



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

R51:1983

Värmedrivna spillvärmepumpar i Billesholm

Ernst Morawetz
Peter Bäckström

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac Ser

K
AW

Bygghforskningsrådet

R51:1983

VÄRMEDRIVNA SPILLVÄRMEPUMPAR I BILLESOLM

Ernst Morawetz
Peter Bäckström

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 820398-8
från Statens råd för byggnadsforskning till Stiftelsen
Billesholmshem, Billesholm

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

R51:1983

ISBN 91-540-3936-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1983

INNEHÅLL

	Sida
SAMMANFATTNING	4
1. INLEDNING	8
2. VÄRMEBEHOV	10
3. SPILLVÄRMEKÄLLA	11
4. DIMENSIONERING AV VÄRMEPUMPAR	13
4.1 Allmänt	13
4.2 Absorptionsvärmepumpar, allmänt	16
4.2.1 Ångdriven absorptionsvärmepump	16
4.2.2 Gasdriven absorptionsvärmepump	18
4.3 Gasmotorvärmepump	19
5. ENERGITÄCKNING	21
6. VÄRMECENTRALENS ENERGIBEHOV	22
7. ENERGIBESPARING	24
8. VÄRMECENTRALENS UTFORMNING	25
8.1 Absorptionsvärmepump	25
8.2 Gasmotorvärmepump	26
9. DISTRIBUTIONSANLÄGGNING	28
9.1 Fjärrvärmeledningar	28
9.2 Abonnentanläggningar	29
10. EKONOMI	31
10.1 Offertunderlag	31
10.2 Investeringskostnader	34
10.3 Årskostnader	35
11. ENERGIPRISERNAS INVERKAN	38
12. LITTERATUR	40

Bilaga 1. Figurer m m

Bilaga 2. Processbeskrivning för enstegs-absorptionsvärmepump

Bilaga 3. Underhåll av värmedrivna värmepumpar

SAMMANFATTNING

Föreliggande utredning behandlar produktion och distribution av värme genom utnyttjande av kylvärme hos Gullfiber AB med användning av absorptionsvärmepump (AVP), resp gasmotordrivna kompressorvärmepumpar (GVP). Värmen distribueras från en gemensam värmecentral till Stiftelsen Billesholmshems fastigheter samt till en pensionärsfastighet och Centralskolan, totalt åtta abonnenter. Det maximala värmebehovet för uppvärmning och förbrukningsvarmvatten har beräknats till ca 2,5 MW. Det årliga värmebehovet för uppvärmning och förbrukningsvarmvatten inkl värmeförluster i värmekulvertar mellan produktionsanläggning och abonnenter uppgår till ca 5140 MWh.

Den värme som utnyttjas i värmepumparna kommer från processkylanläggningen på Gullfiber AB. Den tillgängliga spillvärmeeffekten (kyleffekten) är i storleksordningen 11.5-13.4 MW varav endast en mindre del kommer att utnyttjas.

För värmecentralen förutsätts en placering utanför Gullfibers fabriksområde.

Tre olika typer av värmecentraler har jämförts:

- Värmecentral med en ångdriven absorptionsvärmepump samt en naturgaseldad panna, värmeeffekt 1.3 MW resp 2.5 MW
- Värmecentral med en gasdriven absorptionsvärmepump samt en naturgaseldad panna, värmeeffekt 1.3 MW resp 2.5 MW
- Värmecentral med 2 gasmotordrivna kompressorvärmepumpar samt en naturgaseldad panna, värmeeffekt 2 x 650 kW resp 2.5 MW

Av det årliga behovet 5140 MWh bedöms kunna täckas ca 3500-4400 MWh med hjälp av värmepumpar som inte använder el som drivenergi. Enligt en tidigare av ÅF-Energikonsult (Bäckström 1981) utförd utredning är det lämpligt att vid användning av en elvärmepump (EVP) täcka ca 4110 MWh med värmepumpen och resten med oljepannor.

Det årliga energibehovet för att driva anläggningen kommer att uppgå till följande värden.

Anläggning med värmepumpstyp	AVP (gas)	AVP (ånga)	GVP	(EVP)
Gasförbr. värmepumpar, Nm ³	356000	-	313000	-
Gasförbr. gaspanna, Nm ³	84000	186000	100000	
Ångförbrukning, ton	-	3500	-	-
Elenergi för pumpar, brännare etc, MWh	86	80	-	(1560)

Enligt uppgift förbrukas för närvarande ca 755 m³ Eol i de aktuella fastigheterna (vilket betyder att medelverkningsgraden är ca 70 % vid panndrift). En övergång till värmepumpsdrift och panndrift med gas som bränsle innebär en 100 %-ig oljeersättning.

Det jämförbara gasenergiebehovet vid endast panndrift är ca 595 000 Nm³. Vid värmepumpsdrift görs följande naturgasbesparingar relativt denna förbrukning:

AVP (gas)	239 000 Nm ³
AVP (ånga)	409 000 Nm ³
GVP	282 000 Nm ³

I jämförelse med endast panndrift uppnår man en förbättring av hela anläggningens årsmedelverkningsgrad med 54-66% vid installation av en absorptionsvärmepump och 90 % vid installation av en gasmotorvärmepump.

De totala anläggningskostnaderna beräknas uppgå till följande belopp:

AVP (gas) + gaspanna	5 245 Mkr
AVP (ånga) + gaspanna	5 455 Mkr
GVP + gaspanna	6 390 Mkr

Abbonenternas kostnader för utbyte av pannor m m till värmeväxlare m m har beräknats till ca 0,8 Mkr inkl mervärdesskatt.

Årliga kostnader för produktion och distribution av värmen består av kapitaltjänstkostnader, energikostnader samt kostnader för drift, skötsel, underhåll och personal. Kapitaltjänst-kostnaderna har beräknats vid en räntefot av 5% alt 15%. De sammanlagda årliga kostnaderna samt motsvarande specifika värmekostnader blir:

	Årskostnad (kkr)		Värmekostnad (kr/MWh)	
	5 %	15 %	5 %	15 %
Fjärrvärmeanläggning med ångdriven absorptionsvärmepump				
AVP (ånga) och gaspanna	1 506.5	1 934.5	311	399
Fjärrvärmeanläggning med gasdriven absorptionsvärmepump				
AVP (gas) och gaspanna	1 295.5	1 708.5	267	353
Fjärrvärmeanläggning med gasmotordrivna värmepumpar				
GVP och gaspanna	1 475	1 968	304	406

Värmekostnaden är beräknad för det verkliga värmebehovet 4845 MWh/år, dvs kulvertförlusterna 295 MWh/år belastar denna kostnad.

Värmekostnaderna enligt ovan kan jämföras med kostnader för nuvarande förbrukning av eldningsolja, ca 755 m³ Eo1, till ett värde av ca 1.9 Mkr.

Resultatet har erhållits med primärenergipriserna 25 öre/kWh för elenergi, 22.5 öre/kWh för ångenergin, samt 16 öre/kWh för naturgasen (totalpriser inkl fasta avgifter).

Energipriserna inverkar givetvis starkt på anläggningarnas ekonomi. Följande slutsatser kan erhållas:

- Med de förutsatta energipriserna kan i denna anläggning värme-
produktion med absorptionsvärmepump och gaspanna konkurrera
med värmeproduktion från en elmotorvärmepump och oljepan-
na.
- Om AVP (ånga) drivs med ånga som åsätts ett pris under ca 170
kr/MWh är denna ekonomiskt fördelaktigare än andra alternativ
vid i övrigt oförändrade förutsättningar.
- Gaspriset måste i framtiden vara betydligt lägre än elpriset för
att de gasdrivna värmepumparna skall kunna konkurrera med
elmotorvärmepumpen. I 1982 års prisnivå får exempelvis gaspri-
set ej överstiga 20 öre/kWh vid ett så högt elpris som 35
öre/kWh (totalpriser inkl fasta avgifter).

I det redovisade resultatet har ej någon hänsyn tagits till anslutnings-
avgiften för gasleveransen då denna är okänd. Detta bedöms dock
inte påverka slutsatserna i avgörande grad.

1 INLEDNING

Föreliggande utredning behandlar produktion och distribution av värme genom utnyttjande av kylvärme hos Gullfiber AB med användning av absorptionsvärmepump, resp gasmotordrivna kompressorvärmepumpar. Värmen distribueras från en gemensam värmecentral till Stiftelsen Billesholmshems fastigheter samt till en pensionärsfastighet och Centralskolan, totalt åtta abonnenter. Det maximala värmebehovet för uppvärmning och förbrukningsvarmvatten har för ifrågavarande fastigheter beräknats till ca 2,5 MW. Det årliga värmebehovet för uppvärmning och förbrukningsvarmvatten inkl värmeförluster i värmekulvertar mellan produktionsanläggning och abonnenter uppgår till ca 5140 MWh.

Den värme som utnyttjas i värmepumparna kommer från processkylanläggningen på Gullfiber AB. Den tillgängliga spillvärmeeffekten (kyleffekten) är i storleksordningen 11.5-13.4 MW varav endast en mindre del kommer att utnyttjas. För att kunna nyttiggöra Gullfibers AB spillvärme måste förutom att de aktuella fastigheterna samman knyts med ett värmekulvertsystem till en gemensam värmecentral, dels värmen från Gullfibers processkylanläggning överförs till värmecentralen och dels måste den lågtempererade värmen i processkylvattnet utvinnas och förädlas till en högre temperaturnivå med hjälp av värmepumpstekniken.

För värmecentralen förutsätts en placering utanför Gullfibers fabriksområde. Värmecentralen omfattar ett absorptionsvärmepumpaggregat (AVP) med värmekapaciteten 1.3 MW resp. två gasmotordrivna värmepumpsaggregat (GVP) med värmekapaciteten 2×650 kW; en naturgaseldad panna med effekten 2.5 MW, en hetvattenackumulator med volymen ca 20 m^3 .

Värmekulvertarna (fjärrvärmeledningarna) mellan värmecentralen och fastigheterna (abbonenterna) förutsätts utföras med konventionella sk plaströrskulvertar. Transportkulverten för kylvattnet mellan Gullfiber och värmecentralen föreslås utföras med oisolerad plaströrledning nedlagd i marken.

Av det årliga behovet 5140 MWh bedöms kunna täckas ca 3500-4400 MWh med hjälp av värmepumpar som inte använder el som drivenergi.

Enligt en tidigare utredning (Bäckström 1981) har det visat sig lämpligt att vid användning av en elvärmepump täcka ca 4110 MWh/år med elvärmepumpen och resten med oljepannor.

Enligt uppgift förbrukas för närvarande årligen ca 755 m³ Eol i de aktuella fastigheterna. En övergång till värmepumpsdrift och panndrift med gas som bränsle innebär således en 100 %-ig oljeersättning.

I jämförelse med endast panndrift kan man förvänta sig en förbättring av hela anläggningens årsmedelverkningsgrad med minst 40 % vid installation av en bränsle- eller ångdriven värmepump.

2. VÄRMEBEHOV

De maximala årliga värmebehoven för de aktuella abonnenterna har fastställts med ledning av uppgifter om oljeförbrukning, väningsytor, antal lägenheter m m som erhållits genom Stiftelsen Billesholmshem.

Följande maximala och årliga värmebehov har fastställts:

Abonent	Maximalt värmebehov kW	Årligt värmebehov MWh
1. Centralskolan	450	680
2. Pensionärsfastigh.Biblioteksg.1	55	110
3. Biblioteksg. 3	85	175
4. Nygatan 2	85	175
5. Nygatan 4 - Biblioteksg. 2	230	550
6. Skolgatan 18, 20, Västerg. 13	230	485
7. Skolgatan 22, 24, 26	260	520
8. Västergatan 21 m fl	<u>1100</u>	<u>2150</u>
Summa	2495	4845

Beräkningen av den årliga energiförbrukningen vid den gemensamma produktionsanläggningen baseras dels på det årliga värmebehovet hos abonnenterna och dels på den värmemängd som förloras i fjärrvärmeledningarna mellan produktionsanläggningen och abonnenterna. Denna värmemängd har med stöd av bl a leverantörers kataloguppgifter beräknats till ca 295 MWh/år. Det totala årliga värmebehovet för abonnenter och fjärrvärmeledningar uppgår således till $4845 + 295 = 5140$ MWh.

3. SPILLVÄRMEKÄLLA

Den spillvärme som utnyttjas i projektet är värmeenergi från processkylanläggningen på Gullfiber AB. Kylanläggningen är utrustad med luftbatterier som kyles med hjälp av fläktar. Värmen tillföres omgivande uteluft. Det totala kylvattenflödet genom luftbatterierna är ca 20-24 m³/min. Den varma ledningens kylvattentemperatur varierar med utetemperaturen. Mätningar utförda av Gullfiber AB har gett resultatet:

<u>Utetemperatur</u>	<u>Varmt kylvatten</u>
-8 - 0°C	25 - 26°C
ca +15°C	ca 34°C
23 - +25°C	44 - 46°C

I luftbatterierna åstadkommes en temperatursänkning av ca 8°C.

Detta ger en tillgänglig spillvärmeeffekt (kyleffekt) av ca 11.5-13.4 MW om hela kylvattenflödet utnyttjas.

Spillvärmern skall utnyttjas för att bidra till värmeförsörjningen av de fastigheter som finns redovisade i kapitel 2 och som är belägna i närheten av Gullfiber AB's anläggning. För att åstadkomma detta krävs:

- att fastigheterna förbindes med ett kulvertnät till en gemensam värmecentral
- att värme från Gullfiber AB's processkylanläggning överföres till värmecentralen
- att den lågtempererade värmen i processkylvattnet utvinnes och förädlas till en högre temperaturnivå med hjälp av värmepumpsteknik

Värmepumpsaggregatet placeras lämpligen i den gemensamma värmecentralen. En kylvattenkulvert utförs mellan en lämplig inkopplingspunkt i processkylanläggningen och värmecentralen. Inkopplingspunkt och kulvertförläggning framgår av fig. 3.1.

Om värmepumpen istället placeras hos Gullfiber AB måste värmeöverföringen mellan fabriken och värmecentralen ske i en fjärrvärmekulvert. Genom att värmepumpen placeras i värmecentralen kan överföringen ske i en enkel kylvattenkulvert som utförs med prefabricerade plaströr.

En placering hos Gullfiber AB kan dock eventuellt övervägas om den ångdrivna absorptionsvärmepumpen väljes. Därmed undviks den relativt långa ångledningen som krävs vid placering i värmecentralen.

4. DIMENSIONERING AV VÄRMEPUMPSANLÄGGNINGEN

4.1 Allmänt

Det maximala effektbehovet i distributionsnätet inkl kulvertförluster uppgår till 2.5 MW. Detta är en liten effekt jämfört med den tillgängliga spillvärmeeffekten 11.5-13.4 MW.

Eftersom spillvärmens pga den låga temperaturen ej kan utnyttjas direkt utan kräver värmepumpsteknik måste värmepumpsaggregatets storlek bestämmas. Av figur 4.1 framgår distributionsnätets effektbehov redovisat i en varaktighetskurva. Av figuren framgår att varaktigheten för en viss effekt avtar ju större denna effekt är. Dvs redan med en liten andel av maximeffekten kan en stor energitäckning åstadkommas. Så ger t ex effekten 1.3 MW, vilket motsvarar ca halva maximeffekten, upp till ca 85% energitäckning.

Eftersom den specifika investeringskostnaden (kr/kW) är mångdubbelt högre för en värmepump än t ex en gas- eller oljepanna är det sällan lönsamt att dimensionera värmepumpen för att klara hela det maximala effektbehovet.

Hur stor andel av maximala effektbehovet som värmepumpen dimensioneras för är beroende av bl a kostnaderna för tillvaratagandet av spillvärmens och effektiva värmepriset med tillgängliga alternativa värmekällor (t ex en oljepanna). Men dessutom spelar värmepumpsaggregatets driftsegenskaper en stor roll.

I detta fall kan dimensioneringen av abonnenternas undercentraler lätt påverkas eftersom dessa ännu ej har installerats. Genom att dimensionera värmeväxlarna hos abonnenterna för en framledningstemperatur av 70°C från värmecentralen för varmvattenberedning och luftvärmare kan värmepumpen klara hela effektbehovet under en stor del av året med en värmebärartemperatur på 70°C. Endast under de kallaste vintermånaderna krävs en högre framledningstemperatur. Genom att även överdimensionera radiatorvärmväxlarna kan en ännu större del av året klaras med 70°C värmebärartemperatur.

För närvarande förekommer i svenska fjärrvärmesystem endast elvärmepumpar (elmotor drivna kompressorvärmepumpar). I och med Gullfiber AB kommer att erhålla gasleverans via det planerade naturgasnätet och eventuellt kan frigöra processånga så har intresset inriktats på värmepumpar som inte drivs med elenergi utan med värmeenergi. Här kommer främst två olika typer ifråga som under senare år utvecklats och utprovats utomlands. Dessa utgörs dels av absorptionsvärmepumpen och dels av den gasmotor drivna värmepumpen.

Den senare skiljer sig från elvärmepumpen genom att elmotorn ersätts av en stationär förbränningsmotor som drivs med gasformigt bränsle (t ex naturgas) eller flytande bränsle (t ex dieselolja).

Den förra skiljer sig från elvärmepumpen genom att man för kompressionen av köldmediet inte använder en mekanisk kompressor (alltså en maskin) utan en sorptions-desorptionsprocess som äger rum i en kombination av flera värmeväxlare (alltså apparater). Den nödvändiga tryckstegringen åstadkommes med en flerstegs-cirkulationspump som är den enda rörliga delen.

Processförloppet för en absorptionsvärmepump beskrivs mera ingående i bilaga 2.

Absorptionsvärmepumpen kan drivas direkt genom förbränning av naturgas i en speciell panna (generator) eller indirekt med kondenserande vattenånga som produceras på konventionellt sätt i en bränsleeldad ångpanna.

För närvarande marknadsförs endast absorptionsvärmepumpar med ammoniak eller vatten som köldmedium. Vid de uteffekter som i denna förstudie är aktuella (≤ 2.5 MW) visade det sig att den specifika anskaffningskostnaden för den förra är ca 50% - 90% större än för den senare. Därför har i det fortsatta utredningsarbetet endast beaktats absorptionsvärmepumpen med vatten som köldmedium, dvs den sk vatten/litiumbromidabsorptionsvärmepumpen.

På grund av den höga temperaturen hos värmekällan kan denna absorptionsvärmepump ge framledningstemperaturer mellan 70° och

80°C så länge returtemperaturen från kulvertnätet ej överstiger ca 55°C.

I en gasmotorvärmepump kan man t ex använda köldmediet R12 genom att välja en värmepumpseffekt som motsvarar den största effekten som kan klaras med 70°C framledningstemperatur. Om värmepumpen skall klara en större effekttäckning måste den dimensioneras för en högre värmebärartemperatur än 70°C och då måste ett annat köldmedium användas, t ex R114. Vid en övergång från R12 till R114 ger dock samma aggregat i detta fallet ca 50 % lägre uteffekt varför ett större och därmed dyrare aggregat måste väljas. Begränsningen i användning av olika köldmedier beror på deras olika långtidshållbarhet vid högre drifttemperaturer, samt resp tryck-temperaturberoende. I det fortsatta utredningsarbetet har därför förutsatts användandet av köldmediet R12 i ett värmepumpsaggregat med gasmotor. Utgående från budgetofferter, visade det sig emellertid att anskaffningskostnaden för ett komplett aggregat vid här aktuell uteffekt är mellan ca 100% - 150% högre än motsvarande kostnad för en vatten/litiumbromidabsorptionsvärmepump, beroende av utförande och tillverkare. Till detta kommer underhålls- och servicekostnader som är ca 3 gånger så höga som för en absorptionsvärmepump (ca 2% av investeringskostnaden jämfört med ca 5,5% för gasmotorvärmepumpen). Värmefaktorn är emellertid vid här föreliggande omständigheter ca 25-50% större än för absorptionsvärmepumpen.

Beroende på hur väl de olika komponenterna i kulvertnät och värme-central samverkar med värmesystemen i fastigheterna kan en värmepumpseffekt av 1.0-1.3 MW tillgodogöras vid en framledningstemperatur av 70°C från värmecentralen. Vid konventionell dimensionering av kulvertnät och radiatorvärmeväxlare kan värmepumpseffekten 1.0 MW tillgodogöras. Vid överdimensionering av både radiatorvärmeväxlare och tappvarmvattenvärmeväxlare kan upp till 1.3 MW tillgodogöras utan överdimensionering av kulvertnätet. Denna effekt kan täckas med antingen en absorptionsvärmepump (AVP) eller en gasmotorvärmepump (GVP).

Genom att öka hetvattenflödet i kulvertnätet och överdimensionera radiatorvärmeväxlarna i undercentralerna kan alltså värmepumpens

energitäckning ökas. En exakt systemoptimering ligger dock inte inom ramen för denna utredning, utan utföres lämpligen i samband med projektering och upphandling.

Undersökningen av fastigheterna har visat att man på ett ekonomiskt sätt kan reducera behovet av framledningstemperatur till ca 70°C under en längre driftstid.

4.2 Absorptionsvärmepump, allmänt

Absorptionsvärmepumpen är sedan gammalt känd men många av dagens värmeproducenter och anläggningsprojektörer är inte förtrogena med dess princip och teknik. För att fylla denna kunskapslucka ges i bilaga 2 en processbeskrivning för absorptionsvärmepumpen i enkelstegsutförandet. Liksom mekaniska kompressorvärmepumpar kan även sorptionsvärmepumpar utföras i flera steg, men flerstegsutföranden är inte aktuella i denna förstudie. En teknik-ekonomisk förstudie om flerstegstyper publiceras 1983 i BFRs skriftserie (Morawetz 1983:a).

Många värmekällor har lägre temperatur än den som står till förfogande i denna undersökning. T ex kommunalt avloppsvatten och grundvatten ligger typiskt i temperaturintervallet $6^{\circ} - 15^{\circ}\text{C}$. Vid dessa och lägre temperaturer klarar vatten/litiumbromid absorptionsvärmepumpen ensam inte av det nödvändiga temperaturlyftet ($40^{\circ} - 70^{\circ}\text{C}$). Det har visat sig att man genom en kaskadkoppling med en liten elvärmepump kan uppnå ett intressant tekniskt och ekonomiskt alternativ till en för hela uteffekten dimensionerad elvärmepump (Morawetz 1983:b). Den lilla elvärmepumpens enda uppgift är att vid en förhållandevis liten kyleffekt åstadkomma ett begränsat temperaturlyft om ca $10^{\circ} - 20^{\circ}\text{C}$ varför dess processvärmefaktor är hög, ca 5-6, och elförbrukningen därför mycket låg.

4.2.1 Ångdriven absorptionsvärmepump

Vid anläggningsutförandet med en ångdriven vatten-litiumbromid absorptionsvärmepump är ett japanskt fabrikat Sanyo, typ BH-150, lämpligt. Standardförångaren måste eventuellt modifieras för större spillvattenflöde och tillverkas i korrosionsbeständigt material.

Värmepumpens utläggning baseras på att 35-gradigt spillvatten (ca 90 m³/h) avkyls 5^o i förångaren. Den högsta, resp lägsta värmeeffekten som värmepumpen kan avge uppgår till 1300 kW, resp 490 kW, under förutsättning att

- primärvattenflödet i värmepumpens primärkrets ej understiger 28 m³/h
- returtemperaturen från nätet ej överstiger 70^oC

I figur 4.2 visas ett principiellt flödesschema för en AVP (ånga).

Konstant primärvattenflöde kan erhållas med en 3-vägs shuntventil och en extra cirkulationspump. Den maximala uttemperaturen till nätet blir 80^oC. Enligt uppgift från Gullfiber AB är tillgängligheten för drivånga ca 90%. Bortfallet av drivånga sker under den kallaste perioden. Därför behövs en tilläggs-spanna för hela effekten, dvs 2,5 MW. Värmepumpens energitäckning framgår av figur 4.3 samt kapitel 5.

När effektbehovet varierar mellan värmepumpens maximala och minimala effektnivå (dvs mellan 1300 och 490 kW) så kapacitetsregleras värmeavgivningen från absorptionsvärmepumpens kondensator och absorbatör automatiskt. I motsats till den mekaniska kompressorvärmepumpen försämras härvid värmefaktorn endast obetydligt.

När sommartid returtemperaturen i kulvertnätet överskrider 45^oC och effektbehovet samtidigt ligger under 600 kW så fungerar inte den kontinuerligt verkande kapacitetsregleringen och värmepumpen måste köras på dellast i on-off drift över en värmeackumulator. Detta fall inträffar ca 2500 h/år när endast effektbehov för varmvattenberedning föreligger.

När under höglasttiden returtemperaturen överskrider 45^oC passerar allt returvattnet från kulvertnätet genom absorptionsvärmepumpen utan återcirkulation. På grund av flödes- och temperaturförhållanden lämnar absorptionsvärmepumpen under ca 1500 h/år trots temperaturstyrd dellastkörning för hög effekt varför den måste köras i on-off-drift över värmeackumulatören. Under ca 1000 h/år räcker inte absorptionsvärmepumpen till för att täcka hela effektbehovet och

tilläggsspannan måste kopplas in. Absorptionsvärmepumpen körs då parallellt med pannan på dellast (lägst med 38% av fullast). Detta inträffar när temperaturskillnaden i nätet överstiger 40°C .

Värmeackumulatören dimensioneras för ca 1200 kW uppladdningseffekt (inklusive stilleståndsförluster). Om ackumulatorvolymen väljs till 20 m^3 så blir under en uppladdnings-/urladdningscykel den kortast förekommande gångtiden för värmepumpen ca 0,25 h och den längsta stilleståndstiden 1 h. Den längsta stilleståndstiden för värmeackumulatören blir ca 2,5 h.

4.2.2 Gasdriven absorptionsvärmepump

Vid anläggningsutförandet med en gasdriven vatten-litiumbromid absorptionsvärmepump kan samma fabrikat som ovan användas men då utrustad för gasdrift. I detta fall anbringas i rökkanalen en avgaspanna för rökgaskylning.

För övrigt gäller samma som för den ångdrivna versionen.

Den maximala uttemperaturen från absorptionsvärmepumpen till kulvertnätet är också i detta utförande ca 80°C .

Av figur 4.3 samt kapitel 5 framgår värmepumpens energitäckning.

Av figur 4.4 framgår värmepumpsanläggningens flödesschema.

Under en kort period krävs enligt tidigare högre framledningstemperatur och värmeeffekt än värmepumpen kan prestera. Därför installeras en tilläggspanna (gaspanna) som dimensioneras för åtminstone effektskillnaden, ca 2 MW.

Ifall spillvattentemperaturen understiger 35°C så minskar den avgivna värmeeffekten och blir noll om spillvattentemperaturen sjunker t ex till 24°C , samtidigt som returvattentemperaturen är 50°C eller högre. Om risk härför föreligger måste (vid 100% tillgänglighet av drivenergin) under ca 300 h/år gaspannan (eller motsvarande) täcka värmesystemets hela effektbehov, dvs 2,5 MW, och den måste i så fall dimensioneras för detta behov.

4.3 Gasmotorvärmepumpen

Utvecklingen av gasmotordrivna kompressorsvärmepumpar har intensivt bedrivits i synnerhet i Västtyskland. Denna utveckling kan numera anses vara avslutad och i dag marknadsförs kompletta anläggningar för olika effekter av ett flertal företag. Anläggningar med effekter större än ca 1-15, MW utförs normalt med minst två aggregat.

En väsentlig erfarenhet som kommit fram under de senaste två åren är att årliga underhålls- och servicekostnader är betydligt högre än som ursprungligen antagits. Från att dessa kostnader ursprungligen har uppskattats till ca 2,5% av investeringskostnaden har de i verkligheten visat sig uppgå till ca 5-6% (bl a Jüttemann 1981). Dessa värden bör jämföras med 0,8-1% för ammoniak/vattenabsorptionsvärmepumpar och ca 2% (osäkert värde) för vatten/litiumbromidabsorptionsvärmepumpar.

Underhåll av motor-kompressor-aggregatet innebär bl a regelbundna oljebyten, kontroller och s k "top-overhaul" och "major-overhaul". I bilaga 3 visas ett exempel på en underhållsplan för en Waukeshagasmotor.

I figur 4.5 visas flödesschema för värmepumpsanläggningen.

I figur 4.6 samt i kapitel 5 redovisas värmepumpsanläggningens energitäckning.

I jämförelse med en eldriven värmepump är en av fördelarna att en viss kapacitetsminskning lätt kan åstadkommas genom reducerad bränsletillförsel till förbränningsmotorn, varvid motorvarvtalet kan reduceras från typiska 1600 min^{-1} till ca 1000 min^{-1} utan att motorverkningsgraden (31% - 38%) minskar med mer än ca 2-4 procentenheter. Axeffekten kan härvid minskas till ca 60%. Den mekaniska verkningsgradsförlusten för det kopplade motor-kompressor-aggregatet blir dock större, varför kylprocessens värmefaktor minskar vid dellastkörning. Aggregatets totala värmefaktor minskar emellertid inte lika mycket, eftersom en sämre motorverkningsgrad

innebär en proportionellt större värmeåtervinning från motorns kylvatten och rökgas. Först när motorvarvtalet underskrider ca 1000 min⁻¹ sker ganska drastiska verkningsgradsförändringar. Vid lägre effektbehov än ca 60-65% av fullast bör därför motorvärmepumpen köras i on-off-drift över en värmeackumulator. På grund av de sämre dellastegenskaperna jämfört med absorptionsvärmepumpen beräknas den nödvändiga ackumulatorvolymen till ca 40 m³ vid enkelaggregatutförande och till ca 20 m³ vid dubbelaggregatutförande.

5. ENERGITÄCKNING

Vid 100 % teknisk tillgänglighet skulle energitäckningen vara

AVP (ånga)	ca 4000 MWh/år
AVP (gas)	ca 4500 MWh/år
GVP	ca 4500 MWh/år

Drivenergins tillgänglighet bedöms vara för

gas	ca 100 %
ånga	ca 90 %

Värmepumparnas tekniska tillgänglighet bedöms vara för

AVP	ca 98 %
GVP	ca 95 %

Aggregatens energitäckning beräknas därmed bli:

AVP (ånga)	$0,9 \times 0,98 \times 4000 = 3530$ MWh/år
AVP (gas)	$1,0 \times 0,98 \times 4500 = 4410$ MWh/år
GVP	$1,0 \times 0,95 \times 4500 = 4280$ MWh/år

Motsvarande procentuella energitäckning blir:

AVP (ånga)	$3530/5140 = 69$ %
AVP (gas)	$4410/5140 = 86$ %
GVP	$4280/5140 = 83$ %

Aggregatens ekvivalenta fullastdrifttid beräknas till:

AVP (ånga)	$3530/1,3 = 2720$ h/år
AVP (gas)	$4410/1,3 = 3400$ h/år
GVP	$4280/1,3 = 3290$ h/år

6. VÄRMECENTRALENS ENERGIBEHOV

Årsmedelvärmefaktorn påverkas av verkningsgradsändringar vid delastkörning. För absorptionsvärmepumpen uppges ingen försämring av processvärmefaktorn (vilket är rimligt), däremot påverkas generatorverkningsgraden vid gasdrift. Av tillverkardata kan för fullast generatorverkningsgraden (motsv pannverkningsgrad) beräknas till ca 0.88. Denna antages minska till 0.80 vid lägsta förekommande dellast (ca 38 % av fullast). Ungefär 2000 MWh/år produceras vid mindre än 90% fullast. Detta innebär att pannmedelverkningsgraden blir ca 85%. Årsmedelverkningsgrad blir med hänsyn tagen till återvinning ur rökgas (ca 300 MWh/år):

$$0.88 \times 2410 / (4410 - 300) + 0.80 \times 2000 / (4410 - 300) = 0.90$$

dvs på grund av värmeåtervinning ur rökgas erhålls som medelverkningsgrad ett större värde än vid ren fullastkörning utan återvinning. Årsmedelvärmefaktor blir därför $0.90 \times 1,67 = 1.50$ för AVP (gas) - aggregatet och 1,67 för AVP (ånga)-aggregatet.

I utläggningsspunkten har varje gasmotorvärmepumpsaggregat värmefaktorn 1.97. Ett aggregat används för grundlastkörning. Det går därför ca 3000 h/år på fullast, ca 1000 h/år på dellast och övrig tid i on-off-drift (figur 4.6). Det andra aggregatet är i drift ca 3000 h/år parallellt med det första när dettas fullasteffekt ej räcker till. Fullastdrifttiden för det andra aggregatet är ganska begränsad, ca 600 h/år. Under ca 2400 h/år går aggregatet antingen på dellast eller körs i on-off-drift. Mot bakgrund av dessa driftförhållanden kan man uppskatta en årsmedelverkningsgrad motsvarande ca 1.85 för båda aggregaten tillsammans.

Drivenergibehovet beräknas till

AVP (ånga): $3530 / 1,67 = 2110$ MWh/år motsvarande 3550 ton ånga/år

AVP (gas): $4410 / 1.50 = 2940$ MWh/år

GVP: $4280 / 1,85 = 2310$ MWh/år

Gasenergiförbrukningen för hela anläggningen uppgår till ($\eta_{\text{panna}} = 0,80$):

- AVP (ånga): $(5140 - 3530)/0,8 + 2110 = 4120$ MWh/år (ånga + gas), motsvarande $186\ 000\ \text{Nm}^3/\text{år}$ naturgas med ett undre bränslevärde $38,9\ \text{MJ}/\text{Nm}^3$.
- AVP (gas): $(5140 - 4410)/0,8 + 2940 = 3850$ MWh/år, motsvarande ca $356\ 000\ \text{Nm}^3/\text{år}$ naturgas.
- GVP: $(5140 - 4280)/0,8 + 2310 = 3380$ MWh/år, motsvarande ca $313\ 000\ \text{Nm}^3/\text{år}$ naturgas.

Värmepumparnas elförbrukning uppskattas till

$$\text{AVP (ånga)}\ 4 \times 10^{-3} \times 2720 = 10\ \text{MWh/år}$$

$$\text{AVP (gas)}\ 4 \times 10^{-3} \times 3400 = 14\ \text{MWh/år}$$

Till detta kommer elenergi för

distributionspumpar	70 MWh/år
Övrigt	<u>6 MWh/år</u>
	76 MWh/år

Hela anläggningens årsmedelverkningsgrad beräknas till

$$\text{AVP (ånga)}\ 5140/(4120 + 10) = 1,23$$

$$\text{AVP (gas)}\ 5140/(3850 + 14) = 1,18$$

$$\text{GVP}\ 5140/3380 = 1,52$$

(Elenergi för distributionspumpar och övrigt är här ej medtagen).

I jämförelse med endast gaspannedrift erhåller man således en förbättring av den effektiva medelverkningsgraden med ca 54-66 % vid drift med absorptionsvärmepump, resp ca 90 % vid drift med en gasmotorvärmepump om medelverkningsgraden för gaspannan antas vara 80 %.

7 ENERGIBESPARING

Med kännedom om verkningsgrader och värmebehovet dels för abonnenter och fjärrvärme-ledningar, dels för värmepumps- och panndrift kan följande årliga energibesparingar i form av importerad fossil primär-energi beräknas:

- anläggning med 2,5 MW gaspanna och 1,3 MW ångdriven absorptionsvärmepump:
 $5140/0,8 - 1610/0,8 = 4410 \text{ MWh}$
 (av dessa utgör 2100 MWh ångenergi)
- anläggning med 2,5 MW gaspanna och 1,3 MW gaseldad absorptionsvärmepump:
 $5140/0,8 - 3850 = 2575 \text{ MWh}$
- anläggning med 2,5 MW gaspanna och 2 x 650 kW gasmotor drivna kompressorvärmepumpar:
 $5140/0,8 - 3380 = 3045 \text{ MWh}$

Som den tidigare utredningen (Bäckström 1981) visade blir motsvarande besparing av importerad primärenergi (i form av olja med en elvärmepumpsbaserad värmecentral) $5140/0,7 - (0,2 \times 5140/0,7 + 1470) = 4500 \text{ MWh}$ eftersom oljepannan står för 20 % energitäckning och elförbrukningen för elvärmepumpskompressorn är ca 1470 MWh. Man får alltså med de värmedrivna värmepumparna 2 -43 % mindre primärenergibesparing med avseende på fossila bränslen, i gengäld erhåller man ca 99 % besparing av elenergi. En avgörande faktor är emellertid vilka energikostnadsbesparingar som kan göras. Härvid är det betydelsefullt vilket energipris som åsätts ångan.

8 VÄRMECENTRALENS UTFORMNING

8.1 Absorptionsvärmepump

Värmecentralen förutsättes innefatta tre resp fyra huvudkomponenter: ett absorptionsvärmepumpsaggregat med värmekapaciteten 1,3 MW, en gaspanna för naturgas med värmeeffekten 2,5 MW en varmvattenackumulator med volymen ca 20 m³ och en rökgasvärmväxlare för absorptionsvärmepumpen i det fall den drivs med gas.

Värmecentralens gaspanna är avsedd att utgöra effektreserv och dessutom fungera som spetslastaggregat då värmepumpen ensam ej räcker till.

Akkumulatorn har tre funktioner:

- den gör att värmepumpen kan köras intermittent när drift vid dellast är tekniskt omöjligt
- den kan "svälja" effekttoppar vid svängningar i effektbehovet och därmed minimera behovet av spetsenergi
- den ger extra värmeleveranssäkerhet vid kortvariga driftsstörningar

Värmecentralen utförs i moduler. En modul innefattar gaspanna samt tryckhållnings- och cirkulationsutrustning. Denna modul är i princip pannhuset till en konventionell transportabel panncentral. En andra modul innehåller absorptionsvärmepumpen och dess drivenergi- och elförsörjningsutrustning. Absorptionsvärmepumpen är en kompakt enhet med dimensionerna (ca): längd 4,4 m, bredd 1,8 m (gastypen: 2,6 m), höjd 2,8 m (vikt inkl fyllning: 8,5 ton, resp 10,5 ton för gastypen). Se figur 8:1.

Dessa moduler uppställs intill varandra på ett gemensamt fundament. Skorstenen förankras i samma fundament, medan ackumulatorn uppställs på ett eget fundament. De olika modulerna konstrueras så att en ihopkoppling på fundamentet kan utföras på lämpligt sätt.

Mellan skorstenen och absorptionsvärmepumpens rökgasutgång in-kopplas rökgasvärmeväxlaren.

För den ångdrivna absorptionsvärmepumpen utgörs in- och utgående (nominella) effekter huvudsakligen av:

Ingående effekter	generator	791 kW
	förångare	<u>527 kW</u>
	summa	1328 kW
Utgående effekter	kondensator	630 kW
	absorbator	650 kW
	förluster	<u>28 kW</u>
	summa	1328 kW

Större delen av förlusterna utgörs av strålnings- och konvektionsförluster för den ångdrivna versionen och av rökgasförluster för den gasdrivna.

8.2 Gasvärmepumpen

Värmecentralen består av två byggnadsmoduler varav en är avsedd för gasvärmepumpen som utgörs av två identiska gasmotordrivna aggregat på vardera 650 kW och ett gemensamt kontroll- och automatikskåp. Varje aggregat består av en Waukesha-gasmotor och en sexcylindrig kolvkompressor på gemensam bärram av stål med dimensionerna: längd 3,8 m, bredd 1,8 m och höjd 1,9 m (vikt 2,6 ton). Värmeväxlarna som består av förångare, kondensator, kylvatten- och rökgasvärmeväxlare placeras på ett gemensamt stälstativ och utgör en transportabel modul med dimensionerna längd 4,5 m, bredd 2,0 m och höjd 2,5 m (vikt 9 ton). Maskinrummet kyls med ett 30 kW kylaggregat för att hålla lufttemperaturen på max 35°C.

Värmecentralens övriga delar är utförda på samma sätt som för absorptionsvärmepumpen.

In- och utgående effekter är för värmepumpens del vid utläggningspunkten:

Ingående effekter	motor	332 kW
	förångare	<u>345 kW</u>
	summa	677 kW
Utgående effekter	kondensator	456 kW
	kylvatten	120 kW
	rökgas	77 kW
	förluster	<u>24 kW</u>
	summa	677 kW

Förlusterna utgörs av rökgasförluster, strålnings- och konvektionsförluster från varma maskindelar.

9 DISTRIBUTIONSANLÄGGNING

9.1 Fjärrvärmeledningar

Fjärrvärmeledningarna består av parvis anordnade rör det ena för framförande av varmvatten till anslutna byggnader och det andra för återförande av det i byggnaderna avkylda vattnet till produktionsanläggningen.

Ledningarna dimensioneras för vatten med en maximal framlednings-temperatur av 110°C och ett drifttryck av 1.7 MPa.

Den sammanlagda längden av fjärrvärmeledningarna uppgår till ca 1 000 kulvertmeter.

Ledningarna, som förläggs i mark, föreslås utföras med plastkulvert-rör. Plastkulvertroren består av ett värmebärande rör av stål, isole-ring med polyuretan samt med ett ytterhölje av PEH. Plastkulvertroren föreslås vidare förses med inbyggt läckagelarmsystem.

Anläggningskostnaderna för fjärrvärmeledningarna har bearäknats med ledning av efterkalkyler från utförda fjärrvärmeledningar i andra kommuner.

Dessa kostnader kan dock variera kraftigt beroende på lokala förhål-landen såsom grundförhållanden, kulvertförläggning, event. samför-läggning med andra ledningar. Dessutom kan olika kostnader erhållas på val av kulvertsystem, konstruktör och anbudsförfarande.

Anläggningskostnaderna inkluderar följande anordningar och åtgärder.

Fördelnings- och servisledning, ventilbrunnar, luftnings- och töm-ningsanordningar, utläggning och borttagning av provisoriska kör- och gångbryggor, uppbrytning och återställning av markbeläggning, kon-struktion och kontrollarvoden.

I utredningen har följande kulvertmeterpriser använts:

Rör ansl. nr (Stålrörets)

100	1 800 kr/kulvertmeter (tillopp- och returledning)
80	1 650
65	1 475
50	1 625
40	1 300
32	1 175

Den sammanlagda anläggningskostnaden för fjärrvärmeledningarna uppgår till följande bleopp:

DN	Kulvertlängd, m	å-pris, kr/m	Summa
100	440	1 800	798 000
80	240	1 650	396 000
65	120	1 475	178 000
50	140	1 625	196 000
40	15	1 300	19 400
32	45	1 175	53 200
Summa			1 640 600

Kostnaderna gäller i nivån nov 1982 och är exkl statlig mervärdesskatt.

9.2 Abonnetantläggningar

I byggnad som skall anslutas till fjärrvärmesystemet anordnas undercentral (abonnetcentral) för mottagning av fjärrvärmevatten. Byggnaderna ansluts enligt s k slutet system. Värmeledningsanläggningarna inom de olika byggnaderna kan därigenom vara utförda som vanliga varmvattenledningssystem, vilka över en eller flera värmeväxlare ansluts till fjärrvärmenätet. Beredning av varmt förbrukningsvarmvatten sker i separata varmvattenvärmewäxlare. I stället för särskilda värmewäxlare kan prefabricerade s k värmewäxlarenheter eller värmeomformare användas.

Installationen på undercentralens primärsida, dvs den del som är direkt ansluten till fjärrvärmenätet utförs för PN 16. Temperaturen på vattnet i primärsidans tilloppsledning kommer att variera mellan 110°C och 70°C beroende på utetemperatur.

Värmeleverantören (Stiftelsen Billesholms hem) bekostar och levererar servisledning från gata till undercentral. Servisledningen avslutas med avstängningsventiler innanför grundmur. Värmeleverantören tillhandahåller även värmemängdsmätare, vilken dock uppsätts av abonnenten på dennes bekostnad. Övriga installationer bekostas helt av abonnenten.

Anläggningskostnaderna har beräknats utgående från tillgängliga prisuppgifter från leverantörer och kalkyler från utförda abonnent- och undercentraler.

Värmeleverantörens kostnader för servisavstängningsventiler och värmemängdsmätare uppgår till 35 000 kronor exkl statlig mervärdesskatt.

Abbonenternas kostnader för utbyte av befintliga pannor till värmväxlare för uppvärmning och förbrukningsvarmvatten med tillhörande regleringsventiler, övrig armatur m m exkl demontering av befintlig pannrustning, varmvattenberedare, oljetank m m har uppskattats till sammanlagt ca 810 000 kronor inkl statlig mervärdesskatt (12,87 %).

Ovannämnda kostnader gäller vid kostnadsnivån nov 1982.

10 EKONOMI

Den tidigare utförda utredningen (Bäckström 1981) hade som förutsättning att reducera kostnader för oljeeldning genom att ersätta så mycket oljevärme som möjligt med kondensorvärme från en eldriven värmepump samt att täcka spetslasten med oljeeldade pannor. För denna utredning baseras däremot ekonomiska beräkningar på förutsättningen att all för värmeproduktion nödvändig olja ersätts med värme dels från en ångdriven resp naturgaseldad värmepump dels att spetslasten täcks med en naturgaseldad panna. I detta fall ersätts inte bara all olja för spetslastvärme med naturgas. Även drivenergin för värmepumpen ersätts med annat energislag än el, nämligen antingen processånga eller naturgas. Elbehovet reduceras därigenom också mycket kraftigt i förhållande till elvärmepumpsalternativet.

10.1 Offertunderlag

Alternativet med gasmotorvärmepump kan utföras på olika sätt, dvs som en eller två moduler (650 resp 1300 kW) med kolvkompressor eller skruvkompressor med enkel eller dubbel köldmediekrets m m. Budgetoffertter har därför inhämtats från tre företag som erbjuder olika systemlösningar i form av nyckelfärdiga anläggningar. Av dessa visade sig den dyraste anläggningen vara ett utförande med två moduler med skruvkompressor och gemensam köldmediekrets samtidigt som även platsbehovet var störst. Anläggningstypen med ett enda aggregat innehåller en gasmotor med förhållandevis hög verkningsgrad (38 % vid utläggningspunkten). Denna måste emellertid huvudsakligen köras på dellast med försämrad verkningsgrad. Det bedöms också att tillgängligheten försämras i förhållande till ett dubbelaggregatutförande (på grund av underhåll, reparationer, eventuellt haveri). Skillnaden i anskaffningskostnad mellan enkel- och dubbelaggregatutförandet visade sig vara marginell. Därför valdes att utgå från budgetofferten från Sulzer Escher Wyss för ett tvåmodulssystem med Waukesha-gasmotor och kolvkompressorer med separata köldmediesystem. En nackdel är att motorverkningsgraden är lägre (ca 32 % vid utläggningspunkten), i gengäld blir dellastdrifttiden för bägge modulerna betydligt mindre samtidigt som en tvåstegskapacitetsreglering erhålls. Detta innebär att endast en modul är i

drift vid grundlastkörning. Först när effektgränsen (650 kW) överskrids tas den andra modulen i drift.

För vatten/litiumbromidabsorptionsvärmepumpen inhämtades budgetoffert för ett Sanyo-fabrikat som för närvarande är den enda på marknaden tillgängliga produkten för här avsett ändamål. Som tidigare nämnts (kap 4) kan man vid här föreliggande begränsad uteffekt bortse från ammoniak/vattenversionen eftersom anskaffningskostnaden blir mycket högre vid ungefär samma värmefaktor och samma funktion.

Absorptionsvärmepump:

Komplett modul, inkl intern styr-, regler-, el-, säkerhets- och övervakningsutrustning, kontaktytor mot spillvatten i förångaren av korrosionsbeständigt material (titan), varkuumpumpar (2x100%), driftfyllning av litiumbromidlösning, exkl montage och idrifttagning

Ångdriven version (fri svensk hamn)	765 tkr
gasdriven version (fri svensk hamn)	955 tkr

Leveranstid, 6 mån

Nominella kataloguppgifter:

Märkeffekt, kW	1318
Kyleffekt, kW	527
Driveffekt (ånga), kW	721
Driveffekt (naturgas, $h_u = 38,9 \text{ MJ/Nm}^3$), kW	1026

Underhålls- och servicekostnader uppskattas till 2 % av investeringskostnaden (se även bilaga 3).

Gasmotorvärmepumpar (2 x 650 kW):

Värmepumpaggregat inkl tömningssystem, intern styr-, regler-, el-, säkerhets- och övervakningsutrustning, värmeisolering av rörsystem, värmeväxlare och behållare, gemensamt stålstativ för värmeväxlare och behållare, kontaktytor mot spillvatten i förångaren av plastbelagt stål, smörjoljesystem, driftfyllning av köldmedium R12 och smörjolja.

Gasmotor inkl koppling, växellåda, gemensamt stålfundament för motor och kompressor, bränslesystem, styr-, regler-, och säkerhetsutrustning, avgassystem samt smörjoljesystem.

Utrustning för värmeåtervinning från motorns kylvatten och avgaser omfattande värmeväxlare rök-gaskanal, rörsystem samt värmeisolering.

Maskinrumskylare för 30 kW kyleffekt inkl tillbehör. Montage, idrifttagning och utbildning av driftpersonal.

Fritt exporthamn

2 065 tkr

Leveranstid, 7-8 mån.

Underhålls- och servicekostnader uppges belöpa sig till ca 5% av investeringsbeloppet.

Betr underhållsåtgärder se bilaga 3.

10.2 Investeringskostnader

För en fjärrvärmeanläggning med absorptionsvärmepump erhålles följande investeringskostnader:

Värmecentral med ångdriven 1.3 MW absorptionsvärmepump samt 2.5 MW gaspanna inkl ång- och kondensatledningar till och från Gullfiber AB	2 175 kkr
Värmecentral med gasdriven 1.3 MW absorptionsvärmepump samt 2.5 MW gaspanna	1 965 kkr
Värmecentral med 2 st gasmotordrivna kompressorvärmepumpar à 650 kW samt 2.5 MW gaspanna	3 110 kkr
Kylvattenkulvert mellan värmecentralen och Gullfiber ABs kylanläggning	150 kkr
Urustning vid Gullfiber ABs kylanläggning	80 kkr
Fjärrvärmekulvertar	1 640 kkr
Abonnentinstallationer	810 kkr
Konsultkostnader	300 kkr
Ej spec. och oförutsett	300 kkr

Med denna sammanställning erhålles följande totala investeringskostnader för de tre aktuella alternativen:

Fjärrvärmeanläggning med ångdriven absorptionsvärmepump, AVP (ånga)	5 455 kkr
Fjärrvärmeanläggning med gasdriven absorptionsvärmepump, AVP (gas)	5 245 kkr
Fjärrvärmeanläggning med gasmotordrivna värmepumpar, GVP	6 390 kkr

10.3 Årskostnader

Årskostnaderna beräknas med två alternativa räntesatser 5 % resp 15 % för investerat kapital. För den spillvärmeutnyttjande anläggningen användes avskrivningstiden 10 år, för värmecentralen i övrigt och abonnentinstallationer 20 år samt för kulvertar 30 år.

Några enhetliga tariffer och anslutningsavgifter för naturgas finns för närvarande ej. Då taxorna för naturgasen avses utformas så att de blir konkurrenskraftiga gentemot de tillgängliga alternativen har ansatts ett gaspris på 16 öre/kWh, vilket motsvarar ett effektivt värmepris på 20 öre/kWh vid pannverkningsgraden 80 %. Denna kostnad inkluderar alla fasta avgifter.

För elenergin har ansatts totalkostnaden 25 öre/kWh.

För ånga har ansatts totalkostnaden 22.5 öre/kWh, vilket ungefär motsvarar bränslekostnaden för prima ånga producerad med tjockolja.

a) Kapitaltjänstkostnader (kkr)	5 % ränta	15 % ränta
1. Spillvärmeanläggning		
AVP (ånga) I = 1 940	252	388
AVP (gas) I = 1 730	225	346
GVP I = 2 875	374	575
2. Värmecentral övrig del		
I = 965	77	154
3. Distributionssystem		
Kulvertar I = 1 700	111	258
Abbonentinstallationer		
I = 850	68	136
b) Underhålls- och servicekostnader (kkr)		
1. Spillvärmeanläggning		
AVP (ånga) 2 %		39
AVP (gas) 2 %		35
GVP 5 %		144

2. Värmecentral övrig del	3 %	29
3. Distributionssystem		
Kulvertar	1,5 %	26
Abbonentinstallationer	3 %	26
c) Personalkostnader (kkr)		
Samma kostnad för alla alt.		60
d) Energikostnader (kkr)		
AVP (ånga)	ånga (2110 MWh)	475
	gas (2010 MWh)	322
	el (10 MWh)	2.5
AVP (gas)	gas (3850 MWh)	616
	el (14 MWh)	3.5
GVP	gas (3380 MWh)	541
Distributionspumpar	el (70 MWh)	17.5
Övrigt	el (6 MWh)	1.5

En sammanställning av kostnaderna a) t o m d) ovan ger:

	Årskostnad (kkr)		Värmekostnad (kr/MWh)	
	5 %	15 %	5 %	15 %
Fjärrvärmeanläggning med ångdriven absorptionsvärmepump AVP (ånga)	1 506.5	1 934.5	311	399
Fjärrvärmeanläggning med gasdriven absorptionsvärmepump AVP (gas)	1 295.5	1 708.5	267	353
Fjärrvärmeanläggning med gasmotordrivna värmepumpar GVP	1 475	1 968	304	406

Värmekostnaden är beräknad för det verkliga värmebehovet 4 845 MWh/år, dvs kulvertförlusterna 295 MWh/år belastar denna kostnad.

Årskostnaderna enligt ovan kan jämföras med kostnaden för nuvarande förbrukning av eldningsolja, ca 755 m³ Eo1, till ett värde av ca 1.9 Mkr.

11. ENERGIPRISERNAS INVERKAN

Fjärrvärmeanläggningens ekonomi bestäms till stor del av energipri- serna. Av den totala årskostnaden utgör energikostnaderna ca 30-50 % enligt föregående kapitel.

Det redovisade resultatet utgår enligt tidigare från primärenergipri- serna 16 öre/kWh för naturgas, sekundärenergipriserna 22,5 öre/kWh för ånga samt 25 öre/kWh för elenergin. (Totalpris inkl fasta avgif- ter).

Enligt den tidigare utredningen (Bäckström 1981) avseende en elmo- tordriven kompressorvärmepump (EVP) blev årskostnaden vid 5 % ränta ca 1.2 Mkr och vid 15 % ränta ca 1.5 Mkr för en värmepumps- effekt av 1.3 MW. Omräknat till dagens prisnivå blir kostnaderna ca 1.4 Mkr resp 1.8 Mkr. Detta är samma årskostnader som för det bästa av de i denna studie undersökta alternativen, gasdriven absorptions- värmepump.

Energibalanserna och motsvarande energikostnader för de tre alter- nativen redovisade i denna utredning jämfört med den eldrivna kompressorvärmepumpen blir:

		Energi- behov (MWh)	Energi- kostnad (kkr)	Årskostnad 5 % ränta (kkr)
AVP (ånga)	ånga	2110	475	
	gas	2010	322	1 506.5
	el	86	21.5	
AVP (gas)	gas	4330	693	1 372.5
	el	90	22.5	
GVP	gas	3380	541	1 475
	el	76	19	
EVP	el	1559	390	1 400
	olja	1376	347	

Av tabellen kan följande slutsatser erhållas:

- Med de förusatta energipriserna kan i denna anläggning värme-
produktion med absorptionsvärmepump och gaspanna konkurrera
med värmeproduktion från en elmotorvärmepump och oljepan-
na.
- Om AVP (ånga) drivs med lågvärdig ånga kan lika låg eller lägre
årskostnad än för AVP (gas) samt EVP uppnås. Gränsen går vid
en ångenergikostnad på ca 170 kr/MWh.

I figur 11.1 redovisas de olika anläggningsalternativens känslighet för
energiprishöjningar (5 % kapitalränta).

Det framgår klart att de tre alternativen till den konventionella
elmotorvärmepumpen (EVP) är känsligare för ökning av gaspriset än
vad elmotorvärmepumpen är för ökning av elpriset.

Det framgår också att gaspriset i framtiden ej får bli högre än ca 20
öre för att de tre alternativen skall vara konkurrenskraftiga även vid
mycket kraftiga elprishöjningar. (Elpris 35 öre/kWh).

Enligt tidigare kan dock anläggningen med ångdriven absorptions-
värmepump AVP (ånga) konkurrera med elmotorvärmepumpen vid
betydligt högre gaspriser om drivången ej räknas som högvärdig och
därmed kan åsättas ett lägre energipris. Med "gratis" drivånga kan
AVP (ånga) konkurrera med EVP upp till ett gaspris av ca 35 öre/kWh
vid nuvarande elpris (25 öre/kWh).

12 LITTERATUR

Bäckström, P, 1981, Utredning av fjärrvärme från värmepumpsanläggning vid Gullfiber AB (utredningsuppdrag av Stiftelsen Billesholmshem till ÅF-Energikonsult AB, Malmö).

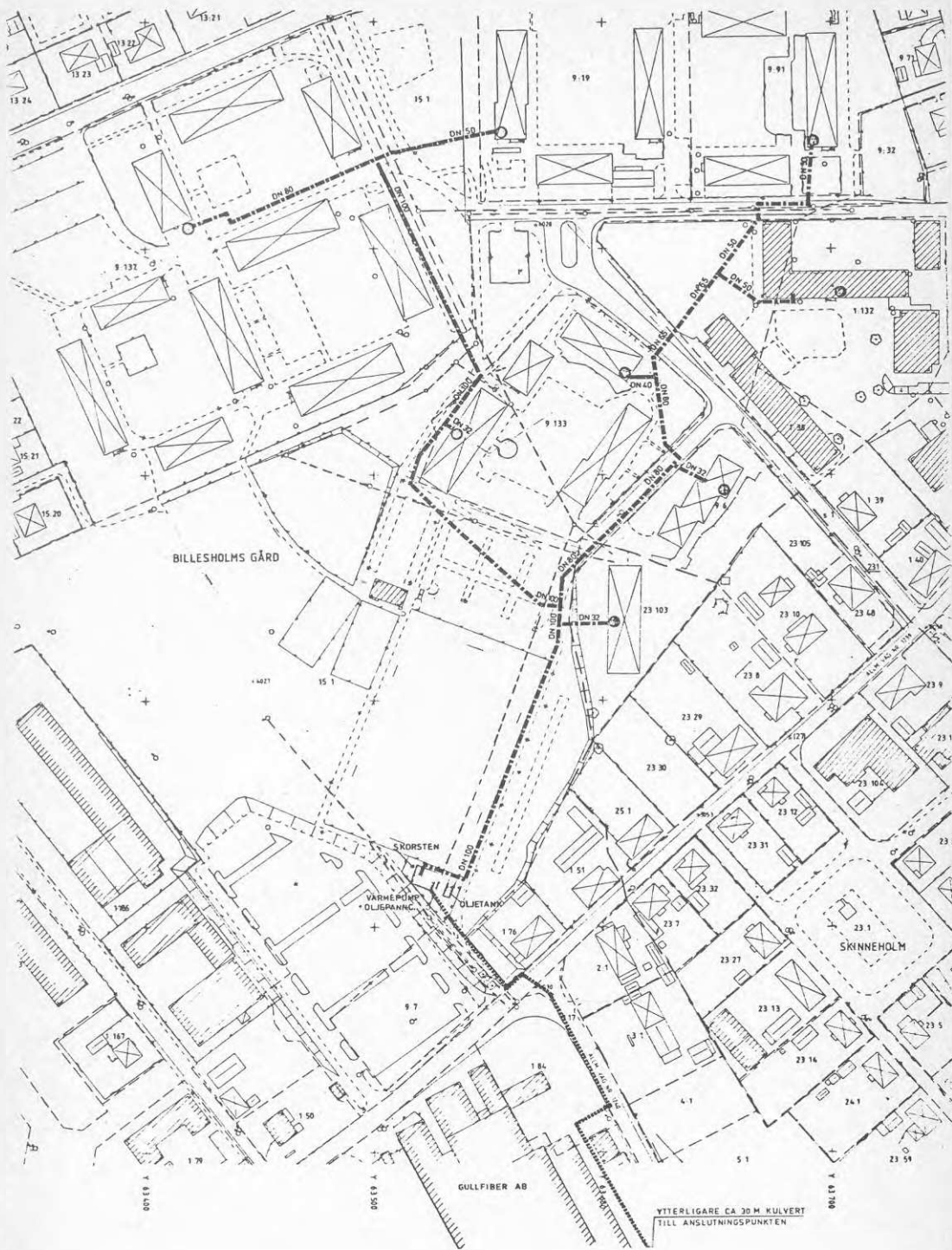
Morawetz, E, 1983:a, Flerstegsabsorptionsvärmepumpar (BFR-publication, i tryck).

Morawetz, E, 1983:b, Direkteldad absorptionsvärmepump med avloppsvatten som värmekälla (BFR-publication, i tryck).

Jüttemann, H, 1981, Wärmepumpen, Band 3: Anwendung der Gas- und Dieselwärmepumpe in der Haustechnik, Verlag C F Müller, Karlsruhe.

FIGURER, DIAGRAM

FIGUR 3.1



ABONNENTERNAS EFFEKTBEHOV

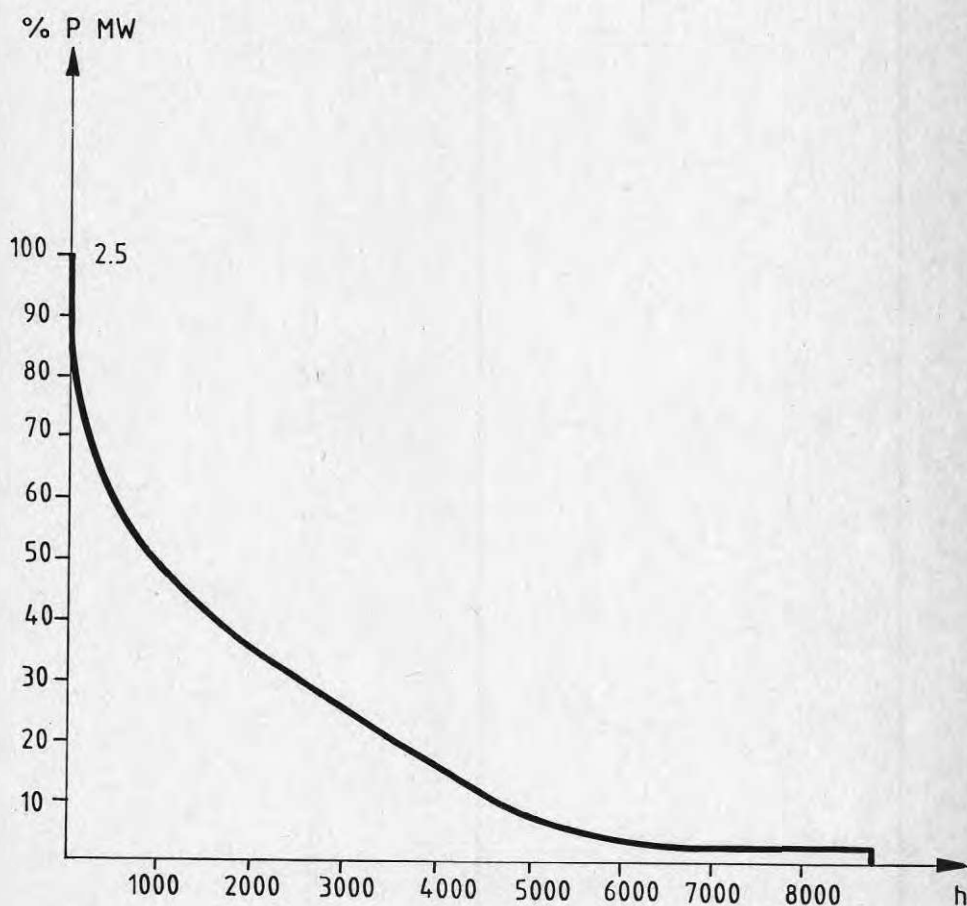


FIG. 4.1

Denna ritning är AF Energikonsult AB:s egendom och får icke utan tillstånd utnyttjas för annat ändamål än det uppdrag för vilket den framställts. Den åtnjuter skydd enligt 1960 års lag om upphovsrätt.

This drawing is the property of AF Energikonsult AB and may not, without permission, be used for other purpose than the project for which it is produced. It is protected by the Swedish copyright law of 1960.

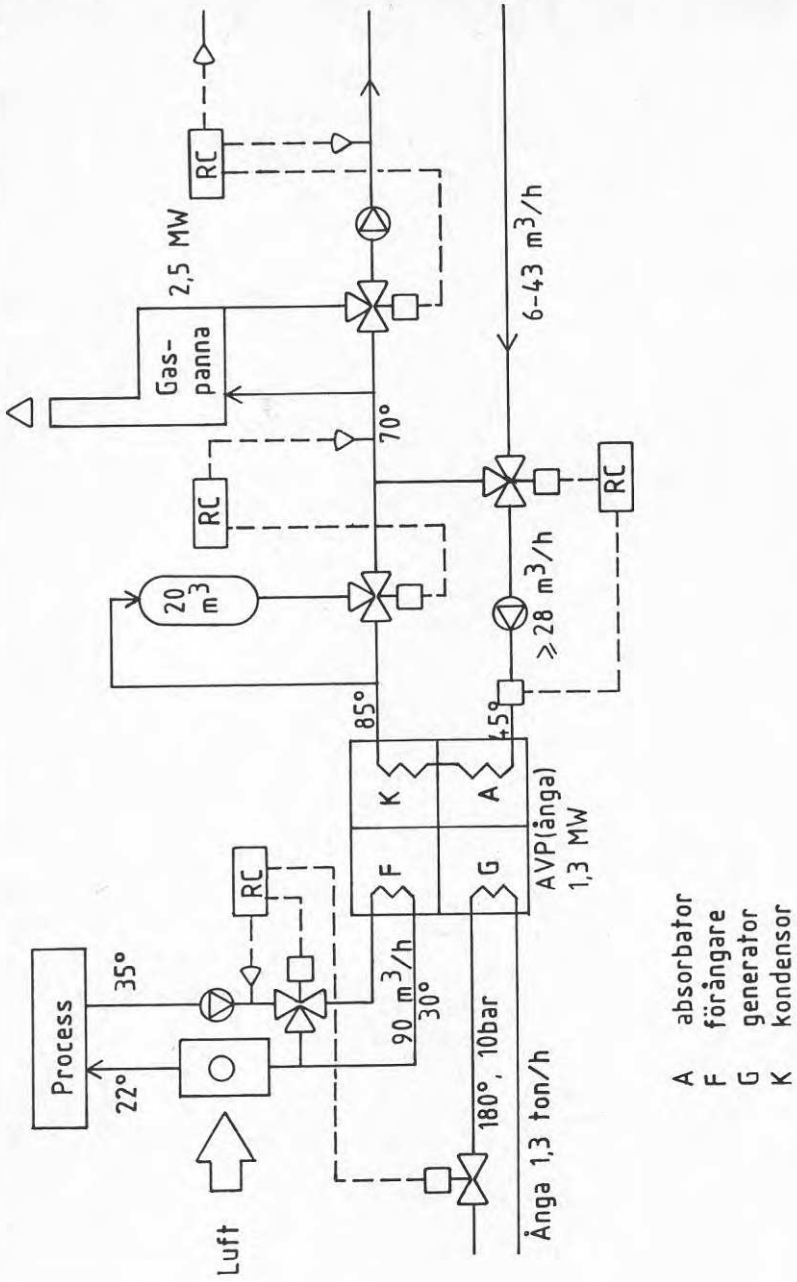


FIG. 4.2

This drawing is the property of AF Energikonsult AB and may not, without permission, be used for any purpose other than the project for which it is produced. It is protected by the Swedish copyright law of 1960.

Denna ritning är AF Energikonsult AB:s egendom och får inte utan tillstånd utnyttas för annat ändamål än det uppdrag för vilket den framställts. Den åtnjuter skydd enligt 1960 års lag om upphovsrätt.

ENERGITÄCKNING MED ABSORBTIONSVÄRMEPUMP

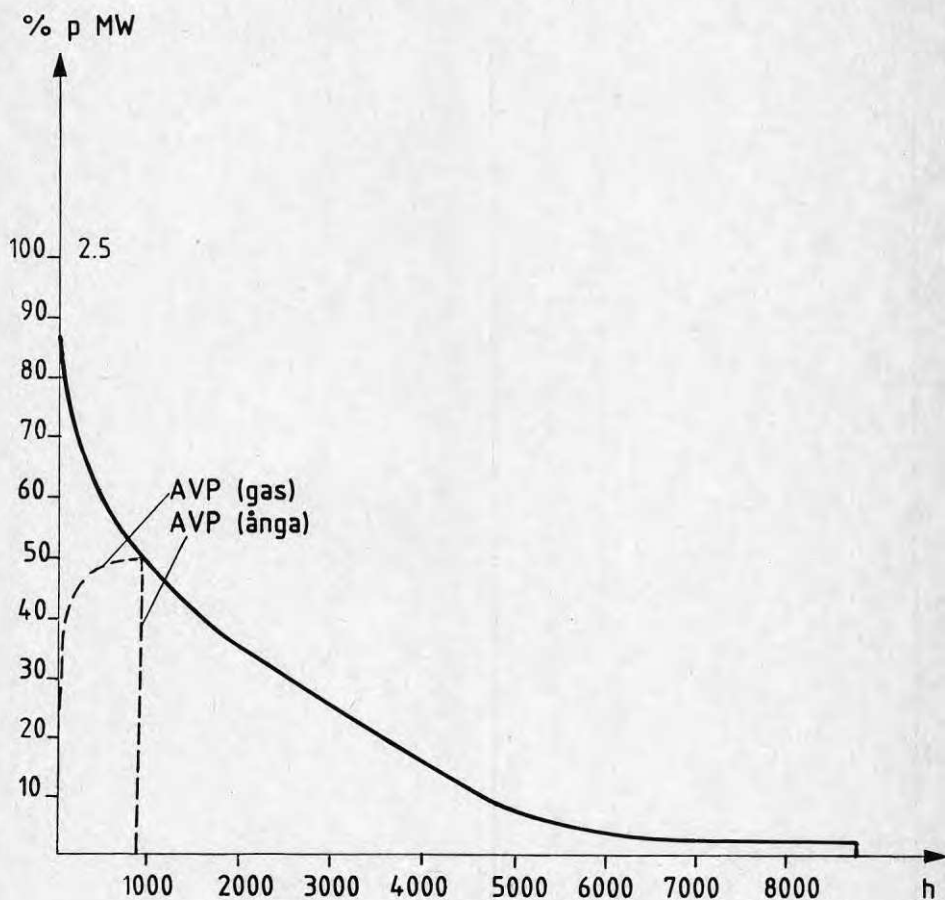


FIG. 4.3

Denna ritning är AF Energikonsult AB:s egendom och får icke utan tillstånd utnyttjas för annat ändamål än det uppdrag för vilket den framställts. Den åtnjuter skydd enligt 1960 års lag om upphovsrätt.

This drawing is the property of AF Energikonsult AB and may not, without permission, be used for other purpose than the project for which it is produced. It is protected by the Swedish copyright law of 1960.

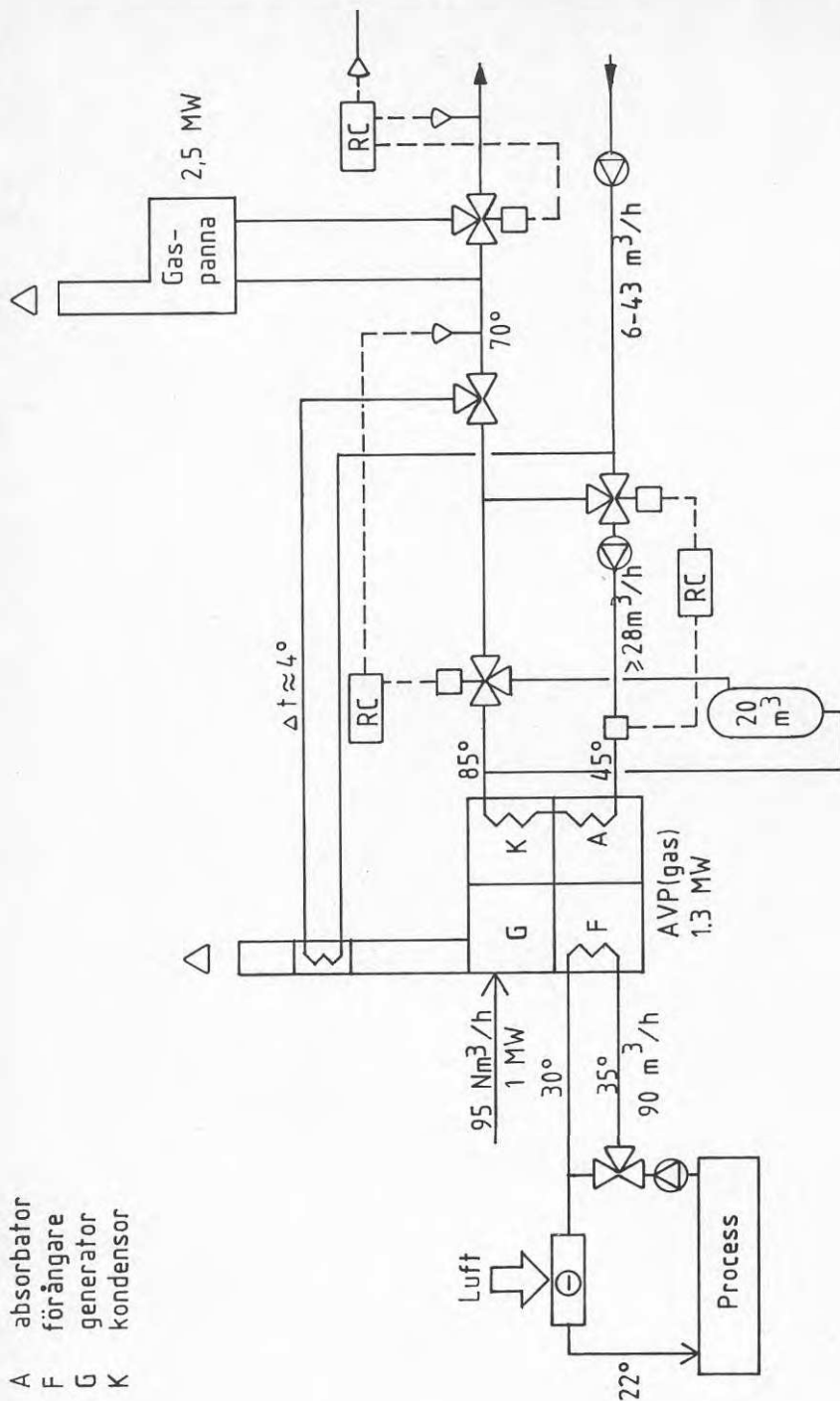


FIG. 4.4

This drawing is the property of AF Energitkonsult AB and may not, without permission, be used for other purpose than the project for which it is produced. It is protected by the Swedish copyright law of 1960.

Denna ritning är AF Energitkonsult AB:s egendom och får icke utan tillstånd utnyttjas för annat ändamål än det uppdrag för vilket den framställts. Den åtnjuter skydd enligt 1960 års lag om upphovsrätt.

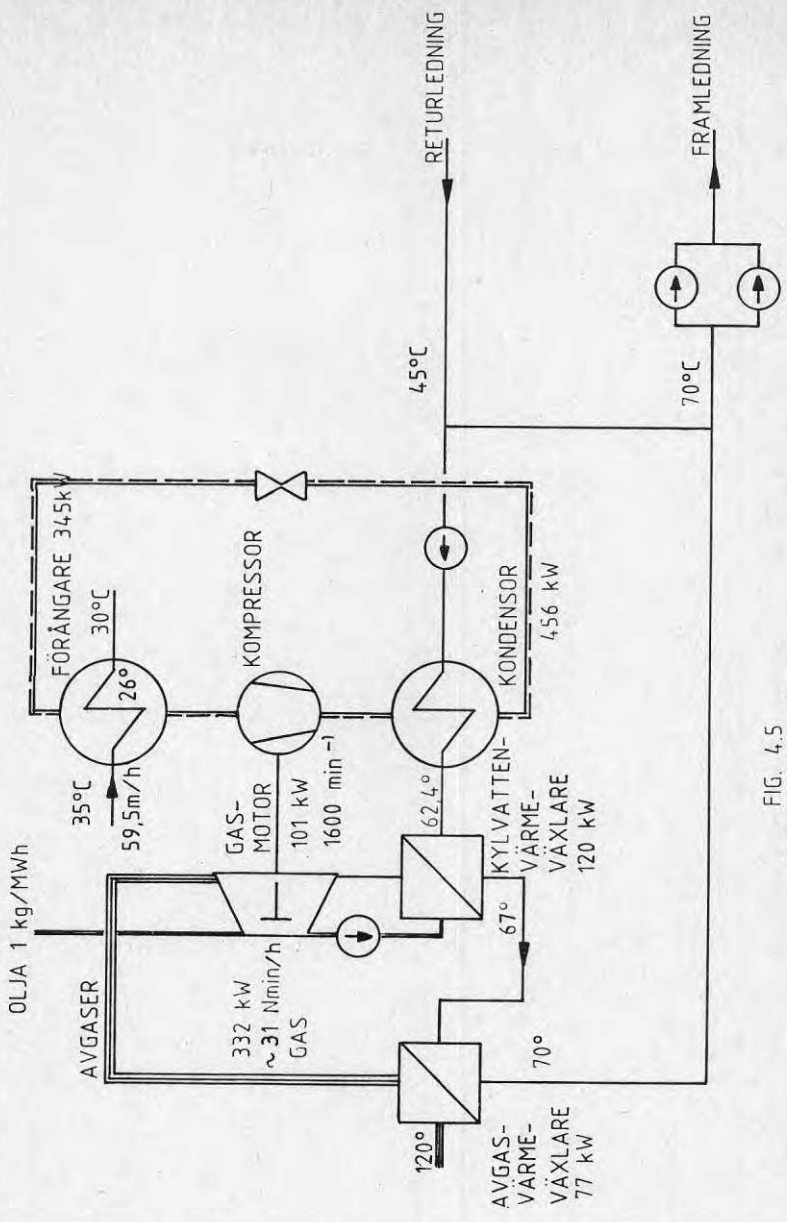


FIG. 4.5
GASMOTORVÄRMEPUMP

Denna ritning är AF Energitkonsult AB's egendom och får icke bli utlämnad utnyttjas för annat ändamål än det uppdrag för vilket den framställts. Den åtnjuter skydd enligt 1960 års lag om upphövsrätt.

This drawing is the property of AF Energitkonsult AB and may not, without permission, be used for other purpose than the project for which it is produced. It is protected by the Swedish copyright law of 1960.

ENERGITÄCKNING MED GASMOTORVÄRMEPUMP

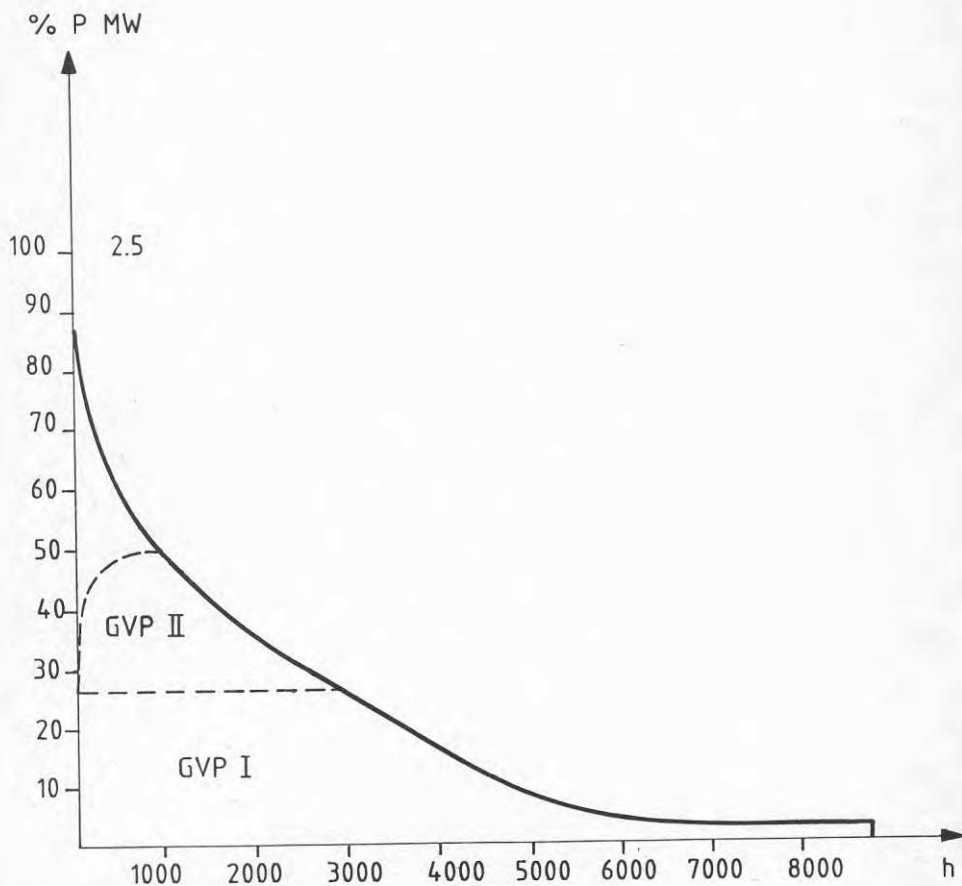


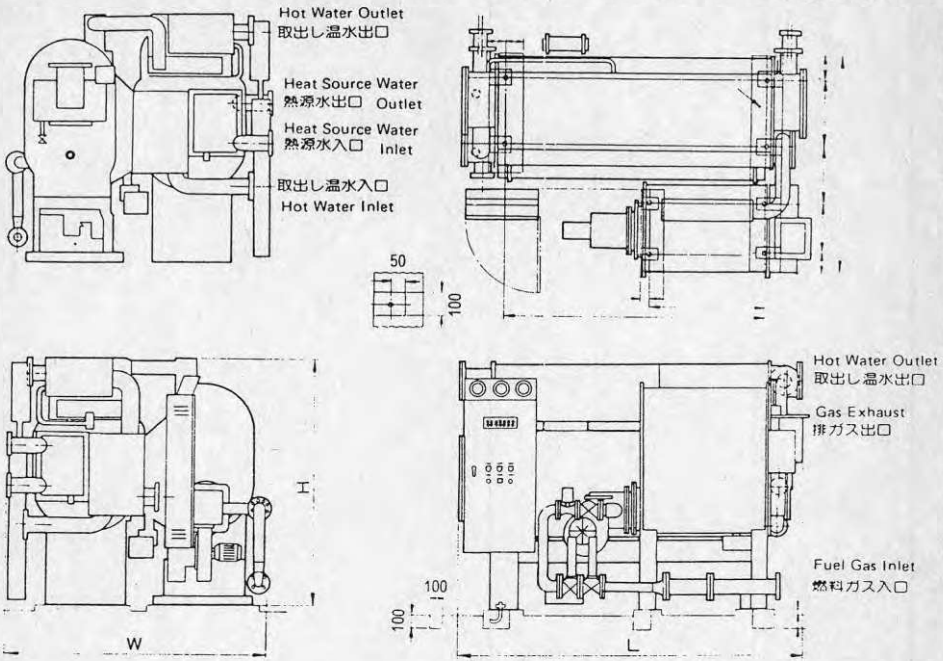
FIG. 4.6

Denna ritning är AF Energikonsult AB:s egendom och får icke utan tillstånd utnyttjas för annat ändamål än det uppdrag för vilket den framställts. Den åtnjuter skydd enligt 1960 års lag om upphovsrätt.

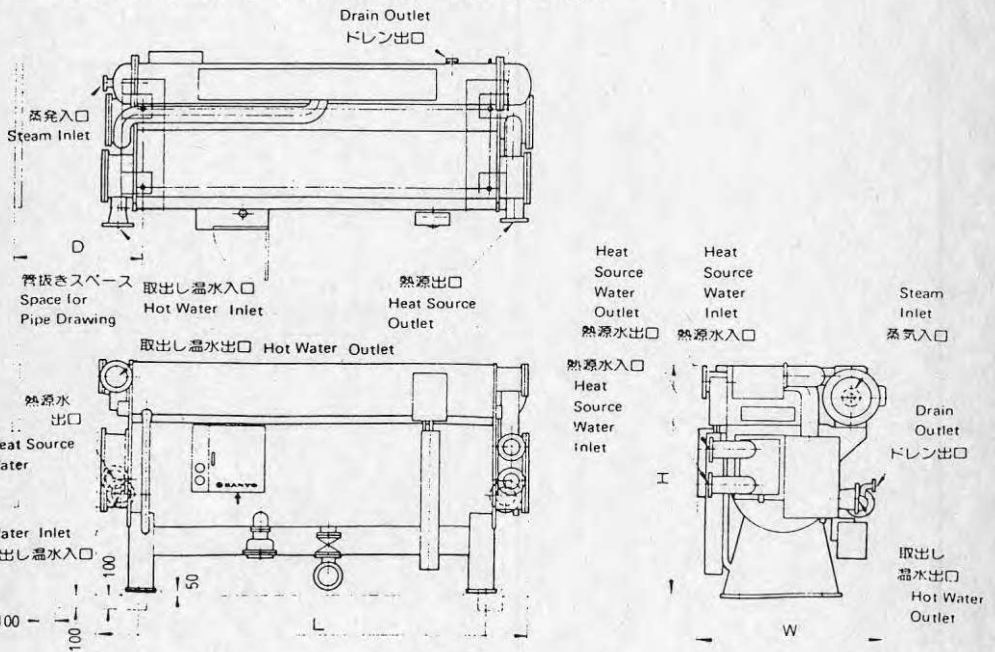
This drawing is the property of AF Energikonsult AB and may not, without permission, be used for other purpose than the project for which it is produced. It is protected by the Swedish copyright law of 1960.

AUH, BUH, CUHタイプ外形図 Outline Drawing - AUH, BUH & CUH Types

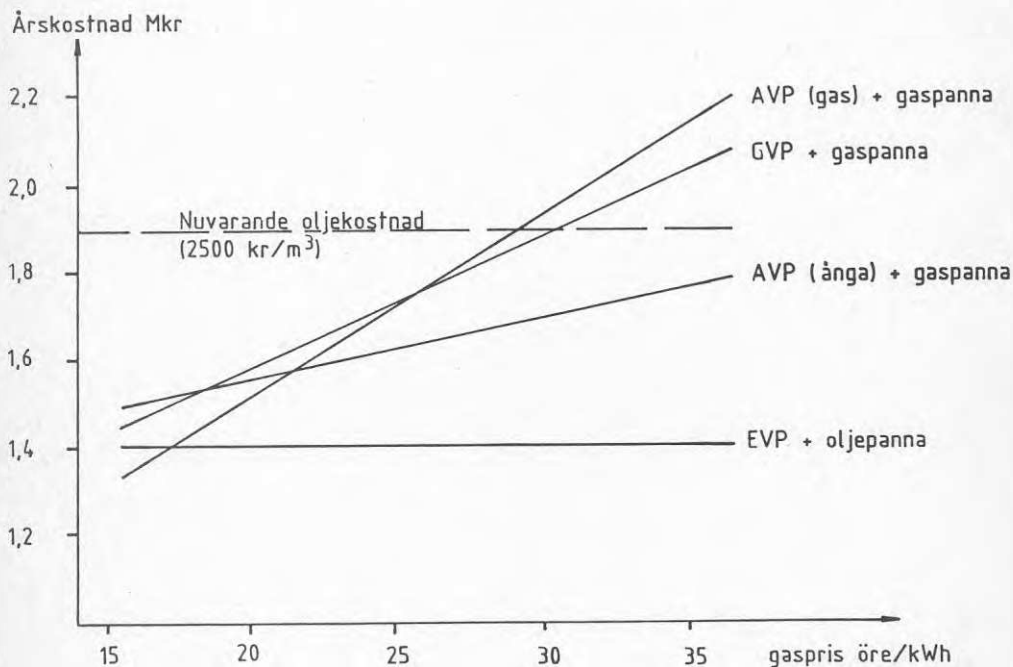
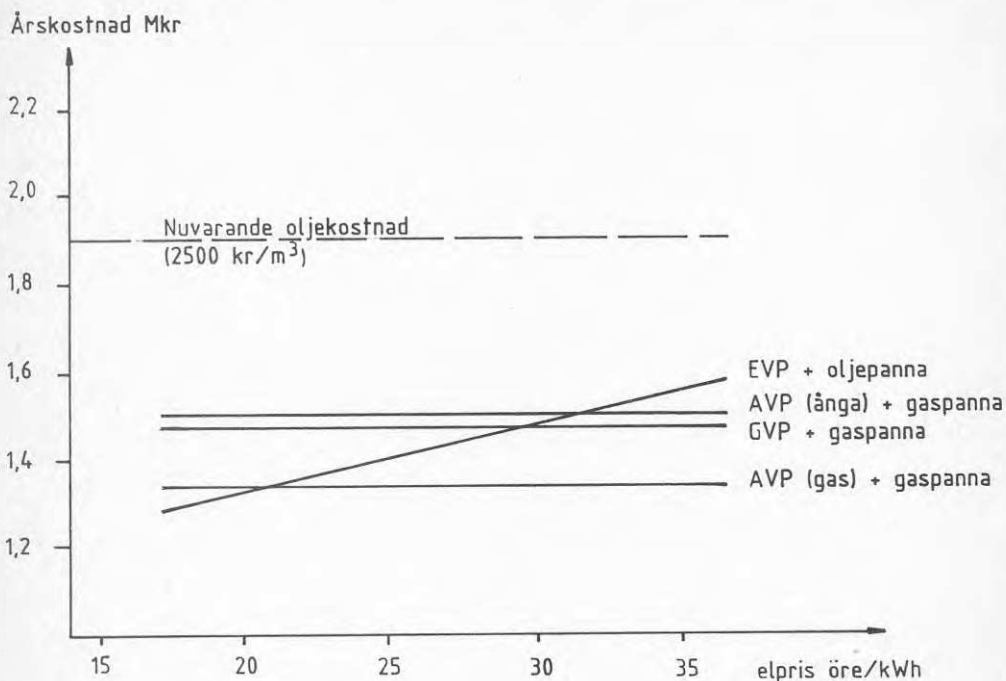
FIGUR 8.1



AH, BH, CHタイプ外形図 Outline Drawing - AB, BH & CH Types



Figur 11:1



Denna ritning är AF Energikonsult AB:s egendom och får icke utan tillstånd utnyttjas för annat ändamål än det uppdrag för vilket den framstälts. Den åtnjuter skydd enligt 1960 års lag om upphovsrätt.

This drawing is the property of AF Energikonsult AB and may not, without permission, be used for other purpose than the project for which it is produced. It is protected by the Swedish copyright law of 1960.

ENSTEGSABSORPTIONSVÄRMEPUMPEN.

Processbeskrivning

Ernst Morawetz

2. ENSTEGSABSORPTIONSVÄRMEPUMPEN: PROCESSBESKRIVNING

För att underlätta förståelsen av absorptionsvärmepumpen beskrivs i denna bilaga den enkla absorptionsvärmepumpens funktion och processförlopp.

Utseende och utformning av absorptionsvärmepumpar skiljer sig i flera avseenden från de mera kända principerna för mekanisk kompressorvärmepump t ex elvärmepump, men funktionen är densamma, nämligen att lyfta upp en viss värmemängd från en låg temperaturnivå till en högre temperaturnivå.

Vissa kyltekniska komponenter är också gemensamma för de båda värmepumpstyperna, nämligen

- kondensorn för kondensering av högspänd köldmedieånga och värmeöverföring av kondensationsvärmets till värmebärarna i ett uppvärmningssystem
- förångaren för förångning av lågspänd köldmedievätska med hjälp av värme från en värmekälla
- expansionsventilen i ledningen mellan kondensorn och förångaren.

Sättet att driva en absorptionsvärmepump och medel härför är däremot helt annorlunda.

2.1. Drivenergin

För att driva värmepumpsprocessen måste man offra en viss mängd prima energi. I en elvärmepump används elkraft som drivenergi, i en absorptionsvärmepump utnyttjas däremot värmeenergi inom ett temperaturområde 120-200⁰C.

Detta är en av de mest iögonfallande skillnaderna mellan elvärmepumpen och absorptionsvärmepumpen. Normalt alstras den nödvändiga värmeenergin genom förbränning av gas i en panna. Förbränningsvärmets tillförs absorptionsvärmeprocessen antingen på direkt eller indirekt väg.

Den direkta vägen innebär att pannan - som då kallas kokare eller generator - är en integrerad del av värmepumpen och pannans uppgift blir att regenerera en vätska som erhålls när köldmedieånga av ett visst ämne löses i ett härför lämpligt lösningsmedel.

Denna vätska som kan vara en saltlösning betecknas som "termodynamiskt stark lösning" när den håller låg koncentration av löst köldmedieånga, resp "termodynamiskt svag lösning" när koncentrationen är hög. Ofta utelämnas adverbet "termodynamiskt" i facktexter och då används endast uttrycken stark och svag lösning. Regenereringen består i att vid högt processtryck och hög temperatur i pannan driva ut en viss mängd av det lösta köldmediet ur lösningen med följd att koncentrationen ändras.

Den indirekta vägen att utnyttja förbränningsvärmets är att i en separat panna först producera högspänd vattenånga (eller hetvatten) som sedan får avge sitt värmeinnehåll till köldmedielösningen i en ångkondensor (resp värmeväxlare) som nu övertar rollen som generator.

Den regenererade lösningen används efter detta regenereringssteg i en annan apparat, som kallas absorptor, i vilken den vid lågt processtryck och lägre temperatur absorberar köldmedieånga.

2.2 Arbetsmediepar

En annan skillnad mellan elvärmepumpen och absorptionsvärmepumpen består i att man för värmepumpsprocessen i den eldrivna kompressorvärmepumpen använder sig av ett enda arbetsmedium - det s k köldmediet -, medan man i den värmedrivna absorptionsvärmepumpen behöver två arbetsmedier, nämligen ett köldmedium och ett lösningsmedel för detta köldmedium. Dessa båda tillsammans utgör vad som kallas för "arbetsmediepar" vilket är identiskt med den tidigare nämnda vätskan.

Det finns många ämnen som kan utgöra lämpliga arbetsmediepar för absorptionsprocesser, men det är endast följande två par som används i kommersiella absorptionsvärmepumpar:

- a. Ammoniak (köldmedium) - vatten (lösningsmedel)
 b. Vatten (köldmedium) - litiumbromidlösning (lösningsmedel)

Dessa arbetsmediapar har olika egenskaper av vilka några är sammanställda i tabell 2.1. De i tabellen angivna egenskaperna gäller om temperaturen i värmekällan är 0°C . I värmetekniskt avseende finns det en viktig skillnad. Det framgår att vatten-litiumbromid värmepumpens arbetsområde är i praktiken begränsat till temperaturlyft mellan ca 10° och 60°C , medan ammoniak-vatten värmepumpen kan klara temperaturlyft inom temperaturområdet under vattnets fryspunkt och över vattnets kokpunkt.

Tabell 2.1 Några egenskaper av kommersiella arbetsmediapar

Arbetsmediapar	Ammoniak/vatten	Vatten/Litiumbromid
Förångningstemperatur	$+70^{\circ}/-60^{\circ}$ (max/min)	$+30^{\circ}/0^{\circ}$ (max/min)
Framloppstemperatur (vid 0°C i värmekällan)	$+65^{\circ}$ (max)	$+50^{\circ}$ (max)
Generatortryck (bar)	40/15 (max/min)	1/0.002 (max/min)
Fördelar	Låg fryspunkt Billigt mediepar Låg viskositet	Låga tryck
Nackdelar	Höga tryck Giftigt	Hög fryspunkt Kristallisationsrisk Korrosionsrisk

I teknologiskt avseende finns också en viktig skillnad. Litiumbromid är ett salt som vid här aktuella temperaturer inte kan förångas.

Därför får man vid regenerering av en vatten-litumbromidlösning ren vattenånga som utgör köldmediet. Den erhållna vattenången kan utan ytterligare åtgärder ledas till en kondensor där den avger sitt kondensationsvärme till en kylvätska, t ex returvatten i ett fjärrvärmennät.

Det andra parets medier, ammoniak och vatten, är däremot båda flyktiga, även vid högt tryck. Detta innebär att man vid regenerering av en svag lösning inte erhåller ren ammoniak-ånga vilket är nödvändigt för processen utan en ångblandning med hög ammoniakhalt och låg vattenhalt. Men för att uppnå en hög verkningsgrad måste vattenången långtgående avlägsnas. Detta gör man i en sk rektifikator som oftast utformas som ett vertikalt torn efter generatoren. Rektifikatorn fungerar som en kombinerad värme- och entalpväxlare. Den är karakteristisk för ammoniak-vatten absorptionsvärmepumpen.

2.3. Absorptionsvärmepumpens enda rörliga del

Absorption av köldmedieånga i en absorber vid lågt tryck och låg temperatur samt desorption (avdrivning) av absorberat köldmedium i en generator vid högre tryck och lägre temperatur är processteg som är kännetecknande för alla typer av absorptionsvärmepumpar.

När köldmedieabsorptionen i lösningen gått så långt att en lösning med en given koncentration erhållits så pumpas denna lösning med hjälp av en tryckstegringspump - som kallas lösningspump - till generatoren för regenerering. Härvid höjs trycket i lösningen. Då den regenererade lösningen återförs till absorbatoren sänks åter trycket med hjälp av en tryckreduktionsventil. Lösningspumpen är absorptionsvärmepumpens enda rörliga del i vilken slitage förekommer. Den enda likheten med en elvärmepumps mekaniska kompressor är tryckstegringsfunktionen. Effektbehovet för denna tryckstegring motsvarar ca 1-10% av den mekaniska kompressorns.

2.4 Absorptionsvärmepumpens kompressor

Funktionen av apparatkombinationen panna - generator/rektifikator - absorbatör (inklusive lösningspump och reduktionsventil) är precis densamma som hos maskinkombinationen elmotor-mekanisk kompressor i en eldriven värmepump. Funktionen i båda är nämligen att dels suga köldmedieånga på en låg tryck- och temperaturnivå från en förångare och dels höja köldmedieångans tryck och temperatur samt pumpa den till en kondensör.

I absorptionsvärmepumpen svarar lösningen i absorbatören för avsugning av kall köldmedieånga från förångaren, lösningspumpen svarar för tryckstegringen och generatören svarar för den huvudsakliga temperaturökningen och överföringen av het köldmedieånga till kondensören. Eftersom apparatkombinationen absorbatör-generator (inkl lösningspump och reduktionsventil) har samma funktion som den mekaniska kompressorn i den "vanliga" elvärmepumpen kallar man sagda apparatkombination ibland för "absorptionskompressor" eller "termisk kompressor" eller "termokemisk kompressor".

Det förhållande att absorptionsvärmepumpens kompressor inte består av en maskin utan av en kombination av apparater - väsentligen värmeväxlare - resulterar i följande fördelaktiga egenskaper:

- utöver lösningspumpen finns inga rörliga komponenter och därför inga slitdelar, varför absorptionsvärmepumpens tekniska livslängd är betydligt större och underhållsbehovet avsevärt mindre än för en eldriven eller dieselmotordriven värmepump,
- verkningsgraden vid delast är betydligt bättre än för en mekanisk kompressor,
- eftersom rörliga maskindelar i det närmaste saknas är bullernivån betydligt lägre, eventuellt buller härrör från köldmediets strömning framför allt i ventiler och värmeväxlare (som i andra värmepumpstyper) och från brännaren i en direkt-eldad generator.

2.5 Temperaturnivåer och värmegivare

Det finns ytterligare en väsentlig skillnad mellan en elvärmepump och den enkla absorptionsvärmepumpen. Den skillnaden består i antalet "värmegivare" och temperaturnivåer vid vilka dessa värmegivare (dvs olika typer av värmeväxlare) lämnar värme till en kylvätska vars temperatur skall höjas.

I en elvärmepump förekommer normalt endast en enda värmegivare, nämligen kondensorn. Antalet temperatur- och trycknivåer i värmepumpsprocessen är två, nämligen en lågtemperaturnivå och en lågtrycksnivå vid förångning och en högre temperaturnivå och högre trycknivå vid kondensering.

I enstegs-absorptionsvärmepumpen förekommer också två trycknivåer. Däremot förekommer minst tre temperaturnivåer och minst två värmegivare. Dels finner man samma temperaturnivåer som i elvärmepumpen, nämligen en låg temperaturnivå vid förångning och en högre temperaturnivå vid kondensering. Men dessutom finns en nivå vid något högre temperatur vid absorption av köldmedieånga. De två primära värmegivarna i en enkel absorptionsvärmepump är kondensorn och absorbatoren. I kommersiella ammoniak/vatten-värmepumpar förekommer dessutom ofta ytterligare en värmegivare. Denna utgörs antingen av en vätske-vätske värmeväxlare, som betecknas lösningskylare eller en ånga-vätske -värmeväxlare, som kallas ångkylare eller refluxkylare. Dessa typer av värmegivare överför värme vid den högsta användbara temperaturnivån.

2.6 Externa och interna värmeväxlare

I de föregående avsnitten har omnämnts ett flertal olika värmeväxlare som förekommer i en enkel, resp i en kommersiell ammoniak/vatten enstegs-absorptionsvärmepump. Utöver de redan nämnda finns emellertid ytterligare några typer. För att underlätta förståelsen för de olika värmeväxlarnas förekomst och funktion är det lämpligt att dela in dem i två grupper som här godtyckligt betecknas externa och interna värmeväxlare.

2.6.1 Värmeväxling mellan olika medier

Till gruppen externa värmeväxlare räknas bl a alla som överför nyttovärme till en värmeupptagande kylvätska, normalt vatten, vilkens temperatur skall höjas så att den kan användas för uppvärmningsändamål. De tidigare omnämnda värmegivarna är identiska med externa värmeväxlare. Till denna grupp räknas också värmeväxlare som överför värme från en yttre värmekälla till ett flytande köldmedium eller en lösning.

Externa värmeväxlare utgörs således av följande värmeväxlare (i parentes beteckningar enligt principiellt flödesdiagram, figur 1, som är typiskt för en kommersiell ammoniak/vatten-absorptionsvärmepump:

- ångkondensorn till en separat ångpanna, resp konvektionsdelen i en direkteldad generator (V1)
- lösningsmedelkylare
- refluxkylare eller ångkylare (V4)
- absorbatör (V6)
- kondensör (V10)
- förångare (V11)

Ett gemensamt kännetecknen för externa värmeväxlare är att det ena mediet utgörs av ett processmedium, antingen köldmediet för sig eller i lösning, medan det andra är ett medium som tillhör någon av de yttre processerna (förbränningsprocessen, värmeutvinning ur värmekällan, uppvärmning av ett värmesystems värmebärare). Alla externa värmeväxlare, med undantag för lösningsmedel- och ångkylaren, är nödvändiga för att kunna genomföra värmepumpsprocessen. I enklare utföranden eller enklare typer av enstegs-absorptionsvärmepumpar förekommer inte lösningsmedel- eller ångkylare.

Den procentuella andelen av nyttovärmeproduktionen som nyttovärmegivarna i en enstegs-absorptionsvärmepump (ammoniak/vatten) står för är approximativt följande:

kondensorvärme	35-40 %
absorbervärme	45-55 %
övrigt	8 -12 %

Den värmemängd som växlas i förångaren motsvarar ca 80-90 % av den värmemängd som överförs i kondensorn. Värmeväxlingen i generatoren motsvarar ca 70-80 % av hela nyttovärmemängden.

2.6.2 Värmeväxling mellan processmedier

Till gruppen interna värmeväxlare räknas alla värmeväxlare i vilka ett varmare processmedium överför värme till ett kallare. Dessa värmeväxlare utgörs i en enstegs-absorptionsvärmepump (ammoniak/vatten) av följande typer (figur 2.1):

- temperaturväxlaren i vilken lösningen som upphettats i generatoren värmeväxlas mot lösningen som kommer från absorberern (V5)
- köldväxlaren (efterkylaren eller underkylaren) i vilken varmt köldmediekondensat från kondensorn värmeväxlas mot kall köldmedieånga från förångaren (V8)
- rektifikatorn, som är en kombinerad stoft- och värmeväxlare och som behövs i ammoniak-vatten värmepumpar för att befria ammoniakånga från vatten (B3)
- restlösningsskylare i vilken lösningsrester i förångaren värmeväxlas mot varmt köldmediekondensat (V9)

Den kännetecknande gemensamma funktionen för dessa värmeväxlare är endast att förbättra enstegs-absorptionsvärmepumpens verkningsgrad.

2.7 Sorptionsprocessen i ln p-1/T-diagrammet

Ett vedertaget sätt att enkelt beskriva de olika termodynamiska tillstånden som delprocesserna i en absorptionsvärmepump passerar är att rita in processförloppen i ett s k ln p-1/T-diagram för ett givet arbetsmediepar. Detsamma kan naturligtvis också göras i ett tryck-temperaturdiagram, men sättet att istället plotta logaritmen av

jämviktstrycket över en lösning mot den reciproka absoluta temperaturen har den fördelen att praktiskt taget linjära grafer erhålls för lösningar med varierande koncentrationer av köldmediet. Koncentrationen (x) uttrycks vanligen som kg köldmedium/kg blandning (eller lösning). Det området som ligger mellan grafen för $x = 0$ (figur 2.2, längst till höger, rent vatten i ett ammoniak-vattensystem) och grafen för $x = 1$ (längst till vänster, ren ammoniak) betecknas med lösningsfält. För att demonstrera användningen av diagrammet för processbeskrivningen för en enstegs-absorptionsvärmepump (och längre fram för flerstegs-kopplingar) kan vi anta att lösningen är ideal, vilket bl a innebär att lösningsentalpin är noll. En direkt följd av detta är att samtliga grafer i lösningsfältet har samma lutning och förlöper därigenom parallellt. För enkelhetens skull antas att arbetsmedieparet fortsättningsvis består av ammoniak som arbetsmedium (köldmedium) och vatten som lösningsmedel. Vidare bortses från alla interna värmeväxlare. Ritar man nu in det ideala reversibla processförloppet för den på så sätt mycket förenklade enstegsvärmepumpen så erhåller man diagrammet enligt figur 2.2. Alla tillståndsändringar för vätskor (lösningen och flytande köldmedium) är ritade med heldragna streck. Det gasformiga köldmediets väg visas med brutna streck.

Det normala förloppet indikeras med icke-apostroferade siffror. (De apostroferade processtegen behandlas nedan).

Punkterna 1 och 2 ligger på grafen för ren ammoniak ($x = 1$). De karakteriserar tillstånden vid köldmediets kondensering i kondensorn, vid trycket p och temperaturen T , resp förångning i förångaren vid trycket p_0 och temperaturen T_0 . Lösningens processförlopp indikeras av graferna 3-4-5-6-3.

Absorption av köldmedieånga (från punkt 2) sker mellan tillståndspunkterna 3 och 6, desorption sker i generatorn mellan tillståndspunkterna 5 och 4. I absorbatorn ökar den (termodynamiskt) starka lösningens koncentration från $x = x_s$ till den (termodynamiskt) svaga lösningens koncentration x_{sv} . Differensen $x_{sv} - x_s$ betecknas här med desorptionsdifferens (ty "Lösungsbreite"). Dess storlek har stor betydelse.

delse för genomförbarheten av den enkla absorptionsprocessen. Den har också stor inverkan på lösningspumpens effektbehov.

Förångningstemperaturen T_0 bestäms av värmekällans temperatur. Likaledes bestäms kondenseringstemperaturen av ett värmesystems returvattentemperatur, resp vid värmepumpens användning för köldalstring av kylvattentemperaturen. Temperaturen i tillståndspunkt 3 - den lägsta temperaturen i absorbatoren - bestäms vid värmepumpsdrift för värmealstring av temperaturen hos det från kondensorn kommande, redan uppvärmda returvattnet (absorbatoren ligger på vattensidan i serie med kondensorn, men ordningsföljden är normalt den omvända i vatten-litiumbromid absorptionsvärmepumpar). Vid drift för köldalstring däremot är absorbatoren och kondensorn på vattensidan oftast parallellkopplade. I detta fall bestäms temperaturen i punkt 3 också av kylvattentemperaturen. Teoretiskt sker kondensering och desorption i generatoren vid samma tryck p_1 förångning och absorption vid samma tryck p_0 . I verkligheten uppträder emellertid tryckdifferenser.

Från tillståndspunkt 3 (tryck p_0) lyftes den svaga lösningen genom tryckstegring medelst lösningspumpen och temperaturökning till tillstånd 4 (tryck p) där desorption av ammoniak ur lösningen med koncentration x_{sv} påbörjas. Genom ytterligare uppvärmning i generatoren genom extern värmetillförsel slutförs desorptionen längs grafen 4-5 tills den i punkt 5 nått sitt slutliga tillstånd vid koncentrationen x_s och temperaturen T_G . Längs grafen 5-6 följer nu den starka lösningens expansion till trycknivå p_0 vid samtidig avkylning. Längs grafen 6-3 mättas nu den starka lösningen igen genom absorption av köldmedium vid samtidig avkylning medels returvatten, resp kylvatten. Därmed är lösningsprocesscykeln sluten.

2.8 Enstegsprocessens Carnot-värmefaktor

Ur $\ln p-1/T$ -diagrammet kan man på ett enkelt sätt bestämma Carnot-värmefaktorn som förhållandet av två sträckkor. Carnot-processen är en ideal sorptionsprocess för vilken man antar att desorption, absorption, kondensering och förångning sker vid konstant

temperatur och att desorptionsdifferensen är oändligt liten (grafernas längd 4-5 och 3-6 blir oändligt liten, figur 2.2). Antar man för enkelhetens skull att kondenserings- och absorptions Temperaturen är densamma så erhåller man för Carnot-processen det diagram som visas i figur 2.4.

Den ideala värmefaktorn erhålls som förhållandet mellan sträckorna a och b:

$$\emptyset_c = a/b = (1/T_o - 1/T_G)/(1/T_a - 1/T_A) = (1 - T_o/T_G)/(1 - T_o/T_A) \quad (1)$$

För den ideala enstegsprocessen är den maximala teoretiska värmefaktorn $\emptyset_c = 2$. Carnot-värmefaktorn för flerstegsprocesser kan bli både större och mindre.

2.9 Resorptionsvärmepumpen

I motsats till processförloppet med endast en komponent för köldalstring (såsom i en mekanisk kompressionsvärmepump) kan man i en absorptionsvärmepump byta ut delprocesserna kondensering och förångning av det rena köldmediet mot en absorptionsdesorptionsprocess i en andra lösningscykel, figur 2.5.

Istället för att kondensera köldmedieångan i en kondensator vid konstant temperatur absorberas den av en stark lösning i en absorbatör vid tryck p. Denna absorbatör har fått beteckningen resorbator. Resorptionen sker under värmeavgivning vid glidande temperaturer i en motströmsvärmeväxlare mellan tillstånd 1a och 1b. Den erhållna svaga lösningen med högre koncentration av köldmedium (x'_{sv}) expanderas till tryck p_o .

Från tillståndspunkt 2a till 2b desorberas köldmediet i en lågtemperaturgenerator som här betecknas desorbator (ty "Entgaser") under värmeupptagning från en värmekälla. Den erhållna varma, starka lösningen pumpas med en andra lösningspump till resorbatorn på trycknivån p. Köldalstringen åstadkommes här alltså inte genom förångning av det rena kondenserade köldmediet, utan genom avdrivning av köldmediet ur en lösning.

En fördel med resorptionsvärmepumpen med ammoniak-vatten som arbetsmediepar är att processtrycket i motströmsvärmväxlarna reduceras. Nackdelarna är att man får svårbemästrade koncentrationsförskjutningar mellan de båda internt kopplade lösningscyklerna samt att det specifika investeringsbehovet (kr/kW) ökar på grund av de större motströmsvärmväxlarna.

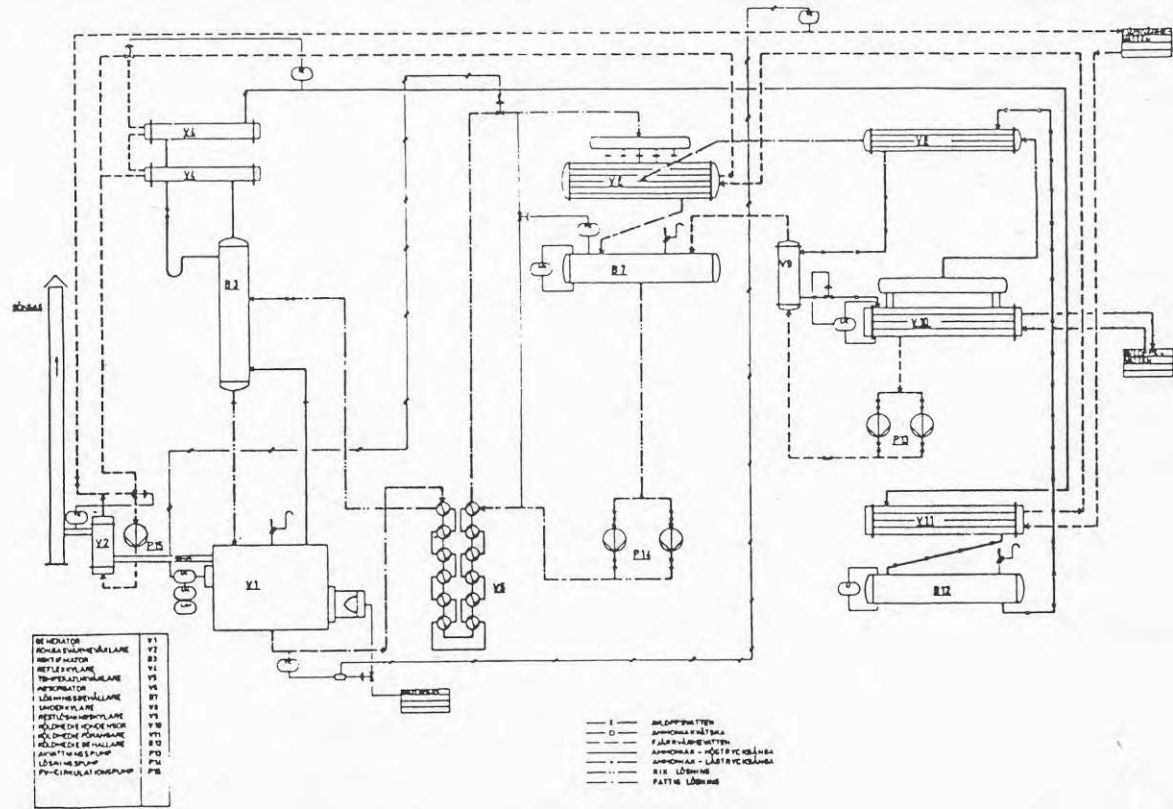


Fig. 2.1 Apparatkoppling för direkteldad ammoniak/vatten-absorptionsvärmepump (Linde)

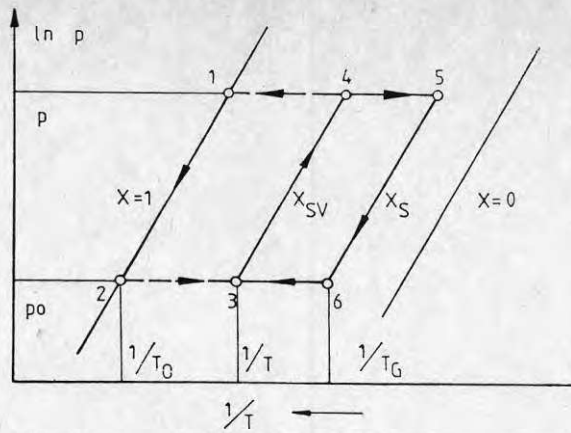


FIG. 2.2 ABSORPTIONSPROCESS

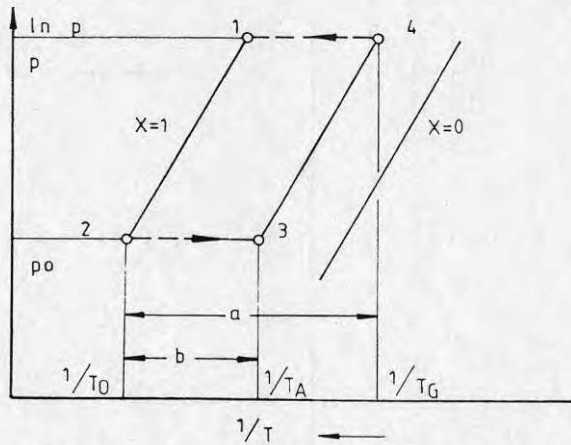


FIG. 2.4 IDEAL PROCESS

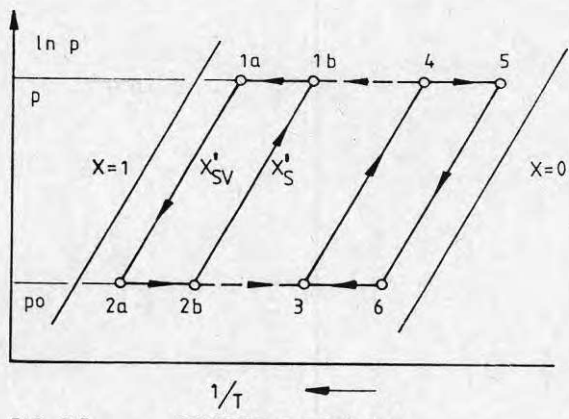


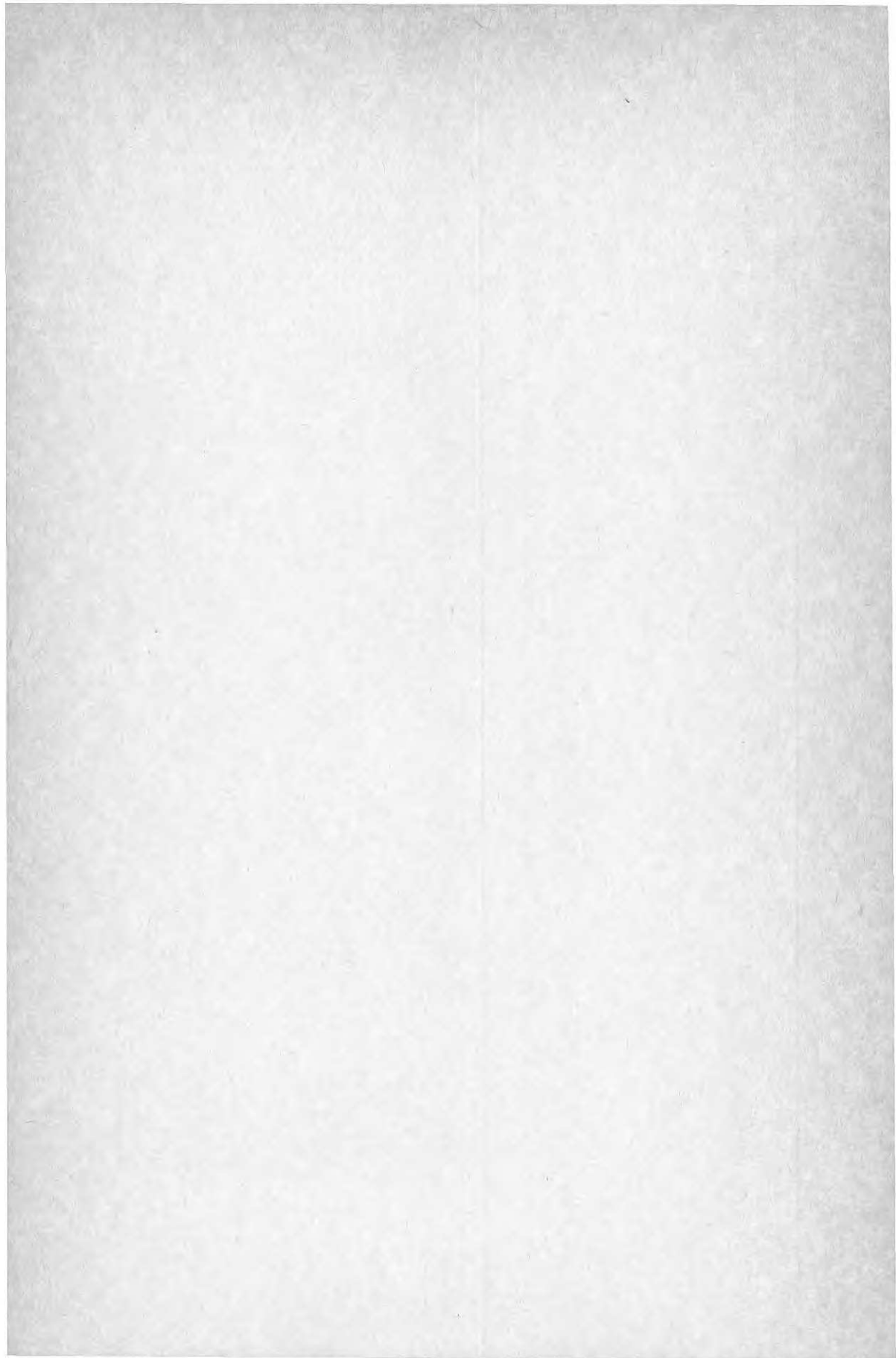
FIG. 2.5 RESORPTIONSPROCESS

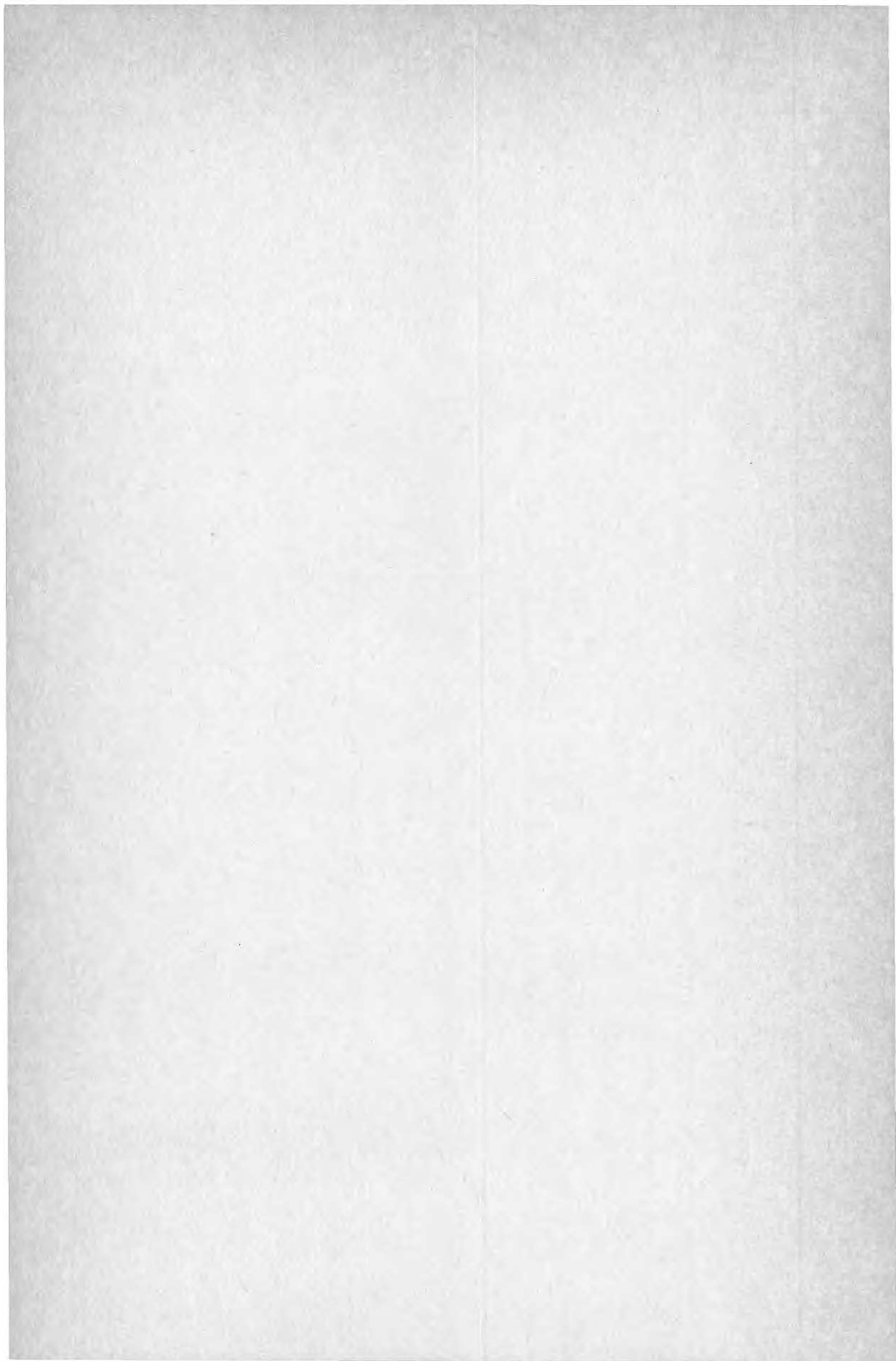
UNDERHÅLL AV VÄRMEDRIVNA VÄRMEPUMPAR

Underhåll av Sanyo-absorptionsvärmepump

(Leverantörsuppgifter)

1. Under de först 4 - 6 veckorna erfordras tillsyn för evakuering av inertgas en gång per vecka.
2. En gång per månad erfordras oljeöversyn för vakuumpump, ev oljebyte.
3. Som för en panna erfordras brännartillsyn, ev sotning.
4. Tekniska tillgängligheten är ca 98 %.
5. Tidsåtgång för underhåll är ca 2 tim/mån.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
820398-8 från Statens råd för bygnadsforskning
till Stiftelsen Billesholmshem, Billesholm.**

R51: 1983

ISBN 91-540-3936-3

Statens råd för bygnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700751

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 30 kr exkl moms