



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

R70:1988

**Absorptionsvärmepump
i Trollhättan**

Utvärdering

**Martin Wimby
Per-Åke Franck
Thore Berntsson**

R
Jew

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plag	fer

Byggforskningsrådet

R70:1988

ABSORPTIONSVÄRMEPUMP I TROLLHATTAN

Utvärdering

Martin Wimby
Per-Åke Franck
Thore Berntsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
841338-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till inst. för Värmeteknik och maskinlära,
Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

REFERAT

1984 installerades den första stora absorptionsvärmepumpen i Sverige. Värmepumpen drivs med ånga, koler ett kylvattensystem och levererar värme till fjärrvärmenätet i Trollhättan. Angan är 150-gradig och kylvattnets lägsta temperatur är 35 °C.

Under de 27 månader som utvärderingen pågått har kapacitetsutnyttjandet varit 63 %, vilket är bra med tanke på att det rör sig om en ny teknik.

Vid uppstarten hade man effektbortfall på grund av svårigheter vid anpassningen till fjärrvärmenätet. En värmeväxlarskada har orsakat ett 2 månader långt driftbortfall. I övrigt har värmepumpens tillgänglighet varit 100 %.

Värmepumpen kräver ett minimum av manuell övervakning.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R70:1988

ISBN 91-540-4930-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1988

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	6
1. INLEDNING	7
2. ABSORPTIONSVÄRMEPUMPAR - EN NY OCH SPÄNNANDE TEKNIK.	8
3. FJÄRRVÄRMESYSTEMET I TROLLHÄTTAN.	10
4. EKANOBELS VÄRMELEVERANS TILL TFAB.	11
5. ABSORPTIONSVÄRMEPUMPEN	12
6. MÄTSYSTEMET	14
6.1. Externa mätningar	14
6.2. Interna mätningar	15
6.3. Datainsamling	16
7. MÄTRESULTAT - EXTERNA MÄTNINGAR	17
7.1. Värmebalans	17
7.2. Varaktighet	18
7.3. COP	19
7.4. Kapacitetsutnyttjande	20
8. MÄTRESULTAT - INTERNA MÄTNINGAR	21
8.1. Litiumbromidcykeln	21
8.2. Absorbatorn.	21
8.3. Generatorn	22
8.4. Förångaren	23
8.5. Kondensorn	23
8.6. Lösningvärmeväxlaren och kondensatkylaren	24
8.7. Diskussion av interna mätningar	24
9. DRIFTSERARENHETER	25
10. VIBRATIONS- OCH KORROSIONSPROBLEM I GENERATORN .	26
10.1. Korrosionsangrepp	26
10.2. Tänkbara orsaker	27

10.3. Material	27
11. SLUTSATSER	28
TACKORD	29
BILAGOR	30
Bilaga 1. Processchema, fjärrvärmesystemet	30
Bilaga 2. Processchema, AVP och Ekanobel	31
LITTERATUR	32

Tabeller

Tabell 1. Primärdata värmebalans 1985-86.	17
Tabell 2. Korrigerade värmebalanser.	18
Tabell 3. Kapacitetsutnyttjande.	20
Tabell 4. Värmeväxlarkarakteristika.	22

Figurer

Figur 1. Principschema för den enklast tänkbara kontinuerliga absorptionsvärmepumpen. ...	8
Figur 2. Värmepumpsprocessen i Dühringdiagrammet. ..	9
Figur 3. Detaljerat processchema.	12
Figur 4. Tvärsektion av värmepumpen.	13
Figur 5. Externa mätpunkter.	14
Figur 6. Interna mätpunkter.	15
Figur 7. Varaktighetsdiagram ut- och ineffekter	18

Figur 8. Energimängder månad för månad.	19
Figur 9. Varaktighet COP.	19
Figur 10. Princip, tvåstegs förångare/absorbator. ..	23
Figur 11. Skiss av skadad generatortub	26

SAMMANFATTNING

1984 installerades den första stora absorptionsvärmepumpen i Sverige. Värmepumpen drivs med ånga, kyler ett kylvattensystem och levererar värme till fjärrvärmenätet i Trollhättan. Ångan är 150-gradig och kylvattnets lägsta temperatur är 35°C

Under de 27 månader som utvärderingen pågått har kapacitetsutnyttjandet varit 63 %, vilket är bra med tanke på att det rör sig om en ny teknik.

Vid uppstarten hade man effektbortfall på grund av svårigheter vid anpassningen till fjärrvärmenätet. En värmeväxlarskada har orsakat ett 2 månader långt driftbortfall. I övrigt har värmepumpens tillgänglighet varit 100 %.

Värmepumpen kräver ett minimum av manuell övervakning.

1. INLEDNING

I november 1984 installerades den första stora absorptionsvärmepumpen i Sverige. Värmepumpen ägs av Trollhättans fjärrvärme AB (TFAB) och den är installerad i TFAB:s Stallbackaanläggning.

Eftersom storskalig absorptionsvärmepumpsteknik vid tidpunkten för projekteringen var helt oprövad gav Byggforskningsrådet stöd åt TFAB för att genomföra projektet. Rådet har även finansierat den oberoende utvärderingen av projektet som redovisas i denna rapport. Utvärderingen har gjorts av institutionen för Värmeteknik och Maskinlära på Chalmers. Installation och underhåll av mätsystemet har utförts av den energitekniska mätcentralen på Chalmers.

Förutom denna rapport finns det tre andra publikationer som beskriver absorptionsvärmepumpen i Trollhättan (Westermark, Wimby, Wimby ref. 1-3).

Till skillnad från kompressorvärmepumpar drivs absorptionsvärmepumpar enbart med värme. I Trollhättevärmepumpen uppgraderas lågvärdigt spillvärme till fjärrvärmetemperatur med hjälp av högvärdigt värme. Energiltillförseln kommer från Ekanobel:s kloratfabrik som ligger intill Stallbackaverket. Lågtemperaturkällan är kylvatten och högtemperaturkällan är ånga från en vätgaseldad panna.

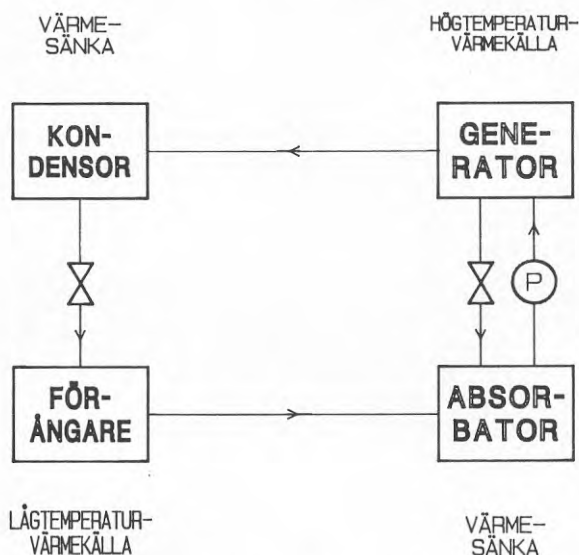
När värmepumpen installerades var den störst i världen. Nu 1987 finns det bl.a. två större absorptionsvärmepumpar i Uppsala.

Efter vissa svårigheter vid anpassningen till fjärrvärmesystemet vintern 84-85 började värmepumpen gå för fullt från april -85. Fram till december -86 gick värmepumpen utan problem. I januari -87 fann man en läcka i en värmeväxlare. Läckan tätades provisoriskt och värmepumpen startades åter i mars -87.

Förutom läckan har driften gått enligt planerna vilket är mycket bra med tanke på att det rör sig om en ny teknik.

2. ABSORPTIONSVÄRMEPUMPAR - EN NY OCH SPÄNNANDE TEKNIK.

Fenomenet som utnyttjas i en absorptionsvärmepump (AVP) kallas kokpunktsförhöjning. Det uppstår t.ex. då man löser ett salt i vatten och innebär att lösningens kokpunkt stiger med stigande saltkoncentration. Även det omvända gäller, d.v.s. förångar man vatten och kondenserar ångan i en saltlösning så frigörs kondenseringens värme vid en temperatur som överstiger förångningstemperaturen. Den enklast möjliga AVP:n är skisserad i fig. 1.



Figur 1. Principschema för den enklast tänkbara kontinuerliga absorptionsvärmepumpen.

I förångaren förångas rent vatten vid lågt tryck och låg temperatur. Ångan leds över till absorbatorn där den absorberas i en saltlösning varvid ångans kondensationsvärme frigörs vid en temperatur som överstiger förångartemperaturen. För att upprätthålla en hög saltkoncentration pumpas saltlösningen till generatorm där vatten drivs av vid högt tryck och hög temperatur. Den uppkoncenterade lösningen förs tillbaka till absorbatorn och den avdrivna ångan kondenseras vid det höga trycket men vid en lägre temperatur. Cykeln kan åskådliggöras i ett s.k. Dühringdiagram, som anger kokpunkt och dagpunkt för LiBr-lösningen vid olika koncentrationer (se fig. 2).

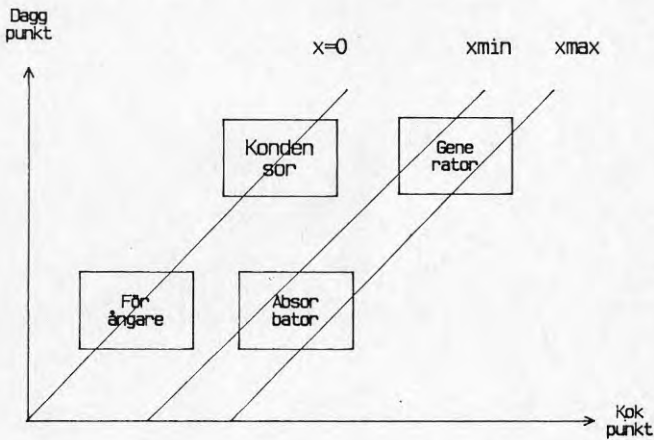
En rimlig uppskattning av effekterna i de olika värmeväxlarna kan baseras på att endast vattnets ångbildningsvärme omsätts i varje värmeväxlare.

Värmefaktorn (COP) för AVP:n blir då:

$$\text{COP} = (Q_{\text{abs.}} + Q_{\text{kond.}}) / Q_{\text{gen.}} = 2$$

I verkligheten ligger AVP:ns COP något lägre pga ångbildningsvärmets temperaturberoende och interna cirkulationsförluster.

Jämfört med kompressorvärmepumpen är COP lågt, vilket är AVP:ns stora nackdel. Fördelen är att AVP:n drivs med värme istället för el. AVP:ns nisch är därför installationer där man har tillgång till billigt och högvärdigt värme t.ex. spillvärmeåtervinning i industrier och rökgaskondensering i sopförbränningsvärmeverk.



Figur 2. Värmepumpsprocessen i Dühringdiagrammet.

3. FJÄRRVÄRMESYSTEMET I TROLLHÄTTAN.

Fjärrvärmesystemet i Trollhättan omfattar några hundra abonnenter med ett sammanlagt maximalt effektbehov på ca 100 MW. Under början och mitten av 1980-talet minskades oljeberoendet från ca 90 % till ca 40 %. Förutom absorptionsvärmepumpen används andra alternativa produktionsmetoder t.ex en kompressorvärmepump och en sopförbränningsanläggning. I bilaga 1 finns ett schema över fjärrvärmesystemet. Leveranserna från Union Carbides fabrik upphörde 1985, vilket har förbättrat absorptionsvärmepumpens temperaturförhållanden genom att fjärrvärmereturens temperatur har sjunkit.

I ett fjärrvärmesystem prioriterar man olika produktionsenheter vid dellast så att enheterna med hög prioritet har långa driftstider och de med låg prioritet har kort driftstid.

Absorptionsvärmepumpen har hög prioritet vilket betyder att den utnyttjas under en stor del av året. Anledningen är att den rörliga kostnaden för att köra AVP:n är låg jämfört med de andra produktionsmetoderna.

Returtemperaturen i fjärrvärmesystemet varierar mellan 50°C på sommaren och 70 till 80°C på vintern. För att absorptionsvärmepumpen skall gå på fullast krävs det att returtemperaturen är under 63°C vilket betyder att den går på dellast när värmebehovet är som störst. Det är allmänt sett viktigt att hålla nere returtemperaturen i ett fjärrvärmesystem eftersom lågvärdiga värmekällor då kan utnyttjas i högre utsträckning. I Trollhättan har man sedan absorptionsvärmepumpen installerades fått ner returtemperaturen med ca 10° C i genomsnitt.

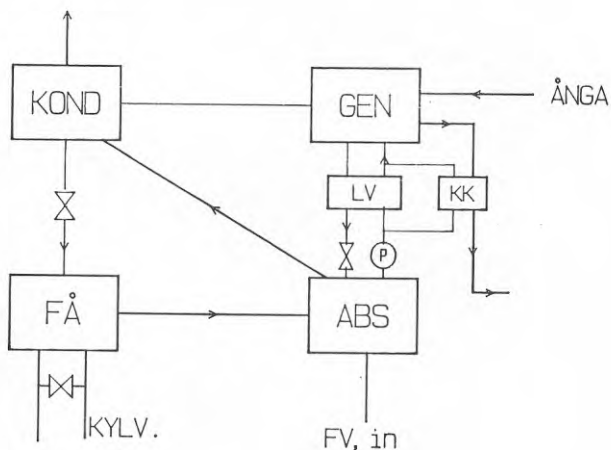
4. EKANOBELS VÄRMELEVERANS TILL TFAB.

I Ekanobels anläggning i Trollhättan tillverkas klorat och perklorat som används som oxidationsmedel i olika sammanhang, främst för blekning i massaindustrin. I processen används elektricitet som energiråvara. Energin lämnar processen dels i produkterna, dels i form av kylvatten och dels i form av vätgas som bränns i en ångpanna. Absorptionsvärmepumpen använder ånga från den vätgaseldade pannan och kylvattnet som energikällor. Kylvattnet värms hos Ekanobel från ca 30 till ca 60°C och ångans mättnadstemperatur varierar mellan 140 och 180°C. Mätningarna och uppgifter från driftspersonalen indikerar att trycket och därmed mättnadstemperaturen i ångan varierar mycket.

I bilaga 2 visas hur kylvatten och ånga är kopplat till Stallbackaverket. Som ses i bilaga 2 kondenseras ånga från Ekanobel i en kondensor som är kopplad parallellt med absorptionsvärmepumpen. När AVP:n går tar kondensorn den ånga som värmepumpen inte förmår kondensera.

5. ABSORPTIONSVÄRMEPUMPEN

Värmepumpen är tillverkad av det japanska företaget Sanyo. Den skeppades till Sverige och installerades av Trollhättans värme och vatten AB. Värmepumpen är dimensionerad för kyleffekten 2.8 MW med ångförbrukningen 4.2 MW och uteffekten 7 MW. Som arbetsmediapar används litiumbromid/vatten som är väl beprövat i absorptionskylmaskiner. AVP:n består huvudsakligen av värmeväxlare. Förutom grundkomponenterna absorbatör, generator, kondensör och förångare är värmepumpen försedd med en kondensatkylare (kk) och en lösningsvärmeväxlare (lvv)(se fig. 3). Lösningvärmeväxlaren är till för att höja värmefaktorn och kondensatkylaren används för att kyla ner kondensatreturen så att den kan återföras till Ekanobels kondensatsystem.



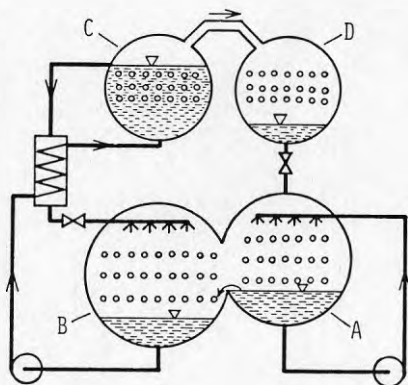
Figur 3. Detaljerat processchema.

Alla värmeväxlare i värmepumpen är horisontella tubvärmeväxlare. Absorbatören, kondensören och förångaren är av s.k. fallfilmstyp, vilket innebär att vätskan rinner i en tunn film på utsidan av de horisontella värmeväxlartuberna. I förångaren och absorbatören sprayas vatten respektive lösning på tuberna. I generatören ligger värmeväxlartuberna helt nedsänkta under lösningsnivån.

Reglering av värmepumpen sker med en krets som styr ångtillförseln efter utgående fjärrvärmemetemperatur. Ursprungligen var regulatorn ställd så att utgående fjärrvärmemetemperatur maximalt kunde bli 75°C. Under sommaren -85 trimmades värmepumpen om så att maximal temperatur nu är 83°C. Ett överhettningsskydd ser till att temperaturen inne i generatören inte överskrider 145°C.

Arbetsmediet kristalliserar om litiumbromidkoncentrationen överstiger ca 70 viktsprocent. Detta är ett klassiskt problem inom absorptionstekniken eftersom kristallerna är besvärliga att lösa upp. I Trollhätte-AVP:n är problemet löst genom att vatten bräddar över från förångaren till absorbatoren om litiumbromidkoncentrationen tenderar att bli för hög. För att ha en marginal till kristallisationsgränsen har man lagt den maximala koncentrationen någonstans mellan 60 och 65 % LiBr.

Koncentrationen ökar då generatoren driver av mer ånga än förångaren, vilket inträffar då tillgången på högtemperaturvärme är högre än tillgången på lågtemperaturvärme. I Trollhättan har man ånga i överskott, vilket gör att kondensat bräddas från förångaren till absorbatoren under stora delar av driftstiden. Följden av detta är att COP blir lägre än designvärdet. Principen för bräddningen visas i figur 4.



Figur 4. Tvärsektion av värmeväxlingsanordningen.

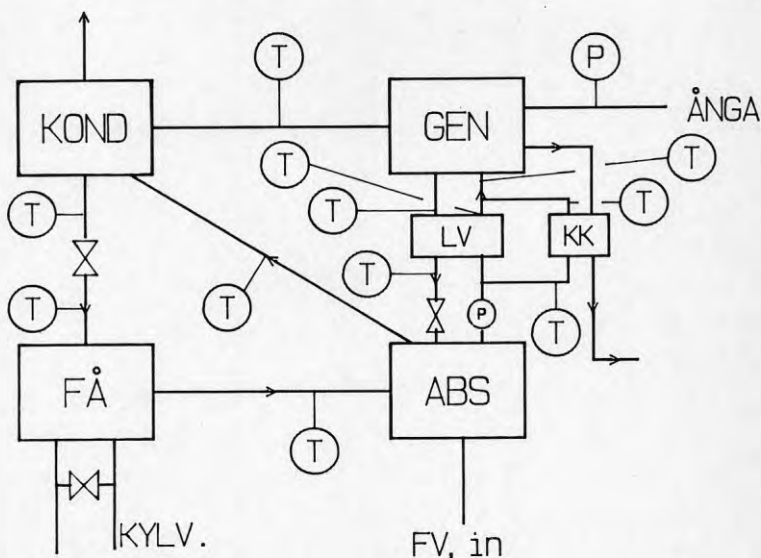
- A Förångare
- B Absorbator
- C Generator
- D Kondensator

sitter det därför en turbinmätare med det maximala felet $+ 5 \%$. För effektmätning i ångströmmen krävs det tre temperaturbestämningar: kondensattemperatur, ångtemperatur och ångans mätnadstemperatur. Temperaturbestämningarna görs med enkla givare som har maxfelet $\pm 0.03 \text{ K}$.

Mätningarna är noggranna, så noggranna att osäkerheten i mätdatabehandlingen får betydelse. Främst är det beräkningen av entalpi från temperaturuppgifter som introducerar fel. Felet vid beräkning av ångentalpin är maximalt $+ 1 \%$.

6.2. Interna mätningar

De interna mätningarna omfattar temperaturer i värmepumpens alla interna strömmar (se figur 6). Mätningarna görs med yttemperaturgivare vilka består av bladformiga element som klistrats fast på värmepumpen med värmeledande lim. Själva givarna fungerar bra, felet orsakas av att vi mäter temperaturen på värmepumpens utsida.



Figur 6. Interna mätpunkter.
P = tryck.

Trots att vi har isolerat ordentligt runt givarna är det maximala felet uppskattningsvis 1-3 K. Felet är större ju högre temperatur man mäter, vilket betyder att förångartemperaturen mäts med ett litet fel medan generatortemperaturen mäts med ett stort fel.

6.3. Datainsamling

Mätdata samlas in med en persondator som läser av samtliga givare varannan minut, beräknar medelvärden varje timma och lagrar medelvärdena på diskett. Värdena har sparats på magnetband.

Persondatorns bildskärm visar aktuella mätvärden.

7. MÄTRESULTAT - EXTERNA MÄTNINGAR

7.1. Värmebalans

Som tidigare nämnts har alla externa strömmar varit tillgängliga för installation av noggranna givare. Med dessa mätningar kan man fastställa värmebalansen. Eftersom både tillförd och bortförd energi mätts kan mätfelet uppskattas.

I tabell 1 ges tillförda och bortförda energimängder från januari -85 till mars -87. Utöver bortfört och tillfört ges även felet i % av bortförd effekt.

	Kyl energi (MWh)	Energi drivånga (MWh)	Fjärrvärme energi (MWh)	Fel (%)
1985				
jan.			2200	
feb.			2000	
mars			2000	
april	1497	2515	4067	1.3
maj	1276	2141	3471	1.5
juni	1137	1853	3044	1.8
juli	626	1210	1867	1.7
aug.	153	306	464	0.9
sept.	1126	1891	3075	1.8
okt.	1585	2623	4276	1.6
nov.	1565	2586	4213	1.5
dec.	1629	2614	4782	1.1
1986				
jan.	1939	1613	5028	29
feb.	1700	1641	4415	24
mars	1748	1898	4568	20
april	1575	2674	4184	-1.5
maj	1479	2990	4404	-1.5
juni	651	1208	1870	0.6
juli	739	1569	2260	-2.1
aug.	1305	2487	3657	-3.7
sept.	1499	2642	4092	-1.2
okt.	1735	2616	4306	-1.0
nov.	1943	3101	5002	-0.8
dec.	1668	2761	4409	-0.5

1/1 - 8/1 -87 : mätsystemet ur drift.

9/1 - 12/3 -87 : AVP:n ur drift

Tabell 1. Primärdata värmebalans 1985-86.

Under perioden november -84 till och med mars -85 fungerade mätningarna bristfälligt. På basis av en mycket enkel feluppskattning vid reparationen av energimätaren på fjärrvärmeströmmen har energiproduktionen skattats t.o.m. mars -85.

Under perioden januari -86 till mars -86 fungerade ångflödesmätaren dåligt vilket syns i primärdatatabellen. När flödesgivaren reparerades i mars kalibrerades den om vilket också syns i primärdatatabellen.

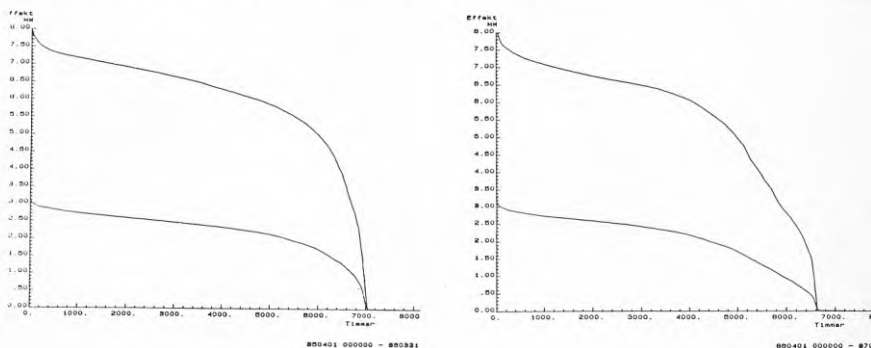
Två poster saknas i tabellen nämligen tillförd el och värmeförluster till omgivningen. Elförbrukningen är ca 0.2 % av genomsnittlig uteffekt. En skattning av förlusterna ger ca 0.2 % av genomsnittlig uteffekt. Värmebalansfelet bör alltså vara ca 0.0%. Eftersom generatoreffekten är svårast att mäta har vi i den korrigerade värmebalansen beräknat den ur de andra energimängderna. Med utgångspunkt från de konstaterade felet kan man på goda grunder anta att det sammanlagrade felet inte är större än $\pm 3\%$.

	Kyl energi MWh	ång energi	fjärrvärme energi	COP
jan - mars -85	2276*	3924*	6200	1.58*
april - dec -86	10594	18665	29259	1.57
jan. - mars -86	5387	8624	14011	1.62
april -86 - mars -87	12594	21590	34184	1.58
summa	30851	52803	83654	1.58

Tabell 2. Korrigerade värmebalanser. Generatoreffekten har beräknats som fjärrvärmeeffekt - kyleffekt. * Betyder att värdena är uppskattade från ett antaget COP.

7.2. Varaktighet

I figur 7 ges varaktighetsdiagram för uteffekt och kyleffekt. Som ses i diagrammen går värmepumpen vid en hög effekt under en stor del av året.

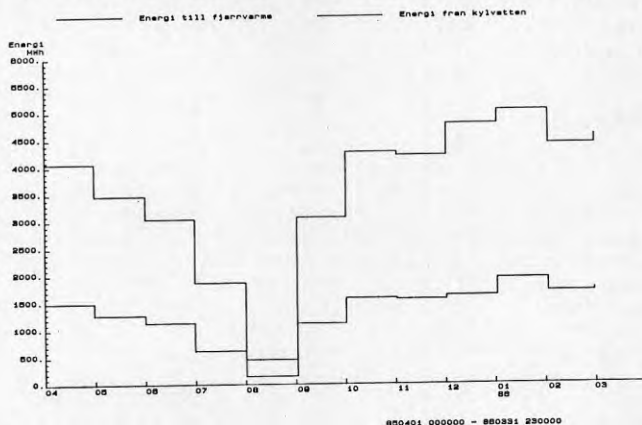


Figur 7. Varaktighetsdiagram ut- och ineffekter

Under båda mätaren var driftstiden ca. 7000 timmar vilket är 80 % av året. Stilleståndstiden berodde 1985 på att värmepumpen stängdes av under sommaren p.g.a.

värmeöverskott. Stilleståndet under det andra mätåret orsakades av reparationen av generatoren (se kap 10)

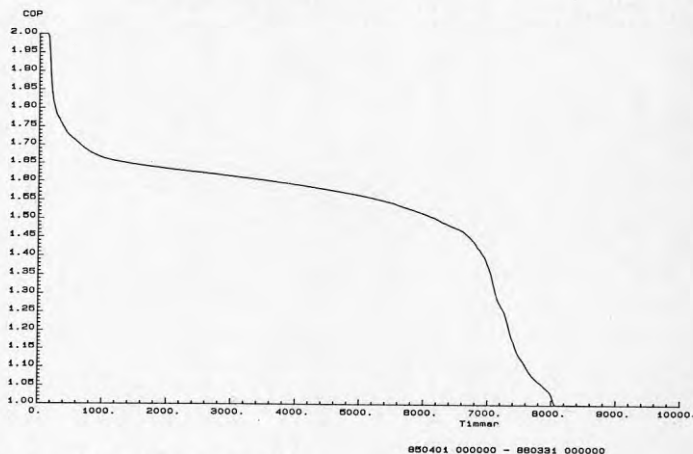
I figur 8 visas hur energimängderna fördelat sig under året. Under båda mätåren har man fått ut mest energi under de kalla månaderna, vilket är önskvärt.



Figur 8. Energimängder månad för månad.

7.3. COP

Som ses i tabell 2 har COP under mätperioden varit 1.58 i genomsnitt. Designvärdet för COP är 1.67. Med tanke på mätnoggrannheten är skillnaden signifikant. Skillnaden beror på att störningar i kylvattentillförseln inte påverkar ångtillförseln medan störningar i ångtillförseln stör tillförseln av lågtemperaturvärme. Vid avtagande ångtillförsel förblir COP konstant medan COP sjunker om kylvattentillförseln minskar. Principen för hur värmepumpen klarar obalanser är beskriven i kapitel 5.



Figur 9. Varaktighet COP.

Eftersom det finns ånga i överskott så spelar det lägre COP:t ingen roll. När man minskade generatorns värmeyta i samband med reparation (se kap. 10) observerade man en ökning av COP. Förklaringen är att en större andel av ångan numer går till kondensorn som är kopplad parallellt med AVP:n (se bilaga 2). Sett värmetekniskt, med både kondensorn och AVP:n inom systemgränsen spelar det ingen roll hur ångan kondenseras.

Det faktum att generatorn driver av mer ånga än förångaren tyder på att generator/kondensordelen är överdimensionerad.

I figur 9 visas varaktigheten för COP. COP varierar mellan 1 och 1.7. Värden över 1.8 är felaktiga p.g.a att driften då varit instationär. Värden under 1.67 representerar fall då kylvattentillgången varit låg. Som ses i figur 9 kan man köra värmepumpen med COP = 1 vilket visar att den är flexibel.

7.4. Kapacitetsutnyttjande

Kapacitetsutnyttjandet ges i tabell 3. Perioduppdelningen är gjord för att det är finns 2 perioder med onormal drift nämligen december 84 till mars 85 och januari 87 till mars 87.

	kapacitetsutnyttjande % av max. effekt (7 MW)
januari 85 - mars 87	63
april 85 - mars 87	66
januari 85 - december 86	68
april 85 - december 86	72

Tabell 3. Kapacitetsutnyttjande.

Med tanke på att absorptionsvärmepumpen har hög prioritet i fjärrvärmesystemet är siffrorna i nivå med vad man bör vänta sig.

8. MÄTRESULTAT - INTERNA MÄTNINGAR

I de interna strömmarna har temperaturen mätts med hjälp av yttemperaturgivare på utsidan av ledningarna. Mätningarna ger uppskattningsvis ett par graders fel. Temperaturmätningarna inne i värmepumpscykeln ger besked om värmeöverföringskapaciteter, koncentrationer etc. Den översiktliga redovisningen av hela cykeln ges i kapitel 5. Här redovisas resultaten av mätningarna för värmepumpens olika delar. Redovisningen ges för tre mättimmar som representerar låglast (86-03-16-10), (86-03-08-23) och höglast (86-01-15-12). Den sextonde mars var ångmängden begränsande och den åttonde var kylvat-
tenvärmets begränsande. Som ses i tabellen är felet i värmebalansen betydligt större för timvärden än för månadsvärden.

8.1. Litiumbromidcykeln

I absorbatoren absorberas vattenånga i litiumbromidvattenlösningen. När lösningen lämnar absorbatoren står den idealt i jämvikt med vattenångan från förångaren. Med jämviktsdiagrammet från McNeely (ref. 4) fås koncentrationen för den utspädda lösningen. På samma sätt fås den koncentrerade lösningens koncentration ur generatortemperaturen och kondensortemperaturen. Med kännedom om den höga och den låga koncentrationen kan man beräkna cirkulationstalet r som definieras enligt:

$$r = \dot{m}_{\text{konc}} / \dot{m}_{\text{ånga}}$$

Resultatet av beräkningarna ges i tabell 4. Noggrannheten är dålig. Den slutsats man kan dra är att r är cirka 10. Cirkulationspumpen regleras inte. Cirkulationstalet borde därför endast bero av hur mycket ånga som drivs av i generatoren.

8.2. Absorbatoren.

I absorbatoren värms fjärrvärmevattnet med den absorberande lösningen. Utförandet är en horisontell trepass tvärströmsvärmväxlare. Teoretiskt sett är absorbatoren att betrakta som ett mellanting mellan en tvärströms- och en motströmsvärmväxlare. För enkelhetens skull betraktar vi här absorbatoren som en motströmsvärmväxlare. För en värmväxlare gäller allmänt:

$$Q = kA\Delta\theta_{\log}$$

där

$$\Delta\Theta_{\log} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Där ΔT står för temperaturskillnaden i den kalla respektive varma ändan av värmeväxlaren. Genom att vi känner effekten - Q - i absorbatoren kan vi beräkna kA värdet. Hade vi även känt till hur stor arean är kunde vi också beräkna värmeövergångstalet k. Det gör vi inte och vi får därför nöja oss med kA-värdena. Resultaten för de olika fallen presenteras i tabell 4.

	86-03-16 10-11	86-03-08 23-24	86-01-15 12-13
Q (MW)			
Kondensor	2.47	3.93	3.28
Absorbator	3.25	2.10	4.26
Förångare	2.42	1.62	3.01
Generator	2.98	3.93	4.00
DTlog (K)			
Generator	16.2	20.7	24.7
Absorbator	9.2	18.1	9.5
Kondensor	3.4	4.7	4.3
Förångare	8.6	4.6	3.9
kA (MW/K)			
Generator	0.184	0.190	0.162
Absorbator	0.35	0.116	0.448
Kondensor	0.73	0.84	0.763
Förångare	0.28	0.35	0.77
LSGVVX.	0.022	0.034	0.034
K-kyl.	0.011	0.015	0.016
r	12.9	6.3	10.4
x	0.60	0.60	0.62

Tabell 4. Värmewäxlarkarakteristika.
De olika fallen representerar balanserad
låglast, låg kyleffekt och fullast

8.3. Generatoren

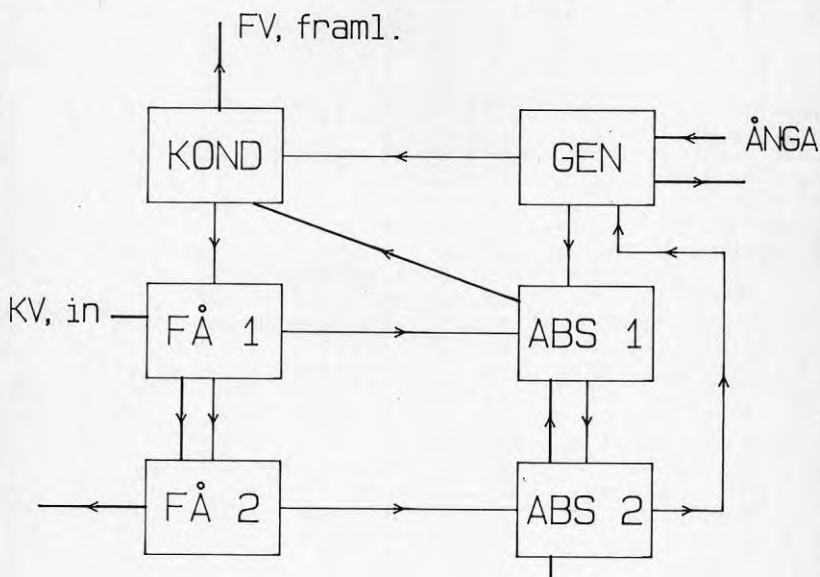
Generatoren är av nivåtyp vilket betyder att lösningen har samma tillstånd som utgående lösning i hela värmewäxlaren. På ångsidan kondenserar ånga vid en relativt konstant temperatur. Beräkningen av temperaturen och kA-värdet har gjorts utgående från ångtrycket i generatorns kondensatsida.

8.4. Förångaren

I förångaren förångas rent vatten samtidigt som kylvattnet kyls. Kylvattnet är shuntat enligt figur 3 vilket gör att kylvattnet till förångaren är kallare än kylvattnet från Ekanobel. Kopplingen kan anses vara slöseri med temperatur, men eftersom förångaren tar upp värme vid en konstant temperatur är slöseriet oundvikligt.

Ett sätt att nå bättre temperaturprestanda vore att ha två förångare och två absorbatorer enligt figur 10. Genom att man kör de två stegen vid olika tryck kan man få temperaturerna inne i värmepumpen bättre anpassade till temperaturerna i de externa strömmarna och på så vis nå ett högre temperaturlyft.

Temperaturskillnaden i förångarens kalla ända är ca 1 K vilket är i närheten av mätfelet, k_A -värdet är därför osäkert.



Figur 10. Princip, tvåstegs förångare/absorbator.

8.5. Kondensorn

I kondensorn kondenserar den ånga som drivs av i generatoren. Fjärrvärmvattnet från absorbatoren värms i kondensorn och förs vidare ut i fjärrvärmesystemet. k_A -värden redovisas i tabell 4.

8.6. Lösningssvärmväxlaren och kondensatkylaren

Lösningssvärmväxlaren används för att kyla lösningen från generatoren till absorbatoren och för att värma lösningen från absorbatoren till generatoren. Svärmväxlaren är av motströmstyp, k_A -värden redovisas i tabell 4. En del av lösningen från absorbatoren värms i kondensatkylaren som kyler kondensatet från generatoren. Kondensatkylaren gör att lösningssvärmväxlaren inte kan utnyttjas fullt ut vilket är en nackdel för COP-värdet, men den är nödvändig för att kondensatet till Ekanobel skall vara hanterbart. Andelen lösning som går igenom kondensatkylaren betecknas med x i tabell 4. Värmet som upptas i kondensatkylaren går till absorbatoren, eftersom lösningen från generatoren till absorbatoren inte kan kylas så mycket som den hade kylts om all lösning gått igenom lösningssvärmväxlaren. Om man istället varmt utgående fjärrvärmeström med kondensatet, hade man fått ut underkylningsvärmets vid fjärrvärmeströmmens högsta temperatur. Med den nuvarande kopplingen får man ut värmet vid den lägsta temperaturen. Med kondensatkylning på fjärrvärmeströmmen hade fjärrvärmemetemperaturen blivit ca 0.5 K högre.

8.7. Diskussion av interna mätningar

Som ses i tabell 4 är mätnoggrannheten dålig i de interna mätningarna. k_A -värdena bör vara oberoende av mättillfälle, vilket de definitivt inte är. Mätresultaten ger en uppfattning om fördelningen av värmeöverföringskapaciteten. Ordnar vi svärmväxlarna i storleksordning får vi: kondensator > förångare > absorbatoren > generator > lösningssvärmväxlaren > kondensatkylaren. Fördelningen är rimlig, möjligen kan generatorns kapacitet sägas vara lägre än väntat, vilket bekräftas av att temperaturskillnaden i generatoren är större än i de andra svärmväxlarna. Man bör dock komma ihåg att vi tidigare konstaterat att generator/kondensator-delen är överdimensionerad. Argumentet vi då anförde var att generatoren driver av mer ånga än förångaren så att maximal koncentration uppnås. Snedfördelningen av svärmväxlarytorna är alltså betingad av litiumbromidlösningens maximala koncentration som är satt med hänsyn till kristallisationsrisken

9. DRIFTSERARENHETER

Värmepumpen är konstruerad så att den skall klara sig själv. Instrumenteringen utgörs av den ställbara regulatorn som styr temperaturen i fjärrvärmeframledningen, samt av en display som visar temperaturen i generatorn. Dessutom har TFAB installerat temperatur- och flödesgivare i kylvatten- och fjärrvärmeströmmarna. Signalerna från dessa givare tas in i TFAB:s datoriserade övervakningssystem så att värdena finns tillgängliga i Stallbackaverkens kontrollrum. Vid lastvariationer krävs inga åtgärder från operatörernas sida.

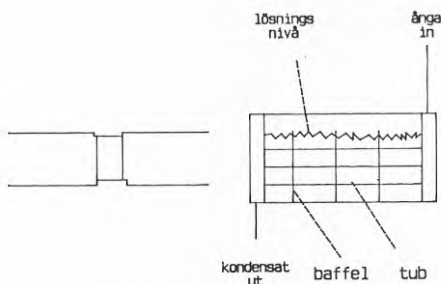
Förångar/absorbatordelen arbetar vid ett tryck som är mycket lägre än atmosfärstrycket. Om läckor uppstår i denna del av värmepumpen kommer den att läcka in luft. För att hålla luften borta vakuumsugs därför värmepumpen 1 gång i veckan. Vakuumsugning övervakas manuellt och tar ca 1 timma.

10. VIBRATIONS- OCH KORROSIONSPROBLEM I GENERATORN

I januari 1987 sjönk värmepumpens kyleffekt. Från början till mitten av januari sjönk kyleffekten från 3 MW till 0. Förutom att kyleffekten sjönk kunde man från våra mätningar se att litiumbromidkoncentrationen hade sjunkit. Den enda rimliga förklaringen var att vatten läckt in någonstans i AVP:n. Efter provtryckning kunde man konstatera att generatortuben läckte.

Generatortuben är en värmeväxlare med några hundra tuber, där varje tub kan läcka på två sätt: i invalsningen, dvs skarven mellan tuben och värmeväxlarhöljet eller genom ett hål i värmeväxlartuben.

Läcksökningen tog mycket lång tid, så först i mars kunde man konstatera att läckaget skett genom ett hål i en värmeväxlartub. En skiss av den skadade tuben visas i figur 11. Hålet är orsakat av nötning mot värmeväxlarbafflarna. Bafflarna är plattor med hål i som tuberna går igenom, deras funktion är att hålla värmeväxlartuberna på plats (se figur 11). För att kontrollera om andra tuber var skadade plockades några andra tuber ut. Tuberna togs ut på olika nivåer i generatortuben. Det visade sig att tuberna i de två översta tubraderna var mer nöta än tuberna i de lägre raderna. För att få igång AVP:n så snabbt som möjligt pluggades tuberna i de tre översta raderna, vilket innebär att värmeväxlytan i generatortuben minskades med ca 25 %. Eftersom AVP:n är överdimensionerad minskade inte kyleffekten av ingreppet.



Figur 11. Skiss av skadad generatortub och generatorkonstruktionen

10.1. Korrosionsangrepp

Förutom nötningsskador hittade man korrosionsangrepp på tuberna. Angreppen är typiska exempel på s.k. punktkorrosion d.v.s små och glesa men djupa gropar i materialet. I den djupaste gropen var ca 30 % av materialet bortfrätt.

10.2. Tänkbara orsaker

Nötningsskadorna kan knappast förklaras på annat sätt än att tuberna har vibrerat. Som vi ser det kan vibrationerna ha orsakats på två olika sätt:

1. Av för hög värmebelastning. När man kondenserar ånga inuti tuber bildas det en vätske film. Om ånghastigheten är hög kan det bildas vågor i vätskefilmen som pluggar igen tuben och hindrar ångflödet; när flödet hindras byggs det upp ett tryck som så småningom bryter sönder pluggen. På det viset får man ett pulserande flöde som kan orsaka vibrationer.

2. Vid laständringar. Om ångförsörjningen varierat kraftigt kan detta ha orsakat vibrationer.

Det är allmänt känt att litiumbromid-vattenblandningar är mycket korrosiva mot i stort sett alla rostfria legeringar. Det bästa sättet att undvika korrosion är att hålla litiumbromidlösningen syrefri. Detta görs genom noggranna tätningar av ventiler och flänsar. För att vara på den säkra sidan vakuumsugs värmepumpen en gång i veckan.

Vid två tillfällen har olika ventiler skadats. Skadorna orsakade inläckning av luft. Det är inte omöjligt att korrosionen kan hänföras till ventilskadorna. I så fall har korrosionen avstannat och problemet är ur världen.

10.3. Material

Tubmaterialet har analyserats av Analytica AB i Täby. Analysen visar att värmväxlartuberna i generatorn är gjorda av SIS 2320-stål dvs det billigaste rostfria stålet.

11. SLUTSATSER

Installationen i Trollhättan är den första tillämpningen av storskalig absorptionsvärmepumpsteknik i Sverige. Utvärderingen visar att värmepumpen fungerar bra både vad gäller tillgänglighet och som en del i fjärrvärmesystemet.

En tubskada i en värmeväxlare har orsakat 2 månaders driftavbrott. I övrigt har värmepumpen gått bra under de 27 månader som utvärderingen pågått.

Temperaturerna som absorptionsvärmepumpen arbetar vid är gynnsamma.

Värmefaktorn har varit lägre än designvärdet vilket beror på att absorptionsvärmepumpen är överdimensionerad. Att värmefaktorn varit lägre än förväntat har inte orsakat någon energiförlust.

TACKORD

Författarna är skyldiga följande personer ett stort tack:

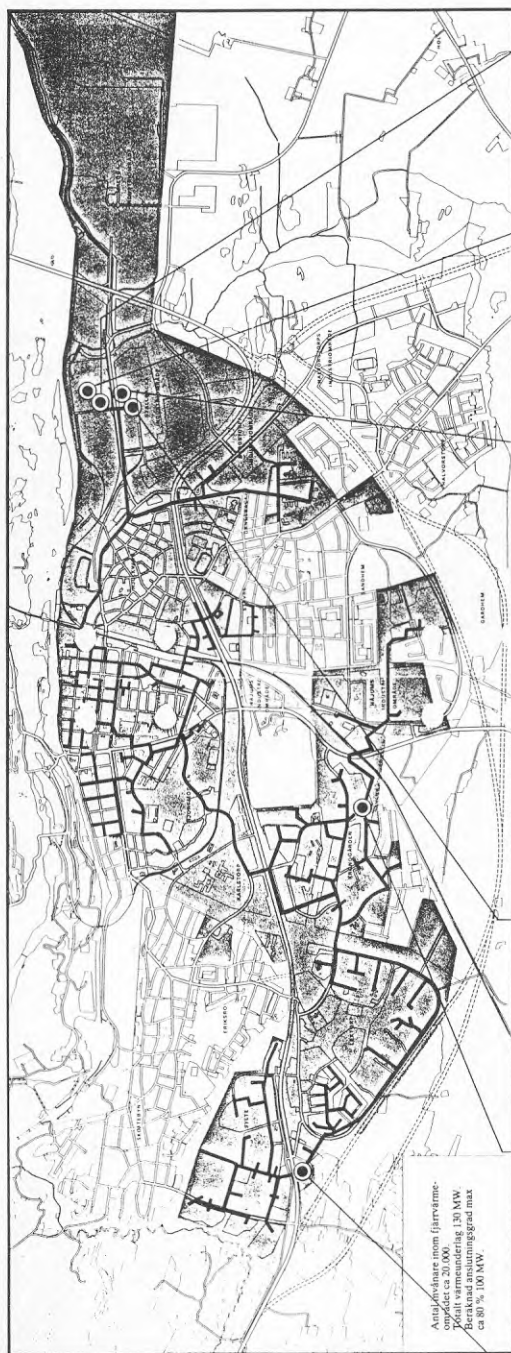
Kjell Schroeder och Leif Nilsson, mätcentralen, för det fina mätsystemet.

Gunnar Fasth, TFAB, för intressanta diskussioner och stor gästvänlighet.

BILAGOR

Bilaga 1. Processchema, fjärrvärmesystemet

TROLLHÄTTANS FJÄRRVÄRME AB



Antal örnare inom fjärrvärmesystemet ca 20.000.
 Beräknad avlastningsgrad max ca 80 % 100 MW.

Lextorps Värmeverk. PC 42.

Tre st. 20 MW oljepannor för EO 5 LS (lockolja). Olje-cistern 2500 m³. Reserv- och spektlastcentral.

Kronogårdens Värmeverk. PC 41.

Ugn, avgaspanna och elektrofilter för 7 MW avfallsförbränning. Ca 2500 ton avfall/år förbr. Ca 200 t och 400 t värmeenergi motsvarande 40.000 MWh.

Union Carbide Norden AB.

Rökgas från elektroditillverkning leds till avgaspanna. Värmen från förbränningen tillförs fjärrvärmesystemet. Effekt 10 - 6 MW. 10.000 MWh/år.

Ferrolegeringar AB.

Kylvatten från Ferrolegeringar AB används för att höja temperaturen på fjärrvärmevatten från ca +55° till ca +75°. Värmeenergin utvinns i en genom en eldriven, mekanisk värmeväxelpump. Avgiven effekt 7 MW. Värmeeffektor 3,3 - 35000 MWh/år.

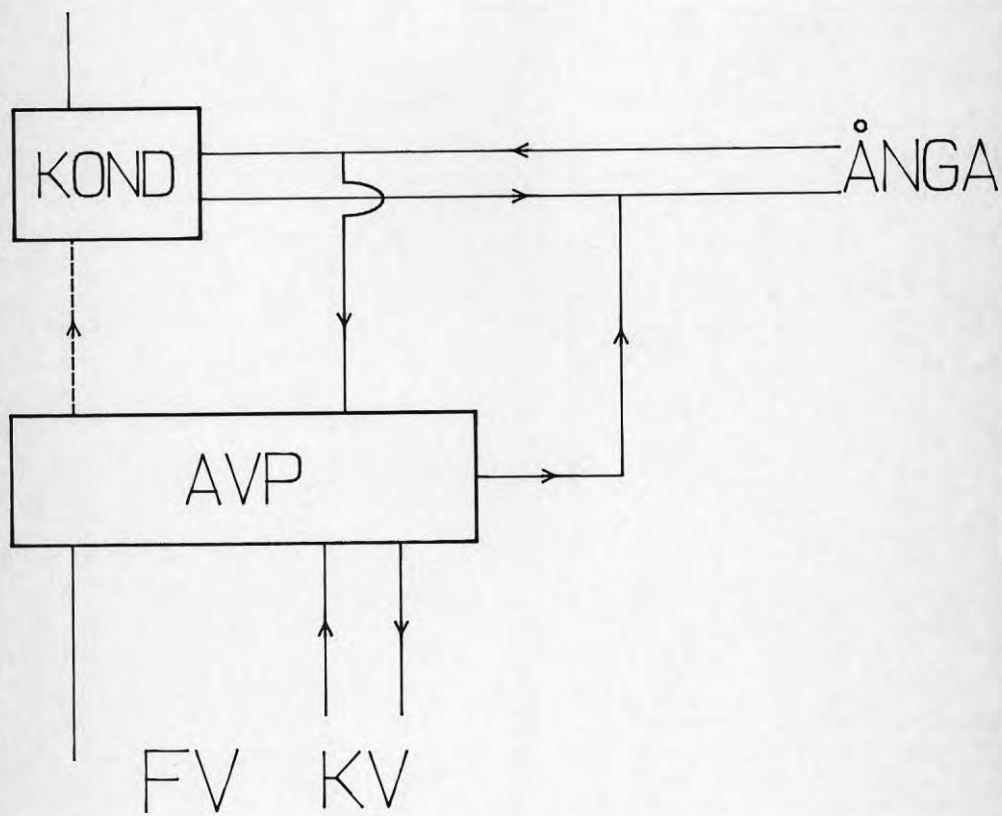
Kema Nord AB.

Kylvatten från Kema Nord AB används för att höja temperaturen på fjärrvärmevatten från ca +55° till ca +75°. Värmeenergin utvinns i en absorptionsvärmeväxelpump, som drivs med hjälp av ånga från Kema Nord. Ångan tranställd genom förbränning av vätsgas, en resprodukt från ett annat Kema Nord-objekt. Värmeeffektor 1,7 - 30.000 MWh/år.

Stallbacka Värmeverk. PC 43.

Två st. 25 MW samt en st 5,8 MW oljepannor för EO 5 LS (lockolja). En st 25 MW elpanna. Olje-cistern på 3.000 m³, samt tryckhållningssystem.

Bilaga 2. Processchema, AVP och Ekanobel



LITTERATUR

1. Mats Westermark, Rune Blomqvist. Absorptionsvärmepump i Fjärrvärmesystem, BFR-rapport R74:1984, Stockholm 1984.
2. M Wimby, P-Å Franck, T Berntsson. Proceedings of the third BHRA-Symposium on Large Scale Applications of Heat Pumps, Oxford, England, March 1987, Paper A3.
3. M Wimby, P-Å Franck, T Berntsson. VVS & Energi 9, 1986.
4. McNeely L.A., ASHRAE Transactions, 85, Part 1, p413-434.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 841338-4
från Statens råd för byggnadsforskning till
Institutionen för värmeteknik och maskinlära,
Chalmers tekniska högskola, Göteborg.**

R70: 1988

ISBN 91-540-4930-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6708070

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirka pris: 30 kr exkl moms