



Sverige

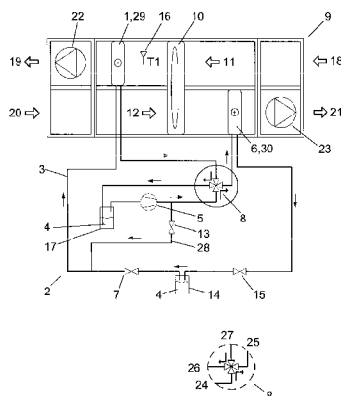
(12) Patentskrift

(10) SE 537 022 C2

(21) Patentansökningsnummer:	1200784-5	(51) Int.Cl.:	
(45) Patent meddelat:	2014-12-09	F25B 47/02	(2006.01)
(41) Ansökan allmänt tillgänglig:	2014-06-22	F25D 21/06	(2006.01)
(22) Ingivningsdag:	2012-12-21	F24F 12/00	(2006.01)
(24) Löpdag:	2012-12-21	F25B 13/00	(2006.01)
(30) Prioritetsuppgifter:	---		

- (73) Patenthavare: Fläkt Woods AB, Fläktgatan 1, 551 84 Jönköping SE
(72) Uppfinnare: Johan Andersson, Tranås SE
(74) Ombud: Gotapatent AB, Box 3127, 550 03, Jönköping SE
(54) Benämning: Förfarande och anordning för avfrostning av en förångare vid ett luftbehandlingsaggregat
(56) Anförda publikationer: US 20120180505 A1 · WO 2007141901 A1 · EP 1674807 A2
(57) Sammandrag:

Förfarande och anordning för avfrostning av en förångare (1) i en värmepump (2), i anslutning till ett luftbehandlingsaggregat (9), och där luftbehandlingsaggregatet (9) innefattar en reglerbar värmeåtervinnare (10). Värmepumpen (2) innefattar ett köldbärarsystem (3) med ett köldmedium (4) och åtminstone en kompressor (5), minst en kondensorn (6), minst en första expansionsventil (7) samt minst en förångare (1). Vidare innefattar värmepumpen (2) minst en fyrvägsventil (8) vilken är anordnad i flödesriktningen efter kompressorn (5) och innan kondensorn (6), och fyrvägsventilen (8) är anordnad att skifta strömningsriktning på köldmediet (4) i köldbärarsystemet (3), varvid köldmediet (4) skickas till förångaren (1) istället för till kondensorn (6) utan att passera expansionsventilen (7). Värmeåtervinnaren (10) är anordnad att återvinna energi ur en första luftström (11) och överföra till en andra luftström (12), och förångaren (1) är anordnad i den första luftströmmen (11), i flödesriktningen efter värmeåtervinnaren (10), och kondensorn (6) är anordnad i den andra luftströmmen (12), i flödesriktningen efter värmeåtervinnaren (10). Uppfinningen kännetecknas av att vid påfrysning av förångaren (1) höjs köldmediets (4) temperatur genom förångaren (1), samtidigt som värmeåtervinnaren (10) regleras ned, det vill säga värmeåtervinningen minskas, varvid en samtidig uppvärmning sker av förångaren (1), inifrån av köldmediet (4) med förhöjd temperatur, och utifrån av den första luftströmmen (11), vars temperatur ökar när värmeåtervinningen minskar, och därmed sker en dubbelsidig avfrostning av förångaren (1).



SAMMANDRAG

Förfarande och anordning för avfrostning av en förångare (1) i en värmepump (2), i anslutning till ett luftbehandlingsaggregat (9), och där luftbehandlingsaggregatet (9) innefattar en reglerbar

5 värmeåtervinnare (10). Värmepumpen (2) innefattar ett köldbärarsystem (3) med ett köldmedium (4) och åtminstone en kompressor (5), minst en kondensor (6), minst en första expansionsventil (7) samt minst en förångare (1). Vidare innefattar värmepumpen (2) minst en fyrvägsventil (8) vilken är

10 anordnad i flödesriktningen efter kompressorn (5) och innan kondensorn (6), och fyrvägsventilen (8) är anordnad att skifta strömningsriktning på köldmediet (4) i köldbärarsystemet (3), varvid köldmediet (4) skickas till förångaren (1) istället för till kondensorn (6) utan att passera expansionsventilen (7).

Värmeåtervinnaren (10) är anordnad att återvinna energi ur en första luftström (11) och överföra till en andra luftström (12), och förångaren (1) är anordnad i den första luftströmmen (11), i flödesriktningen efter värmeåtervinnaren (10), och kondensorn (6) är anordnad i den andra luftströmmen (12), i flödesriktningen efter värmeåtervinnaren (10). Uppfinningen kännetecknas av att vid påfrysning av

15 förångaren (1) höjs köldmediets (4) temperatur genom förångaren (1), samtidigt som värmeåtervinnaren (10) regleras ned, det vill säga värmeåtervinningen minskas, varvid en samtidig uppvärmning sker av förångaren (1), inifrån av köldmediet (4) med förhöjd temperatur, och utifrån av den första luftströmmen (11), vars temperatur ökar när värmeåtervinningen minskar, och därmed sker en dubbelsidig avfrostning av förångaren (1).

Förfarande och anordning för avfrostning av en förångare vid ett luftbehandlingsaggregat

Uppfinningens område

5 Föreliggande uppfinning avser ett förfarande och en anordning för avfrostning av en förångare i en värmepump i anslutning till ett luftbehandlingsaggregat, vilket luftbehandlingsaggregat innefattar någon typ av värmeåtervinning av energi ur frånluften, till exempel från en byggnad.

Uppfinningens bakgrund

10 Inom luftbehandlingstekniken är det mycket vanligt förekommande att förse ett luftbehandlingsaggregat med någon typ av värmeåtervinnare för att utvinna energin ur den uppvärmda frånluften och föra över denna energi till tilluften, då det förekommer ett uppvärmningsbehov av tilluften. Det omvända, att kyla tilluften när frånluften är kallare än utetemperaturen är också ett vanligt användningsområde för värmeåtervinnaren. Oavsett typ av värmeåtervinnare finns ofta även någon form av efterbehandling av tilluften, till exempel ett värmebatteri och/eller kylbatteri för att styra tilluftstemperaturen till önskat värde, så kallat börvärde, oavsett uteluftens temperatur.

15 Det förekommer även värmepumpslösningar i samband med ventilationsaggregat, och dessa benämns i branschen exempelvis som Heat Pumps, Coolers eller liknande, beroende på om det huvudsakliga användandet avser värmning, kylning eller värmeåtervinning. I praktiken placeras vanligen värmepumpen i anslutning till eller i luftbehandlingsaggregatet, och värmepumpen innefattar en köldbärarkrets med en köldbärare/ett köldmedium av något slag, en förångare, en kondensor, samt en kompressor och en expansionsventil. Värmepumpen kan ha så kallad reversibel köldmediekrets vilket innebär att en flervägsventil vid behov kan styra köldmediet till motsatt strömningsriktning, gentemot normal strömningsriktning. I samband med ett ventilationsaggregat placeras ett så kallat direktexpansionsbatteri - DX- batteri - i tilluften och ett DX-batteri i avluften, dvs. i frånluften efter värmväxlaren, alltså den luft som ska släppas ut i det fria. Dessa DX-batterier utgör förångare 25 alternativt kondensor beroende på i vilken riktning köldmediet pumpas i systemet. DX-batterierna består i regel av ett antal kopparrör med aluminiumlameller där köldmediet passerar genom kopparrörsslingan och värme avges eller upptas genom utbyte med omgivande luft som passerar genom DX-batteriet. Aluminiumlamellerna ökar den värmeöverförande ytan i DX-batteriet.

30 Den generella funktionen av värmepumpsprocessen är sådan att värmeinnehållet i ett medium, exempelvis luft, flyttas från en plats där värme kan tillvaratas, till en annan plats där det föreligger värmebehov och där värmen kan avges. Värmepumpsprocessen går till så att köldmediet i systemet övergår från högt tryck till ett mycket lägre tryck när det passerar en expansionsventil, vilket också innebär att temperaturen på köldmediet sänks radikalt. Köldmediet passerar sedan förångaren där det 35 förångas på grund av värmeupptagning från det omgivande mediet, exempelvis uteluft eller som i detta fall frånluften/avluften från ett luftbehandlingsaggregat. Ångan passerar sedan kompressorn där den komprimeras till att återigen erhålla ett högt tryck samtidigt som temperaturen ökar vid kompressionen samt att oftast även kompressorvärmens tillvaratas och överförs till köldmediet.

Därefter skickas köldmediet i form av uppvärmd högtrycksånga vidare till kondensorn, där högtrycksångan kondenserar och övergår till vätskeform. Under detta förlopp i kondensorn frigörs värme och det är denna värme tillsammans med eventuell kompressorvärme som används för uppvärmning på värmebehovssidan. Därefter skickas köldmediet till expansionsventilen igen och

5 värmepumpsdykelen är därmed sluten. Då kretsen används för kylning i ett luftbehandlingsaggregat körs processen helt enkelt reversibelt, det vill säga köldmediet skickas åt andra hållet i systemet, varvid respektive DX-batteri så att säga skiftar så att förångningen istället sker i tilluften, vilken då kyls, medan kondenseringen sker i frånluften/avluften.

10 Då dessa system är i drift uppstår ett behov av att avfrosta förångarsidan då och då, eftersom förångarsidans DX-batteri kyls ned kraftigt både på grund av förångningsprocessen i sig, med mycket kallt köldmedium i förångaren, samt att förångaren utsätts för kall och ofta fuktig luft som passerar genom förångaren/DX-batteriet. Detta gäller främst i värmefallet, det vill säga då värme upptas ur frånluften/avluften och överförs till tilluften för värmning av densamma. Resultatet av detta är att kraftig

15 isbildning kan uppstå i förångaren om inte avfrostning sker. Att använda värmepumpsprocessen för kylfallet och i samband med ett luftbehandlingsaggregat är relativt vanligt förekommande och ibland även då aggregatet har en värmeåtervinnare. På grund av ovan beskrivna påfrysningproblematik finns inga kända lösningar med kombinationer av värmeåtervinnare och värmepump för värmefallet och med effektiv och användbar avfrostningsteknik, eftersom man inte kommit på ett tillräckligt bra sätt

20 att avfrosta förångaren. Det kostar helt enkelt för mycket energi samt att tilluftstemperaturen blir ojämn på grund av avfrostningssekvensen (kylning av tilluften under avfrostning trots värmebehov). Genom att luftbehandlingsaggregatet innefattar en värmeåtervinnare som vid värmning regleras för maximal återvinning av värme ur frånluften innebär det att temperaturen efter värmeåtervinnaren och innan förångaren är kall. Kombinationen av detta tillsammans med kallt köldmedium inuti förångaren gör att

25 risken för påfrysning av förångaren ökar och kraftig isbildning kan som sagt uppstå. Enligt konventionella metoder vid de flesta typer av värmepumpar genomförs avfrostningen genom att köldmediekretsen körs reversibelt, genom att en flervägsventil eller liknande anordnas i köldbärarkretsen så att ventilen vid avfrostningsbehov vänder köldmediets strömningsriktning, varvid istället varmt köldmedium skickas till förångaren, istället för till kondensorn, under så lång tid att isen

30 smälter och DX-batteriet värms därmed inifrån av köldbäraren. Styrningen av detta utgörs antingen av timerstyrd avfrostningssekvens där sekvensen upprepas efter förinställda intervall eller antingen genom att en frostvakt känner av när påfrysning sker, varefter avfrostningssekvensen inleds. I dessa fall sker avfrostningen enligt on/off-principen, det vill säga antingen sker avfrostning eller så sker den inte och avfrostningen pågår enligt en viss tid eller till dess att systemet indikerar att isbildningen är

35 borta.

I andra värmepumpsapplikationer, såsom en konventionell luft/luftvärmepump eller en cooler, placeras förångardelen oftast separat i uteluften, på ett tak eller en vägg eller liknande. Förångardelen har då i regel en fläkt som trycker eller suger luft genom förångaren. Under avfrostningen reverseras

40 köldbärarkretsen samtidigt som fläkten stängs av för att inte orsaka en förlängning av

avfrostningstiden, om omgivningsluften är kall. I ventilationssammanhang är förutsättningarna delvis annorlunda då luftbehandlingsaggregatets fläktar måste gå kontinuerligt, även under avfrostningen av förångaren, på grund av kraven på ventilation. Detta gör att tiden för avfrostning förlängs då byggnaden, vilken ventileras med hjälp av luftbehandlingsaggregatet, inte kan vara utan ventilation under tiden för avfrostning. Ju längre tid som avfrostningen tar desto mer energi går förlorad samtidigt som tilluftstemperaturen blir kallare och detta är ett problem som gjort att användandet av värmepumpslösningar för värmning av tilluften är ovanlig. Kylning med hjälp av värmepump är ju som nämnts ovan däremot relativt vanligt för då finns i regel inte samma problematik eftersom förångardelen då är inställd till att aldrig bli kallare än exempelvis $+15^{\circ}\text{C}$, eftersom man mycket sällan kan tillåta en tilluftstemperatur som är kallare.

När ett luftbehandlingsaggregat med värmepumpslösning körs i värmefallet, det vill säga under den kalla årstiden, uppstår som sagt kontinuerligt under drift behovet av avfrostning. På tilluftssidan finns i ventilationssammanhang ytterligare en nackdel som antytts ovan, nämligen kravet på tilluftstemperaturen, vilket inte är ett problem i andra värmepumpar anordnade för värmning, då inte ventilationskravet finns. Med reversibel drift som avfrostningsteknik byter ju så att säga respektive DX-batteri, åtminstone så småningom, från förångarsida till kondensorsida och vice versa. Det DX-batteri som är placerat i tilluften efter värmeåtervinnaren utgör ju i värmefallet normalt den slutliga uppvärmningen av tilluften till börvärdet, efter det att värmeåtervinnaren avgivit sin värme till tilluften. Tilluftssidans DX-batteri utgör alltså kondensator i värmefallet men vid avfrostning av förångaren (i avluften) genom reversibel drift blir ju tilluftens DX-batteri den kalla sidan. Då ventilationen inte kan avbrytas innebär det att tilluften så småningom kyls trots egentligt värmebehov. Tilluftstemperaturen kan därmed inte hållas konstant om inte till exempel ett extra värmebatteri finns i tilluften. Det är önskvärt att tiden för avfrostning minimeras just på grund av dessa unika olägenheter som finns i ventilationssammanhang.

Problemet med de kända lösningarna är att avfrostningssekvensen tar relativt lång tid, då den kontrollerade avfrostningen endast sker ensidigt, inifrån förångaren genom uppvärmning av köldmediet. Vidare sker återvinningen parallellt med avfrostningen, vilket i sig kyler, den genom förångaren strömmande luften och förlänger avfrostningstiden, samt att både till- och frånluftsfläktarna måste vara i kontinuerlig drift.

Redogörelse för uppfinningen

Med den nu föreliggande uppfinningen uppnås syftet att lösa ovanstående problem ur uppfinningens första aspekt genom det uppfunna förfarandet att avfrostningen av förångaren sker genom samtidig uppvärmning av densamma, både inifrån och utifrån. Detta sker genom att höja temperaturen på köldmediet genom förångaren och på så sätt värma förångaren inifrån, samtidigt som nedreglering sker av, den i luftbehandlingsaggregatet ingående värmeåtervinnaren. Genom minskning av återvinningen under avfrostningen stiger temperaturen på luften efter värmeåtervinnaren, det vill säga innan förångaren, och luften som passerar genom förångaren värmer därmed upp densamma utifrån.

Med det uppfunna förfarandet minskar således tiden för avfrostning i förhållande till äldre lösningars ensidiga avfrostning och en jämnare tilluftstemperatur erhålls samtidigt som avfrostningen, om så önskas, kan ske tidigare i påfrysningsskedet samt i små, kortare sekvenser för att erbjuda en jämnare tilluftstemperatur.

5

Enligt en föredragen utföringsform av det uppfunna förfarandet höjs köldmediets temperatur under avfrostningssekvensen genom att värmepumpen körs reversibelt, det vill säga kölmediet pumpas i motsatt riktning i köldbärarkretsen i förhållande till normaldrift för värmefallet. Detta sker genom att fyrvägsventilen skiftar strömningsriktningen så att den uppvärmda högtrycksången efter kompressorn skickas till förångaren istället för till kondensorn, utan att passera expansionsventilen. På så sätt värms förångaren, det vill säga DX-batteriet i den första luftströmmen både inifrån av det uppvärmda köldmediet samt också utifrån genom att nedregleringen av värmeåtervinnaren, vilket gör att den första luftströmmen blir varmare än tidigare, varmare än det driftsfall som förorsakade påfrysningen av förångaren. Härigenom förkortas avfrostningstiden väsentligt i förhållande till äldre lösningar.

15

Enligt ytterligare en föredragen utföringsform av förfarandet innefattar köldbärarkretsen en så kallad hetgasventil, vilken är anordnad i flödesriktningen efter kompressorn som en bypass till köldbärarröret efter expansionsventilen. Genom denna ventil blir det möjligt att skicka den uppvärmda högtrycksången efter kompressorn direkt till förångaren utan att passera expansionsventilen eller fyrvägsventilen. Via hetgasventilen kan hela eller en delmängd av ången skickas till förångaren och i förekommande fall, skickas den resterande delmängden via fyrvägsventilen till kondensorn, precis som vanligt. Den mängd uppvärmd hetgasånga som skickas direkt till förångaren värmer densamma inifrån samtidigt som värmeåtervinnaren nedregleras och åstadkommer värmning från utsidan av förångarröret.

25

I närmast ovanstående beskrivna utföringsform av det uppfunna förfarandet kommer energin så småningom enbart bestå av den tillförda kompressorvärmn. Enligt ytterligare ett föredraget förfarande kombineras det ovanstående med att kompressorns varvtal ökas samtidigt som hetgasventilen öppnas begränsat. Därigenom höjs temperaturen i förångaren tillräckligt för att påfrysningen ska upphöra och isen smälta samtidigt som tilluften värms och tilluftens temperatur blir stabilare jämfört med konventionell reversibel drift där så att säga kondensorn upphör att värma under avfrostningen. Vid detta förfarande fortsätter kondensorn att leverera värmeenergi även under avfrostningen.

35

Ett alternativt sätt att åstadkomma temperaturhöjning av köldbäraren under avfrostning är att kyleffekten minskas genom att minska kompressorns varvtal så att kyleffekten i förångaren minskar. På detta sätt blir köldmediets temperatur genom förångaren högre och detta i kombination med, precis som tidigare, nedreglering av värmeåtervinnaren erhålls en dubbelsidig avfrostning, inifrån och utifrån.

40

För att avgöra det lämpligaste sättet att styra avfrostningen enligt någon av de ovan beskrivna sätten att åstadkomma den dubbelsidiga avfrostningen av förångaren mäts, enligt en föredragen utföringsform, temperaturen mellan värmeåtervinnaren och förångaren. Med ledning av denna temperatur styrs avfrostningen till att exempelvis köra kretsen rent reversibelt via fyrvägsventilen, det vill säga skicka hetgasen i motsatt riktning till förångaren istället för till kondensorn, alternativt låta en delmängd skickas till förångare respektive kondensorn, eller minska kyleffekten i förångaren genom nedreglering av kompressorns varvtal, eller om anläggningen innefattar en hetgasventil skicka hela eller en delmängd av hetgas till förångare respektive kondensorn. Speciellt ger temperaturstyrningen i kombination med en anläggning innefattande både en fyrvägsventil samt en hetgasventil en mycket god flexibilitet vid val av avfrostningsmetod, vilket i ventilationssammanhang inte tidigare kunnat erhållas.

Enligt ytterligare en föredragen utföringsform av förfarandet innefattar värmepumpen även en reservoar samt en andra expansionsventil, vilka är anordnade mellan den första expansionsventilen och kondensorn. Företrädesvis är båda expansionsventilerna dessutom elektroniska och därmed enkelt reglerbara. Den första expansionsventilen reglerar köldmedieflödet till förångaren och den andra expansionsventilen reglerar köldmedienivån i reservoaren i samspel med den första ventilen, för att erhålla en kontrollerad så kallad överhettning. Överhettningen definieras genom att mäta trycket innan kompressorn och sedan räkna ut den teoretiska temperaturen på köldmediet och vidare mäta temperaturen på röret innan kompressorn. Den teoretiska temperaturen jämförs med den uppmätta temperaturen på röret och differensen mellan dessa definieras som överhettningen. Om överhettningen är lägre än inställt så kallat börvärde stryker den andra expansionsventilen köldmedieflödet något, vilket leder till att överhettningen kommer att stiga. Om överhettningen istället är högre än börvärdet öppnar den andra expansionsventilen något, och överhettningen sjunker. Reservoaren utgör en buffert för köldmediet då förbrukningen/behovet av köldmedium varierar efter olika temperaturer. Fördelen med att värmepumpen innefattar en reservoar och en andra expansionsventil är förutom de rent reglermässiga fördelarna med köldmediebuffert i reservoaren, att överhettningen kan regleras/balanseras med hänsyn tagen till vilken av ovanstående beskrivna avfrostningstekniker som används. Härmed erhålles en kontrollerad köldmediemängd för driftfallet samt ett balanserat mottryck i kondensorn även vid delast hos kompressorn. I samtliga fall uppnås uppfinningstanken med dubbelsidig avfrostning av förångaren genom uppvärmt köldmedium samt uppvärmd genomströmmande frånluft/avluf.

Ett alternativ till att balansera överhettningen med hänsyn till någon av ovanstående beskrivna avfrostningstekniker är att enligt en föredragen utföringsform av förfarandet använda överhettningen i sig för avfrostning. Genom nedvarvning av kompressorn i kombination med att den första expansionsventilen stryker köldmedieflödet stiger överhettningen. Detta förlopp används med fördel för att göra snabba och korta avfrostningar och gärna i ett tidigt skede av påfrysningen i förångaren. Genom den ökade överhettningen värms köldmediet i förångaren upp varvid avfrostningen sker inifrån, och i kombination med minskad värmeåtervinning sker också avfrostningen av förångaren

utifrån på grund av den något förhöjda temperaturen på luften efter värmeåtervinnaren. Denna typ av värmepumpslösning i samband med ventilationsaggregat är inte tidigare känd och fördelarna mot konventionell teknik är flera då avfrostningsmetodiken både är mer flexibel än äldre lösningar både beroende på antalet expansionsventiler, köldmediereservoaren samt möjligheten att styra

5 avfrostningen till exempelvis små korta avfrostningar tidigt i påfrysningsskedet, det vill säga genom höjd överhettning, eller i kombination med andra av de ovan beskrivna sätten att åstadkomma den dubbelsidiga avfrostningen.

Ur uppfinningens andra aspekt uppnås syftet genom att en anordning av det inledningsvis

10 specificerade slaget uppvisar det speciella särdraget att värmepumpen innefattar en hetgasventil, vilken är anordnad sett ur strömningsriktningen för köldmediet, efter kompressorn. Genom att anordningen innefattar en hetgasventil blir det möjligt att istället för att som i konventionella anläggningar köra med helt reversibel drift, istället låta varm högtrycksånga skickas direkt till förångaren för avfrostning av densamma, utan att ångan passerar expansionsventilen. Via

15 hetgasventilen kan hela eller en delmängd av den varma högtrycksångan efter kompressorn skickas till förångaren och i förekommande fall, skickas den resterande delmängden via fyrvägsventilen till kondensorn, precis som vanligt. Den mängd uppvärmd högtrycksånga som skickas direkt till förångaren värmer densamma inifrån samtidigt som värmeåtervinnaren nedregleras och åstadkommer värmning från utsidan av förångarrören, varigenom uppfinningstanken utnyttjas. Genom att utnyttja

20 möjligheten att skicka en delmängd av uppvärmd högtrycksånga via hetgasventilen till förångaren och låta resten gå till kondensorn via fyrvägsventilen är det fortfarande möjligt att värma tilluften med kondensorenergi även om avfrostning pågår av förångaren. Denna möjlighet finns inte i äldre anläggningar eftersom enbart reversibel drift inte tillåter detta alternativ. Resultatet av att det

25 fortfarande är möjligt att värma tilluften med kondensorenergi är att tilluftstemperaturen totalt sett blir mycket mer stabil då inte kondensorn så att säga blir "den kalla sidan" under avfrostningen som i äldre lösningar.

Enligt en föredragen utföringsform av anordningen innefattar värmepumpen även en reservoar samt en andra expansionsventil, vilka är anordnade mellan den första expansionsventilen och kondensorn.

30 Företrädesvis är båda expansionsventilerna elektroniska och därmed enkelt reglerbara. Den första expansionsventilen är anordnad att reglera köldmedieflödet till förångaren och den andra expansionsventilen är anordnad att reglera köldmedienivån i reservoaren, i samspel med den första ventilen, för att erhålla en kontrollerad köldmediemängd samt ett balanserat mottryck i kondensorn vid dellast hos kompressorn. Reservoaren är anordnad att utgöra en buffert för köldmediet då

35 förbrukningen/behovet av köldmedium varierar efter temperatur. Fördelen med att värmepumpen innefattar en reservoar och en andra expansionsventil är förutom de rent reglermässiga fördelarna med köldmediebuffert i reservoaren, att överhettningen kan regleras/balanseras med hänsyn tagen till vilken avfrostningsteknik som används. Oavsett avfrostningsteknik som används enligt uppfinningen erhålls god flexibilitet i samtliga fall och uppfinningstanken med dubbelsidig avfrostning av förångaren

40 genom uppvärmt köldmedium samt uppvärmd genomströmmande frånluft/avluf, uppnås.

Enligt ytterligare en föredragen utföringsform innefattar anordningen en temperaturgivare, vilken är anordnad mellan värmeåtervinnaren och förångaren. Temperaturen mäts här emellan för att avgöra det lämpligaste sättet att styra avfrostningen enligt någon av de föredragna utföringsformerna av
 5 förfarandet, och på så sätt åstadkomma den dubbelsidiga avfrostningen av förångaren, efter önskemål och lämplig metod för driftsfallet. Med ledning av denna temperatur styrs exempelvis avfrostningen enligt rent reversibel drift via fyrvägsventilen, det vill säga skicka köldmediet i motsatt riktning till förångaren istället för till kondensorn, alternativt låta en delmängd köldmedium skickas till förångare respektive kondensorn med hjälp av hetgasventilen, eller att minska kyleffekten i förångaren genom
 10 nedreglering av kompressorns varvtal. Speciellt ger temperaturstyrningen i kombination med en anläggning innefattande både en fyrvägsventil samt en hetgasventil en mycket god flexibilitet vid val av avfrostningsmetod, vilket i ventilationssammanhang inte tidigare kunnat erhållas.

Enligt en föredragen utföringsform av anordningen innefattar värmepumpen en vätskeavskiljare, vilken
 15 är anordnad i köldmediets strömningsriktning innan kompressorn men efter fyrvägsventilen. För att uppnå bästa prestanda i värmepumpssystemet försöker man spruta in så mycket köldmedium som möjligt i förångaren utan att något köldmedium kommer ut som vätska efter förångaren. Vidare är kompressorn mycket känslig för vätska och av dessa anledningar är det fördelaktigt med en tank i form av en vätskeavskiljare framför kompressorn. Härigenom erhålls både en buffert av köldmedium
 20 för optimering av driften samt en säkerhet mot att eventuell vätska når kompressorn. Genom yttre omständigheter, det vill säga snabbt förändrade driftförhållanden kan ostabilitet uppstå i systemet och därmed leda till att vätska kan komma ut ur förångaren. Detta kan också inträffa exempelvis om kylkretsen vänds utan att kompressorn stoppas eller vid hastigt stopp i ventilationsystemet. Genom vätskeavskiljaren kan eventuell vätska som kommer ut ur förångaren fångas upp innan den når
 25 kompressorn. Härigenom uppnås en ökad säkerhet för kompressorn och driften av anläggningen under de speciella förhållanden som finns vid värmepumpslösningar för värmning av tilluft i samband med luftbehandlingsaggregat.

Genom uppfinningen har ett antal fördelar gentemot kända lösningar erhållits:

- 30 - Dubbelsidig avfrostning av förångaren vilket gör att avfrostningen går fortare och tilluftstemperaturen blir jämnare.
- Även under pågående avfrostning är det möjligt att fortsatt värma tilluften i luftbehandlingsaggregatet via kondensorn varvid tilluftstemperaturen blir jämnare.
- En stor flexibilitet avseende val av avfrostningsmetod genom konfigurationer med bland annat
 35 fyrvägsventil, hetgasventil, dubbla expansionsventiler vilka företrädesvis är elektroniska, reservoar för reglering och buffring av köldmedium samt dessutom möjlighet till styrning av överhettningen.

Kort beskrivning av figurerna

Nedanstående schematiska principfigurer visar:

- 40 - Fig.1 visar en principskiss på värmepumpen enligt uppfinningen, anordnad i anslutning till ett

luftbehandlingsaggregat med värmeåtervinnare, och i normaldrift för värmning av tilluften.

- Fig.2 visar en principskiss på värmepumpen enligt uppfinningen under samtidig avfrostning av förångaren och värmning via kondensorn, med hjälp av bland annat hetgasventilen.
- Fig.3 visar en principskiss på värmepumpen enligt uppfinningen under reversibel drift för avfrostning av förångaren. Principiellt visar figuren även kyldrifv då kylbehov föreligger.

Den konstruktiva utformningen hos den föreliggande uppfinningen framgår i efterföljande detaljerade beskrivning av ett utföringsexempel på uppfinningen under hänvisning till medföljande figurer som visar ett föredraget, dock ej begränsande utförandeexempel av uppfinningen.

Detaljerad beskrivning av figurerna

Fig.1 visar en principskiss på en föredragen utföringsform av en värmepump 2 enligt uppfinningen, anordnad som en del av ett luftbehandlingsaggregat 9. Det skall dock inses att funktionerna lika gärna kan vara anordnade som en hel aggregatmodul eller ett antal mindre moduler sammanfogande till ett luftbehandlingsaggregat 9. I övrigt skall också nämnas att luftbehandlingsaggregatet 9 även innefattar andra komponenter vilka inte visas i figurerna, såsom filter, andra eventuella värmare och kylare, givare mm.

Enligt utföringsexemplet som visas i figuren är en första luftström 11 anordnad i den övre halvan av det kompletta luftbehandlingsaggregatet 9 och i den första luftströmmens 11 strömningsriktning i figuren från höger till vänster innefattar den första luftströmmen 11 frånluft 18 från exempelvis en lokal, lägenhet eller liknande. Vanligen passerar frånluften 18 ett filter (visas ej) innan det når en värmeåtervinnare 10. Enligt den föredragna utföringsformen är det en reglerbar roterande värmeåtervinnare 10. Därefter passerar den första luftströmmen 11 en förångare 1, vilken utgörs av ett första DX-batteri 29, och därefter passerar luften en frånluftsfläkt 22, vilken är den som driver den första luftströmmen 11. Luften lämnar sedan luftbehandlingsaggregatet 9 och benämns därmed avluft 19, vilken släpps ut i det fria utanför byggnaden. I den nedre delen av luftbehandlingsaggregatet 9 återfinns i en andra luftström 12, och i ordning i figuren från vänster till höger, uteluft 20 vilken suges in i luftbehandlingsaggregatet 9. Uteluften 20 passerar vanligen ett filter (visas ej), innan den når värmeåtervinnaren 10. Därefter ankommer den andra luftströmmen 12 till en kondensorn 6, vilken utgörs av ett andra DX-batteri 30, och därefter passerar luften en tilluftsfläkt 23, vilken driver den andra luftströmmen 12 genom luftbehandlingsaggregatet 9 och in till lokalen. Efter tilluftsfläkten 23 benämns luften vanligen tilluft 21.

Värmepumpen 2 i sin tur innefattar ett köldbärarsystem 3 med ett köldmedium 4, och vid normal drift i värmefallet, återfinns följande komponenter, samtliga självklart med köldbärarrör mellan sig, i ordning som följer. Först en kompressor 5, åtföljt av en fyrvägsventil 8 med ett första inlopp 24 anordnat för köldmediets 4 inströmning från kompressorn 5, vidare ett första utlopp 25 för köldmediets 4 utströmning till kondensorn 6, och ett andra utlopp 26, för återströmning av köldmedium 4 i riktning mot kompressorn 5. Dock återfinns en vätskeavskiljare 17 mellan det andra utloppet 26 och

kompressorn 5, vilken vätskeavskiljare 17 är anordnad att avskilja eventuell vätskeformigt köldmedium 4, så att endast gasformigt köldmedium 4 når kompressorn 5. Kompressorn 5 är mycket känslig för vätska och för att uppnå bästa prestanda i systemet försöker man spruta in maximalt med köldmedium 4 i förångaren 1 utan att det kommer ut vätska ur förångaren 1. Genom yttre omständigheter, det vill säga snabbt förändrade driftförhållanden kan också ostabilitet uppstå i systemet vilket kan leda till att vätska kan komma ut ur förångaren 1. Detta kan också inträffa om kylkretsen vänds utan att kompressorn 5 stoppas. Genom vätskeavskiljaren 17 kan eventuell vätska som kommer ut ur förångaren 1 fångas upp innan den når kompressorn 5. Efter fyrvägsventilens 8 första utlopp 25 följer som sagt kondensorn 6/det andra DX-batteriet 30, vidare därefter i strömningsriktningen en andra expansionsventil 15 följt av en reservoar 14, anordnad som buffert för köldmediet 4 i köldbärarsystemet 3. Då kylkretsen arbetar under olika driftförhållanden behövs olika mängd köldmedium 4 i systemet och dessa skillnader i behovet av köldmedium 4 buffras i den föredragna utföringsformen i reservoaren 14 istället för i kondensorn 6, vilket annars är vanligt förekommande. Vidare i strömningsriktningen följer efter reservoaren 14 en första expansionsventil 7, åtföljd av förångaren 1/ det första DX-batteriet 29 och efter detta sluts värmepumpscykeln genom att förångarens 1 utlopp ansluter till ett andra inlopp 27 till fyrvägsventilen 8. Utöver detta återfinns även en så kallad bypass 28 för köldmediet 4, vilken är anordnad att skicka uppvärmd högtrycksånga direkt från kompressorn 5, via en hetgasventil 13, till förångaren 1, utan att passera den första expansionsventilen 7 eller den andra expansionsventilen 15.

20

Funktion värmedrift

Under tider när värmebehov föreligger utnyttjas i första hand värmeåtervinnaren 10 fullt ut för att återvinna värmeenergi ur frånluften 18 och värma upp tilluften 21. Enligt exemplet i figur 2 körs den reglerbara roterande värmeåtervinnaren 10 med maximalt varvtal för maximal värmeåtervinning. Därmed blir temperaturen T1 efter värmeåtervinnaren 10 låg och inte sällan innehåller även frånluften 18 en del fukt. Temperaturen T1 mäts genom en temperatursensor 16, vilken är placerad efter värmeåtervinnaren 10 i den första luftströmmens 11 strömningsriktning. När inte värmeåtervinnarens 10 kapacitet räcker till måste extra värme tillföras i tilluften 21, och detta enligt uppfinningen med hjälp av värmepumpen 2. Härvid tillförs energi till kompressorn 5 för att driva värmepumpsprocessen och återvinna ytterligare värme ur frånluften via förångaren 1 och överföra denna värme till tilluften 21 via kondensorn 6. Kompressorn 5 styr normalt mot börvärdet i tilluften 21 och värmeeffekten som kondensorn 6 ger är beroende av kompressorn 5 varvtal. I kondensorn 6, det vill säga i det andra DX-batteriet 30, som återfinns i tilluften 21, avges både kompressorvärme och kondensorvärme till tilluften 21. Kyleffekten avges i förångaren 1, det vill säga det första DX-batteriet 29, som återfinns i avluften 19, och följer med avluften 19 ut i det fria. Det senare är detsamma som att värme upptas ur frånluften 18 och därmed kyler ned det som sedan blir avluft 19. Under den rena värmedriften är hetgasventilen 13 helt stängd, medan den andra expansionsventilen 15 är helt öppen och den första expansionsventilen 7 reglerar köldmedieflödet över förångaren 1 och styr mot den så kallade överhettningen, vilken beskrivits ovan. Överhettningen är företrädesvis cirka 4-8 K för optimal drift. När temperaturen T1 mellan återvinnaren 10 och förångaren 1 sjunker ned mot 2-4°C kommer

40

påfrysning att ske i förångaren. När påfrysningen påbörjas och hur kraftig den blir, är beroende av lufttemperatur, luftfuktighet samt kyleffekten i förångaren 1. Härmed uppstår alltså behovet av avfrostning, vilket kan ske på olika sätt enligt nedan.

5 Mjuk avfrostning (soft defrost)

I fall där påfrysningen är i sitt initialskede eller när förhållandena är sådana att det räcker med korta avfrostningssekvenser för att hålla isbildningen borta är det möjligt att enligt ett alternativt förfarande minska kyleffekten i förångaren 1 genom att minska kompressorns 5 varvtal och samtidigt strypa den andra expansionsventilen 15, vilket höjer överhettningen. Då den passerande första luftströmmen
10 11/frånluften 18 inte kyls ned lika mycket som vid påfrysningen, på grund av den minskade kyleffekten och samtidigt köldmediet 4 värms upp genom höjd överhettning, erhålls en dubbelsidig avfrostning av förångaren, och denna metod är lämpad för snabba och återkommande avfrostningar.

15 **Fig.2** visar en föredragen utföringsform av uppfinningen där hetgasventilen 13 används för avfrostning av förångaren 1, enligt beskrivning nedan.

Hetgasavfrostning (hot gas defrost)

När påfrysning i förångaren 1 är indikerad öppnas hetgasventilen 13 under drift, det vill säga samtidigt som värmning av tilluften 21 sker via kondensorn 6, och varm hetgas skickas via bypass 28 direkt till
20 förångaren 1, för att tina denna inifrån. Då ingen energi tillförs via förångaren 1 förbrukas energin efterhand i systemet och så småningom består energin endast av tillförd kompressorenergi, om inte ny energi tillförs. Men genom att istället öppna hetgasventilen 13 begränsat och samtidigt öka kompressorns 5 varvtal, kontrolleras avfrostningen och energianvändningen och temperaturen höjs i
25 förångaren 1 samtidigt som värmeenergi levereras till kondensorn 6. Då är det möjligt att höja temperaturen i förångaren 1 till en nivå där påfrysningen försvinner samtidigt som energin räcker till både avfrostning och värmning av tilluften 21. Dessutom påskyndas avfrostningen av förångaren 1 ytterligare genom att sänka den roterande värmeåtervinnarens 10 varvtal så att frånluftens 18 temperatur T1 mellan rotern och förångaren 1 ökar och avfrostning sker därigenom både utifrån och
30 inifrån. Genom reservoaren 14 tillsammans med den första och andra expansionsventilen 7,15 balanseras hela tiden överhettningen och mängden köldmedium 4 i systemet för optimal drift. Företrädesvis är de båda expansionsventilerna 7,15 samt hetgasventilen 13 elektroniskt styrda. Den första expansionsventilen 7 balanserar, tillsammans med den elektroniska hetgasventilen 13, förhållandet mellan hetgasbypass och köldmedieflöde över förångaren 1 medan den andra
35 expansionsventilen 15 balanserar köldmedieflödet över kondensorn 6.

Fig.3 visar en principskiss på värmepumpen 2 enligt uppfinningen under reversibel drift för avfrostning av förångaren 1. Principiellt visar figuren även kyl drift då kylbehov föreligger. Precis som vid konventionella värmepumpar är det fullt möjligt att köra värmepumpen 2 reversibelt för avfrostning av
40 förångaren 1. Vid indikering av påfrysning i förångaren 1 kopplar fyrvägsventilen 8 om för reversibel

drift och skickar den varma hetgasen/köldmediet 4 direkt till förångaren 1, det vill säga det första DX-batteriet 29 som återfinns i den första luftströmmen 11. På sätt värms det första DX-batteriet 29 upp inifrån och i och med att kyleffekten då minskar i förångaren 1/ det första DX-batteriet 29 blir genomströmmande frånluft 18/avluft 19 varmare och dubbelsidig avfrostning av förångaren 1/ det första DX-batteriet 29 sker. Detta kan också med fördel kombineras med samtidig nedreglering av värmeåtervinningen, vilket i den föredragna utföringsformen innebär en nedvarvning av den roterande värmeåtervinnarens 10 varvtal. Härigenom erhålls ett snabbare förlopp av avfrostningssekvensen. Genom detta förfarande kommer alltså det första DX-batteriet 29, i den första luftströmmen 11, det vill säga det som utgör förångaren 1 vid värmedrift, att värmas upp. Det andra DX-batteriet 30 kyls däremot ned under den reversibla driften varvid tilluften 21 kommer att kylas. Detta kan innebära en nackdel då tilluftstemperaturen kan bli för kall för inblåsning till en lokal. Detta beror förstas på vilken typ av lokal som luftbehandlingsaggregatet 9 betjänar, men vanligen försöker man minimera svängningen mellan kall och varm tilluft 21. Härigenom blir det extra viktigt att avfrostningen av förångaren 1/det första DX-batteriet 29 sker snabbt, och detta löses genom den dubbelsidiga avfrostningen enligt uppfinningen.

Kyl drift

Under tider när kylbehov föreligger utnyttjas i första hand värmeåtervinnaren 10 fullt ut för att återvinna kyla ur frånluften, 18 om frånluften 18 är kallare än uteluften 20, och kyla ned tilluften 21. Enligt exemplet i figur 3 körs den reglerbara roterande värmeåtervinnaren 10 med maximalt varvtal för maximal kylåtervinning. Fyrvägsventilen 8 har kopplat om strömningsriktningen på köldmediet 4 till reversibel drift, i detta fall kyl drift. Kompressorn 5 styr mot börvärdet i tilluften 21 och kylkretsens avgivna kyleffekt är beroende av kompressorns 5 varvtal. Från det andra DX-batteriet 30 avges nu kyla till tilluften 21 medan kondensorvärmens och kompressorvärmens avges i det första DX-batteriet 29 och följer med avluften 19 ut till omgivningen. Vid ren kyl drift är utgör alltså det första DX-batteriet 29 kondensor 6, och det andra DX-batteriet 30 därmed förångare 1. Under kyl driften är hetgasventilen 13 helt stängd, medan den första expansionsventilen 7 är helt öppen och den andra expansionsventilen 15 reglerar köldmedieflödet över det andra DX-batteriet 30 och styr mot börvärdet för överhettningen. För optimal kyl drift är företrädesvis överhettningen cirka 4-8 K.

STYCKLISTA

- 1= förångare
- 2= värmepump
- 5 3= köldbärarsystem
- 4= köldmedium
- 5= kompressor
- 6= kondensor
- 7= första expansionsventil
- 10 8= fyrvägsventil
- 9= luftbehandlingsaggregat
- 10= värmeåtervinnare
- 11= första luftström
- 12= andra luftström
- 15 13= hetgasventil
- 14= reservoar
- 15= andra expansionsventil
- 16= temperatursensor
- 17= vätskeavskiljare
- 20 18= frånluft
- 19= avluft
- 20= uteluft
- 21= tilluft
- 22= frånluftsfläkt
- 25 23= tilluftsfläkt
- 24= första inlopp
- 25= första utlopp
- 26= andra utlopp
- 27= andra inlopp
- 30 28= bypass
- 29= första DX-batteri
- 30= andra DX-batteri

PATENTKRAV

1. Förfarande för avfrostning av en förångare (1) i en värmepump (2), vilken värmepump (2) innefattar ett köldbärarsystem (3) med ett köldmedium (4) och i strömningsriktningen anordnade åtminstone en kompressor (5), minst en kondensorn (6), minst en första expansionsventil (7) samt minst en förångare (1), och vidare innefattar värmepumpen (2) minst en fyrvägsventil (8) vilken är anordnad i flödesriktningen efter kompressorn (5) och innan kondensorn (6), och vidare är fyrvägsventilen (8) anordnad att skifta strömningsriktning på köldmediet (4) i köldbärarsystemet (3), så kallad reversibel drift, varvid köldmediet (4) skickas till förångaren (1) istället för till kondensorn (6) utan att passera expansionsventilen (7), och vidare är värmepumpen (2) anordnad i anslutning till ett luftbehandlingsaggregat (9), vilket luftbehandlingsaggregat (9) innefattar en reglerbar värmeåtervinnare (10), anordnad att återvinna energi ur en första luftström (11) och överföra till en andra luftström (12), och förångaren (1) är anordnad i den första luftströmmen (11), i flödesriktningen efter värmeåtervinnaren (10), och kondensorn (6) är anordnad i den andra luftströmmen (12), i flödesriktningen efter värmeåtervinnaren (10), **kännetecknat av** att vid påfrysning av förångaren (1) höjs köldmediets (4) temperatur genom förångaren (1), samtidigt som värmeåtervinnaren (10) regleras ned, det vill säga värmeåtervinningen minskas, varvid en samtidig uppvärmning sker av förångaren (1), inifrån av köldmediet (4) med förhöjd temperatur, och utifrån av den första luftströmmen (11), vars temperatur ökar när värmeåtervinningen minskar, och därmed avfrostas förångaren (1).

2. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat av** att köldmediets (4) temperaturhöjning vid avfrostning sker genom att värmepumpen (2) körs reversibelt genom att fyrvägsventilen (8) skiftar strömningsriktning på köldmediet (4) i köldbärarsystemet (3), varvid uppvärmt köldmedium (4) skickas till förångaren (1) istället för till kondensorn (6).

3. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat av** att köldmediets (4) temperaturhöjning vid avfrostning sker genom att värmepumpen (2) innefattar en hetgasventil (13), vilken är anordnad i flödesriktningen efter kompressorn (5), och där hetgasventilen (13) helt eller delvis öppnas under drift och därmed styr över en delmängd av varmt köldmedium (4) direkt till förångaren (6) utan att köldmediet (4) passerar den första expansionsventilen (7), samtidigt som resterande delmängd av köldmediet (4) tillförs kondensorn (6).

4. Förfarande enligt patentkrav 3, **kännetecknat av** att kompressorns (5) varvtal höjs samtidigt som hetgasventilen (13) öppnar helt eller delvis.

5. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat av** att köldmediets (4) temperaturhöjning vid avfrostning sker genom att kyleffekten minskas i förångaren (1) genom att minska kompressorns (5) varvtal.

6. Förfarande enligt något av ovanstående patentkrav, **kännetecknat av** att temperaturen (T1) mellan värmeåtervinnaren (10) och förångaren (1) mäts och vid påfrysning av förångaren (1) avgörs valet av avfrostningsmetod av temperaturen (T1).

5 7. Förfarande enligt något av ovanstående patentkrav, **kännetecknat av** att värmepumpen (2) vidare innefattar en reservoar (14) samt en andra expansionsventil (15), vilka är anordnade mellan den första expansionsventilen (7) och kondensorn (6), och att den första expansionsventilen (7) reglerar köldmedieflödet (4) över förångaren (1) och den andra expansionsventilen (15) reglerar köldmedienivån i reservoaren (14) i samordning med den första ventilen (7), för att erhålla en
10 kontrollerad köldmediemängd (4) samt ett balanserat mottryck i kondensorn (6) vid dellast hos kompressorn (5).

8. Förfarande enligt patentkrav 7, **kännetecknat av** att avfrostningen sker genom att höja överhettningen över normalt inställt driftvärde, genom att minska kompressorns (5) varvtal och
15 samtidigt strypa den första expansionsventilen (7), och genom detta minskar kyleffekten i förångaren (1).

9. Anordning för avfrostning av en förångare (1) i en värmepump (2), vilken värmepump (2) innefattar ett köldbärarsystem (3) med ett köldmedium (4) och i strömningsriktningen anordnade åtminstone en
20 kompressor (5), minst en kondensorn (6), minst en första expansionsventil (7) samt minst en förångare (1), och vidare innefattar värmepumpen (2) minst en fyrvägsventil (8) vilken är anordnad i flödesriktningen efter kompressorn (5) och innan kondensorn (6), och vidare är fyrvägsventilen (8) anordnad att skifta strömningsriktning på köldmediet (4) i köldbärarsystemet (3), så kallad reversibel drift, varvid köldmediet (4) skickas till förångaren (1) istället för till kondensorn (6) utan att passera
25 expansionsventilen (7), och vidare är värmepumpen (2) anordnad i anslutning till ett luftbehandlingsaggregat (9), vilket luftbehandlingsaggregat (9) innefattar en reglerbar värmeåtervinnare (10), anordnad att återvinna energi ur en första luftström (11) och överföra till en andra luftström (12), och förångaren (1) är anordnad i den första luftströmmen (11), i flödesriktningen efter värmeåtervinnaren (10), och kondensorn (6) är anordnad i den andra luftströmmen (12), i
30 flödesriktningen efter värmeåtervinnaren (10), och att värmepumpen (2) innefattar en hetgasventil (13), vilken är anordnad i köldmediets (4) flödesriktning efter kompressorn (5), och att hetgasventilen (13) är anordnad att helt eller delvis öppnas under drift och därmed styra över en delmängd av uppvärmt köldmedium (4) direkt till förångaren (1) utan att köldmediet (4) passerar den första expansionsventilen (7), samtidigt som resterande delmängd av köldmediet (4) tillförs kondensorn (6),
35 **kännetecknat av** att värmepumpen (2) innefattar en reservoar (14) samt en andra expansionsventil (15), vilka är anordnade mellan den första expansionsventilen (7) och kondensorn (6), och att den första expansionsventilen (7) är anordnad att reglera köldmedieflödet över förångaren (1) och den andra expansionsventilen (15) är anordnad att reglera köldmedienivån i reservoaren (14) i samordning med den första expansionsventilen (7), för att erhålla en kontrollerad köldmediemängd (4) samt ett
40 balanserat mottryck i kondensorn (6) vid dellast hos kompressorn (5).

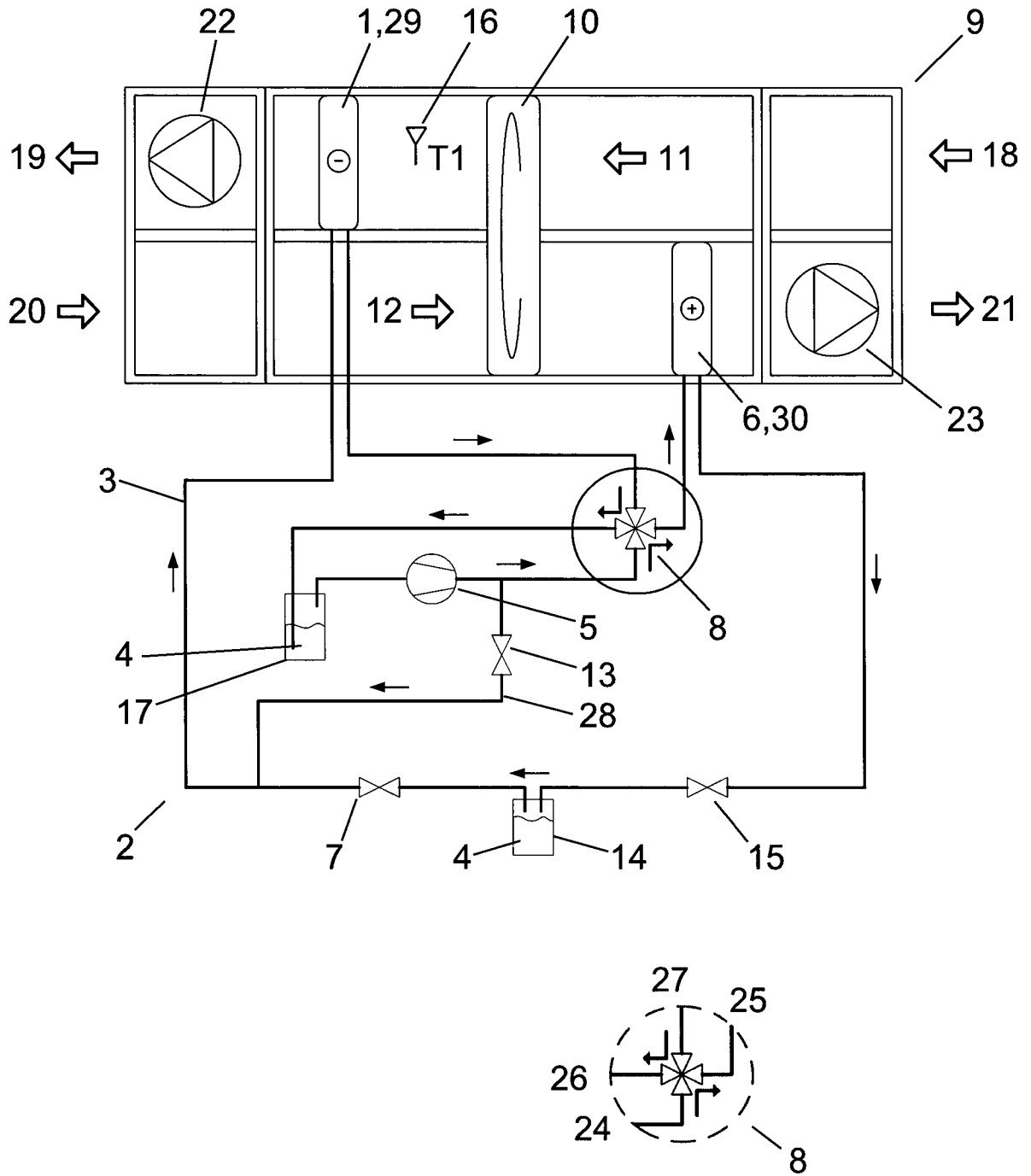


Fig. 1

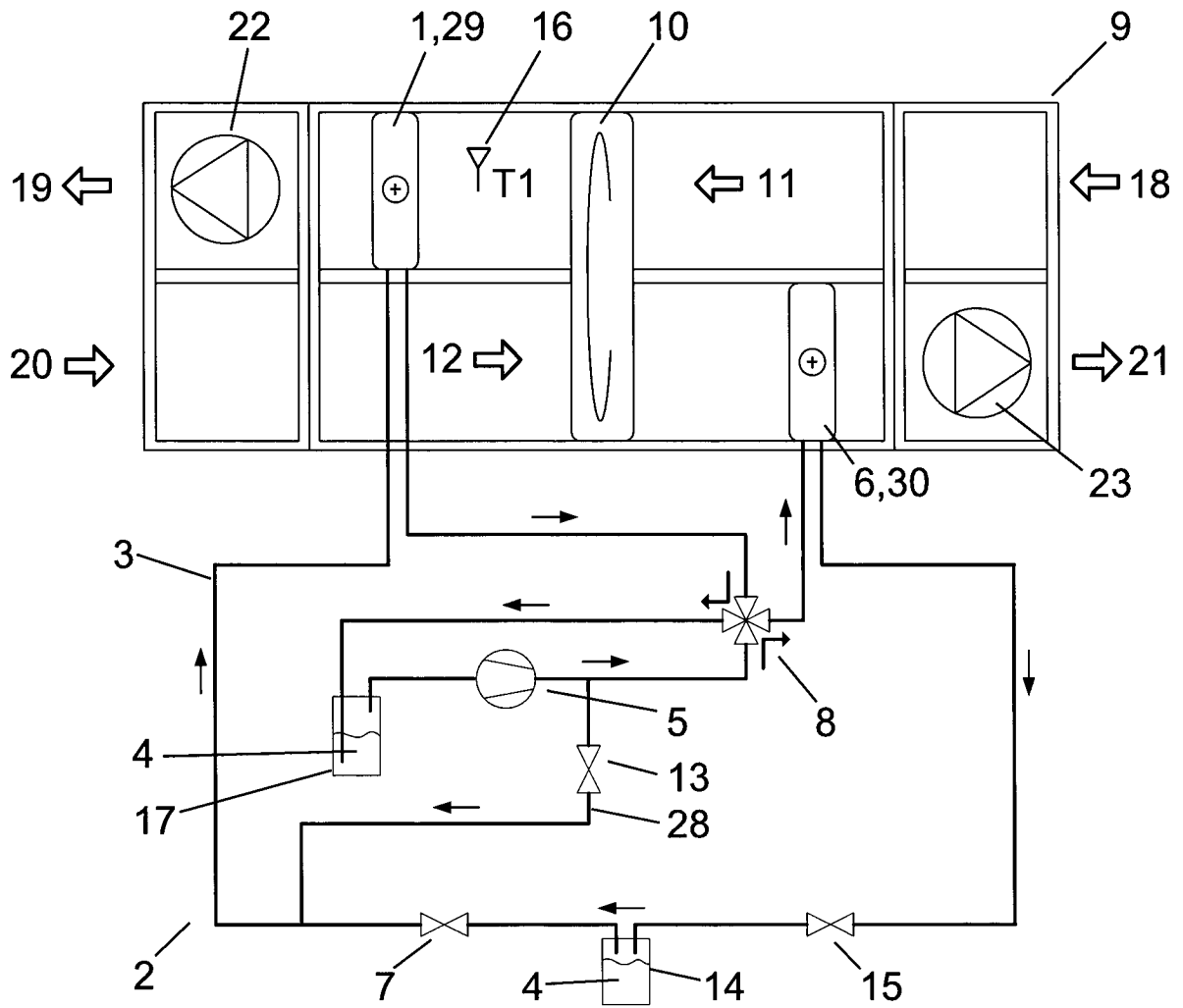


Fig. 2

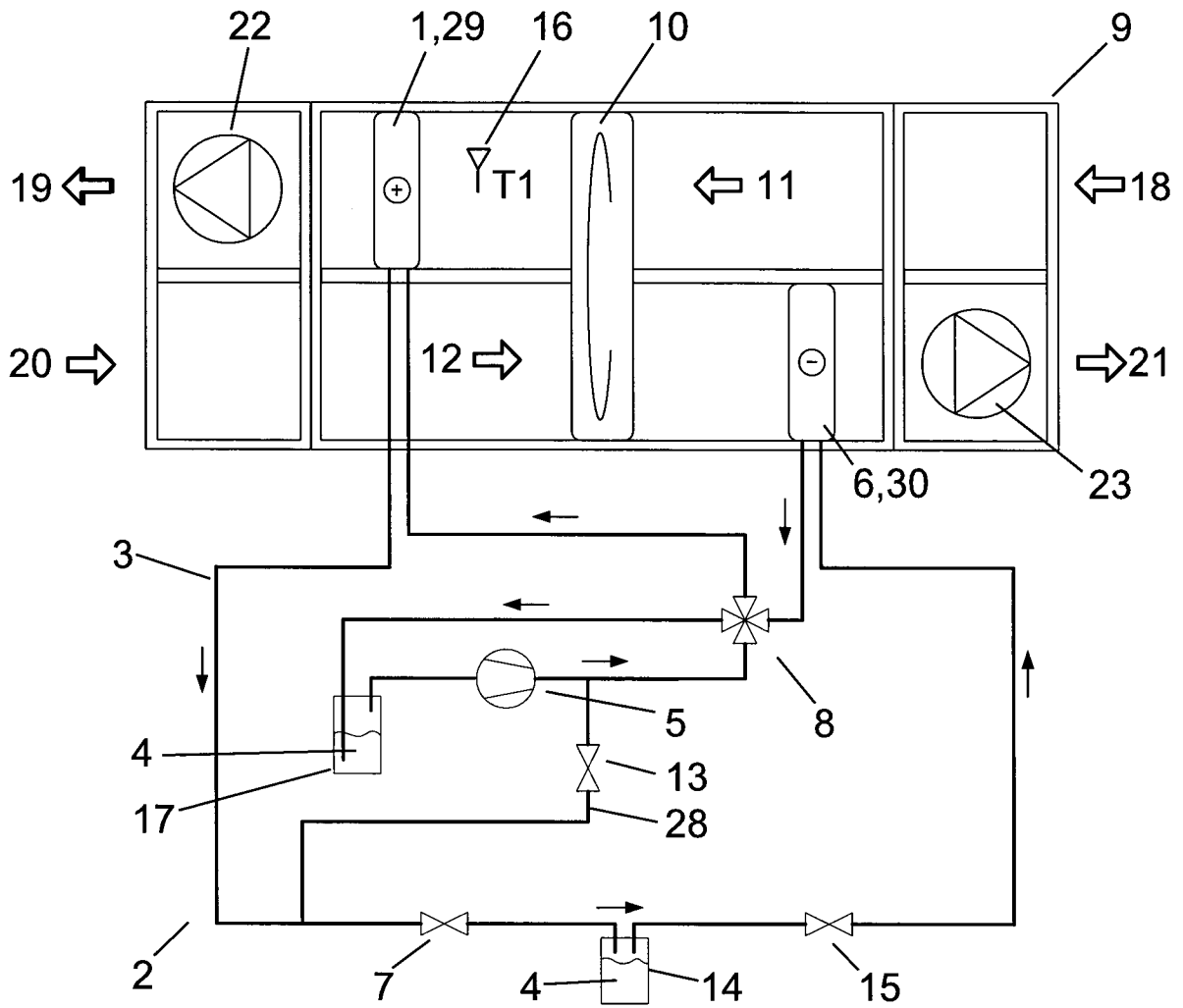


Fig. 3