

Examensarbete Kyl och Värmepumpstekniker 2022

Nikolay Mihaylov

Påverkan på kylprocessen vid olika arbetsförhållanden

Innehållsförteckning

§ Inledning	2
§ Upplägg	2
1. Köldmediebrist	2 – 3
1.1. Tecken på köldmediebrist	3
1.2. Kylaggregat med stor köldmediebrist	4 – 5
1.3. Kylaggregat med termisk expansionsventil och liten köldmediebrist	6
2. Lågt förångarluftflöde påverkan på kylprocessen	6 – 7
2.1. Tecken på lågt förångarluftflöde	7
2.2. Analys av lågt förångarluftflöde	8 – 9
2.3. Kända problem vid överfylld förångare	9
2.4. Svårigheter vid felsökning av luftflödeproblem	9 – 2
2.5. Slutsats av analysen	10
3. Lågt luftflöde genom kondensorn	10 – 11
3.1. Tecken på lågt luftflöde	11
3.2. Lågt luftflöde med termisk expansions ventil	11 – 12
3.3. Lågt luftflöde med ett kapillär rör	12 – 13
4. För mycket köldmedium i kylaggregatet	14
4.1. Symptom på överfylld köldmediekrets	14
4.2. Analys av överfylld köldmediekrets med kapillär rör	15 – 16
4.3. Analys av överfylld köldmediekrets med termisk expansionsventil	16
Referenser	17

Inledning

Service och underhåll av kylutrustning kräver ofta att tekniker mäter tryck och temperaturer för att beräkna köldmediets tillstånd på flera olika platser i systemet. Detta är mycket viktigt för att göra analys av anläggningens totala driftstatus och se till att anläggningen efter ingreppet fungerar på ett säkert sätt och med minimala risker för upprepade driftstörningar. Den här rapporten kommer att belysa påverkan på kylprocessen vid olika arbetsförhållanden men även vad som orsakar dessa driftstörningar samt vad som kan göras för att förhindra avvikelser från normala driftförhållanden. Rapporten är uppdelad i fyra olika scenarier som analyserar stegvis hur kylprocessen påverkas utifrån vanligt förekommande fel på ett kylaggregat. De fyra olika scenarierna är: köldmediebrist, lågt förångarluftflöde, lågt kondensorluftflöde och för mycket köldmedium i kylaggregatet.

Syftet med denna rapport är inte att lära sig utan till hur varje process går tillväga, men att kunna förstå orsakssambandet mellan hur kylprocessen fungerar och hur den påverkas utifrån de olika fel. Jag använder mig av en teoretisk kylprocess och ett DX aggregat med en luftkyld kondensator som ett underlag för mina analyser, men principerna kommer att vara likadana även för andra system såsom vätskekyld kondensator, indirekta system osv. Eftersom den kyltekniska processen är densamma, oavsett vilken köldmedium som används kommer jag inte att specificera köldmedietyper.

Rapporten är riktad till studenter och även yrkesverksamma inom kyl och värmepumps branschen som förutsätts ha grundläggande kunskaper inom området då inte allt förklaras i detalj. Dessutom kan allt detta användas som en vägledande handledning vid felsökning på ett kylsystem.

Upplägg

Rapporten börjar med det första scenariot som är köldmediebrist där jag förklarar lite allmänt om köldmediets funktion, orsaker och tecken på köldmediebrist. Efter det så kommer analys på kylkretsen med köldmediebrist där jag tar upp de viktigaste parametrarna såsom kondenserings tryck och temperatur, förångningstryck/temperatur, underkyllning, överhettning, temperaturdifferens. Efteråt försätter jag med nästa kapitlet som är lågt förångarluftflöde, lågt kondensorluftflöde och avslutar med överfylld köldmediumkrets. Jag använder samma struktur för varje kapitel och har även ritat diagram med de olika scenarierna för att lättare kunna förstå påverkan på kylprocessen.

1. Köldmediebrist

Köldmediet är en mycket viktig del av kylsystemet. Under kylnings processen genomgår köldmediet två isometriskas fasförändringar. Först ändrar köldmediet aggregationstillstånd från vätska till ånga, absorbera och transportera bort värme från omgivningen. Sedan avger köldmediet värme till kylmedlet som kan vara luft eller vatten och kondenserar tillbaka till vätska. Denna tillståndsförändring gör att kylsystem kan upprätthålla förinställda temperaturer i luftfuktighets- och temperaturkontrollerade utrymmen. Även om köldmediet ändrar tillstånd upprepade gånger, kommer den aldrig att förbrukas. Som ett resultat bör samma köldmediummängd hålla under hela systemets livslängd. Mängden köldmedium som krävs för att driva systemet med maximal effektivitet är olika för olika system. Systemet är underfyllt när köldmediummängden är lägre än den rekommenderade fabriksinställda nivån.

Köldmediebrist är en av dem vanligaste problemen med kylaggregat, särskild äldre som inte har underhållits väl. Köldmediebrist innebär sämre effektivitet hos kylaggregatet, vilket leder till ökade elkostnader och att kylkapaciteten inte räcker till. Otillräcklig köldmediumfyllning kan ge minskad kyleffekt i förångaren och enormal stor temperaturdifferens mellan den förångande köldmediet och dess omgivning.

Första tanken vid köldmediumbrist är att det finns läckage någonstans i kylkretsen. Dessutom, när läckage inträffar, förutom att vi kommer att märka luftflödesproblem och minskad kylning kommer även vissa hälsoproblem att uppträda om läckan inte åtgärdas omedelbart. En del köldmedium är giftiga och-/eller brandfarliga medan andra har större densitet än luften, kan tränga bort syret och kan orsaka andningsproblem och även kvävning. Vad som kommer att hända med kylaggregaten beror på storleken av läckan och typen av strypanordning som systemet är utrustad med. Vanligtvis orsakar små läckor en gradvis minskning av systemets prestanda.

Köldmedieläckor kan orsakas av flera faktorer, inklusive:

- Vibrationer kan orsaka läckage med tiden
- Korrosion av kopparrör (samt kopparrören inuti förångaren och-/ eller kondensorn)
- Slitna komponenter och försvagade anslutningar
- Defekter från fabrik
- Felaktig installation av aggregat/ komponenter

1.1. Tecken på köldmediebrist

Vanligtvis upptäcks läckage vid en indirekt läckagekontroll eller en okulär kontroll som indikerar köldmediebrist. Några av de vanligaste tecken på köldmediebrist är:

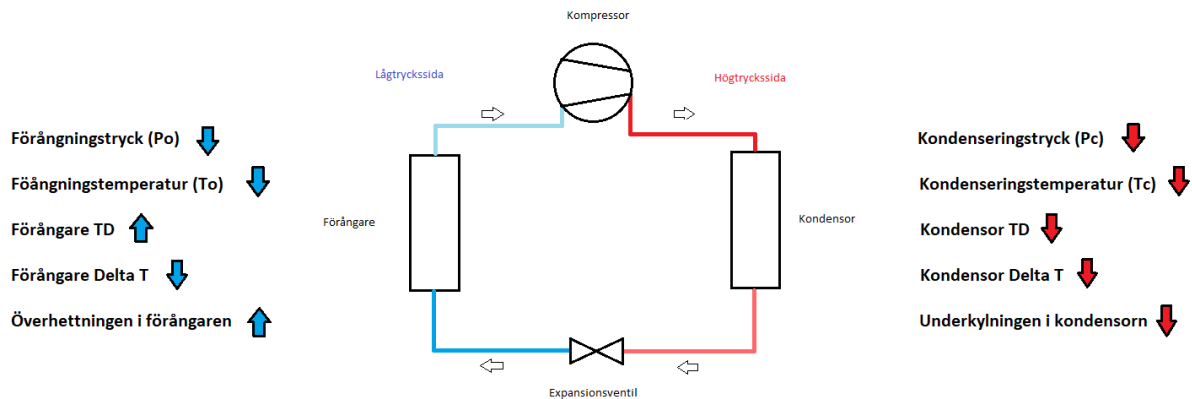
- Låg kylkapacitet i förångaren som orsakar högre temperaturer i dess omgivning.
- Låga arbetstryck i hela systemet följda av låga förångnings och kondenserings temperaturer.
- Hög hetgas temperatur från kompressorns utlopp.
- Frost på förångarbatteriet samt sugledningen fram till kompressorn.
- Minskad eller ingen underkylning av vätska i kondensorn.
- Olja läckage eller fläckar på delar, rör och anslutningar.
- Rost på komponenter.
- Lägre kompressors strömförbrukning.
- Kompressorn stoppas av lågtrycksvakten.
- Kompressorn går längre tid mellan start/stopp cyklerna. Den blir varm under drift samt att färgen på kompressorns hölje börjat släppa på grund av den höga temperaturen.
- Det bubblar i synglasets.

Om en indirekt läckagekontroll indikerar misstanke om att det finns en läcka någonstans, måste det alltid följas av en direkt läckagekontroll, så att man kan hitta var läckan finns.

Direkt läcksökning kan göras med hjälp av elektronisk läcksökare, såpvatten, läcksökningsspray, spårarvätska, osv. Ifall man inte hittar läckan genom direkt läcksökning så måste man tömma anläggningen och sedan trycksätta systemet med kvävgas (Nitrogen) med så högt tryck att läckan kan lokaliseras och därmed repareras. Dock får inte trycket överskrida det högsta tillåtna trycket på aggregaten eller säkerhetsventilen (om den finns).

Därutöver beroende på typen av stryporgan aggregaten är försedd med kommer kylprocessen att påverkas annorlunda. Det finns två typer av strypanordningar: en med fast öppning som kapillär rör och annat med varierande öppning såsom termisk expansionsventil eller elektronisk expansionsventil som jag lägger till i samma kategori.

1.2. Analys av kylprocessen med kapillär rör, termisk expansionsventil eller elektronisk expansionsventil med stor köldmediumbrist



Figur 1. kylprocess med köldmediebrist

Lägre Kondenseringstryck (p_c) och kondenseringstemperatur (t_c): Ju fler gasmolekyler som vi stoppar in i ett kylaggregat desto mer köldmedium kommer det att flytta igenom den. Ju större köldmediummängd som finns i systemet desto högre blir trycket. Finns det dock mindre köldmediemängd i systemet kommer vi att få lite lägre tryck. Om vi har ett aggregat med köldmediumbrist kommer trycket på högtryckssidan att sjunka. Vi kommer också att få en lägre mättnads temperatur eftersom tryck och temperatur är knutna till varandra. Dessutom kommer kondenseringen att ske vid en lägre temperatur, den kommer att vara närmare omgivningstemperaturen.

Låg Kondensorn TD (temperaturdifferens): Eftersom kondensorn får mindre värme från kompressorn på grund av köldmediebristen kommer kondensorns temperaturdifferens att minska. Temperaturdifferens är skillnaden mellan den mättade köldmediumvätskan och omgivningen. Till exempel om omgivningstemperaturen är $+25\text{ °C}$ och kondenseringstemperaturen är $+26\text{ °C}$ (på grund av köldmedium bristen) kommer det inte att ske något större värmeöverföring på grund av den lilla temperaturskillnaden. Oavsett vilken omgivningstemperatur det är kommer kondensorns temperaturdifferens att förbli den samma om belastningen på förångaren förbli densamma. Dock kommer Temperaturdifferensen att ändras om belastningen på förångaren ändras. Om belastningen på förångaren ökar, kommer kondensorns temperaturdifferens att öka. Minskar belastningen så kommer temperaturdifferensen att minska också.

Låg Kondensorn Delta T: Till följd av en minskad temperaturdifferens kommer det att avges mindre värme från kondensorn. Temperaturen på den inkommande luften och utgående från kondensorn kommer att vara mycket närmare varandra.

Låg underkyllning i kondensorn: Om systemet har en otillräcklig köldmediumfyllning kommer köldmediet att strömma mycket snabbare genom kondensorn för att försöka tillfredsställa

belastningsförhållandena. Detta ger inte tillräckligt med tid för köldmediet att kondensera och svalna ordentligt, vilket resulterar i liten eller ingen underkyllning. Hur hög underkyllningen bör vara är olika för olika anläggningar, men för de flesta är normal att den ligger mellan 1 till 5 K. Detta för att säkerställa att vätska kommer till expansionsventilen.

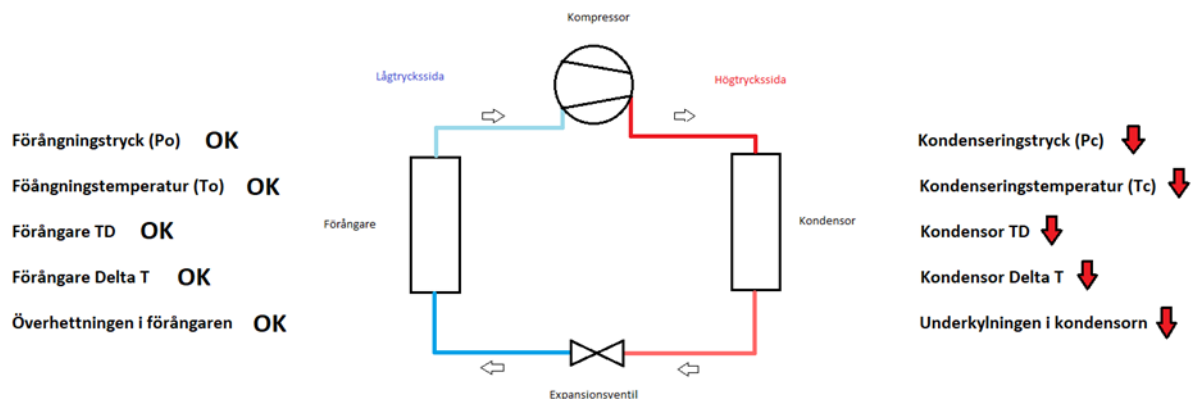
Lägre förångningstryck (p_o) och förångningstemperatur (t_o): Nu kan man se att alla parametrar på högtrycksidan i stort sett har sjunkit i samband med köldmediebristen. När vätskan från kondensorn, alternativt köldmediebehållaren passerar strypdonet kommer den in på anläggningens lågtrycksida. I och med att trycket på högtrycksidan har sjunkit, betyder det att vi trycker med mindre tryck på vätskan som kommer in i strypanordningen. Eftersom trycket är lägre så trycks det samtidigt mindre köldmedium vätska in i förångaren. Detta i sin tur kommer att resultera i lägre sugtryck eller förångningstryck. Som vi redan vet att tryck och temperatur är beroende av varandra innebär det att förångningstemperaturen kommer också att bli lägre. Vanligvis stävar vi efter en så låg temperatur som möjligt men när temperaturerna faller till 0°C eller lägre börjar fukten i luften och på förångaren att frysa. Detta i sin tur leder till isbildningar på förångarytan. Eftersom kapaciteten på kylaggregaten blir nedsatt på grund av för lite vätska i förångaren kommer vi att observera att en del av förångaren har frost/kondens.

Högre överhettning i förångaren: I och med att köldmediumvätskan som strömmar in i förångaren är mindre, betyder det att förångningen sker i en mindre del av förångaren. Det vill säga att inte hela förångarytan utnyttjas. När all köldmediumvätskan har förångats redan till exempel i 20 % av förångarytan och övergått till ånga, kommer denna ånga att ytterligare överhettas i resterande 80% av förångaren. När överhettningen av ångan ökar, stiger även temperaturen på den komprimerade gasen från kompressorn. Eftersom vätskeledningen, stryporganet och förångaren svältas på vätska så kommer som ett resultat även kompressorn att svälta. Om temperaturen på utloppsroret stiger över +120°C måste utloppsrorets termostat (med en bulb monterad på tryckgasroret) stoppa systemet. I praktiken innebär det att gastemperaturen vid tryckventilerna är 20–30°C högre.

Förångare Delta T: Eftersom köldmedievätskan absorberar värme i förångaren från dess omgivning för att kunna övergå till ånga betyder det att minskad köldmediummängd kommer att leda till mindre värmeupptagning från omgivningen. Detta kommer att resultera i en minskad temperaturskillnad mellan inströmmande luften till förångaren och det utgående luften från förångaren.

Förångare TD (Temperatur differens): På grund av minskad mättnadstemperatur (temperaturen då köldmediet börjar koka) samt mindre köldmedium mängd som upptar värme i förångaren, kommer omgivningstemperaturen att förbli det samma eller att stiga. Till exempel om omgivningstemperaturen är 15°C medan förångningstemperaturen är 0°C resulterar detta i väldigt stor temperaturskillnad, mycket större än den typiska 2-3K temperaturskillnad som vi brukar ha vid ett normalt fungerande system. Även om temperaturen på förångaren känns kallare som i detta exempel är 0°C, betyder inte det att den faktiskt absorberar mer värme. Trots allt finns det mindre köldmedium som upptar värme och ändrar aggregation tillstånd från vätska till ånga.

1.3. Kylaggregat med termisk expansionsventil med liten köldmediumbrist



Figur 2. kylprocess med termisk eller elektronisk expansionsventil med liten köldmediebrist

Låt oss fundera på vad som kommer att hända i kylprocessen på ett aggregat utrustad med en termisk eller elektronisk expansionsventil med liten köldmediumbrist. I stort sätt så kommer parametrarna på högttrycksidan att likna de vid scenariot med hög köldmediumbrist. Återigen kommer aggregatet att fungera med lägre kondenserings tryck samt temperatur däremot med mindre avvikelse från normala driftsförhållanden på lågtrycksidan. Det som kommer att skilja sig är med största sannolikhet något högre underkylning jämfört med vid högre köldmediebrist. Någoting att komma ihåg när det kommer till underkylningen är att varje grad av underkyld köldmediumvätska ökar köldmediets kyleffekt med ca 1 - 2 %.

När det kommer till användningen av termostatisk expansionsventil eller elektronisk expansionsventil med åtminstone 1K underkyld köldmediumvätska som strömmar igenom, så kommer de fortfarande att försöka upprätthålla en rätt överhettning. Så länge expansionsventilen får tillräcklig med köldmediumvätska under dessa omständigheter så kommer lågtrycksidan att bevara rätt förångningstryck och temperatur och i stort sätt en felfri värmeupptagning. Detta såklart kommer att försämrars ju längre enheten går med köldmediebrist samt svårighetsgraden av läckaget. När köldmediebristen ökar med tiden så kommer även den termiska expansionsventilen att sluta kontrollera överhettningen. Expansions ventilen kommer då att börja få en kombination av vätska och ånga vid sitt inlopp, vilket kommer att svälta förångaren på köldmedium och till följd höja överhettningen. Kompressorn kommer då att suga in mer överhettad ånga och med varje kompressionslag kommer den att överhetta köldmediet från sitt utlopp ännu mer.

2. Lågt förångarluftflöde påverkan på kylprocessen

Köldmediet ändrar vanligtvis aggregationstillstånd från flyttande till gasform i förångarslingan. Anledningen till att luft svalnar när den passerar över förångaren är på grund av konvektionsprocessen. Det är en naturlig process genom vilken värme överförs mellan vätskor, gaser och fasta ämnen med olika temperaturer.

Tillräckligt luftflöde över förångaren är en av dem absolut viktigaste faktorerna för ett normalt fungerande kylaggregat. Detta är inte bara för att köldmediet ska kunna absorbera värme från luften,

utan också för att det inte fryser och täpper till förångarslingan. Detta beror på att kylsystem vanligtvis är utformade med den varma luften i åtanke. De är designade för att kyla sig själva från luft som strömmar över dem till följd av att det flytande köldmediet avdunstar. Om luftflödet är begränsat kommer förångningen av köldmediet inte bara att kunna kyla luften utan också frysa den. Isen som bildas på förångarslingan kommer då att fungera som en isolerande lager och minska dess effektivitet. Som ett resultat kommer aggregatet att behöva arbeta längre och hårdare för att hålla den förinställda temperaturen, vilket inte bara kommer att öka energiräkningen utan också minska livslängden på aggregatet.

Vi måste tänka på att värmen finns i omgivningen. Den värmen vi försöker absorbera finns i luften, så om vi har mindre luftflöde genom förångaren så kommer den automatiskt att absorbera mindre värmeenergi. Inget luftflöde gör att mycket av köldmediet i förångaren förblir vätska och inte förångas. Detta flyttande köldmedium kommer att sugas in i kompressorn och ledda till vätskeslag och möjligen kompressorhaveri. Det finns många anledningar till försämrad eller blockerad luftflöde genom förångarbatteriet, dock den vanligaste orsaken är:

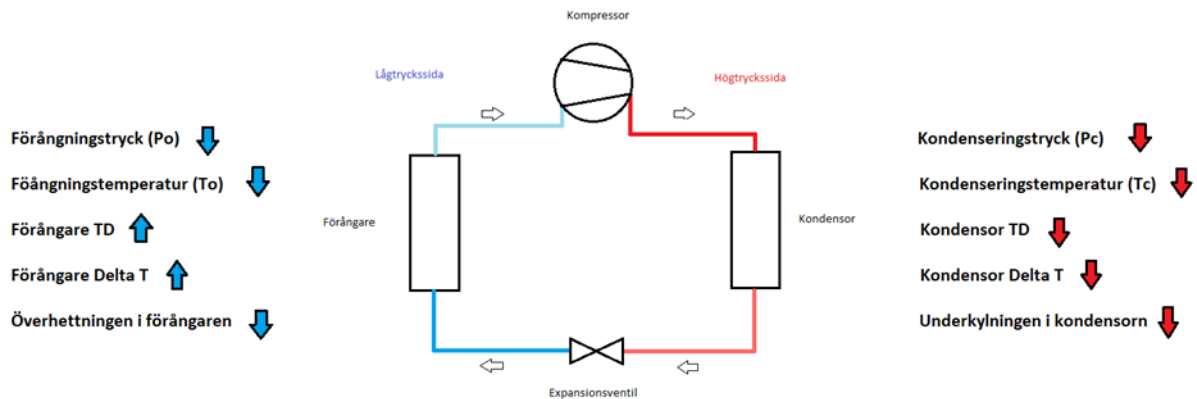
- Frostad förångarbatteri på grund av: hög luftfuktighet; dåligt avfrostningsvärme; förångarfläkt ur funktion; låg värmebelastning på förångaren; felaktig avfrostnings komponenter
- Smutsig förångare
- Igensatt luftfilter
- Trasig eller felaktig motorfläkt

2.1. Tecken på lågt förångarluftflöde:

Det finns olika typer av symptom som kan uppstå vid försämrat luftflöde till förångaren, och dessa symptom kommer inte att skilja sig oavsett typen av strypanordning systemet är utrustad med.

- Låga arbetstryck följda av låga kondenserings och förångnings temperaturer, kännetecknade av låg överhettning i förångaren.
- Otillräcklig kylkapacitet i förångaren som orsakar högre temperaturer i dess omgivning.
- Frostad förångarbatteri (dock kan is och frost bildas på förångaren på grund av andra problem också)
- Korta start/stopp kompressorgång. Kompressorn körs upprepade gånger under några sekunder och sedan stängs av.
- Hög kompressors strömförbrukning
- Kall kompressorvevhus

2.2. Analys av lågt förångarluftflöde



Figur 3. kylprocess med lågt förångarluftflöde

Lågt förångningstryck (p_o) och temperatur (t_o): Eftersom luftflödet över förångaren blir lägre så minskar samtidigt värmeupptagningen av förångaren. Detta betyder att temperaturen runt kylbatteriet börjar sjunka och när temperaturen på utsidan av förångaren börja sjunka, sugtrycket på insidan av batteriet sjunker också. Vi vet att förångningstrycket är direkt kopplad till förångningstemperaturen, den temperaturen vid vilken köldmediumvätskan börjar koka. Den kommer att sjunka också. Sjunker den när till 0°C eller lägre så kommer fukten i luften att frysa. Den fukten som lägger sig på förångaren kommer att frysa och bilda en isolerande is lager på dess ytan.

Låg överhettning i förångaren: Minskningen av luftflödet till förångaren resulterar samtidig i minskat värmeupptagning, den kokar inte bort köldmediet lika snabbt. När köldmediet inte kokar bort lika snabbt så får vi mer och mer mättad köldmediumvätska som börjar överfylla förångaren, och vi kan inte riktigt mäta det. Men det vi kan göra är att mäta den överhettade ångan genom att mäta överhettningen, den kännbara värmen. Genom att mäta överhettningen kan vi se att vi har för lite överhettad ånga vilket betyder att det finns för mycket mättad köldmediumvätska som i sin tur leder till en överfylld förångare.

Hög förångare TD (temperaturdifferens): Nu när temperaturen på sugsidan börjar sjunka, temperaturdifferensen mellan den kokande köldmediumvätskan och luftstemperatur kommer att vara mycket större. Lufttemperaturen kommer att vara den samma medans den sjunkande förångningstemperaturen kommer att vara mycket lägre. Som ett resultat av detta kommer vi att se en högre temperaturdifferens. Om förångningstemperaturen är till exempel 0°C medans luftstemperatur är $+20^\circ\text{C}$ på grund av den stora temperaturskillnaden kommer vattenångan i luften att kondensera till vatten på förångarytan när temperaturen sjunkit under daggpunkten. Detta kommer att leda till isbildningar på förångaren.

Hög förångare Delta T: Eftersom vi flyttar mindre luft över förångaren, kommer vi att ha mer tid att ta ut värme från luften. I och med att luften rör sig långsammare finns det längre kontakttid mellan luften och förångarens metallytan vilket ger den längre tid att ändra temperaturen. Eftersom luftflödet är mindre finns det totalt sett mindre värme på förångaren så att temperaturen och trycket i förångaren sjunker. Den lägre förångartemperatur kommer också att innebära att den ligger mycket lägre under daggpunkten och avfuktar bättre. Det kommer dock inte att ha tillräckligt med tid för att koka upp allt köldmedium till en ånga, vilket minskar på överhettningen och potentiellt kommer att

skada kompressorn. Som ett resultat av detta får vi en större kännbar temperaturförändring. Temperaturskillnaden på luften som kommer in till förångaren och den som kommer ut från den blir betydlig större.

Lägre kondenseringstryck och temperatur: Eftersom den mättade köldmediumvätskan inte hinner att absorbera värme för att höja temperaturen, sugs den kalla våta köldmedium gasen med liten till ingen överhettning av kompressorn. Förhoppningsvis kommer kompressorns värme att förånga all vätska. Denna förångningsprocess behöver dock värme och kommer att få den från kompressionsvärmerna, från den redan ackumulerade värmen på kolvarna och från motorlindringarna. Eftersom det var mycket lågt värme som absorberades i förångarbatteriet, kommer det knappast att finnas något värme som avges i kondensorn. Som ett resultat av detta kommer utloppstemperaturen från kompressorn att vara mycket lägre än normalt. Svalare tryckgastemperatur leder till lägre kondenseringstryck och temperatur.

Lägre underkyllning i kondensorn: När kondenseringstrycket har minskat betyder det att kompressorn inte komprimerar lika mycket köldmedium gas vilket betyder att det är mindre gas som kondenserar till vätska. Eftersom det är mindre köldmedium gas som ändrar aggregationstillstånd innebär detta att mindre underkyld vätska lämnar kondensorn.

Lägre kondensorn temperaturdifferens och Delta T: Den minskade temperaturen i kondensorn kommer att vara mycket närmare luftens temperatur vilket betyder minskad temperaturdifferens. Även med en lägre temperaturskillnad, behöver dock kondenseringstrycket och temperaturen inte höjas för att kunna avge värme till omgivningen.

2.3. Kända problem vid överfylld förångare

När förångaren är fylld med mättad köldmediumvätska leder det till mindre eller ingen överhettning på suggasledningen. Detta i sin tur kommer att leda till att oförångad köldmediumvätska sugas in i kompressorn vilket kommer att orsaka driftproblem bland annat vätskeslag. Ett problem är att köldmediumvätskan kommer att tvätta bort oljan från kolvarna till kompressorn. När vi tvättar bort oljan från kolvarna till kompressorn förlorar vi smörjnings egenskaperna som leder till förstörda kolvar eller lager inuti kompressorn. På samma gång kommer oljan att börja skumma tillsammans med köldmediumvätskan inuti kompressorns kompressions kammaren. Vi vet att kompressorn inte kan komprimera vätska vilket skulle också leda till förstörda kolvar eller lager. Samtidigt kommer det oförångade köldmediet att kortsluta motorlindringarna inuti kompressorn.

2.4. Svårigheter vid felsökning av luftflödeproblem och analys av händelseförloppet

En svårighet när det kommer till felsökning av kylaggregat med förångarluftflöde problem är att den minskade kylkapacitetens symptom liknar i stort sätt de vid köldmediebrist. Om man fokuserar endast på lågtrycksidan så kommer man automatisk att anta att det finns köldmediumbrist i systemet och för att kunna få trycket att stiga som måste man fylla på mer köldmedium. Därmed kan systemet bli överladdat om en oerfaren tekniker försöker fixa ett troligt luftflödesproblem genom att tillsätta mer köldmedium utan att ta hänsyn till andra faktorer som kan påverka systemet negativt.

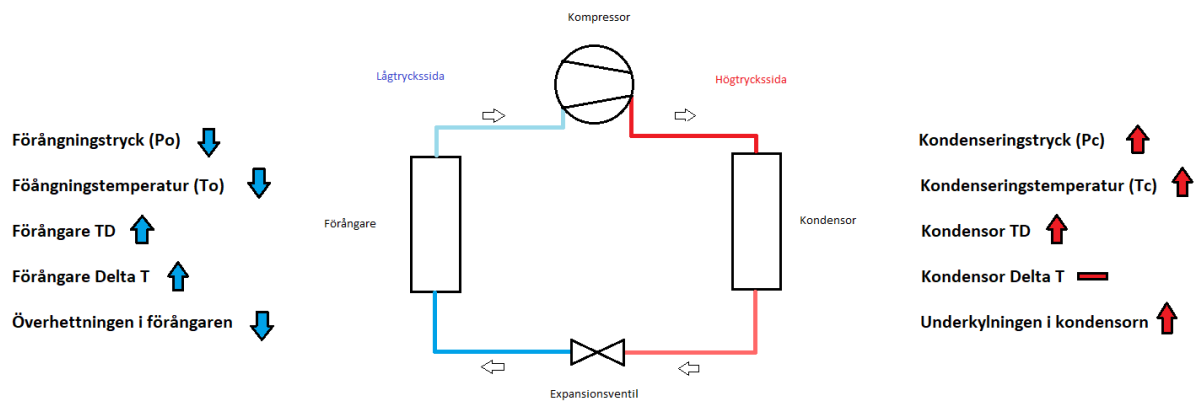
Hur skulle aggregatets prestanda påverkas vid ett sådan händelseförlopp om vi tillsätter mer köldmedium i samband med försämrat luftflöde på förångaren? Lågtrycksidan kommer i stort sätt att bli oförändrad. Däremot kommer vi att uppmärksamma några förändringar på högtrycksidan.

Kondenseringstryck (p_c) och kondenseringstemperatur (t_c): Större köldmedium mängd betyder fler köldmediummolekyler som vi försöker att komprimera vilket skulle leda till högre kondenserings tryck. Samtidigt som högtrycket stiger kommer kondenseringstemperaturen att bli högre.

Kondensor TD (temperaturdifferens): Som ett resultat av en högre kondenseringstemperatur får vi en större temperaturskillnad mellan temperaturen på kondensorn och temperaturen på luften i omgivningen.

Underkylningen i kondensorn: Under tiden vi får mer köldmediumvätska och en temperaturökning i kondensor så kommer mängden på den underkylda vätskan att stiga också. Kondenseringen av ånga till vätska sker vid mindre yta inuti kondensorn. Detta påverkar i sin tur köldmediummängden i kondensorn som kommer att leda till en överfylld kondenseringsenhet.

Kondensor Delta T: Eftersom det fortfarande inte flyttas någon extra mängd av värme kommer temperaturskillnaden mellan luften som kommer in och den som går ut från kondensorn att bli oförändrad eller med väldigt liten skillnad.



Figur 4. kylprocess med låg förångarluftflöde och adderad köldmedium

2.5. Slutsats av analysen

Att vi får stigande tryck samt temperatur samtidigt som vi får högre underkylning av köldmediumvätska och högre temperaturdifferens mellan kondenserings temperaturen och omgivningen är resultat av adderingen av mer köldmedium i aggregatet. Dock kommer tillståndet på lågtrycksidan, beroende på typen av strypanordning, fortfarande att vara oförändrad eller med väldigt liten variation. Sugtrycket kommer fortfarande att vara lägre än normalt och som resultat av detta så kommer kompressionsförhållandet att öka. Högre kompressionsförhållande kommer att utsätta kompressor för mer slitage och med tiden även haveri.

Lågtrycksidans välmående är lika beroende på rätt förutsättningar som omgivnings temperatur och luftflöde men även på högtrycksidans tillstånd. Istället för att tillsätta mer köldmedium till systemet vid lägre sugtryck så måste man fundera och undersöka noga på vad som orsakar detta problem och åtgärda den omgående. Luftflöde till förångaren är det första man måste tänka på vid sådana symptom.

3. Lågt luftflöde genom kondensorn

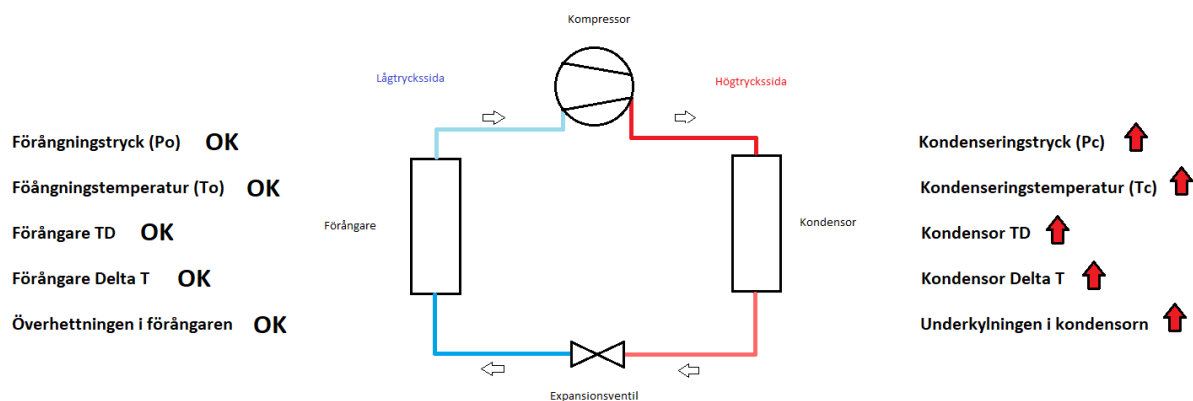
Kondensorns uppgift i ett kylsystem är att överföra värme från köldmediet, upptagen i förångaren och den tillförda energin vid kompressionen till ett medium som kan föra bort värmen. Oftast är detta medium luft eller vatten. Genom att avvisa värme, kondenserar det gasformiga köldmediet till vätska inuti kondensorn. För att kunna överföra den ackumulerade värmeenergi behöver temperaturen på köldmediet att vara något högre än mediets temperatur. Luftflödet genom en luftkyldkondensator är den avgörande faktorn för en lyckad värmeöverföring.

Lågt luftflöde genom kondensorn är väldigt vanligt problem hos alla typer av kylaggregat. Den kännetecknas av förhöjda tryck och temperaturer och en överhettad kondensator enhet. Den vanligaste orsaken till lågt luftflöde är en smutsig kondensatorspole. Om utsidan av kondensatorslingan är igensatt med smuts, fett, ogräs, damm eller om det är dåligt luftflöde på grund av en inaktiv fläktmotor eller andra hinder runt enheten kommer kompressorns utloppstemperatur att vara hög. Den höga utloppstemperaturen orsakas av att köldmediet inte kan avvisa den genererade värmen i kondensorn. Som ett resultat av detta kommer systemet att överbelastas.

3.1. Tecken på lågt luftflöde genom kondensorn

- Högre kondenseringstryck och temperatur, följda av hög underkyllning och temperaturdifferens mellan kondensorn och omgivningen.
- Högre förångningstryck och temperatur (kapillärrör)
- Högre hetgas temperaturer från kompressorns utlopp.
- Högre strömförbrukning.

3.2. Lågt luftflöde genom kondensator med en termisk expansionsventil



Figur 5. kylprocess med lågt kondensatorluftflöde (termisk expansionsventil)

Högre kondenseringstryck (p_c) och temperatur (t_c): Med ett minskat luftflöde kommer vi att överföra värmen från köldmediet till omgivningen mycket långsammare. Som ett resultat av detta kommer temperaturen runt kondensorn att stiga vilket kommer att leda till en högre kondenseringstryck. På grund av köldmediets tryck-temperaturförhållande kommer även kondenseringstemperaturen att stiga.

Hög Kondensorn TD (temperaturdifferens): Till följd av den högre mättnadstemperaturen som kommer att bli mycket högre än kondensorns omgivning, kommer vi att få en högre temperaturdifferens. Temperaturen mellan den kondenserade köldmediumvätska och luften. Till exempel om vi har en kondenserings temperatur på +45°C medans omgivningens temperatur är +25°C detta ger oss 20 K temperaturskillnad.

Hög Kondensorn Delta T: När kondenseringstemperaturen stiger kommer det att komma till en punkt där temperaturskillnaden mellan kondenseringstemperaturen och omgivningen (Delta T) är tillräckligt stor för att avvisa värme från kondensorn. Kom ihåg att en temperaturskillnad är driftkraften för att värmeöverföring ska ske mellan vad som helst. Ju större temperaturskillnad, desto större värmeöverföring. Kondensorn avvisar nu tillräckligt med värme så att systemet kan fortsätta att köras med en smutsig kondensorn. Systemet arbetar dock vid förhöjda kondenseringstryck och temperatur, vilket resulterar i höga kompressionsförhållanden och driftsineffektivitet.

Normal till medelhög underkylning i kondensorn: Höga kondenseringstryck orsakar höga kompressionsförhållanden, vilket i sin tur orsakar lågt volymetrisk verkningsgrad. Låg volymetrisk verkningsgrad resulterar i mindre köldmedieflöde. Vid låga flödes hastigheter är det mindre sannolikt att underkylning inträffar. Underkylningen som bildas i kondensorn är dock varmare och kondenseringstemperaturen högre, så värmen avleds snabbt till omgivningen. På grund av denna snabbare värmeavledning kyls vätskan i kondensorn snabbare och har en större temperaturskillnad jämfört med kondenseringstemperaturen. Detta är en av de viktigaste skillnaderna mellan köldmediumbrist och en blockerad kondensorn. Köldmediebrist kan orsaka mycket hög underkylning av kondensorn, men blockerad kondensorn gör det inte.

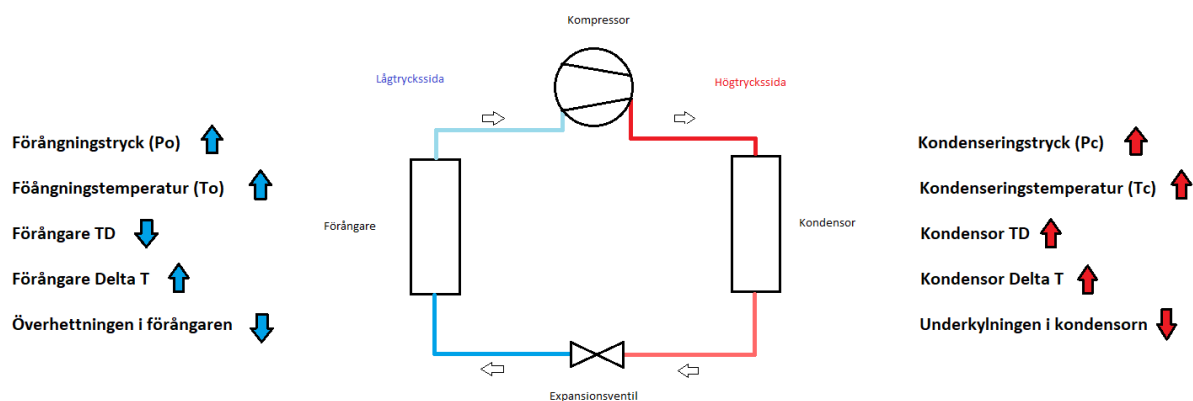
Normal till medelhögt förångningstryck och temperatur: Efter att köldmediet har blivit underkyld kommer den att strömma genom expansionsventilen. Vartefter kommer trycket i vätskan att sjunka och kylas ner till förångnings trycket. Termiska expansionsventilens jobb är att försöka upprätthålla en konstant mängd överhettning i förångaren. Öppningen eller stängningen av expansionsventilen kommer att ändra flödet som kommer in i förångaren. Detta kommer att påverka i sin tur mängden mättad köldmediumvätska som kommer in i förångaren. På grund av att termiska expansionsventillen försöker att hålla en förbestämd överhettning på suggasen kommer vi att få en konstant mängd köldmediumvätska som leder till ett normalt förångningstryck och temperatur.

Normal överhettning i förångaren: Termiska expansionsventilen kommer att upprätthålla den inställda överhettningen och i stort sätt normal kyleffekt. Detta beror dock på hur allvarlig kondensorns tillstånd är och att kondenseringstrycket inte överstiger ventilområdet.

Normal förångnings Delta T och temperaturdifferens: I stort sätt kommer temperaturskillnaden mellan förångarens temperatur och omgivningen att vara inom normala gränserna så länge den termiska expansionsventillen bibehåller den förinställda överhettningen.

3.3. Lågt luftflöde genom kondensorn med ett kapillärrör

Effekten på kylprocessen vid lågt luftflöde genom kondensorn med ett kapillärrör. Om vi har ett kapillärrör istället för en termisk expansionsventil kommer vi att observera någorlunda beteende på hela kylprocessen vid samma omständigheter.



Figur 6. kylprocess med lågt kondensorluftflöde (kapillärrör)

Högre kondenseringstryck (p_c) och temperatur (t_c): Återigen kommer vi att få högre kondenseringstryck och temperatur eftersom flödet genom kondensorn kommer att vara lågt. I samband med detta kommer temperaturskillnaden mellan den mättade köldmediumvätska och omgivningen att vara mycket högre som ger upphov till större värmeavgivning från kondensorn till luften.

Lägre kondensorunderkyllning: På grund av det högre kondenseringstrycket som bildas på högtrycksidan betyder det att vi trycker med högre kraft emot den kondenserade köldmediumvätskan ut från kondensorn och vidare till kapillärröret. Kapillärröret står för ett statistiskt motstånd. Allt köldmedium måste passera genom ett långt rör med liten diameter, vilket minskar trycket på lågtrycksidan. Detta kommer att orsaka att mindre mättad köldmediumvätska hinner att underkylas och samlas in i kondensorn. Så underkyllningen kommer att vara mindre än normalt.

Högre förångningstryck och temperatur: Ju snabbare köldmediet passerar genom kapillärröret desto mer mättad köldmediumvätska kommer det att samlas in i förångaren. Detta kommer att resultera i högre förångningsstryck och temperatur.

Lägre överhettning i förångaren: Den mättade köldmediet som strömmar in i förångaren hinner inte att förångas på grund av det större volymflödet. Nu när förångaren överfylls med mättad köldmediumvätska kommer även överhettningen att minska.

Lägre förångare temperaturdifferens: Eftersom förångningstemperaturen stiger med mängden köldmedium, kommer det att bli mycket närmare omgivningens temperatur. Som ett resultat av detta minskar värmeupptagningen och temperaturen i luften kommer att stiga.

Högre förångare Delta T: När det kommer till skillnaden mellan förångarens lufttemperatur som kommer in i batteriet och lufttemperaturen som lämnar batteriet, kommer den eventuellt att öka. Eftersom det finns större mängd av mättad köldmediumvätska in i förångaren ökar den potentialen för att absorbera mer värme från luften. Ovanpå detta kommer det att skapas potentialen för mer oförångad köldmediumvätska att strömma in i kompressor och orsaka vätskeslag.

4. För mycket köldmedium i kylaggregatet

Överfyllt kylaggregat är väldigt förekommande problem på alla typer av kylanläggningar. Det är ett direkt resultat av mänskliga misstag, och även de mest erfarna teknikerna är skyldiga till att göra misstag då och då. Den här typen av problem är väldigt vanlig idag speciellt när ett system måste fyllas på fältet eller en större systemkomponent har bytts ut och hela systemet behöver fyllas på igen. Överfyllning är också vanligt vid konvertering från ett köldmedium till ett annat.

Om systemet är överfyllt, kan en del av köldmediet inte förångas och kompressorn kommer att arbeta med köldmediet i flyttande fas vilket kommer att leda till kompressorhaveri. Kompressorn är en enhet som kan endast komprimera gas, annars kommer utrusningens livslängd att förkortas. Däremot är strypanordningen konstruerad för att endast hantera köldmedium vätska, så denna enheten kommer att ha problem med att överfylla förångaren med köldmediet. Med andra ord kan vi säga att det är lösningen att få rätt mängd köldmedium eller mindre, dock är förångaren utformad för att uppta en viss mängd värme från omgivningen. Det betyder att förångarbatteriet har en definierad kapacitet på hur mycket köldmedium den får innehålla. Om systemet är överfyllt med köldmedium kommer sug och utloppstrycken att fungera över nivåerna som krävs för effektiv drift.

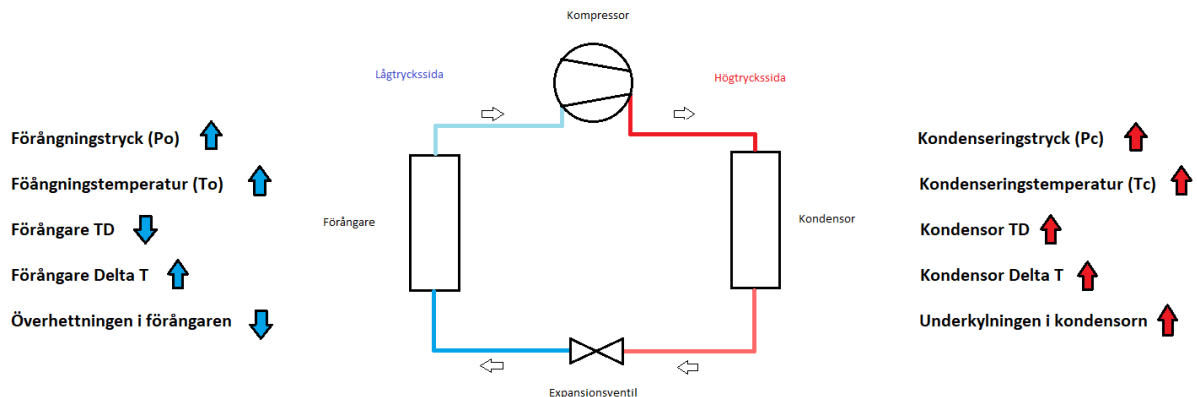
För att kylanläggningen ska fungera korrekt måste man ha exakt rätt köldmediumfyllning i systemet. Rätt köldmediumfyllning är när man har tillräcklig receiverfyllning (detta är en fyllning som klarar varierande laster och temperaturförhållande). Klart synglas, normala temperaturdifferenser på förångaren/ kondensorn, rätt överhettning, rätt underkylning, osv. För aggregat utan receiver är korrekt fyllning när man har ren vätska fram till stryporganet samt rätt underkylning på vätskan från kondensorn. En normal underkylning ligger mellan 1 och 5K. Om systemet inte har synglas blir det svårt att väta när en korrekt laddning har uppnåtts. Att observera sugtrycket kan vissa ifall det blir rätt fyllning. Trycket kommer att öka tills det finns tillräckligt med köldmedium i anläggningen. När den slutat att öka tyder det på att det finns tillräckligt med vätska. Man ska därefter vara noga att inte fylla på så mycket så att kondenserings trycket börjar stiga, vilket skulle betyda att vi överfyller aggregaten.

4.1. Symptom på överfyllt köldmediekrets

Det finns olika typer av symptom som kan uppstå när ett kylsystem är överfyllt med köldmedium, och dessa symptom varierar beroende på vilken typ av strypanordning som används. Dessa är de typiska symptomen för ett överladdat kylsystem med ett kapillär rör:

- Högre arbetstryck i hela systemet följda av höga kondensering och förångningstemperaturer.
- Hög hetgas temperatur vid kompressorns utlopp.
- Överfyllt kondensorn med flyttande köldmedium vilket minskar dess kapacitet. Förutom att orsaka överdriven underkylning vid kondensorns utlopp, kan detta tillstånd göra att kompressorns gång mellan start/stopp förkortas på grund av att högtryckspressostaten utlöses.
- Högre strömförbrukning. (kapillär rör)
- Onormalt hög kompressor ljud.
- Frost på kompressorn.

4.2. Analys av överfylld köldmediekrets med ett kapillärrör



Figur 7 kylprocess med högt köldmediuminnehåll (kapillärrör)

Högre kondenseringstryck (p_c) och temperatur (t_c): Mer köldmedium i systemet betyder att det finns mer köldmedium molekyler som försöker expandera. Tryckupbyggnaden i sugledningen tillsammans med trycket från komprimeringsprocessen i kompressorn och det högre massvolymflödet kommer att leda till en mycket högre mättnadstryck och temperatur än vid normalt fyllt system. Dessutom kommer hetgas temperaturen från kompressorn att vara något högre än normalt och närmare 120°C maxgränsen för normala driftförhållanden.

Högre underkylning i kondensorn: På grund av den högre köldmediummängden i systemet kommer kondensorn att ha för mycket vätska samlat upp i botten, vilket orsakar hög underkylning. Kom ihåg att all vätska som är lägre än kondenseringstemperaturen anses vara underkyld. En luftkyld kondensator bör ha minst 5 K vätskeunderkylning för att systemet ska kunna fungera optimalt. Det finns några faktorer som påverkar hur mycket systemet behöver kylas. Rörkonfiguration, kondenseringstemperatur, omgivningstemperatur osv alla påverkar hur mycket köldmediet underkyls. Kondensatorunderkylning är en indikation på hur mycket kylvätska som finns i systemet, men det är inte den enda. Ju mindre köldmediummängd desto lägre underkylning. Ju högre laddning, desto högre underkylning.

Högre kondensator TD och Delta T: Underkyld vätska som har översvämmad kondensorn kommer att orsaka en minskad kondenserings yta och höja kondenseringstemperaturen. Nu när kondenseringstrycket har höjts blir det en större temperaturskillnad mellan omgivnings- och kondenseringstemperaturen, vilket resulterar i ett ökat värme flöde för att kompensera för den minskade kondenseringsytan. Systemet kommer att fortsätta att avvisa värme, men vid högre tryck och temperaturer för kondensering. En smutsig kondensator ger också stora temperaturskillnader mellan luften och den kondenserade köldmediet, men underkylningen blir inte lika hög som i ett överfyllt system.

Högre förångningstryck och temperatur: I en kapillärrörkonfiguration kommer ett överfyllt system att fungera vid ett högre förångningstryck och temperatur än vad som är avsett. Detta beror på det större köldmediummassflödet som kommer in i förångaren. Detta innebär att fler molekyler köldmedium än normalt försöker att ändra aggregationstillstånd från vätska till gas. Eftersom köldmediet absorberar värme från det kylda utrymmet för att övergå till gas fas, fylls förångaren och

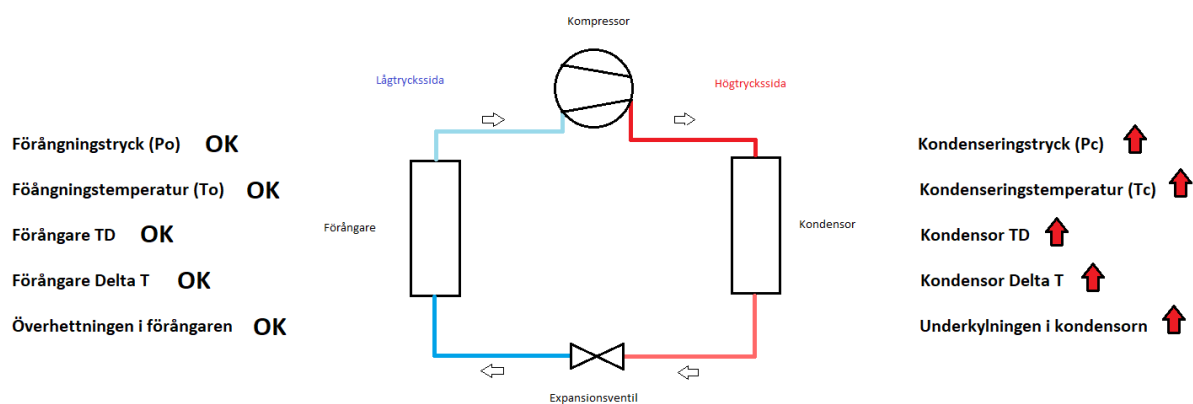
sugledningen med ett högre antal gasmolekyler som har högre volym än vätskan, vilket höjer det totala sugtrycket.

Lägre överhettning i förångaren: Det större köldmediemassflödet som matas in i förångaren orsakar att överhettningen sjunker drastiskt vid förångarens utlopp. Förenklat kan man säga att köldmediet ändrar vätskefas till gas mycket längre fram i förångaren än i ett system med rätt fyllnadsmängd. Detta ökar risken för att vätska strömmar tillbaka in i kompressorn och orsakar vätskeslag.

Högre förångare temperaturdifferans och lägre Delta T: Eftersom förångaren fylls snabbare med köldmedium än den hinner att förångas, ökar trycket och med den köldmediets temperatur. Som jag redan har nämnt blir temperaturskillnaden mellan den omgivande temperaturen och förångningstemperaturen mindre när förångningstemperaturen kommer närmare den omgivande temperaturen. Värme upptagningen minskar eftersom den lägre temperaturskillnaden försämrar värmeöverföringen.

4.3. Analys av överfylld köldmediumkrets med termisk expansionsventil

Om kylaggregatet är försedd med en termisk expansionsventil kommer det fortfarande att påverka högtrycksidan likadant som vid en kapillärörkonfiguration. Vi kommer att uppmärksamma höga arbetstryck och temperaturer på aggregatets högtrycksida. Däremot kommer vi att observera bättre drift på köldmediekretsens lågtrycksida med inga eller väldigt små avvikelser från normala driftförhållanden.



Figur 8. kylprocess med högt köldmediuminnehåll (termisk expansionsventil)

Normal till medelhögt förångningstryck och temperatur: Eftersom aggregatet är försedd med termisk expansionsventil kommer ventilen fortfarande att försöka upprätthålla den inställda överhettningen i förångaren. Till följd av detta kommer förångningstrycket att vara normalt eller något högre beroende på mängden av överfyllningen. Om köldmediummängd är för stor kommer kompressionsförhållandena att öka och den volymetriska effektiviteten att minska, vilket minskar massflödet genom kompressorn och ökar trycket i förångaren. Förångaren kommer att ha svårt att hinna med den högre värmebelastningen från den varmare tilloppsluftens temperatur.

Normal till medel låg överhettning i förångaren: Termiska expansionsventilen kommer att bibehålla överhettningen även vid en för hög köldmediefyllning. Även om den tenderar att övermata

köldmedium till förångaren under dess öppningslag på grund av det höga kondenseringstrycket, bör den komma ikapp sig själv om den är inom dess arbetsområde. Ett extremt högt kondenseringstryck kan dock överskrida termiska expansionsventilens arbetstrycksområdet och som ett resultat av detta övermata förångaren med köldmediumvätska och orsaka ett högre förångningstryck och temperatur samt minskad överhettning.

5. Referenser

Praktisk kylteknik 2016

Författare Roald Nydal, översättning Anders Hiorth

Kompendium, handledning och övningsuppgifter inför examinering.

I enlighet med genomförandeförordning EU 2015/2067 och den svenska författningssamling SFS 2016:1128

<https://hvacschool.com/the-5-pillars-of-residential-ac-refrigerant-circuit-diagnosis/>

<https://hvacschool.com/impacts-of-decreasing-evaporator-air-flow/>

<https://www.achrnews.com/articles/137170-identifying-and-solving-insufficient-evaporator-heat-loading-problems>

<https://www.compressorsunlimited.com/blog/dangers-poor-ventilation-hvac-systems>