avstängning bibehållas genom ett nitrogensystem. För snabbnedkyllning efter avställning finns en värmeväxlare kyld med kyltornsvatten och en cirkulationspump. Kontrollerad avblåsning av metanol kan endast ske via en s k "flame check". Anrikning av metanolånga i omgivningsluften genom läckage kontrolleras genom ett automatiskt detektorsystem. Explosionsrisk föreligger om metanolhalten i luften blir över 7 %.

7. Designdata och provningsresultat

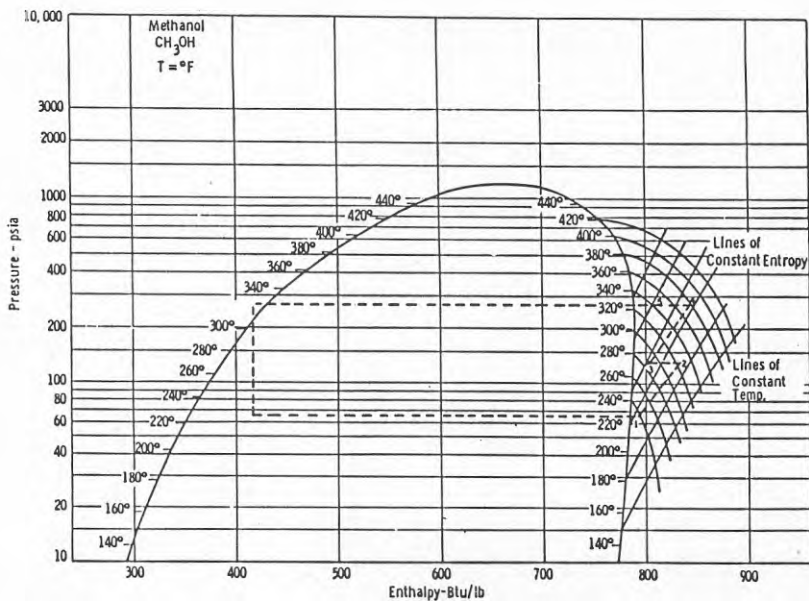
Anläggningen har följande designdata:

- kapacitet (kondensoreffekt)	8,8 MW
- driveffekt	1,84 MW
- värmefaktor	4,7
- spillvärme, ånga	11-13,5 ton/h, 0,7 bar
- genererad ånga	15 ton/h, 4,4 bar, cirka 10 K överhettad.

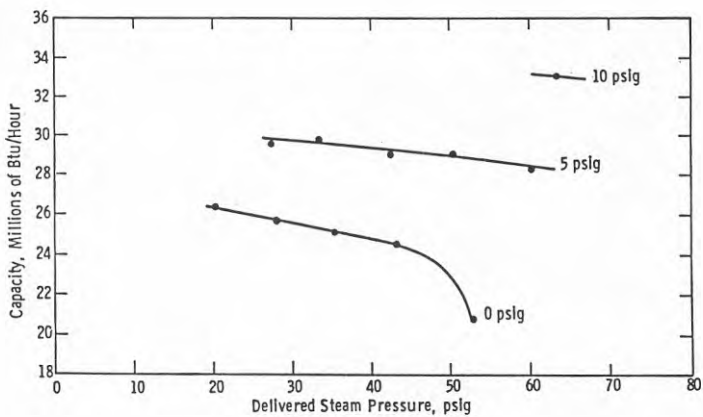
Uppmätta kapacitetsdata framgår av diagrammet i figur 3.

Anledningen till att endast en enstaka punkt erhållits vid den högsta förångningstemperaturen (spillvärmekällans ångtryck cirka 0,7 bar) var att elmotorn och elnätet var alltför knappt dimensionerade.

Värmefaktorn ligger inom området 4,5-5 och Carnot-verkningsgraden cirka 0,35-0,4 om den beräknas på basis av temperaturerna, som motsvarar vattenångtrycken på hög- respektive lågtryckssidorna. Carnot-verkningsgraden skulle bli högre om den i stället räknades på de aktuella förångnings- och kondenseringstemperaturerna men dessa värden är inte tillgängliga.



Figur 2. Processen i h-logp-diagram för metanol.



Figur 3. Kapacitetsdiagram - provningsresultat.

8. Slutsatser

Med ledning av det ovan beskrivna FoU-projektet drogs följande slutsatser:

- stora värmepumpar för återvinning av spillvärme från industriprocesser och generering av processånga kan ge stora energikostnadsbesparingar och erbjuda korta återbetalningstider om elkraft är tillgänglig till moderata priser
- den aktuella 2-stegsanläggningen har visat goda resultat beträffande kapacitet och värmefaktor. Kontinuerlig drift har demonstrerats under 11 dygn och inga tecken på bristande tillgänglighet har då iakttagits
- värmepumpar för höga temperaturer kan förväntas bli ekonomiska, applicerbara i både befintliga och nya industrianläggningar, tillförlitliga och lättskötta.

SCROLL-KOMPRESSORN

Företaget Hitachi Ltd i Japan har utvecklat en ny typ av kylkompressor, som benämnes SCROLL.

1. Uppbyggnad och funktion

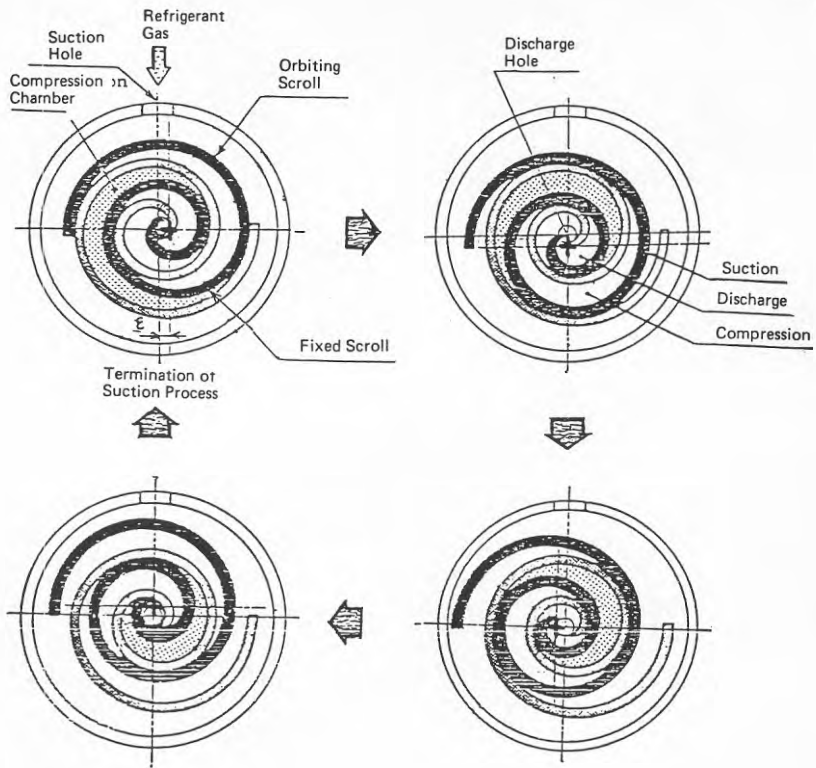
Kompressorn består av två s k Archimedes spiraler, var och en monterade på en plan platta. När spiralerna läggs i varandra, som visas i figur 1, så bildas i utrymmet mellan spiralerna och plattorna 4 stycken halvmånformade och slutna rum. När den ena spiralen rörs i förhållande till den andra så flyttas de slutna hålrummen från periferin mot centrum samtidigt som deras volym minskas. Gas kan alltså sugas in från det yttre utrymmet, sugkammaren, komprimeras kontinuerligt och strömma ut genom en öppning i den ena spiralplattans centrum. Figur 2 visar själva kompressormekanismen och figur 3 en komplett eldriven kompressor i hermetiskt utförande.

Det bör observeras att den rörliga spiralen inte roterar kring sitt centrum. Rotationen förhindras genom en ringformad mekanism med styrklackar som benämnes Olham's koppling.

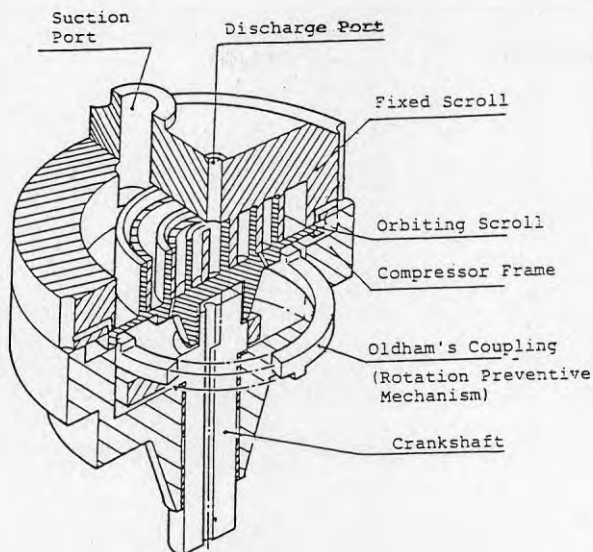
Suggasen leds direkt in i sugkammaren mellan spiralplattorna. Högtrycksgasen strömmar ut centralt högst upp i kompressorhöljet och passerar förbi kompressordel och elmotor. Motorn kyls således med högtrycksgas. Nedre delen av höljet fungerar som oljeavskiljare och oljesump. Den rörliga spiralplattan har också en viss rörlighet i axiell led och hålls tryckt mot den fasta spiralplattan av trycket i en kammare, som står i förbindelse med en mellantrycksnivå. Smörjoljan transporteras av övertrycket i oljepumpen genom ett hål i axeln till lager och till ovannämnda mellantryckskammare, varifrån den strömmar in och smörjer spiralplattorna samt följer med köldmediet till högtryckssidan.

Kompressorn skyddas mot skadliga tryck vid vätskeslag genom den rörliga spiralplattans axiella rörlighet som gör att tryckutjämnning kan ske inom kompressorn.

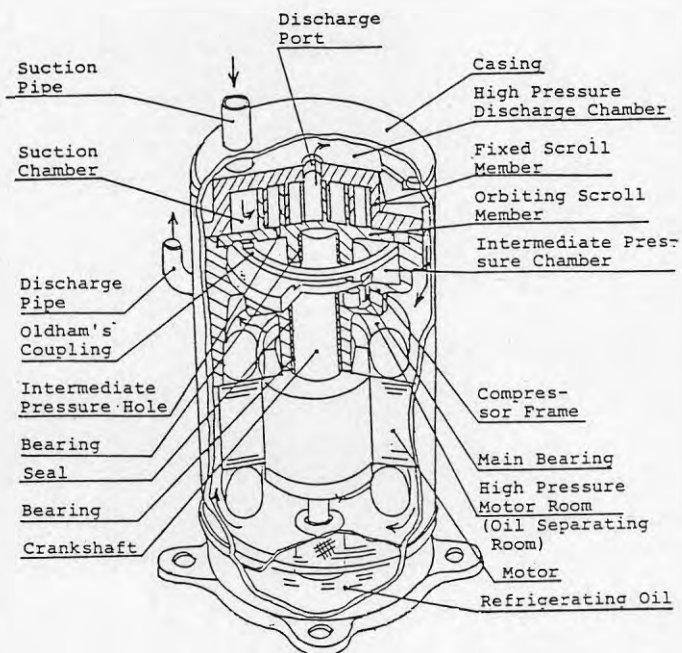
Kompressorn saknar helt ventiler, vilket anses vara en av konstruktionens stora fördelar. Detta innebär dock att den inkopplad mellan hög- och lågtryckssidan i ett kylsystem roterar baklänges när strömmen till motorn bryts. För att hindra detta är kompressorn normalt försedd med en backventil i sugledningen. Jämfört med den konventionella kolvkompressorn saknar Scroll-kompressorn skadligt rum, vilket ger högre verkningsgrad.



Figur 1. Principskiss visande scroll-kompressorns verkningssätt.



Figur 2. Scrollmekanismen i detalj.



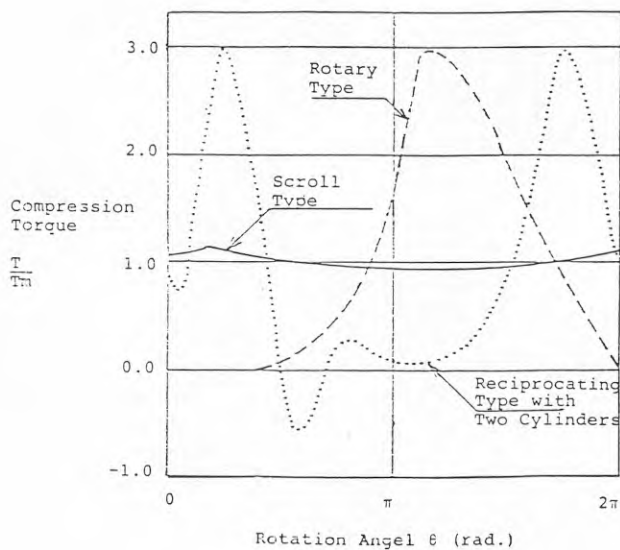
Figur 3. Hermetisk scrollkompressor i genomskäring.

2. Egenskaper

Volymetriska verkningsgraden uppges vara 30 och adiabatiska verkningsgraden 10 % högre än för en normal kolvkompresor. Kompressionen sker också helt kontinuerligt vilket ger praktiskt taget konstant vridmoment och lägre ljudnivå.

Kompressorn kan med s k inverter varvtalsregleras inom området 1800-4500 r/min. Den anses klara även stora tryckförhållanden exempelvis driftsförhållandena $-15/+60$ °C med R12 vilket innebär tryckförhållandet > 8 (8,3).

Vridmomentets variation framgår av figur 4 för kolv-, rotations- och scrollkompressorer. Det kan noteras att både kolv- och rotationskompressorn har kraftigt varierande moment och för den förstnämnda är det t o m negativt under en liten del av varvet medan vridmomentet för en scrollkompressor är praktiskt taget konstant.



Figur 4. Vridmomentets variation för scroll-, rotations- och kolvkompresorer.

3. Storlekar

Hitachi anger följande data för tre olika storlekar av scroll-kompressorer:

- typbeteckning	250 RHV	300 RHV	400 RHV
- axeleffekt, kW	0,85-2,2	1,1-3,0	1,5-3,75
- slagvolym, cm ³ /varv	37,5	45	62,4
- varvtal, r/min	1800-4500	1800-4500	1800-4500
- teoretiskt volymflöde, l/s	1,13-2,81	1,35-3,38	1,87-4,68

Tillåtet arbetsområde för scrollkompressorer framgår av figur 5.

Som gränser för tillåtna driftsvärden anges:

- motorlindningens temp max 135 °C
- kompressorhöljets botten temp max 120 °C
- tryckrörstemp max 120 °C
- startfrekvens max 6 ggr/h

4. Ekonomiserkoppling

Scrollkompressorn kan relativt enkelt förses med en extra insugningsöppning på mellantrycksnivå, som kan utnyttjas för s k ekonomiserkoppling på samma sätt som vid skruvkompressorer. Kapaciteten uppges härigenom kunna ökas med ca 15 %. Köld- respektive värmefaktor förbättras givetvis också genom ekonomiserkoppling.

Principen framgår av figur 6.

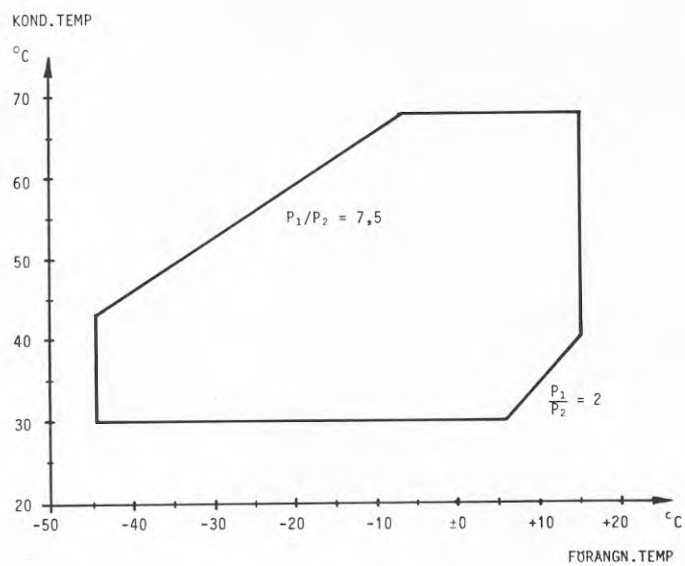
5. Utveckling

Scroll-principen har varit känd länge och lär finnas beskriven i patensskrifter från år 1904.

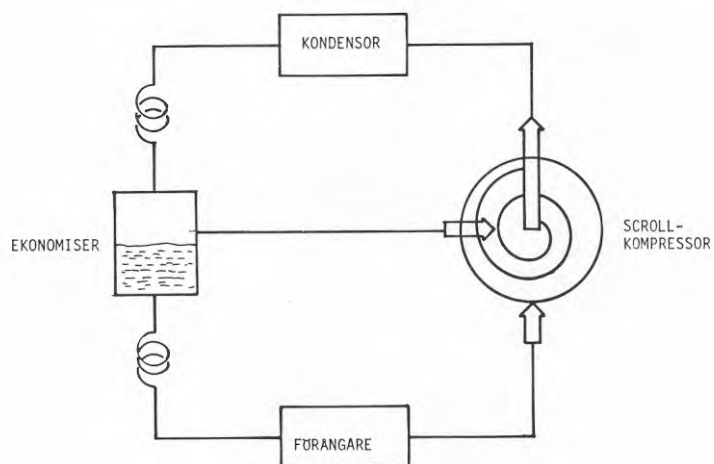
Hitachi anger två skäl för att den nu har kunnat börja tillämpas nämligen:

- med dagens verktygsmaskiner kan kompressor- detaljerna tillverkas med tillräcklig precision till konkurrenskraftigt pris
- den av Hitachi utvecklade metoden att med hjälp av en mellantryckskammare pressa den rörliga scroll-plattan mot den fasta med en lämpligt avpassad kraft.

Hitachi tillverkade under 1985 ca 40 000 scroll-kompressorer och tillverkningskapaciteten byggs för närvarande ut kraftigt. De flesta konkurrenterna i Japan uppges ha scrollkompressorer under utveckling men under 1985 var Hitachi det enda företag som marknadsfört den som komponent i företagets room air conditioners, vilka för övrigt under 1986 kommer att saluföras i Europa.



Figur 5. Tillåtet arbetsområde för scroll-kompressor med R22.



Figur 6. Scroll-kompressor i s k ekonomiserkoppling.

Copeland Corporation i USA, som är den ledande kylkompressortillverkaren, följer nogsam utvecklingen i Japan och uppger sig tro obetingat på scroll-principen för framtidens kylkompressor. Företaget, som är enbart komponenttillverkare, har utvecklat en egen scroll-kompressor som täcker ett kapacitetsområde något över det som Hitachi för närvarande täcker. Fältprov med en 0-serie pågår.

Hitachi, Copeland med flera uppger att scrollkompressorerna troligen kommer att användas även som tryckluftkompressor inom en snar framtid. Detta skulle medföra tillverkning i verkligt stora serier och därmed mycket konkurrenskraftiga priser.

BILAGA 4

AVANCERAD ELDRIVEN VILLAVÄRMEPUMP UTVECKLAD I USA

En s k "avancerad" villavärmepump utvecklades under åren 1979-83 av Westinghouse Electric Corp på uppdrag av US Department of Energy, DOE.

1. Målsättning och teknisk lösning

Målsättningen var att utveckla en luft/luft-värmepump lämpad för kallare klimat och med en genomsnittlig energiförbrukning minst 20 % lägre än den bästa som fanns på marknaden i USA 1979.

Projektet resulterade i en värmepump i s k "split"-utförande, som i princip framgår av figur 1 och som innebär att utomhusdelen består enbart av en fläckkylare (förångare/kondensator) medan kompressorn och all övrig utrustning placerats i inomhusdelen.

I den energisnåla konstruktionen ingår:

- en speciellt utvecklad effektiv kolvkompressor med olika slagvolym och skaldigt rum beroende på rotationsriktningen, s k "dual-stroke"
- en speciell 1-fas kompressordrivmotor med hög verkningsgrad
- en effektiv centrifugalfläkt med bakåtböjda skovlar i inomhusdelen
- en väl utformad axialfläkt i utomhusdelen
- högeffektiva 2-hastighets fläktmotorer
- styrsystem med mikroprocessor och elektriskt styrd expansionsventil.

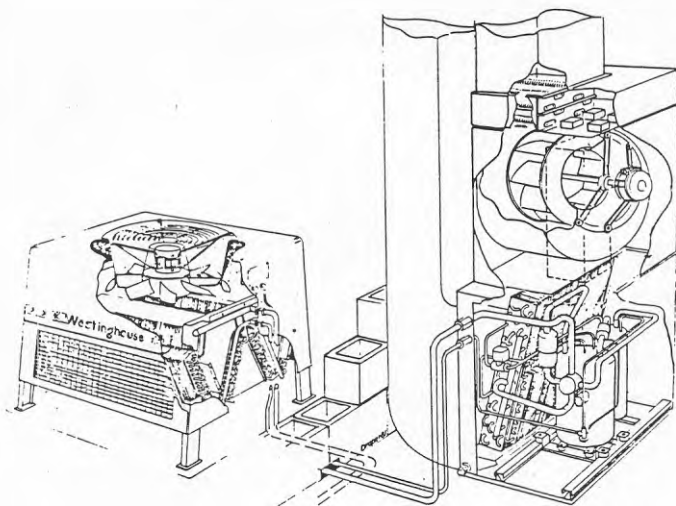
Man uppger sig ha optimerat konstruktionen genom avvägning av värmeväxlareytor, luftflöden, kompressorstorlek och förhållandet mellan hög och låg kapacitet för att ge lägsta årskostnad för en nyttjare i s k "northern climate".

I värmedriftfallet skall luften vid utloppet vara lägst 90 °F (32 °C) och i kylfallet skall förhållandet kännbart /totalt värme vara högst 0,7.

Värmepumpen har en nominell kyleffekt på 3,5 US tons of Refrigeration (cirka 12 kW). Efter komponentutprovning i laboratorium byggdes och fältprovades två prototypenheter med gott resultat.

Konstruktionen har hittills inte exploaterats och är för närvarande till salu.

Beträffande konceptet kan för övrigt nämnas följande.



Figur 1. Luft/luft-värmepump i split-utförande med kompressorn placerad i inomhusdelen.

2. Systemuppbyggnad

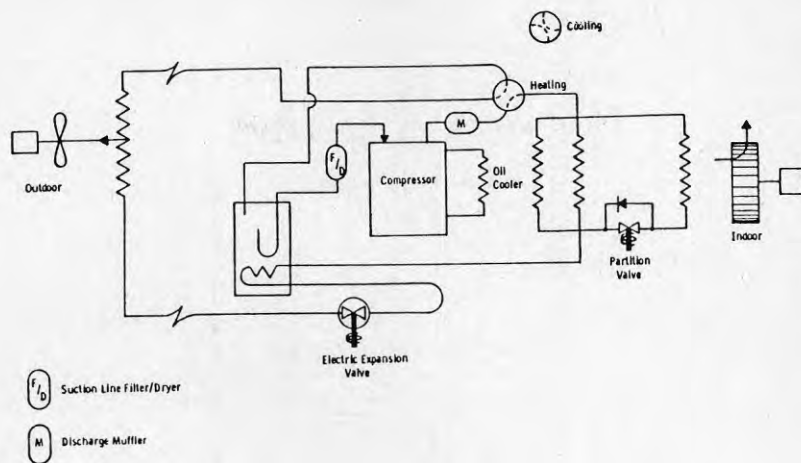
Systemuppbyggnaden framgår i princip av schemat figur 2 och det är alltså fråga om en luft/luft värmepump omkopplingsbar för kyl-drift, s k luftkonditionering. Kyldriftläget används givetvis också för varmgasavfrostning under värmepumpdrift.

I principalschemat kan för övrigt noteras följande:

- kompressorn är försedd med extra oljekylning och tryckutjämningskärl, s k muffler, i tryckledningen för att minska bulleralsträngen
- vätskeavskiljare finns i sugledningen för att skydda kompressorn för vätskeslag och avskiljaren värms av vätskeledningen
- expansionsventilen är elektriskt styrd
- en del av batteriytan i inomhusdelen kan i kylfallet kopplas bort för att vid behov kunna åstadkomma förhöjd avfuktning.

Beträffande uppbyggnaden och placeringen av den tekniska utrustningen kan för övrigt nämnas att kompressorn m m, som avger värme, placerats i inomhusdelen så att förlusterna i värmepumpdriftfallet kommer huset tillgodo. Det vanligaste är annars att kompressorn i s k "split system room air conditioners" placeras i utomhusdelen för att minska utrymmesbehov och risken för buller inomhus.

Beträffande komponenterna må följande nämnas.



Figur 2. Principalschema (värmepumpdrift).

3. Kompressor

En speciell hermetisk kolvkompressor, benämnd "dualstroke", har utvecklats. Utrustning och uppbyggnad framgår av figur 3.

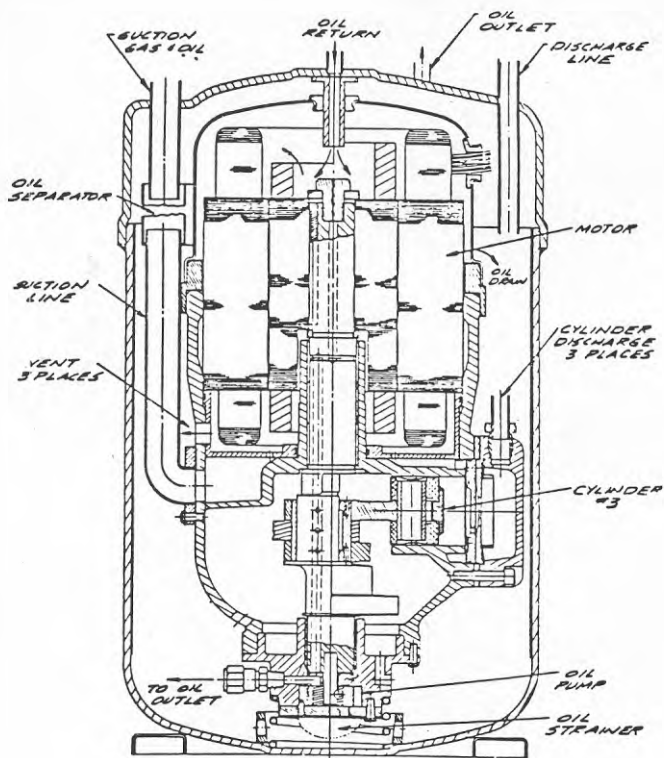
Mellan vevaxel och vevstakarna finns en speciell mekanism, som gör att slaglängd och skadligt rum blir olika beroende på rotationsriktningen.

Principen för nämnda mekanism framgår av figur 4. Avsikten är att på ett mycket enkelt och billigt sätt få en kompressor med omkopplingsbar kapacitet vilket är önskvärt särskilt i system med luftburen värme.

Elmotorn är också specialkonstruerad för ändamålet och så utformad att verkningsgradsmaximum (cirka 89 %) uppnås vid två olika belastningar, cirka 1 respektive cirka 3 kW, anpassade till de två ovannämnda kompressorkapaciteterna beroende på rotationsriktningen. Man uppger att en konventionell elmotor har en maximal verkningsgrad på cirka 86 %. Verkningsgraden sjunker cirka 1 % om effekten avviker ± 20 % från bästa driftpunkt.

Hermetiska kompressorer kyls vanligen av det genomströmmande gasformiga köldmediet. Här har man istället valt att kyla via oljan, som cirkuleras med en oljepump fungerande oberoende av rotationsriktningen.

Suggasen leds till en särskild sugkammare och ytterhöljet fungerar som oljeavskiljare och tryckutjämningsbehållare på högtryckssidan. Det uppges att man jämfört med en suggaskyld kompressor ökat kapaciteten med 3 till 12 % och köldfaktorn med 6 till 11 % beroende på driftförhållandena. Förbättringen ökar med sjunkande förångningstemperatur.



Figur 3. Kompressorn i genomskärning.

Olika typer av kompressorventiler hade provats och man valde ett tämligen speciellt ventilutförande, som icke oväsentligt ökade både kompressorkapacitet och värmefaktor. Detta indikerar att ventilutförandet vid kolvkompressorerna är betydelsefullt och ger plats för vidareutveckling såvida nu inte kolvkompressorerna av andra skäl kommer att ersättas av andra maskintyper.

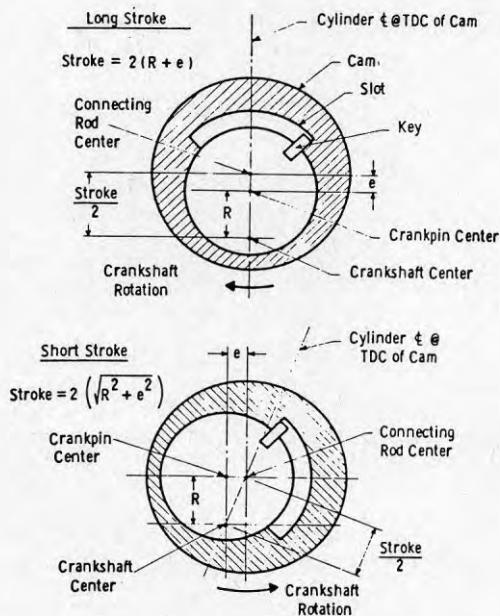
Den specialkonstruerade kompressorn anses:

- vara en billig, effektiv maskin med i två steg reglerbar kapacitet
- ha bättre prestanda än någon annan motsvarande kompressor på marknaden
- vara generellt applicerbar i avancerade värmepumpar och luftkonditioneringsutrustningar för villor.

För övrigt framhålls:

- att tilläggspriset för denna konstruktion jämfört med en helt konventionell kompressor kan motiveras med den energibesparing som kan erhållas i varje lämpligt kyl/värmsystem där den appliceras

- att vid serieproduktion - cirka 100 000 enheter per år - blir det här tillämpade sättet för omställbar kapacitet det billigaste av alla kända
- att förhållandet mellan max- och min-effekt kan förändras och är således en parameter vid systemoptimeringen
- att reglermekanismen är användbar endast för flercylindriga kompressorer av radialtyp - d v s med cylindrarna placerade i stjärnform.



Figur 4. Principen för "Dual-stroke"-mekanismen.

4. Utomhusdel

Utomhusdelen är en fläktkylare med speciell utformning - jämför figur 1. De är försedd med 2 par V-ställda flänsbatterier med 3 rördjup. Flänsdelningen är 13 flänsar/tum, d v s cirka 2 mm och med flänstjockleken 0,11 mm blir det fria avståndet således cirka 1,9 mm vilket är förvånansvärt med hänsyn till driften som förångare med kondensutfällning respektive frost!

Man uppger sig ha lagt ner ett betydande utvecklingsarbete på hela utomhusdelen och särskilt på dess fläkt. Det uppges att effektbehovet är cirka 150 W som är cirka 100 W lägre än för en konventionell fläkt. Luftflödet är cirka 1,4 m³/s. Ljudnivån anses vara låg.

5. Inomhusdel

Inomhusdelen innehåller fläkt, kompressor, kondensor/förångarebatteri och övriga kyltekniska komponenter.

En typisk konventionell luft/luft-värmepump uppges ha ett cirkulerande luftflöde på cirka $0,75 \text{ m}^3/\text{s}$. Tryckfallet internt i aggregatet är cirka 125 Pa och externt cirka 90 Pa.

Den valda och speciellt utformade fläkten är en enkelsugande centrifugalfläkt med bakåtböjda skovlar.

Eleffektbehovet är cirka 400 W, som uppges vara cirka 50 % av behovet för fläkten i en konventionell utrustning.

6. Köldmediesystem och styrutrustning

Westinghouse har tidigare under mer än 10 år tillverkat och marknadsfört en värmepump som arbetade med s k flödande förångare och med expansionsventilen (självverkande mekanisk) styrd av underkylningen efter kondensorn. Principen för det s k Hi-Re-Li-systemet framgår av figur 5. Systemet har framförallt den fördelen att förångaren utnyttjas väl men det har också vissa nackdelar, bl a är den speciella backventilkombinationen en känslig komponent.

Den nu valda principen framgår av figur 6. Här använder man bl a en elektrisk expansionsventil styrd av en mikroprocessor. Vid värmepumpdrift styr man efter underkylningen och således med s k flödande förångare. Vid kyl drift styr man efter överhettningen vid förångareutloppet på samma sätt som med en konventionell termostatisk expansionsventil.

För att få ökad avfuktungsverkan i kyl driftfallet kan halva förångaren stängas av med en magnetventil.

I sugledningen finns en vätskeavskiljare av konventionellt utförande kompletterad med en vätskeledningsslinga för avkokning av vätskeformigt köldmedium, vilket krävs särskilt vid värmepumpdrift då man använder flödande förångare och s k underkylningsreglering.

Expansionsventilen är elektriskt styrd och av fabrikat Singer typ 625. Denna fungerar i princip som en självverkande termostatisk expansionsventil men bulbsystemet har ersatts av ett elvärt bimetallement. Köldmediet kan strömma igenom ventilen i bägge riktningarna beroende på driftfall, men kapaciteten är något olika beroende på strömningsriktning. Ventilen har här vänts så att största genomströmningen erhålles vid värmepumpdrift.

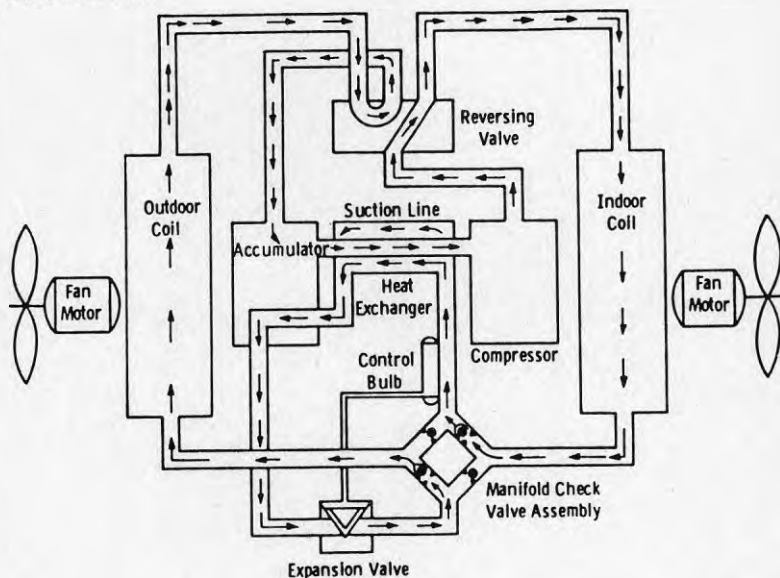
Ett flertal olika omkastningsventiler hade testats varefter man valde en ventil av fabrikat Product Engineering med en nominell kapacitet av 4 USRT (cirka 14 kW kyleffekt). Denna ventil hade litet läckage, lågt tryckfall och god tillförlitlighet men jämförelsevis hög grad av värmetransport mellan medieflödena. Detta har dock mindre inverkan på systemets funktion - värmefaktor - än gasläckage och tryckfall.

Trots att kompressorhöljet verkar som utjämningsbehållare på trycksidan så hade man inkluderat en utvändigt s k "muffler" i

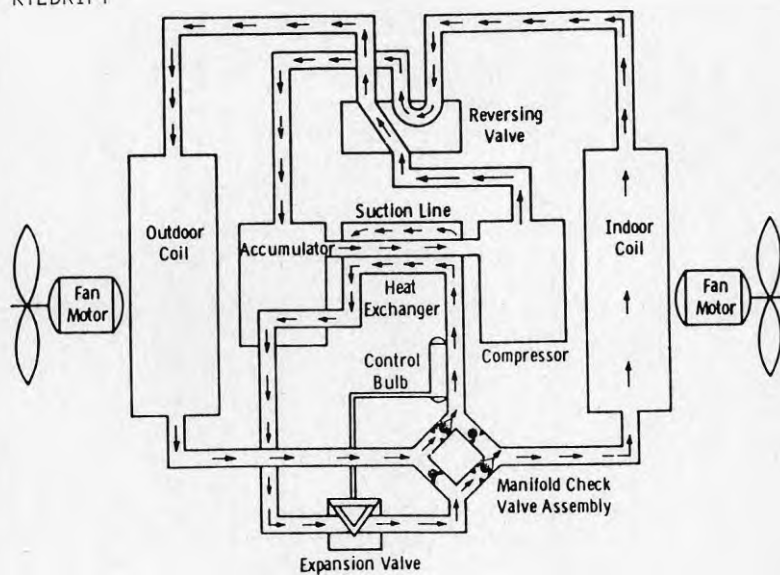
tryckledningen.

En standardkomponent av fabrikat Refrigeration Research typ PK - M5 1762 hade valts.

VÄRMEPUMPDRIFT

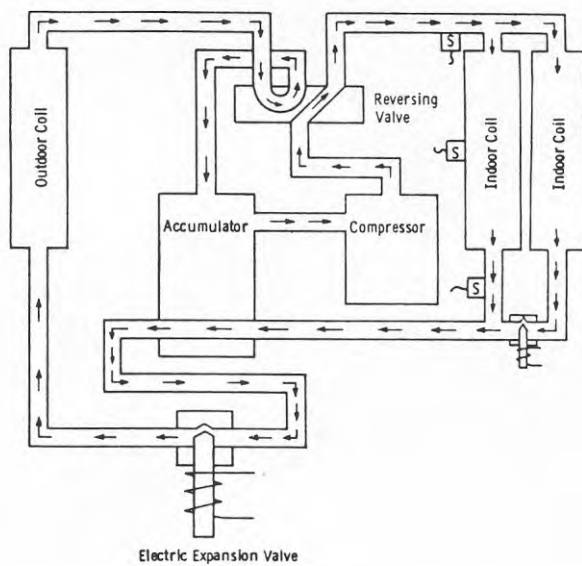


KYLDRIFT

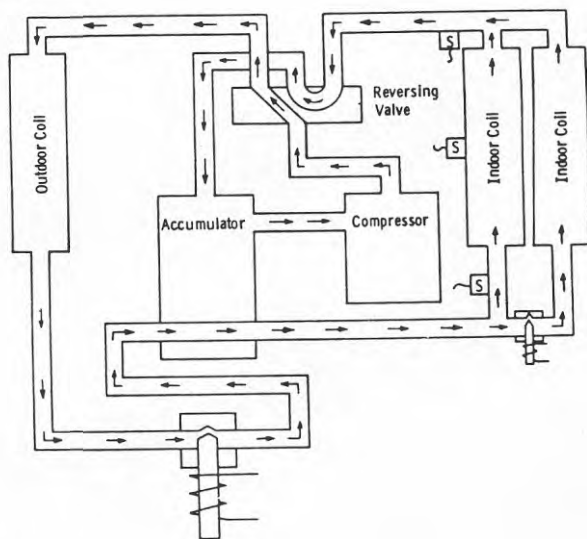


Figur 5. Principen för det s k Hi-Re-Li-systemet.

VÄRMEPUMPDRIFT



KYLDRIFT



Figur 6. Principen för system med underkylningsreglering i värmepumpdriftfallet och överhettningreglering i kyl driftfallet.

7. Styrutrustning

Som ovan antytts används för styrning och övervakning en mikroprocessor med följande funktioner:

- val av systemkapacitet
- sekvensstyrning med tidsfördröjningar av kontaktorer för kompressor, fläktar och tillsatsvärme (el)
- avfrostning
- reglering av spänningen till expansionsventilens bimetallelement
- felindikering och skyddsfunktioner.

Avfrostningsbehovet indikeras på två olika sätt. Avfrostningen startas i första hand om temperaturskillnaden mellan köldmediet i förångareinloppet och utetemperaturen överstiger ett inställt värde (vanligen 10 å 11 K) vid utetemperatur under cirka +5 °C. Avfrostning startas också om den ackumulerade drifttiden utan avbrott vid utetemperatur lägre än +5 °C överstiger cirka 4 timmar.

Avfrostningen stoppas också på två sätt antingen när köldmediets temperatur vid utloppet från utomhusbatteriet går upp till cirka +10 °C eller efter högst 10 minuter.

Förutom hög- och lågtryckspressostatfunktioner är en rad felsignal- och säkerhetsfunktioner åstadkomna med hjälp av mikroprocessorn.

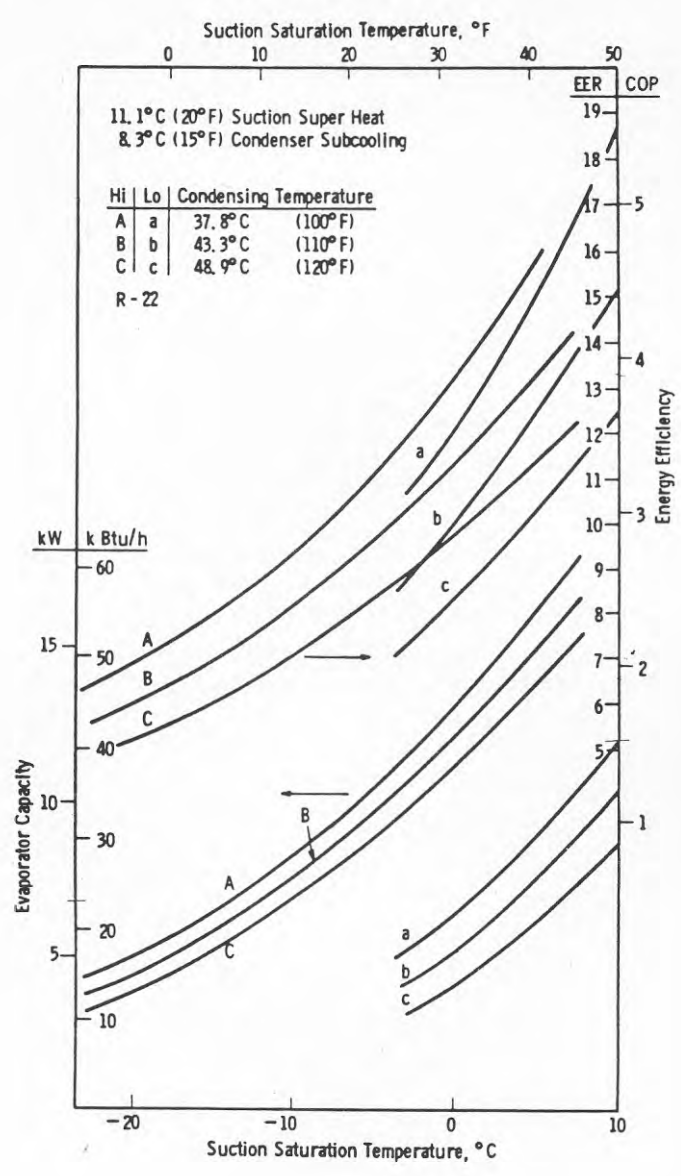
8. Kompressorprestanda

Den speciella kompressorn har tillverkats i några få exemplar, som provats i laboratorium och i ett par prototypexemplar av den ovan beskrivna luft/luft-värmepumpen.

Data redovisas sammanfattningsvis i figur 7 för köldmediet R22.

Av diagrammet framgår bl a att i högkapacitetsläget vid driftsförhållandena -10/+50 (+48,9) °C är kyleffekten 6,8 kW och köldfaktorn (COP) 2,05 vilket innebär att kondensoreffekten är cirka 10 kW och värmefaktorn cirka 3,0. Carnotska verkningsgraden är då cirka 0,55 som är ett gott resultat jämfört med de flesta konventionella kolvkompressorer. Det bör dock påpekas att värdena gäller för en tämligen kraftig underkylning i kondensorn (8,3 K) och en överhettning av cirka 11 K.

För en komplett värmepump visar provningsresultaten på en värmefaktor något över 3 vid utetemperaturen ±0 °C. Temperaturen på den värmda luften är då cirka ±35 °C och värmeeffekten drygt 10 kW.



Figur 7. Kapacitetsdiagram för "dual-stroke"-kompressorn.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 850403-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen
för installationsteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.**

R67: 1987

ISBN 91-540-4750-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707067

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 45 kr exkl moms