



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

R52:1987

Avfrostning av luftberörda förångare i värmepumpar

Utvärdering av avfrostningsmetoder

**Ulf Bergström
Reinhold Larsson**

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr
Plac *Ser*

W/A

Byggeforskningsrådet

R52:1987

AVFROSTNING AV LUFTBERÖRDA FÖRÄNGARE
I VÄRMEPUMPAR

Utvärdering av avfrostningsmetoder

Ulf Bergström
Reinhold Larsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 850290-8
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
provningsanstalt, Borås.

REFERAT

Syftet med detta arbete har varit att genom mätningar på kommersiella uteluftsvärmepumpar klargöra vilka problem som uppstår i samband med avfrostning av anläggningens luftberörda kylbatteri.

Mätningarna har visat att de olika metoder som används för att avfrostas kylbatterierna fungerar tillfredsställande. Däremot har nästan alla de besökta anläggningarna uppvisat svagheter i styrsystemet som reglerar när avfrostning skall initieras. För stora värmepumpsanläggningar (1500 kW) kan man uppskattningsvis öka besparingen med 60 000 kr årligen genom att förbättra styrningen av avfrostningen. Rapporten ger förslag på ett styrsystem som ger en optimering av besparingen ur avfrostningssynpunkt.

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

R52:1987

ISBN 91-540-4746-3
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
Svenskt Tryck Stockholm 1987

INNEHÅLL

	FÖRORD	1
1	SAMMANFATTNING	2
2	PÅFROSTNING	4
3	VARFÖR MÅSTE KYLBATTERIET AVFROSTAS	11
4	HUR SKALL MAN AVFROSTA	14
5	HUR STYRS AVFROSTNINGEN	19
6	BESPARINGSPOTENTIAL	23
7	FÖRSLAG TILL EN NY AVFROSTNINGSAUTOMATIK	26
8	MÄTRESULTAT	30
8.1	Inledning	30
8.2	Fagersjö	32
8.3	Komariken	41
8.4	Varberg	47
8.5	Vänersborg	51
8.6	Herrljunga	62
8.7	Annelund	64
8.8	Värsås	67
	BILAGOR	

FÖRORD

Jag vill tacka alla de ägare, brukare och driftsansvariga på de anläggningar vi har fått besöka. Jag hoppas att de resultat som framkommit i någon mån skall komma brukare av värmepumpsanläggningar till godo.

Jag vill också passa på att tacka alla andra som hjälpt till under projektets gång. Ett särskilt tack vill jag rikta till Lars Olof Glas, Skandinavisk Termoekonomi AB som bidragit med synpunkter och goda råd.

Borås december 1986

Ulf Bergström

1 SAMMANFATTNING

Inledning

Denna rapport utgör resultatet av ett projekt finansierat av Statens råd för byggnadsforskning (BFR). Rapporten är en självständig fortsättning på ett tidigare BFR-projekt där Mats Fehrm har varit projektledare.

Arbetet har huvudsakligen varit inriktat på att studera funktionen hos avfrostningen dels med avseende på olika avfrostningsmetoder, dels med avseende på olika metoder att styra initieringen av avfrostningarna. Största intresset har ägnats åt styrningen.

Rapporten bygger till stora delar på resultat från mätningar i kommersiella uteluftsvärmepumpar.

Olika avfrostningsmetoder

En mängd olika metoder att tillföra värme för att smälta isen på förångarbatterierna utnyttjas idag. De flesta metoderna har visat sig fungera bra. Det är däremot svårt att bedöma vilken metod som ger den lägsta kostnaden. Hetgasavfrostningen, som kanske är den vanligaste metoden, är snabb vilket gör den attraktiv. Nackdelen med denna metod är de svåra driftsförhållanden som kompressorn kan utsättas för under avfrostningen. Dessa problem kan dock undvikas med en genomtänkt konstruktionslösning. Elavfrostning är en relativt enkel, säker och skonsam avfrostningsmetod, vilken framför allt lämpar sig för små värmepumpsaggregat.

Olika initieringsmetoder

I nästan alla de besökta anläggningarna har avfrostning skett utan att det funnits ett verkligt behov av det. Därigenom minskar den möjliga besparingen. För att erhålla maximal besparing från värmepumpsanläggningen bör avfrostning endast ske då förångarbatteriet är så påfrostat att luftflödet genom batteriet väsentligt hindras. Normalt utnyttjas en så kallad behovsstyrd initieringsmetod. Denna behovsstyrning har visat sig fungera mindre bra på de flesta av de besökta anläggningarna. Orsaken till den dåliga funktionen har i de flesta fall varit en dålig placering av de givare som indikerar att påfrostning skett. En annan anledning är en dålig intrimning av regulatorparametrar. Det är även troligt att tillverkarna vill gardera sig mot att förångarbatteriet skall frysa igen helt genom att välja relativt stora "slarvmarginaler" för regulatorparametrar.

En mycket grov uppskattning av hur mycket avfrostningen kostar för en ur avfrostningssynpunkt bra respektive dålig anläggning visar, att skillnaden i årskostnaden blir ca 300-400 kr för en villavärmepumpsanläggning. För en stor uteluftsvärmepump med en värmeeffekt på ca 1500 kW erhålls en skillnad i årskostnad mellan en "bra" och "dålig" anläggning på 60 000 kr. (Förutsättningarna för dessa värden återfinns i rapporten.)

Av dessa siffror framgår att det ur ekonomisk synpunkt är svårt att motivera en dyrbar avfrostningsautomatik för små värmepumpar. Det är för dessa viktigare att prioritera driftsäkerhet.

För större anläggningar finns däremot stora besparingsmöjligheter om avfrostningen kan styras med större finness. I rapporten beskrivs de fenomen som styr påfrostningen. Förslag ges även till hur man genom ett nytt angreppssätt skulle kunna optimera avfrostningsintervallen och därigenom kunna öka besparingen.

2 PÅFROSTNING

Frost bildas på kylbatteriets yta då vatten fälls ut ur luften och batteriets yttemperatur understiger vattnets fryspunkt. För de allra flesta uteluftsvärmepumpar dimensionerade på konventionellt sätt uppträder frost på batteriytan då utelufttemperaturen understiger +5 till +8 °C. Normalt sker den snabbaste påfrostningen vid en utelufttemperatur på +2 °C. Vid högre lufttemperaturer kommer endast en mindre del av luftens vatteninnehåll att kylas så mycket att frost bildas på batteriytan. Vid lägre lufttemperaturer är den absoluta fukthalten lägre, vilket givetvis leder till lägre påfrostningshastighet.

De faktorer som huvudsakligen påverkar frostillväxten på batteriets yta är:

- utelufttemperaturen
- luftfuktigheten
- batteriets utformning
- uttagen kyleffekt
- luftflödet

Utelufttemperaturen och luftfuktighetens inverkan har beskrivits ovan. För en given värmepumpsanläggning fås maximal påfrysning för en given kombination av lufttemperatur och fuktighet in till kylbatteriet. En minskning av den relativa luftfuktigheten ger vanligtvis en minskning av påfrostningen. I undantagsfall kan dock en minskning av den relativa luftfuktigheten leda till ökad påfrostning. Det sämsta driftsfall som kan inträffa är blötsnö som tillåts falla direkt mot kylbatteriet.

För att få en uppfattning om de klimatologiska förutsättningarna för uteluftsvärmepumpar i Sverige ges temperaturvaraktighetsdiagrammet för Kiruna och Malmö.

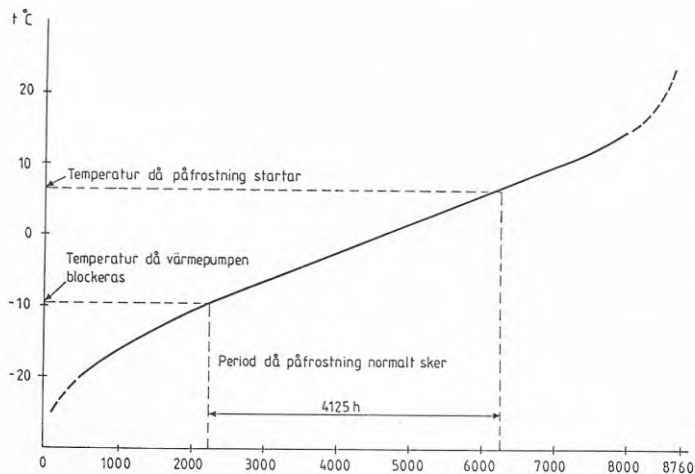


Fig 2.1. Temperaturvaraktighetsdiagram, Kiruna.

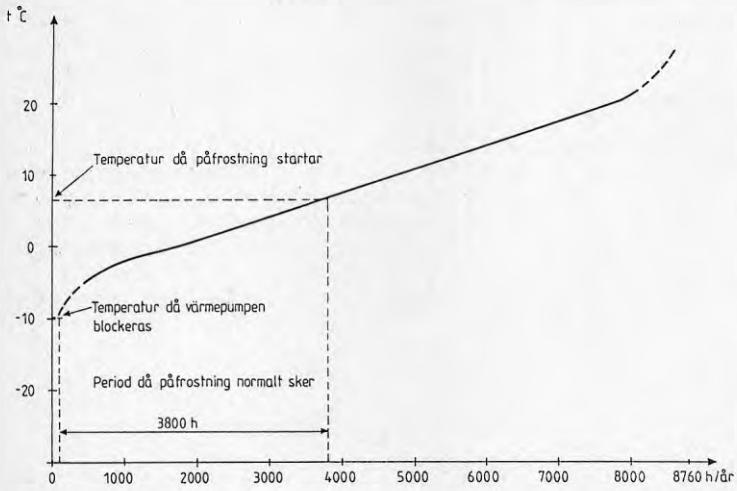


Fig 2.2. Temperaturvaraktighetsdiagram, Malmö.

Varaktighetsdiagrammen är hämtade från VVS-handboken utgiven av Förlags AB VVS. I diagrammen har de temperaturgränser där påfrostning av kylbatteriet normalt kan ske inritats. Det framgår att påfrostning av kylbatteriet kan inträffa under 3890 - 4200 timmar under året. Detta utgör en stor del av värmepumpens utnyttjandetid. För orter med en låg normaltemperatur erhålls längre perioder då påfrostning sker jämfört med orter med en hög normaltemperatur.

Påfrostningen beror som redan nämnts även på den aktuella luftfuktigheten. I fig 2.3-2.4 ges månadsmedelvärden för temperatur och relativ luftfuktighet i Göteborg och Kiruna. För att bättre kunna jämföra orterna med varandra ges även den absoluta luftfuktigheten i fig 2.5-2.6.

I bilaga 1 ges klimatdata för ytterligare några orter i Sverige.

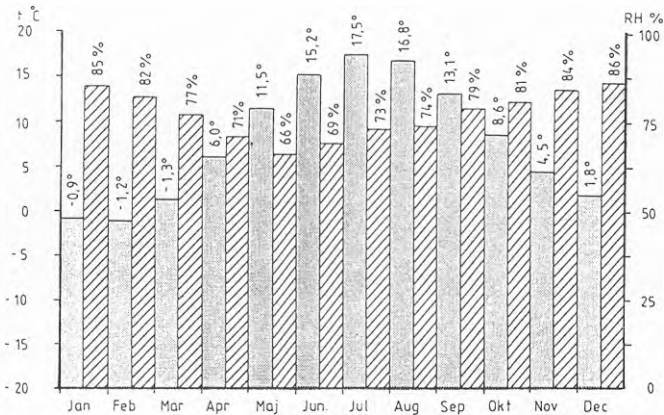


Fig 2.3. Månadsmedelvärde på temperatur och luftfuktighet i Göteborg.

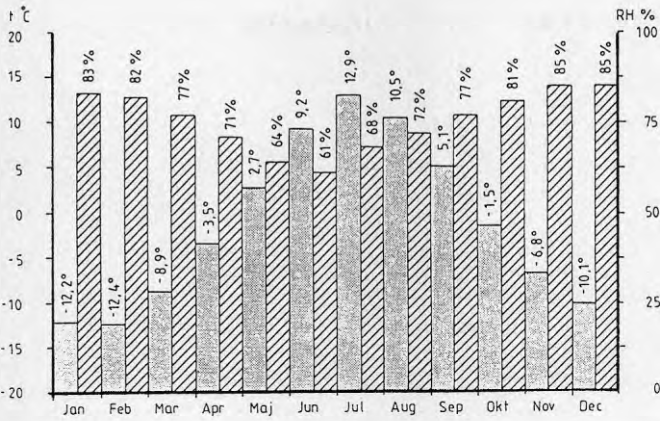


Fig 2.4. Månadsmedelvärde på temperatur och luftfuktighet i Kiruna.

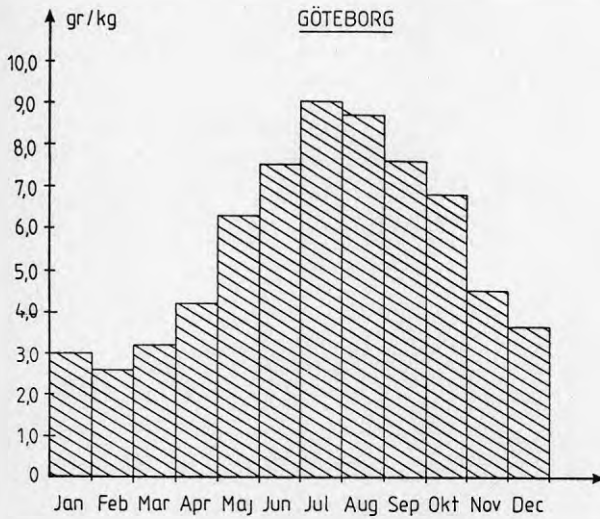


Fig 2.5. Månadsmedelvärde på luftens fukttinnehåll, Göteborg.

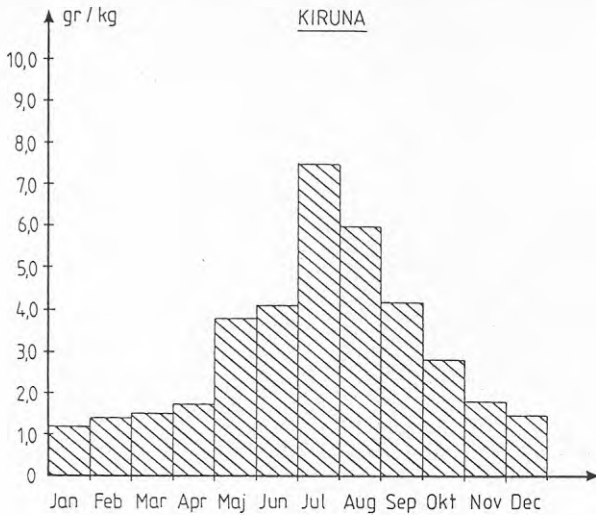


Fig 2.6. Månadsmedelvärde på luftens fukttinnehåll i Kiruna.

Batteriets utformning bör vara sådan att snö inte faller direkt mot detsamma. Detta kan undvikas genom att luft tas in underifrån eller från sidorna och blåses ut genom översidan av batteriet. Genom att låta luften passera ett jalusi före kylbatteriet undviks att snö blåser direkt mot batteriet. Genom att först klargöra hur påfrostningen på batteriet i allmänhet ser ut, är det lättare att förstå hur batteriets utformning kan påverka påfrostningsförloppet.

I figur 2.7 visas hur påfrostningen ser ut i ett flänsat batteri.

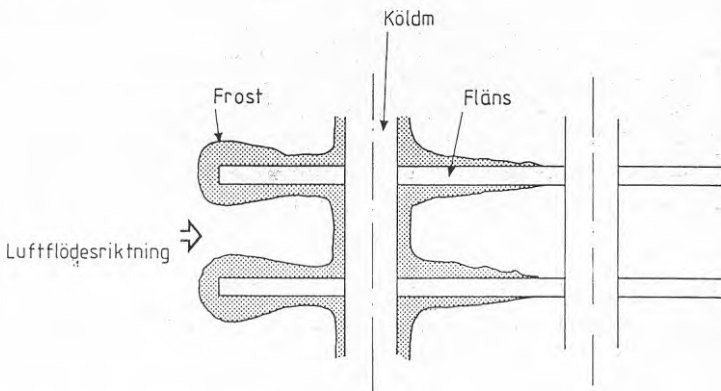


Fig 2.7. Frostens utbredning på ett flänsat kylbatteri.

Av figur 2.7 framgår att det kraftigaste frostpåslaget normalt sker i batteriets inlopp. Detta beroende på att luftfuktigheten är som störst i inloppet.

Det finns dock ett flertal parameterar som kan påverka var någonstans i kylbatteriet som den snabbaste frostillväxten sker. Åke Mälhammar har i en doktorsavhandling gjord vid institutionen för mekanisk värmeteorik och kylteknik, KTH, närmare studerat påfrostningsförlopp. De parametrar som enligt Å Mälhammar påverkade var någonstans i batteriet frosten skulle hamna var:

- Relativ luftfuktighet
- Kylbatteriets flänsverkningsgrad
- Temperaturdifferens vid kylbatteriets inlopp
- Köldmediets värmeövergångstal
- Kylbatteriets djup
- Spaltbredd mellan kylflänsarna
- Lufthastigheten genom kylbatteriet

En ökning av de två första parametrarna förskjuter frosten mot kylbatteriets inlopp. En ökning av de fem sista parametrarna förskjuter frosten mot kylbatteriets utlopp.

Om en kraftig påfrostning sker i exempelvis kylbatteriets front, kommer påfrostningen i detta område att ytterligare påskyndas. Detta beror på att en minskning av spaltbredden leder till ett ökat värmeövergångstal och därmed en ökad fukttransport mot frostsiktet. Denna accelererande process dämpas dock av att temperaturfallet i frostsiktet ökar då frosttjockleken ökar. Ytterligare en aspekt är att eftersom diffusionshastigheten för vattenångan i luften är ändlig, kommer mängden vatten som "hinner" att fällas ut på batteriets yta att bero på lufthastigheten genom detsamma.

Val av flänsdelning har stor betydelse för påfrostningen. Normalt brukar flänsdelningen (dvs avståndet mellan förångarbatteriets kylflänsar) vara 2-6 mm. En liten flänsdelning ger bra prestanda för anläggningen då den arbetar i regionen där ingen påfrostning sker. Däremot sker en snabb igensättning av batteriet då påfrostning inträder om flänsdelningen är för liten. En annan aspekt är att ett tätflänsat batteri kan arbeta ner till lägre utomhustemperaturer innan påfrostning inträder jämfört med ett glest flänsat batteri. Detta under förutsättning att kyleffekten är lika för de bägge batterierna. Detta beror på att med en större värmeöverförande yta kan batteritemperaturen hållas högre med bibehållet kyluttag ur luften.

Även batteriytans beskaffenhet påverkar påfrostningen. Vid prov med silikonbehandlade kylbatterier uppmättes en minskad påfrostning. Försöken genomfördes vid en lufttemperatur på +7 °C. Ytbehandlingen ledde till att det kondenserade vattnet hann rinna av innan det frös till is. Då det första isskiktet hade bildats, förlöpte påfrostningen normalt.

3 VARFÖR MÅSTE KYLBATTERIET AVFROSTAS

Den fukt som fälls ut ur luften i kylbatteriet ger ett bidrag till den kyleffekt som freonet eller brinelösningen upptar. Vattnet avger både sitt ångbildningsvärme och sitt smältvärme då vattenånga övergår till is. Frost som bildas leder dock till följande:

- Luftströmmen genom kylbatteriet hindras
- Värmeomgångstalet i kylbatteriet minskar

Bägge dessa faktorer leder till försämrade prestanda hos värmepumpen vid ökande påfrostning. Värmeomgångstalet påverkas dock förvånansvärt litet då det bildas frost på kylbatteriet. Visserligen har frostsiktet en isolerande inverkan, men detta kompenseras i viss mån av att frostsiktet ökar turbulensen och därigenom värmeövergångstalet. Fig 3.1 hämtad ur en artikel av Åke Mälhammar ur XXII Nordiska kylmötet, 1985, visar hur stor del av det totala temperaturfallet i kylbatteriet som kan hänföras till frostsiktet.

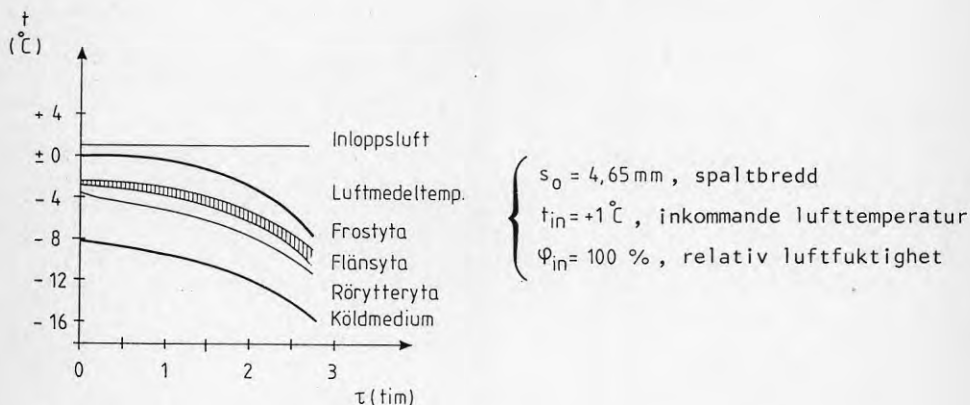


Fig 3.1. Temperaturfallet genom ett påfrostat flänsat förångarbatteri.

Det är framför allt minskningen av luftflödet genom batteriet, som ger upphov till den gradvis minskade prestandan hos värmepumpsaggregatet då påfrostning sker. Det ökade tryckfallet genom det påfrostade kylbatteriet beror dels på att den fria luftspalten minskar, dels på att ytorna förgrovas. De grova ytorna har den största inverkan på tryckfallet. Dock kan en lokalt kraftig påfrysning i någon del av batteriet leda till att luftspalten där blir så liten att luftflödet påverkas kraftigt.

Eftersom prestandan försämras vid ökande påfrostning måste frosten avlägsnas efter en viss tid för att erhålla en ekonomiskt gynnsam drift av värmepumpen.

Den besparing som erhålls från en värmepump beror på den erhållna effektiva kyleffekten. Effektiv kyleffekt utgörs av skillnaden mellan effektbehovet hos kompressor, fläkt och kringutrustning och den avgivna värmeeffekten. Då värmepumpen arbetar under balanspunkten fås den största besparingen då tidsmedelvärdet av effektiv kyleffekt maximeras. Med balanspunkt menas här den utetemperatur för vilken värmepumpen ensam klarar av att täcka hela värmebehovet. Under balanspunkten krävs tillsatsvärme för att klara husets hela värmebehov. Då värmepumpen arbetar över balanspunkten erhålls däremot den största besparingen då husets hela värmebehov tillgodoses med minsta möjliga insats av drivenergi. Med andra ord skall man för detta driftfall sträva efter att maximera tidsmedelvärdet av värmefaktorn, CO_{Ptot} .

För att åskådliggöra resonemanget ovan ges i figur 3.2 principen för hur effektiv kyleffekt varierar för en uteluftsvärmepump under en påfrostningscykel med påföljande avfrostning. I figuren ges både kyleffektens momentana värde samt tidsmedelvärdet av kyleffekten. Medelvärdesbildningen startas då en avfrostning initieras.

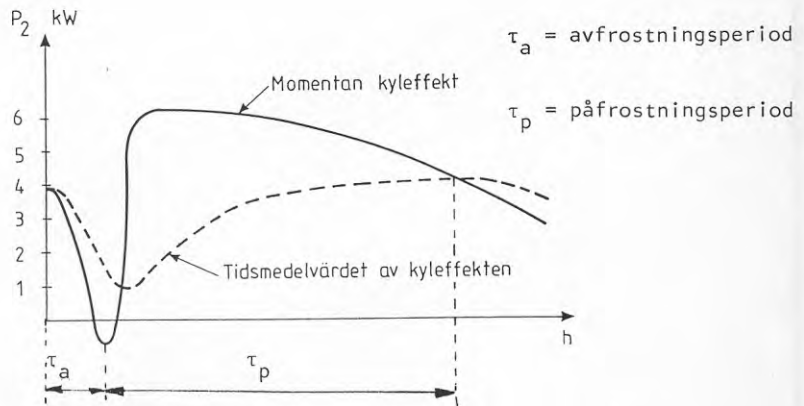


Fig 3.2. Kyleffektens variation under på- och avfrostning.

Efter att avfrostningen genomförts kommer tidsmedelvärdet av kyleffekten att stiga ända tills den momentana kyleffekten understiger det aktuella tidsmedelvärdet, dvs vid den punkt då den heldragna linjen skär den streckade linjen i figur 3.2. Fortsatt drift efter denna punkt kommer att leda till en sänkning av tidsmedelvärdet av effektiva kyleffekten. Detta leder i sin tur till en minskning av den erhållna besparingen.

Ett liknande resonemang kan föras då värmepumpen arbetar ovanför balanspunkten. Vid detta driftsfall erhålls den största besparingen då tidsmedelvärdet av värmefaktorn (COP_{tot}) maximeras. Detta representeras av drift fram till skärningspunkten mellan den streckade och heldragna linjen i fig 3.3.

Grundförutsättningen vid värmepumpsdrift ovanför balanspunkten måste dock vara den att tillsatsvärme undviks.

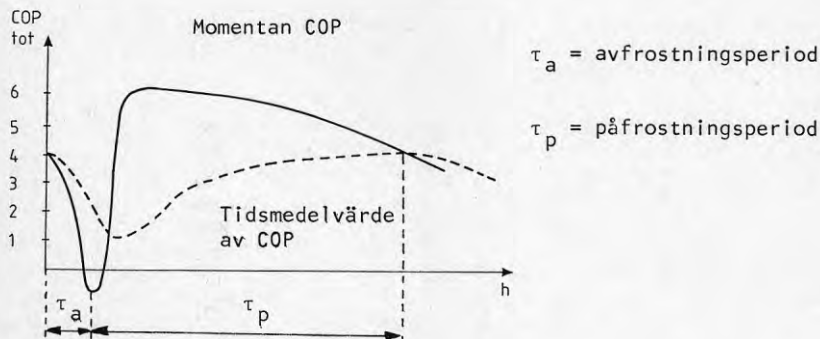


Fig 3.3. Värmefaktorns variation under på- och avfrostning.

4 HUR SKALL MAN AVFROSTA

Avfrostningen sker vanligtvis genom att värme tillförs kylbatteriet så att frosten smälter och rinner av. I idealfallet tillförs endast den värmemängd som åtgår för att smälta den påfrusna mängden frost. I praktiken tillkommer förluster främst i form av

- stilleståndsförluster
- konvektions- och strålningsförluster
- avdunstningsförluster
- uppvärmningsförluster

Stilleståndsförlusterna utgörs av den uteblivna besparingen från anläggningen då denna ej är i drift. Dessa förluster kan endast medräknas då värmepumpen arbetar under balanspunkten. I detta driftfall måste den uteblivna värmeproduktionen från värmepumpen täckas med tillsatsvärme. Eftersom värmepumpsanläggningar i dag normalt dimensioneras så att avfrostningsbehov föreligger ända upp till balanspunkten, är det viktigt att avfrostningen går så fort som möjligt.

Konvektions- och strålningsförluster erhålls från kylbatteriet samt övriga delar i systemet som uppvärms under avfrostningen. På samma vis erhålls avdunstningsförluster från vattnet då det rinner av batteriet.

Uppvärmningsförluster kan egentligen hänföras till stilleståndsförlusterna. Eftersom kylbatteriet efter avfrostningen är uppvärmt kan det inte uppta någon värme ur uteluften. Kompressorns kyleffekt utnyttjas då endast till att återta den värme som tillförts kylbatteriet och eventuell köldbärare. Vid vätskekopplade kylbatterier, med stora köldbärarmängder, kan dessa uppvärmningsförluster bli betydande.

Det finns en mängd olika metoder för avfrostning av kylbatterier på uteluftsvärmepumpar. På de följande sidorna ges en kort beskrivning på några av dem. Figurerna är hämtade ur "Värmepumpar med luft som värmekälla - avfrostningsmetoder", av Mats Fehrm. Denna rapport är utgiven av Byggforskningsrådet, R39:1986, och ger en grundligare redovisning av olika avfrostningsmetoder.

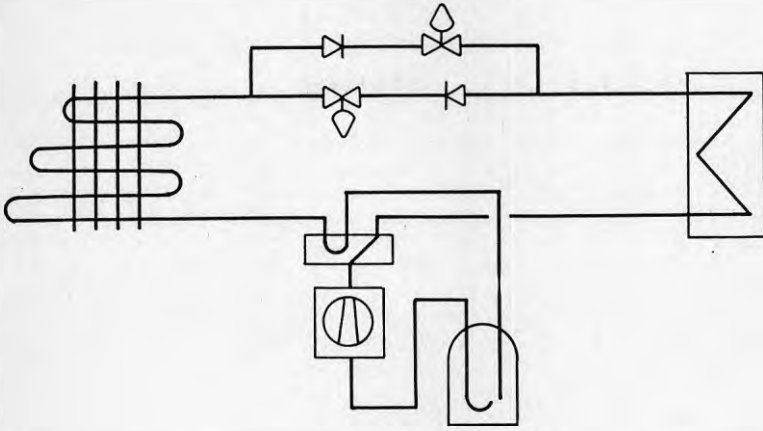


Fig 4.1. Hetgasavfrostning genom reversering vid normaldriftläge.

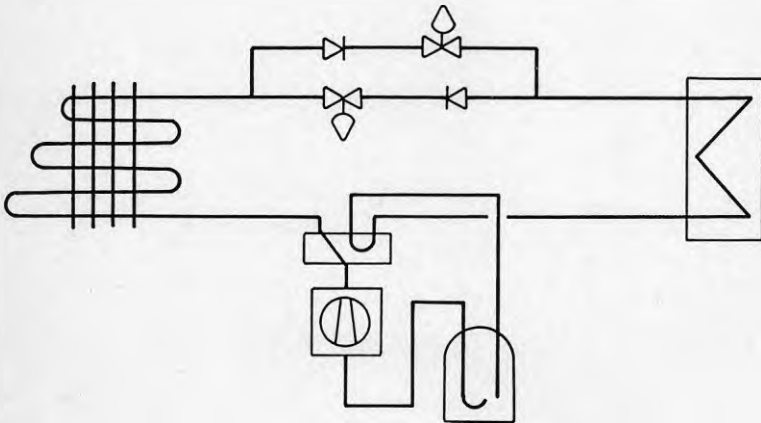


Fig 4.2. Hetgasavfrostning genom reversering under avfrostning.

Hetgasavfrostning genom reversering av värmepumpprocessen visas i fig 4.1 och fig 4.2. Denna metod är troligtvis den vanligaste. I figurerna utnyttjas en fyrvägsventil för reverseringen, men det är även möjligt att reversera processen genom att utnyttja fyra magnetventiler. Fördelen med hetgasavfrostning är att den är snabb och relativt billig på grund av att få extra komponenter behövs. Nackdelen med metoden är att kompressorn kan utsättas för svåra arbetsförhållanden vid avfrostningen. Risk föreligger att fullgod smörjning av kompressorn ej kan erhållas. En annan nackdel är att om fyrvägsventil används kan den ge upphov till förluster på grund av värmeledning och köldmedieläckage mellan hög- och lågtryckssida.

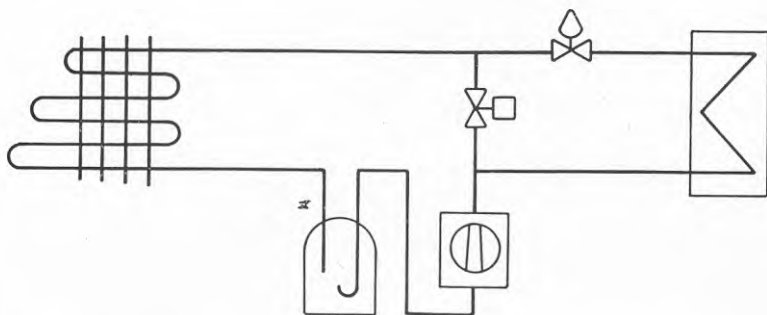


Fig 4.3. Hetgasavfrostning genom by-passing.

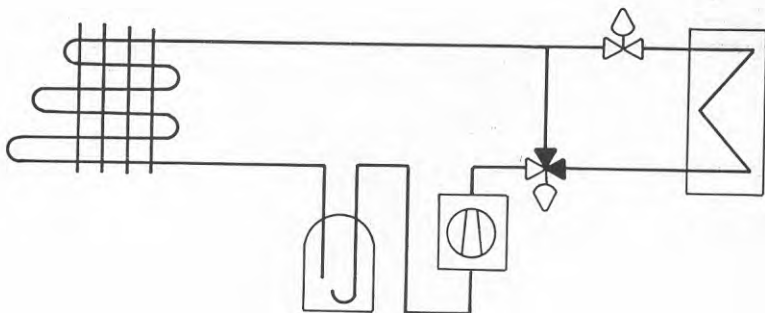


Fig 4.4. Hetgasavfrostning genom by-passing.

Hetgasavfrostning genom bypassing av kondensorn är i likhet med reversering en relativt vanlig metod för att avfrosta kylbatterier. Denna metod är relativt enkel i utförandet, men eftersom värme för avfrostning endast hämtas från kompressorn är den långsammare än exempelvis reverseringsmetoden. För att förhindra att vätska når kompressorn krävs en väl fungerande vätskeavskiljare. Genom att installera någon typ av värmekälla i vätskeavskiljaren är det möjligt att öka massflödet i kretsen och därigenom förkorta avfrostningstiden. Ett exempel på ett sådant system är Thermobank.

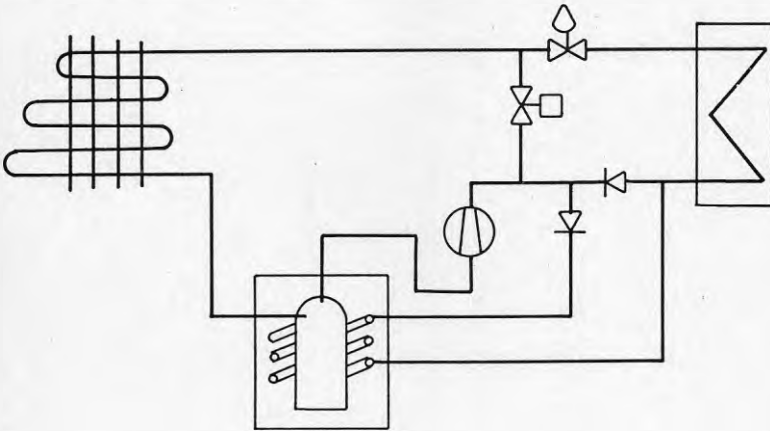


Fig 4.5. Thermobanksystemet.

Thermobanksystemet är ett avfrostningssystem med hetgasavfrostning där kondensorn förbikopplas under avfrostningscykeln. Systemet skiljer sig från det rena bypasssystemet genom att vätskeavskiljaren är inkopplad i ett vattenbad. Vid normal värmepumpdrift värms vattnet i vattenbadet av hetgaserna från kompressorn. Under avfrostningsperioden leds värme från vattnet till kondensatet från kylbatteriet. Därigenom kokar en större mängd freon av och trycket till kompressorns sug sida höjs. Genom att köldmedieflödet höjs, kommer avfrostningstiden att avkortas.

Thermobanksystemet är relativt dyrbart. Den extra värmeväxlaren leder även till ett extra tryckfall, vilket försämrar anläggningens kapacitet. Alternativt kan man i stället utnyttja kondensatet från kondensorn för att värma vattenbadet, vilket skulle leda till ett bättre utnyttjande av anläggningen.

Övriga avfrostningsmetoder som finns beskrivna i Mats Fehrms rapport är:

- avfrostning med dubbla förångare
- kondensatavfrostning
- stoppavfrostning
- vattenavfrostning
- mekanisk skrapning
- elektrisk avfrostning
- köldbäraravfrostning

5 HUR STYRS AVFROSTNINGEN

I enlighet med resonemanget i kapitel 3 skall en optimal avfrostning tillgå så att så stor genomsnittlig kyleffekt som möjligt erhålls från aggregatet, åtminstone under de perioder då systemet kräver tillsatsvärme. För en given avfrostningsmetod gäller det att på ett så bra sätt som möjligt bestämma när avfrostningen skall initieras.

Det finns ett antal konventionella metoder att styra avfrostningen. Några av dem redovisas här. I kapitel 7 ges dessutom ett eget förslag till hur avfrostningen eventuellt skulle kunna styras för att erhålla maximal kyleffekt från aggregatet.

Normalt uppdelas initieringsmetoderna för avfrostning av luftberörda förångare i

- tidsstyrd avfrostning
- behovsstyrd avfrostning

Med tidsstyrd avfrostning menas en metod där en tidparameter styr initiering och stopp av avfrostningen. Den behovsstyrda avfrostningen utnyttjar däremot någon uppmätt storhet som indikerar att kylbatteriet är påfrostat i sådan omfattning att en avfrostning är nödvändig, för att erhålla en ekonomisk drift av anläggningen.

Normalt utnyttjar man en kombination av tidsstyrning och behovsstyrning i de allra flesta avfrostningsmetoder. Den enklaste avfrostningsmetoden utgörs av en ren tidsstyrning. Exempelvis kan ett kopplingsur användas så att avfrostning sker en gång per timma. Antalet "onödiga" avfrostningar kan minskas genom att tillfoga följande villkor till styrsystemet. Avfrostning sker en gång i timmen under förutsättning att utomhustemperaturen understiger +8 °C.

De rent tidsstyrda initieringsmetoderna är tillförlitliga men ger en oekonomisk drift av anläggningen. För att undvika de förluster som en "onödig" avfrostning innebär, utnyttjas i dag nästan uteslutande behovsstyrd initiering av avfrostningen. Beroende av vilken uppmätt storhet som utnyttjas för att indikera avfrostningsbehov kan några olika metoder särskiljas:

- temperatur, jämförande
- tryck - temperatur, jämförande
- tryckfall
- fläktmotor

Den temperaturjämförande metoden bygger på att då ett förångar batteri blir påfrostat minskar den erhållna kyl-effekten. Detta beror framför allt på att luftflödet minskar på grund av det ökade tryckfallet genom batteriet. Den på grund av påfrysningen minskade värmetillförseln till förångaren resulterar i en sjunkande förångningstemperatur.

För en given uteluftsvärmepump är det möjligt att återge sambandet mellan förångningstemperatur och utomhustemperatur för ett batteri som inte är påfrostat.

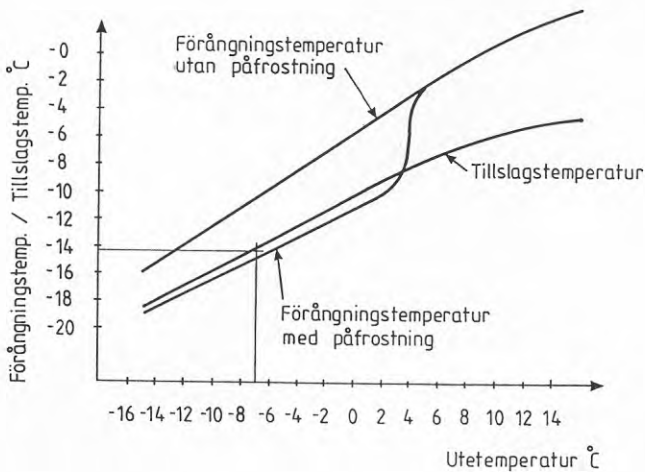


Fig 5.1. Samband mellan förångartemperatur och uteluftstemperatur för påfrostat respektive ej påfrostat batteri.

Av fig 5.1 framgår att differensen mellan uteluftstemperaturen och förångningstemperaturen minskar vid sjunkande utetemperatur. Detta beror på att aggregatets kyleffekt minskar då uteluftstemperaturen minskar.

För en given utetemperatur kan man via fig 5.1 räkna fram vilken förångningstemperatur som skulle erhållas för ett batteri som ej är påfrostat. Om den aktuella förångningstemperaturen understiger den framräknade med t ex 5 °C, utgör detta ett tecken på påfrostning och en avfrostning initieras.

Det är med denna metod inte nödvändigt att jämföra ute-temperaturen med just förångningstemperaturen. Ofta utnyttjar man yttemperaturen på batterislingan, vilken får representera förångningstemperaturen. Det är nödvändigt med praktiska prov för att fastställa den temperaturdifferens som måste uppnås mellan utomhustemperaturen och batteri- eller förångningstemperaturen, innan man initierar en avfrostning.

Tryck - temperaturmetoden fungerar på samma vis som den ovan beskrivna metoden. I stället för att mäta förångningstemperaturen mäter man med denna metod jämviktstrycket i förångaren, vilket svarar direkt mot förångningstemperaturen.

Tryckfallsmetoden grundar sig på det faktum att frosten som bildas på batteriet ger upphov till ett ökat tryckfall på luften som passerar kylbatteriet. Det är framför allt råheten i frostsiktet som leder till det ökade tryckfallet. Då differenstrycket uppnått ett förutbestämt värde initieras en avfrostning. Metoden är känslig bland annat för vindpåverkan, varför man vanligtvis kräver att tryckdifferensen skall överskridas under några minuter innan avfrostningen påbörjas. Vid en av de besökta anläggningarna gjordes en kontinuerlig mätning av differenstrycket över batteriet. Resultatet från denna mätning redovisas i avsnitt 8.5.

Fläktmotormetoden grundar sig på mätningar på förångarfläktens elmotor. Då påfrostning sker kommer strömmarna till motorn att ändras. Förändringen beror på vilken typ av fläkt som utnyttjas i anläggningen. Genom att mäta fläktmotorströmmarna kan man avgöra om en avfrostning är nödvändig. Metoden utnyttjas dock sällan i värmepumpsammanhang i dag.

En annan metod som utnyttjar förändringar hos fläktmotorn vid påfrysning av förångaren har prövats vid ett av de besökta objekten. Vid denna anläggning har man mätt eftersläpningen hos elmotorn. Eftersläpningen förändras då påfrostning sker. Denna metod att styra avfrostningsintervallen visade sig emellertid inte bra, varför man frångick den i det aktuella objektet.

I Mats Fehrms rapport ges en noggrann beskrivning av de metoder för initiering av avfrostning som används i dag.

Det är inte enbart initieringen av avfrostningen som är viktig att styra på ett riktigt sätt. Även avbrytandet av avfrostningen måste styras på ett bra sätt för att erhålla en optimal drift. Att enbart utnyttja ett kopp-lingsur är naturligtvis ett säkert men långt ifrån optimalt sätt på avfrostningstiden. Ett relativt vanligt sätt att fastställa om frosten lämnat batteriet är att mäta yttemperaturen på kylbatteriet. Så länge det finns is eller frost på batteriytan kommer yttemperaturen att hamna någonstans runt ± 0 °C.

Då all frost lämnat batteriet stiger dess temperatur relativt snabbt. Då temperaturen uppgår till +2 till +5 °C på den del av batteriet där man förväntar sig att frosten smälter sist, är det lagom att avbryta avfrostningen. Det bör här påpekas att det är viktigt att temperaturgivaren anbringas på ett riktigt sätt så att den visar rätt temperatur och så att den ej lossnar vid eventuell påfrysning.

I kapitel 7 ges ett förslag till hur man skulle kunna styra initieringen av avfrostning och erhålla ett optimalt avfrostningsintervall. Eftersom inga praktiska prov ännu gjorts med denna nya avfrostningsmetod är det svårt att bedöma värdet av densamma.

6 BESPARINGSPOTENTIAL

I tidigare kapitel finns redovisat olika avfrostningsmetoder samt olika metoder att styra avfrostningen. Metoderna skiljer sig åt med avseende på komplexitet, energieffektivitet, pris och driftsäkerhet. Innan man bestämmer hur avfrostningen skall utformas för ett givet värmesystem, bör man beakta hur mycket extra energi som kan sparas om ett sofistikerat (= dyrt) avfrostningssystem väljs i stället för ett enkelt.

Lars-Olof Glas presenterar i "Drifterfarenheter från uteluftsvärmepumpar" mätresultat från ett års mätningar på två uteluftsvärmepumpar. I den ena av de två anläggningarna erhöles 2 000 avfrostningar à 2 minuter. I den andra anläggningen erhöles 1 360 avfrostningar à 5 minuter.

Den i 8.5 redovisade anläggningen i Vänersborg erhöles ungefär 6 000 avfrostningar à 2 minuter under ett år.

Men hänsyn till mätvärden från Vänersborg samt övriga mätningar som redovisas senare kan en grov uppskattning göras. Den sammanlagda avfrostningstiden för en uteluftsvärmepump under ett år uppgår till ca 150 h. Utöver den faktiska avfrostningstiden tillkommer en period efter varje avfrostning då värmepumpen återvinner det värme som tillförts förångaren och som ej förbrukats för smältning av frosten. Beroende på avfrostningssystemets utformning uppgår denna period till 50-100 % av den faktiska avfrostningsperiodens längd.

Totalt kommer värmepumpen att behöva ersättas med tillsatsvärme under ca 250 h/år, under förutsättning att balanspunkten för anläggningen ligger över den temperatur för vilken påfrostning normalt sker.

Värmepumpen kräver även värme som utnyttjas för att smälta den frost som bildas. Denna värme tas direkt från värmesystemet, eller tillförs via elpatroner eller kompressorn. Storleken på värmetsom åtgår för att smälta frosten kan uppskattas med följande antaganden:

- Frosttjockleken uppgår till 0,5-1 mm
- Frostens densitet är ca 300 kg/m³
- Specifik smältvärme för frost 0,093 kWh/kg
- Specifik värmepumpseffekt 0,2 kW/m² luftberörd area
- Antal avfrostningar ca 1 500/år

Med dessa antaganden fås överslagsmässigt att avfrostningen årligen kräver ca 20-40 kWh/m² batteriyta. Om detta värde räknas om till årligt energibehov fås 90-180 kWh per kW installerad värmeeffekt.

Tillsatsvärme på grund av att värmepumpen inte levererar värme under avfrostningsperioden uppgår under ett år till ca 140 kWh/kW värmeeffekt, år (COP = ca 2,2). Utgående från de ovan angivna uppskattningarna är det möjligt att uppskatta vad avfrostningen kostar under ett år, dels för en relativt väl fungerande anläggning, dels för en dålig anläggning.

Nedan anges kostnaden för några olika anläggningar. Med hänsyn till de erfarenheter som erhållits vid besök och mätningar på ett antal uteluftsvärmepumpar, anses ett dåligt avfrostningssystem ge 50-100 % längre avfrostningstid än ett väl fungerande sådant.

Typ av anläggning (avgiven värmeeffekt vid 0 °C utetemp)	<u>Årlik avfrostningskostnad</u> <u>Normal anläggning</u>		<u>Årlik avfrostningskostnad</u> <u>Dålig anläggning</u>	
	Tillsats- energipris	Tillsats- energipris	Tillsats- energipris	Tillsats- energipris
	0,20 kr/kWh	0,40 kr/kWh	0,20 kr/kWh	0,40 kr/kWh
<hr/>				
Enfamiljshus				
5 kW	275:-	550:-	380:-	760:-
12 kW	660:-	1 320:-	912:-	1 824:-
Flerfamiljshus				
30 kW	1 650:-	3 300:-	2 280:-	4 560:-
200 kW	11 000:-	22 000:-	15 200:-	30 400:-
Gruppcentral				
500 kW	27 500:-	55 000:-	38 000:-	76 000:-
1500 kW	82 500:-	165 000:-	114 000:-	228 000:-

De siffervärden som angetts i tabellen måste med hänsyn till de grova förenklingarna som gjorts, endast ses som en uppskattning. Utgående från tabellen är det dock möjligt att bestämma ambitionsnivån på det avfrostningssystem som skall användas i en given uteluftsvärmepump.

För en liten anläggning med en nominellt avgiven värmeeffekt på 5 kW finns det inte några större möjligheter att spara pengar genom att bygga ett dyrbart och sofistikerat avfrostningssystem. Besparingspotentialen för en uteluftsvärmepump med en nominellt avgiven värmeeffekt på t ex 1500 kW är däremot stor. Utgående från de uppskattade kostnaderna i tabellen, med ett tillsatsenergipris på 0,4 kr/kWh, skulle det vara möjligt att årligen spara ca 60 000 kr genom att förbättra ett ganska normalt avfrostningssystem till ett effektivt avfrostningssystem.

7 FÖRSLAG TILL EN NY AVFROSTNINGS-AUTOMATIK

De mätningar som utförts på ett antal olika uteluftsvärmepumpar visar att trots att nästan alla tillverkare hävdar att just deras behovsstyrda avfrostningsautomatik fungerar bra, erhålls nästan alltid en mindre god styrning av avfrostningen. Även de erfarenheter som Statens provningsanstalt har på villavärmepumpsidan pekar på att den så kallade behovsstyrda kontrollen i praktiken kommer att fungera som ett kopplingsur. För villavärmepumpar visade tabellen i kapitel 6 att besparingsmöjligheten är allt för liten för att motivera en avancerad avfrostningskontroll. För villavärmepumpen blir huvudkravet en säker funktion, eftersom skötsel och underhållskrav måste hållas så lågt som möjligt i dessa anläggningar.

På de medelstora och stora anläggningarna kan man däremot ställa högre krav på funktionen hos avfrostningsautomatiken. Dels finns det pengar att hämta genom en bra styrning, dels finns det ansvarig driftpersonal som kan kontrollera och justera avfrostningsautomatiken. Tyvärr är det nästan alltid så att avfrostningsautomatiken är förinställd från fabriken. Denna förinställning görs ganska grovt, så att man åtminstone försäkras sig om att avfrostning sker.

För att få en kontrollautomatik som är anpassad till en speciell installation krävs en hel del justerings- och intrimningsarbete. Eftersom arbetet med intrimning tar lång tid har säljaren av anläggningen oftast inte råd att fullfölja detta arbete.

Eftersom de mätningar som gjordes visade ett ganska nedslående resultat, väcktes tankar på att utforma en avfrostningsautomatik som skulle fungera bättre. Den vanligaste behovsstyrda automatiken som används i dag arbetar enligt den temperaturjämförande metoden (se kapitel 5). I praktiken innebär denna metod att man måste känna till hur förångningstemperaturen varierar med i första hand utomhustemperaturen. Genom att mäta utomhustemperaturen och förångningstemperaturen är det möjligt att fastställa om påfrostning skett. Då förångaren frostar på, försvåras värmeupptagning ur luften, vilket leder till en sänkt förångningstemperatur. För att erhålla största möjliga besparing måste man känna till hur mycket förångningstemperaturen får avvika från det nominella värdet innan avfrostning skall initieras. Detta kan endast fastställas genom praktiska prov.

Förångningstemperaturen varierar inte enbart med avseende på utomhustemperaturen. Även temperaturnivån på den varma sidan samt luftfuktigheten kommer att påverka förångningstemperaturen. Beroende på installationsförhållandena kan luftflödet genom kylbatteriet komma att variera mellan olika installationer. Detta, förutom många andra faktorer, gör att varje värmepumpsinstallation bör betraktas som unik. Därav följer att en slutgiltig intrimning av regulatorparametrar måste göras på den färdiga installationen.

Med tanke på de resonemang som fördes i kapitel 3 var det naturligt att söka utforma avfrostningsautomatik som mäter och optimerar besparingen från värmepumpen. Optimal drift av värmepumpsanläggningen med avseende på avfrostningsintervall erhålls enligt nedan.

Drift under systemets balanspunkt

Vid drift under balanspunkten räcker inte värmeproduktionen från värmepumpen till. För att minska åtgången av tillsatsvärme önskar man därför att värmepumpen är i drift så mycket som möjligt. Den största besparingen erhålls genom att maximera tidsmedelvärdet av den erhållna kyleffekten. Då värmepumpens kylbatteri blir påfruset, sjunker både kyleffekt och värmefaktor. Trots detta är det alltså lönsamt att fortsätta driften ända fram till det läget att en fortsatt drift skulle leda till en minskning av den totalt erhållna kyleffekten. Man kan också uttrycka det så att värmepumpen skall vara i drift tills det blir lönsamt att investera i en avfrostning.

För att kunna fatta detta investeringsbeslut är det nödvändigt att känna till dels hur stort tidsmedelvärdet av kyleffekten är sedan starten av senaste avfrostningen, dels storleken på den momentana kyleffekten. Om den momentana kyleffekten börjar understiga sitt tidsmedelvärde, kommer en fortsatt drift av anläggningen att leda till en totalt sett lägre besparing. Detta förutsätter naturligtvis att de yttre driftsbetingelserna inte ändrat sig i allt för hög grad samt att kommande avfrostning kommer att kosta ungefär lika mycket som den senaste.

Detta driftläge representeras av den tidpunkt då de två kurvorna i figur 7.1 möts.

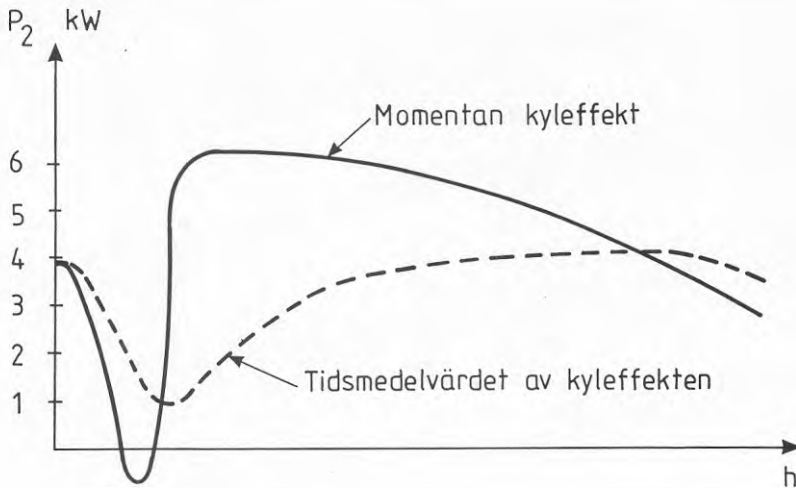


Fig 7.1. Momentan respektive medelvärdesbildad kyleffekt för en värmepumpsanläggning.

Drift över systemets balanspunkt

Då en värmepump arbetat över systemets balanspunkt måste en annan driftstrategi än den som redovisats ovan väljas för att erhålla maximal besparing. I detta driftläge vill man täcka värmesänkans hela energibehov med en så liten insats av drivenergi som möjligt. Man önskar med andra ord maximera systemets värmefaktor.

Med ett likvärdigt resonemang som fördes tidigare, kommer optimal avfrostning att ske vid den tidpunkt då kurvan för tidsmedelvärdet för COP skär kurvan för det momentana värdet på COP. Detta visas även i figur 7.2.

För att praktiskt kunna införa denna relativt avancerade form av den behovsstyrda avfrostningsautomatiken är det nödvändigt att mäta kyleffekten, mäta COP, integrera dessa bägge storheter samt kunna jämföra integrerat värde med momentanvärden.

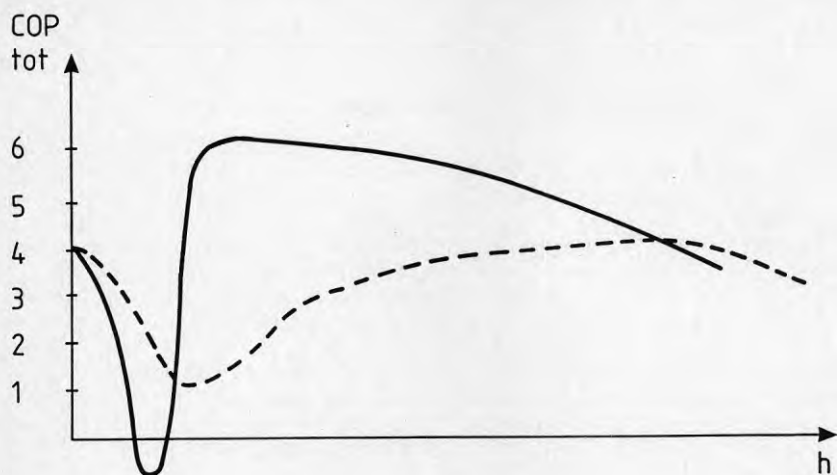


Fig 7.2. Momentan respektive medelvärdesbildad värmefaktor för en värmepumpsanläggning.

Kyleffekten utgör skillnaden mellan erhållen värmeeffekt samt upptagen driveffekt. Värmefaktorn utgör kvoten mellan dem. I en större anläggning bör man under alla omständigheter ändå kräva att dessa bägge storheter mäts och registreras. Det skulle därför vara möjligt att införa denna nya initieringsstrategi i större anläggningar utan att allt för stora merinvesteringar för mätutrustning behöver göras.

Beräkning av momentan kyleffekt samt integrerad kyleffekt och jämförelsen mellan de två görs enklast med hjälp av en mät dator.

Med tanke på den extrautrustning som behövs kan den ovan angivna metoden i första hand tänkas ekonomiskt försvarbar i stora värmepumpsanläggningar. Med vissa förenklingar skulle man dock kunna tänka sig att metoden även skulle kunna appliceras på medelstora värmepumpsanläggningar.

8 MÄTRESULTAT

8.1 Inledning

I detta kapitel redovisas de mätresultat som erhållits vid intensivmätningar på 7 st uteluftsvärmepumpar. Anläggningarna skiljer sig åt i storlek, från den minsta värmepumpen som har en värmeeffekt på 10 kW till den största med en uppgiven nominell värmeeffekt på 3000 kW vid +10 °C utetemperatur. I tabell 8.1 visas de tekniska specifikationerna på de aktuella anläggningarna.

De mätningar som gjorts har till största delen varit temperaturmätningar, för fastställande av när, varför och hur avfrostningen genomförts. Till största delen har mätningarna begränsats till värmebärarens fram- och returtemperatur och uteluftstemperaturen före och efter batteriet samt dessutom några yttemperaturer på batteriet och köldmedierören. Mätningarna har normalt pågått under ca 1 dygn och mätvärdena har samlats in och lagrats med 1-3 minuters intervall. Temperaturmätningen har skett med både termoelement och Pt-100 givare.

De mätningar som gjorts har visat att initieringen av avfrostning styrs på ett otillfredsställande sätt. Endast i en av de kontrollerade anläggningarna erhöles en så kraftig påfrysning av kylbatteriet att luftflödet genom detsamma påverkades. Tiden för avfrostning var onödigt lång i några av anläggningarna. Detta innebär en reducering av den möjliga besparingen, eftersom tillsatsvärmen måste ersätta den uteblivna värmen från värmepumpen då denna ej är i drift.

Sex av värmepumparna avfrostar med hetgas och en med kondensat. Samtliga avfrostningsmetoder gav fullgod avfrostning. Genom mätningar framkom att 6 av 7 värmepumpar initierade avfrostningen för tidigt, trots att de var utrustade med behovsstyrd avfrostningsautomatik. Anledningen till problemen med styrningen är ej helt klarlagd. Troligtvis beror det på dålig injustering av reglerparametrarna, felaktig placering av givare, eller alltför stora säkerhetsmarginaler vid injusteringen från fabrik. På de större anläggningarna skulle besparingen kunna ökas avsevärt genom en intrimning av avfrostningsautomatiken.

På de följande sidorna redovisas mätresultaten för varje anläggning separat.

TABELL 8.1

Objekt	Nominell värmeeffekt kW	Köldmedium/dir exp	Nominellt luftflöde m ³ /h	Flänsdelning mm	Batteriyta utv m ²	Avfrostningsmetod	Balanspunkt °C
Fagersjö	1675	R12/våtförångn	580000	4	10000	Hetgas	+4
Komariken	3000	R12/våtförångn			6300	Kondensat	+8
Varberg	1100	R12/våtförångn	510000	5	3500	Hetgas	+2
Vänernborg	104	R22/Dir exp	16000x2			Hetgas	
Herrljunga	10	R502/Dir exp	3400	3	26	Hetgas	+13
Annelund	60			2,5	10800	Hetgas	
Värsås	34	R500/Dir exp	40000	2	178x2 = 356	Hetgas	

8.2 Fagersjö

I Fagersjö har ett stort arbete nedlagts för intrimning av den behovsstyrda avfrostningsautomatiken. Denna arbetar enligt temperaturmetoden (se kap 3) och utnyttjar hetgas för avfrostning av förångarna. Anläggningen togs i drift i januari 1984 och dess principiella utseende framgår av figur 8.2.1.

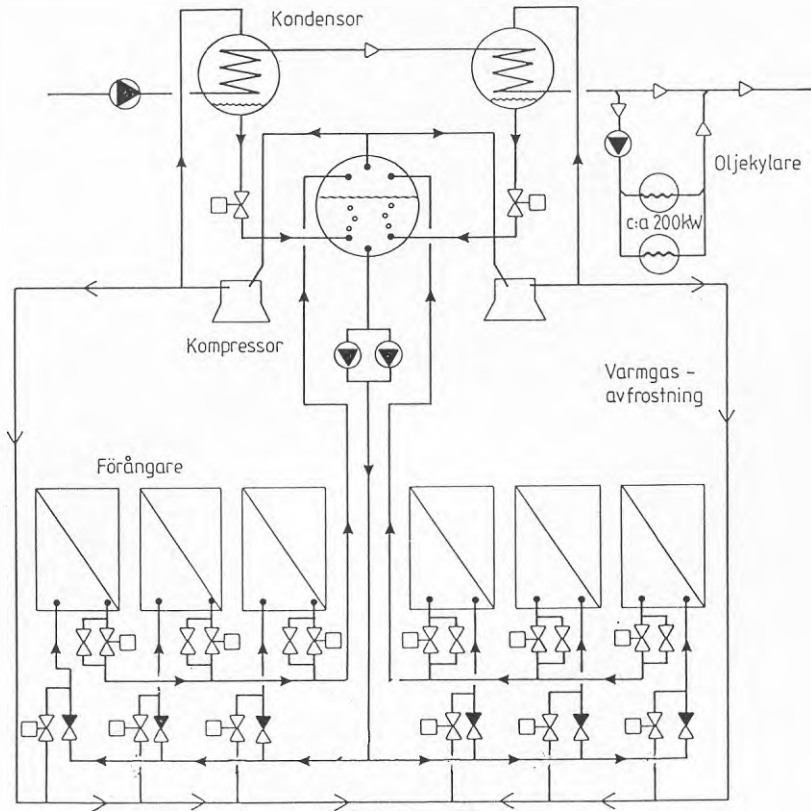


Fig 8.2.1. Principskiss, Fagersjöanläggningen.

Avfrostningsautomatiken utnyttjar temperaturgivare placerade direkt i luftströmmen in till batteriet samt på köldmedieslingan i förångarbatteriet. Temperaturgivarna, som är av Ni 1000 typ, är anslutna till en elektronisk avfrostningskontroll fabrikerad av Lidström.

Genom inställning av ett antal trimpotentiometrar är det med Lidströmautomatiken möjligt att anpassa reglerkurvan till en godtycklig uteluftsvärmepump. Erfarenheterna från Lidström-reläet har enbart varit goda i Fagersjö.



Fig 8.2.2. Fagersjöanläggningen.



Fig 8.2.3. Fagersjöanläggningen, visande intagsgallren för uteluften.

Mätningar har gjorts vid två tillfällen, vid olika årstider. Det visade sig att påfrysningen tilläts bli kraftig innan avfrostningen initierades. Fagersjöanläggningen bedöms vara den bästa av de besökta anläggningarna i avfrostningshänseende.

Ett problem uppmärksammades dock vid besök av anläggningen. Färgen på köldmedierören till förångarna krackelerade då de utsattes för häftiga temperaturväxlingar i samband med avfrostning. Då färgskiktet förstörts uppstod risk för korrosionsskador. Genom att måla om köldmedierören med en elastisk färg har dessa problem lösts.

Resultatet från de mätningar som genomförts redovisas i fig 8.2.4-8.2.7.

I motsats till mätresultaten från de övriga anläggningarna uppmättes en minskning av den avgivna värmeeffekten från Fagersjöanläggningen före varje avfrostning. Denna reducering av värmeeffekten kan endast förklaras med att påfrostning sker. Detta fenomen illustreras i figur 8.2.5 och 8.2.7 av att temperaturhöjningen på värmebäraren minskar för att efter en avfrostning återigen återgå till sitt ursprungsvärde.

Under avfrostningsperioden avfrostas alla sex förångarbatterierna i en följd, ett i taget. Värmeproduktionen från de fem batterierna som är i drift åtgår till stora delar för att producera hetgas för avfrostning av det sjätte batteriet. Avfrostningsperioderna utmärks i figur 8.2.4 och 8.2.6 av dalgångarna i värmebärartemperaturen, samt bergstopparna på lufttemperaturen efter kylbatteriet.

Att en verklig påfrostning sker kan också utläsas ur fig 8.2.4 och 8.2.6 där lufttemperaturen efter kylbatteriet sjunker kraftigt före avfrostningarna. Eftersom det av från mätningarna på värmebäraren framgår att värmeeffekten sjunker, ter det sig omöjligt att kyleffekten skulle kunna öka. Förklaringen till att den uppmätta temperaturdifferensen på luftsidan ökar, är att luftflödet genom kylbatteriet minskar. Luftflödesminskningen beror på froststoppbyggnaden i kylbatteriet.

Fagersjöanläggningen är som redan nämnts den enda anläggningen av de besökta där frostpåslaget på förångarbatterierna tillåtit bli så stort att luftflödet genom det påverkats. Enligt de kriterier som ges för optimala avfrostningsintervaller i kap 3 bör avfrostningen inte initieras med mindre än att froststoppbyggnaden i förångaren börjar påverka luftflödet genom den.

Figur 8.2.4-8.2.5 visar mätresultaten från en mätperiod där anläggningen arbetar ovanför balanspunkten (se även sid 14). Endast en av de två skruvkompressorerna utnyttjades under denna period. Temperaturhöjningen på värmebäraren uppgår därför endast till 4 grader. Detta kan jämföras med mätperioden redovisad i figur 8.2.6 och 8.2.7 där bägge kompressorerna är i drift. Temperaturhöjningen är vid detta driftsfall ca 5 grader. Anledningen till att temperaturhöjningen av värmebäraren inte fördubblas då två kompressorer utnyttjas i stället för en, är de sämre driftsförhållandena som råder i fig 8.2.6 och 8.2.7 jämfört med fig 8.2.4 och 8.2.5..

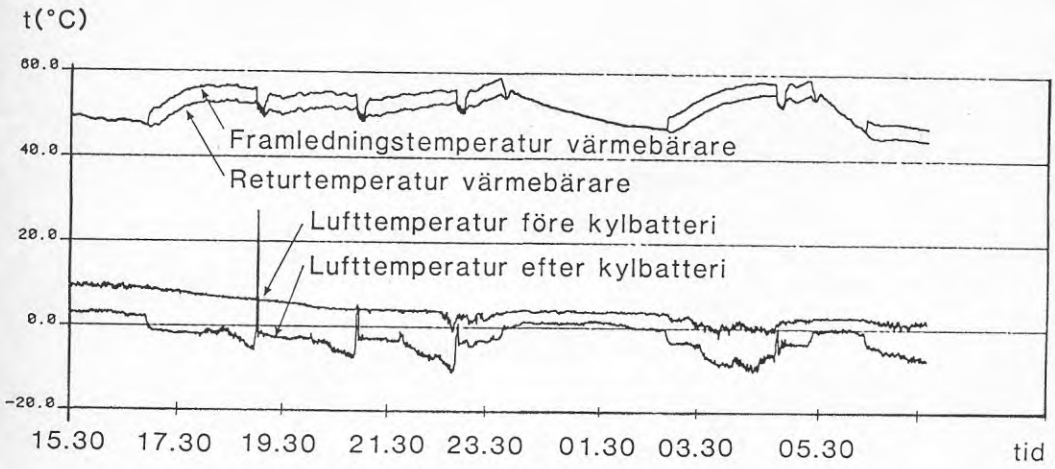


Fig 8.2.4. Mätresultat från Fagersjö 4-5 februari 1986.

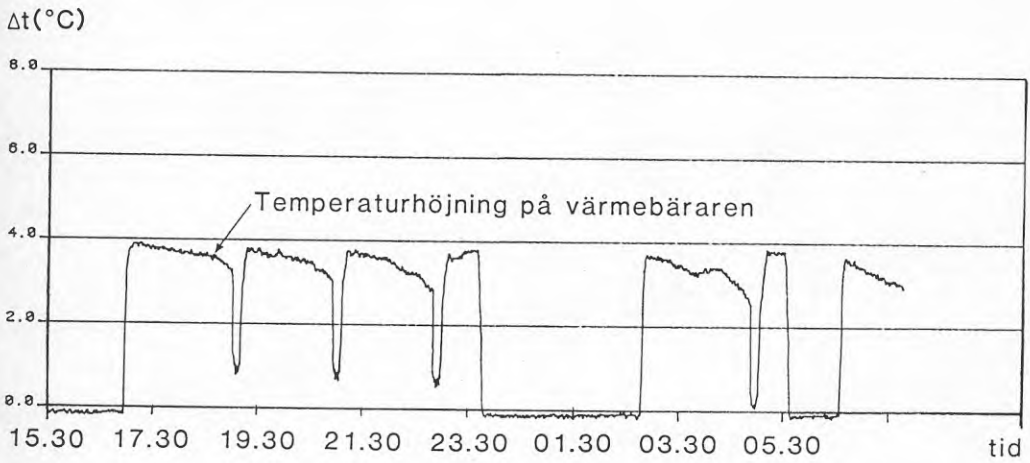


Fig 8.2.5. Mätresultat från Fagersjö 4-5 februari 1986.

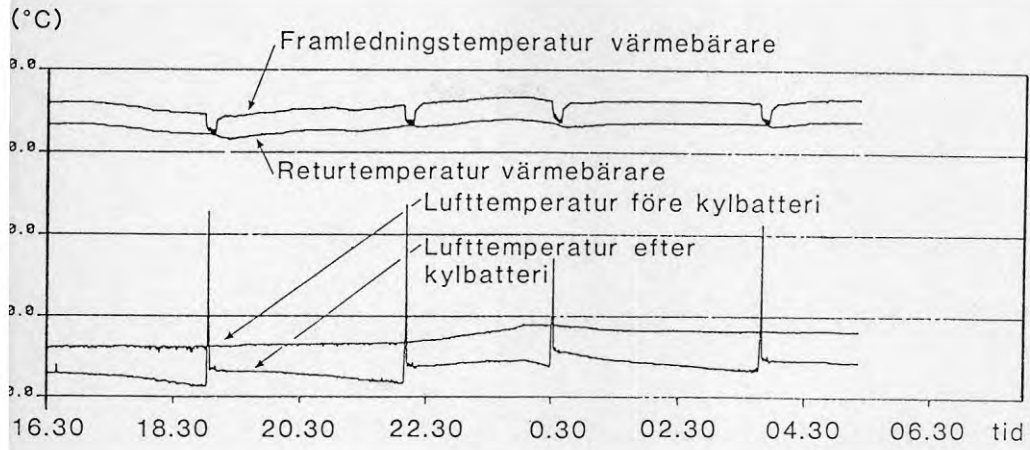


Fig 8.2.6. Mätresultat från Fagersjö 23-24 april 1986.

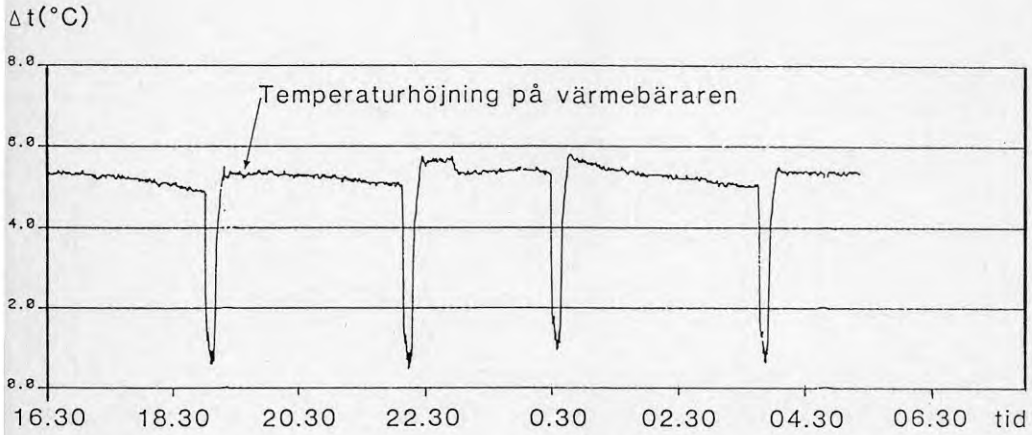


Fig 8.2.7. Mätresultat från Fagersjö 23-24 april 1986.



Fig 8.2.8. Detaljbild på kylbatteri med fördelningsrör.



Fig 8.2.9. Fläkt placerad i taket på varje sugkammare.



Fig 8.2.10. Intagssida på kylbatteriet vid ett relativt frostigt tillstånd.

8.3 Komarcken

Anläggningen i Komarken arbetar på samma vis som Fagersjöanläggningen. Dock skiljer de sig åt genom att Fagersjöanläggningen avfrostar med hjälp av hetgas, medan man i Komarken valt att utnyttja köldmediekondensatet för avfrostning. Anläggningens principiella utseende framgår av figur 8.3.1.

Avfrostning kan styras enligt två olika principer, med hjälp av en styrdator, där i alternativ 1 tiden mellan två avfrostningsstarter bestäms av utetemperaturen. Tiden inställs så att en övre temperaturgräns och motsvarande intervall anges. Intervall anges också för en nedre temperaturgräns. Mellan dessa gränser beräknas avfrostningsintervallet enligt en linjär funktion. Intervalltiden till nästa avfrostning bestäms när avfrostningen startar. Vid alternativ 2 startar avfrostning när differensen mellan förångnings- och utetemperaturen överskrider inställt värde. Denna metod beskrivs närmare i kap 3.

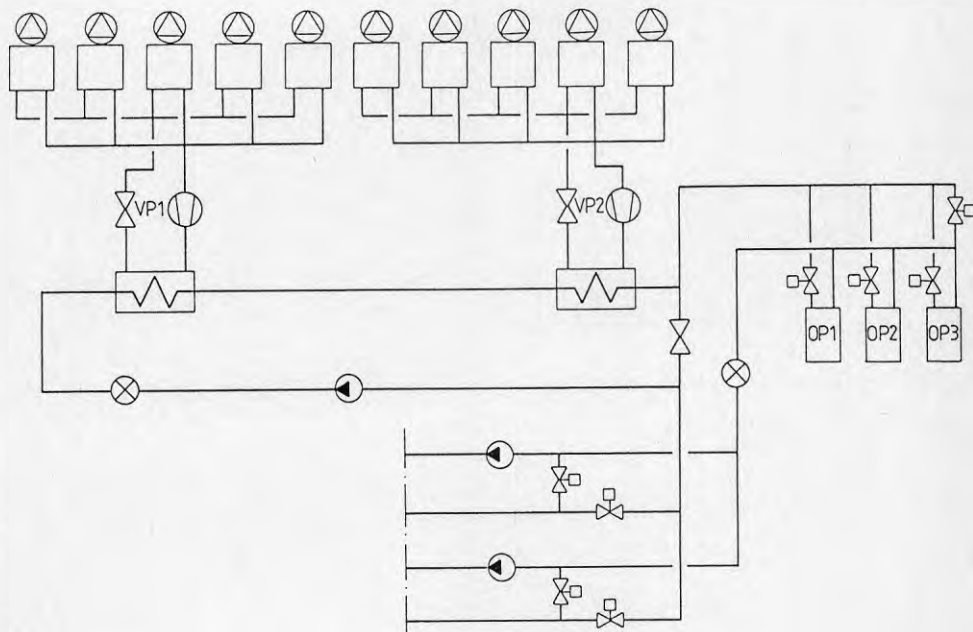


Fig 8.3.1. Principskiss Komarken.

Vid mättillfället utnyttjades alternativ 1 med 75 minuter mellan avfrostningarna och 15 minuters avfrostningstid per batteri (5 st per kompressorenhet). Samma inställningsvärden gällde för både den övre och den undre temperaturgränsen. Denna styrning innebar att ett batteri alltid stod stilla för avfrostning, oavsett om verkligt behov fanns eller ej.

Detta val av avfrostningsstrategi är oekonomiskt, eftersom onödigt långa och onödigt många avfrostningar görs. Förklaringen till detta val av styrning ligger delvis i de problem man har haft med anläggningen. Fördelningen av kondensatet i batteriet under avfrostning var ursprungligen dålig. Detta ledde till att man tvingades öka avfrostningsintensiteten. Efter ombyggnad av kondensattillförseln till batterierna erhöles en bättre fördelning, men man har ännu inte trimmat in tider och intervall för avfrostning så att optimal drift erhålls. Detta arbete har dock påbörjats.



Fig 8.3.2. Komarken.

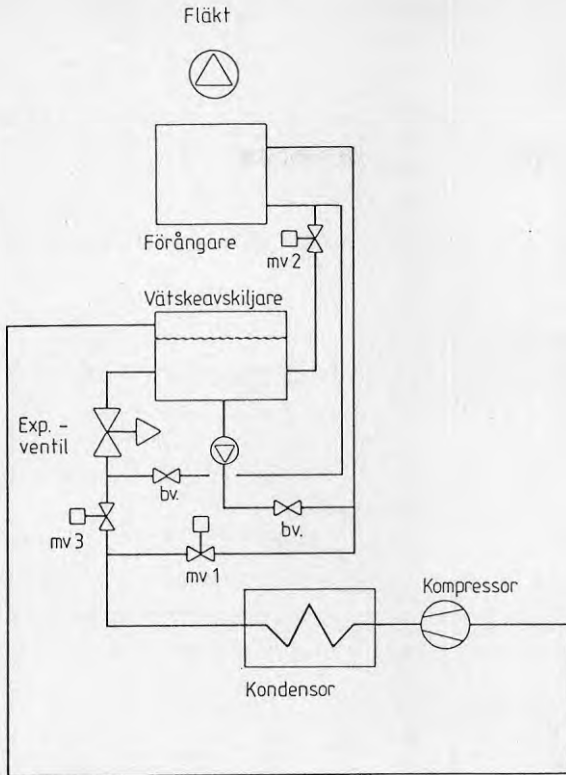


Fig 8.3.3. Kondensatavfrostning, Komarken.

För avfrostning utnyttjas som redan nämnts köldmediekondensatet från kondensorn. Normalt leds detta kondensat direkt från kondensorn via expansionsventilen till vätskeavskiljaren. Vid avfrostning leds kondensatet genom ett av kylbatterierna innan det via expansionsventilen når vätskeavskiljaren.

Funktionen framgår av figur 8.3.3, som visar inkopplingen av ett av förångarbatterierna. Avfrostningen styrs genom att öppna eller stänga motorventil 1-3, enligt nedan.

	Normal drift	Avfrostning
MV 1	Stängd	Öppen
MV 2	Öppen	Stängd
MV 3	Öppen	Stängd

Kondensatavfrostningen är i jämförelse med hetgasavfrostningen en termodynamiskt energisnålare metod. Då kondensatet underkyls vid avfrostningen, ökar kyluttaget från de övriga förångarna, som är anslutna till samma vätskeavskiljare men ej är i avfrostningsläge. I gengäld tar det längre tid att avfrostas med köldmediekondensat än med hetgas. Snabb avfrostning är ju ett av kriterierna för att erhålla hög utnyttjandegrad av anläggningen.

De resultat som erhållits vid mätningar på anläggningen redovisas i figur 8.3.4.

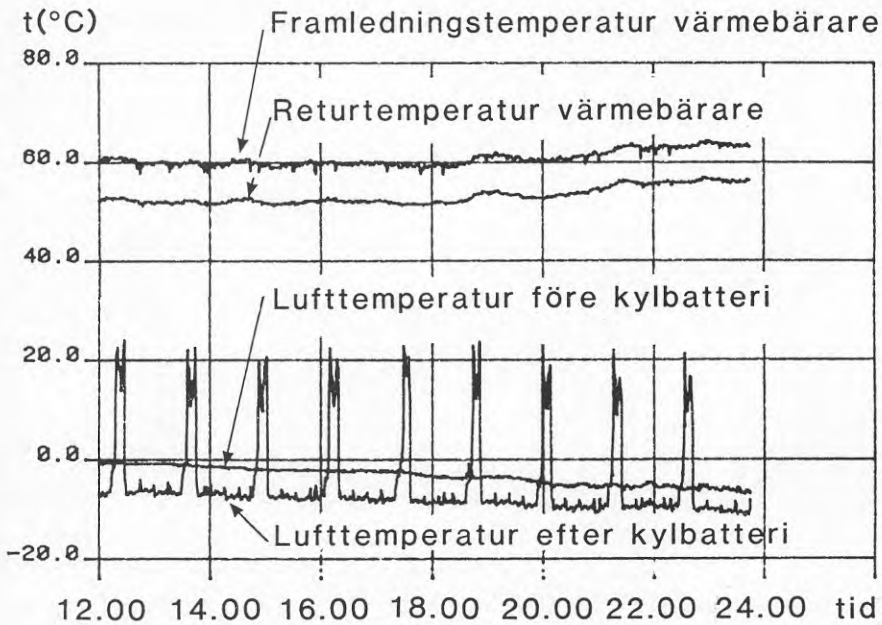


Fig 8.3.4. Mätresultat från anläggningen i Komarken, 15 januari 1986.



Fig 8.3.5. Förångare med motorventiler, Komarken.



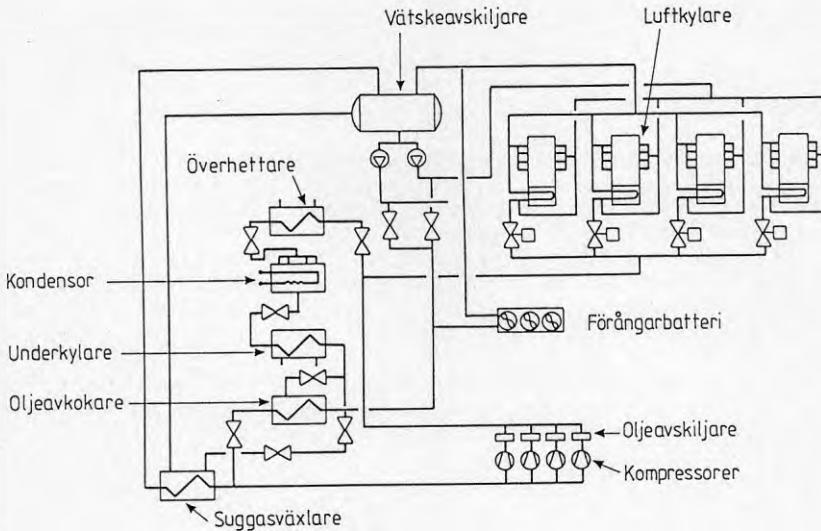
Fig 8.3.6. Detaljbild av förångare med fördelningsrör, Komarken.

8.4 Varberg

Förångarbatterierna i Varbergsanläggningen avfrostat på olika sätt beroende av utetemperaturen. Vid varm väderlek används s k stoppavfrostning, vilket innebär att köldmedietillförseln stoppas till batteriet och fläkten fortsätter att vara i drift. Den varma luften som sugts genom batteriet smälter då av den is som bildats.

Vid kall väderlek används s k varmgasavfrostning, vilket innebär att den komprimerade varma gasen leds genom batteriet och smälter av isen. Vid varmgasavfrostning stoppas fläkten.

Stoppavfrostning sker då utetemperaturen överstiger $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vid utetemperaturer under $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ nyttjas varmgasavfrostningen.



Kylschema på värmepumpenläggningen

Fig 8.4.1. Principskiss Varberg.

Avfrostningen styrs genom att man känner tryckdifferensen över samtliga förångarbatterier. Förångarna avfrostas därefter i sekvens efter ett kopplingsur. Om en förångare avfrostas innan tidssekvensens slut, växlar en termostat avfrostningen till nästa förångare.

Den förångare vars tryckdifferens uppgår till det värde, där avfrostning skall påbörjas, inleder hela avfrostningsskedet för samtliga batterier. Det har dock visat sig att styrningen med tryckdifferensen ej varit fullt pålitlig. Detta har inneburit att avfrostningen oftast styrs genom kopplingsuret, vilket har fått till följd att avfrostningen startat oavsett om det behövts avfrostning eller inte.

Av mätningarna är det svårt att se avfrostningens påverkan på värmepumpsanläggningens kapacitet, eftersom alltid ett av batterierna avfrostas.

De stora svängningarna som uppstått och som framgår av diagrammen, beror främst på att kompressorerna effektregleras. Det framgår dock att en viss effektökning åstadkommes direkt efter en avfrostning, samt att en effektminskning uppstår strax innan avfrostning.

En anledning till att skillnaden mellan avfrostning och icke avfrostning visar på ett så marginellt resultat, kan bero på att värmepumpen går med låg kapacitet, med följd att totala förångarytan blir stor i förhållande till kapaciteten. Detta innebär att då avfrostning förekommer, minskas totala förångarytan med $1/8$, vilket ej påverkar kapaciteten nämnvärt vid driftsfallet (endast två kompressorer i drift, varav den ena ej går maximalt).

Vid full last på samtliga kompressorer får $1/8$ -dels minskning av förångarytan större betydelse. Detta driftsfall har dock ej kunnat undersökas.



Fig 8.4.2. Varberg.

Figur 8.4.1 visar anläggningens principiella uppbyggnad. På grund av att vissa partier i batteriet inte erhöill fullgod avfrostning, byggdes vissa delar av hetgasanslutningen om. I figur 8.4.3 och 8.4.4 visas hetgasanslutningen till förångaren, före respektive efter ombyggnaden. Behovet av ombyggnad i Varberg visar i likhet med erfarenheterna från Komarken att det inte är ovanligt att fördelningen över kylbatteriet blir ojämn.

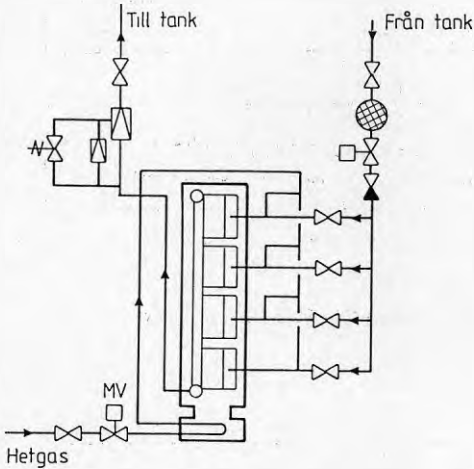


Fig 8.4.3. Avfrostningsprincip före ombyggnad, Varberg.

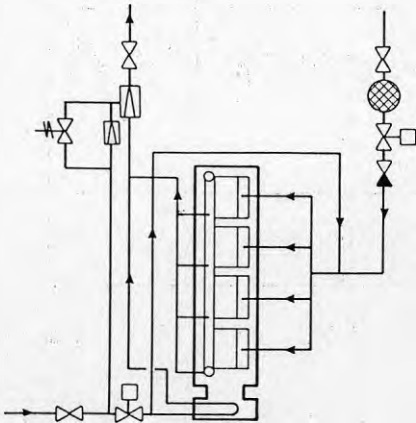


Fig 8.4.4. Avfrostningsprincip efter ombyggnad, Varberg.

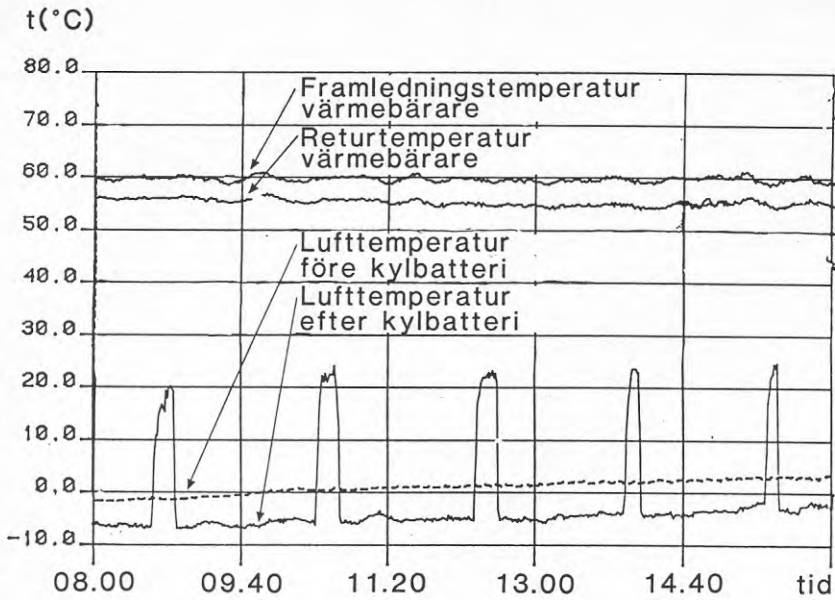


Fig 8.4.5. Mätresultat, Varberg 26 mars 1986.

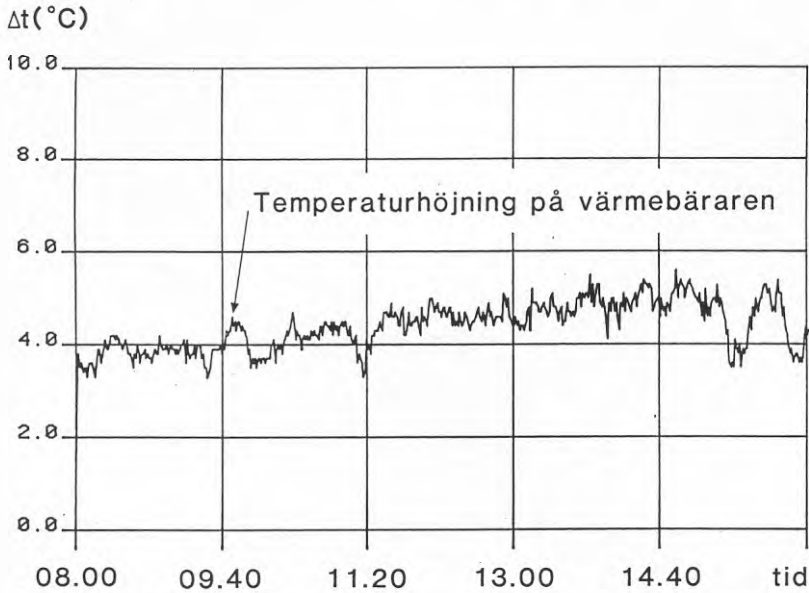


Fig 8.4.6. Mätresultat, Varberg 26 mars 1986.

8.5 Vänersborg

Värmepumpsanläggningen i Vänersborg består av två värmepumpsenheter med vardera två förångarenheter. De fyra olika förångarna har individuell styrning av avfrostningen, vilket också framgår av de mätningar som utförts. Värmepumpens inkoppling i värmesystemet visas i figur 8.5.1.

Avfrostning sker med hetgas under det att fläktarna stoppas. Styrningen av avfrostningen sker enligt temperatur - temperaturmetoden. Styrenhetens två temperaturgivare är placerade i den inkommande luftströmmen samt på köldmedieröret direkt efter expansionsventilen.

Avfrostningstiden per förångare uppgick i allmänhet till ca två minuter. Efter två minuter var all frost avlägsnad, dock byggdes ett isskikt upp i droppskålen. Detta isskikt orsakar troligtvis inga driftproblem. Det är möjligt att man skulle kunna undvika isuppbyggnad i droppskålen om den i stället för att tillverkas i plåt, utformades i plast eller något annat material med sämre värmeledningsförmåga. I figur 8.5.2 visas en bildsvit på hur avfrostningen av ett kylbatteri fortskrider.

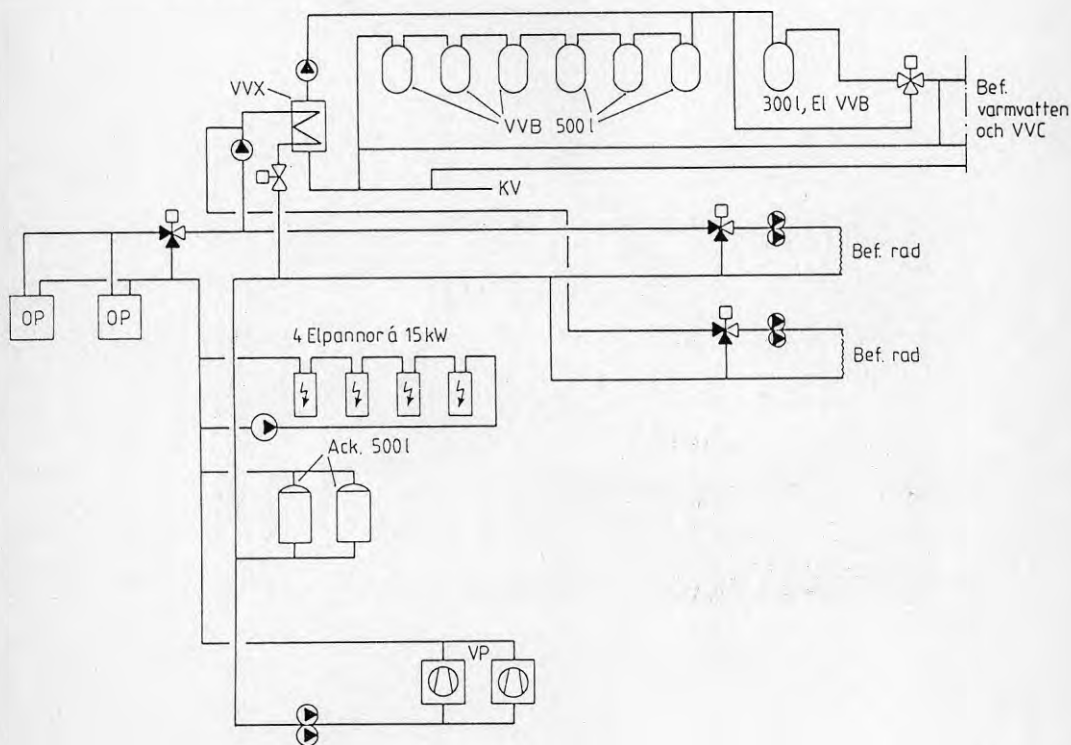


Fig 8.5.1. Principskiss, Vänersborg.

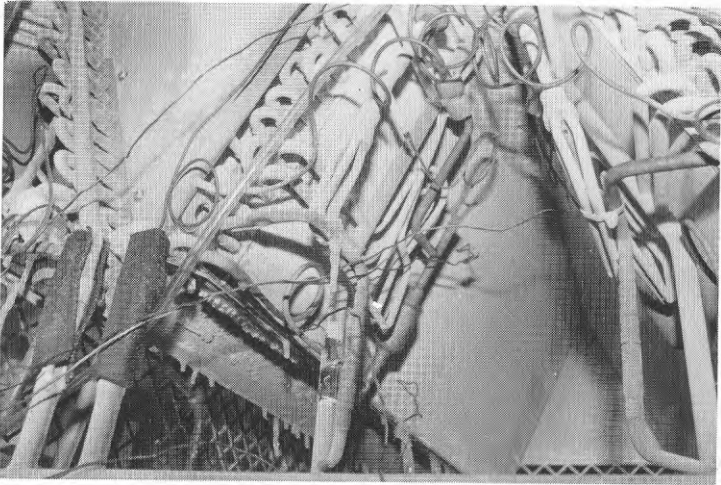


Bild 1

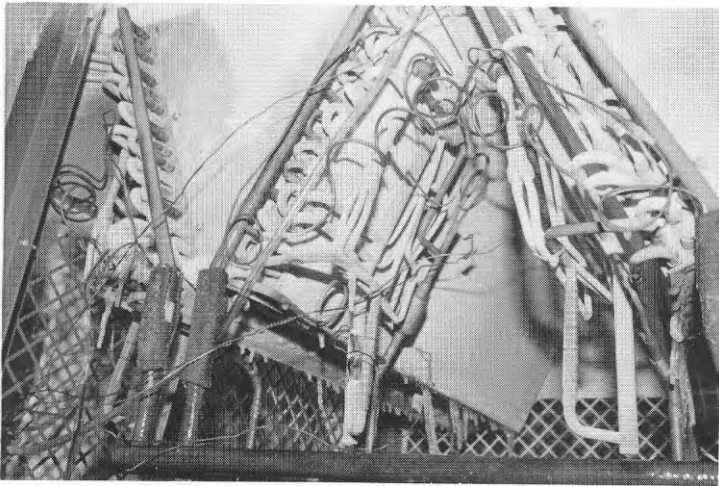


Bild 2

Fig 8.5.2. Fotosekvens under en avfrostningsperiod, Vänersborg.



Bild 3

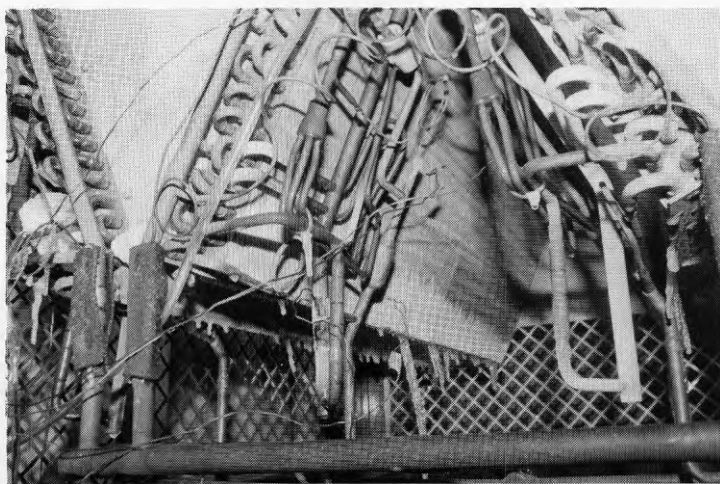


Bild 4

Fig 8.5.2. Fotosekvens under en avfrostningsperiod, Vänersborg.

I denna anläggning gjordes förutom intensivmätningar en kontinuerlig registrering av antalet avfrostningar, tid för avfrostningarna samt total drifttid för anläggningen. I figur 8.5.4 visas värmepumpens relativa gångtid samt gångtid mellan avfrostningarna. Den behovsstyrda avfrostningen monterades i början av november. Av figur 8.5.4 framgår att sedan den elektroniska avfrostningskontrollen monterats har avfrostning skett med 40 minuters intervall med undantag för månadsskiftet januari - februari. Funktionen på den elektroniska avfrostningskontrollen framgår av fig 8.5.3.

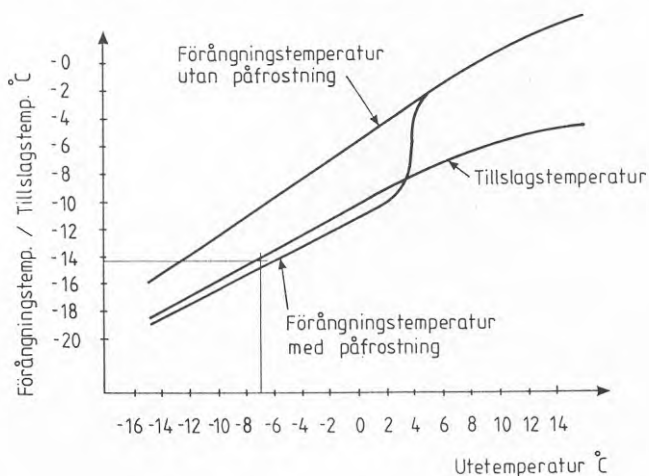


Fig 8.5.3. Grafisk beskrivning av den elektroniska avfrostningsautomatiken, Vänersborg.

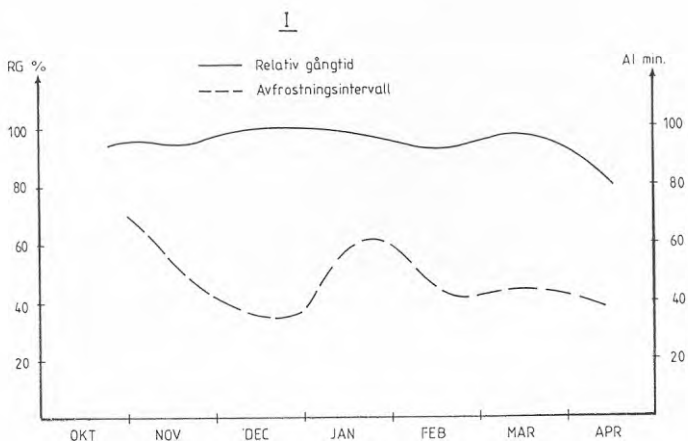


Fig 8.5.4. Avfrostningsintervall samt relativ gångtid för fyra värmepumpsaggregat i Vänersborg.

För att undvika för täta avfrostningar har ett villkor införts om att minst 40 minuter ska förlöpa mellan två avfrostningar. Av figur 8.5.10 framgår att temperaturvillkoren kallar på avfrostning mycket tidigt, men avfrostningen skjuts upp av 40-minutersvillkoret. Detta fel beror endera på dålig placering av givarna eller en dålig injustering av reglerkurvan. Avfrostningen avbryts då yttemperaturen på köldmedieslingan efter expansionsventilen uppgår till +18 °C.

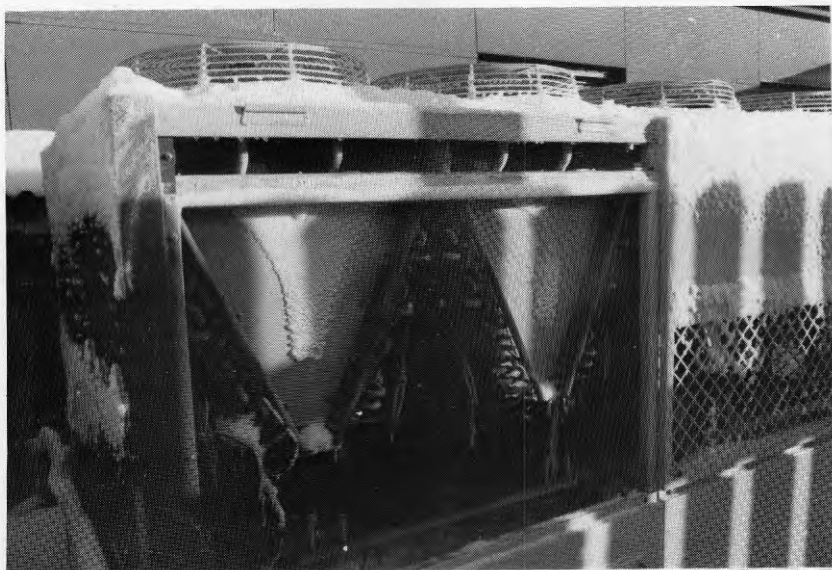


Fig 8.5.5. Foto av värmepump, Vänersborg.

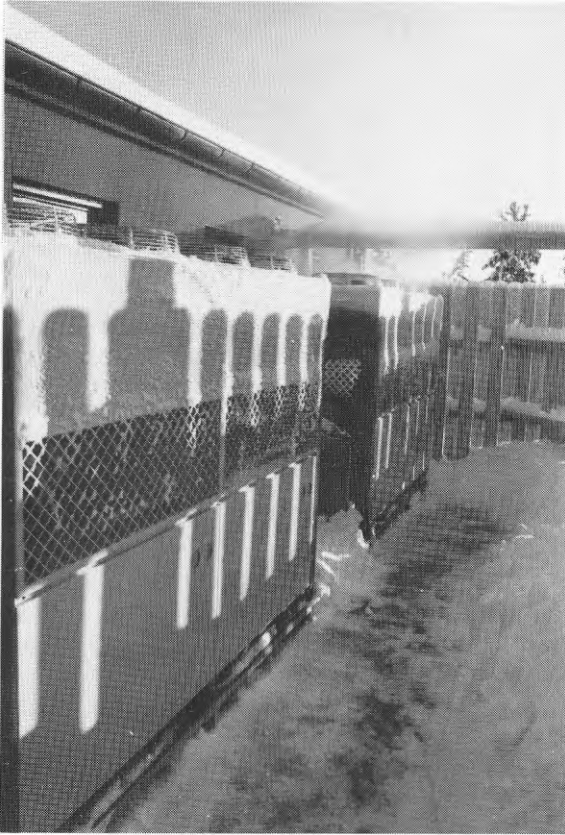


Fig 8.5.6. Foto av värmepump, Vänersborg.

Mätningar har utförts vid två tillfällen. Utomhustemperaturen var $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ vid ena tillfället och $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ vid det andra. I figur 8.5.7 och 8.5.10 representerar de övre kurvorna temperaturen på värmebäraren till och från värmepumpsenheten. Det är möjligt att urskilja när var och en av de fyra separata värmepumpsenheterna avfrostar. I figur 8.5.7-8.5.9 avfrostar tre av enheterna samtidigt, vilket innebär att värme tas från värmesystemet för att klara avfrostningen.

De två undre kurvorna i figur 8.5.7 och 8.5.10 representerar lufttemperaturen före och efter kylbatteriet i ett av aggregaten. Normalt sänks temperaturen på luften $3-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. I figur 8.5.7 ökar temperatursänkningen på luften efter kl 12.30. Detta kan endast förklaras med att kyl-effekten har ökat eller att luftflödet har minskat. Eftersom kondensorflödet är konstant, är temperaturhöjningen på värmebäraren direkt proportionell mot värmepumpens avgivna värmeeffekt. I figur 8.5.8 visas temperaturhöjningen på värmebäraren. Ur figuren kan vi utläsa att värmeeffekten sjunker kl 12.30, vilket innebär att det ökande temperaturfallet på luften endast kan förklaras av att luftflödet minskar. Med andra ord sker en påfrostning på kylbatteriet.

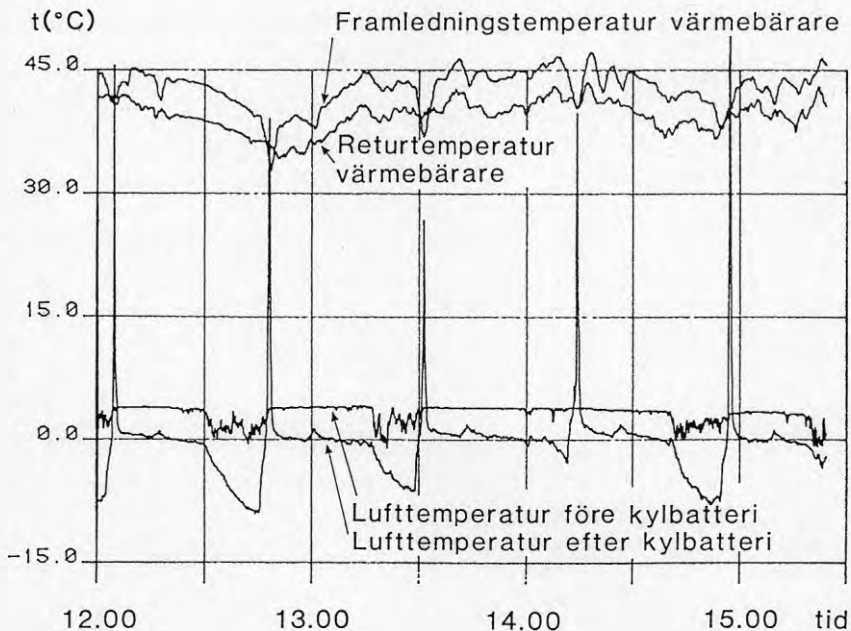


Fig 8.5.7. Mätresultat Vänersborg 19 december 1985.

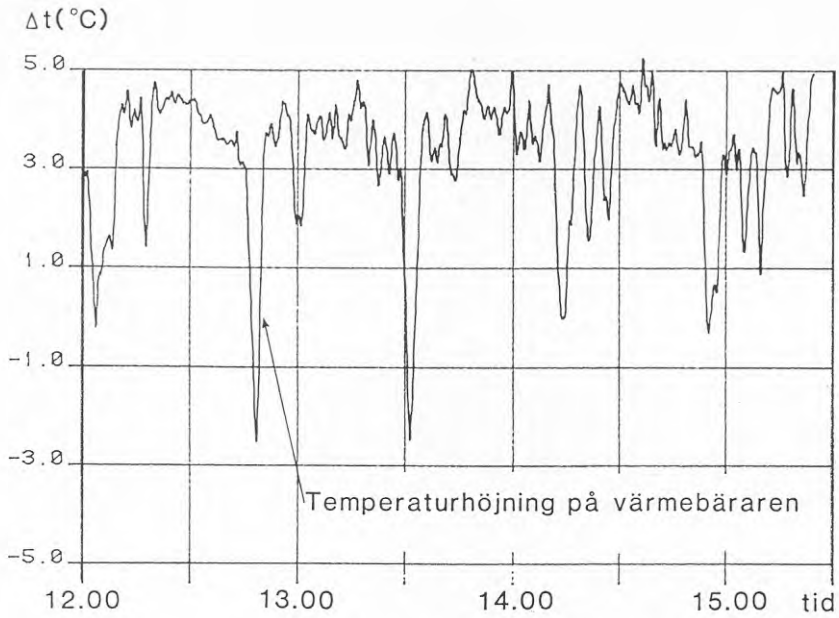


Fig 8.5.8. Mätresultat 19 december 1985.

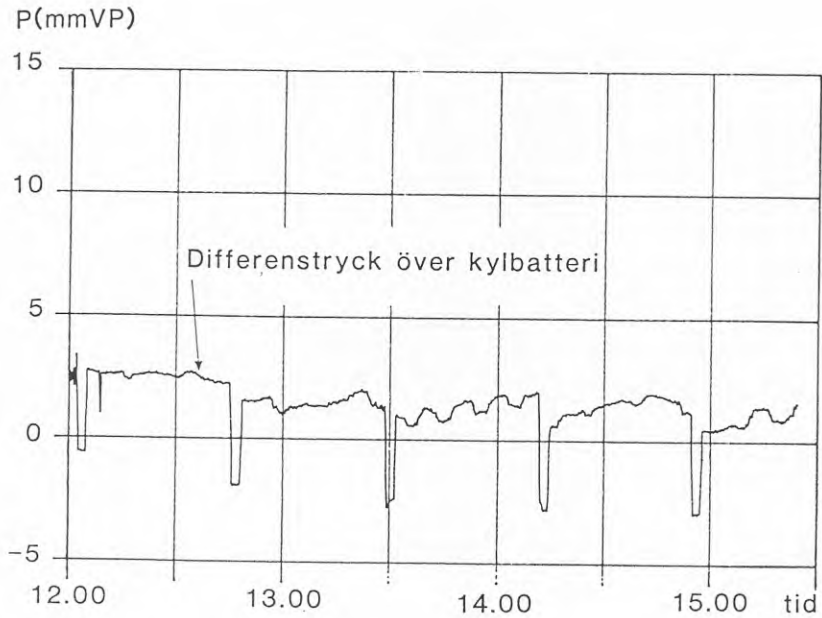


Fig 8.5.9. Mätresultat Vänersborg 19 december 1985.

Trots att påfrostningen är mycket kraftig i figur 8.5.7 hindrar "40-minutersvillkoret" att avfrostning initieras. I figur 8.5.10 däremot, med en utomhustemperatur på ca -7°C , ger temperaturkurvorna ingen indikation på någon påfrostning. Trots detta startar en avfrostning så fort temperaturvillkoret är uppfyllt. Som redan nämnts, tyder detta på att den elektroniska avfrostningsautomatiken inte fungerar som tänkt.

Ytterligare ett intressant fenomen kan utläsas ur figurerna. Avfrostningstiden för ett aggregat är ca 2 minuter. Däremot uteblir värmeupptagning ur uteluften under ca 5 minuter. Detta beror på att omedelbart efter avfrostningens slut är kylbatteriet varmt. Kompressorns kyleffekt kommer därför att utnyttjas till att återvinna det värme som åtgått för uppvärmning av kylbatteriet under avfrostningen.

I figur 8.5.8 och 8.5.11 visas temperaturhöjningen på värmebäraren efter passage genom samtliga fyra värmepumpar. Av figur 8.5.8 framgår att påfrostningen ger en kraftig sänkning av den erhållna värmeeffekten. I figur 8.5.11 däremot sker ingen märkbar sänkning av den erhållna värmeeffekten före avfrostningarna. Detta kan naturligtvis delvis förklaras av att i det senare exemplet är alla de fyra separata avfrostningsenheterna ur fas. Därigenom erhålls ett medelvärde av alla de olika påfrostningsgraderna.

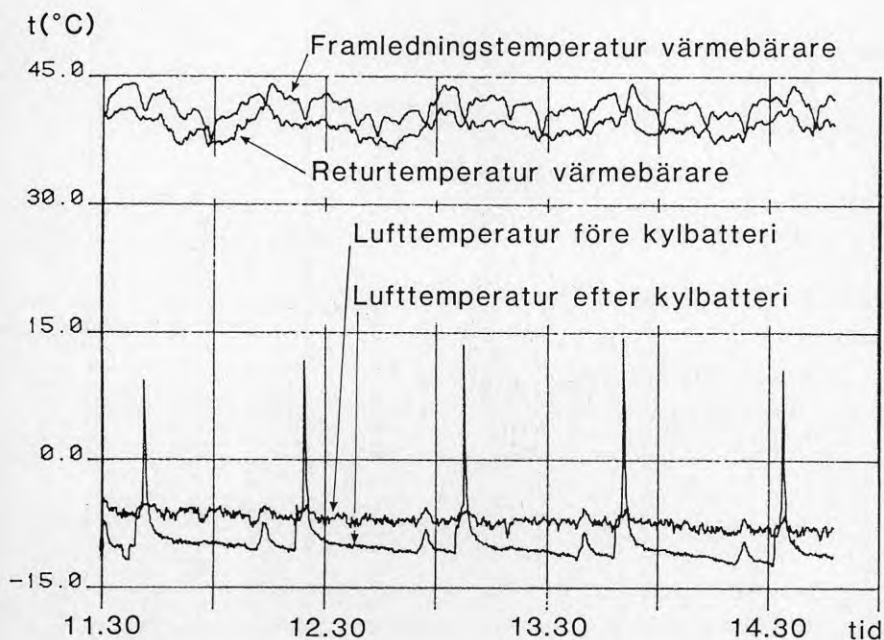


Fig 8.5.10. Mätresultat Vänersborg 20 december 1985.

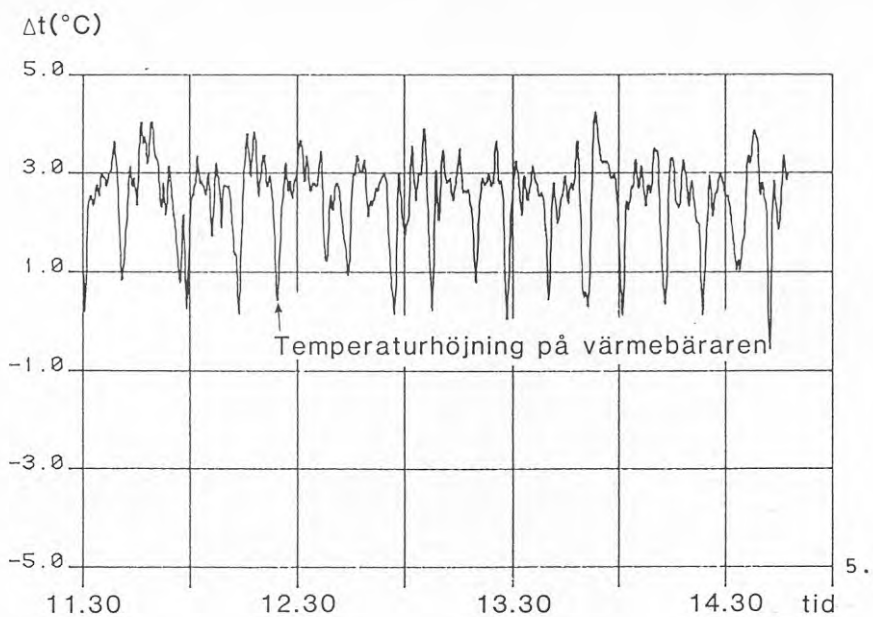


Fig 8.5.11. Mätresultat Vänersborg 20 december 1985.

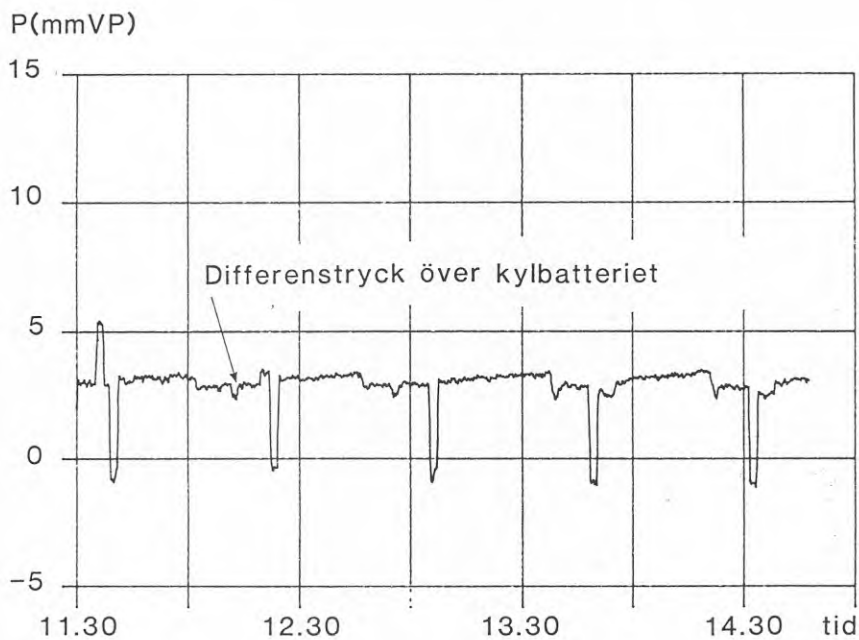


Fig 8.5.12. Mätresultat Vänersborg 20 december 1985.

Även tryckfallet över ett av kylbatterierna mättes. Mätresultaten återges i figur 8.5.9 och 8.5.12. Av dessa mätvärden framgår att tryckfallet i figur 8.5.12 inte ändras över kylbatteriet under påfrostningsförloppet. I figur 8.5.9, då en relativt kraftig påfrostning observerades, erhöles en mätbar förändring i tryckfall före respektive efter avfrostningen. Eftersom nollnivån hos mätinstrumentet inte varit stabil under mätperioden, har en tryckskillnad registrerats även under perioder då fläkten ej varit i drift, dvs under avfrostningsperioderna. Trots detta mätfel är det möjligt att utläsa förändringarna av tryckfallet över kylbatteriet.

<u>Enhet</u>	<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>IV</u>
19/10-10/11				
527 h				
Gångtid kompressor, h	501,8	501,8	500,2	500,2
Antal av- frostningar	432	418	386	370
Avfrostnings- tid, min	2,29	2,51	2,40	2,49
Intervall, av- frostning, min	70	72	78	81

<u>Enhet</u>	<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>IV</u>
10/11-9/12				
694,5 h				
Gångtid kompressor, h	662,8	662,8	663,2	663,2
Antal av- frostningar	885	885	850	904
Avfrostnings- tid, min	2,00	2,21	2,08	2,05
Intervall, av- frostning, min	45	45	47	44

8.6 Herrljunga

På värmepumpen i Herrljunga uppmättes ingen påfrysning då avfrostningen initierades. Värmepumpen är placerad inomhus och kanalansluten. Trots att filter finns på inluftskanalen uppstår ett brunt slam i kondensvattnet, som ibland sätter igen avloppet från droppskålen.

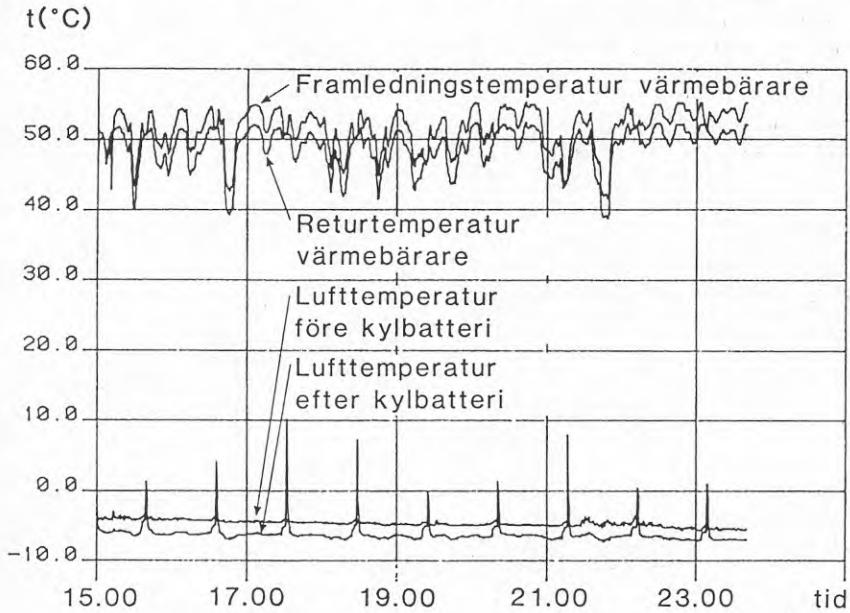


Fig 8.6.1. Mätresultat, Herrljunga 11 februari 1986.

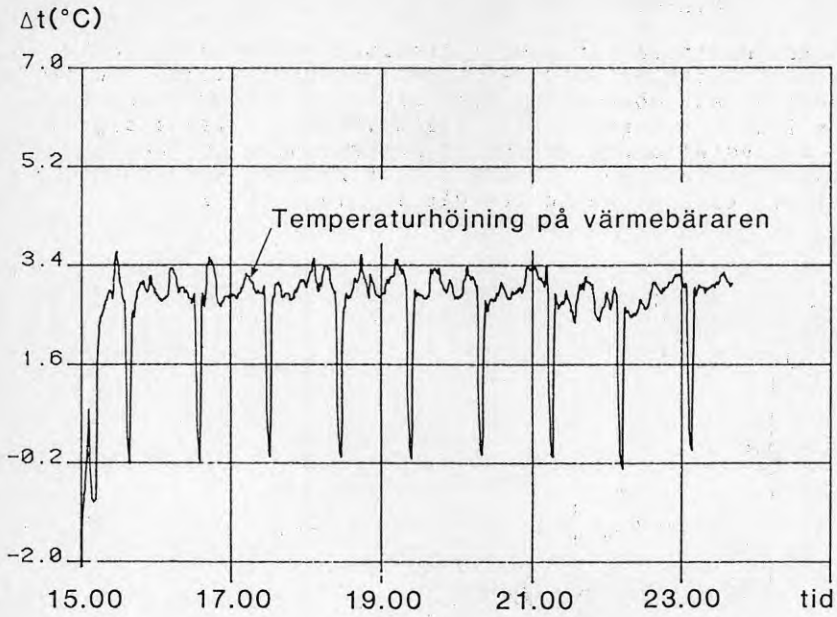


Fig 8.6.2. Mätresultat, Herrljunga 11 februari 1986.

Avfrostningen sker med hetgas genom att processen reverseras med hjälp av en 4-vägsventil. Avfrostningsintervallen styrs av inbyggd elektronik. I likhet med de flesta av de andra besökta anläggningarna arbetar elektroniken enligt temperatur/temperaturmetoden.

De mätningar som gjordes i månadsskiftet april/maj gav en del information om avfrostningens funktion. Tyvärr registrerades endast en avfrostning av mätdatansamlingsenheten. Under mätperioden varierade uteluftstemperaturen från +18 °C till +2°C. I figur 8.7.3 visas returtemperatur samt framledningstemperatur hos värmepumpen. Först då uteluftstemperaturen sjunkit till ca +2 °C startas en avfrostning. Temperaturförloppet på kalla respektive varma sidan ger en indikation på att en påfrostning sker innan avfrostningen initieras.

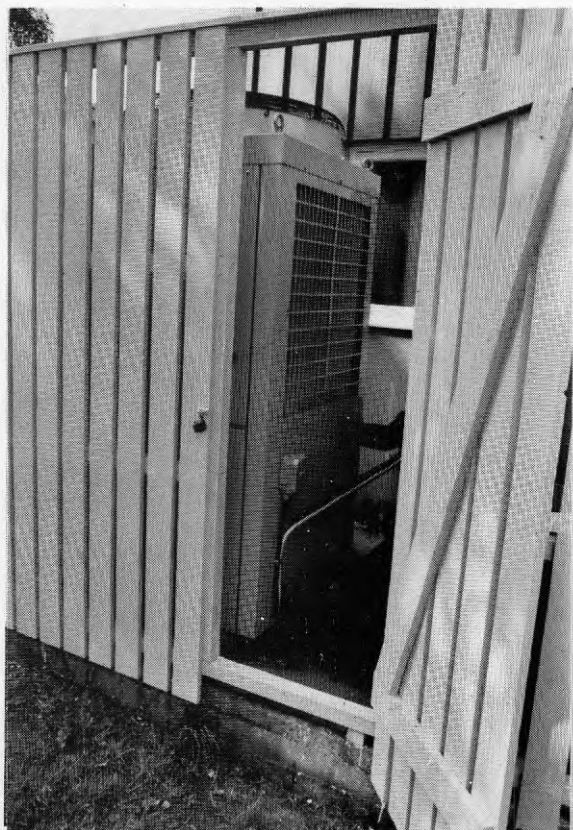


Fig 8.7.2. Annelund.

I figur 8.7.3 visas temperaturdifferensen på luftsidan och vattensidan. Det är lätt att se att temperaturdifferensen ökar på luftsidan strax innan avfrostningen. Enligt samma resonemang som fördes i beskrivningen av anläggningen i Vänersborg, bör man tolka detta som en indikering på att en viss påfrostning skett.

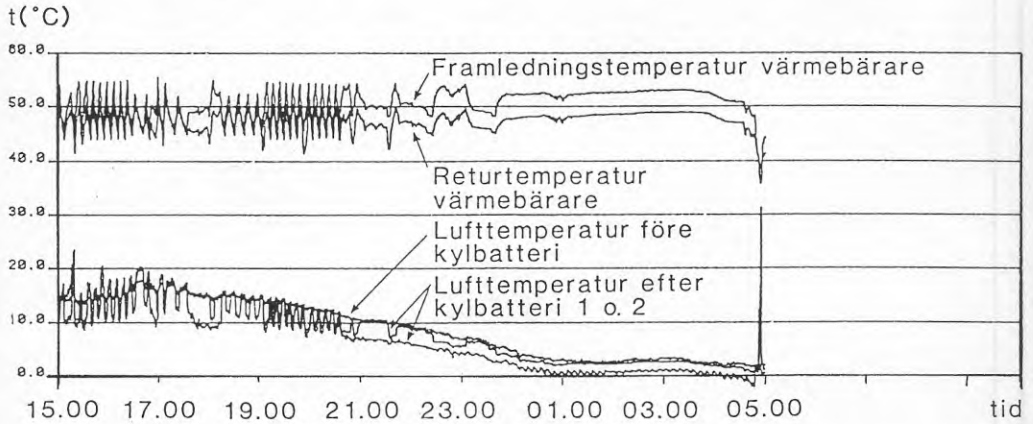


Fig 8.7.3. Mätresultat, Annelund 29-30 april 1986.

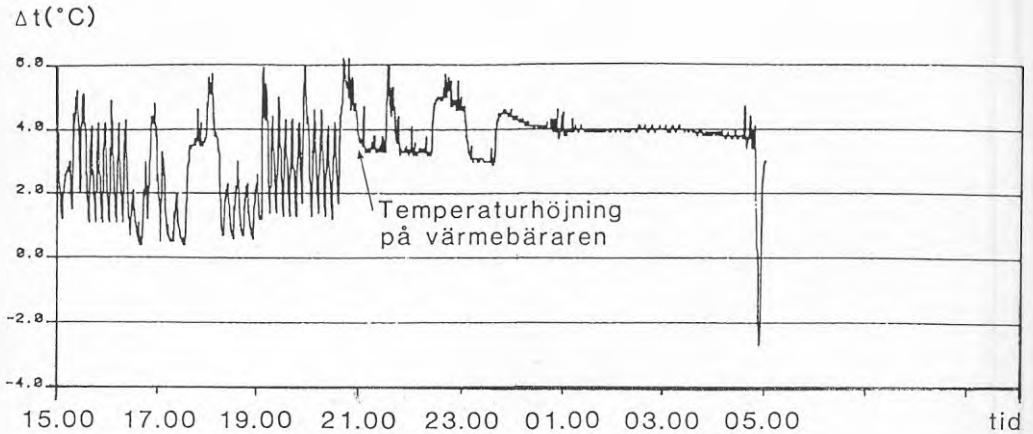


Fig 8.7.4. Mätresultat, Annelund 29-30 april 1986.

8.8 Värsås

Värmepumpen i Värsås avfrostar med hetgas. Förångaren är uppdelad i två delar. Vid avfrostning av den ena delen utnyttjas den andra delen för återförångning av den kondenserade köldmedievätskan. Därefter byter de två förångarenheterna funktion. I anläggningen finns två parallellkopplade värmepumpsenheter. Systemets uppbyggnad framgår av figur 8.8.1.

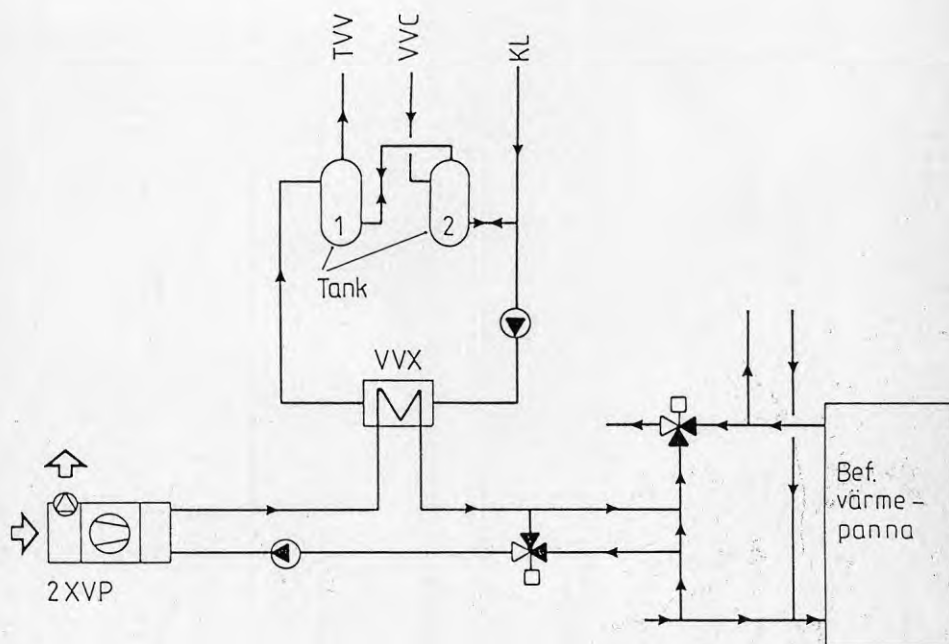


Fig 8.8.1. Principskiss, Värsås.

Avfrostningen styrs av en elektronikenhet som är förinställd från fabrik. Elektronikenheten initierar avfrostning då suggastemperaturen underskridit ett förinställt värde under mer än 45 minuter. Vid utetemperaturer högre än $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ sker ingen avfrostning. Avfrostningen avbryts då batteriet uppnått en förinställd temperaturnivå, dock tillåts avfrostningen aldrig att pågå längre än 10 minuter.

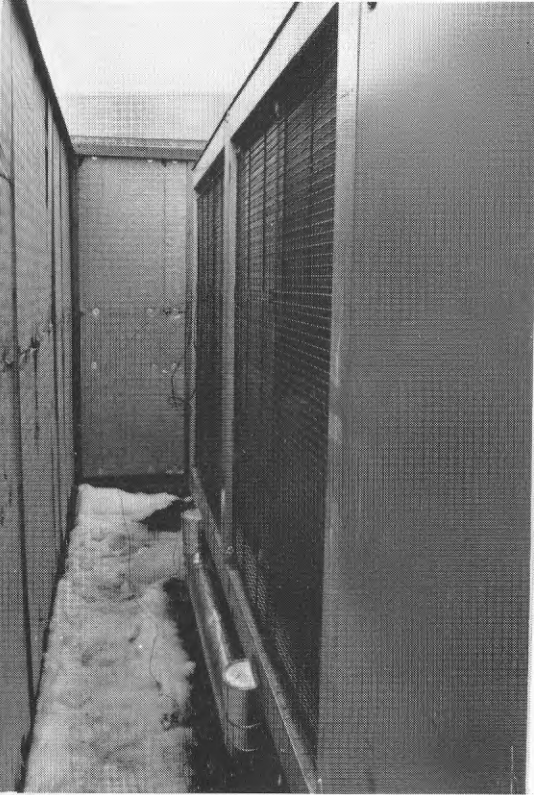


Fig 8.8.2. Foto, Värsås.

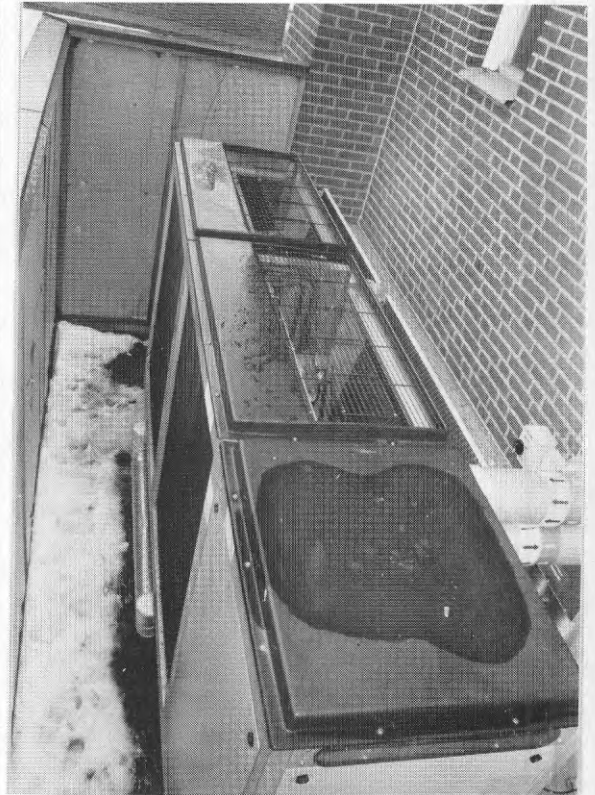


Fig 8.8.3. Foto, Värsås.

Mätningarna utfördes vid en lufttemperatur framför batteriet från $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ till $+11\text{ }^{\circ}\text{C}$. Avfrostning initierades med 80 minuters intervall under hela mätperioden för det studerade aggregatet då utomhustemperaturen var lägre än $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tvillingaggregatet uppvisade dock en mer varierande tid mellan avfrostningarna.

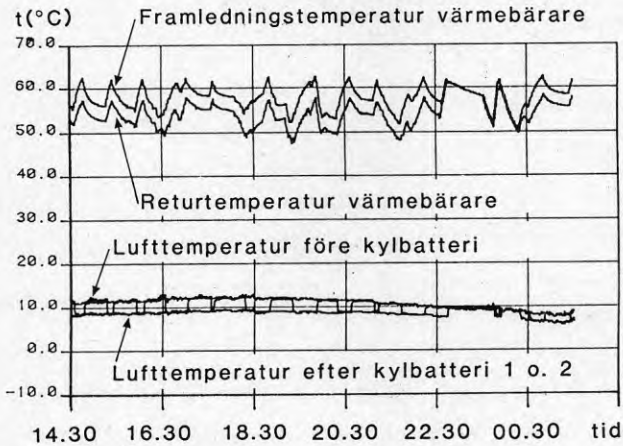


Fig 8.8.4. Mätresultat, Värsås 28 april 1986.

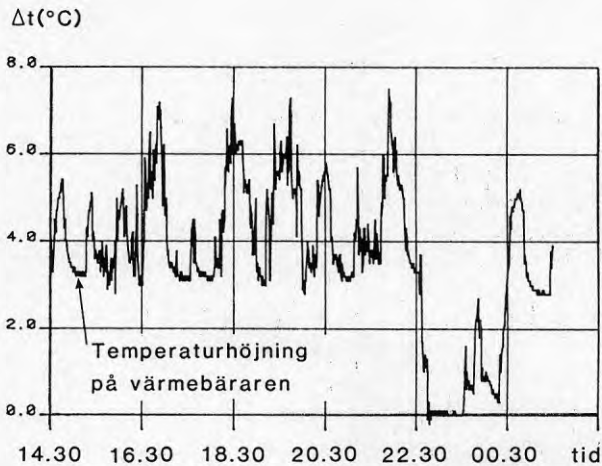


Fig 8.8.5. Mätresultat, Värsås 28 april 1986.

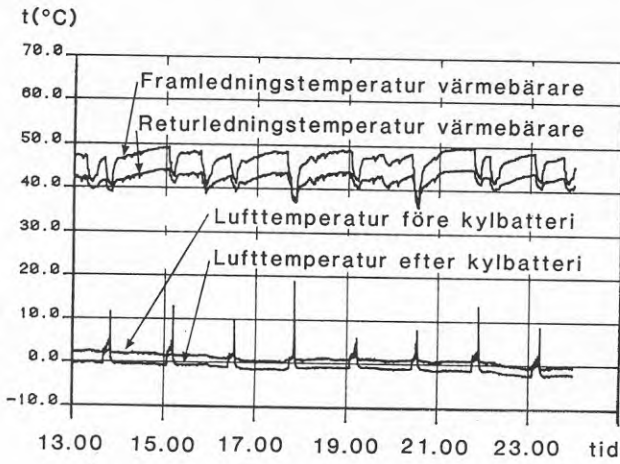


Fig 8.8.6. Mätresultat, Värsås 23 januari 1986.

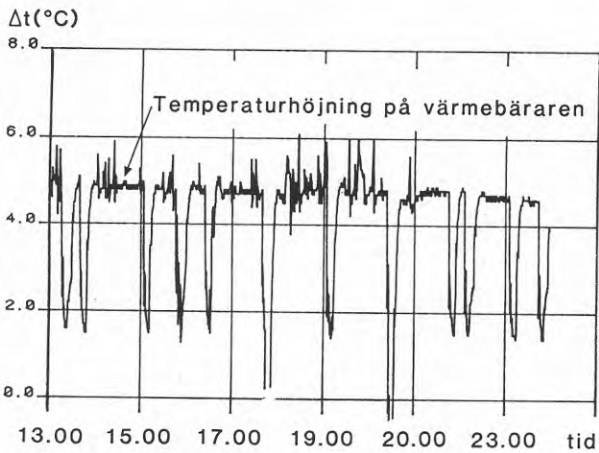


Fig 8.8.7. Mätresultat, Värsås 23 januari 1986.

Utgående från mätningarna av den avgivna värmeeffekten syntes ingen nedgång i effekt på grund av påfrysning. Detta tyder på att avfrostningen initieras trots att inget reellt behov föreligger.

Värmeeffekt-mätningarna gav följande resultat.

Ute- temperatur °C	P1 med rena batterier kW	P1 medelvärde för hela perioden kW
+ 2,0	33	28,9
+ 0	32	27,2
- 7	24	20,0

Genom avläsning av mätutrustning för hela mätperioden (5 dygn) visade sig VP1 avfrosta med 79 minuters intervall, medan VP2 hade 85 minuters intervall. Den totala avfrostningstiden under de fem dygnen var för VP1 13,5 h och för VP2 8,7 h. Om det uppskattningsvis under ett år är 130 dygn med likartade temperaturförhållanden, blir den totala tiden för avfrostning ca 260 h. Om man genom en mer sofistikerad styrning av avfrostningen kunde sänka avfrostningstiden till exempelvis 100 h, skulle ökningen av besparingen bli 1200 till 2500 kr per år.

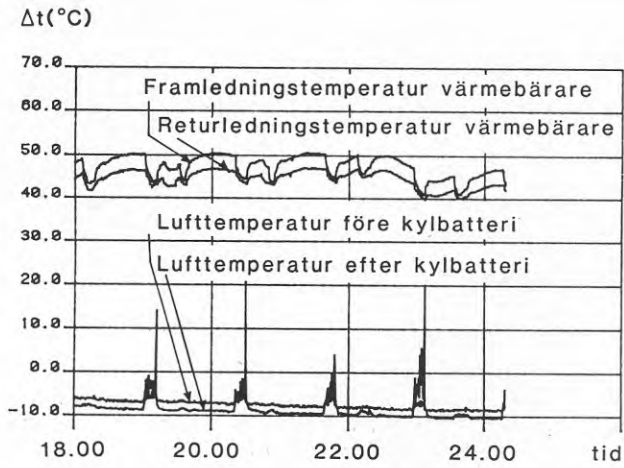


Fig 8.8.8. Mätresultat, Värsås 26 januari 1896.

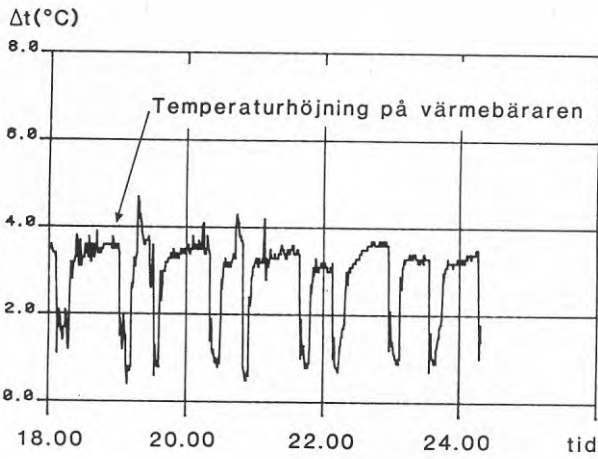
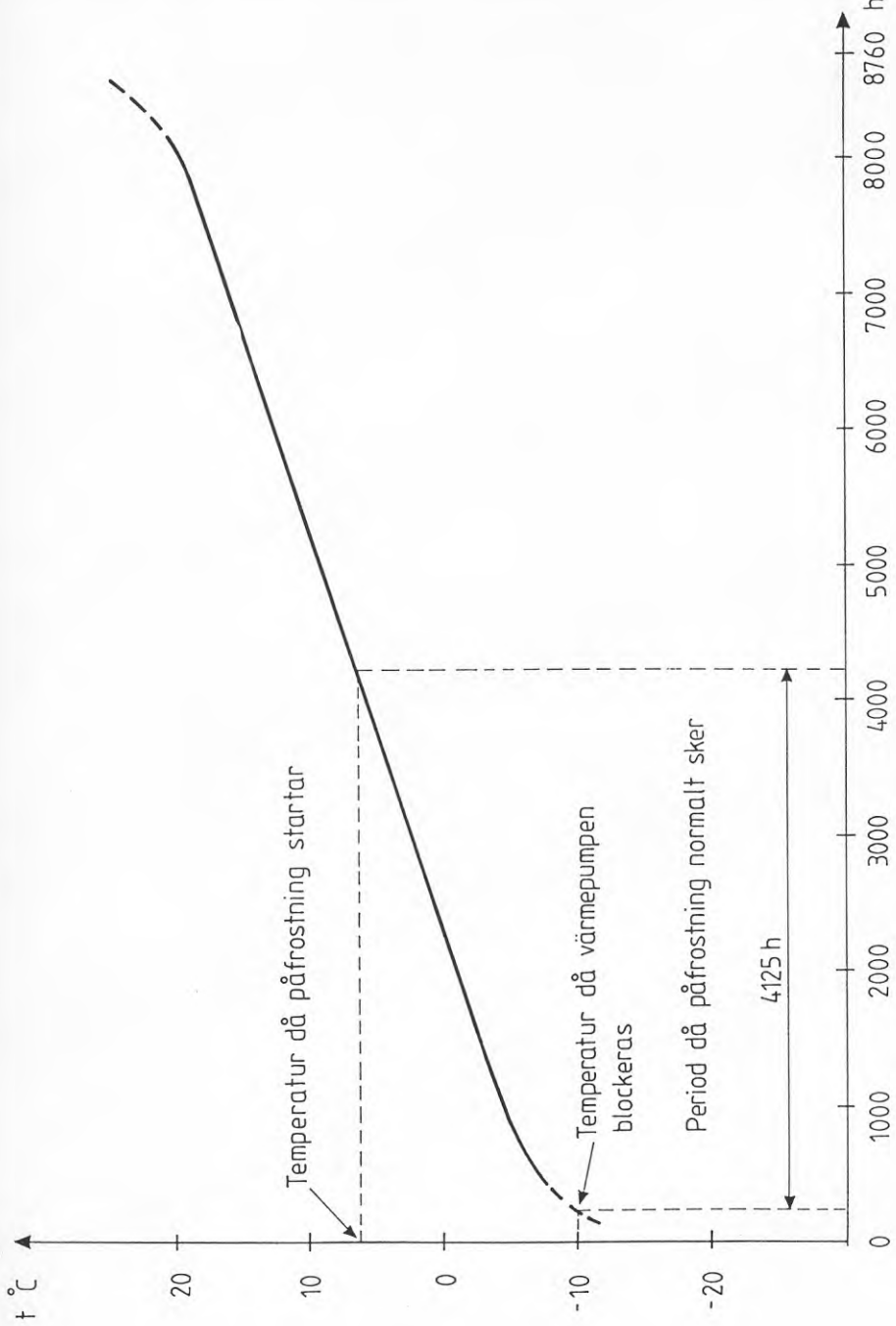


Fig 8.8.9. Mätresultat, Värsås 26 januari 1896.

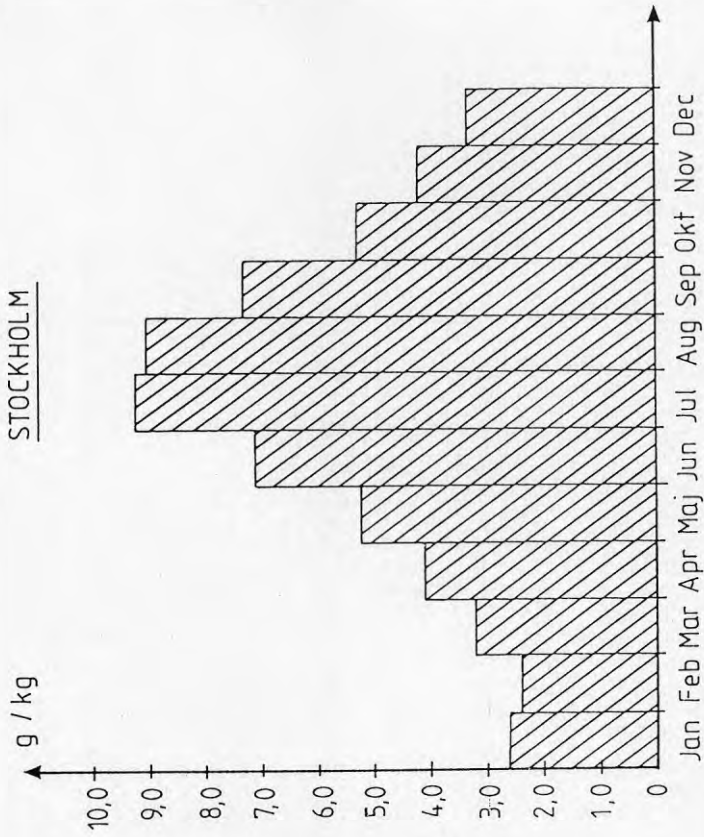
Den årliga besparingen uppskattas nu till 24 000 kronor. Besparingen skulle alltså kunna höjas med 10 %.

I figur 8.8.4-8.8.9 visas resultatet från de intensivmätningar som genomförts vid anläggningen. Mätresultaten hänför sig till tre olika dygn med varierande utomhustemperatur. Det första dygnet, vilket redovisas i figur 8.8.4-8.8.5, har utomhustemperaturen hela tiden överskridit den gräns under vilken avfrostning initieras. En av värmepumparna har varit i drift under nästan hela perioden, medan den andra har gått on-off.

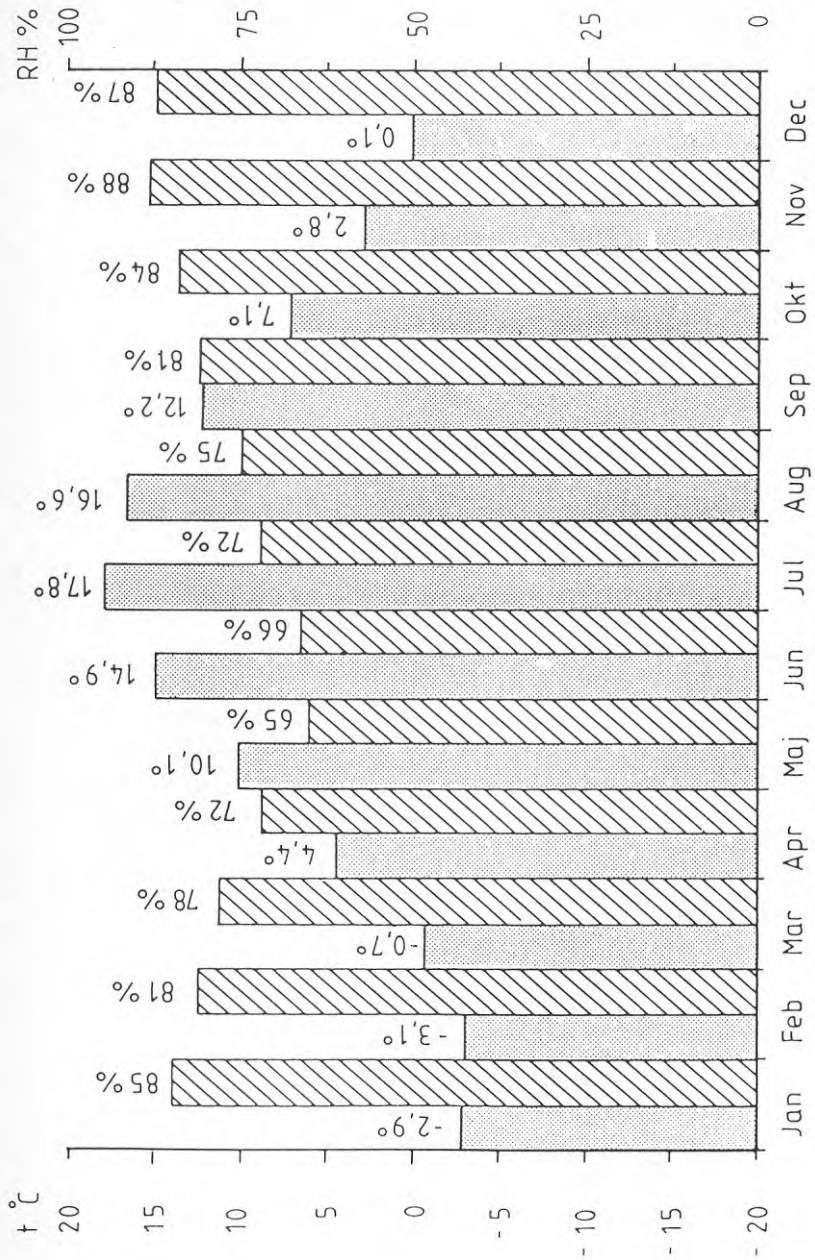
Under nästa mätdygn, här representerat av fig 8.8.6-8.8.7, varierade utomhustemperaturen från +3 till ± 0 C. Bägge värmepumpsenheterna var i drift och avfrostning krävdes. Det framgår klart att värmepumpens prestanda inte reducerats på grund av frost, då avfrostningen initierats. I figur 8.8.6 ses värmebärarens fram- och returtemperatur till värmepumparna samt lufttemperatur före och efter förångaren på en av värmepumparna.



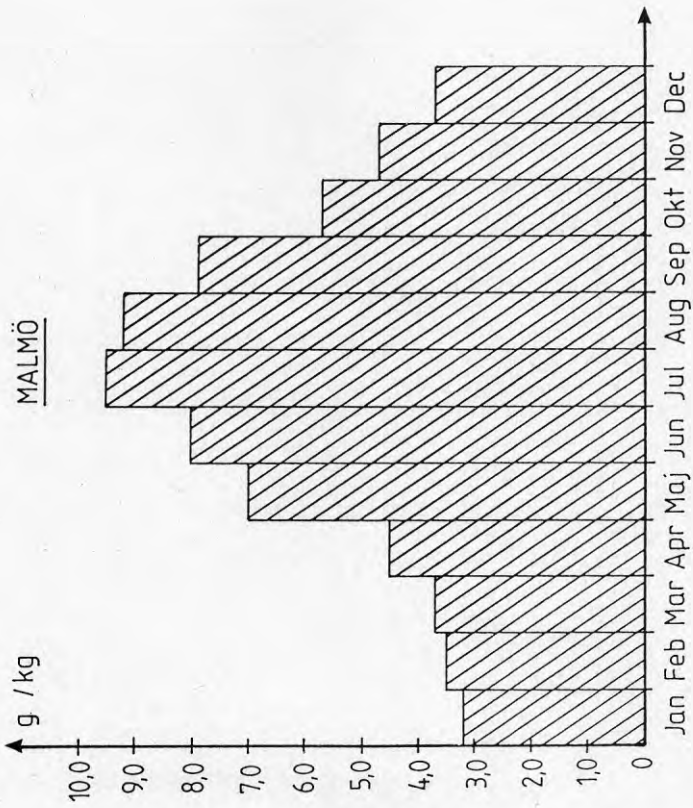
Temperaturvaraktighetsdiagram, Stockholm.



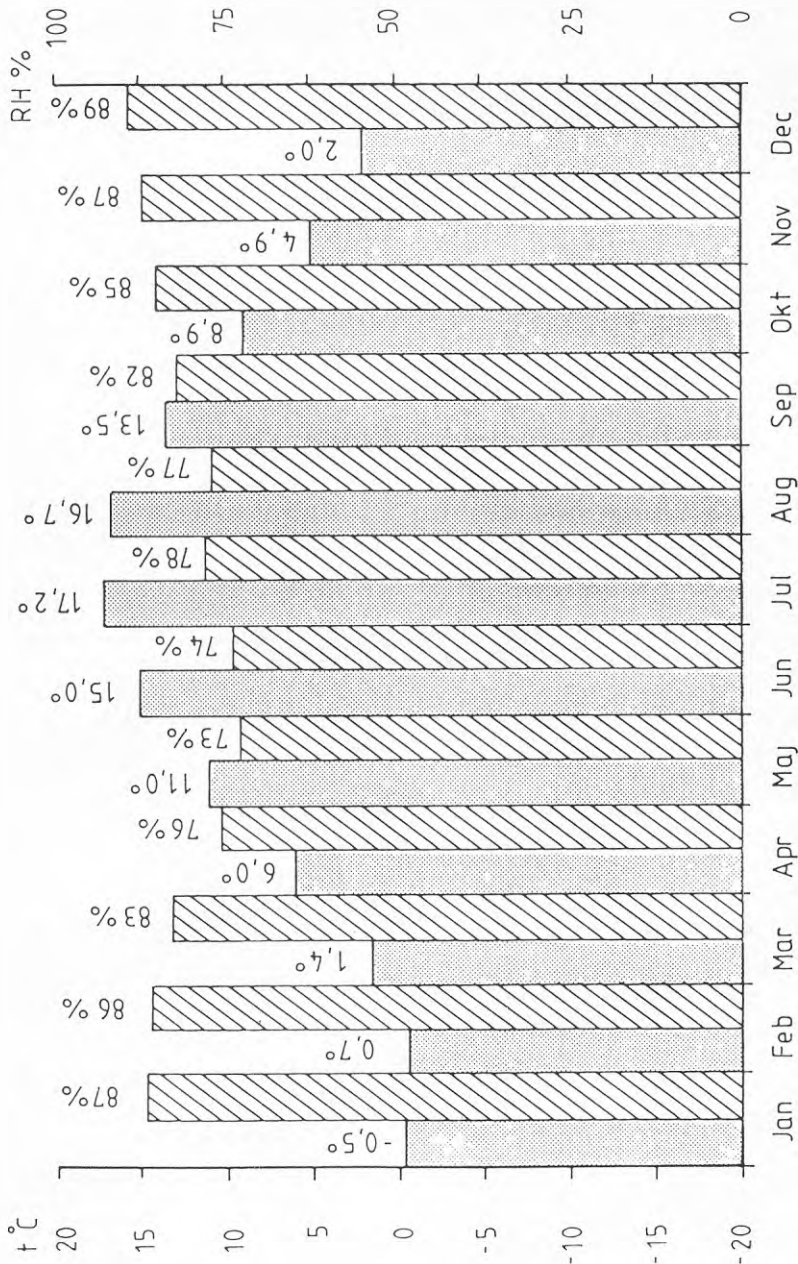
Månadsmedelvärde på luftens fuktinnehåll, Stockholm.



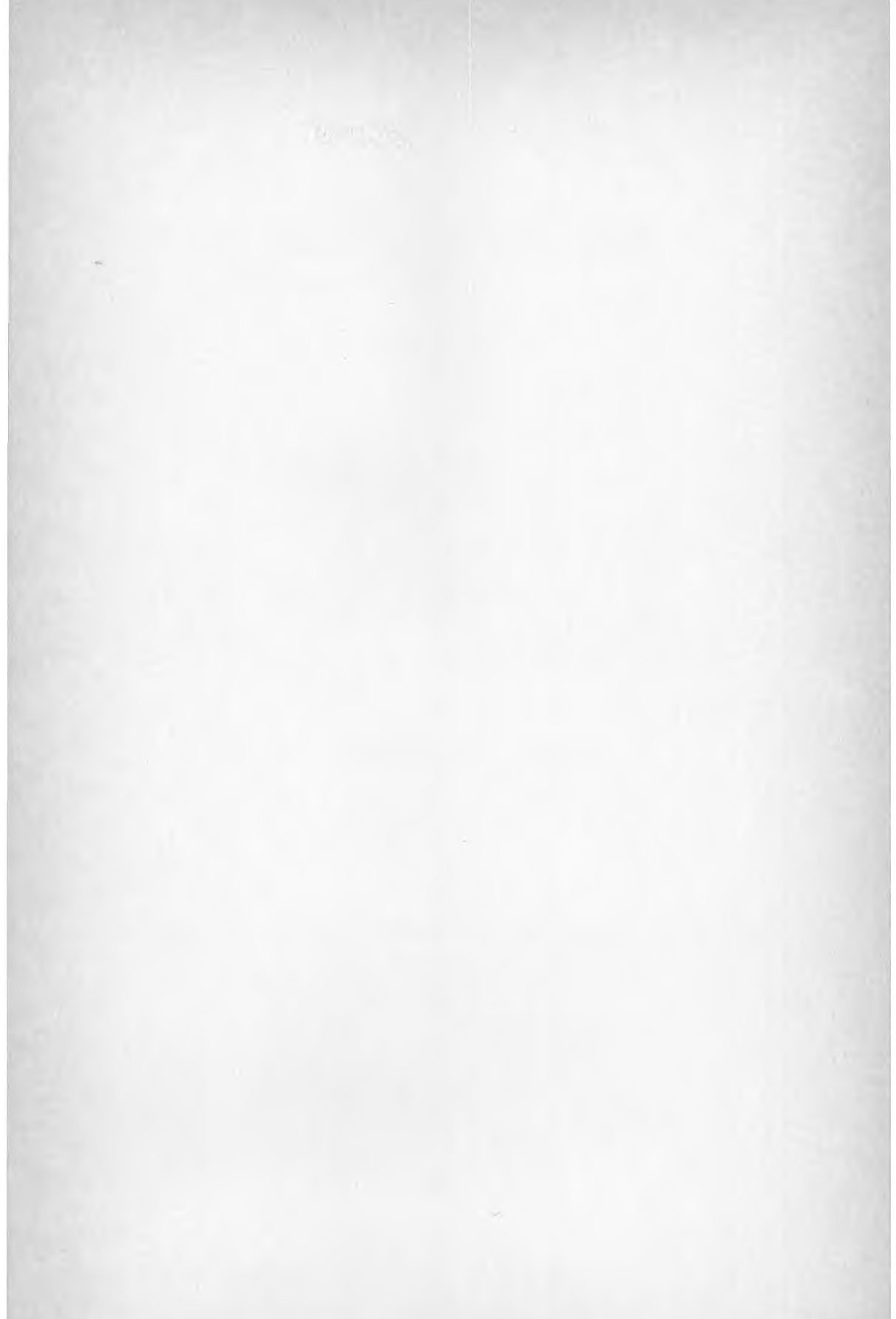
Månadsmedelvärde på temperatur och luftfuktighet, Stockholm.



Månadsmedelvärde på luftens fuktinnehåll, Malmö.



Månadsmedelvärde på temperatur och luftfuktighet, Malmö.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 850290-8
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
provningsanstalt, Borås.**

R52: 1987

ISBN 91-540-4746-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707052

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 42 kr exkl moms