



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**

**R34:1985**

# **Avloppsvärmepump 3 MW i Sala**

**Mätningar och erfarenheter**

**Hans Lindström  
Lars Troselius**

*K  
Adm*

INSTITUTET FÖR  
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac *ser*

**Byggeforskningsrådet**

R34:1985

AVLÖPPSVÄRMEPUMP 3 MW I SALA  
Mätningar och erfarenheter

Hans Lindström  
Lars Troselius

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 800478-7  
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens  
Vattenfallsverk, Vällingby

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

R34:1985

ISBN 91-540-4341-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	3
FIGURFÖRTECKNING	5
TABELLFÖRTECKNING	5
SAMMANFATTNING	6
1. INLEDNING	7
2. BESKRIVNING AV VÄRMEPUMPEN	8
2.1 Allmänt	8
2.2 Värmepumpprocessen	8
2.3 Förångaren	12
2.4 Reglering av värmepumpens kapacitet	12
2.5 Reglering av avloppsvattenflödet till förångaren	12
2.6 Inkoppling till fjärrvärmesystemet	14
2.7 Kostnader	14
3. DRIFTRESULTAT	15
3.1 Inledning	15
3.2 Drifttillgänglighet	15
3.3 Värmeproduktion och värmefaktor	15
3.4 Ekonomiskt resultat	16
4. FUNKTION	18
4.1 Förångaren	18
4.1.1 Kapacitetsnedsättning på grund av för liten köldmediefyllning	18
4.1.2 Svängningar i förångningstrycket	18
4.1.3 Igensättning av vattenspridarna kräver regelbunden rensning.	18
4.1.4 Försmutsning av förångarens ytor mindre än väntat	18
4.1.5 Korrosion av förångaren är inget problem.	19
4.1.6 Avloppsvattentemperaturen lägre än väntat	19

4.1.7	Avloppsvattenflödet har minskat efter åtgärder i VA-nätet.	19
4.2	Kompressoraggregat	20
4.2.1	Vibrationer i kompressoraggregat och rörsystem orsakade omfattande driftstörningar.	20
4.2.2	Kapacitetsreglering genom suggasstrykning och förbikoppling av kondensorn.	20
4.2.3	Problem med lång starttid kunde lösas.	21
4.2.4	Installation av underkylare och oljekylare för kapacitetshöjning.	21
4.2.5	Högre kondenseringstryck kan tillåtas	21
4.2.6	Oljekylningssystemet ombyggt på grund av läckagerisk.	22
4.2.7	Oljeläckage i axeltätningar	22
4.3	Köldmedium	22
4.4	Samkörning av värmepump, kolpanna, oljepannor och elpanna.	22
5.	<b>MATERIALPROVNING</b>	24
5.1	Zinkskikt på förångaren	24
5.2	Vattenanalyser	24
5.3	Jämförande materialprovning	29
5.3.1	Förutsättningar	29
5.3.2	Obehandlat stål	29
5.3.3	Varmförzinkat stål	30
5.3.4	Rostfritt stål	31
5.3.5	Kopparmaterial	31
5.3.6	Aluminium	31
6.	<b>SLUTSATSER</b>	32
	<b>REFERENSLISTA</b>	33

## FIGURFÖRTECKNING

Figur 2.1	Översiktsbild på värmeverk, reningsverk och värmepump	8
Figur 2.2	Principschema över värmepumpanläggningen	10
Figur 2.3	Kompressoraggregat	11
Figur 2.4	Förångare	13
Figur 2.5	Förångarelement	13
Figur 3.1	Drifttillgänglighet vecka för vecka	15
Figur 3.2.	Värmeproduktion vecka för vecka	16
Figur 3.3.	Värmefaktor och medeleffekt under drift med fjärrvärme- och avloppsvattentemperatur vecka för vecka.	17
Figur 4.1	Värmeproduktionen totalt och fördelat på olika enheter.	23
Figur 5.1	Zinkskiktstjocklekens förändring	26

## TABELLFÖRTECKNING

Tabell 2.1	Tekniska data	9
Tabell 2.2	Slutkostnader för avloppsvärmepump i Sala	14
Tabell 3.1	Driftresultat för 1982 och 1983.	16
Tabell 4.1	Kapacitetsregleringens effekt på värmefaktorn.	21
Tabell 5.1	Tjocklek av zinkskikt på förångartuberna	25
Tabell 5.2	Vattenanalyser	27
Tabell 5.3	Syrehalt renat avloppsvatten	28
Tabell 5.4	Sammanställning tubmaterial för jämförande materialprovning.	29
Tabell 5.5	Avfrätning obehandlat stål.	30
Tabell 5.6	Avfrätning zinkskikt.	30



## SAMMANFATTNING

Avloppsvärmepumpen i Sala togs i drift sommaren 1981. Under det första året förelåg ett antal driftproblem som försämrade resultatet. Genom successiva åtgärder av tillverkaren Stal-Refrigeration och av Sala-Heby Energi AB har värmepumpen sedan hösten 1982 uppvisat en hög drifttillgänglighet och levererat mer värme än vad som förväntades vid projekteringen.

Under år 1982 var drifttiden 6 450 timmar, värmeproduktionen 19.5 GWh och medelvärmefaktorn 2.5. Drifttillgängligheten var lägre än väntat på grund av vibrationsproblem vid kapacitetsreglering med skruvkompressorns reglerslid. Kompressorn har därför bytts till en modell utan reglerslid, och kapacitetsregleringen sker genom suggasstrykning och partiell förbikoppling av kondensorn.

Under 1983 producerade värmepumpen 25.6 GWh värme med en medelvärmefaktor på 2.6. Drifttiden under året var 8156 timmar vilket motsvarar en drifttillgänglighet på 93 %. Driftkostnadsbesparingen var för 1983 ca 750 000 kronor. Resultatet för 1983 överensstämmer väl med det som ursprungligen förväntades och målet för värmepumpprojektet kan därför i huvudsak anses vara uppnått. Vissa förbättringar kan genomföras i framtida anläggningar på basis av gjorda erfarenheter.

Kapacitetsmätningar har visat att avloppsvattnet inte har orsakat någon allvarlig försmutsning av förångaren. Ingen tvättning av förångarytorna utfördes under de två första årens drift. Hösten 1983 uppmättes en kraftig kapacitetsnedsättning till följd av försmutsning vilket misstänks komma från vattnet i Sagån. Efter rengöring förbättrades kapaciteten väsentligt. En viss försämring jämfört med ursprunglig kapacitet kvarstår dock och en metod för effektiv rengöring, cirka en gång per år, ska tas fram.

Vattenspridarriören sätts lätt igen av partiklar i avloppsvattnet. Rengöring utförs cirka fyra gånger per år, vilket är mer än vad som förutsattes vid projektering. De är inte anpassade för rengöring varför detta arbete är tidskrävande.

Erfarenheterna från varmförzinkningen av förångaren visar att det är viktigt att grundmaterialet, främst ytskiktet, har rätt sammansättning för att erhålla tjocka zinkskikt. Zinkskiktet på förångaren har uppmätts med jämna mellanrum. Korrosionshastigheten är låg och varmförzinkningsskiktet beräknas ej ha förbrukats inom överskådlig tid. Vattenprov har uttagits regelbundet för analyser. Dessa visar att vattnet borde vara korrosivt för järn och zink.

Olika material har i form av U-rör exponerats för avloppsvatten vid strilförångaren. Endast obehandlat stål har nämnvärt angripits av korrosion. Speciellt hög var korrosionshastigheten för stål som exponerats för avloppsvatten direkt under fördelningsrören ovanför strilförångaren.



## 1. INLEDNING

Sala-Heby Energi AB startade fjärrvärmeutbyggnaden i Sala 1975. För att minska värmekostnaderna undersökte man möjligheterna att ersätta olja med andra energislag. Beräkningar visade att en avloppsvärmepump skulle vara det lönsammaste alternativet. Sala-Heby Energi AB tog därför initiativ till att bygga en avloppsvärmepump och Vattenfall åtog sig att projektera och uppföra värmepumpen. Vattenfall har stått för investeringskostnaderna med stöd från Byggforskningsrådet i form av ett villkorligt experimentbyggnadslån. Genom ett avtal med Sala-Heby Energi AB står Vattenfall som ägare till värmepumpen under de första åren. Värmepumpen har tillverkats av Stal-Refrigeration AB.

Efter beslutet att bygga värmepumpen beslöt Sala-Heby Energi AB även att bygga en kolpanna för att ytterligare minska oljebehovet.

I denna rapport redovisas värmepumpens drift och funktion sedan idrifttagningen i juni 1981 samt resultat från mätningar av korrosionen på förångaren och jämförande materialprovning. Rapporten utgör en sammanställning av material som tidigare redovisats i rapporter från Vattenfalls projekt för solenergi och värmepumpar.

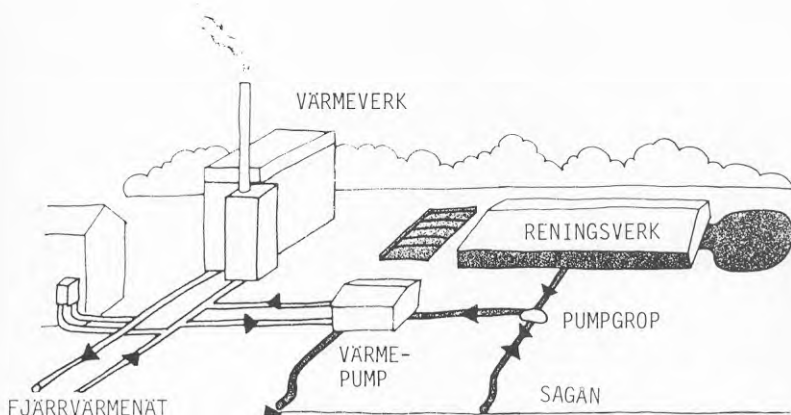
I utvärderingen av avloppsvärmepumpen har personal från Vattenfall, Stal-Refrigeration AB och Sala Heby-Energi AB medverkat.

## 2. BESKRIVNING AV VÄRMEPUMPEN

### 2.1 Allmänt

Värmeverket och avloppsreningsverket i Sala ligger bredvid varandra vid Sagån. Avloppsvärmepumpen är placerad mellan dessa båda verk. Värmepumpen togs i drift i juni 1981. Värmepumpen tar värme från det renade avloppsvattnet och avger värme till fjärrvärmenätets retur före värmeverket. Se figur 2.1. I tabell 2.1 redovisas tekniska data för värmepumpen. (1), (2)

I värmeverket finns en kolpanna, en elpanna och tre oljepannor som samkörs med värmepumpen för att möta värmebehovet. Värmepumpens kapacitet är nominellt 3.3 MW. Under sommarmånaderna juni-augusti täcker värmepumpen ensam värmebehovet och måste under en del av denna tid kapacitetsregleras.



Figur 2.1 Översiktsbild på värmeverk, reningsverk och värmepump

### 2.2 Värmepumpprocessen

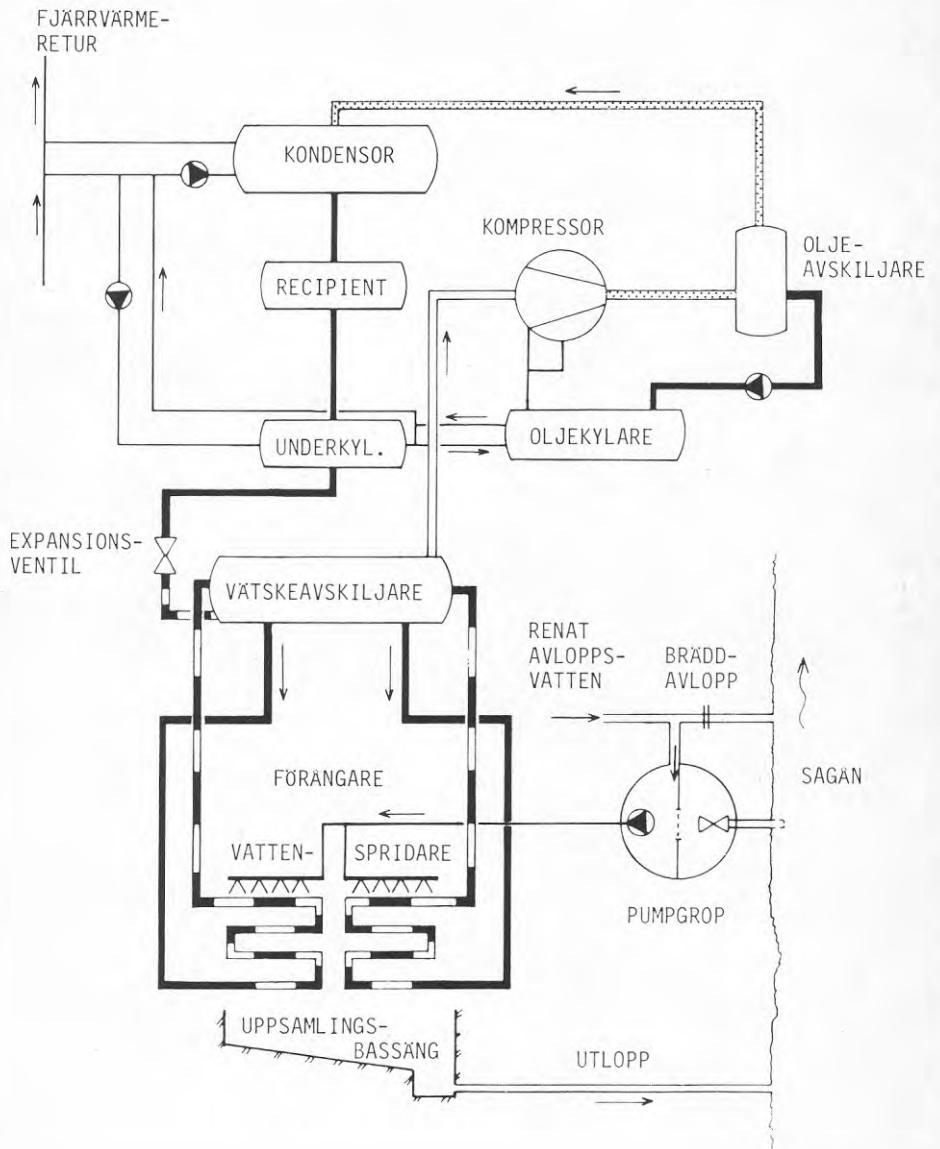
Värmepumpen arbetar med renat avloppsvatten som värmekälla. Avloppsvattnet tas från en pumpgrop som byggts före utloppet i Sagån och strillas över förångaren där värmets överförs till köldmediet. Överskottsvatten får brädda från pumpgropen ut till Sagån. Det nedkylda vattnet samlas upp i en bassäng under förångaren och leds ut till Sagån. Avloppsvattensystemets princip framgår av figur 2.1 och 2.2.

När köldmediet upptar värme från avloppsvattnet i förångaren kokar det. Genom kokningen erhålls termosifoncirulation från vätskeavskiljaren genom förångaren och tillbaka, se figur 2.2. I vätskeavskiljaren avskiljs vätska och gasen sugts till skruvkompressorn. I kompressorn höjs gasens tryck och temperatur. Kompressorns lager och rotorerna smörjs med olja. Olja insprutas i kompressionsutrymmet för att smörja och tätas mellan rotorerna samt kyla gasen under kompressionen. Innan den heta gasen leds till kondensorn avskiljs olja från gasen i oljeavskiljaren.

Tabell 2.1 TEKNISKA DATA

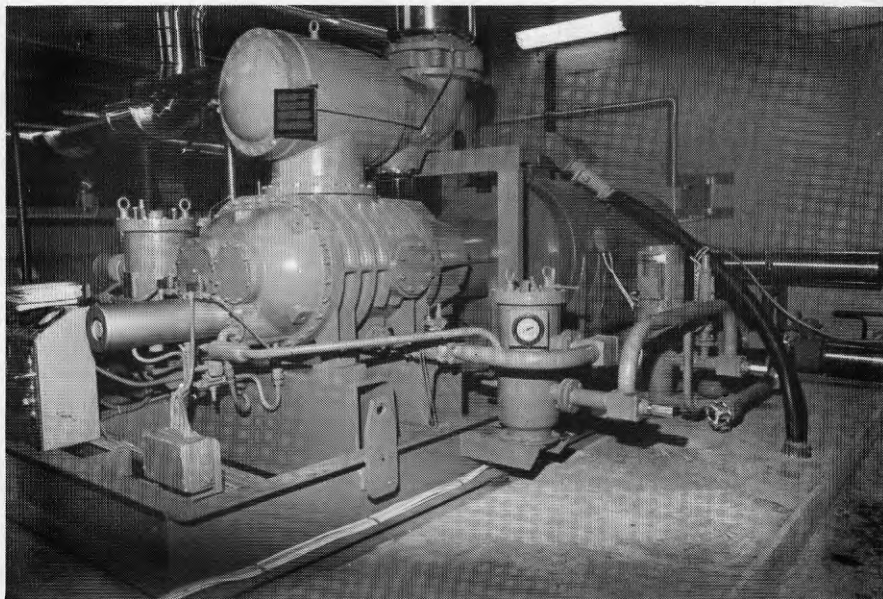
Anläggningen har följande huvuddata.

<u>Förångare</u> Förångartyp	Strilförångare, strilning utanpå horisontella tuber.
Variation hos avloppsvattnets temp före förångaren	+7 - +15 <sup>0</sup> C
Avloppsvattnets nedkylning genom strilförångaren	ca 6 <sup>0</sup> C
Avloppsvattenflöde	ca 300 m <sup>3</sup> /tim
Kapacitet	ca 2000 kW
Material	Varmförzinkat kolstål
Rengöringsprincip	Cirkulation av tvättlösning.
<u>Kompressor med motor</u>	
Kompressortyp	Skruvkompressor med slidreglering, reglerområde 30-100 %.
Medium, innehåll Förångningstemp	Freon R12, ca 8 ton -5 - +5 <sup>0</sup> C
Kondenseringstemp	+55 - +75 <sup>0</sup> C
Motor (elmotor)	Kortsloten asynkronmotor. 6,6 kV, 2980 varv/min. Märkeffekt 1400 kW.
<u>Kondensator</u>	
Kondensortyp	Tubpannekondensator
Variation hos fjärrvärmesystemets returtemp = inloppstemp	48 - 65 <sup>0</sup> C
Fjärrvärmevattnets uppvärmning i kondensorn	ca 9 <sup>0</sup> C
Flöde	ca 300 m <sup>3</sup> /h
Kapacitet	3000 - 3600 kW
<u>Värmepumpbyggnad</u>	
Huvudmått (LxBxH)	15 x 9 x 4.5 m



Figur 2.2 Principschema över värmepumpenläggningen

Oljan används även för att med hjälp av magnetventiler styra regler-sliden som påverkar kompressorns kapacitet. En bild på kompressor-aggreatet visas i figur 2.3.



Figur 2.3 Kompressoraggreat

I kondensorn kondenseras gasen och avger värme till fjärrvärmvattnet och i underkylaren kyls köldmedievätskan och avger ytterligare värme. Oljan som avskiljs kyls också av fjärrvärmvattnet i oljekylaren innan den pumpas tillbaka till kompressorn.

Efter underkylaren leds köldmediet via oljeåterföraren till expansions-ventilerna där trycket sänks och en del av köldmediet förångas innan det åter når vätskeavskiljaren.

Oljeåterföraren krävs för att återföra olja från vätskeavskiljaren till kompressorn. Oljerik köldmedielösning leds från vätskeavskiljaren till oljeåterföraren där värmeväxling med det varma kondensatet sker. Den oljerika köldmedielösningen förångas och olja rycks med och leds in på sugledningen före kompressorn. Oljeåterföraren finns ej inritad i figur 2.2.

### 2.3. Förångaren

Värmepumpens förångare är en stilförångare, se fig 2.4, som består av horisontella tubknippen vilka bestrilas med avloppsvatten. Förångaren är uppdelad i två halvor med en gemensam vätskeavskiljare. Vardera förångarhalvan består av fyra element av den typ som visas i figur 2.5. Avloppsvattnet tillförs över tuberna via hålen i vattenspridarrör av plast och får falla fritt. Under förångaren finns en bassäng där avloppsvattnet samlas upp och leds ut till Sagån.

Köldmediecirulationen genom förångarens tuber sker genom termosifonverkan, som erhålls när köldmediet kokar i tuberna. Tuberna är tillverkade av stål och har svetsats samman med fördelningsrören till sektioner som har varmförzinkats.

Förångaren kan rengöras genom att pumpa en tvättlösning från bassängen över tuberna när värmepumpen är avstängd. Under rengöringen är utloppet från bassängen stängt och tvättlösningen recirkuleras.

Mekanisk rengöring av förångaren kan också utföras eftersom konstruktionen är öppen.

### 2.4. Reglering av värmepumpens kapacitet

Värmepumpens kapacitet regleras efter två temperaturer, utgående avloppsvattentemperatur från förångaren och utgående fjärrvärmetemperatur från kondensorn.

Avloppsvattentemperaturen ut från förångaren får inte bli för låg på grund av frysrisk. När temperaturen underskrider inställt börvärde träder kapacitetsregleringen in och begränsar effekten.

Fjärrvärmemetemperaturen ut från kondensorn får inte bli för hög för att undvika för högt kondenseringstryck. När inställt börvärde överskrids träder kapacitetsregleringen in och begränsar effekten.

I händelse av onormala störningar finns flera skyddsbrytare som helt stoppar värmepumpen.

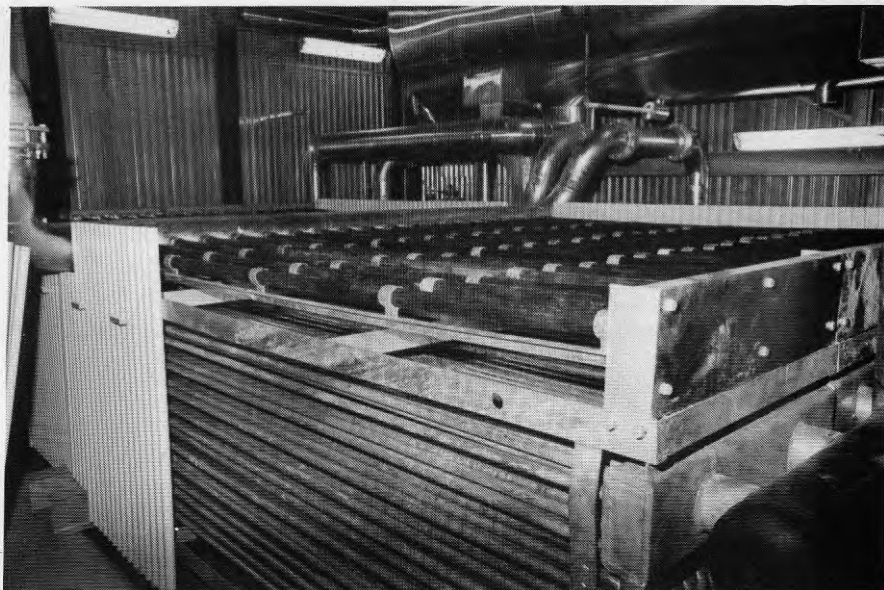
### 2.5. Reglering av avloppsvattenflödet till förångaren

Avloppsvattenflödet från reningsverket varierar under dygnet. Om flödet är lägre än den mängd som pumpas till förångaren sjunker nivån i pumpgropen. I pumpgropen finns tre nivåvippor som styr regleringen av en motorventil som stryker flödet till förångaren. När nivån sjunker och den första vippan ger signal börjar motorventilen stänga. Stängningen pågår till dess att nivån stigit över den första vippans brytläge då ventilen börjar öppna, osv.

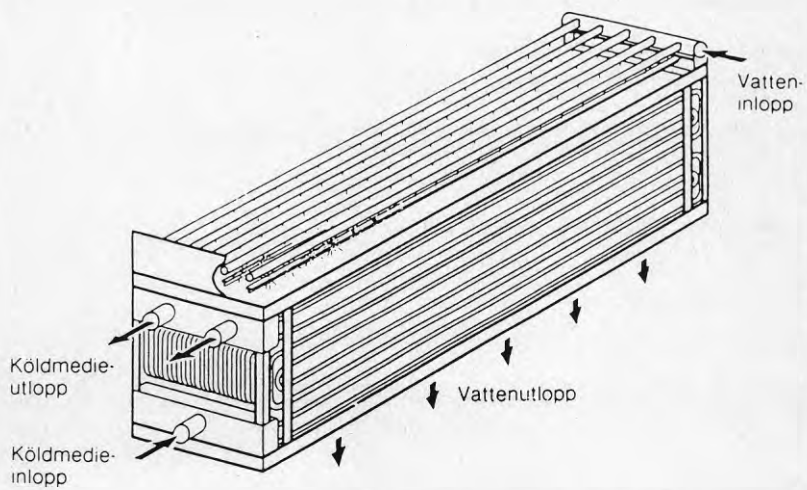
Om nivån sjunker under den andra vippan börjar motorventilen snabbstänga.

Om nivån skulle sjunka under den tredje vippan stoppas värmepumpen och larmtablan indikerar för låg nivå i pumpgrop.





Figur 2.4 Förångare



Figur 2.5 Förångarelement



I samband med reglering av flödet till förångaren kan det hända att utgående vattentemperatur från förångaren blir för låg och därmed begränsas även värmepumpens effekt.

Vid lågt avloppsvattenflöde finns möjlighet att ta in vatten från Sagån till pumpgropen genom att öppna en ventil. Vintertid är detta inte aktuellt på grund av att Sagåns vatten är mycket kallt.

## 2.6. Inkoppling till fjärrvärmesystemet

Värmepumpen har inkopplats på fjärrvärmenätets retur före värmeverket. En värmebärarpump cirkulerar vattnet genom värmepumpens kondensor. När fjärrvärmeflödet är lågt sker en viss recirkulation av vatten och därmed blir temperaturen in till värmepumpen något högre än returtemperaturen i fjärrvärmenätet. Inkopplingen framgår av figur 2.1 och 2.2. I händelse av för hög fjärrvärmemetemperatur in till kondensorn så stoppas värmepumpen och en motorventil stänger cirkulationen av fjärrvärmevatten genom värmepumpen.

## 2.7. Kostnader

Kostnaderna för att uppföra värmepumpen och ansluta den till avloppsvattensystem och fjärrvärmesystem uppgick till 4.5 Mkr. I nedanstående tabell redovisas kostnaderna uppdelade på olika huvudmoment.

Tabell 2.2 Slutkostnader för avloppsvärmepump i Sala, kkr

Projektering, administration av uppförande inklusive byggkontroll mm. Konsultkostnader inräknade (Vattenfall)	440
Huvudleverans omfattande värmepumpanläggning och byggnad (Stal-Refrigeration AB)	3300
Intagsbrunn för renat avloppsvatten, anslutning till värmepump (SHE)	285
Anslutning av värmepump till fjärrvärmesystem (SHE)	90
Elkraftmatning inklusive mätutrustning (SHE)	300
Övrigt: Avröjning och planering av tomt mm. (SHE)	85
Summa	4500

### 3. DRIFTRESULTAT

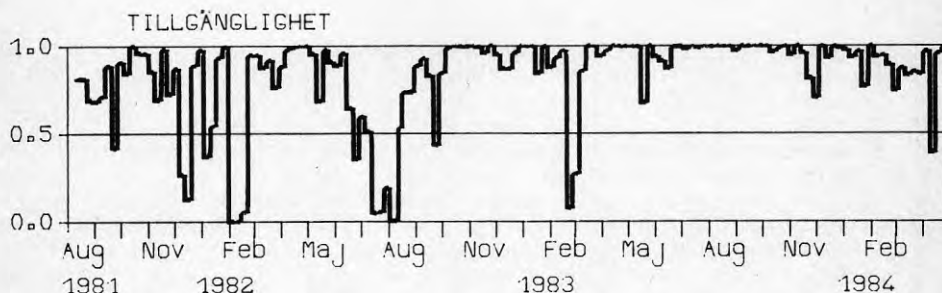
#### 3.1 Inledning

En successiv förbättring av anläggningens funktion har uppnåtts genom de åtgärder som vidtagits av tillverkaren Stal-Refrigeration och av Sala-Heby Energi AB. Värmepumpen har sedan hösten 1982 uppvisat en hög drifttillgänglighet och levererat mer värme än vad som förväntades vid projekteringen.

I det följande redovisas utvecklingen från idrifttagningen och fram till och med mars 1984 vad gäller tillgänglighet, värmeproduktion, värmefaktor och ekonomiskt resultat. I kapitel 4 beskrivs anläggningens funktion mer ingående och orsakerna till det erhållna driftresultatet förklaras (3), (4), (5).

#### 3.2 Drifttillgänglighet

Drifttillgängligheten fram till hösten 1982 var lägre än väntat, främst på grund av vibrationer i kompressoraggregatet vid kapacitetsreglering. Under det första halvåret förelåg dessutom vissa inkörningsproblem. I figur 3.1 visas drifttillgängligheten under tiden augusti 1981 - april 1984.

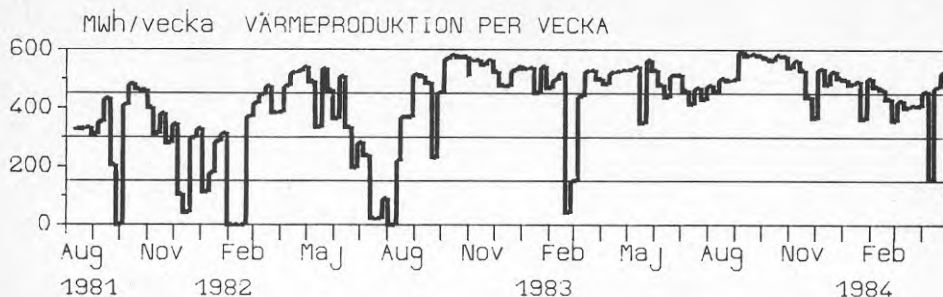


Figur 3.1 Drifttillgänglighet vecka för vecka

Drifttillgängligheten var 74 procent under 1982 och 93 procent under 1983. En kraftig förbättring har således uppnåtts. Under första kvartalet 1984 var tillgängligheten 89 procent. Om hänsyn tas till att värmepumpen stoppats för att begränsa eleffektuttaget under 173 timmar, vilket är betydligt mer än under tidigare år (23 timmar 1982 och 130 timmar 1983) så blir tillgängligheten oförändrat hög. Drifttillgängligheten förväntas i fortsättningen ligga strax över 90 procent inräknat stopp som inte beror på fel på värmepumpen.

#### 3.3 Värmeproduktion och värmefaktor

Värmepumpens värmeproduktion per vecka för perioden augusti 1981-april 1984 redovisas i figur 3.2. Värmeproduktionen beror direkt på drifttillgängligheten vilket framgår av figuren. Dessutom påverkas värmeproduktionen av kapacitetsreglering och avloppsvattnets och fjärrvärmereturens temperaturer. I figur 3.3 presenteras medelvärmeeffekten under drift och medelvärmefaktorn tillsammans med dessa temperaturer.



Figur 3.2 Värmeproduktion vecka för vecka

Under 1982 var värmeproduktionen 19.5 GWh och medelvärmefaktorn 2.5.

Medelvärmeeffekten under året var 3.02 MW.

Under 1983 var värmeproduktionen 25.6 GWh och medelvärmefaktorn 2.6.

Medelvärmeeffekten under året var 3.14 MW.

Orsaken till den lägre medelvärmefaktorn och medelvärmeeffekten under 1982 är främst den dåliga driften i början av året på grund av hög fjärrvärmereturtemperatur och problem med kapacitetsregleringen.

### 3.4. Ekonomiskt resultat

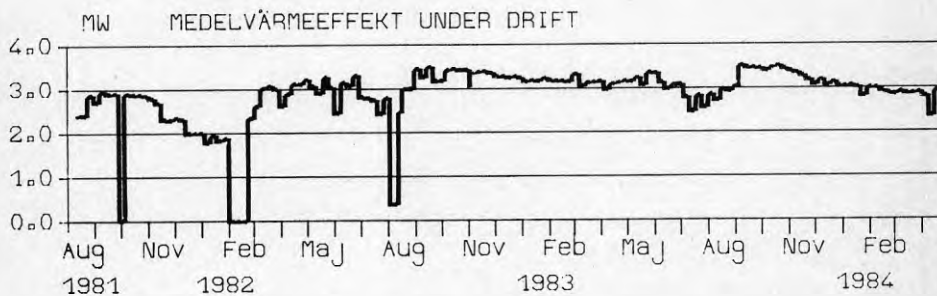
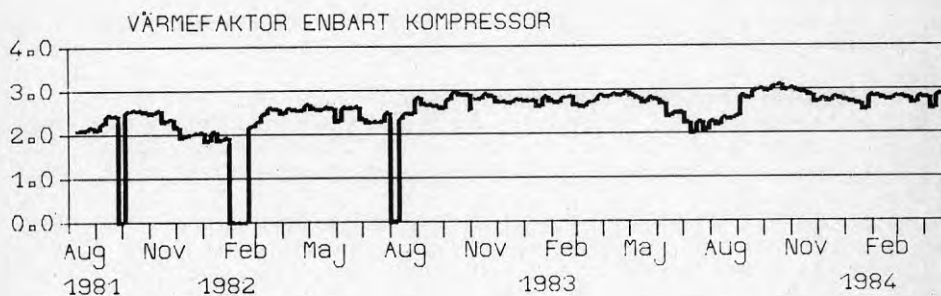
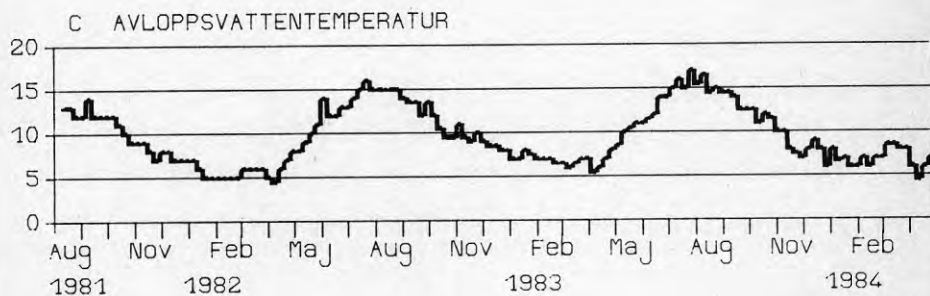
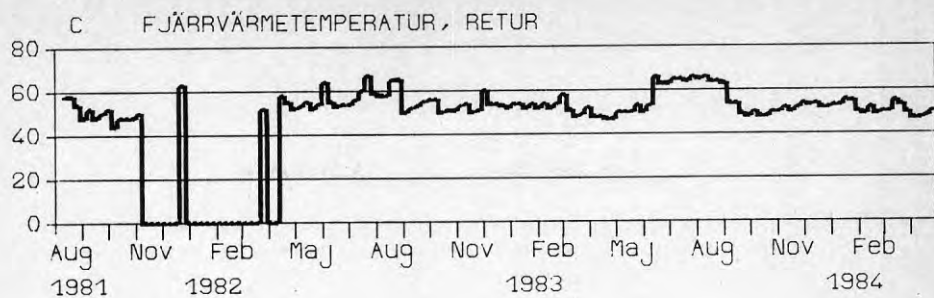
Driftkostnadsbesparingen med värmepumpen jämfört med alternativ värmeproduktion blev för 1983 lägre än för 1982, trots att värmeproduktionen ökade med nästan 30 %. Orsaken till detta är att alternativpriset för värmeproduktion var lägre 1983.

Kolpannans värmeeffekt och reglerbarhet har kunnat ökas väsentligt vilket har minskat behovet av att utnyttja oljepannorna för spetslast. Oljeförbrukningen har minskat trots att totalproduktionen ökat. Värmepumpen har därför under 1983 kommit att jämföras mer med kolpannan. Det viktade alternativpriset har därför sjunkit. Genom den ökade kolpanneproduktionen och värmepumpproduktionen och oljebesparingen har den totala specifika energikostnaden för värmesystemet minskat jämfört med 1982 även om värmepumpen har gett en mindre andel av denna minskning och kolpannan har ökat sin andel.

Driftkostnadsbesparingen med värmepumpen blev 750 000 kronor 1983 mot 860 000 kronor 1982. Driftkostnadsbesparingen 1983 motsvarar en avkastning på 17 % på investerat kapital. Se tabell 3.1.

Tabell 3.1 Driftresultat 1982 och 1983

	1982	1983
Drifttid, h	6450	8156
Antal stopp	112	90
Värmeproduktion, GWh	19.5	25.6
Medelvärmefaktor, GWh	2.5	2.5
Medelvärmeeffekt, MW	3.02	3.14
Driftkostnadsbesparing, kkr	862	750



Figur 3.3 Värmefaktor och medeleffekt under drift med fjärrvärme- och avloppsvattentemperatur vecka för vecka.

#### 4. FUNKTION

##### 4.1. Förångaren

##### 4.1.1. Kapacitetsnedsättning på grund av för liten köldmediefyllning

Förångarens kapacitet var nedsatt under den första tiden efter idrifttagningen. Mätningar visade att den ena förångarhalvan fungerade betydligt sämre, speciellt vid höga kyleffekter. Genom att öka köldmediefyllningen i anläggningen kunde problemet elimineras. På grund av för liten köldmediefyllning blev köldmediecirkulationen för låg genom förångaren vilket resulterade i lägre värme genomgångstal.(6)

##### 4.1.2. Svängningar i förångningstrycket

Samtidigt med låg köldmediefyllning under denna tid uppmättes även stora svängningar i förångningstrycket vilket berodde på svängningar i expansionsventilerna. Stora svängningar påverkade förångarens kapacitet negativt. Problemet kunde lösas genom att modifiera reglerkolven till ventilerna.(6)

##### 4.1.3. Igensättning av vattenspridarna kräver regelbunden rensning.

Förekomsten av smuts och partiklar i det renade avloppsvattnet har varit större än förväntat. Detta har medfört att spridarrören efterhand satts igen med en försämrad vattenfördelning över förångaren som resultat. En försil har därför installerats efter reningsverket. Försilens maskvidd har senare minskats. Trots försilen når en del partiklar vattenspridarna. Mätningar visar att förångarens prestanda är relativt okänslig för störningar av denna typ och rensningsbehovet har därför kunnat begränsas till cirka 4 gånger per år, vilket dock är mer än vad som förväntades vid projekteringen. Arbetet är tidskrävande på grund av att spridarrören inte är anpassade för rengöring.

##### 4.1.4. Försmutsning av förångarens ytor mindre än väntat.

Avloppsvattnet befarades vid projekteringen kunna orsaka kraftig försmutsning av förångarytorna. Någon nämnvärd försmutsning av ytorna skedde dock inte under den första tiden. Efter ett halvår kunde en tunn brun beläggning konstateras. Skiktjockleken var omkring 40 µm. Under de första två driftåren rengjordes aldrig förångaren. Rengöring borde dock ha planerats och genomförts regelbundet från början för att minska risken för att hårda beläggningar bildas, som är svåra eller omöjliga att ta bort.

Vid en kapacitetsmätning i samband med garantibesiktning 83-10-10 var värmepumpens prestanda cirka 6 % sämre än förväntat. Medeltemperaturskillnaden i förångaren var betydligt större än normalt och en inspektion av förångaren visade att ytorna var starkt försmutsade. En stor del av försmutsningen misstänks ha uppstått i samband med att åvatten kommit in i pumpgropen. Analys av materialet visade att det till stor del bestod av mineral. I samband med regnperioder och hög vattenföring sommartid i ån är slammängden hög och det är därför olämpligt att ta in vattnet.



Vid garantibesiktningen gjordes försök att rengöra förångaren genom att nästan helt strypa avloppsvattenflödet och skapa en isskorpa på ytorna. När isen sedan spolades bort följde en stor del av smutsbeläggningen med. Effekten av denna åtgärd blev något bättre prestanda. Försök med cirkulation av tvättlösning utfördes i en försöksanläggning placerad i reningsverket på ett tidigt stadium. Något effektivt tvättmedel fanns dock inte varför denna metod inte bedömts lämplig. Under vintern 83/84 har försök med högtryckstvättning utförts. Mätningar i samband med tvättningarna pekar på att tvättningen inte har påverkat förångarens värmeomgångstal nämnvärt. Försök med cirkulation av en ny tvättlösning kommer därför att göras under hösten 1984.

#### 4.1.5. Korrosion av förångaren är inget problem

Korrosionsstudier av förångaren sker regelbundet enligt ett speciellt uppgjort program. Även provbitar av andra material än själva förångaren har installerats för utvärdering. Se kapitel 5.

Förångaren är tillverkad av varmförzinkat kolstål. Regelbunda mätningar av zinksjiktets tjocklek har utförts och visar att zinksjiktet håller bra. Ingen nämnvärd avfrätning har kunnat iakttas. Resultatet visar att det är möjligt att använda varmförzinkat kolstål som material i strilförångaren vid aktuell kvalitet på avloppsvattnet. Se kapitel 5.

#### 4.1.6 Avloppsvattentemperaturen lägre än väntat

Avloppsvattentemperaturen har visat sig vara lägre vintertid än vad tidigare mätningar hade visat; cirka 5°C mot förväntat cirka 7°C. I samband med snösmältningen erhålls extremt låga temperaturer; ned till 3°C.

Genom att avloppsvattenflödet över förångaren har varit större än nominellt har kapacitetsregleringen inte trätt in så ofta som den lägre temperaturen normalt skulle medfört.

#### 4.1.7 Avloppsvattenflödet har minskat efter åtgärder i VA-nätet

Ibland är avloppsvattenflödet lägre än nominellt flöde över förångaren och flödet över förångaren stryps. Se svsnitt 2.5. Under vintern 83/84 har åtgärder i VA-nätet resulterat i lägre avloppsvattenflöde än tidigare med påföljd att värmepumpen stoppat på grund av låg nivå i pumpgropen vid ett flertal tillfällen. Till en del kan det vara möjligt att mildra effekterna av det lägre avloppsvattenflödet genom att förändra nivåregleringen i pumpgropen.

Ett lägre avloppsvattenflöde innebär dock att vattnet kyls kraftigare över förångaren och att kapacitetsregleringen träder in på grund av frysriskerna.

En kombination av låg temperatur och lågt flöde resulterar i att värmepumpen måste kapacitetsregleras ännu kraftigare. Vad det lägre avloppsvattenflödet kommer att innebära för värmepumpen är ännu för tidigt att bedöma.

## 4.2. Kompressoraggregat

### 4.2.1. Vibrationer i kompressoraggregat och rörsystem orsakade omfattande driftstörningar.

Kraftiga vibrationer uppstod i kompressoraggregatet vid kapacitetsreglering vilket resulterade i att reglersliden vibrerade sönder och att rörbrott uppstått vid olika tillfällen. Oljeavskiljarens demistor-element slogs vid ett tillfälle sönder av delar som lossnade från reglersliden. Oljeavskiljaren byttes därför ut. Magnetventiler till styrsystemet för kapacitetsreglering gick sönder vid några tillfällen. Magnetventilerna har därför bytts mot en annan typ.

Orsaken till de kraftiga vibrationerna bedömdes vara tillverkningsfel i kompressorhuset. Kompressorn byttes därför ut mot en ny och rörledningarna omstapades fritt från kompressoraggregatet. Värmepumpen gick bra en tid efter dessa åtgärder men när kompressorn måste kapacitetsregleras i början av sommaren 1982 återkom vibrationsproblemen och orsakade nya rörbrott vid flänsförband och komponenter med påföljande olje- och freonläckage och fel på magnetventiler till styrsystemet för kapacitetsreglering.

Problemet med slidregleringen har inte kunnat lösas utan sliden låstes i max-läget i juli 1982. I februari 1983 byttes kompressorn mot en ny utan slidreglering, och kapacitetsregleringen skulle istället ske genom suggasstrykning och förbikoppling av kondensorn. Med den nya kompressorn erhålls något bättre fullastprestanda medan suggasstrykningen och förbikopplingen av kondensorn försämrar dellastprestanda jämfört med slidregleringen.

### 4.2.2. Kapacitetsreglering genom suggasstrykning och förbikoppling av kondensorn.

I och med att slidregleringen låstes i max.läge blev det omöjligt att köra värmepumpen under större delen av sommaren 1982, se figur 3.1 och 3.2.

Under hösten 1982 monterades en ställmotor på avstängningsventilen på suggasledningen till kompressorn. Därmed kunde en viss kapacitetsreglering ske genom suggasstrykning.

Suggasstrykningen resulterar i lägre tryck och densitet på köldmediegasen som sugas in i kompressorn. Kompressorns kapacitet sjunker därmed på samma sätt som om avloppsvattentemperaturen hade sjunkit. Verkningsgraden sjunker jämfört med slidreglering.

Under sommarens låga fjärrvärmebelastning är inte suggasstrykningen tillräcklig. Värmepumpen kompletteras därför med en förbikoppling förbi kondensorn så att hetgas kan återföras direkt till vätskeavskiljaren. En del av köldmediet kondenseras därmed inte och värmeeffekten sjunker. Metoden innebär att verkningsgraden sjunker kraftigt jämfört med slidregleringen.

Kapacitetsregleringen av den nya kompressorn sker således i två steg genom först suggasstrykning med avstängningsventilen i insugningsledningen till kompressorn och sedan förbikoppling av kondensorn och återföring av hetgas direkt till vätskeavskiljaren. Genom en ökad anslutningseffekt på fjärrvärmenätet har behovet av kapacitetsreglering sommartid minskat 1983 jämfört med 1982.



Mätningar visar att den nya regleringen medger kapacitetsreglering ned till 50 %. I tabell 4.1 visas hur värmefaktorn påverkas av kapacitetsregleringen.

Tabell 4.1 Kapacitetsregleringens effekt på värmefaktorn.

Värmeeffekt %	Värmefaktor %
100	100
80	93
57	70

#### 4.2.3. Problem med lång starttid kunde lösas

Den nya kompressorn kan inte startas avlastad, vilket har lett till långa starttider och därmed risk för överbelastning av elmotorn. Starttidsreläet som ska skydda elmotorn har därför ofta löst ut vid start. Även på elsidan (6 kV) har skyddsbrytare ibland löst ut i samband med start. Den tillåtna starttiden har ökat väsentligt i samråd med elmotorleverantören.

För att underlätta starten stängs ventilen i insugningsledningen delvis vilket dock har lett till att lågtryckspressostaten ofta löser ut och ibland måste blockeras under start. En ny lågtryckspressostat med tidsfördröjning har monterats i början av 1984. I och med detta förväntas startproblemen vara eliminerade.

#### 4.2.4 Installation av underkylare och oljekylare för kapacitetshöjning.

Den första tidens drift visade på högre fjärrvärmetemperatur och lägre avloppsvattentemperatur än vad som förutsatts vid projektering.

Man bedömde därför att det var lämpligt att installera underkylare och oljekylare för att höja värmepumpens kapacitet. Arbetet utfördes i februari 1982. Värmeeffekten skulle därmed öka med 4 procent och värmefaktorn med 3.5 procent enligt uppgift från tillverkaren. Prestandaprov utfördes efter denna ombyggnad och visade att uppgivna prestanda innehölls. I figur 2.2 visas principschemat över värmepumpprocessen efter installation av underkylare och oljekylare.

#### 4.2.5 Högre kondenseringstryck kan tillåtas

I samband med kompressorbytet har nya säkerhetsventiler installerats som medger högre kondenseringstemperatur. Utgående fjärrvärmetemperatur kan därmed tillåtas uppgå till 74°C mot 70°C tidigare.

Hög fjärrvärmetemperatur innebär att värmepumpen måste kapacitetsregleras för att undvika för högt kondenseringstryck. Under vintern 1981/82 var det nödvändigt att kapacitetsreglera på grund av för hög temperatur. I kombination med vibrationsproblemen orsakade detta driftstörningar. I och med att högre kondenseringstryck kan tillåtas bör inte detta problem återkomma. Sedan 1982 har också fjärrvärmereturtemperaturen sänkts något.

#### 4.2.6. Oljekylningssystemet ombyggt på grund av läckagerisk

Oljekylningssystemet har under 1983 byggts om i samband med kompressorbytet på grund av risken för oljeläckage till fjärrvärmesystemet. Oljekylningssystemet har försetts med en mellankylningskrets med plattvärmväxlare vilket förhindrar att olja kommer ut i fjärrvärmenätet. Saneringsproblemen vid ett eventuellt oljeläckage har bedömts vara så stora att det ursprungliga systemet där oljan kyls direkt med fjärrvärmevattnet inte kunde gottas.

#### 4.2.7. Oljeläckage i axeltätningar

Problem med oljeläckage från oljepumpen har förelegat. I och med att oljepumpen bytts mot en ny typ i början av 1984 verkar problemet ha eliminerats.

Kompressoraxelns tätning läcker 0.5 - 1 dl olja per dygn. Olja måste därför fyllas varje år för att inte värmeelementet ska torrläggas. Axeltätningen har tidigare byggts om men oljeläckaget är trots detta fortfarande oväntat stort.

### 4.3 Köldmedium

Köldmedium har påfyllts vid flera tillfällen men det är svårt att bestämma hur mycket som har försvunnit i samband med ingrepp i köldmediesystemet och på grund av läckage i övrigt. Det torde dock vara klart att flera ton köldmedium har försvunnit till omgivningen sedan idrifttagningen 1981. Utsläppen har i första hand orsakats av de många driftstörningar som förekommit.

Köldmedienivån i systemet var vid garantibesiktningen hösten 1983 på mininivå. Påfyllning av ca 10 % köldmedium skedde och en förbättring av prestanda observerades.

### 4.4 Samkörning av värmepump, kolpanna, oljepannor och elpanna.

Fjärrvärmebelastningen varierar under året från 35 MW under de kallaste vinterdagarna ned till 2 MW de varmaste somrardagarna. Fjärrvärmebelastningen möts genom att samköra värmepump, kolpanna, elpanna och oljepannor.

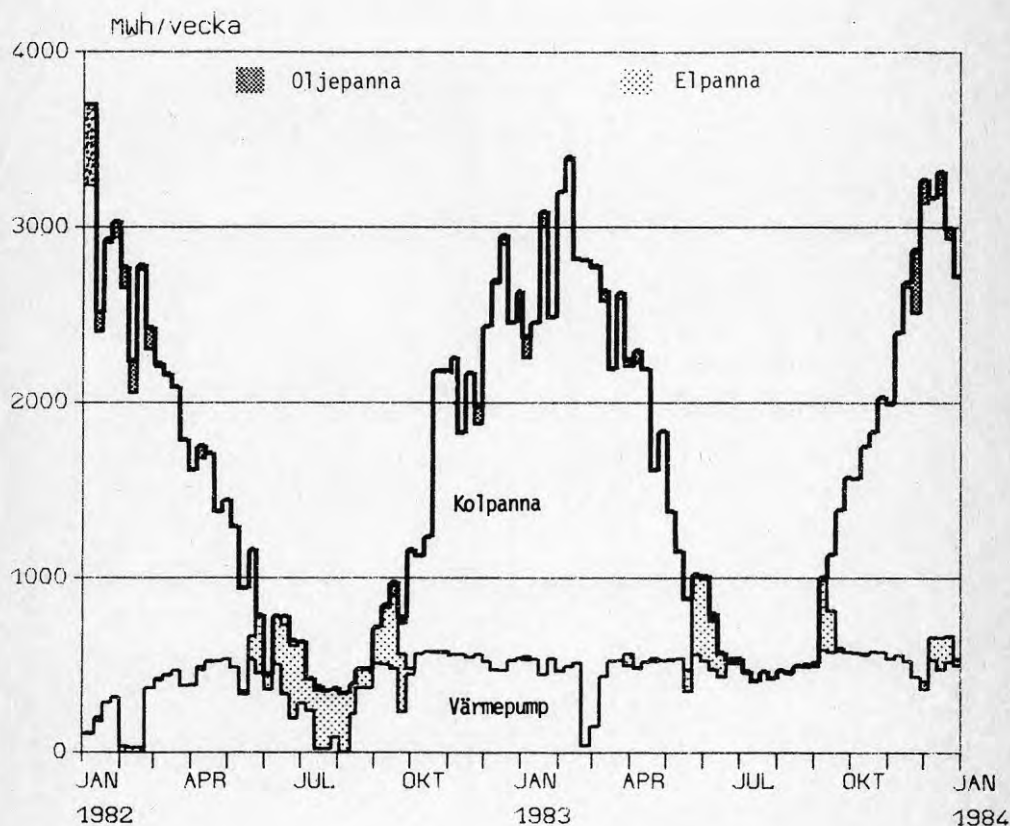
Värmepumpen har den lägsta produktionskostnaden i normalfallet och körs därför i första hand. När värmebehovet överskrider värmepumpens kapacitet, ca 3.3 MW, måste samkörning ske med kolpannan, oljepannorna eller elpannan. Kolpannan har den näst lägsta produktionskostnaden och tas därför i drift efter värmepumpen.

När värmebehovet underskrider värmepumpens fullastkapacitet måste den kapacitetsregleras. Vid kapacitetsregleringen försämras värmefaktorn och därmed ökar produktionskostnaden. I detta driftfall ska värmepumpen jämföras med alternativerna elpannan eller oljepanna. Kolpannan kan inte regleras ned under 4 MW och är därför inget alternativ under låglasttid. Normalt är kolpannan avställd från maj till september.

I princip utnyttjas oljepannorna endast under höglastningsperioderna och elpannan i samband med att kolpannan tänds och släcks och värmepumpen inte ensam täcker behovet. Elpannan körs dessutom i alla lägen istället för oljepannorna om eleffektavbrottet möjliggör detta. Se figur 4.1.

Kolpannan har 1983 kunnat utnyttjas bättre jämfört med tidigare år till följd av att effektregleringen har förbättrats och toppeffekten ökat väsentligt. Värmepumpen och kolpannan har i stort sett täckt hela värmebehovet. Olje- och elpannorna står för endast 5 % av produktionen samtidigt som det totala värmebehovet ökat med 26 % från 1982 då olja och el utgjorde 10 % av produktionen.

Vintertid när elbelastningen är hög finns möjlighet att begränsa eleffektabonnemanget med ungefär 1 MW genom att stoppa värmepumpen under höglastperioderna. Under 1983 stoppades värmepumpen sammanlagt 21 gånger under totalt ca 130 h för att begränsa eleffektabonnemanget. Under dessa stopp körs istället kolpannan och om denna inte ensam täcker behovet startas även oljepannorna. Minskningen av eleffektabonnemanget betalar den ökade driftkostnaden när värmepumpen stoppas.



Figur 4.1 Värmeproduktionen totalt och fördelat på olika enheter

## 5. MATERIALPROVNING

### 5.1. Zinksikt på förångare

Mätning av zinksiktet på strilförångaren har utförts vid fem tillfällen.

I tabell 5.1 är sammanställt resultaten där värden för varje mätpunkt utgör medelvärdet av 10 mätningar med ca 10 mm mellanrum efter rörens generatris.

Vid en bedömning av resultatet skall främst avseende fästas vid de rengjorda ytorna. För de ej rengjorda ytorna är mätvärdet beroende av beläggningsgraden vid mättillfället. Om mätningen utförs direkt efter avställning eller efter en tids stillestånd spelar också in. I det förra fallet är beläggningssiktet mjukare och mätsonden sjunker in mera.

Även för de rengjorda ytorna råder en viss osäkerhet för mätresultaten. Skikten är ojämna och mätsonden träffar inte exakt samma punkt varje gång.

I figur 5.1 har medelvärden på rengjorda ytor för de olika elementen avsatts mot exponeringstiden. Den första systematiska mätningen gjordes efter ca 1/2 års drift. Mätningar vid tillfället för varmförzinkningen visade att zinksiktets tjocklek då låg i samma storleksordning som de i tabellen angivna d v s drygt 100  $\mu\text{m}$ .

I figur 5.1 finns även angivet medelvärden för samtliga mätpunkter vid de olika mättillfällena. Som framgår av figuren har ingen nämnvärd avfrätning av zinksiktet ägt rum.

Vid varmförzinkning av förångarelementen erhöles oväntat låg tjocklek på zinksiktet (15). Det har konstaterats att detta förmodligen beror på en låg kiselhalt i ytsiktet beroende på ungsatmosfären vid den avslutande värmebehandlingen av rören (16). Ett reservelement har funnits hos Sala Galvan för varmförzinkning sedan -81. Efter betningsprov med lika römateriale som i reservelementet betades och varmförzinkades detta reservelement 84-04-17 under närvaro av Stal Refrigeration och Vattenfall. Följande tjocklekar på zinksiktet uppmättes:

Min: 232  $\mu\text{m}$       Max: 470  $\mu\text{m}$       Medelvärde: 395  $\mu\text{m}$

Att tjocka zinksikt nu erhöles beror främst på att ytsiktet har rostat bort.

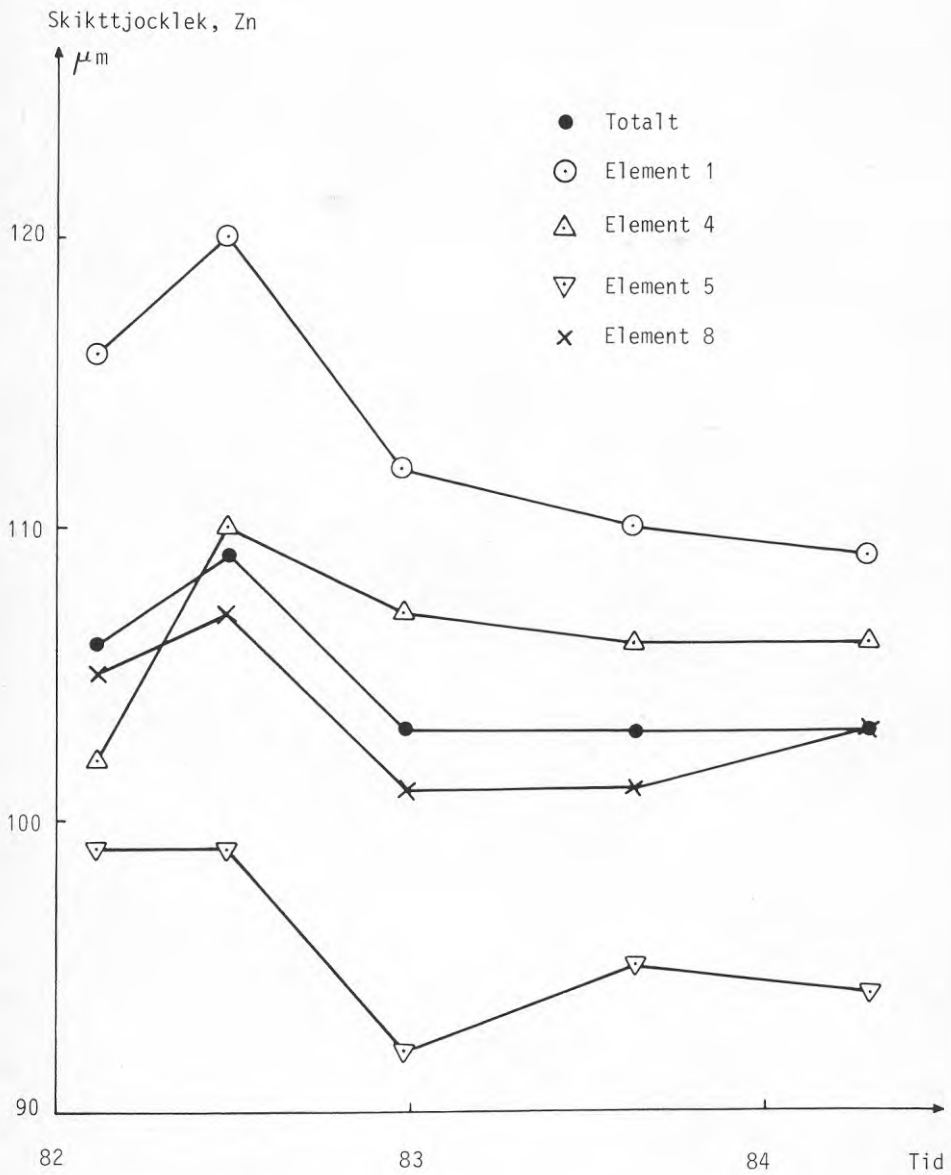
### 5.2. Vattenanalyser

Vattenprov för analys har uttagits med jämna tidsintervall. Vattenprov har tagits före och efter förångaren och ibland även på åvatten. Skillnaden i analysresultat före och efter förångaren finns endast i pH som har stigit 0,2 - 0,4 enheter efter passage genom förångaren. I tabell 5.2 finns sammanställt analysresultat för vatten före förångaren vid olika tillfällen.

Inom korrosionslitteraturen förekommer begreppet mättnadsindex. Detta lanserades av Langelier 1936 (7) och utgör skillnaden mellan aktuellt pH och det beräknade pH vid vilket kalkutfällning inträffar utgående från termodynamiska konstanter och uppmätta halter av kalcium och bikarbonat. Detta sistnämnda pH benämns ibland Langeliers index,  $\text{pH}_s$ . (17).

Tabell 5.1 Ijocklek av zinkskikt  $\mu\text{m}$ 

Mätpunkt	A. Rengjord yta				B. Ej rengjord yta					
	82-02-08	82-06-21	82-12-21	83-10-19	84-04-17	82-02-16	82-06-21	82-12-21	83-10-19	84-04-17
1.1	122	138	124	127	124	163	140	137	148	135
1.2	114	128	120	120	119	153	138	130	144	125
1.3	122	113	101	93	94	156	120	120	124	117
1.4	107	109	106	99	100	160	132	133	123	112
1.5	118	127	119	116	118	162	147	133	155	143
1.6	115	121	119	112	114	147	133	146	168	132
1.7	115	108	98	95	97	140	117	125	132	113
1.8	115	112	105	106	105	134	128	132	144	112
1. Totalt	116	120	112	109	109	152	132	139	142	124
4.1	105	110	110	108	115	149	125	128	133	127
4.2	101	111	107	108	113	145	116	136	136	120
4.3	112	121	122	115	108	153	128	140	112	107
4.4	95	94	93	102	96	149	110	136	142	100
4.5	98	119	111	113	110	130	117	123	142	137
4.6	105	114	111	107	118	160	121	148	140	118
4.7	111	111	112	107	98	128	126	131	113	100
4.8	91	99	89	91	90	110	105	132	127	91
4. Totalt	102	110	107	106	106	141	119	134	131	113
5.1	102	102	106	105	103	101	139	126	122	107
5.2	95	95	88	92	90	135	107	111	134	119
5.3	109	98	97	92	101	134	107	125	116	96
5.4	97	89	77	82	84	138	111	125	99	90
5.5	95	106	98	108	102	138	122	109	122	112
5.6	104	104	100	101	99	146	116	125	139	116
5.7	83	95	90	88	91	135	100	104	101	87
5.8	109	98	83	90	82	140	103	120	112	90
5. Totalt	99	99	92	95	94	138	111	118	118	102
8.1	102	111	104	109	110	158	135	145	138	121
8.2	110	108	103	102	109	157	113	165	143	119
8.3	102	105	90	90	97	146	112	123	113	98
8.4	109	103	91	88	106	162	114	150	110	109
8.5	106	112	112	113	115	141	139	140	133	125
8.6	101	102	101	114	103	149	120	131	129	125
8.7	98	100	96	90	91	150	123	152	116	101
8.8	110	112	107	100	92	149	126	127	127	114
8. Totalt	105	107	101	101	103	152	123	150	126	114
Totalt alla	106	109	103	103	103	146	121	135	129	113



Figur 5.1 Zinkskiktstjocklekens förändring



Tabell 5.2 Vattenanalyser

Bestämning	Enhet	81-07-27	81-11-19	82-03	82-09-01	82-12-21	83-06-13	83-09-22	83-12-14	84-04-17
										Förångare Sagån
PH	-	7,2	7,0	6,8	6,8	6,4	7,2	7,1	6,8	7,6
Konduktivitet	uS/cm	180	440	370	460	440	560	430	425	500
Indunstn rest	mg/l				382	359	376	391	423	390
Glödningsrest	mg/l				182	208	214	205	234	203
Permanganatförb	mg/l	40	25		44	35	31	45	45	30
Ammonium	mg/l	0,09	3,9	0,04	0,7	0,1	2	2	3	2,5
Kalcium	mg/l	25		39	28	42	43	39	28	27
Magnesium	mg/l					10	10	12	10	14
Järn	mg/l	1,1	1,1		0,4	1,2	0,3	1,2	2,1	0
Mangan	mg/l	0,08	0,11		<1	<1	0,1	0,2	<0,2	<0,2
Bikarbonat	mg/l	55	140	122	104	92	232	171	171	220
Klorid	mg/l	11	29		35	30	20	50	30	36
Sulfid	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,01	0,01	0,03	0,01
Sulfat	mg/l	21	49		66	96	61	71	86	55
Nitrat	mg/l			70	40	80	30	30	90	30
Fosfat	mg/l	0,10	0,20	0,34						
Mättnadsindex		-1,5		-2	-1,8	-2	-0,8	-1,0	-1,4	-0,6
Stabilitetsindex		10		10,8	10,4	10,4	8,8	9,1	9,6	8,8
										11,3



Kalkutfällning sker när  $pH_s$  är lägre än det aktuella pH d v s när  $pH - PH_s > 0$

Om  $pH - PH_s < 0$  kan kalkupplösning inträffa och vattnet vara korrosivt.

Mättnadsindex har beräknats för det analyserade vattnet och införts i tabell 5.2. Eftersom mättnadsindex är negativt är vattnet inte kalkfällande och borde alltså vara korrosivt på järn och zink. Mättnadsindex ger endast en indikation om kalkfällning är termodynamiskt möjlig men ger ingen uppfattning om kvantiteten.

Ryznar (8) har föreslagit ett stabilitetsindex  $2 pH_s - pH$  som han anser ger ett bättre mått på tendensen till kalkfällning eller korrosion i vatten. Stabilitetsindex är alltid positivt och ett lågt värde indikerar kalkfällning medan ett högt värde ett korrosivt vatten. Empiriskt visar Ryznar att gränsen går vid värdet cirka 6. Även stabilitetsindex för det analyserade vattnet har införts i tabell 5.2.

Av stor betydelse för korrosionshastigheten är syrehalten i vattnet. Från Sala kommun har följande värden erhållits för det renade avloppsvattnet:

Tabell 5.3 Syrehalt renat avloppsvatten

	Syrehalt mg/l		
	1982	1983	1984
Februari	11.2	10.3	9.7
April	-	10.4	9.3
Juni	8.2	4	
Augusti	6.1	-	
Oktober	9.6	8.8	
December	10.3	4.7	

Syrehalterna är relativt höga, ofta upp till mättnad. Dessa beror på att avloppsvattnet luftas.

### 5.3 Jämförande materialprovning

#### 5.3.1 Förutsättningar

Olika metalliska material har provats i form av U-rör med längd 1857 mm och bockningsradie 50 mm. Ytterdiameter har varit ca 25 mm och vägg-tjocklek 2 mm med några undantag. Rören har varit placerade i en rigg under element nr 4 av strilförångaren. Dessutom har två U-rör av SIS 1330 varav ett varmförzinkat, exponerats ovanför strilförångaren, direkt under fördelningsrören.

Tabell 5.4 Sammanställning tubmaterial för jämförande materialprov

Obehandlat stål SIS 1330

Varmförzinkat stål SIS 1330

Varmförzinkat SIS 1330 värmebehandlat 650 C/0.5 h

Rostfritt stål SIS 2333

Rostfritt SIS 2343

Rostfritt NYBY Monit 25 Cr, 4 Ni, 4 Mo

Rostfritt TREND TUBE Sea Cure 26 Cr, 2 Ni, 3 Mo

Koppar SIS 5015

Aluminiummässing SIS 5217

Kopparnickel SIS 5667

Aluminium SIS 4010

---

#### 5.3.2. Obehandlat stål

De obehandlade rören har erhållit många små punktangrepp. På det rör som exponerats ovanför strilförångaren sammanföll dessa så att man nästan kan tala om en jämn avfrätning.

U-rören var vägda före exponeringen. Eftersom de ej varit tillslutna fanns mycket slam invändigt. Det var inte möjligt att avlägsna dessa efter rörets hela längd. För beräkning av viktförlusten kapades av enaskänkeln tre rörbitar ca 100 mm långa. Dessa betades i 50 volym%, 37 vikts% saltsyra + 1 vikts% hexametylen tetra amin i ca 15 minuter. Därefter noggrann borstning utvändigt och invändigt för avlägsnande av kvarvarande rost och slam.

En teoretisk ursprunglig vikt har beräknats för rörbitarna ur rörets dimension och stålets densitet. Rörbitarna har vägts efter avlägsnande av rost och slam. Ur viktsförlusten har en genomsnittlig avfrätning räknats fram. Denna har räknats på utvändigt plus invändig röryta. Vidare har en avfrätningshastighet beräknats ur en exponeringstid av 2,06 år. Resultat där 3601 avser rör exponerat under förångare och 3602 rör ovanför förångaren. Redovisas i tabell 5.5.

Tabell 5.5 Avfrätning obehandlat stål

25x2xca 100	Viktsförlust	Avfrätning	Avfrätningshastighet
	g	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}/\text{år}$
3601-1	7.2	64	31
3601-2	6.9	61	30
3601-3	6.1	54	26
3602-1	35.3	309	150
3602-2	33.5	298	145
3603-3	33.7	295	143

Som framgår av ovanstående är avfrätningshastigheten mycket hög för röret som exponerats direkt under fördelningsrören. De värden som uppmättes för röret under strilförångaren ca  $30 \mu\text{m}/\text{år}$  är normala för ett älvvatten. Frätdjupet på detta rör var max  $0.3 \text{ mm}$  vilket också är normalt eftersom man kan räkna med en gropfrätningshastighet av  $0.1-0.2 \text{ mm}/\text{år}$  i älvvatten.

### 5.3.3 Varmförzinkat stål

Ett varmförzinkat U-rör har exponerats ovanför strilförångaren och två varmförzinkade U-rör har exponerats under strilförångaren varav ett erhållit en värmebehandling efter varmförzinkningsskiktet.

På varje U-rör har före exponeringen tre mätställen etablerats bestående av en sträcka  $100 \text{ mm}$  efter rörets generatris. Ett mätställe ligger på vardera skänkeln och ett i bocken. Skiktjockleken i bocken är högre än på skänklarna beroende på att värmningen vid bockningen påverkar ytskiktet. Resultatet redovisas i nedanstående tabell 5.6

Tabell 5 6 Avfrätning zinkskikt

	Skiktjocklek Zn, Medelvärde $\mu\text{m}$					
	Mätställe 1		Mätställe 2		Mätställe 3	
	Före exp.	Efter exp.	Före exp.	Efter exp.	Före exp.	Efter exp.
U-rör under förångaren	82	79	78	73	236	212
U-rör värmebeh.	123	102	113	100	296	235
U-rör ovanför förångaren	90	80	82	75	186	184

Det förefaller som det värmebehandlade röret har en högre avfrätningshastighet för zinkskiktet medan de övriga rören visar en avfrätningshastighet i samma storleksordning som rören i strilförångaren.

#### 5.3.4. Rostfritt stål

Som väntat erhöjls ingen korrosion på de rostfria materialen. Kloridhalten är avgörande för korrosionsbeständigheten för rostfritt stål i vatten.

Enligt Scheideger och Muller (9) går gränsen för punktkorrosion för SS 2333 vid 10 000 ppm Cl i neutralt, luftmättat vatten vid 25°C. För spaltkorrosion är den kritiska kloridhalten så låg som 100 ppm. Efrid och Moller anger ett högre värde, 200 ppm, vid 20°C (10).

Temperaturen på avloppsvattnet är för låg för att spänningskorrosion skulle kunna uppkomma på rostfritt stål.

#### 5.3.5. Kopparmaterial

Kopparmaterialen hade tunna oxidskikt efter exponeringen. Inga punktangrepp kan observeras. Färgen på oxiden var följande

Koppar	Röd
Aluminiummässing	Rödbrungul
Kopparnickel	Rödbrun

Koppar är inte helt beständigt i vatten men korrosionshastigheten är mycket låg. Ritter (11) anger korrosionshastigheten i normalt vatten vid 20°C till 0.006 mm/år. I varmt vatten är den jämna korrosionshastigheten ej nämnvärt högre. Det finns dock risk för punktfrätning. Mattson och Fredriksson (12) anger att denna risk ökar om pH < 7 och sulfat/karbonat/förhållandet < 1 i varmt vatten.

Dessa riktvärden är beroende av varandra så att högt bikarbonat/sulfatförhållande medger ett lägre pH innan punktfrätning uppkommer. Enligt tabell 6 ligger bikarbonat/sulfatförhållandet alltid över 1 och pH ofta över 7.

Hög järn- och manganhalt kan framkalla punktfrätning i koppar i varmt vatten. Den kritiska halten uppges till 0.1 ppm resp 0.05 ppm (13).

Sulfid kan öka korrosionshastigheten för koppar. Sulfidhalten i avloppsvattnet i Sala ligger under den halt som kan ha betydelse för korrosionsförloppet, 0.1 ppm. Legering av koppar som i aluminiummässing och kopparnickel är främst avsett för att höja erosionsbeständigheten.

Ammoniak kan orsaka spänningskorrosion på kopparlegeringar men ren koppar är helt immun. Vid höga dragspänningar kan halter av några ppm vara kritiska.

#### 5.3.6. Aluminium

På U-röret av aluminium fanns frätgropar efter exponeringen. Frättdjupet var max 0.2 mm.

Enligt Uhlig (14) är aluminium beständigt i destillerat och de flesta naturliga vatten upp till 180°C. Emellertid kan vissa vatten orsaka punktfrätning.

På aluminium som provas i hetvatten från värmeackumulatoren i Avesta har en relativt hög jämn avfrätning erhållits.

Erfarenheterna visar att det är viktigt att ha tillgång till detaljerad information om de aktuella förutsättningarna för en värmepump-installation för att dimensionera systemet rätt. Speciellt viktigt är det att ha kännedom om temperatur- och flödesförhållandena i fjärrvärmenät och avloppsvattnet samt om värmebehovets variation under året.

Om värmepumpen kommer att kapacitetsregleras under en del av året bör anläggningens reglerområde vara underbyggt genom tidigare drift-erfarenheter eller prov. Om de verkliga förutsättningarna avviker från de kalkylerade riskerar man att driftresultatet blir väsentligt sämre än förväntat.

Slidregleringen har på grund av vibrationer inte kunnat användas i den aktuella kompressortypen och skruvkompressorns goda regleregenskaper har därför inte kunnat bekräftas. Den ursprungliga förutsättningen var att slidregleringen skulle medge väl fungerande reglering till åtminstone 40 % effekt. Orsaken till vibrationerna har inte kunnat undanröjas. Den utformning som kapacitetsregleringen istället har fått medger reglering ned till 50 % effekt och förväntad tillgänglighet och värmeproduktion har därigenom kunnat uppnås.

Kompressorn kan inte startas avlastad vilket innebär väsentligt längre starttider jämfört med om slidregleringen kunnat användas. Elmotorleverantören har godkänt en förlängning av starttiden och den bedöms inte försämra livslängden nämnvärt.

Vibrationskänsliga komponenter i hjälpsystemen ska placeras så att de inte onödigtvis utsätts för vibrationer som nedsätter deras livslängd.

Kompressorns oljekylare ska ej vara direktkyld av vatten från fjärrvärmesystemet på grund av risken för oljeläckage och de allvarliga konsekvenser detta skulle medföra.

Varmförzinkat stål kan vid det vattenkvalitet som råder i Sala användas i förångaren. Erfarenheterna från varmförzinkningen av förångaren visar att det är viktigt att grundmaterialet har rätt sammansättning för att erhålla tjocka zinksikt. Detta gäller speciellt sammansättningen i ytskiktet.

Noggrann analys bör göras av vilken köldmediefyllning anläggningen ska ha. En metod för bestämning av köldmediemängden i anläggningen bör finnas för regelbunden kontroll. Uppgift om vilket köldmedieläckage som normalt kan förväntas bör anges. Onormalt köldmedieläckage kan genom detta upptäckas tidigt. Utrustning för kontinuerlig köldmedieövervakning i maskinrum och förångarum bör installeras, t ex IR-spektrometer som förses med utsug från kritiska lågpunkter.

Renat avloppsvatten kan innehålla fasta partiklar vilket bör beaktas vid konstruktionen av vatenspridare och förångare för att undvika igensättning. Vattenspridare och förångare bör vara lätt åtkomliga för rengöring, vilket ej är fallet i Sala.

Driftkostnadsbesparingar kan uppnås genom att begränsa eleffekt-abonnemanget genom att stoppa värmepumpen under höglastperioder. Minskningen av effektuttaget betalar merkostnaden för värmeproduktionen om inte stopptiderna blir för långa.

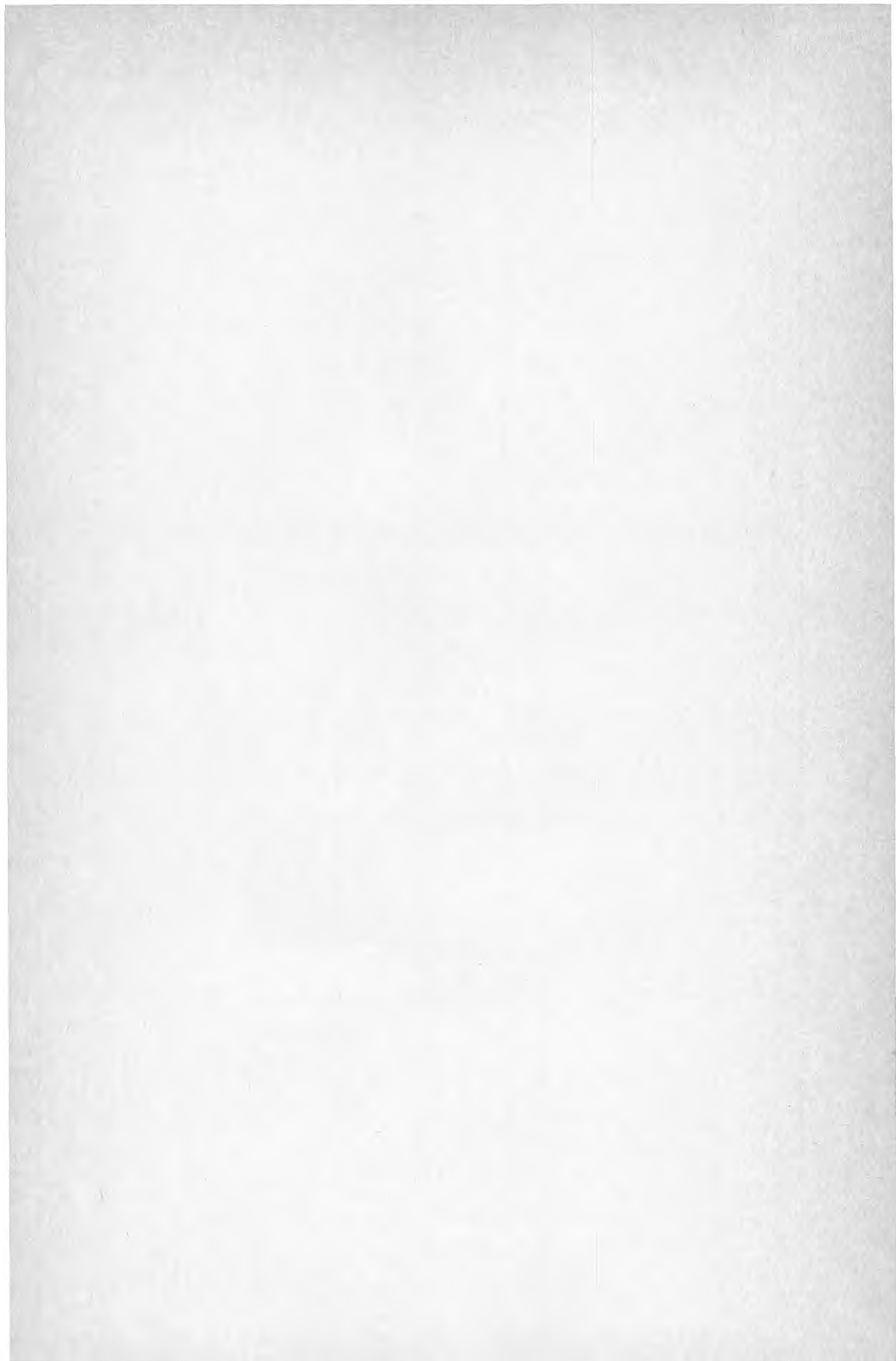
## REFERENSLISTA

1. Avloppsvärme i Sala,  
Teknisk beskrivning 1981:1  
Vattenfall.
2. Värmepump för avloppsvatten i Sala,  
SV-Rapport SOL-1982:3,  
Vattenfall.
3. Sala avloppsvärmepump 3.2 MW värme.  
Mätningar. Drifterfarenheter. Rapport 1.  
Vattenfall 1982-03-15.
4. Avloppsvärmepump 3 MW, Sala.  
Mätningar. Drifterfarenheter. Rapport 2.  
Vattenfall 1982-03-30.
5. Avloppsvärmepump 3 MW, Sala.  
Mätningar. Drifterfarenheter. Rapport 3.  
Vattenfall 1984-06-18.
6. Studie av förångarfunktionen för den kommunala  
avloppsvärmepumpen i Sala. Examensarbete i kyl-  
teknik. Institutionen för mekanisk värmeteori och  
kylteknik. KTH 1981.
7. Langelier W F: The Analytical Control of Anti-Corrosion  
Water Treatment. Journal-American Water Works Association  
28 S 1500 (1936).
8. Ryznar J W: A New Index for determination Amount of  
CalciumCarbonate Scale Formed by a Water. Journal-  
American Water Works Association 36 S 483 (1944).
9. Scheidigger, R & Muller, R O: Werkstoffe und Korrosion  
31, sid 387-393, 1980.
10. Eford, K.P & Moller G E: Corrosion 78, paper nr 87.
11. F Ritter: Korrosionstabellen metallischer Werkstoffe,  
Springer-Verlag (1958)
12. E Mattson, A-M.Fredriksson: British Corrosion Journal  
3 s (1968).
13. Th Cress. K Schwitzgebel: Metalloberfläcke 20 s 208  
(1966).
14. H H Uhlig: Corrosion and Corrosion Control John Wiley  
& Sons Inc (1967).
15. L Troselius: Sala Värmepump. Strilförångare.  
Materialprovning. Vattenfall 1982-03-09.
16. L Troselius: Sala värmepump. Strilförångare. Materialprovning.  
Vattenfall 1983-01-17.
17. L Troselius: Sala avloppsvärmepump. Strilförångare.  
Materialprovning. Vattenfall 1984-07-03.











**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 800478-7  
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens  
Vattenfallsverk, Vällingby.**

**R34: 1985**

**ISBN 91-540-4341-7**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6705034  
Ingår ej i abonnemang**

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

**Cirkapris: 30 kr exkl moms**