



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.

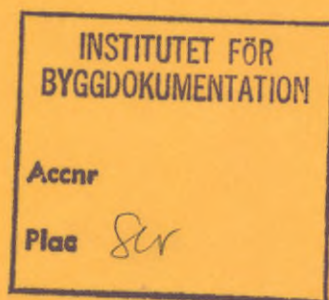
This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may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



# Värmepumpar med luft som värmekälla

## Avfrostningsmetoder

Mats Fehrm



K/0  
A

R39:1986

VÄRMEPUMPAR MED LUFT SOM VÄRMEKÄLLA

Avfrostningsmetoder

Mats Fehrm

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831165-0  
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens  
provvningsanstalt, Borås.

## REFERAT

Syftet med arbetet har varit att beskriva dels de olika metoder som finns för avfrostning av luftbatteriet i luftvärmepumpar, dels beskriva de metoder som finns för initiering och avslutning av avfrostning.

I rapporten beskrivs ett antal olika principer och metoder för initiering, genomförande och avbrytande av avfrostning. Uppgifterna är till största delen hämtade från litteratur såsom forskningsrapporter och tidskriftsartiklar.

Avfrostning kan initieras genom att jämföra temperatur eller tryckfall på såväl luft- som köldmediesidan. Vidare finns metoder som använder optisk eller elektrisk detektering. I andra fall initieras avfrostningen genom en ren tidsfunktion. På liknande sätt kan avfrostningen avbrytas.

Avlägsnandet av frost sker som regel genom att värme tillförs via köldmedium, köldkärnan, luft, elstavar i batteriet eller strålning, men i något fall har man försökt med mekanisk skrapning.

I rapporten beskrivs olika metoder för avfrostning och olika sätt att förändra påfrostning eller effektivisera avfrostning. Någon kvalitativ jämförelse mellan olika metoder redovisas icke, då källmaterialet var för magert för en sådan jämförelse.

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

R39:1986

ISBN 91-540-4543-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

## FÖRORD

Föreliggande rapport om en litteraturstudie avseende avfrostningsmetoder för värmepumpar är första steget i ett antal projekt om avfrostning. Avsikten är att litteraturstudien skall följas av dels fältstudier och dels laboratorieförsök avseende avfrostningsmetoder.

Jag vill varmt tacka Ulla-Britt Larsson som skrivit rent rapporten samt Margareta Lindgren och Anna-Märta Wihlborg, som ritat rent alla figurer i rapporten.

Katrineholm 1985-12-08

Mats Fehrm



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	SAMMANFATTNING	4
1	INLEDNING	5
2	PÅFROSTNING	7
3	INITIERING AV AVFROSTNING	12
3.1	Allmänt	12
3.2	Tidsstyrd avfrostning	12
3.3	Behovsstyrd avfrostning	16
4	AVFROSTNINGSMETODER	20
4.1	Allmänt	20
4.2	Avfrostning genom tillförsel av värme	20
4.2.1	Avfrostning med köldmedium	20
4.2.2	Elektrisk avfrostning	31
4.2.3	Avfrostning med köldbärare och luft	34
4.3	Övriga metoder	38
4.3.1	Vattenavfrostning	38
4.3.2	Mekanisk skrapning	38
4.4	Andra åtgärder för att underlätta avfrostning	38
4.4.1	Installation av värmepumpen	38
4.4.2	Dränering	38
4.4.3	Spjäll	39
4.4.4	Ytbehandling	39
4.4.5	Flänsdelning	41
4.4.6	Avrinning av smältvatten	42
5	LITTERATURREFERENSER	44

## SAMMANFATTNING

Vid årsskiftet 1984/85 fanns uppskattningsvis 100 000 värmepumpar i Sverige. Av dessa var ca 30 000 ute-luftsvärmepumpar och ca 24 000 frånluftsvärmepumpar.

De flesta uteluftsvärmepumpar och många frånluftsvärmepumpar arbetar under sådana förhållanden att värmeupptagaren (luftbatteriet) måste avfrostas. Det är då väsentligt att man valt optimal metod för initiering, genomförande och avbrytande av avfrostning.

I föreliggande rapport beskrivs ett antal olika principer och metoder för initiering, genomförande och avbrytande av avfrostning.

Uppgifterna är till största delen hämtade från litteratur såsom forskningsrapporter och tidskriftsartiklar.

Avfrostning kan initieras genom att jämföra temperatur eller tryckfall på såväl luft- som köldmediesidan. Vidare finns metoder som använder optisk eller elektrisk detektering. I andra fall initieras avfrostningen genom en ren tidsfunktion. På liknande sätt kan avfrostningen avbrytas.

Avlägsnande av frost sker som regel genom att värme tillförs via köldmedium, köldbärare, luft, elstavar i batteriet eller strålning, men i något fall har man försökt med mekanisk skrapning.

I rapporten beskrivs olika metoder för avfrostning och olika sätt att förändra påfrostning eller effektivisera avfrostning. Någon kvalitativ jämförelse mellan olika metoder redovisas icke, då källmaterialet var för magert för en sådan jämförelse.

I rapporten hänvisas till ett tjugotal litteraturreferenser.



## VÄRMEPUMPAR MED LUFT SOM VÄRMEKÄLLA - AUFROSTNINGSMETODER

### 1 INLEDNING

Värmepumpar för uppvärmning av bostäder har blivit allt vanligare sedan oljekrisen i början av 70-talet. I Sverige fanns vid årsskiftet 1984-85 uppskattningsvis 100 000 värmepumpar installerade. Av dessa var ca 30 000 uteluftvärmepumpar och ca 24 000 frånluftsvärmepumpar. Andelen uteluftvärmepumpar och frånluftsvärmepumpar har ökat väsentligt under de senaste åren.

Anledningarna till detta är flera, men mest väsentligt är att

- totalkostnaden är lägre än för installation där ytjord, grundvatten, sjöar eller djupjord (berg) används som värmekälla
- värmekällan uteluft är alltid tillgänglig, dock mindre effektiv vid låga utomhustemperaturer
- värmekällan frånluft är temperaturmässigt i stort sett oberoende av utetemperaturer
- i nybyggda täta och välisolerade hus är oftast frånluft den mest ekonomiska värmekällan

Värmeupptagning ur uteluften sker så gott som uteslutande med ett så kallat flänsbatteri. Det består av rör försedda med flänsar för att få en stor yta på luftsidan, då värmeövergångstalet är väsentligt sämre än inuti rören, där antingen köldmedium förångas eller en köldbärare värms.

När yttemperaturen i batteriet blir lägre än 0 °C sker en påfrostning av ytorna. Frostpåslaget är beroende av luftens fuktighet och temperatur. För uteluftvärmepumpar får man, beroende på dimensionering, påfrostning kanske redan vid +6 à 7 °C utetemperatur. Allt fler frånluftsvärmepumpar dimensioneras i dag så att påfrostning sker under så gott som hela året.

I samband med påfrostning sker givetvis en värmeöverföring till batteriet. Dels tas kondenserings- och stelningsvärme tillvara när luftens fukttinnehåll faller ut och dels kyls den förbipasserande luften. Men när det har frusit på så mycket frost att luftströmningen hindras mellan flänsarna i batteriet måste frosten avlägsnas.

Den här rapporten är en sammanställning av metoder för initiering av avfrostning samt avfrostningens genomförande.

Det finns ett antal sätt att initiera avfrostning, liksom det finns ett antal olika sätt att genomföra en avfrostning. Så gott som varje avfrostningsmetod innebär att värmepumpen inte längre värmer huset etc utan i stället kanske till och med kyler huset. Därför måste avfrostningar genomföras så energieffektivt som möjligt, samtidigt som tillförlitligheten under alla vädertyper måste vara stor.

Detta leder som regel till att man måste kompromissa. Minimal avfrostningstid mot maximal säkerhet. Svårigheten ligger i att välja rätt metod för avfrostning för varje applikation.

## 2 PÅFROSTNING

Frostpåslag på kyltor finns teoretiskt väl behandlat i litteraturen. I underlaget till den här rapporten kan referensen [1] rekommenderas för den som vill tränga djupare in i detta område.

Här skall endast allmänt anges inverkan av olika parametrar på påfrostningen.

Från [2] har följande observationer hämtats:

- Påfrysningstakten är störst i början av påfrostningsperioden, se figur 2.1
- Tryckfallet på luftsidan ökar exponentiellt med tiden, se figur 2.2
- Värmeegenomgångstalet ökar initialt med frostpåslaget för att sedan minska allt eftersom frostsiktet blir tjockare, se figur 2.3. Ökningen anses bero på den positiva verkan fasövergången har och den av frosten ökade turbulensen. Den påföljande minskningen beror på att luftflödet minskar eftersom frosten blockerar passagen mellan flänsarna
- Frostpåslaget kan initialt öka med ökat luftflöde, eftersom mer vattenånga passerar genom batteriet och värmeövergången är större. Dock finns ett luftflöde över vilket påfrostningen minskar och ett kritiskt luftflöde där ingen påfrostning sker. Från psykrometriska tabeller kan man se att detta kritiska luftflöde minskar med minskad relativ fuktighet

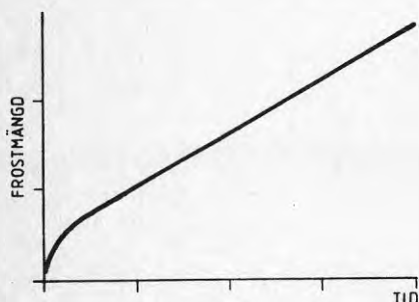


Fig 2.1. Frostpåslagets förlopp under den första delen av en påfrostningsperiod.

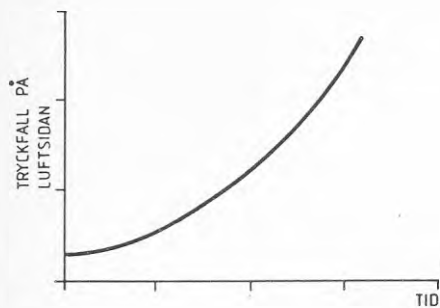


Fig 2.2. Tryckfallets förlopp vid påfrostning av ett lamellbatteri.

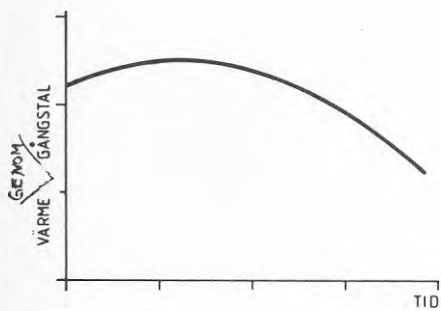


Fig 2.3. Värmegenomgångstalets förlopp under början av en påfrostningsperiod.

- Graden av frostpåslag har oftast sitt maximum kring +2 °C lufttemperatur. Vid högre temperaturer blir endast en mindre del av fukttinnehållet nedkyllt till fryspunkten. Vid lägre temperaturer är fukthalten lägre och kyleffekten lägre. Bägge faktorer som minskar graden av frostpåslag

- Frostens densitet tenderar att minska med minskad lufttemperatur. Några approximativa värden är:

900 kg/m<sup>3</sup> vid 0 °C  
610 kg/m<sup>3</sup> vid -12 °C  
550 kg/m<sup>3</sup> vid -30 °C

- Frostens densitet tenderar att öka med tiden. Detta anses bero på att en del av vattenångan diffunderar in i den befintliga frosten och ökar dess densitet, medan resten bildar frost på ytan som ökar frostsiktets tjocklek.

- En lös froststruktur är särskilt önskad eftersom den blockerar luftflödet genom batteriet mer än samma massa frost med högre densitet. Dessutom minskas värmeövergången på grund av frostsiktets isolerande verkan.

- Valet av flänsdelning i ett lamellbatteri har stor inverkan på egenskaperna vid påfrostning. Vid torrt batteri ökar värmeöverföringen med minskad flänsdelning, se figur 2.4. Men vid förhållanden då påfrostning sker, har det visat sig att kapaciteten minskar hastigare för batterier med liten flänsdelning, se figur 2.5. Således erfordras avfrostning oftare. Optimering av flänsdelning contra avfrostningsfrekvens är ett ännu inte löst problem. En grundlig studie av parametrar som påverkar påfrostning, t ex temperatur, relativ fuktighet, avfrostningshastighet och effektivitet, batteri- och fläktkaraktistika måste genomföras för att lösa detta problem.

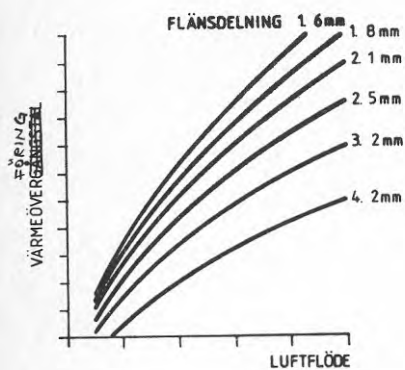


Fig 2.4. Värmeöverföringen i ett torrt lamellbatteri som funktion av luftflödet vid olika flänsdelningar.

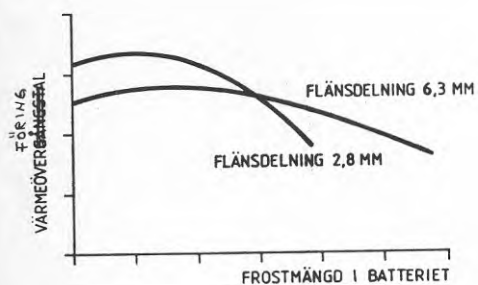


Fig 2.5. Värmeöverföringen i ett lamellbatteri med frostpåslag som funktion av frostmängden vid två olika flänsdelningar.

- Det finns dock fördelar med påfrostning. När vattenånga faller ut som frost på batteriytan kan både ångbildningsvärmets och smältvärmets tillgodogöras. Under ideala förhållanden krävs endast energi för att smälta frosten för att avlägsna den från batteriytan. Efter- som ångbildningsvärmets är ca 5 gånger större än smältvärmets kan en nettoenergivinst erhållas om avfrostningsverkningsgraden är hög. Vid ett laboratorieprov utfört vid +3 °C fann man att kapaciteten hos en värmepump kunde ökas med ca 5 % genom att öka luftfuktigheten. Detta innebär att påfrostning faktiskt kan löna sig om bara frosten kan avlägsnas på ett effektivt och pålitligt sätt.

För vidare studier rekommenderas också det doktorsarbete som utförts av Åke Mälhammar vid Institutionen för Mekanisk Värmeteori och Kylteknik vid KTH i Stockholm.

### 3 INITIERING AV AVFROSTNING

#### 3.1 Allmänt

En effektiv avfrostning kännetecknas av att:

- avfrostningen initieras endast då behov av avfrostning föreligger
- avfrostningen genomförs på kortast möjliga tid med minsta möjliga energiuppföring
- avfrostningen avbryts i det ögonblick all frost har smält och runnit av

Naturligtvis är det mycket svårt att konstruera en avfrostningsautomatik som uppfyller ovan ställda krav över hela arbetsområdet. För att vara helt säkra på att avfrostningen alltid genomförs, måste vissa säkerhetsmarginaler byggas in. Detta innebär i de flesta fall att avfrostning sker oftare och under längre tider än vad som kan anses vara optimalt. I kapitel 4 kommer olika metoder för smältande av frost och is att beskrivas. Här nedan beskrivs några metoder för initiering och avbrytande av avfrostning.

Grovt kan man indela metoder för initiering av avfrostning i två:

- tidsstyrd avfrostning
- behovsstyrd avfrostning

Så gott som alla metoder är en kombination av tidsstyrd och behovsstyrd avfrostning.

Avgörande för huruvida man betraktar en metod som tidsstyrd eller behovsstyrd är om avfrostningen huvudsakligen initieras av en tidsparameter eller en behovsparameter.

#### 3.2 Tidsstyrd avfrostning

Tidsstyrd avfrostning är förhållandevis enkel att genomföra och är även ganska pålitlig. Nackdelen är dock att man inte tar tillräcklig hänsyn till det verkliga behovet, varför onödigt många avfrostningar utförs.

Tidsstyrd avfrostning kan delas upp i många grupper beroende på komplexitet

- ren tidsstyrning
- fix tid - utetemperatur
- variabel tid - utetemperatur
- optimal tidskontroll



### 3.2.1 Ren tidsstyrning [3, 4, 5]

Med ren tidsstyrning avses avfrostning som initieras med ett tidur eller motsvarande. Avfrostningen avbryts efter en förutbestämd tid med samma tidur.

Metoden är enkel och okomplicerad, varför man kan räkna med hög tillförlitlighet om tidsintervallet mellan avfrostningarna är tillräckligt litet. Dock ger metoden alltför många avfrostningar om uteluft är värmekälla.

Vid annan värmekälla, t ex frånluft kan metoden eventuellt vara tillämpbar. Här är värmekällan tillgänglig under hela året med så gott som samma temperatur men varierande fukttinnehåll. Vid anläggningar med kapacitetsreglering av kompressorn uppstår avfrostningsbehov endast vid full kapacitet och området strax under.

Eftersom avfrostningsmetoden normalt är stoppavfrostning vid frånluft som värmekälla, spelar det mindre roll om man får för många avfrostningar (stoppad kompressor) vid minskat värmebehov (kompressor går ändå on-off) eftersom avfrostningen inte behöver någon extra energitillförsel.

Vid andra applikationer, t ex kyl- och frysrum kan en ren tidsavfrostning vara fullt tillräckligt. Även här har man relativt konstanta förhållanden och väljer då att genomföra avfrostningar då klimatet i kyl- respektive frysrummet är så stabilt som möjligt, dvs någon gång under natten.

### 3.2.2 Fix tid - temperatur [3, 4, 5, 6, 7, 8]

Över en viss utetemperatur - normalt 6-8 °C - sker ingen påfrostning på batteriet. Det är således ren förlust att genomföra en avfrostning under sådana förhållanden.

Det vanligaste är här att blockera initiering av avfrostning över en vald utelufttemperatur. Vid lufttemperaturer lägre än den valda initieras avfrostning med jämna tidsintervall. Dessa är normalt 45, 60, 90 eller 120 minuter kompressorgångtid. Eftersom tidsintervallet mellan avfrostningarna är ett fixt värde, kallas metoden för fixt intervall tid/temperatur (FITT) avfrostningskontroll.

Avfrostningen avbryts genom att antingen avkänna temperatur eller tryck. Så länge det finns is som smälter i luftbatteriet är såväl batteritemperatur som köldmedietryck relativt konstanta. Vid varmgasavfrostning, såväl reversering som bypass, sker en kraftig temperaturhöjning när isen smält av batteriet. Typiska värden för avbrytande av avfrostning kan vara 18-25 °C batteritemperatur. Om avfrostning avbryts via köldmedietrycket i batteriet sker det vid tryck som motsvarar 18-25 °C kondenseringstemperatur.

Om förångaren har ett utsatt läge och det blåser kallt, är det inte helt säkert att man uppnår de nämnda temperaturerna trots att batteriet är avfrostat. I många avfrostningssystem har man därför maximerat avfrostningstiden. Typiska värden kan vara 10 minuter.

Jämfört med ren tidsstyrning ger fixt intervall tid/temperatur avfrostning huvudsakligen två fördelar.

- Avfrostning sker inte över en viss lufttemperatur
- Avfrostningen avbryts på indikation att batteriet är avfrostat

### 3.2.3 Variabel tid - temperatur [4, 7]

Vid användning av FIIT avfrostningskontroll måste det fixa intervallet väljas så litet att man klarar alla påfrostningsförhållanden. Detta innebär att onödigt många avfrostningar initieras vid låga utelufttemperaturer.

För att få en bättre anpassning till utelufttemperaturen finns system som varierar tidsintervallet mellan avfrostningarna. Dessa system benämns som variabelt intervall tid/temperatur (VIIT) avfrostningskontroll. Här mäts uteluft - temperaturen och det uppmätta värdet bestämmer intervallet mellan två avfrostningar. Således sker avfrostningar med VIIT kontroll med fixt tidsintervall om utelufttemperaturen är konstant. Tidsintervallet kan ligga i området 60-600 minuter. Vid installation med VIIT avfrostningskontroll ställer man in ett minsta avfrostningsintervall, t ex 90 minuter och VIIT-kontrollen beräknar verkligt intervall enligt nedanstående samband:

Verkligt intervall = M x minsta avfrostningsintervall, där

M = en faktor som bestäms av en funktion av utelufttemperaturen.  $M > 1$

för att bestämma när nästa avfrostning skall initieras.

Figur 3.1 visar faktorn M som funktion av utelufttemperaturen för två olika VITT avfrostningskontroller. VITT-A kontrollen använder två kurvor. Vid utelufttemperaturer mellan 0 och +2,2 °C är variabeln  $M = T$ , så tiden mellan två avfrostningar är den minimitid som installatören ställt in, t ex 90 minuter. Vid högre eller lägre temperaturer är M större än ett, vilket innebär att tiden mellan avfrostningar ökar från t ex 90 till ca 600 minuter. Antalet avfrostningar med VITT-A kontroll vid olika temperaturer har visat sig vara proportionellt mot det antal som man kan förvänta sig vid en behovsstyrd avfrostning.

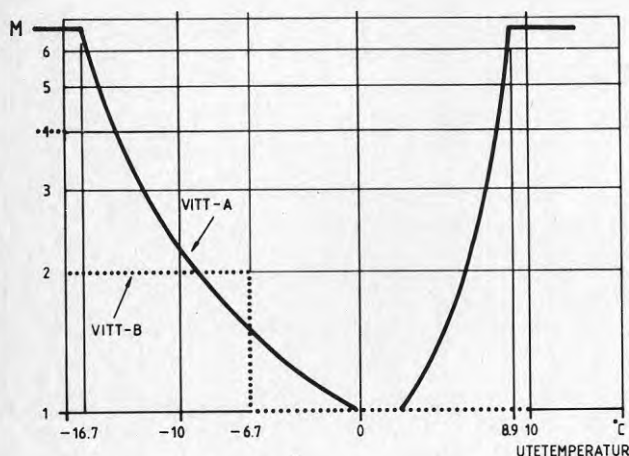


Fig 3.1. Faktor M som funktion av utetemperatur för två olika VITT-strategier. M multiplicerat med inställt minsta avfrostningsintervall bestämmer avfrostningsintervallet vid olika utetemperaturer.

VITT-B kontrollen är betydligt enklare än VITT-A kontrollen. Här ökas tiden mellan avfrostningar stegvis. Ned till -6,7 °C är  $M = 1$ . Från -6,7 till -17,8 är  $M = 2$  och under -17,8 är  $M = 4$ . Vid 90 minuter som minsta tid mellan avfrostningar blir avfrostningsintervallen 90, 180 respektive 360 minuter för de tre olika temperaturområdena.

Vid en jämförelse [4] mellan avfrostningsmetoder har man definierat ett "delta" som

$$\text{Delta} = (\text{årlig energiförbrukning} \overset{\text{för avfrostning}}{\text{med FITT-kontroll}}) - (\text{årlig energiförbrukning med optimal behovsstyrd kontroll})$$

I den speciella undersökningen [4] har man kommit till det resultatet att den bästa VITT-strategien reducerar delta med mindre än 40 %.

Anledningen till det låga värdet är att VITT-kontrollen inte tar hänsyn till förändringar i luftens fuktinnehåll. Därför kommer ett antal avfrostningar att utföras när verkligt behov egentligen inte föreligger.

### 3.3 Behovsstyrd avfrostning

Behovsstyrd avfrostning innebär att avfrostning endast initieras då ett eller flera villkor för start av avfrostning är uppfyllda.

Med utgångspunkt från olika sätt att registrera att avfrostningsbehov föreligger kan olika initieringsmetoder definieras:

- temperatur/temperatur
- tryck/temperatur
- tryckfall
- strömökning fläktmotor
- optisk eller elektrisk detektering

Nedan kommer olika initieringsmetoder att beskrivas och även olika metoder att avsluta avfrostning.

#### 3.3.1 Temperatur luft - temperatur batteri [3, 4, 5, 6, 9, 10, 11]

En god indikation på att avfrostningsbehov föreligger är differensen mellan temperaturen på inkommande luft och batteriyta vid utloppet ur batteriet. Vid påfrostning ökar differensen beroende på mindre luftflöde genom batteriet, som medför en sjunkande förångningstemperatur. Vid en bestämd differens startar avfrostningen.

Denna differens bör vara beroende av lufttemperaturen, ty vid sjunkande lufttemperatur minskar kyleffekten, varför det krävs en kraftigare påfrostning för att uppnå samma differens som vid en högre lufttemperatur. Genom att koppla differensens storlek till lufttemperaturen kan avfrostning initieras vid i stort sett samma grad av påfrostning oberoende av lufttemperatur.

Avslutning av avfrostningen sker lämpligen via temperaturen uppmätt på batteriytan.

Det är här av största vikt att temperaturgivaren på batteriet är placerad på en representativ plats och att temperaturdifferensen för initiering av avfrostning är rätt vald. I andra fall finns risk för att avfrostning initieras för tidigt eller att avfrostning avbryts innan batteriet är fullständigt avfrostat.

### 3.3.2 Tryck - temperatur [5]

En annan metod för att initiera avfrostning är att låta avfrostningen startas vid ett förinställt förångningstryck. Metoden förutsätter att luftbatteriet har dimensionerats så att förhållandevis lång tid kan förflyta mellan avfrostningar. Detta är under förutsättning att man valt ett fixt värde för initiering av avfrostning. Kan detta värde göras beroende av lufttemperaturen kan även här initiering av avfrostning ske vid i stort sett samma grad av påfrostning oberoende av lufttemperatur.

Beroende på typ av avfrostning kan avfrostningen avslutas på olika sätt. I något fall avslutas avfrostningen efter viss tid, i andra fall avslutas avfrostningen då batteriytan uppnått viss temperatur.

### 3.3.3 Tryckfall över luftbatteri

Genom att mäta tryckfallet över luftbatteriet (i de flesta fall förångaren) kan avfrostning initieras. Tryckfallet över förångaren är en mycket god indikation på graden av påfrostning. Det finns olika sätt att registrera tryckfallsförändringar över luftbatteriet. Dels kan man direkt mäta tryckdifferensen med en differenstryckmätning och dels kan man indirekt registrera att en ökning av tryckfallet skett.

#### 3.3.3.1 Differenstryckmätning [2, 3, 4, 5, 11, 12, 13, 14, 15]

En differenstryckmätning ger direkt besked om att batteriet är igensatt av med största sannolikhet frost. För att inte erhålla för täta avfrostningar måste börvärdet för start av avfrostning sättas förhållandevis högt. Detta kan föra med sig att batteriet vid snedfördelning av köldmedium kan vara delvis igenfrostat utan att avfrostning initieras. Vidare är en dylik avfrostningskontroll känslig för påverkan av t ex tryckstötter under blåsiga förhållanden. Detta brukar vanligtvis avhjälpas med att det krävs att tryckdifferensen för initiering av avfrostning skall ha registrerats under en viss tid för att avfrostning skall startas.



### 3.3.3.2 Indirekt differenstrycksmätning [12]

Med indirekt metod avses här att man inte utför någon tryckmätning utan den tryckdifferens som uppstår vid påfrostning registreras på annat sätt. En metod är att känna av ett luftflöde i en kanal som står i förbindelse med kammaren före och efter batteriet. Vid påfrostning kommer luftflödet i denna bypasskanal att öka. I kanalen placeras en givare som t ex förändrar sin resistans med en förändring av luftflödet. Denna metod är mycket tillämpbar vid luftbatterier där avfrostningen genomförs via stoppavfrostning, t ex frånluftsvärmepumpar. Här kan samma givare även tjänstgöra med signal för avbrytande av avfrostningen, eftersom frånluftsfläkten ej stoppas under avfrostningen.

I [12] beskrivs en annan metod att initiera avfrostning med hjälp av indirekt differenstryckmätning.

Här används en fluidistor för att registrera när luftbatteriet blockeras till den grad att avfrostning behöver initieras.

Fluidistorn ansluts med sin ingång till tryckkammaren före flänsbatteriet. Signalingången ansluts till utrymmet efter luftbatteriet.

Med hjälp av en transistorbrygga med givare i fluidistorns utgångar kan avfrostning initieras.

Den beskrivna avfrostningskontrollen var framtagen som prototyp för frysrum och motsvarande.

### 3.3.4 Effektökning fläktmotor [5]

Denna metod baseras på att känna det ökade effektbehovet till motorn till en propellerfläkt när tryckfallet över batteriet ökar på grund av påfrostning. Avfrostning initieras då strömmen till motorn överstiger ett bestämt värde. Metoden har två betydande fördelar. Dels är man oberoende av lufttemperaturer och dels kan fläkten förses med en mindre motor som tillåts arbeta mera effektivt och då har ett tillförlitligt skydd mot överbelastning vid påfrostning.

Vid någon installation har försök gjorts med att styra avfrostningsbehovet efter den fasvinkelförskjutning som uppstår vid ändrad belastning på fläktmotorn.

### 3.3.5 Elektronisk eller optisk detektering [5, 9, 10, 14]

I [9, 10] beskrivs en metod att utnyttja förändringen i kapacitans mellan två parallella plattor, där den ena plattan är i termisk kontakt med batteriytan och den andra är elektriskt isolerad från den andra plattan och luftbatteriet. Den andra plattan var försedd med ett lager av ett material med hög dielektricitetskonstant. Vid frostpåslag fås en kraftig förändring av kapacitansen, vilket kan initiera avfrostning. Vissa problem med inläckning av vatten i givaren erhöles vid de prov som utfördes enligt [9, 10].

Med hjälp av fotoceller kan påfrostning i ett lamellbatteri detekteras. Här placeras givare och mottagare så att ljusstrålen går fritt genom batteriet om ingen frost finns. Vid påfrostning försvagas ljusstrålen och blir till sist helt blockerad, varvid avfrostning initieras.

Metoden har två avgörande nackdelar. Dels måste detektorn placeras på ett representativt ställe för att optimal funktion skall uppnås. Dels är detektorn mycket känslig för störningar i form av försmutsning. Enligt [14] har en anläggning gått på ständig avfrostning på grund av insekter som stört detektorn.

## 4 AVFROSTNINGSMETODER

### 4.1 Allmänt

I litteraturen behandlas ett stort antal olika metoder för avfrostning av luftberörda kylbatterier. Metoderna är mer eller mindre vanliga, beroende på hur man bedömer tillförlitlighet, verkningsgrad och kostnad. Metoderna kan indelas i olika grupper beroende av hur avfrostningen genomförs. Det vanligaste är avfrostning med hjälp av värmetillförsel men även mekanisk avfrostning finns beskriven.

### 4.2 Avfrostning genom tillförsel av värme

Värme för avfrostning kan tillföras via köldmedium, köldbärare, värmestavar i batteriet, varmluft eller begjutning med vatten.

#### 4.2.1 Avfrostning med köldmedium

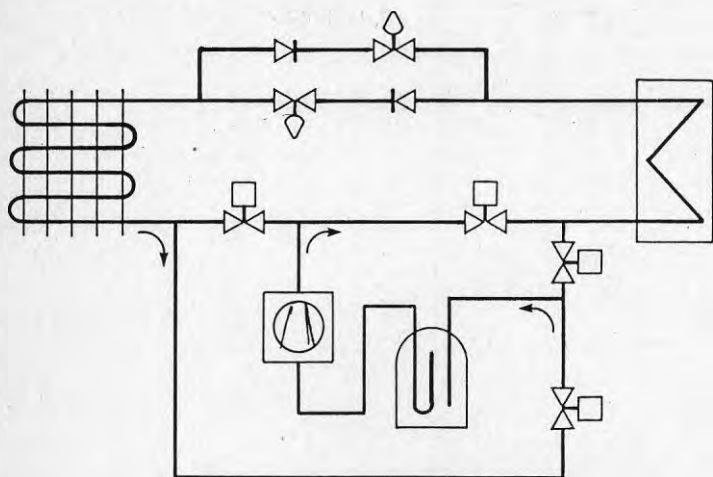
Avfrostning med hjälp av köldmedium kan ske via reversering av processen, bypass av kondensorn eller med stoppad kompressor och cirkulation av varmt köldmedium.

##### 4.2.1.1 Reversering av processen [2, 3, 5, 6, 11, 13, 14, 16, 17, 18]

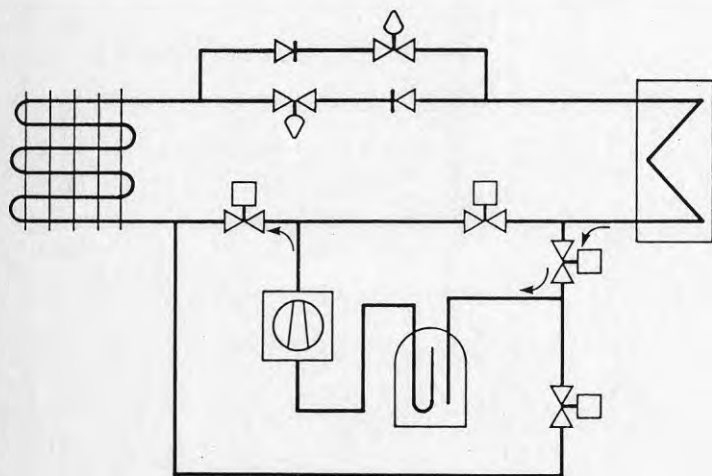
Genom att med ett ventilarrangemang reversera processen - alltså låta kondensorn och förångaren byta funktion - kan en mycket snabb och effektiv avfrostning uppnås. Förångarfläkten stoppas och kondensering sker vid låg temperatur i utomhusbatterier medan förångning sker vid hög temperatur i inomhusväxlaren. Detta leder till en viss stressituation för kompressorn, som beskrivs längre fram.

Ventilarrangemanget kan vara fyra magnetventiler eller en fyrvägsventil. I figur 4.1 visas schematiskt en koppling med fyra magnetventiler. Arrangemanget ger god driftsäkerhet, mycket liten risk för läckage och optimalt värmeutbyte mellan hög- och lågtryckssida. Dock blir kostnaden för fyra ventiler och styrning av dessa förhållandevis hög i små anläggningar.





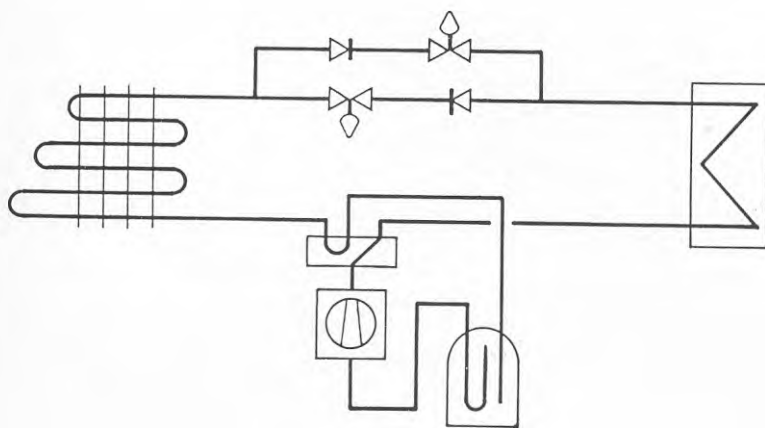
Figur 4.1a. Principschema över värmepump med fyra magnetventiler för reversering av processen. Pilarna visar köldmediets väg vid normaldrift.



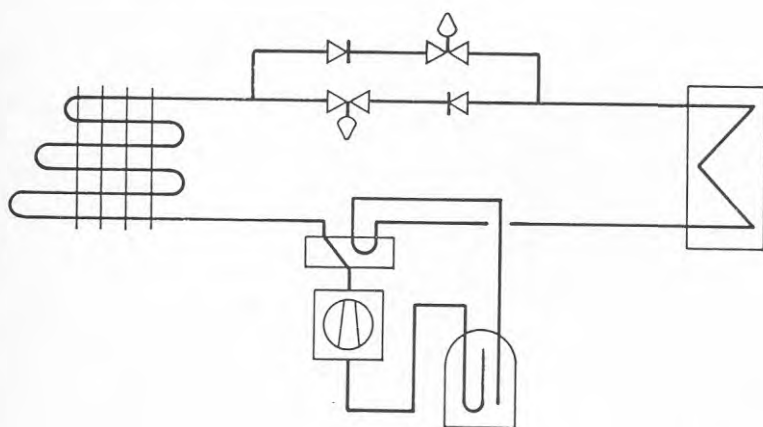
Figur 4.1b. Samma som i fig 4.1a men här visar pilarna köldmediets flödesriktning vid avfrostning.

En betydligt vanligare reverseringsmetod är att använda en så kallad fyrvägsventil. En sådan ventil har samma funktion som fyra magnetventiler. I figur 4.2 visas ett principschema för en värmepump med fyrvägsventil vid normaldrift respektive avfrostning.

Fördelen med fyrvägsventil är att det blir en förhållandevis billig lösning och den kräver inte så mycket utrymme som alternativet fyra magnetventiler. I gengäld finns vissa nackdelar med fyrvägsventilen.

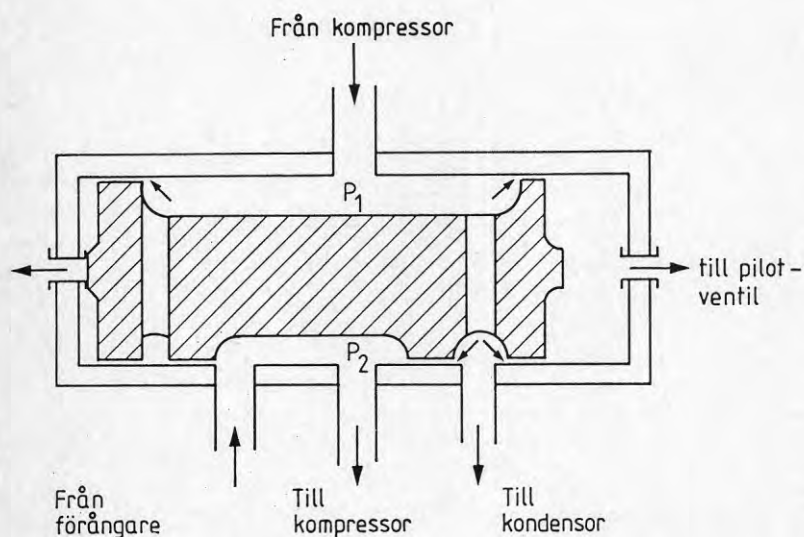


Figur 4.2a. Principschema över värmepump med fyrvägsventil. Normaldrift.



Figur 4.2b. Samma som i figur 4.1a men här har reverseringsventilen (fyrvägsventilen) ändrat köldmedieflödets riktning för avfrostning.

I figur 4.3 visas hur en fyrvägsventil kan vara uppbyggd. Som framgår av figuren leds såväl högtryckt hetgas som lågtryckt suggas genom ventilen. Detta innebär dels värmeförluster från hög - till lågtryckssida och dels risk för läckage av köldmedium från hög - till lågtryckssida. I ett arbete [18] visas att värmeförluster och läckage kan innebära en kapacitetsreducering på upp till 11 %. I ett annat arbete [2] pekar man på förluster av samma storleksordning.



Figur 4.3. En fyrvägsventil i genomsnitt. De små pilarna indikerar möjliga läckageställen vid normaldrift.

Förluster i fyrvägsventilen innebär givetvis en försämrad värmefaktor och i värmepumpstekniken där det primära är att värma till så låg kostnad som möjligt kan det vara svårt att acceptera förluster som är så stora som här påvisats.

Varmgasavfrostning med reversering är annars en mycket effektiv avfrostningsmetod. Den är snabb - normalt 3-4 minuter - och då värme tillförs via köldmediet blir förluster till omgivningen förhållandevis små.

En nackdel är den stressituation som uppstår då avfrostningen påbörjas. När fyrvägsventilen eller ventilarangemanget skiftar, blir utomhusbatteriets kondensor och inomhusväxlaren förångare. Temperaturen kan då vara 40 °C i inomhusväxlaren - nu förångare - och -10 °C i utomhusbatteriet - nu kondensor. En hastig kylning av förångaren är omöjlig, eftersom cirkulationspumpen går och man jobbar mot hela värmekapaciteten i radiatorsystemet. En hastig uppvärmning av kondensorn hindras av värmekapaciteten i kondensorn och frosten. Det innebär att man inte har någon tryckdifferens från kondensor till förångare.

Någon transport av kondenserat köldmedium från kondensor till förångaren via expansionsventil sker inte förrän kompressorn pumpat ner trycket i förångaren till ett mycket lågt förångningstryck. Köldmediefyllningen transporteras snabbt till kondensorn och förblir där medan det ökande vätskeflödet (när tryckdifferensen ökar) förångas i inloppet till förångaren och sedan överhettas till en temperatur nära vattentemperaturen från värmesystemet. Den överhettade ångan förångar snabbt det köldmedium som kan finnas i vätskeavskiljaren och så gott som all fri vätska i systemet kommer i den kalla kondensorn.

Den hastiga trycksänkningen på kompressorns sug sida för med sig en kraftig skumning i oljeträget då det i oljan lösta köldmediet förångas. Oljepumpen tappar sin sugförmåga och större delen av innehållet i oljeträget förs med hjälp av kompressorn till kondensorn. I detta moment kan kompressorn mycket väl arbeta med ett mycket lågt massflöde och därmed dålig kylning, utan oljecirkulation och med det mesta av oljan i oljeträget borta. Detta är det farligaste driftstillståndet och det kan pågå under någon minut under varje avfrostningscykel.

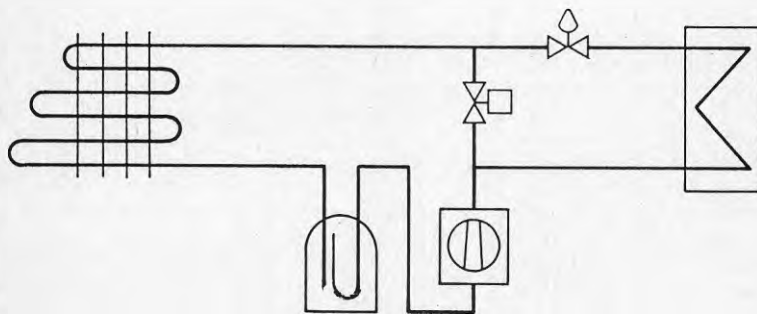
När luftbatteriet avfrostas och blir varmare, stiger köldmedietrycket och massflödet ökar. Men den höga temperaturen som hålls uppe i förångaren betyder att lågtryckssidan är ganska torr med påföljden att vätskeinnehållet i kondensorn förblir stort. När avfrostningen avslutas och systemet skiftar över till uppvärmning, är förångaren varm (luftbatteriet) och trycket reduceras snabbt på grund av det höga flödet genom kompressorn. Vätskeinnehållet i kylbatteriet kokar explosionsartat och kokar över till vätskeavskiljaren. Vätska sugs via oljereturen tillbaka till kompressorns oljeträg. Då det som sugs tillbaka är rikt på köldmedium, kommer smörjförmågan att endast långsamt återställas.

Varmgasavfrostning kan genomföras med mindre påfrestande om strypningen för kyl drift bypassas vid avfrostning, så att köldmediumvätska kan transporteras till inomhusväxlaren utan att trycket på lågtryckssidan behöver sänkas alltför drastiskt. Det finns två metoder att åstadkomma detta. I det ena fallet används en magnetventil och i det andra en automatisk strypventil. Härigenom kommer avfrostningsprocessen att avkortas på grund av det högre massflödet.

#### 4.2.1.2 Bypass av kondensorn [2, 9, 10, 14]

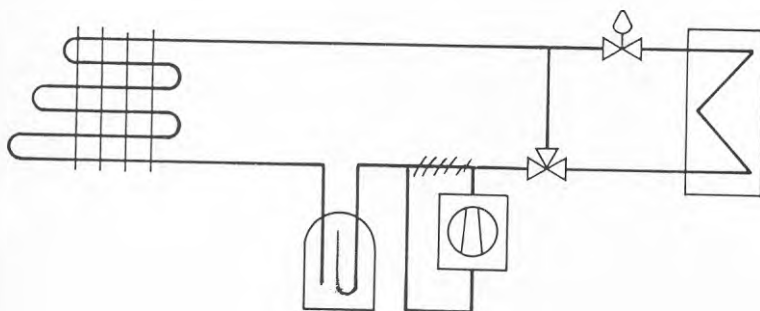
Bypass av kondensorn är en metod som är vanlig i såväl kommersiella som industriella applikationer.

I den enklaste formen leds hetgasen från kompressorn direkt till luftbatteriet. Se figur 4.4. Köldmediet kyls och kondenserar så att värme för avfrostning tillförs på samma sätt som vid reversering av processen. Köldmedium förs till luftbatteriet via en magnetventil. Vid bypass av kondensorn måste kompressorn skyddas mot det köldmedium som kondenserar i luftbatteriet. Olika typer av vätskeavskiljare blir uppsamlare av köldmediet i vätskefas. Återföringshålet i det U-formade sugröret i vätskeavskiljaren ser till så att vätskan normalt kan föras till kompressorn på ett säkert sätt.



Figur 4.4. Principschema för värmepump med bypass-avfrostning.

När bypassventilen öppnar vid starten av en avfrostning blir kompressorns utlopp plötsligt anslutet till luftbatteriet, där köldmediet snabbt kondenserar. Detta resulterar i ett lågt utloppstryck. Eftersom inomhusväxlaren fortfarande har högtryck kommer köldmediet i den att strömma tillbaka i bypassledningen. För att hindra detta kan man använda en trevägsventil som styr köldmediet från kompressorn antingen till inomhusväxlaren eller till bypassledningen. Se figur 4.5.



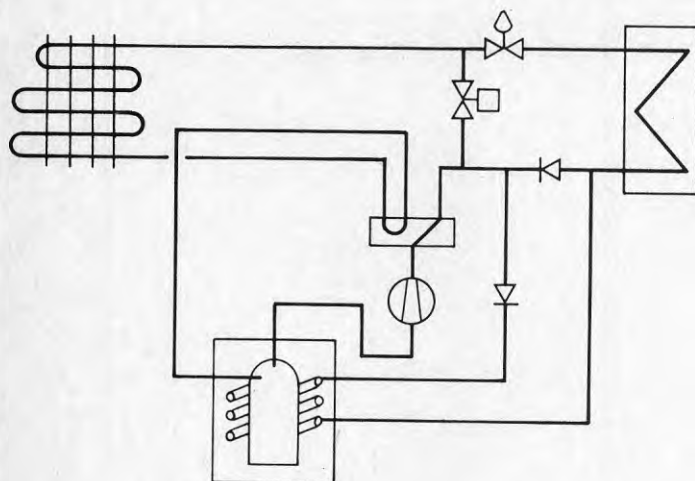
Figur 4.5. Principschema för värmepump med bypass-  
avfrostning med trevägsventil.

Problemet med bypassavfrostning är att sugtrycket tenderar att falla till köldmediets ångtryck vid  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Detta får avfrostningsprocessen att gå långsamt. För att öka sugtrycket och därmed köldmedieflödet och avfrostningshastigheten används ofta någon slags "återförångare" för att förångas köldmedium i vätskeytan från vätskeavskiljaren och få med det i cirkulationen. Avfrostning med reversering kan betraktas som ett specialfall av bypassavfrostning, där inomhusväxlaren tjänstgör som "återförångare".

#### 4.2.1.3 Thermobank [2, 14]

Vid avfrostning med det så kallade Thermobanksystemet används en vattentank som i sig har en vätskeavskiljare. I vattentanken lagras det värme som behövs under en avfrostning. I figur 4.6 visas en lätt modifierad version av Thermobanksystemet för värmepumpdrift. Här finns även reverseringsventil och backventiler för kyl drift sommardrift. Det förutsätter nästan ett luftbatteri även inomhus.

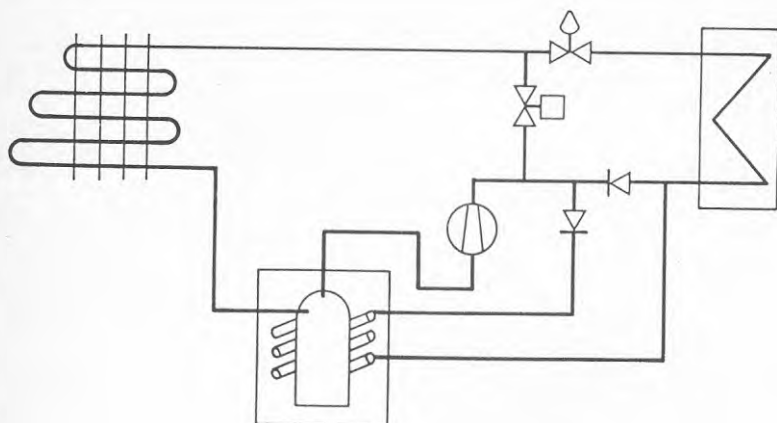




Figur 4.6. Principschema för värmepump med thermobanksystemet för avfrostning. Värmepumpen har här även reverseringsventil och backventiler för kyl drift sommartid.

Under värmedrift passerar hetgasen från kompressorn genom en värmeväxlare i vattentanken. Värme avges till vattnet i tanken. Därefter strömmar köldmediet genom kondensator och förångare på vanligt sätt. Innan köldmediet sugas in i kompressorn passerar det genom vätskeavskiljaren på ett sådant sätt att ett minimum av värme tas upp från vattenlagret.

Under avfrostning leds hetgasen direkt till utomhusväxlaren där den kondenserar. Köldmedievätskan faller till botten i återförångaren (vätskeavskiljaren), upp tar värme, förångas och sugas in i kompressorn som ånga. I figur 4.7 visas Thermobanksystemet för en värmepump som inte är avsedd för kyl drift. Här kan man utelämna reverseringsventil och backventiler.



Figur 4.7. Samma som i figur 4.6 men utan möjlighet för kyl drift.

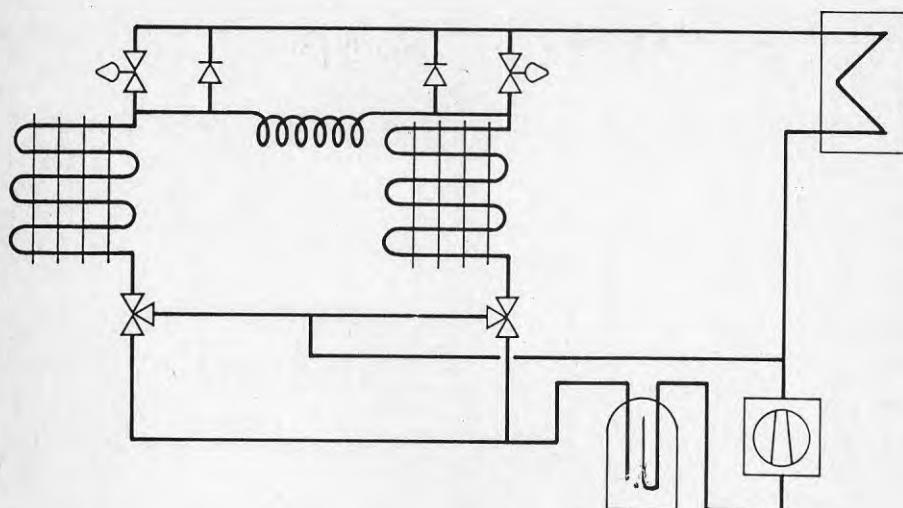
En nackdel med Thermobank är att det alltid är en del av cirkulationskretsen, även när systemet arbetar under förhållanden där ingen påfrostning sker. Det resulterar därför i onödigt tryckfall och värmeförlust. Det innebär också en större volym, kostnad och komplexitet för systemet.

En annan nackdel är att det värme som tas från hetgasen till vattentanken är högvärdigt värme (högtemperatur). En bättre lösning vore att använda köldmedievätskan efter kondensorn för värmning av vattentanken. Detta värme tas ofta inte tillvara på något annat sätt. I vissa applikationer värms tilluft eller tappvarmvatten förvärms. Kondensatvärmets är tillgängligt i temperaturer från 20 till 50°C beroende på driftstillstånd. Tryckfallet på köldmediesidan genom värmeväxlaren påverkar inte värmepumpens prestanda.

#### 4.2.1.4 Parallella förångare [2, 14]

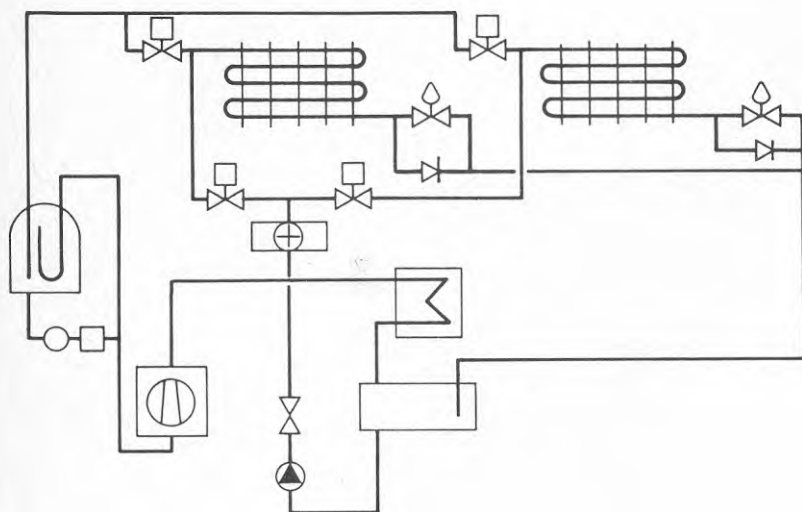
Genom att arrangera två förångare parallellt enligt fig 4.8 kan en förångare avfrostas med hetgas medan den andra fungerar som "återförångare". Då nödvändig värmeeffekt för en snabb avfrostning är mycket större än avgiven effekt vid normala förhållanden, kan den här metoden vara tveksam med avseende på avfrostningstiden. Den största nackdelen är dock kostnaden för nödvändiga ventiler.





Figur 4.8. Principschema för värmepump med två parallella förångare. Under avfrostning avfrostas den ena förångaren med hetgas medan den andra tjänstgör som "återförångare".

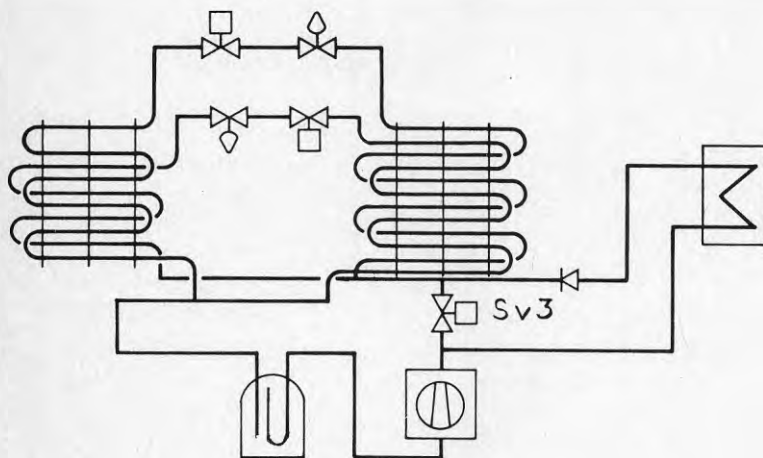
En patentsökt metod [19] som ger en säker avfrostning av parallella förångare visas i figur 4.9. Av princip-schemat i figuren framgår att vid avfrostning serie-kopplas de båda förångarna på ett sådant sätt att den förångare som skall avfrostas förses med varmt kondensat från köldmediebehållaren med hjälp av en pump. Kondensatet kan värmas ytterligare med en värmare. Det nu underkylda kondensatet blandas med varmt kondensat innan det leds till expansionsventilen i den förångare som inte avfrostas. Beroende på köldmedieflöde i kompressorkrets contra pumpkrets kan viss del av det underkylda kondensatet ledas tillbaka till köldmediebehållaren. Även denna metod för med sig ett stort antal magnetventiler samt en pumpkrets. Metoden torde då ej vara lönsam i mindre värmepumpanläggningar.



Figur 4.9. Principschema för värmepump med två parallella förångare med pumpcirkulation av varmt kondensat till det batteri som skall avfrostas.

En annan patentsökt metod visas i figur 4.10. Som framgår av figuren leds varmt kondensat till båda förångarna där det underkyls innan kondensatet från den ena förångaren leds till expansionsventilen för den andra förångaren och vice versa.

Vid måttliga påfrostningar stängs en av magnetventilerna och den förångare som blir avstängd avfrostas med kondensat, som sedan leds till den andra förångaren.



Figur 4.10. Principschema för värmepump med två parallella förångare där avfrostning sker primärt med varmt kondensat och sekundärt med hetgas.

Avfrostningen styrs via tidur och termostater. Skulle den förångare som avfrostas inte ha uppnått en temperatur av  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , då tiden gått ut för en kondensatavfrostning, initieras en hetgasavfrostning via magnetventil sv3. Då leds hetgas till förångaren och en snabb avfrostning erhålls.

Metoden förefaller mycket intressant, men har i skrivande stund ej utvärderats.

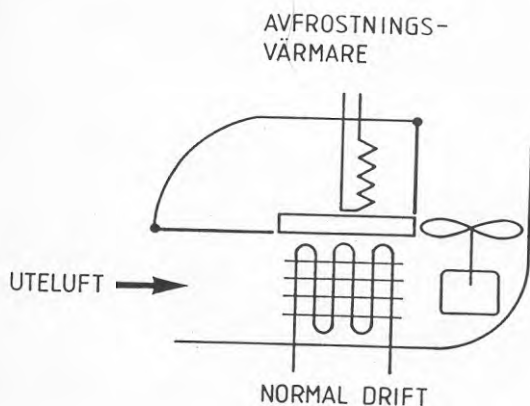
#### 4.2.2 Elektrisk avfrostning

Elektrisk avfrostning av luftbatterierna vid såväl indirekt kylning som vid direktexpansion kan ske på åtminstone tre sätt. Dessa är konvektion, strålning eller ledning.

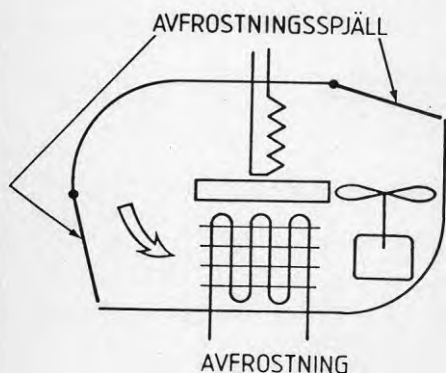
## 4.2.2.1 Konvektion [2, 16]

Genom att värma luften som omger luftbatteriet kan frosten smältas. Här måste spjäll användas för att minimera värmeförlusterna. I figur 4.11 visas principen för denna metod.

Metoden används ofta i samband med frysrum. Den är dock behäftad med stora förluster, då den cirkulerande luften förlorar värme till alla ytor i förångarutrymmet. Dessutom är spjällen sällan helt täta, varför man får förluster även via läckage av varm luft.



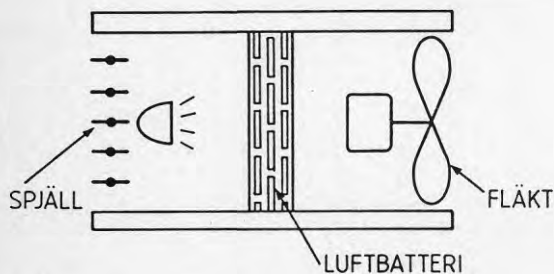
Figur 4.11a. Principbild av arrangemang för avfrostning av luftbatteri med varm luft. Normaldrift.



Figur 4.11b. Samma som figur 4.11a men nu har spjällen stängt och varmluft cirkuleras över batteriet för smältning av frosen.

#### 4.2.2.2 Strålning [2, 16]

Här används en infravärmare som fokuseras på det påfrostade batteriet. Se figur 4.12. En lämplig värmare behöver hög effekt och måste kunna utstå påfrestningar vid låga utomhustemperaturer. Även här behövs spjäll för att minska värmeförlusterna till omgivningen.



Figur 4.12. Arrangemang med infravärmare för avfrostning av luftbatteri.

#### 4.2.2.3 Ledning [2, 5, 14, 15, 16, 17, 18, 19]

Elektrisk avfrostning kan också ske med ledning av värme från elektriska värmestavar. Dessa är då instuckna i batteriet med god termisk kontakt till flänsarna. Det kan ske på olika sätt:

- inbyggda i flänsarna
- inkörda i köldmedierören
- i rör genom flänsarna parallella med köldmedierören
- parallella med flänsarna och i kontakt med köldmedierören

De två första av dessa kan vara besvärliga att genomföra praktiskt, medan de två andra används. För att säkerställa en snabb och effektiv avfrostning måste värmelementen fördelas väl i batteriet. Det har visat sig att elektrisk avfrostning med ledning har blivit såväl billigt som pålitligt i många applikationer.

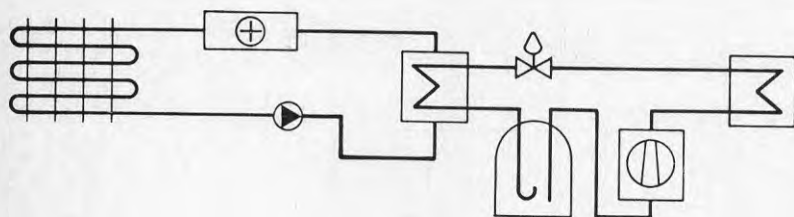
I det tidigare nämnda arbetet [18] visas att elektrisk avfrostning till och med kan bli mindre energikrävande än avfrostning med reverseringsventil. Med en läckande reverseringsventil kan förlusterna under normaldrift bli så stora att vinsten vid avfrostning uppvägs.

#### 4.2.3 Avfrostning med köldbärare och luft

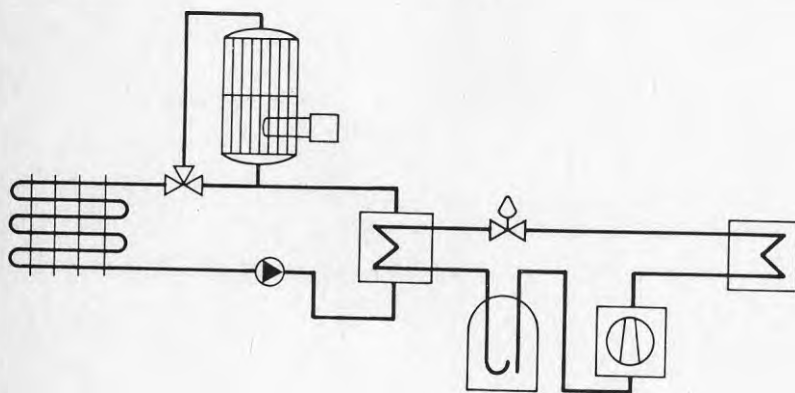
I indirekta system kan värme för avfrostning tillföras med hjälp av varm köldbärare. I direkta system där värmekällan är förhållandevis varm, t ex frånluft, kan avfrostning ske genom att helt enkelt stänga av kompressorn, så kallad stoppavfrostning.

##### 4.2.3.1 Köldbäraryavfrostning [2, 13]

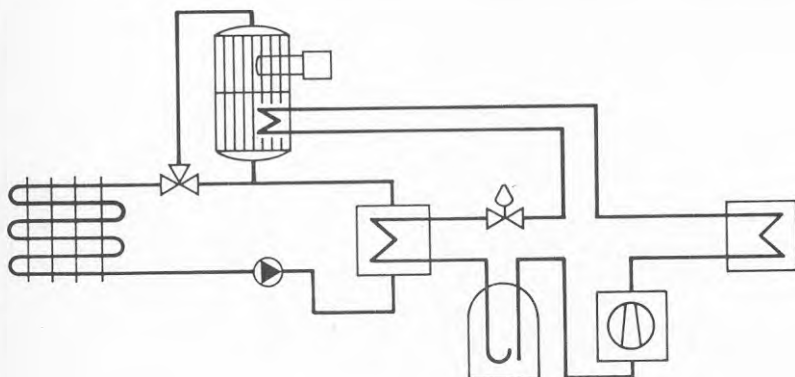
Vid indirekta system kan luftbatteriet avfrostas med varm köldbärare. Köldbäraren värms direkt i cirkulationskretsen med elpatron med hög effekt (figur 4.13) eller via en bufferttank laddad med varm köldbärare (figur 4.14). Bufferttanken förbileds vid normaldrift. Köldbäraren i tanken kan värmas med elpatron eller med varmt köldmediekondensat (jämför 4.2.1.3)). I figur 4.15 visas ett exempel på kopplingsschema där köldbäraren i bufferttanken får sitt värme från underkylning av köldmediekondensatet.



Figur 4.13. Principschema för värmepump med elpatron för avfrostning med varm köldbärare.



Figur 4.14. Principschema för värmepump med buffert-tank med varm köldbärare för avfrostning.



Figur 4.15. Samma som i figur 4.14 men här värms köldbäraren med varmt kondensat.

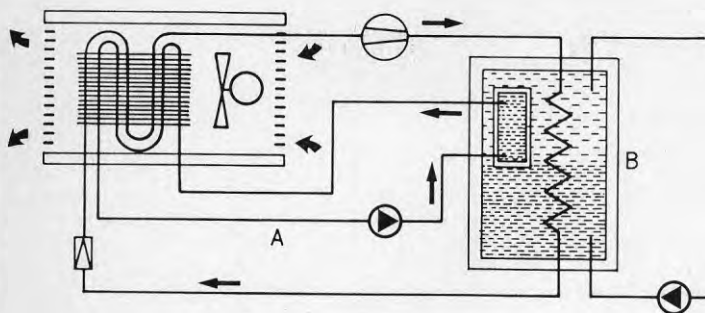
Erfarenheter från avfrostning med köldbärare pekar på vikten av att energiinnehållet i bufferttanken är tillräckligt för att värma upp rörsystemet fram till luftbatterierna, värma batterierna och smälta isen. Med hög temperatur i tanken fås en kraftig effekt på luftbatterierna. Den kan vara så kraftig att den påfrusna isen inte behöver smälta helt utan delar av den faller av då skiktet närmast flänsar och rör hastigt smälts.

Då köldbärartanken sällan kan värmas till högre temperatur än 40 till 45 °C vid värmning med köldmediekondensat, behövs större volym eller eltillsats jämfört med eluppvärmning.

Det är också viktigt att temperaturskiktningen i köldbärartanken blir så god som möjligt.

En metod för köldbäraravfrostning av luftbatteri med direktförångning beskrivs i [13]. Parallellt med köldmedierören finns i batteriet rör där frostskyddad vätska kan cirkuleras. Denna cirkulationskrets består dessutom av en pump och en värmeväxling till vattnet i en bufferttank. Se figur 4.16.





Figur 4.16. Köldbäraravfrostning av direktförångningsbatteri med hjälp av speciell avfrostningskrets där köldbäraren värms i en bufferttank.

Vid avfrostning stoppas kompressorer och fläkt och varm köldbärare cirkuleras till dess att avfrostningen fullbordats.

Fördelar med metoden är:

- snabb avfrostning
- inga förluster vid normaldrift (jämför 4.2.1.1. Reversering av processen)
- skonsammare för kompressor (jämför 4.2.1.1)
- värme till avfrostning kan produceras med värmefaktor 2-2,5

Nackdel är högre kostnad för värmepumpsystemet.

#### 4.2.3.2 Stoppavfrostning

Är värmekällan tillräckligt varm, räcker det som regel att stoppa kompressorn och låta den varma luften smälta frostlagret.

Detta är främst tillämpligt vid frånluftsvärmepumpar men även vid uteluft som värmekälla kan metoden vara användbar. Det gäller dock att lufttemperaturen är tillräckligt många grader över noll så att inte orimligt lång avfrostningstid fås.

### 4.3 Övriga metoder

Det finns ytterligare ett antal olika metoder för att avfrosta luftbatterier. Dessa är dock så udda och knappast tillämpliga i värmepumpstekniken, att de endast kortfattat presenteras här.

#### 4.3.1 Vattenavfrostning [2]

Genom att strila varmt vatten, glykol-vattenblandning eller brine, över ett batteri kan man få frosten att smälta. Tillämpningsområde - kylrum och motsvarande.

#### 4.3.2 Mekanisk skrapning [2, 5, 10]

En av de billigaste metoderna (energimässigt) för avfrostning är att skrapa av isen. Detta är knappast tillämpligt för värmepumpar i dag.

Man skulle dock få en mycket snabb och energieffektiv avfrostning om någon intern avfrostningsmetod kunde kombineras med mekanisk skrapning. Det förefaller dock tveksamt att få lönsamhet i en mekanisk utrustning där man ställer höga krav på att den fungerar i alla väder. Antingen blir den väldigt dyr eller kräver stort underhåll.

### 4.4 Andra åtgärder för att underlätta avfrostning

En förutsättning för god avfrostningseffektivitet ställer inte bara krav på sättet att smälta isen utan även på faktorer som kan minska påfrostning och hindra följdverkningar av att den frost som smälter fryser igen.

#### 4.4.1 Installation av värmepumpen

Luftbatteriet skall placeras så att ett minimum av regn och snö dras genom batteriet. Utloppet skall också vara utformat så att det inte kan blockeras av snö. I många områden betyder det att ett utomhus placerat luftbatteri måste placeras 0,5 till 1 m över markytan.

#### 4.4.2 Dränering

Smältvattnet vid en avfrostning måste kunna rinna undan. Det innebär att vid utomhusplacering av luftbatteriet måste man oftast värma droppskålen så att man inte får en uppbyggnad av is under batteriet.

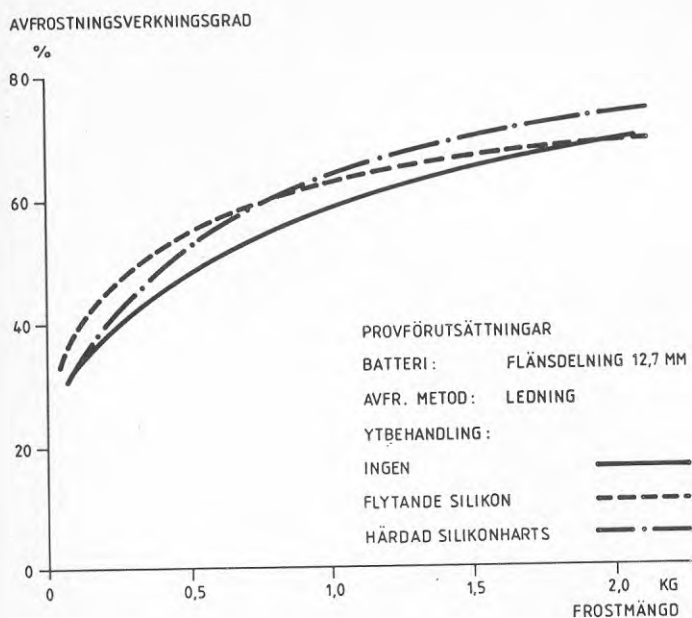
#### 4.4.3 Spjäll

Ett uteluftbatteri bör i möjligaste mån skärmas av från uteluften vid avfrostning. Detta för att minska värmeförlusterna och därigenom få en så snabb avfrostning som möjligt. Vid inomhus placerade batterier är det ganska enkelt med någon form av fallspjäll som stänger när fläkten stoppas. Vid utomhus placerade batterier kan det vara svårare att hindra omgivande luft att blåsa igenom batteriet och därmed försena eller till och med förhindra avfrostningen. Här får man då tänka på att placera batteriet på lämpligt ställe och kanske utforma det på ett sådant sätt att vinden hindras att störa avfrostningen.

#### 4.4.4 Ytbehandling

Teoretiskt kan en värmeväxlare behandlas så att den får en vattenavstötande yta som hindrar frost från att fastna. All frost som bildas på ytan blåses bort som snö. Vid prover utförda vid Ohio State University, refererat i [2], har man uppnått signifikanta förbättringar av luftbatteriets egenskaper genom att använda två olika silikonbehandlingar.

Batterierna frostades på i olika hög grad och avfrostades sedan med el. I figur 4.17 visas avfrostningsverkningsgraden som funktion av påfrostad mängd för batterierna med ytbehandling och ett likadant batteri utan behandling. Man kan se att båda ytbehandlingarna resulterade i en högre avfrostningsverkningsgrad under så gott som alla förhållanden. Förbättringen kan hänföras till bättre avrinning av smältvatten och att frost och is lättare släpper från batteriytan.



Figur 4.17. Avfrostningsverkningsgrad som funktion av frostmängden för två ytbehandlingsmetoder med silikon jämfört med obehandlat batteri.

Men ett ännu viktigare resultat än den ökade avfrostningseffektiviteten var att det tog 30 minuter (16 %) längre tid för frosten att bygga på. När vattenångan kondenserade på batteriytan rann många av dropparna av batteriet eller blåstes bort innan de hann frysa. Detta försenade påfrostningen i början av varje påfrostningscykel. Då det första lagret av frost hade bildats, fortsatte påfrostningen som vanligt.

Påfrostningen genomfördes vid lufttemperaturer av +7 °C. Det är tveksamt huruvida samma förlängning av påfrostningstiden skulle ske vid temperaturer nära och under 0 °C.

Teflon torde vara ett utmärkt material för ytbehandling på grund av dess avstötande egenskaper och höga värmeledningsförmåga. Men Teflon måste läggas på vid 300 °C eller mer. Vid dessa temperaturer skulle lodet i värmeväxlarskarvarna smälta och kopparrören oxidera. Därför provades inte Teflon vid denna studie, som utfördes vid Ohio State University.

#### 4.4.5 Flänsdelning

Flänsdelningen påverkar på- och avfrostningsförloppet på flera sätt. En mindre flänsdelning innebär att luftbatteriet måste avfrostas oftare än vid större flänsdelning. Orsaken är att det behövs en mindre mängd frost för att blockera luftspalten mellan flänsarna.

En tätare flänsdelning torde därmed ge en sämre avfrostningsverkningsgrad, eftersom flänsar och rör i batteriet måste värmas upp fler gånger jämfört med ett batteri med större flänsdelning och åtföljande längre tidsintervall mellan avfrostningarna.

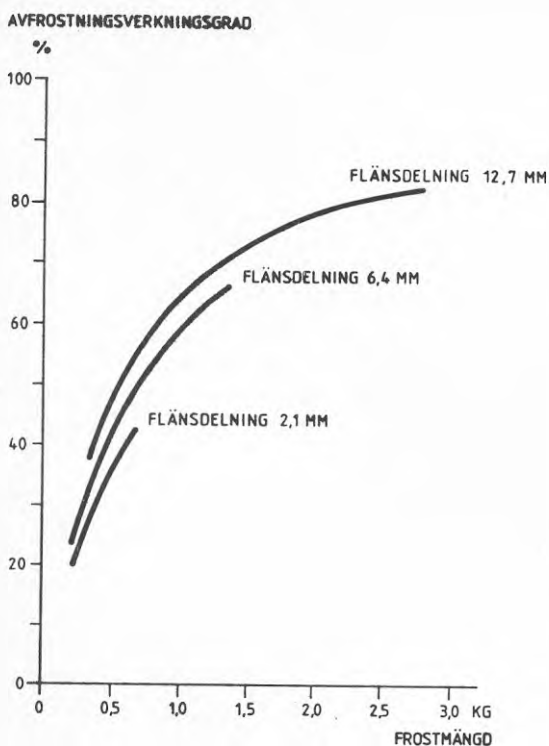
Vid den tidigare nämnda studien vid Ohio State University [2] jämfördes batterier med tre olika flänsdelningar (2,1, 6,4 resp 12,7 mm) med avseende på avfrostningsverkningsgrad. Proven utfördes genom att låta cirkulera kall alkohol i rören så att batteriet frostades på. Därefter skedde avfrostningen med hjälp av cirkulerande varm alkohol.

Den värmemängd som behövdes för att smälta frosten,  $Q_t$ , beräknades som summan av det sensibla värmets för att höja frostens temperatur till  $0^\circ \text{C}$  och det latent värmets för att smälta frosten. Det verkliga energibehovet,  $Q_v$ , bestämdes genom att mäta alkoholens temperatursänkning och flöde genom batteriet under avfrostningen. Avfrostningsverkningsgraden  $\eta_a$  definierades då som

$$\eta_a = \frac{Q_t}{Q_v}$$

I figur 4.18 visas avfrostningsverkningsgraden för de tre flänsdelningarna som funktion av mängden frost. Här framgår att avfrostningsverkningsgraden som väntat ökade vid ökad mängd frost och ökad flänsdelning. Det visade sig också att batteriet med flänsdelningen 12,7 mm kunde ta upp 4 gånger så mycket frost som batteriet med flänsdelningen 2,1 mm innan avfrostning var nödvändig.

Det har visat sig att frost tenderar att bildas mycket snabbt på flänsarna vid inloppet till ett luftbatteri. Därmed kan batteriet blockeras av en förhållandevis liten mängd frost. Studier har visat [2] att tiden till igenfrysning kan avsevärt förlängas om man tillämpar en större flänsdelning vid inloppet till batteriet.



Figur 4.18. Avfrostningsverkningsgrad som funktion av frostmängden för batterier med olika flänsdelning.

#### 4.4.6 Avrinning av smältvatten

Av olika anledningar har de flesta värmepumpar antingen stående eller liggande batterier. Vid liggande - horisontella batterier sker luftföringen som regel nedifrån och upp genom batteriet.

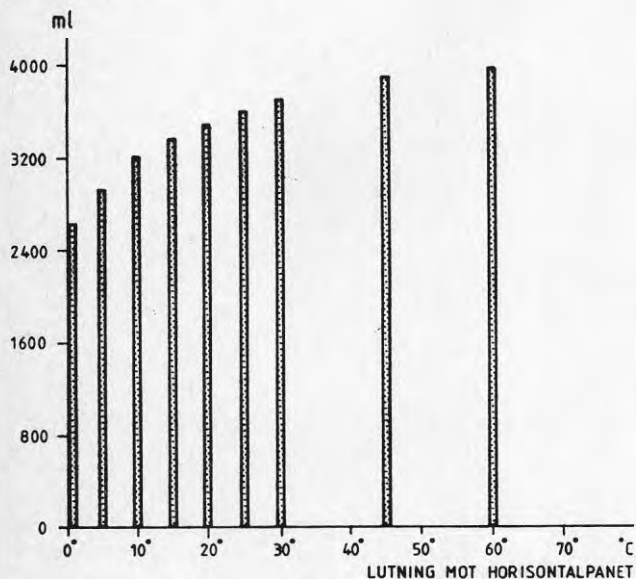
Vid liten flänsdelning kan man råka ut för att kondensvatten blir hängande i nederdelen av batteriet och till och med kan hindra luftföringen. Vid avfrostning kan smältvatten bli hängande i nederdelen av flänsarna och när avfrostningen är avslutad snabbt frysa på batterier och på så sätt ge upphov till en snabbare igenfrysning.

Vid vertikala batterier får man samma effekt med vattentvidhäftning. Här blir effekten dock ej så drastisk, eftersom luftföringen är horisontell. Dock blir en mindre del av nedersta delen av batteriet inaktiv.

Det har visat sig att vintertid, då klimatet försvårar avfrostning, kan man råka ut för att ett vertikalt luftbatteri sakta fryser igen nedifrån. Försök har gjorts för att finna en optimal lutning på batteriet [2]. Det visade sig att vattenavrinningen ökade med ökad vinkel mot horisontalplanet. Upp till 45° lutning skedde en markant förbättring. Över 45° lutning kunde inte någon märkbar förbättring noteras.

I figur 4.19 visas hur vattenavrinningen kan förbättras för ett luftbatteri endast genom att ändra lutningen mot horisontalplanet.

TOTALT AVRUNNET SMÄLTVATTEN  
PER AVFROSTNING



Figur 4.19. Inverkan av lutningen av ett batteri på mängden avrunnet smältvatten vid avfrostning.



## LITTERATURREFERENSER

- 1 Sanders, C.T., "The Influence of Frost Formation and Defrosting on the Performance of Air Coolers", Technische Hogeschool, Delft (Nederländerna), rapport nr WTHD-63, sept 1974, 173 sidor.
- 2 Young, D.I., Lange, H.F., "Optimization and Evaluation of a Northern Climate Residential Air-Source Heat Pump", Ontario Hydro Research Division, Oct 1980 Contract nr 76-12.
- 3 Merrill, Peter, "Heat Pumps on-off Capacity Control and Defrost Performance Tests Using Demand and Time-Temperature Defrost Controls", Sci Appl Inc, La Jolla, ASHRAE Transactions vol 87 del 1 1981, sid 381-393. Se även referens [12].
- 4 Rettberg, Raymond J., "Energy Conservation Evaluation of Two Variable Interval Strategies", Sci Appl Inc, La Jolla, ASHRAE Transactions vol 87 del 2 1981, sid 435-448. Se även ref [8].
- 5 Bouma, J.W.J., "Frosting and Defrosting Behavior of Outdoor Coils of Air-Source Heat Pumps" EG, Luxemburg, Rapport nr EUR-7281-EH, 1981, 109 sidor.
- 6 Domingorena, A.A., "Performance Evaluation of a Low-First-Cost, Three-Ton, Air-to-Air Heat Pump in the Heating Mode", Oak Ridge National Lab., Okt 1978, 91 sidor, Contract: W-7405-ENG-26.
- 7 Blatt, Morton, H., "Variabel Interval Time/Temperature (VITT) Defrost-Control-System Evaluation", Science Applications, Inc., La Jolla, 12 aug 1980, 101 sidor, Contract ACO3-79CS 10757.
- 8 Miller, W.A., "Laboratory Evaluation of the Heating Capacity and Efficiency of a High-Efficiency, Air-to-Air Heat Pump with Emphasis on Frosting/Defrosting Operation", Oak Ridge National Laboratory, rapport nr ORML/COH-69, dec 1982, 100 sidor.
- 9 Buick, T.R., Mc Mullan, J.T., Morgan, R., Murray, R.B., "Ice Detection in Heat Pumps and Coolers", International Journal of Energy Research (GB), vol. 2, No. 1 sid 85-98, 4 ref., Jan-March 1978.

- 10 Mc Mullan, J.T., Morgan, R., "Development of Domestic Heat Pumps", EG Luxemburg, Rapport nr: EUR-7098-EN, 1981, 124 sidor.
- 11 Blatt, Morton, H., "Heat Pump on-off Capacity Control and Defrost Performance Tests Using Demand and Time-Temperature Defrost Controls", Science Applications, Inc., La Jolla, 27 april 1980, 87 sidor. Contract: ACO1-79CS 10757.
- 12 Jarrett, J.H., "A New Demand Defrost Control for Domestic Forced Draft Refrigerator/-Freezers and Freezers", Ranco Inc., Columbus, Ohio, USA, IEEE Trans. Ind. Appl. (USA) vol. IA-8, nr 3, sid 356-64, maj-juni 1982.
- 13 Kirn, H., "Wärmepumpen, die als Wärmeträger die Aussenluft nutzen". V.D.I.-Ber. (D), 1977 nr 282, sid 77-86, 3 ref.
- 14 Dick, H-G., Hguyen, Dan Dai; Paul, J; Reichelt, J; Renz, M.; Tolle, A., "Grundsatzunter-suchungen an Wärmepumpen, Teil 2", Universität Essen, Fachbereich 13, Forschungsbericht T 80-163(2), Dec 1980.
- 15 Bonne, V., Patani, A.; Jacobson, R.D.; Mueller, D.A. "Electric-Driven Heat Pump Systems: Simulations and Controls II", ASHRAE Transactions, 1980 del I.
- 16 "Final report completed on defrosting of heat pump coils", Edison Electric Institute Bulletin (USA) vol. 40, nr 5 sid 252-4, Sept-Oct 1972.
- 17 Copeaux, Claude, "Quelques Solutions de Degivrages de Pompes de Chaleur" Revue Gen. Froid (F), 1981 vol 71 nr 10, sid 517-519.
- 18 Kraft, H; Fehrm, M.; Hill, A. "Värmepumpar för bostadsuppvärmning, komponent- och systemstudier", Statens Råd för Byggnadsforskning rapport R14:1979.
- 19 Tudury, A.F.; "Refrigeration and Defrost System", United States Patent, 3.681.934, Aug 8, 1972.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831165-0  
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens  
provningsanstalt, Borås.**

**R39: 1986**

**ISBN 91-540-4543-6**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6706039**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

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

**Cirka pris: 30 kr exkl moms**