

# **Bergvärmesystem med hetgasväxlare för toppning av varmvatten i större fastigheter**

Robin Söderlund

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Energi- och miljöteknik
Identifikationsnummer:	7236
Författare:	Robin Söderlund
Arbetets namn:	Bergvärmesystem med hetgasväxlare för toppning av varmvatten i större fastigheter
Handledare (Arcada): Handledare (Max's Energy Oy)	Lektor Kim Skön Teknisk chef Peter Söderlund
Uppdragsgivare:	Max's Energy Oy
<p>Sammandrag:</p> <p>Examensarbetet är gjord som ett beställningsarbete för Max's Energy Oy, där uppgiften är att analysera hetgasväxlarens inverkan i bergvärmesystem för större fastigheter. Arbetets uppbyggnad består av teori, uppföljning av två bergvärmesystem, resultatet och inbesparingen med hetgasväxlaren. I teori delen behandlas de viktigaste delarna i ett bergvärmesystem samt värmepumpskretsen. Ett bergvärmesystem använder sig av berget och grundvattnet som värmekälla. Energin från värmekällan överförs i förångaren till ett köldmedium som cirkulerar i värmepumpskretsen. Köldmediet komprimeras i kompressorn där trycket och temperaturen stiger. Köldmediet kommer till hetgasväxlaren i överhettad ånga från kompressorn. I hetgasväxlaren överförs energi med hög temperatur till varmvatten som sedan höjer varmvattnets temperatur. Till storleken utgör hetgasväxlaren ca 15 % av totala värmeavgivningsytan i värmepumpskretsen. I hetgasväxlaren kondenseras inte köldmediet utan kondenseringen sker i kondensorn. Kondensorn överför värmeenergi till byggnadens eller varmvattnets uppvärmning. Då köldmediet passerat kondensorn sänks trycket i en expansionsventil och temperaturen hos köldmediet sjunker. Uppföljningen i examensarbetet behandlar två olika bergvärmesystem. Inkopplingsätten av hetgasväxlaren är olika i bergvärmesystemen. I det ena systemet är hetgasväxlaren kopplad mot en varmvattentank kombinerat med kondensorn. I det andra systemet är hetgasväxlaren kopplad mot en skild toppningstank. Resultatet visar att bägge inkopplingsvarianterna sparar på elkonsumtionen och att inbesparingen är som bäst under de kallare perioderna av året.</p>	
Nyckelord:	Bergvärme, värmepump, hetgasväxlare, varmvattenproduktion.
Sidantal:	42
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	29.05.2020

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Energi- och miljöteknik
Identification number:	7236
Author:	Robin Söderlund
Title:	Bergvärmesystem med hetgasväxlare för toppning av varmvatten i större fastigheter
Supervisor (Arcada): Supervisor (Max's Energy Oy)	Senior Lecturer Kim Skön Technical Manager Peter Söderlund
Commissioned by:	Max's Energy Oy
<p>Abstract:</p> <p>This degree thesis is ordered by Max's Energy Oy, where the assignment is to analyze the impact of the desuperheater in a geothermal heating system for bigger real estates. The thesis is structured with a theory part, a follow-up part of two geothermal heating systems, the results of the measurements and savings with a desuperheater installed. In the theory part, the most essential parts of a geothermal heat pump system and the heat pump cycle is reviewed. A geothermal heat pump system uses the ground and the groundwater as a heat source. The energy from the heat source is transferred in an evaporator to a refrigerant that circulate in a heat pump cycle. The refrigerant is compressed in the compressor where the pressure and temperature rise. The refrigerant arrives to the desuperheater in an overheated steam from the compressor. In the desuperheater the refrigerant transfer heat energy to heating water in a high temperature that is used to raise the temperature of the domestic hot water. The size of the desuperheater is about 15 % of the total heat delivery surface in the heat pump cycle. The refrigerant does not condensate in the desuperheater. The condensation of the refrigerant occurs in the condenser. The condenser transfer heat to the building or to the domestic hot water. After the refrigerant leave the condenser the pressure is reduced, and the temperature is decreased in the expansion valve. The follow-up part in this thesis review two different cases of geothermal heating systems. The desuperheater is installed differently in these cases. In one of the cases, the desuperheater is installed to a domestic hot water tank combined with the condenser. In the other system, the desuperheater is installed to a separate domestic hot water tank for increasing the temperature of the domestic hot water. The result shows that in both cases the electrical consumption is decreased, and the savings is greater in the colder periods of the year.</p>	
Keywords:	Geothermal heating, heat pump, desuperheater, domestic hot water production.
Number of pages:	42
Language:	Swedish
Date of acceptance:	29.05.2020

# Innehållsförteckning

Sammanfattning

Abstract

Innehållsförteckning

Figurer

Tabeller

<b>1</b>	<b>Inledning.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Värmekälla.....</b>	<b>6</b>
2.1	Energibrunn .....	7
2.2	Energiupptagning .....	8
<b>3</b>	<b>Värmesystem .....</b>	<b>9</b>
3.1	Täckningsgrad .....	11
3.2	Verkningsgrad .....	12
3.3	Rumsvärme .....	12
3.4	Varmvatten .....	15
3.5	Anläggningar .....	16
<b>4</b>	<b>Värmepumpens uppbyggnad.....</b>	<b>17</b>
4.1	Köldmedium.....	19
4.2	Förångare .....	21
4.3	Kompressor .....	21
4.4	Kondensor .....	22
4.5	Expansionsventil.....	23
<b>5</b>	<b>Hetgasväxlare .....</b>	<b>23</b>
5.1	Användningsområde.....	24
5.2	Funktion .....	25
5.3	Inkoppling .....	27
<b>6</b>	<b>Uppföljning.....</b>	<b>28</b>
6.1	Case 1 .....	29
6.1.1	Resultat .....	29
6.2	Case 2 .....	31
6.2.1	Resultat .....	33
<b>7</b>	<b>Bedömning av lönsamhet .....</b>	<b>33</b>
7.1	Installationskostnad .....	33
7.2	Inbesparing.....	34
<b>8</b>	<b>Slutsats .....</b>	<b>36</b>
	<b>Källor .....</b>	<b>37</b>
	<b>Bilagor</b>	

## Figurer

Figur 1. Markens temperatur beroende av årstid. (Leppäharju, 2008) .....	8
Figur 2. Energi och effektbehov. (Thermia HPC2, 2020) .....	11
Figur 3. Indelning av klimatzoner. (Miljöministeriet, 2017b).....	13
Figur 4. Värmekurva. (Thermia Värmepumpar, 2015) .....	14
Figur 6. Värmepumpsprocessen. (Thermia) .....	17
Figur 7. Värmepump komponenter. (Thermia Värmepumpar, 2014). .....	18
Figur 8. Principiellt utseende av ångtryckskurva för ett köldmedium. (Alvarez 2006) .	20
Figur 9. Teoretisk ångprocess. (Aittomäki 2012).....	20
Figur 10. Schematisk bild av värmepumpskretsen med hetgasväxlare. (Hengel, et al. 2012).....	24
Figur 11. Möjligheten att utnyttja hetgasväxlaren för varmvattenproduktion. (Yrjölä, J. & Laaksonen, E., 2015) .....	25
Figur 12. Hetgasväxlare kopplad till skild tank (Thermia Värmepumpar, 2018). .....	28
Figur 13. Hetgasväxlaren kopplad till skiktad tank (Thermia Värmepumpar, 2018).....	28
Figur 14. Värmeenergi från värmepump, loggning från kamstrup energimätare.(2020)	30
Figur 15. Utetemperatur enligt ilmatieteenlaitos för området där värmepumpen är belägen, under tiden 01.04.19 – 31.03.20. (2020) .....	30
Figur 16. Principschema för två värmepumpar. (Thermia) .....	32

## Tabeller

Tabell 1. Mätdata Case 2. (2020) .....	33
Tabell 2. Inbesparing för hetgasväxlarens olika inkopplingsätt till toppningstank Case 2. (2020) .....	35

## 1 INLEDNING

I dagens läge då byggnader isoleras allt mera minskar byggnadens uppvärmningsbehov medan varmvattenproduktionens andel ökar. Det medför att lösningar till att effektivt kunna värma varmvattnet blir allt viktigare.

Värmepumpsystem är populärt sätt att värma upp både byggnaden och varmvattnet. Fördelen med att använda ett värmepumpsystem är att den köpta energin minskar och istället används energi som finns lagrad i en värmekälla t.ex berggrunden. Principen för värmepumpens uppbyggnad ser oftast ut på samma sätt, men varianter existerar. Detta examensarbete fokuserar på varianten med en tilläggs kondensor. Tilläggs kondensorn kallas för hetgasväxlare och används främst till produktionen av varmvatten.

I detta arbete kommer fastighetsvärmepumpar att spela en stor roll. Mindre värmepumpar, under 20 kW, är oftast kompletta och möjligheterna är att välja mellan olika värmepumpar samt varmvattentankar. Till skillnad från små värmepumpar som har det mesta integrerat innanför värmepumpshöljet så har fastighetsvärmepumpar själva kompressorkretsen, anslutningar till värmekälla och värmesystem, styrningen och i vissa fall även cirkulationspumpar i samma enhet. En värmepumpsanläggning för en fastighet har alltså flera valmöjligheter till hur ett värmepumpsystem kan byggas.

Examensarbetet är ett beställningsjobb från Max's Energy Oy och resultatet från detta examensarbete kommer företaget att ta i beaktande vid framtida planeringar. Arbetet förväntas ge ett resultat där det framkommer hur effektiv hetgasväxlaren är och i vilka situationer den lämpar sig bäst.

## 2 VÄRMEKÄLLA

Värmekälla är det bränsle eller den källa som huvudsakligen används för en byggnads uppvärmning. Olja, el och jordvärme är exempel på olika värmekällor som används i byggnader och flera värmekällor kan kombineras till ett så kallat hybridsystem för uppvärmningen.

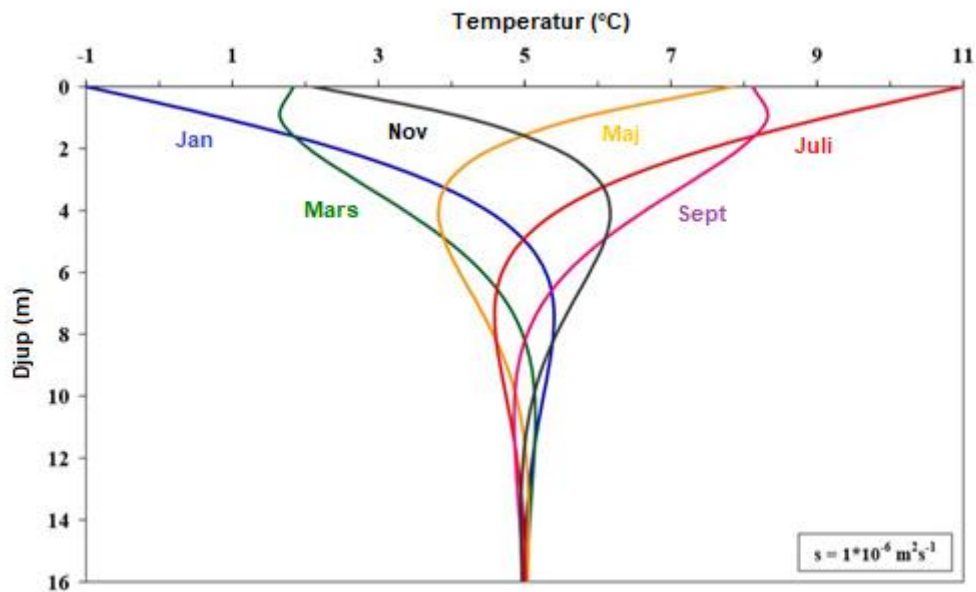
Jordvärmen som värmekälla har i Finland blivit allt vanligare med åren och framförallt i nybyggda egnahemshus. Från år 1995 till 2015 har jordvärmen stigit från 0,7 % till 37,5 % som huvudsaklig värmekälla i nybyggda egnahemshus och år 2017 valdes jordvärmen i 52 % av de nybyggda egnahemshusen. I Finland pratar man om jordvärme som ett samlingsbegrepp, dit både markvärme, bergvärme och sjövärme hör, till skillnad från Sverige där jordvärme är detsamma som markvärme. (Statistikcentralen, 2016), (Suomi rakentaa, 2018)

Skillnaden mellan de olika varianter av jordvärme är att värmekällans temperaturer ser lite olika ut på årsnivå. Bergvärmen håller mest stabila temperaturer året runt medan mark- och sjövärme påverkas av utetemperaturen.

## **2.1 Energibrunn**

Ett bergvärmesystem kräver energibrunnar för att ta tillvara värmeenergi. Energibrunnen lagrar passivt sin energi till största delen från direkt solstrålning och djupare ner i marken tillkommer det även en geotermisk gradient som endast har en liten inverkan på den tillgängliga energimängden. (Aittomäki, 2012)

Temperaturen i marken påverkas av luftens medeltemperatur och ner till ca 16 m varierar temperaturerna beroende på den aktuella utetemperaturen, där närmast ytan är variationen som högst enligt figur 1. Vid 16 m djup är temperaturen ungefär densamma som årliga medeltemperaturen för markytan och då man går djupare ner i marken/berggrunden ökar temperaturen med ett genomsnitt på 0,5-1 °C/100 m. Vid 300 m djup är temperaturerna mellan 6,5 och 9 °C. (Leppäharju, 2008)



Figur 1. Markens temperatur beroende av årstid. (Leppäharju, 2008)

## 2.2 Energiupptagning

Energimängden som kan tas tillvara ur en energibrunn varierar mycket från plats till plats. Faktorer som inverkar kan inte förutsägas på förhand och därför beräknas energitillgången på en ungefärlig mängd. Några av de faktorer som inverkar är grundvattennivån, grundvattenströmmningar, bergsorten m.m. Från en energibrunn räknar man med att utvinna mellan 80-150 kWh/m energi om året och en effekt som kan beräknas enligt formel 2.1. (Aittomäki, 2012)

Den momentära effektuttaget ur värmekällan kan beräknas enligt formel 2.1. (Björk et al. 2013)

$$q_{kp} = \frac{\Delta T_{kp}}{R_{gkp}} \quad (2.1)$$

där

$q_{kp}$  belastningskomponent för en kort period, W/m

$\Delta T_{kp}$  temperaturskillnaden mellan borrhålsvägg och kollektorvätska, K

$R_{gkp}$  värmemotstånd mellan ostört berg och borrhål, ca 0,1 Km/W



Om allt för höga effekter tas ur berget under längre perioder, sjunker dess temperatur som till följd har en negativ inverkan på värmepumpens verkningsgrad. Den maximala effekten som kan tas ut ur berget ligger mellan 40 och 50 W/m (Leppäharju, 2008). Det skulle ge en temperaturskillnad  $\Delta T_{kp}$  på ca 4-5 °C.

Vid dimensionering av antalet borrhörlar till ett projekt beaktar man det aktiva djupet. Det aktiva djupet i en energibrunn är den del av kollektor som ligger under grundvattennivån. I normala fall ligger grundvattennivån 2-7 m in i marken men beroende på terrängen kan nivån ligga djupare. Kollektorslang som ligger i luft i energibrunnen kan endast ta en försumbar del energi åt sig. I situationer där grundvattennivån ligger väldigt djupt kan en energibrunn återfylls med finkornigt material med hög värmeledningsförmåga och då kan det aktiva borrhörl djupet beräknas till den höjd som återfyllts. Med återfyllning kan grundvattnet, med hjälp av kapillärverkan, stiga till den återfyllda nivån. (Björk et al. 2013)

### **3 VÄRMESYSTEM**

Ett värmesystems uppgift är att upprätthålla inomhusklimatet under uppvärmningsperioden. Till värmesystemet hör även varmvattenproduktion. Värmesystem kan använda olika medium för att värma upp en byggnad t.ex luft, vatten eller dirketverkande el. Vattenburet värmesystem är det som används mest och främsta orsaken är vattnets värmekapacitet. Vatten kan transportera nästan 4 gånger mer värmeenergi per massenhet än luft. Andra fördelar med vattenburet värmesystem är möjligheten att kombinera flera olika system och att byta mellan olika. (Lundagrossisten, 2018)

Uppvärmning sker i en värmepump, värmepanna eller dylikt där vattnet transporteras ut till värmarna via ett rörledningsnät med hjälp av en cirkulationspump. De rör som förser värmen till värmarna kallas framledning medan rören som kommer från värmarna kallas returledning. Några exempel på värmare i ett vattenburet värmesystem är radiatorer, konvektorer och värmeslingor i t.ex golv eller i ventilationsaggregat.

I ett vattenburet värmesystem varierar temperaturerna hos vattnet som cirkulerar i systemet. Variationer för temperatur hos vattnet medför att vattnets volym förändras. För att rören och andra delar inte skall spricka måste vattnet kunna utvidgas och det kan ske öppet eller slutet.

Ett slutet system innebär att värmesystemet inte har en öppen förbindelse till atmosfärtrycket. I ett slutet system installeras ett expansionskärl, som har ett gummi-membran i sig som separerar värmevattnet mot tryckluft inne i kärlet. Då vattenvolymen i värmesystemet ökar på grund av temperaturhöjning pressar luften i tryckkärlet och höjer istället lufttrycket. När temperaturen sedan sjunker pressar lufttrycket tillbaka. Det gör att trycket på värmesystem hålls mera jämnt. I situationer där trycket på värmevattnet höjs allt för mycket bör det finnas en övertrycksventil som kan släppa ut värmevattnet.

Ett öppet system använder man istället en öppen behållare på en punkt som är högre än själva värmesystemet, t.ex på en vind. Då stiger bara nivån i behållare vid volymförändringar på värmevattnet. Från behållaren installeras ett avrinningsrör ifall vattennivån stiger för högt, så att det sker vattenskador.

När det kommer till värmesystem med värmepump, kan värmepumpen drivas mot flytande eller fast kondensering. Flytande kondensering innebär att värmepumpen producerar enbart den värme som täcker det aktuella värmebehovet. I ett sådant system installeras även en växelventil som växlar mellan varmvatten och rumsvärme för att få högre temperaturer till varmvattenuppvärmningen. Vid fast kondensering håller värmepumpen en konstant temperatur mot en tank, där både varmvattnet och värmevattnet till byggnaden värms upp.

Ett bergvärmepumpsystem med fast kondensering har i allmänhet samma verkningsgrad året runt förutsatt att värmekällans temperatur hålls på en jämn nivå, medan flytande kondensering varierar verkningsgraden och då lägre temperaturer behövs i rörledningsnätet ökar verkningsgraden hos värmepumpen. Flytande kondensering har därför en högre årsverkningsgrad jämfört med fast kondensering.

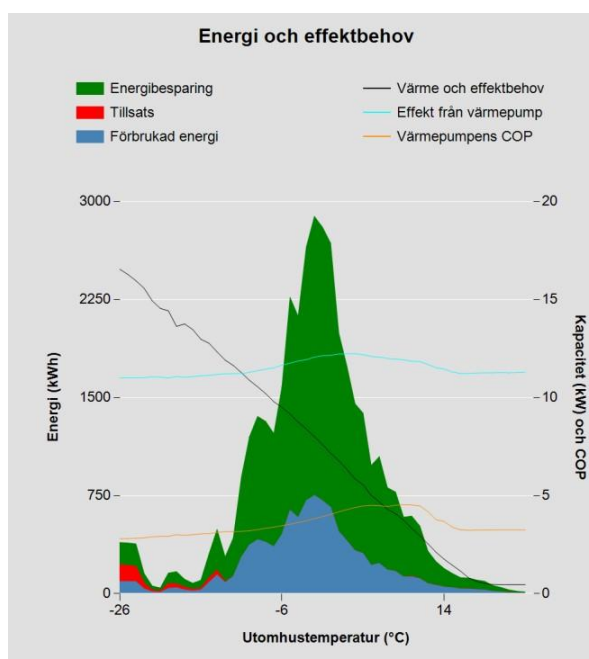
### 3.1 Täckningsgrad

I ett värmepumpsystem beräknas täckningsgrad skilt för energibehovet och effektbehovet. Tidigare rekommenderades att man underdimensionerade värmepumparna så att drifttiden skulle bli längre och antalet start/stopp för kompressorn skulle minska.

I dagens läge används inverterteknik för kompressorstyrning vilket medför att kompressorn kan användas efter behov och behöver nödvändigtvis inte underdimensioneras. Orsaken till att man ändå underdimensionerar invertervärmepumpar är framförallt kostnadsmässigt, då det medför lägre kostnader för en mindre värmepump och behovet av antal borrhölar minskar.

Då en värmepump är underdimensionerad förutsätter det att ett tilläggsystem appliceras för att täcka energi- och effektbehovet för byggnaden. Tilläggsystemet kombineras med värmepumpen och kan användas både vid uppvärmning av varmvatten och byggnadens uppvärmning.

Figur 2 visar hur en underdimensionerad värmepump täcker energi- och effektbehovet för en byggnad. Det man kan se är att fastän byggnadens effektbehov är betydligt högre än vad värmepumpen kan leverera, så är energibehovet för tillsatsvärme ändå minimalt.



Figur 2. Energi och effektbehov. (Thermia HPC2, 2020)

## 3.2 Verkningsgrad

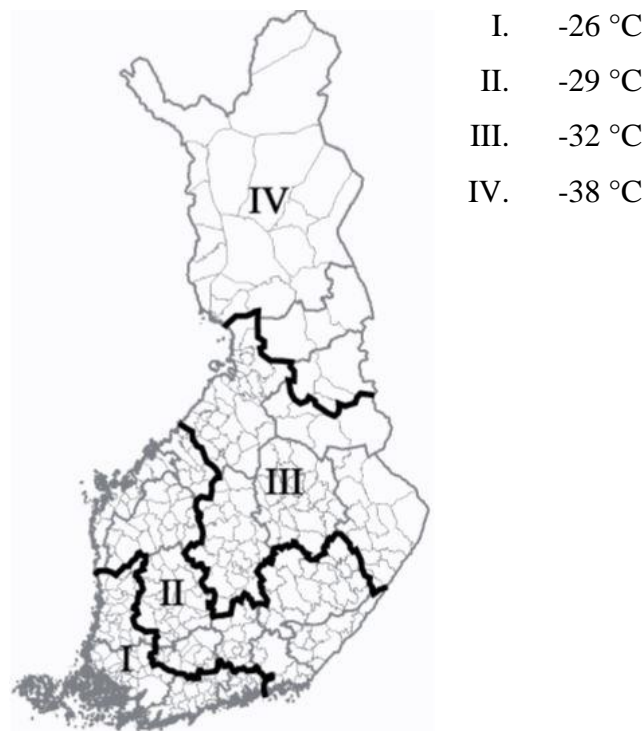
Det finns olika typer av verkningsgrader för en värmepump och kan delas in enligt: (Thermia Värmepumpar)

- COP (Coefficient of Performance) även kallad värmefaktor, beskriver en värmepumps verkningsgrad i ett visst driftfall och beskriver hur mycket energi en värmepump kan leverera i förhållande till hur mycket el som förbrukas.
- SCOP (Seasonal COP) är en årsverkningsgrad som anger värmepumpens effektivitet under ett års tid. SCOP ger en bättre uppskattning på effektivitet än COP eftersom SCOP tar hänsyn till väderförhållandena, varmare och kallare förhållanden. SCOP varierar på olika klimatområden och kan därför komma till nytta då man väljer värmepump. SCOP tar dock inte hänsyn till varmvattenproduktion.
- SPF (Seasonal Performance Factor) är den totala årsverkningsgraden där även varmvattenproduktionen ingår. SPF värdet är det mest korrekta värde på effektivitet hos en värmepump.

## 3.3 Rumsvärme

En byggnads uppvärmningsbehov för utrymmen beräknas på basen av värmeledningsförluster genom byggnadsmanteln, värmeförluster orsakade av luftläckage och uppvärmning av tilluft och ersättande luft. Faktorer som bidrar med värmeenergi till byggnaden är solens värmestrålning, inre laster så som människor, belysning och hushållsapparater. (Miljöministeriet, 2017b)

Värmarna och värmesystemet i en byggnad skall vara dimensionerade så att effekten räcker till att hålla de planerade inomhustemperaturerna i byggnaden och bör upprätthålls till den dimensionerade utetemperaturen för den zon byggnaden befinner sig i. Figur 3 visar indelningen av klimatzonerna och de dimensionerande utetemperaturen för de olika zonerna i Finland.



Figur 3. Indelning av klimatzoner. (Miljöministeriet, 2017b)

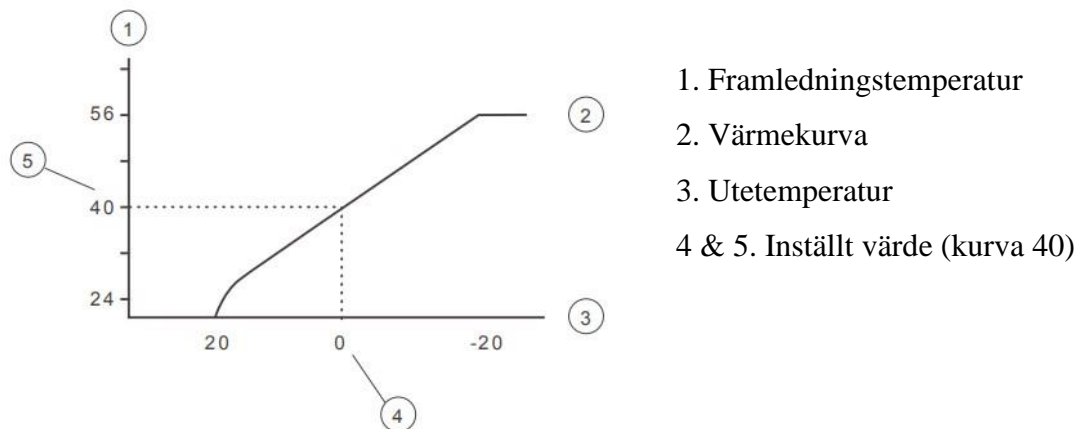
Beroende på vad man har för värmare i en byggnad kör man ut olika temperaturer i framledningen. I ett golvvärmesystem brukar temperaturen hos framledningen vara 25-30 °C, högst 40 °C där skillnaden mellan fram- och returledningen vanligtvis är 5-10 °C. (Motiva, 2019)

I radiatorsystem är temperaturen hos framledningen något högre, eftersom värmeavgivningsytan är mindre än i golvvärmesystem. Radiatorsystem där framledningen går upp till 55 °C och returledningen 45 °C vid den dimensionerade utetemperaturen, kan ännu klassas som lågtempererade system, medan i äldre byggnader där framledningstemperaturen i radiatorerna kunde uppnå till och med 90 °C klassas som högtempererade system.

I både golvvärmesystem och radiatorsystem följer värmepumpens framledningstemperatur en utetemperatur för att hålla en jämn temperatur inomhus. För varje utetemperatur beräknas en viss framledningstemperatur som bildar en kurva. Kurvan varierar beroende på värmarn och väljs enligt behov.

Figur 4 beskriver en typisk värmekurva i värmepumpen för ett radiatorsystem, där framledningstemperaturen är 40°C då utetemperaturen är 0°C. I värmesystem där värmepumpen är underdimensionerad, kommer värmepumpen inte få upp framledningstemperaturen till önskade värden vid lägre utetemperaturer. I sådana fall bör tillsatsvärme finnas installerat i någon form. I nybyggen används ofta el som tillsatsvärme men i saneringar kan även en oljepanna användas. I radiatorsystem brukar det sättas ett värmestopp vid en valbar utetemperatur, vilket innebär att om temperaturen ute överstiger värmestopp värdet, så gör värmepumpen endast varmvatten.

Det finns några alternativ på hur elvärme installeras i ett värmepumpsystem. Ett el-motstånd kan vara inkopplat på framledningen innanför värmepumpshöljet. Detta förekommer främst i värmepumpar för mindre effekter, t.ex för egnahemshus. Vid större anläggningar är alternativen att använda el-motstånd i en tank eller använda sig av en elpanna.



Figur 4. Värmekurva. (Thermia Värmepumpar, 2015)

### 3.4 Varmvatten

Varmvattnets temperatur bör vara minst 55 °C och tillgängligt inom 20 sekunder från varmvattenarmaturerna, får dock inte överstiga 65 °C. I större byggnader där rörlängden till varmvattenarmaturerna är långa, behöver vattentemperaturen vara några grader högre än 55 °C eftersom rören avger en del värme. Kraven på inkommande kallvatten är att det inte får överstiga 20 °C och om kallvattnet inte använts på 8 timmar får det högst vara 24 °C. (Miljöministeriet, 2017a)

Varmvattnets temperatur måste tidvis överstiga 55 grader för att skadliga bakterier som legionella inte ska börja bildas. Om vattnet är över 50 °C dör bakterierna på några timmar och över 60 °C på några minuter. I värmepumpar finns oftast en automatisk funktion som regelbundet värmer varmvattnet till 65 °C. (Motiva, 2019)

Det inkommande kallvattnets temperatur varierar från plats till plats, ofta används  $\Delta T$  50°C för temperaturskillnaden mellan kall- och varmvatten. Det vill säga, om temperaturen på inkommande kallvatten är 5°C skall vattnet höjas till 55°C. (Seppänen, 2011)

Värmeenergi som går åt att värma upp  $V_{vv}$  m<sup>3</sup> vatten kan beräknas enligt formel 3.1. (Miljöministeriet, 2013)

$$Q_{lkv,netto} = \frac{\rho_v C_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv})}{3600} - Q_{lkv,LTO} \quad (3.1)$$

där

$Q_{lkv,netto}$	nettoenergibehovet för uppvärmning, kWh
$\rho_v$	vattnets densitet, 1000 kg/m <sup>3</sup>
$C_{pv}$	specifik värmekapacitet, 4,2 kJ/(kg K)
$V_{lkv}$	varmvattenförbrukning, m <sup>3</sup>
$T_{lkv}$	temperatur för varmvatten, °C
$T_{kv}$	temperatur för kallvatten, °C
3600	koefficient för resultat till kilowattimmar
$Q_{lkv,LTO}$	energi som tas tillvara genom värmeåtervinning, kWh

### 3.5 Anläggningar

En värmepumpsanläggning består av en del komponenter förutom själva värmepumpen. Beroende på behoven för uppvärmning och varmvatten varierar anläggningarna, framförallt komponenternas antal och storlek. I små anläggningar, t.ex. egnahems hus, kan det flesta komponenterna placeras kompakt in ett skåp som inte tar mer utrymme än ett normalt kylskåp. I större anläggningar, t.ex. höghus, behövs det mera tillgänglig volym av varmvatten och buffert till värmepumpen så att de krav som ställs på varmvattnet och värmen kan uppfyllas. En anläggning varier mycket från projekt till projekt, vissa anläggningar kan vara installerade i kombination med ett annat värmesystem, t.ex. solvärme, oljepanna m.m. En typisk bergvärmeanläggning för ett höghus kan se ut enligt bilaga 1.

Värmepumpen styr växelventilen (15) mellan att göra varmvatten till tanken (2) och värme till byggnaden via bufferttanken (4). På framledningen efter bufferttanken kan en elpanna (5) installeras ifall värmepumpen är underdimensionerad. Elpannan hjälper till då värmepumpens effekt inte är tillräcklig för att täcka värmebehovet, elpannan kan styras av värmepumpen med hjälp av en framledningsgivare placerad efter elpannan.

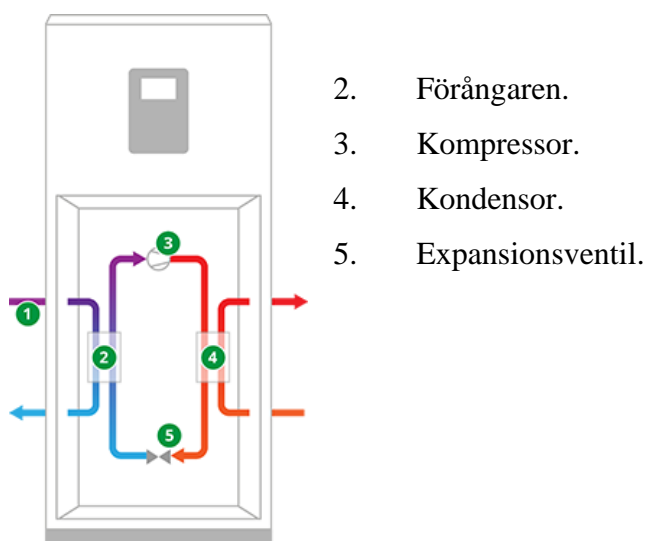
I värmepumpens inställningar ställs intervallet för temperaturen i varmvattentanken in och ligger normalt på 45-55 °C, dvs värmepumpen börjar värma varmvattnet då temperaturen i tanken går till 45 °C och slutar när tanken uppnått 55 °C. I och med sektionering i varmvattentanken kan värmepumpen ha ett större intervall mellan start och stopp eftersom temperaturen i övre delen av tanken hålls varm fastän temperaturen i nedre delen börjar sjunka. Av den orsaken placeras oftast givaren i nedre delen av tanken. Sektionering i en tank förutsätter att varmvattnet i tanken står stilla och att ingen cirkulation sker där. I tanken för toppning av varmvatten (3) används tillsatsvärme för att hålla en temperatur på 60-70 °C i tanken, som garanterar att temperaturen inte sjunker under miljöministeriets krav på varmvattentemperaturen. Varmvattnet blandas sedan i blandningsventilen (16) så att temperaturen på varmvattnet håller rätt temperatur.



## 4 VÄRMEPUMPENS UPPBYGGNAD

En värmepump arbetar enligt Carnot-processen. Carnot-processen är en kretsprocess som följer fyra delprocesser som roterar enligt figur 6. (Alvarez, 2008)

- Isotermisk värmeförsel (förångaren)
- Isentropisk komprimering (kompressor)
- Isotermisk värmeförsel (kondensator)
- Isentropisk expandering (expansionsventil)



Figur 5. Värmepumpsprocessen. (Thermia)

Carnot-processen är en reversibel process som i verklighet inte är möjlig. Värmepumpsprocessen är irreversibel, dvs kretsprocessen kan inte gå till begynnelsestillståndet utan någon ändring hos omgivningen. Däremot beskriver Carnot-processen den högsta möjliga värmefaktor en värmepump kan åstadkomma vid olika kondenserings och förångningstemperaturer. Carnot-processens värmefaktor beräknas enligt formel 4.1 (Aittomäki, 2012).

$$\varphi_c = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (4.2)$$

där

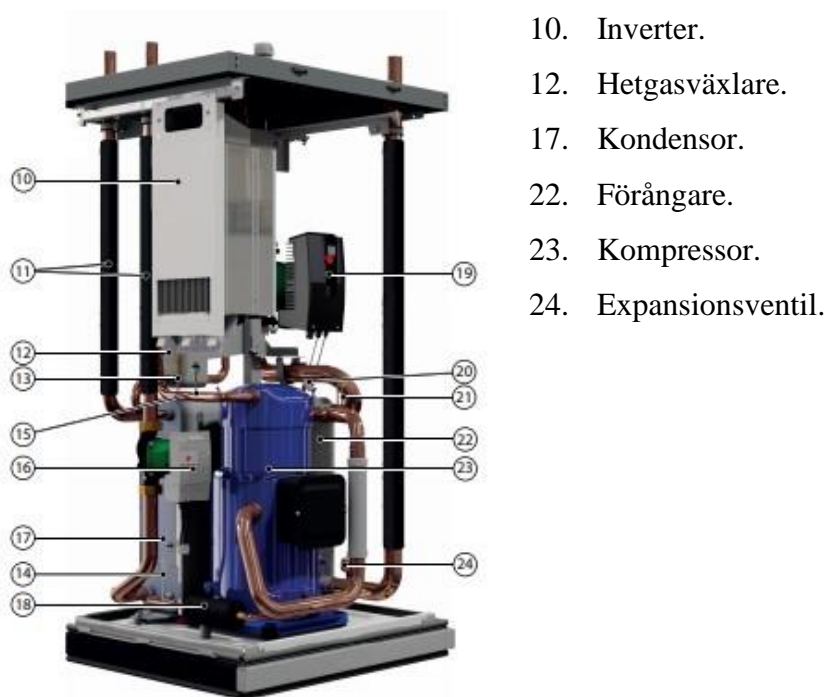
$\varphi_c$  Carnot värmefaktor

$T_1$  förångningstemperatur, K

$T_2$  kondenseringstemperatur, K

Enligt formel 4.1 så försämras Carnot värmefaktorn då skillnaden mellan förångningstemperaturen och kondenseringstemperaturen blir större. En värmepumpen följer samma princip.

Värmepumpar ser lite olika ut beroende på tillverkaren men huvudkomponenterna är desamma. Figur 7 visar hur en värmepump för en större fastighet kan vara uppbyggd. Värmepumpen i figur 7 är framställd av Thermia och är menad för större fastigheter. Värmepumpen använder köldmediet R410A och klarar maximalt att leverera en framledningstemperatur på 65 °C. När värmekällan är 0 °C är maximala framledningstemperaturen 60 °C (Thermia värmepumpar, 2008).



Figur 6. Värmepump komponenter. (Thermia Värmepumpar, 2014).

## 4.1 Köldmedium

Köldmediets uppgift i en värmepump är att överföra energi från en svalare källa till en varmare. Det som gör processen möjlig är att använda ett sådant köldmedium som med hjälp av tryckförändring förångas vid den svalare källan och kondenseras vid den varmare källan. Köldmediet cirkulerar mellan de olika komponenterna i en sluten krets med hjälp av kompressorn och expansionsventilen som tillsammans styr flödet hos köldmediet.

För att lätt kunna följa med värmepumpsprocessen kan en ångtryckskurva användas, figur 8. I diagrammet framkommer bl.a tryck, temperatur, entalpi och en ångtryckskurva. Innanför ångtryckskurvan förhåller sig köldmediet som fuktig ånga, dvs en blandning av vätska och gas. Ångtryckskurvan varierar beroende på vilket köldmedium det är i fråga och det är innanför ångtryckskurvan som kondenseringen och förångningen sker. Vid ångtryckskurvans top befinner sig den kritiska punkten för ett köldmedium. Då köldmediet rör sig ovanom denna punkt, övergår mediet från vätska till överhettad ånga utan att passera fuktig ånga och då kan varken kondensering eller förångning ske. (Alvarez, 2006)

Genom att rita in värmepumpsprocessen i diagrammet får man enkelt fram den tillförda energin i förångningen, den bortförda energin vid kondenseringen och den värmeenergi som tillförs vid kompressionen av köldmediet, figur 9. Energin som överförs i respektive komponenter kan beräknas enligt formel 4.2. (Blanco et.al 2013)

$$Q_i = \dot{m}(h_{i.out} - h_{i.in}) \quad (4.2)$$

där

$Q_i$  överförd energi från komponent i, kW

$\dot{m}$  köldmediets massaflöde, kg/s

$h_{i.out}$  specifik entalpi ut från komponent i, kJ/kg

$h_{i.in}$  specifik entalpi in från komponent i, kJ/kg



För att ett köldmedium skall kunna användas i en värmepump, bör det ha följande egenskaper. (Alvarez, 2006)

- En lägre kokpunkt än den avsedda förångningstemperaturen.
- Kritiska punkten högre än den avsedda kondenseringstemperaturen.
- Ångtrycket vid kondenseringstemperaturer bör varken vara för lågt eller för högt. Ett lågt ångtryck kan medföra allt för stora volymflöden och för högt ångtryck ställer högre krav på värmepumpskretsens hållbarhet.

## 4.2 Förångare

Förångarens inverkan på köldmediet visas i figur 9, mellan punkterna 6 och 1. Förångaren är en värmeväxlare som överför energi från värmekällan till köldmediet. För att en förångning skall ske bör som redan nämnt, köldmediet ha en lägre kokpunkt än den avsedda förångningstemperaturen. Kokpunkten är beroende av trycket hos köldmediet, dvs vid högre tryck krävs det en högre temperatur för att en förångning skall ske. Det mest optimala är att temperaturen hos köldmediet i förångaren är så högt som möjligt men så att kokpunkten inte överskrider den avsedda förångningstemperaturen, då är skillnaden mellan förångningstemperaturen och kondenseringstemperaturen mindre och resulterar i en högre värmefaktor enligt formel 4.1.

I förångaren sker oftast en överhettning. Överhettning säkerställer att köldmediet förhåller sig i gasform till kompressorn men allt för hög överhettning inverkar negativt på processen. När köldmediet överhettas ökar dess volym medan densiteten sjunker, eftersom kompressorns volymflöde är konstant resulterar det i att köldmediets massaflöde minskar och därav minskar effekten (Refrigeratordiagram, 2009). Dessutom tar köldmediet upp mera yta i förångaren vid hög överhettningen och riskerar en sänkt förångningstemperaturen (Björk et al. 2013).

## 4.3 Kompressor

Kompressorns inverkan på köldmediet visas i figur 9 och mellan punkterna 1 och 2. Kompressorns uppgift är att komprimera köldmedieången till ett högre tryck som samtidigt höjer temperaturen hos köldmediet. När kompressorn arbetar, cirkulerar

köldmediet runt i den slutna kretsen med massflödet  $\dot{m}$ . Det är kompressorn tillsammans med expansionsventilen som styr köldmediets massflöde enligt inbyggda systemfunktioner.

Värmepumpar med inverterteknik kan styra kompressorns varvtal enligt behov, jämfört med tidigare då kompressorn antingen var av eller på. Invertertekniken gör det möjligt att hålla en så låg kondenseringstemperatur som möjligt, vilket gynnar värmepumpens värmefaktor. (Polarpumpen, 2015)

Kompressorn utnyttjar eleffekt för att höja trycket hos köldmediet. Ofta kyls kompressorns elmotor ner med den insugna köldmediegasen, dvs värme överförs till köldmediet från elmotorn. Det utförda kompressorarbetet beräknas tillsammans med värmeeffekten som avges i kondensorn och tilläggsutrustningens förbrukade effekt för att få fram värmefaktorn, enligt formel 4.3. (Aittomäki, 2012), (Seppänen, 2001)

$$\varphi = \frac{\Phi_s}{P_k + P_a} \quad (4.3)$$

där

$\varphi$	värmepumpens värmefaktor
$\Phi_s$	bortförd värmeeffekt, W
$P_k$	kompressorns förbrukade effekt, W
$P_a$	förbrukad effekt för tilläggsutrustning (cirkulationspumpar), W

#### 4.4 Kondensorn

Kondensorns inverkan på köldmediet visas i figur 9 och mellan punkterna 2 och 5. Från kompressorn går köldmediet vanligtvis till kondensorn. Då en värmepump är utrustad med en hetgasväxlare, placeras denna mellan kompressorn och kondensorn. Hetgasväxlaren kommer jag att förklara mera ingående i följande kapitel.

Kondensorn är en värmväxlare som överför värmeenergi från köldmediet till ett värmesystem. För att köldmediet skall kunna kondensera bör temperaturen på värmesystemet vara lägre än köldmediets kondenseringstemperatur. Från kompressorn

kommer köldmediet i överhettad ånga och det är den köldmedieången som utnyttjas då en hetgasväxlare finns med i kompressorkretsen.

När köldmediet har övergått till vätska i kondensorn, kan en såkallad underkylning ske. Då sjunker temperaturen på köldmediet under kondenseringstemperaturen. Underkylning säkerställer att köldmediet förhåller sig i flytande tillstånd till expansionsventilen och förhindrar att ångbubblor påverkar flödet. Ju lägre temperatur som lämnar kondensorn desto mer fördelaktigt är det, eftersom energiutbytet ökar (Björk et al. 2013). Dock lönar det sig inte att höja kondenseringstemperaturen för att få mera underkylning, för det påverkar värmefaktorn negativt, som formel 4.1 antyder.

## 4.5 Expansionsventil

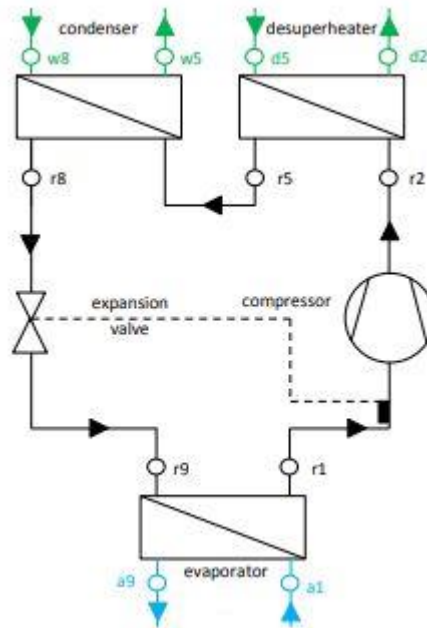
Expansionsventilens inverkan på köldmediet visas i figur 9 och mellan punkterna 5 och 6. Expansionsventilens uppgift är att upprätthålla tryckskillnaden mellan kondensorn och förångaren. Expansionsventilen styr även överhettningen av köldmediet i förångaren. Då expansionsventilen sluter, minskar flödet på köldmediet och det medför ett lägre förångningstryck samt temperatur och köldmediet överhettas mer. Då expansionsventilen öppnar, sker det motsatta. Expansionsventilen är inställd så att det alltid sker en viss överhettning, så köldmediet förhåller sig i fullständig ånga då det når kompressorn. (Alvarez, 2006)

## 5 HETGASVÄXLARE

Hetgasväxlarens inverkan på köldmediet sker enligt figur 9 mellan punkterna 2 och 3. I kompressorkretsen är hetgasväxlaren placerad mellan kompressorn och kondensorn, enligt figur 10. Köldmediet cirkulerar genom hetgasväxlaren i överhettad ånga och lämnar hetgasväxlaren i samma form.

Hetgasväxlaren placeras oftast ovanför kondensorn i en värmepump, enligt figur 7. Orsaken är att ifall köldmediet kondenserar i hetgasväxlaren, avrinner köldmediet vidare till kondensorn. (SWEP)

Hetgasväxlaren tar endast en liten del av effekten som är tillgänglig i köldmediet. Det är den höga temperaturen hos köldmediet som utnyttjas här. I Thermias värmepump för större fastigheter är hetgasväxlarens totala överföringsyta 2,5 m<sup>2</sup> medan kondensorn är 15 m<sup>2</sup>, dvs hetgasväxlaren utgör ca 14,3% av den totala mängden överföringsyta till värmesystemet.



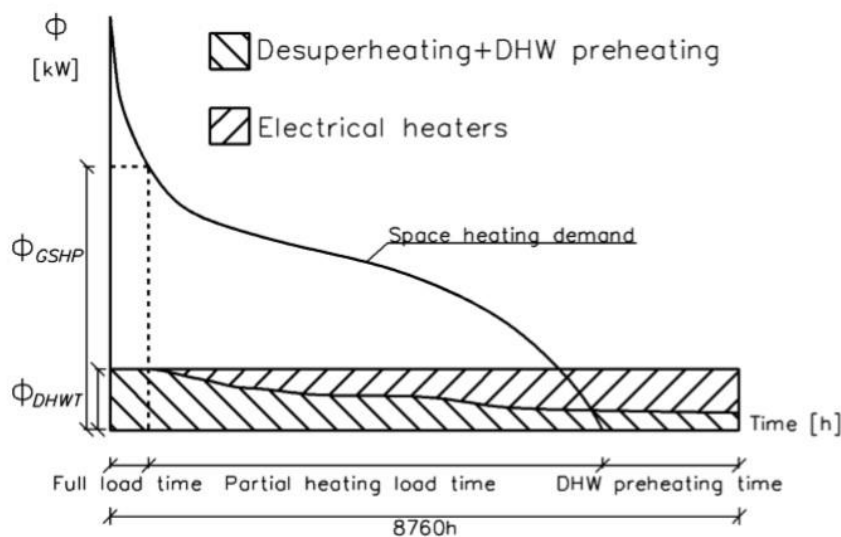
Figur 9. Schematisk bild av värmepumpskretsen med hetgasväxlare. (Hengel, et al. 2012)

## 5.1 Användningsområde

Hetgasväxlaren kan användas till att höja varmvattnets temperatur över den temperatur som kondensorn maximalt klarar av. Varmvattnet höjs då från ca 55 °C till 60 °C eller högre. Det förutsätter att köldmediegasens temperatur är tillräckligt hög. Enligt uppmätta värden från olika objekt har det framkommit att vid en framledningstemperatur mellan 36 och 38 °C är köldmediegasens temperatur, efter kompressorn, ca 65 °C och hetgasväxlaren börjar användas. Om hetgasväxlarens cirkulationspump startar innan köldmediet uppnår tillräckligt hög temperatur finns risken att hetgasväxlaren tar upp energi istället för att avge. I ett golvvärmesystem där framledningen är 35 °C vid den dimensionerade utetemperaturen, kommer köldmediegasens temperatur inte att nå så



höga temperaturer att hetgasväxlaren kan utnyttjas till varmvattnet samtidigt som byggnaden värms upp.



Figur 10. Möjligheten att utnyttja hetgasväxlaren för varmvattenproduktion. (Yrjölä, J. & Laaksonen, E., 2015)

Temperaturen i ett radiatorsystem är inte konstant utan följer en kurva enligt utetemperatur, sommartid kan radiatorsystemet till och med vara avstängt. Det begränsar hetgasväxlaren att värma varmvatten samtidigt som byggnaden värms. Med flytande kondensering sjunker temperaturen hos köldmediegasen, när temperaturbehovet hos framledningen minskar. Det gör att hetgasväxlaren är mest effektiv under kallare perioder, som figur 11 visar.

Möjligheten finns att använda hetgasväxlaren under kylningsperioder men det förutsätter att värmepumpen är kopplad till ett kylsystem, i det fallet används överlopps värme från byggnaden till att förvärma varmvattnet (Yrjölä, J. & Laaksonen, E., 2015). Detta examensarbete fokuserar enbart på värmesystem och kommer därför inte att ta detta i beaktande.

## 5.2 Funktion

Värmepumpen gör varmvatten med en hög kondenseringstemperatur. Det medför en hög temperatur hos köldmediegasen och hetgasväxlaren används. När både kondensorn och hetgasväxlaren överför energi till varmvattnet så är den förbrukade energin nära

densamma som att använda all effekt enbart från kondensorn. Inbesparingen sker då värmepumpen gör värme till byggnaden med en lägre kondenseringstemperatur och samtidigt utnyttjar köldmediegasens heta temperatur. På det viset kan varmvatten produceras med en högre värmefaktor eftersom skillnaden mellan förångning- och kondenseringstemperaturen är mindre, som formel 4.1 antyder.

Den andra möjligheten att spara på den förbrukade energin med hetgasväxlaren är då temperaturer över högsta kondenseringstemperaturen behövs. I vanliga fall där värmepumpen inte har en hetgasväxlare, behöver någon annan form av tillsatsvärme installeras för att uppnå temperaturer över den högsta möjliga kondenseringstemperaturen. Detta gäller för köldmediet R410A, andra köldmedier kan ha egenskapen att producera en tillräckligt hög kondenseringstemperatur.

Vid liten eller ingen varmvattenanvändning kan temperaturen hos varmvattnet i toppningstanken gå upp till en temperatur som ligger nära köldmediets inloppstemperatur i hetgasväxlaren. Varmvattnets blandningsventil blandar sedan en liten del med från varmvattnet som är upphettat med hetgasväxlaren, det resterande kommer från varmvattentanken som värms upp med värmepumpens kondensor eller blandas direkt med kallvatten. Vid användning av varmvatten kommer ca 5-10 gradigt kallvatten in till varmvattentanken och värms upp till ca 55 °C, denna uppvärmning kräver mycket mera värmeenergi än toppningen och därför använder man istället kondensorn för att värma upp varmvattentanken.

Styrningen för hetgasväxlaren sker från värmepumpens styrenhet. Värmepumpen styr cirkulationspumpen som pumpar värmevattnet till hetgasväxlaren. När temperaturen hos köldmediet är tillräckligt högt ger värmepumpen signal till cirkulationspumpen att starta. Cirkulationspumpen stannar sedan då temperaturen hos köldmediet sjunkit till det förinställda värdet i värmepumpen. Värmepumpen har även en övre stoppgräns, när temperaturen hos köldmediegasen i utloppet på kompressorn överstiger gränsen stängs cirkulationen till hetgasväxlaren och all energi från köldmediet överförs i kondensorn istället (SWEP).

Värmepumpens värmefaktor med hetgasväxlare kan beräknas enligt formel 5.1. (Ping et al, 2015)

$$COP = \frac{Q_{dsp} + Q_{con}}{Power} \quad (5.1)$$

där

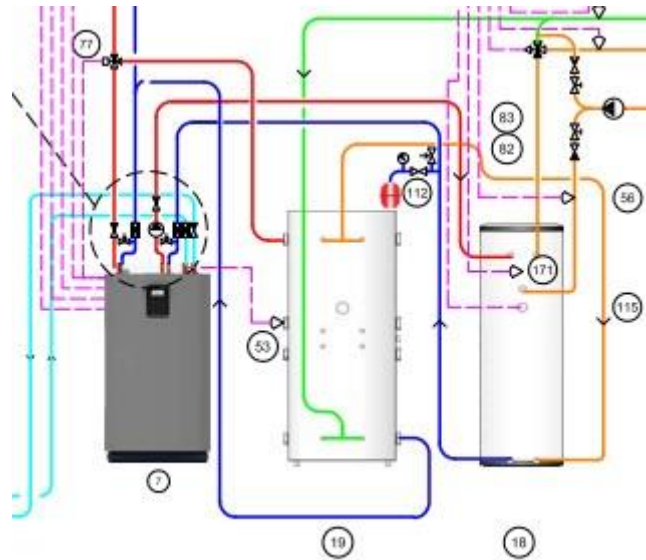
<i>COP</i>	värmepumpens värmefaktor
<i>Q<sub>dsp</sub></i>	överförd energi från hetgasväxlaren, W
<i>Q<sub>con</sub></i>	överförd energi från kondensorn, W
<i>Power</i>	förbrukad eleffekt, W

### 5.3 Inkoppling

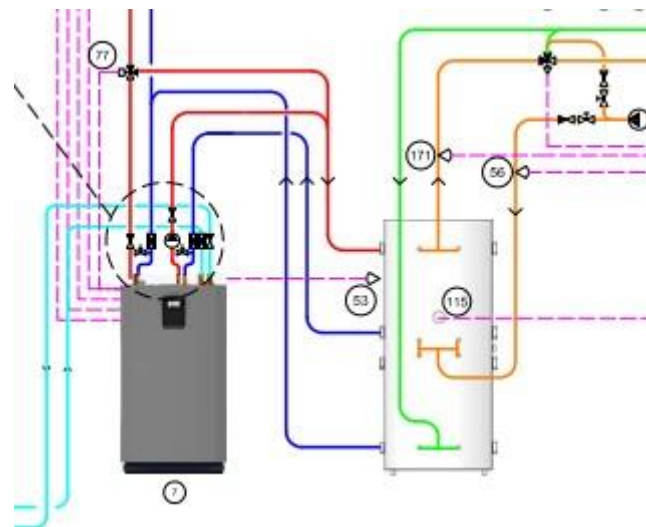
Det finns olika varianter av hur hetgasväxlaren kan kopplas in i ett värmesystem. En möjlighet är att koppla hetgasväxlaren till en skild tank, figur 12. I ett sådant fall är systemet slutet mellan hetgasväxlaren och tanken. Genom att koppla ihop en länk mellan returerna till hetgasväxlaren och kondensorn, ansluts båda i samma slutna system. På det viset undviker man extra kostnader jämfört med separata expansionssystem.

I figur 13 är hetgasväxlaren kopplad till samma tank som kondensorn, d.v.s. samma värmevatten cirkulerar i bägge värmeväxlare, där förhåller de sig i samma slutna system. I denna variant är temperatursektioneringen i tanken viktig att upprätthålla, för att hetgasväxlaren skall kunna hålla en högre temperatur i övre delen av tanken. I vissa fall används även tankar med mellanskiva, som gör det möjligt att hålla högre temperaturskillnader i tanken

I båda alternativen installeras el som tillsatsvärme till toppningstanken eller övre delen på den skiktade tanken. Orsaken är att då värmebehovet är litet, behöver värmepumpen inte köra ut så höga temperaturer i framledningen och köldmedieångans temperatur är relativt låg. Då används istället el för att höja temperaturen hos varmvattnet.



Figur 11. Hetgasväxlare kopplad till skild tank (Thermia Värmepumpar, 2018).



Figur 12. Hetgasväxlaren kopplad till skiktad tank (Thermia Värmepumpar, 2018).

## 6 UPPFÖLJNING

För att kontrollera hetgasväxlarens verkliga påverkan i ett värmepumpsystem har två värmepumpsanläggningar följts upp i Nyland. Uppföljningen ger en bättre inblick i effektiviteten för en hetgasväxlaren.

## 6.1 Case 1

Värmepumpsanläggningen består av en värmepump, med en maximal värmeeffekt på ca 80 kW. Värmepumpen använder bergvärme som värmekälla och det totala antalet borrhörlar är 2650 m fördelat på 12 brunnar. Grundvattennivån uppskattas till 10 m djup, vilket ger ett aktivt borrhörl på 2530 m. Byggnaden använder radiatorer som värmare och värmepumpen kör med värmekurvan 46.

I värmesystemet är den gamla oljepannan inkopplad och laddas mot en 500 liters tank utrustad med en varmvattenslinga. Varmvattnet värms i två stycken 750 liters tankar, där hetgasväxlaren är kopplad till övre delen av tankarna och värmepumpens kondensator, via växelventilen, till hela tanken enligt figur 13. Vid behov toppas varmvattnet i varmvattenslingan som värms av oljepannan. När värmepumpen gör värme till huset skiftar växelventilen till värmeläge och om effekten inte räcker till för behovet finns det en shunt som kompenserar behovet från tanken som oljepannan värmer.

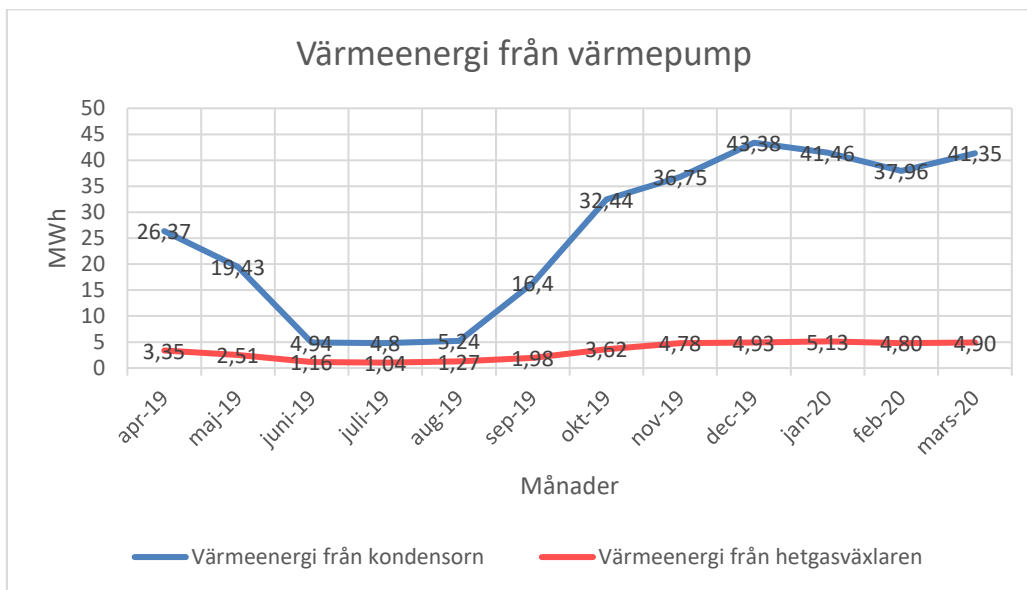
Mätningarna är gjorda i ett års tid där mätningar på plats och energimätarnas sparade data använts.

Mätare som är tillgängliga i värmepumpsystemet:

- Energimätare på fram- och returledningen (kondensorn).
- Energimätare på fram- och returledningen (hetgasväxlaren).
- Vattenmätare på kallvattnet som fördelas till uppvärmning.
- Energimätare på elmatningen till värmepumpen.
- Värmepumpens drifttimmar.

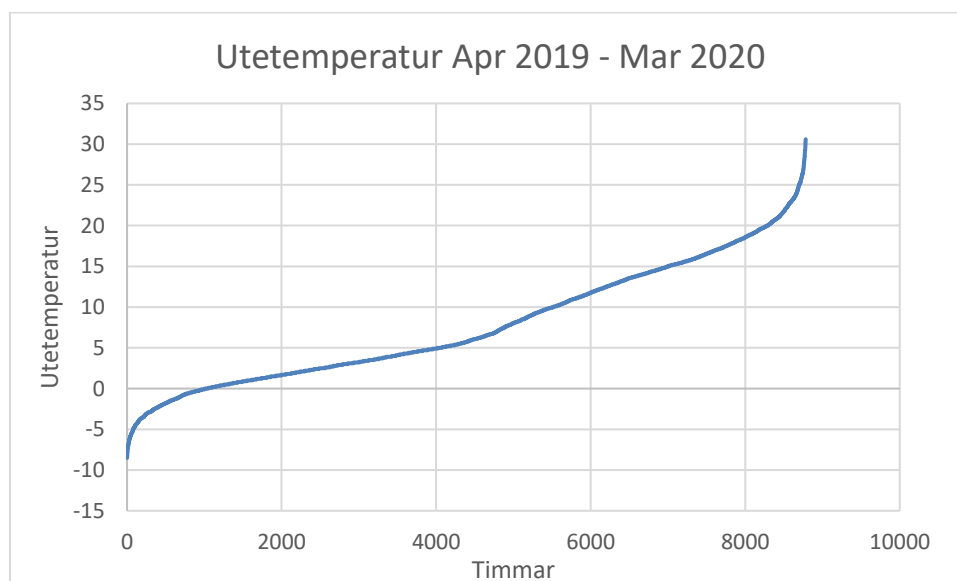
### 6.1.1 Resultat

Värmepumpens elförbrukning under 1 års tid är 101,39 MWh, värmeenergi från kondensorn är 310,52 MWh och värmeenergi från hetgasväxlaren är 39,47 MWh. Värmeenergin från värmepumpen är fördelat på året enligt figur 14. Årsvärmefaktorn (SPF) exkluderad tillsatsvärme blir 3,45 enligt formel 4.3.



Figur 13. Värmeenergi från värmepump, loggning från kamstrup energimätare. (2020)

Värmepumpens värmekurva är inställd på 46 och som tidigare nämnt börjar hetgas användas vid 36-38 °C framledningstemperatur. I detta fall börjar hetgasväxlaren utnyttjas då ute temperaturen är kring 7 °C. Enligt figur 15 har det under perioden 01.04.19 – 31.03.20 varit 4160 timmar under 7 °C för området där värmepumpen är installerad.



Figur 14. Utetemperatur enligt ilmatieteenlaitos för området där värmepumpen är belägen, under tiden 01.04.19 – 31.03.20. (2020)

Värmepumpens drifttimmar är totalt 6819 h och varmvattnet 430 h för perioden 01.04.2019 – 31.03.2020. Varmvattenmängden för samma period är 258 m<sup>3</sup>.

Momentära värmefaktorer för värmepumpen är uppmätta och är i medeltal:

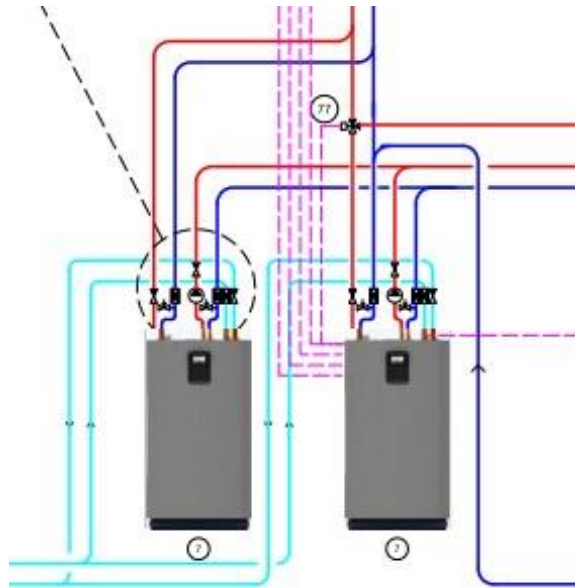
- Framledning 60 °C är COP 2,70 (Varmvattenproduktion)
- Framledning 55 °C är COP 3,04 (Värme till byggnaden, max temperatur)
- Framledning 38 °C är COP 4,34 (Värme till byggnaden, hetgasväxlaren börjar användas)

De olika uppmätta värmefaktorerna är relevanta vid bedömning av lönsamheten.

## 6.2 Case 2

Värmepumpsanläggningen består av två stycken värmepumpar, med en maximal värmeeffekt på ca 60 kW styck. Anläggningen använder bergvärme som värmekälla och totala antalet borrhåtar är 2600 m fördelat på 11 borrhål, där det aktiva borrhål djupet är 2490 m. Byggnaden använder radiatorer som värmare och värmepumparna kör med värmekurvan 46.

Före värmepumpsinstallationen var byggnaden ansluten till fjärrvärmenätet. I projektet är två värmepumpar installerade på liknande vis som figur 17, med den skillnaden att hetgasväxlarna är okopplade. Som tillsatsvärme är en elpanna installerad och laddar värme till en 500 liters tank med varmvattenslinga. Tanken toppar både varmvattnet och shuntar ut värme till byggnadens uppvärmningssystem.



Figur 15. Principschema för två värmepumpar. (Thermia)

Den ena värmepumpen (höger i figur 17) har växelventil installerad och gör både värme till huset samt värmer varmvattnet. Varmvattnet värms enligt figur 12 med skild toppningstank, i det här fallet samma tank som elpannan värmer. Elpannan är inställd att hålla 62 °C i toppningstanken.

Ett mätinstrument är byggt för att mäta energin som hetgasväxlaren överför. Testet går ut på att koppla tillfälligt hetgasväxlaren först från den ena värmepumpen till toppningstanken, sedan med den andra värmepumpens hetgasväxlare till toppningstanken och till sist jämföra med att lämna hetgasväxlarna okopplade.

Mätare som är tillgängliga i värmepumpsystemet:

- Energimätare på fram- och returdningen (hetgasväxlaren).
- Energimätare på elmatningen till vardera värmepump.
- Energimätare på elmatningen till elpannan.
- Värmepumpens drifttimmar.



## 6.2.1 Resultat

Hgv 1 i tabell 1 är mätdata då hetgasväxlaren från den värmepump som gör både varmvatten och värme till byggnaden är kopplad till toppningstanken, dvs värmepumpen till höger enligt figur 16. Hgv 2 är mätdata då hetgasväxlaren från värmepumpen som endast gör värme till byggnaden är kopplad till toppningstanken. Hgv 1 och 2 är om båda hetgasväxlarna skulle kopplas till toppningstanken.

Tabell 1. Mätdata Case 2. (2020)

Mätdata	Hgv 1	Hgv 2	Hgv 1 och 2	Endast el
Hetgasväxlarens överförda energi (kWh)	168,6	98	266,6	0
Uppskattad värmefaktor	2,96	3,95	3,26	1
Eleffekt för kompressor till hetgasväxlaren (kWh)	57,04	24,78	81,82	0
Elvärme varmvattentoppning (kWh)	130,2	184,9	18,8	274,5
Total elförbrukning (kWh)	187,24	209,68	100,62	274,5
Total mängd energi till toppningstanken (kWh)	298,8	282,9	285,4	274,5

## 7 BEDÖMNING AV LÖNSAMHET

För värmepumpar med hetgasväxlare är alternativet vid installeringen att lämna hetgasväxlaren okopplad. Uppgiften är att ta reda på lönsamheten och kostnaden för en sådan installation.

Som tidigare nämndes är hetgasväxlaren inte lönsam i värmesystem som har låga framledningstemperaturer, t.ex. golvvärmesystem. Därför kommer sådana värmesystem inte tas i beaktande i beräkningarna.

### 7.1 Installationskostnad

Offerten, bilaga 4, gäller en installation av en hetgasväxlare till en befintlig tank. Det förutsätter att en värmepump med hetgasväxlare finns tillgänglig. Priset för en installation enligt offerten är 1320 € inkl. moms.

## 7.2 Inbesparing

Tidigare nämndes det att fördelen med hetgasväxlare har man då värmepumpen gör värme till huset, då värmer hetgasväxlaren varmvattnet samtidigt. Den andra fördelen med hetgasväxlare är då man behöver högre temperaturer än vad kondensorn kan leverera.

I uppföljningen Case 1, kan man se att sommartid överförs det mindre energi från hetgasväxlaren jämfört med svalare perioder. Under de varmare perioderna har framledningen till värmesystemet inte behövt högre temperatur än 36 °C som tidigare konstaterades som gränsen för när hetgasväxlaren börjar användas. Med hjälp av värmepumpens drifttimmar för varmvatten och uppmätt effekt från hetgasväxlaren då värmepumpen gör varmvatten, fås den energi som hetgasväxlaren producerat under tiden som värmepumpen gjort varmvatten. Resultatet är 6,02 MWh överfört från hetgasväxlaren.

Eftersom totala energiöverföringen från hetgasväxlaren är 39,47 MWh, har hetgasväxlaren överfört 33,45 MWh då värmepumpen värmt upp byggnaden. Värmefaktorn för hetgasväxlaren är uträknad och baseras på Meteorologiska institutets temperaturmätning för varje timme under mätningens perioden för området. För varje timme är det beräknat hetgasväxlarens värmefaktor och effekt, enligt uppmätta värden. Resultatet blev att värmefaktorn för hetgasväxlaren är 3,28 som ger en elförbrukning på 10,2 MWh för den energi som överförs i hetgasväxlaren då värmepumpen gjort värme till byggnaden.

Om energin från hetgasväxlaren istället skulle överföras i kondensorn då värmepumpen gör varmvatten skulle elförbrukningen med värmefaktor 2,7 uppskattningsvis bli 12,39 MWh. Priset på elektricitet med överföring och elskatt är 137,4 €/MWh (Energivirasto, 2019), inbesparingen med hetgasväxlare blir då 300,91 € för perioden 01.04.2019 – 31.03.2020. När hetgasväxlaren är okopplad behöver varmvattnet toppas på något annat vis. Den energimängd som behövs för att höja varmvattentemperaturen skulle isåfall bli 3,01 MWh/år enligt formel 3.1 med varmvattenmängden 258 och 10 °C

temperaturökning. Om toppningen sker med elvärme blir den slutliga inbesparingen 714,50 €/år. Enligt offerten skulle installationen betalas in efter ca 2 år.

Uppföljningen Case 2 är utförd under en kortare period men enligt mätdata visar det sig att hetgasväxlaren ger en inbesparing redan i tidigt skede. Det man kan påpeka från mätdata är att den energi som hetgasväxlaren har bidragit med till toppningstanken, skulle behöva kompenseras med elvärme. Hetgasväxlare 1 visar en högre inbesparing fastän värmefaktorn är lägre än hetgasväxlare 2. I det här fallet beror det på att mätningarna utförts vid sådana temperaturer där mängden energi från hetgasen är minimal när värmepumpen gör värme till byggnaden. Största inbesparingen är då båda hetgasväxlarna är kopplade men det fördubblar i sin tur investeringskostnaden.

För att få en mera exakt inbesparing bör mätningarna utföras under en längre tid. Med den tidigare mätningen i Case 1 där värmefaktorn uppskattades till 3,28 för hetgasväxlaren då värmepumpen gör värme till byggnaden och 2,7 när värmepumpen gör varmvatten, kan en uppskattad inbesparing räknas ut även för Case 2. Resultatet ligger nära den verkliga inbesparing, däremot påverkar yttre faktorer resultatet, t.ex utetemperaturer och varmvattenförbrukning. Jag utgår ifrån att varmvattentoppningen är densamma året runt enligt ett medeltal av de olika uppmätta förbrukningarna i tabell 1. Det skulle innebära en energi förbrukning på 2,24 MWh/månad. Drifttiden i värmepumpen som gör varmvatten och värme till byggnaden är ca 50/50. Inbesparingarna för de olika inkopplingsätten av hetgasväxlaren presenteras i tabell 2. Tabell 2 baserar sig på samma beräkningsprincip som i Case 1 men med värmepumparnas effekt storlekar taget i beaktande.

Tabell 2. Inbesparing för hetgasväxlarens olika inkopplingsätt till toppningstank Case 2. (2020)

	Behov MWh	Tillsats MWh	Energi från hgv MWh	Hgv el MWh	El tot MWh	Kostnad	Inbesparing	Återbetalningstid (år)
hgv 1	26,88	5,23	21,65	7,31	12,54	1 723,29 €	1 970,02 €	0,67
hgv 2	26,88	7,78	19,10	5,82	13,60	1 868,84 €	1 824,47 €	0,72
hgv 1 och 2	26,88	4,09	22,79	7,32	11,41	1 567,58 €	2 125,74 €	1,24
utan	26,88	26,88	0,00	0,00	26,88	3 693,31 €	-	-

## 8 SLUTSATS

Hetgasväxlaren ger en inbesparing på uppvärmningskostnaderna oberoende om hetgasväxlaren kopplas mot en separat toppningstank eller till en kombinerad varmvattentank. I planerade bergvärmesystem finns det ofta möjlighet att koppla in hetgasväxlaren mot en varmvattentank. För att det skall vara lönsamt att koppla hetgasväxlaren bör värmepumpen i bergvärmesystemet vara färdigt utrustad från fabriken med en hetgasväxlare. Det är inte ekonomiskt att i ett senare skede installera en hetgasväxlare i värmepumpskretsen.

Av resultatet från detta arbete kan man konstatera att om hetgasväxlaren installeras i en byggnad betalar installationen in sig snabbt och förkortar även hela bergvärmesystemets återbetalningstid.

## KÄLLOR

Aittomäki, A., 2012, *Kylmäteknikka*, Upplaga 4, Suomen kylmähdistys ry.

Alvarez, H., 2006, *Energiteknik*, Upplaga 3, Studentlitteratur, Lund.

Björk, E., Acuña, J., Granryd, E., Mogensen, P., Nowacki, J., Palm, B. & Weber, K., 2013, *Bergvärme på djupet: Boken för dig som vill veta mer om bergvärmepumpar*, Stockholm.

Blanco, D., Nagano, K. & Morimoto, M., 2013, *Experimental study on a monovalent inverter-driven water-to-water heat pump with a desuperheater for low energy houses*, I: Applied Thermal Engineering, Volume 50, 826-836.

Danfoss, 2014, *Danfoss scroll compressors for refrigeration*, Tillgänglig: <https://www.danfoss.com/en/products/compressors/dcs/compressors-for-refrigeration/refrigeration-scroll-compressors/#tab-overview>, Hämtad: 13.04.2020.

DuPont™, 2004, *Thermodynamic properties of refrigerant DuPont™ SUVA® 410A*.

Energiavirasto, 2019, *Sähköön toimitusvelvollisuus- ja siirtohintojen kehitys*, Tillgänglig: <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>, Hämtad: 19.04.2020.

Hengel, F., Heinz, A., & Rieberer, R., 2016, *Performance analysis of a heat pump with desuperheater for residential buildings using different control and implementation strategies*, Graz University of Technology, Austria, I: Markides, C., Applied Thermal Engineering, Volume 105, s. 256-265.

Leppäharju, N., 2008, *Kalliolämmön hyödyntämiseen vaikuttavat geofysikaaliset ja geologiset tekijät*. Oulun yliopisto. Fysikaalisten tieteiden laitos. Pro gradu – tutkielma.

Lundagrossisten, 2018, *VVS-Kunskap: steg 2*, Tillgänglig: [https://lundagrossisten.se/common/pdf/Utbildningskompendium\\_VVS\\_steg\\_2.pdf](https://lundagrossisten.se/common/pdf/Utbildningskompendium_VVS_steg_2.pdf), Hämtad: 27.04.2020.

Meteorologiska institutet, 2020, *Havaitojen lataus*, Tillgänglig: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>, Hämtad: 18.04.2020.

Miljöministeriet, 2013, *D5 Finlands byggbestämmelsesamling : Beräkningar av byggnaders energiförbrukning och effektbehov för uppvärmning*, Helsingfors.

Miljöministeriet, 2017a, *Miljöministeriets förordning om byggnaders vatten- och avloppsinstallationer*, Helsingfors, Tillgänglig: <https://finlex.fi/sv/laki/alkup/2017/20171047>, Hämtad: 27.04.2020.

Miljöministeriet, 2017b, *Nya byggnaders energiprestanda*, I: Finlands författningssamling, Helsingfors.

Motiva, 2019, *Värme ur egen jord*, Helsingfors. Tillgänglig: [https://www.motiva.fi/files/2253/Varme ur egen jord final.pdf](https://www.motiva.fi/files/2253/Varme_ur egen_jord_final.pdf), Hämtad: 27.04.2020.

Ping, C., Nairen, D., Hongxing, Y., Zhaohong, F. & Changliang, S., 2015, *Study on hybrid GCHP system with a desuperheater*, ICRERA.

Polarpumpen, 2015, *Fördelar med inverterteknik*, Tillgänglig: <https://www.polarpumpen.se/blogg/fordelar-med-inverterteknik/>, Hämtad: 14.04.2020.

Refrigeratordiagrams, 2009, *Refrigerating Superheating and Subcooling*, Tillgänglig: <http://www.refrigeratordiagrams.com/refrigeration-systems-and-applications/refrigeration-cycles-and-systems/refrigerating-superheating-and-subcooling.html>, Hämtad: 12.04.2020

Seppänen, O., 2001, *Rakennusten lämmitys*, Upplaga 2, Suomen LVI-liitto.

Suomen virallinen tilasto, 2016, *Maalämmön osuus lämmönlähteenä kasvussa*, I: Rakennus- ja asuntotuotanto, Helsinki.

Suomi rakentaa, 2018, *Pientalon lämmitysjärjestelmä*, Tillgänglig: <https://www.suomirakentaa.fi/omakotirakentaja/laemmitys/laemmityksen-valinta>, Hämtad: 27.04.2020.

SWEP, *Refrigerant handbook*, Tillgänglig: <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/refrigerant-handbook/> Hämtad 18.03.2020.

Thermia Värmepumpar, *Tre avgörande faktorer då du väljer värmepump* Tillgänglig: <https://www.thermia.se/varmepump-kunskap/kopa-varmepump/varmepump-tre-faktorer/> Hämtad: 27.04.2020.

Thermia Värmepumpar, 2014, *Tekninen kuvaus MEGA*, Hämtad: 26.04.2020.

Thermia Värmepumpar, 2015, *Bruksanvisning MEGA*, Hämtad 27.04.2020.

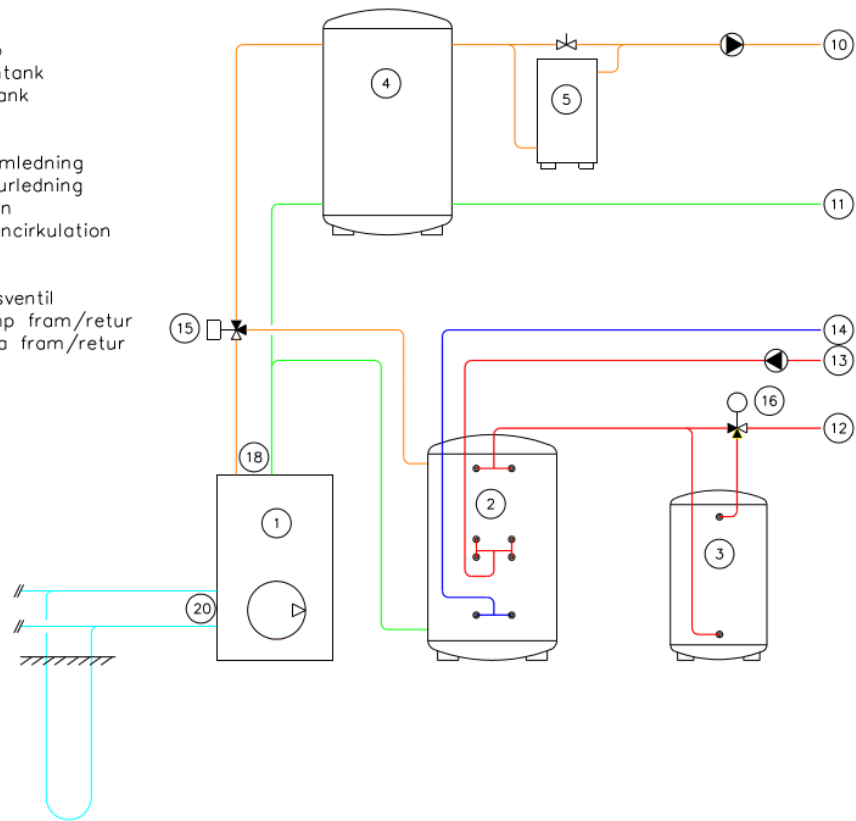
Thermia Värmepumpar, 2018, *MEGA Järjestelmäratkaisu*, Hämtad: 26.04.2020

Yrjölä, J. & Laaksonen, E., 2015, *Domestic Hot Water Production with Ground Source Heat Pump in Apartment Buildings*, *Energies*, Volume 8, s. 8447-8460, Metropolia University of Applied Sciences, Helsinki.

# BILAGOR

## Bilaga 1.

1. Värmepump
2. Varmvattentank
3. Toppningstank
4. Bufferttank
5. Tillsats
10. Systemframledning
11. Systemreturledning
12. Varmvatten
13. Varmvattencirkulation
14. Kallvatten
15. Växelventil
16. Blandningsventil
18. Värmepump fram/retur
20. Värmekälla fram/retur







### Bilaga 3.

#### 5.1 Tekniset tiedot, L ja XL

Mega			L	XL
Kylmäaine	Tyyppi		R410A	
	Määrä <sup>1</sup>	kg	5,7	8,7
	Mitoituspaine (matala/korkea)	MPa	3,0/4,3	3,0/4,3
Kompressori	Tyyppi		Scroll	
	Öljy		POE	
Sähkötiedot 3-N	Verkköjännite	voltia	400	400
	Tyypiteho, kompressori	kW	22,20	32,50
	Tyypiteho, kiertovesipumppu	kW	1	1
	Varoke <sup>19</sup>	A	50	63
	Oikosulkuvirta (Ssc) <sup>20</sup>	MVA	2,4	3,2
Teho	COP <sup>2</sup>		4,50	4,71
	Lämmityskapasiteetti <sup>2</sup>	kW	35,6	52,0
	Syöttöteho <sup>2</sup>	kW	7,91	11,0
	SCOP, lattialämmitys (35 °C)		5,29 <sup>7</sup>	5,30 <sup>9</sup>
	SCOP, patteri (55 °C)		4,20 <sup>8</sup>	4,32 <sup>10</sup>
	Korkean lämpötilan lämpöpumpun kausittaisen tilalämmityksen energiatehokkuusluokka		A++	A++
	<sup>18</sup>			
	Matalan lämpötilan lämpöpumpun kausittaisen tilalämmityksen energiatehokkuusluokka		A++	A++
	<sup>18</sup>			
	Sisäänrakennetun lämpötilanohjauspaketin energiatehokkuusluokka (korkea lämpötila)		A+++	A+++
<sup>17</sup>				
Sisäänrakennetun lämpötilanohjauspaketin energiatehokkuusluokka (matala lämpötila)		A+++	A+++	
<sup>17</sup>				
Tehoalue	kW	14-59 <sup>12</sup>	21-88 <sup>12</sup>	
Järjestelmän enimmäispaine	Lämmönkeruuneste	baaria	6,0	
	Lämmönsiirtoneste	baaria	6,0	
Maks./min.lämpötila <sup>13</sup>	Jäähdytyspiiri	°C	20/-10	
	Lämmityspiiri	°C	65 <sup>14</sup> /20	
Maks./min. kylmäainepiiri	Matala paine	MPa	0,23	
	Korkeapaine	MPa	4,3	
Äänentehotaso <sup>15</sup>		dB (A)	46-61 <sup>12</sup>	46-63 <sup>12</sup>
Jäätymisenestoaine <sup>16</sup>	Keruuliuospiirissä on käytettävä jäätymisenestoainetta, joka torjuu ruostumista		Etanoli-vesiliuos -17 °C ± 2	
Paino		kg	430	550

## Bilaga 4.

### **Erittely**

#### A40 Kytkenä

Kuumakaasuvaihidin kytkenä

1,00

Sähkön kytkenä T1

1,00

**Yhteensä EUR ilman ALV 24,00 %**

**1064,52**

**ALV 24,00 %**

**255,48**

**Yhteensä EUR sis. ALV 24,00 %**

**1320,00**