

**En jämförelse, av luft-vattenvärmepumpar med  
scrollkompressorer och flashinjektion  
scrollkompressorer, med hjälp av statistiska  
utgångsvärden**

Emil Lindblom

|  |   |
|--|---|
| EXAMENSARBETE  |   |
| Arcada   |   |
|  |   |
| Utbildningsprogram:  | Distribuerade energisystem  |
|  |   |
| Identifikationsnummer:   | 4500  |
| Författare:  | Emil Lindblom   |
| Arbetets namn:   | En jämförelse, av luft-vattenvärmepumpar med scrollkompressorer och flashinjektion scrollkompressorer, med hjälp av statistiska utgångsvärden |
| Handledare (Arcada):   | Kim Skön  |
|  |   |
| Uppdragsgivare:  | Ville Wallendahr, Innoair Oy  |
|  |   |
| Sammandrag:  |   |
| <p>Arbetets syfte var att undersöka om det är lönsamt att använda sig av den dyrare så kallade flashinjektions utrustade scrollkompressorn istället för den konventionella luft-vattenvärmepumpen med scrollkompressor. I arbetet har endast Mitsubishi Electric luft-vattenvärmepumpar jämförts. På grund av att utomhustemperaturen spelar en stor roll hur effektiv en luft-vattenvärmepump är, har utomhustemperaturens varaktighet jämförts både i klimatzon I (Helsingfors) och i klimatzon III (Jyväskylä). Ett Microsoft Excel verktyg har skapats och med hjälp av detta har det gått att jämföra de två olika luft-vattenvärmepumparna med olika utgångsvärden. Dessa värden kan bland annat vara olika framledningstemperaturer ifall radiatorer eller golvvärme används, eller olika effektbehov för byggnaden vid den dimensionerande utetemperaturen i respektive klimatzon. Som det kom fram i resultatet är luft-vattenvärmepumparna mycket beroende på vilka utgångsvärden som angivits. Som bäst vid de olika testade värdena kommer flashinjektion utrustade luft-vattenvärmepumpen att återbetala sig själv på 7 år. Höjs elpriset kommer återbetalningstiden att bli kortare.</p> |   |
| Nyckelord:   | Flashinjektion, Innoair Oy, Luft-vattenvärmepump, Scrollkompressor, R410A   |
| Sidantal:  | 51  |
| Språk:   | Svenska   |
| Datum för godkännande:   | 23.5.2014   |

|  |   |
|--|---|
| DEGREE THESIS  |   |
| Arcada   |   |
| Degree Programme:  | Distributed Energy Systems  |
| Identification number:   | 4500  |
| Author:  | Emil Lindblom   |
| Title:   | En jämförelse, av luft-vattenvärmepumpar med scrollkompressorer och flashinjektion scrollkompressorer, med hjälp av statistiska utgångsvärden |
| Supervisor (Arcada):   | Kim Skön  |
| Commissioned by:   | Ville Wallendahr, Innoair Oy  |
| Abstract:  |   |
| <p>The aim of the work was to investigate whether it is profitable to use the more expensive so called flash injection equipped scroll compressor instead of the conventional scroll compressor air-to-water heat pump. The work has only compared Mitsubishi Electric air-to-water heat pumps. Because of the outside temperature plays a big role how efficient a air-to-water heat pump is, the outside temperature duration in both climate zone I (Helsinki) and climate zone III (Jyväskylä) has been compared. A Microsoft Excel tool has been developed to be able to compare the both air-to-water heat pumps with different output values. These values may include different flow temperatures if radiators or floorheating is used, or different power demands of the building at the dimensioning outdoor temperature in each climate zone. As it can be seen in the results, the air-to-water heat pumps are very dependent on which output value is used. At the different tested values the best payback value for the flash injection equipped air-to-water heat pump will be 7 years. Higher electricity price will decrease the payback time.</p> |   |
| Keywords:  | Flash injection, Innoair Oy, Air-to-water heat pump, Scroll compressor, R410A   |
| Number of pages:   | 51  |
| Language:  | Swedish   |
| Date of acceptance:  | 23.5.2014   |

|   |   |
|---|---|
| OPINNÄYTE   |   |
| Arcada  |   |
| Koulutusohjelma:  | Hajautetut energiajärjestelmät  |
| Tunnistenumero:   | 4500  |
| Tekijä:   | Emil Lindblom   |
| Työn nimi:  | En jämförelse, av luft-vattenvärmepumpar med scrollkompressorer och flashinjektion scrollkompressorer, med hjälp av statistiska utgångsvärden |
| Työn ohjaaja (Arcada):  | Kim Skön  |
| Toimeksiantaja:   | Ville Wallendahr, Innoair Oy  |
| <p>Tiivistelmä:</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää onko kannattavampaa hankkia kalliimpi niin sanottu flashinjektiolla varustettu scroll-kompressori kuin tavanomaisella scroll-kompressorilla varustettu ilma-vesilämpöpumppu. Työssä on vertailtu ainoastaan Mitsubishi Electric:in ilma-vesilämpöpumppuja. Koska ulkolämpötilalla on suuri merkitys ilma-vesilämpöpumpun tehoon, on ulkolämpötilan pysyvyyttä vyöhykkeellä I (Helsinki) sekä vyöhykkeellä III (Jyväskylä) vertailtu keskenään. Microsoft Excelillä luodun työkalun avulla voitiin vertailla kahta eri ilma-vesilämpöpumppua eri lähtötiedoilla. Lähtötiedoilla tarkoitetaan esimerkiksi eri menoveden lämpötiloja riippuen siitä käytetäänkö radiaattoreja tai lattialämmitystä, tai eri tehontarpeita rakennukselle mitoitettussa ulkolämpötilassa kullakin vyöhykkeellä. Kuten tuloksista käy ilmi, ovat ilma-vesilämpöpumput hyvin riippuvaisia siitä mitä lähtöarvoja on käytetty. Eri lähtötiedot osoittavat että flashinjektiolla varustettu ilma-vesilämpöpumppu tulee parhaassa tapauksessa maksamaan itsensä takaisin seitsemässä vuodessa. Sähkönhinnan noustessa tulee takaisinmaksuaika lyhenemään.</p> |   |
| Avainsanat:   | Flashinjektio, Innoair Oy, Ilma-vesilämpöpumppu, Scroll-kompressori, R410A  |
| Sivumäärä:  | 51  |
| Kieli:  | Ruotsi  |
| Hyväksymispäivämäärä:   | 23.5.2014   |

# INNEHÅLL / CONTENTS

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inledning.....</b>  | <b>10</b> |
| 1.1      | Bakgrund .....   | 10        |
| 1.2      | Avgränsningar .....  | 11        |
| 1.3      | Syftet/frågeställningar.....   | 11        |
| <b>2</b> | <b>Värmepumpen.....</b>  | <b>11</b> |
| 2.1      | Värmepumpens kretsprocess i ett entalpi, tryck diagram .....                                 | 13        |
| 2.2      | Värmeffaktor - COP .....   | 16        |
| 2.3      | Balanspunkt.....   | 17        |
| 2.4      | Luft-vattenvärmepumpen .....   | 18        |
| 2.4.1    | <i>Förångare</i> .....   | 18        |
| 2.4.2    | <i>Kompressor</i> .....  | 19        |
| 2.4.3    | <i>Kondensor</i> .....   | 20        |
| 2.4.4    | <i>Expansionsventil</i> .....  | 21        |
| 2.5      | Köldmedium.....  | 21        |
| <b>3</b> | <b>Väderleksdata .....</b>   | <b>22</b> |
| <b>4</b> | <b>Jämförelse mellan en konventionell och flashinjektion scrollkompressor ...</b>            | <b>24</b> |
| <b>5</b> | <b>Metod.....</b>  | <b>28</b> |
| 5.1      | Basdata .....  | 28        |
| 5.2      | Uträkningar .....  | 31        |
| <b>6</b> | <b>RESULTAT .....</b>  | <b>34</b> |
| 6.1      | Effektbehov på 8,62 kW för klimatzon I och 9,78 kW för klimatzon III vid $T_{u,mit}$ .....   | 34        |
| 6.1.1    | <i>Framledningstemperatur 35 °C</i> .....  | 34        |
| 6.1.2    | <i>Framledningstemperatur 45 °C</i> .....  | 35        |
| 6.1.3    | <i>Framledningstemperatur 60 °C</i> .....  | 35        |
| 6.2      | Effektbehov på 10,49 kW för klimatzon I och 11,92 kW för klimatzon III vid $T_{u,mit}$ ..... | 36        |
| 6.2.1    | <i>Framledningstemperatur 35 °C</i> .....  | 36        |
| 6.2.2    | <i>Framledningstemperatur 45 °C</i> .....  | 36        |
| 6.2.3    | <i>Framledningstemperatur 60 °C</i> .....  | 37        |
| 6.3      | Effektbehov på 16,10 kW för klimatzon I och 18,31 kW för klimatzon III vid $T_{u,mit}$ ..... | 37        |
| 6.3.1    | <i>Framledningstemperatur 35 °C</i> .....  | 37        |
| 6.3.2    | <i>Framledningstemperatur 45 °C</i> .....  | 38        |
| 6.3.3    | <i>Framledningstemperatur 60 °C</i> .....  | 38        |
| <b>7</b> | <b>Diskussion .....</b>  | <b>40</b> |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| <b>Källor .....</b>                   | <b>43</b> |
| <b>Bilagor .....</b>                  | <b>46</b> |
| <b>1 COP/EFFEKT PUHZ-SHW112 .....</b> | <b>46</b> |
| <b>2 COP/EFFEKT PUHZ-SW100.....</b>   | <b>49</b> |

## Figurer

|   |    |
|---|----|
| Figur 1. Värmeöverföring från ett kallt ställe till ett varmt med hjälp av en värmepump. Alla enheter är positiva. (Cengel & Boles 2006, s. 611)..... | 13 |
| Figur 2. Entalpi, tryckdiagram. (Wikimedia) .....   | 14 |
| Figur 3. Ideala kretsprocessen för en värmepump i ett entalpi, tryckdiagram. (Cengel & Boles 2006, s.612) .....                                       | 15 |
| Figur 4. Balanspunkt. (e-Education 2014) .....  | 17 |
| Figur 5. Scrollkompressorns funktionsprincip. (Kylmäsovellusten scroll-kompressorit) .....  | 20 |
| Figur 6. Finlands zonindelning. (Meteorologiska institutet 2012) .....  | 22 |
| Figur 7. Figur (a) flash tank cycle köldmediumkrets. Figur (b) internal heat exchanger cycle köldmediumkrets. (Wang & Hwang 2009).....                | 24 |
| Figur 8. Köldmedium system diagram för PUHZ-SW100. (Ecodan data book, 2013) .   | 25 |
| Figur 9. Köldmedium system diagram för PUHZ-SHW112. (Ecodan data book, 2013)  | 26 |
| Figur 10. Entalpi, tryck diagram över injektions processen för PUHZ-SHW112. (USRE43805 E1 2012).....  | 27 |

## Tabeller

|   |    |
|---|----|
| Tabell 1. Excel basdata.....  | 28 |
| Tabell 2. Byggnadens effektbehov både i Helsingfors och Jyväskylä vid olika utomhustemperaturer.....  | 31 |
| Tabell 3. Beräkningar för värmepumpen PUHZ-SHW112 i klimatzon I vid en utomhustemperatur på -16 °C.....   | 32 |
| Tabell 4. Kostnadstabell med ett effektbehov på 8,62 kW för zon I och 9,78 kW för zon III vid $T_{u,mit}$ och med en framledningstemperatur på 35 °C.....   | 34 |
| Tabell 5. Kostnadstabell med ett effektbehov på 8,62 kW för zon I och 9,78 kW för zon III vid $T_{u,mit}$ och med en framledningstemperatur på 45 °C.....   | 35 |
| Tabell 6. Kostnadstabell med ett effektbehov på 8,62 kW för zon I och 9,78 kW för zon III vid $T_{u,mit}$ och med en framledningstemperatur på 60 °C.....   | 35 |
| Tabell 7. Kostnadstabell med ett effektbehov på 10,49 kW för zon I och 11,92 kW för zon III vid $T_{u,mit}$ och med en framledningstemperatur på 35 °C..... | 36 |

|   |    |
|---|----|
| Tabell 8. Kostnadstabell med ett effektbehov på 10,49 kW för zon I och 11,92 kW för zon III vid $T_{u,mit}$ och med en framledningstemperatur på 45 °C. ....  | 36 |
| Tabell 9. Kostnadstabell med ett effektbehov på 10,49 kW för zon I och 11,92 kW för zon III vid $T_{u,mit}$ och med en framledningstemperatur på 60 °C. ....  | 37 |
| Tabell 10. Kostnadstabell med ett effektbehov på 16,10 kW för zon I och 18,31 kW för zon III vid $T_{u,mit}$ och med en framledningstemperatur på 35 °C. .... | 37 |
| Tabell 11. Kostnadstabell med ett effektbehov på 16,10 kW för zon I och 18,31 kW för zon III vid $T_{u,mit}$ och med en framledningstemperatur på 45 °C. .... | 38 |
| Tabell 12. Kostnadstabell med ett effektbehov på 16,10 kW för zon I och 18,31 kW för zon III vid $T_{u,mit}$ och med en framledningstemperatur på 60 °C. .... | 38 |
| Tabell 13. Mitsubishi Electric COP & effekt tabell för PUAZ-SHW112. ....  | 46 |
| Tabell 14. Linjär interpolering av PUAZ-SHW112 nominella effekt tabell för att få värden vid varje temperatur. ....   | 47 |
| Tabell 15. Linjär interpolering av PUAZ-SHW112 nominella COP tabell för att få värden vid varje temperatur. ....  | 48 |
| Tabell 16. Mitsubishi Electric COP & effekt tabell för PUAZ-SW100. ....   | 49 |
| Tabell 17. Linjär interpolering av PUAZ-SW100 nominella effekt tabell för att få värden vid varje temperatur. ....  | 50 |
| Tabell 18. Linjär interpolering av PUAZ-SW100 nominella COP tabell för att få värden vid varje temperatur. ....   | 51 |



## Definitioner och beteckningar

Dessa definitioner och beteckningar kan ha många förklaringar, i detta arbete används dessa

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| <b>Entalpi</b>                       | Värmeinhåll, den energi som finns lagrad i ett ämne  |
| <b>COP – Värmefaktor</b>             | Värmepumpens verkningsgrad, Coefficient Of Performance   |
| <b>Expansionsventil</b>              | Strypventil för köldmediumet   |
| <b>Förångare</b>                     | I förångaren alstrar köldmediumet värmeenergi från ett kallt utrymme   |
| <b>Framledningstemperatur</b>        | Radiator- eller golvvärmekretsens ingående vattentemperatur vid den dimensionerande utomhustemperaturen vid respektive klimatzon |
| <b>Kondensator</b>                   | I kondensorn avger köldmediumet värme så att det kondenseras   |
| <b>Kompressor</b>                    | En maskin som komprimerar köldmediumet   |
| <b>Logaritmisk skala</b>             | Lika långa intervaller i skalan men ökar exponentiellt   |
| <b>Carnot process</b>                | Den mest effektiva teoretiska termodynamiska cykeln  |
| <b>Kelvin</b>                        | Måttenhet för temperatur, $T[^\circ\text{C}] = T[\text{K}] - 273,15$   |
| <b>Köldmedium</b>                    | Vätskan som cirkulerar i en värmepump  |
| <b>Specifik volym</b>                | Förhållandet mellan ämnets volym till dess massa, $\text{m}^3/\text{kg}$   |
| <b><math>T_{u,\text{mit}}</math></b> | Dimensionerande utetemperatur, $^\circ\text{C}$ (mitoittava ulkoilman lämpötila, $^\circ\text{C}$ )                              |

# 1 INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

I slutet av år 2012 fanns det ca. 535 000 värmepumpar i bruk i Finland. Av dem var ungefär 50 000 jordvärmepumpar, 25 000 frånluftsvärmepumpar, 10 000 luftvattenvärmepumpar och ungefär 450 000 luftvärmepumpar. Mera än hälften av alla småhusbyggare väljer en värmepump till det nya huset. Enligt prognoser kommer Finland att år 2020 ha i bruk över en miljon värmepumpar. (Perälä 2013 s. 27) Värmepumparnas antal kommer troligtvis att öka mycket på grund av att Finland gått med i ett EU direktiv som omfattar att utsläpp av växthusgaserna skall minska med 20 % till år 2020. (European Commission, 2014)

Enligt 2010/31/EU direktivet står byggnaderna för 40 % av den sammanlagda energianvändningen inom unionen. (Europaparlamentets direktiv, 2010) Detta betyder att det är oerhört viktigt att byggnadernas uppvärmningssystem är i skick och fungerar på rätt sätt. Därför kommer jag i detta arbete att jämföra två olika luft-vattenvärmepumpar, nämligen den konventionella scrollkompressorn med den som har en flashinjektions scrollkompressor. På grund av att det inte statistiskt är lika kallt i klimatzon I (Helsinki-Vantaa) som i III (Jyväskylä) kommer utomhustemperaturens varaktighet i dessa klimatzoner att jämföras med varandra.

Ett stort problem idag med marknads värmepumpar är hur deras värmefaktor – COP är rapporterat. För att luft-vattenvärmepumpen är beroende av utomhustemperaturen, minskar effekten och värmefaktorn hos värmepumpen vid kalla utomhustemperaturer. Många värmepumpförsäljare anger bara pumpens bästa COP som förekommer vid utomhustemperaturer ovan om nollstreck. Vid utomhustemperaturer på plussidan är värmebehovet minimalt och detta leder till fel uppskattning av värmepumpens inbesparingsmöjligheter. Resultatet av detta arbete kommer att hjälpa dimensioneringen av luft-vattenvärmepumpar för att sedan kunna statistiskt visa kunden hur mycket en viss modell av värmepump kommer att producera värmeeffekt vid olika utomhustemperaturer.

Eftersom luft-vattenvärmepumparnas effektivitet är beroende av utomhustemperaturen, kommer jag att använda mig av luft-vattenvärmepumparnas värmefaktorer vid olika utomhustemperaturer, för att sedan komma fram till, när det teoretiskt är lönsammare att utnyttja flashinjektions scrollkompressorn istället för den vanliga scrollkompressorn.

## **1.2 Avgränsningar**

Problemområdet kommer att avgränsas så att det endast kommer bli en jämförelse mellan klimatzonerna I (Helsinki-Vantaa) och klimatzonen III (Jyväskylä). I arbetet kommer det endast att jämföras Mitsubishi Electric luft-vattenvärmepumpar med hermetiska scroll kompressorer. Luft-vattenvärmepumps modellerna som jämförs kommer att vara PUAZ-SW100 och PUAZ-SHW112. En värmepump kan både användas till uppvärmning och kylning men detta arbete kommer endast att beakta uppvärmningen. Beräkningarna kommer enbart att ta hänsyn till oljeuppvärmda hus med vattenburna radiatorer eller golvvärme.

## **1.3 Syftet/frågeställningar**

Syftet med arbetet är att komma fram till om det är lönsamt att använda luft-vattenvärmepumpen med en flash injektionkrets istället för den konventionella kompressorn. Jämföra värmepumparnas värmeeffekter med varandra vid olika utomhustemperaturer och på detta vis åstadkomma vilken påverkan olika klimatzoner har på beslutet. Vid vilken utomhustemperatur kommer luft-vattenvärmepumpen utrustad med flash injektionskretsen vara lönsam jämfört mot den konventionella kompressorn?

## **2 VÄRMEPUMPEN**

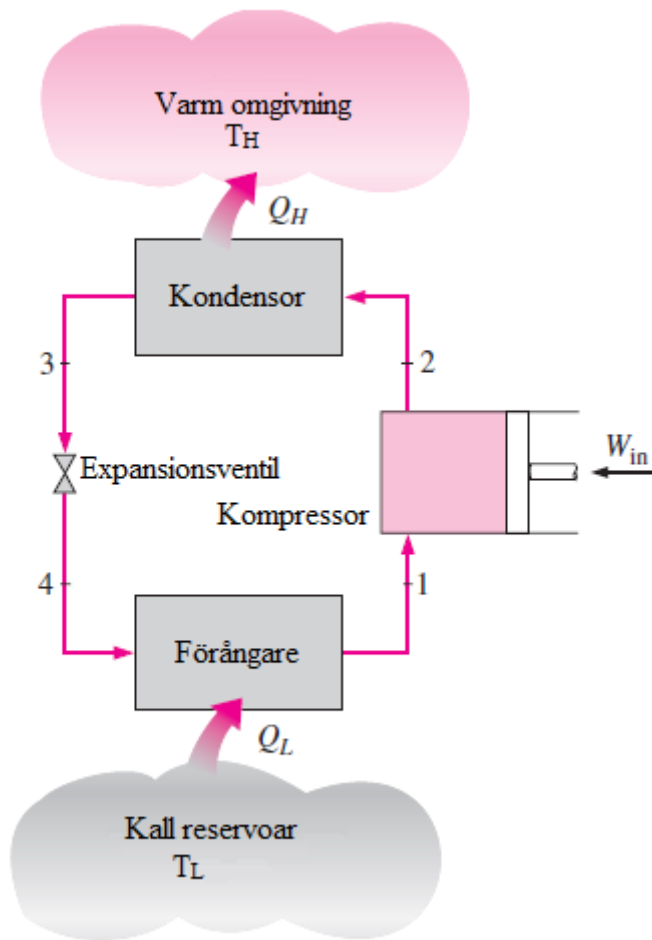
En rätt installerad värmepump är betydligt energieffektivare än att värma med direkt el eller olja. Värmepumpar utnyttjar tillgänglig värme från en värmekälla med låg

temperatur. Värmepumpen baserar sig på köldmediumets fasomvandlingar, från vätska till ånga och tillbaka. En värmepump fungerar som ett kylskåp bara omvänt så att värmepumpen samlar värmeenergi utanför byggnaden från ett kallare ställe som t.ex. marken, vattnet, utomhusluften eller från byggnadens frånluft. Därefter transporteras energin som togs till vara med hjälp av ett köldmedium i ett slutet rörsystem och sedan avger köldmediumet värme till byggnaden antingen till inomhusluften (luft-luftvärmepump) eller uppvärmningsnätet (luft-vattenvärmepump, jordvärmepump och frånluftsvärmepump). En effektiv värmepump kan ta till vara tre gånger så mycket energi jämfört med värmepumpens egen elförbrukning. (Perälä 2013 s. 27-30)

Värmeöverföringen sker från ett kallare ställe ( $Q_L$ ) till en varm omgivning ( $Q_H$ ). För att detta skall vara möjligt behövs arbete ( $W$ ) som utförs av en kompressor. Kompressorns energi kommer också att konverteras till värme när det är frågan om uppvärmning. Därför blir värmeöverföringen till ett varmt utrymme som formel (1). (Cengel & Boles 2006 s. 288)

$$Q_H = Q_L + W \quad (1)$$

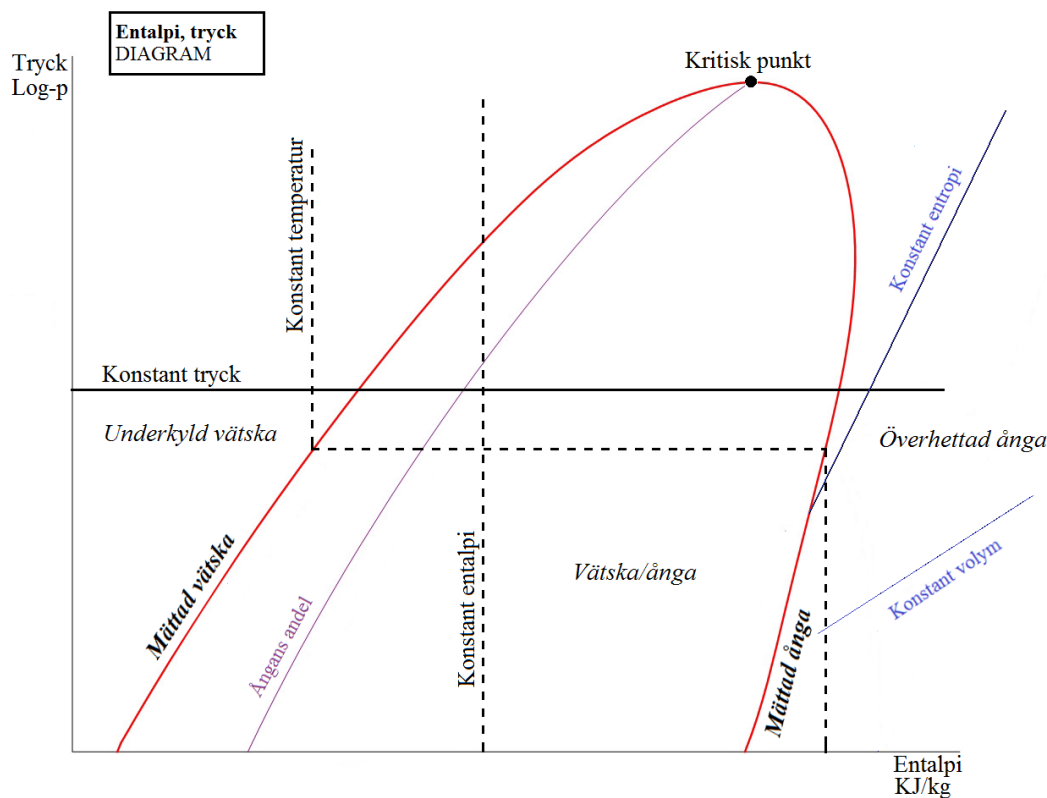
|     |       |                                     |
|-----|-------|-------------------------------------|
| där | $Q_H$ | Värmeeffekt                         |
|     | $Q_L$ | Värmeöverföring från kall reservoar |
|     | $W$   | Arbete in                           |



Figur 1. Värmeöverföring från ett kallt ställe till ett varmt med hjälp av en värmepump. Alla enheter är positiva. (Cengel & Boles 2006, s. 611)

## 2.1 Värmepumpens kretsprocess i ett entalpi, tryck diagram

För att förstå funktions principen för en värmepump lättare, kan ett entalpi, tryck diagram användas. I ett entalpi, tryck diagram kommer det fram alla tillståndsförändringar för köldmediet. På den horisontella axeln visas entalpin ( $h$ ). Den vertikala axeln visar trycket i en logaritmisk skala. Andra enheter som uppkommer i diagrammet är: temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ], entropi [ $\text{kJ/kg}$ ] och specifik volym [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ].



Figur 2. Entalpi, tryckdiagram. (Wikimedia)

Ur figur 2 ovan kan köldmediumets olika tillstånd ses. I diagrammet indelas köldmediumet in i tre olika tillstånd. Från mätnadslinjen åt vänster är köldmediumet underkyld vätska, där vätskans temperatur är lägre än mätnadstemperaturen i detta tryck. Från mätnadslinjen åt höger är köldmediumet överhettad ånga, där ångans temperatur är högre än mätnadstemperaturen i detta tryck. Området mellan underkyld vätska och överhettad ånga är blandningszonen, där köldmediumet ändrar tillstånd från vätska till ånga. X-linjen inom detta område uppger i procent, hur mycket ånga blandningen innehåller. I diagrammet sker gradvis, börjande från vänster, köldmediumets tillstånds förändring från vätska till ånga, när köldmediumet alstrar värmeenergi genom förångaren. I kondensorn avges värme, vilket betyder att processen börjar från höger och ändrar gradvis tillstånd från ånga till vätska. På toppen av kurvan finns en kritisk punkt. Ifall köldmediumet har en högre temperatur än angiven i denna punkt, kommer inte ångan att bli vätska, fastän trycket skulle öka. (Nydal 2008, s. 63)

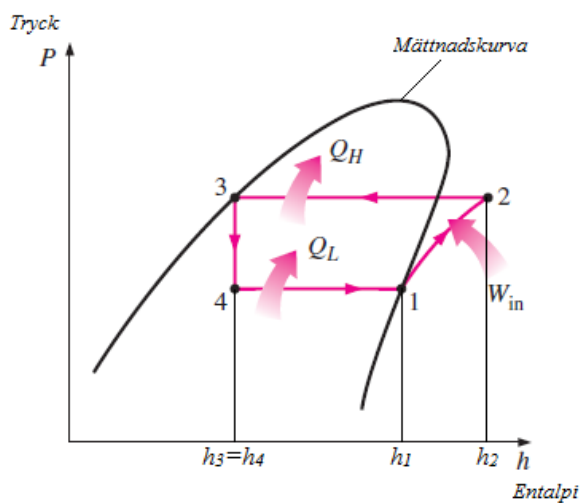
När köldmediet cirkulerar i en värmepump ändrar dess tillstånd flera gånger. Den grundläggande värmepumpsprocessen består av fyra tillståndsförändringar. I figur 3 nedan ser man hur den teoretiska värmepumpsprocessen ser ut i ett entalpi, tryckdiagram.

1-2: Komprimering (kompressor)

2-3: Kondensering (kondensator)

3-4: Expansion (expansionsventil)

4-1: Förångning (förångare)



Figur 3. Ideala kretsprocessen för en värmepump i ett entalpi, tryckdiagram. (Cengel & Boles 2006, s.612)

En vanlig värmepump har fyra grundläggande komponenter: förångare, kompressor, kondensator och expansionsventil. Värmeöverföringen ( $Q_L$ ) sker i förångaren genom att det förångade köldmediet med lågt tryck alstrar energi från ett kallt utrymme, varefter köldmediet övergår till gasform. Kompressorn ökar sedan trycket på köldmediet med arbetet ( $W$ ) vilket leder till att temperaturen på vätskan ökar och tvingar den vidare till kondensorn. I kondensorn avger köldmediet värmeenergin ( $Q_H$ ) den tog tillvara från den kalla omgivning och samtidigt kyls vätskan ner för att igen övergå till gasform. Det flytande köldmediet kommer sedan till expansionsventilen, där trycket minskar och köldmediet förångas vilket leder till att temperaturen hos köldmediet minskar. För att köldmediet har en lägre temperatur än exempelvis utomhusluften kommer

värmeöverföring från luften till köldmediumet att ske. Det förångade köldmediumet börjar igen alstra energi från ett kallt utrymme med hjälp av förångaren och samma process börjar på nytt. (Perälä 2013, s. 28-29)

Carnot-processen är köldmediumets ideala kretsprocess, där det överhuvudtaget inte sker några förluster. Carnot-processen bygger på att temperaturen på de två värmereservoarerna ( $T_H$  och  $T_L$ , se figur 1.) är konstant och att värme inte tillförs från, eller avges till, några andra reservoarer samt att alla processer är reversibla. (Beckman et al. 1984 s. 165) Värmefaktorn för den reversibla Carnot-värmepumpsprocessen är alltså,

$$COP_{Carnot} = \frac{1}{1 - T_L/T_H} \quad (2)$$

|     |       |                           |     |
|-----|-------|---------------------------|-----|
| där | $T_H$ | Kondenseringstemperaturen | [K] |
|     | $T_L$ | Förångningstemperaturen   | [K] |

Formel (2) visar den teoretiskt maximala värmefaktorn en Carnot-värmepumpsprocess kan ha när den arbetar mellan de absoluta temperaturerna  $T_H$  och  $T_L$ . Märk att värmefaktorn endast är beroende av reservoarernas temperaturer, vilket betyder att ifall förångningstemperaturen ( $T_L$ ) ökar eller kondenseringstemperaturen ( $T_H$ ) sjunker kommer värmefaktorn att öka. (Cengel & Boles 2006, s.610) För att åstadkomma bättre värmefaktor kan exempelvis golvvärme användas istället för radiatorer. Golvvärme systemet behöver maximalt en framledningstemperatur (kondenseringstemperatur) på 45 °C under årets kallaste dagar, medan radiatorer vanligtvis har en framledningstemperatur på 60 °C eller till och med högre.

## 2.2 Värmefaktor - COP

Värmepumpens verkningsgrad beskrivs av den så kallade värmefaktorn. Värmefaktorn förkortas oftast som COP (Coefficient of performance). COP-värdet beskriver hur mångfaldigt värmepumpen producerar värme jämfört med dens egna förbrukade energimängd. Exempelvis om vi har en värmepump med COP = 3, kommer värmepumpen tillföra byggnaden förutom varje 1 kWh egen förbrukad energi också 2 kWh extra värmeenergi. Detta betyder att för varje 3 kWh värmeenergi kommer man



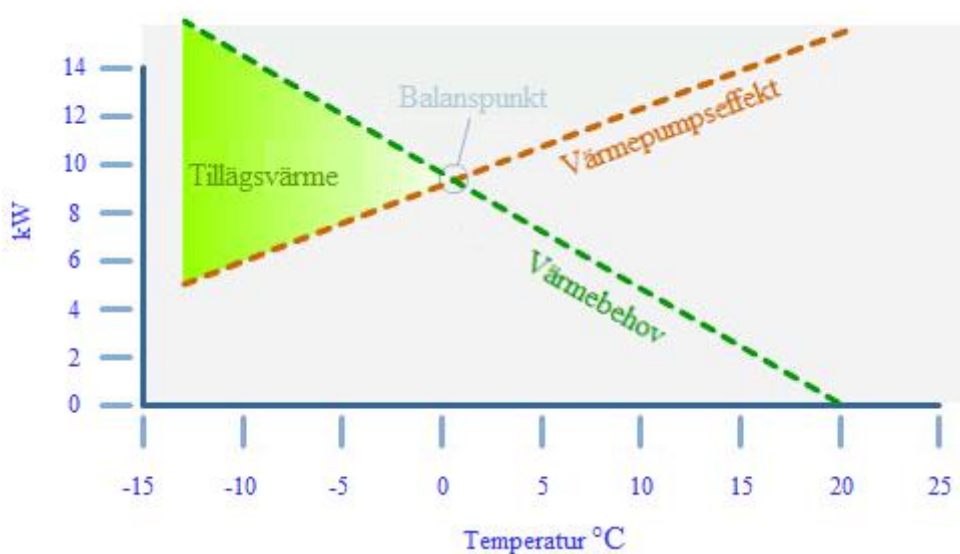
endast att betala för 1 kWh. (Perälä 2013, s.30) Därför blir värmefaktorn uttryckt i COP som i formel (3), (Cengel & Boles 2006, s.608)

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W_{net,in}} \quad (3)$$

där  $Q_H$  Värmeeffekt  
 $W_{net,in}$  Arbete in

## 2.3 Balanspunkt

Som vi redan vet från tidigare arbetar en luft-vattenvärmepump genom att ta till vara energi från utomhusluften. Dessa luft-vattenvärmepumpar behöver ett reservsystem för att komplettera uppvärmningsbehovet när utomhustemperaturen går under en viss temperatur. En luft-vattenvärmepumps värmefaktor är som bäst när inom- och utomhustemperaturskillnaden är som minst. När utomhustemperaturen sjunker, ökar byggnadens uppvärmningsbehov och luft-vattenvärmepumpens effekt minskar. Vid en viss punkt kommer byggnadens energibehov och värmepumpens effektkurva att korsa. Denna temperatur kallas för balanspunkt och vid lägre temperaturer än balanspunkten kommer tillägsvärme att behövas. (e-Education 2014) Från den nedanstående figuren 4 visas balanspunkten samt tillägsvärmebehovet för byggnaden.



Figur 4. Balanspunkt. (e-Education 2014)

## 2.4 Luft-vattenvärmepumpen

En luft-vattenvärmepumps funktionsprincip är likadan som för de andra värmepumparna, förutom att den tar till vara värme från utomhusluften via förångaren och transporterar sedan värmen via ett slutet rörsystem till uppvärmningsnätet. Den väsentliga skillnaden är att luft-vattenvärmepumpen avger sin värmeenergi till uppvärmningsnätet d.v.s. varmvattenberedaren och detta ger oss också då en möjlighet att värma upp varmvattnet. Den enda stora skillnaden luft-vattenvärmepumpen har jämfört med jordvärmepumpen, är hur de alstrar sin värmeenergi.

En luft-vattenvärmepump kan uppta värme från utomhusluften ända ner till ungefär -25 °C. (Mitsubishi Electric, 2014) Detta gör att en luft-vattenvärmepump kan användas som enda uppvärmningssystem i en byggnad, ifall utomhustemperaturen inte sjunker under värmepumpens drifttemperatur. Dock beror detta på hur luft-vattenvärmepumpen är inkopplad i byggnadens uppvärmningsnät. Ifall luft-vattenvärmepumpen är inkopplad parallellt med olja kommer oljepannan att värma byggnaden vid kalla utomhustemperaturer när tillägsvärme behövs. Är luft-vattenvärmepumpen ihopkopplad med en varmvattenberedare kommer elmotståndet inuti beredaren att se till att byggnaden värms då utomhustemperaturen är för låg för värmepumpen.

Luft-vattenvärmepumpens viktigaste delar består av fyra komponenter d.v.s. förångare, kompressor, kondensator och expansionsventil. Nedan en kort genomgång av delarnas funktionsprinciper.

### 2.4.1 Förångare

Förångaren är den del i luft-vattenvärmepumpen som alstrar värmeenergin från utomhusluften. Värmeenergin som finns i utomhusluften överförs till värmepumpens köldmedium i förångaren på grund av att köldmedlet har en kallare temperatur än uteluften. Med hjälp av en motordriven fläkt sugas utomhusluft hela tiden genom förångar lamellerna som då alstrar energi från utomhusluften. (Technical Specifications On Rheem 2009)

## 2.4.2 Kompressor

Kompressorn är värmepumpens viktigaste del. Utan arbete (W) insatt av en kompressor skulle ingen värmeöverföring kunna ske i värmepumpen. Kompressorn komprimerar köldmediumet som cirkulerar i värmepumpen till kondensorn med ett högt tryck. Samtidigt höjs temperaturen i köldmediumet markant och köldmediumet börjar sedan avge värme till varmvattenberedaren. (Perälä 2013, s.41) Kompressorerna indelas in i tre olika konstruktionsgrupper, vilka är, öppna-, hermetiska- och semihermetiska kompressorer. (Aittomäki 2008, s.147) Mitsubishi Electric's luft-vattenvärmepumpar använder både rotations- och scrollkompressorer. (Siam Compressor Industry 2013) De luft-vattenvärmepumpar som jämförs i detta arbete använder endast scrollkompressorer, så därför kommer enbart scrollkompressorn att granskas närmare längre ner i detta kapitel.

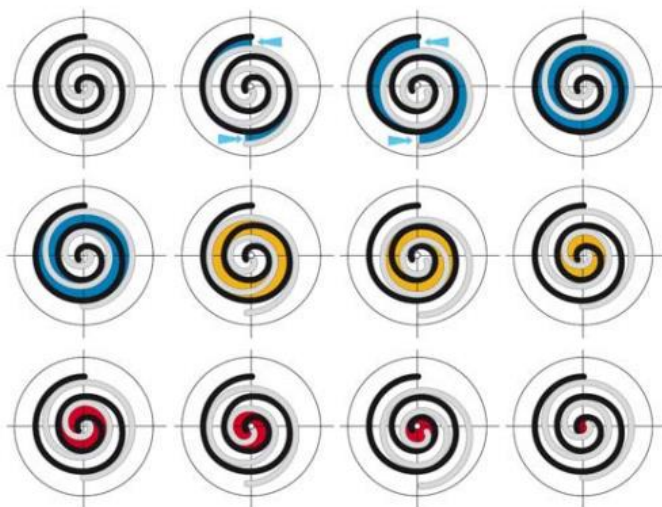
I öppna kompressorer överförs kraften från axeln till kompressorn genom kompressorhöljet på grund av att själva kompressorn och motorn är separat. För att det inte är möjligt att tillverka motorlindningar som tål ammoniak, måste kompressorer som använder ammoniak vara öppna. Öppna kompressorer används för det mesta inom industrisektorn. (Kaappola et al. 2011, s. 137)

Hermetiska kompressorer ligger inuti ett gastätt ihopsvetsat stängt hölje. Köldmediumet leds in och ut ur kompressorn med hjälp av två rör. Hermetiska kompressorer är den vanligaste kompressorkonstruktionen som används inom hushåll, handel- och industrisektorn. (Kaappola et al. 2011, s. 136) En stor fördel är att det slutna skalet ger skydd mot yttre skador och kompressorn blir tystare. (Aittomäki 2008, s. 148)

Semihermetiska kompressorer används främst i handelsektorn och inom ventilationstillämpningar. Eftersom semihermetiska kompressorer kan tas isär är de lätta att reparera om de får något fel. (Kaappola et al. 2011, s. 137)

### 2.4.2.1 Scrollkompressorn

Scrollkompressorer används vanligtvis när stora kompressoreffekter behövs i värmepumpar. Uppbyggnaden i en enkel scrollkompressor har endast några få delar, vilket gör den pålitlig och långlivad. Ventiler behövs inte alls, vilket gör att ljudet från kompressorn är minimalt. Köldmediumet i en scrollkompressor komprimeras med hjälp av två spiraler som ligger tätt mot varandra. Ena spiralen är hela tiden stilla medan den andra spiralen kommer att röra på sig, dock utan att snurra. Kompressorn är uppbyggd på ett sånt sätt att spiralerna hela tiden kommer att röra vid varandra. Mellan spiralerna bildas det ett fritt utrymme som kommer att vara stängt från sidorna samt ändorna. I början av processen kommer det att sugas in köldmedium som börjar komprimeras mot mitten av spiralen. När köldmediumet kommit till mitten av spiralerna är det färdigt komprimerat och frigörs vidare till kondensorn. (Perälä 2013, s.42) Ur figur 5 nedan som visar scrollkompressorns funktionsprincip i 12 olika steg, kan man se hur köldmediumet sugas in via kanten (ljusblått) och är färdigt komprimerat i mitten av spiralerna (rött).



Figur 5. Scrollkompressorns funktionsprincip. (Kylmäsovellusten scroll-kompressorit)

### 2.4.3 Kondensorn

Kondensorn i en värmepump avger alltså värmen från köldmediumet till byggnaden, medan en luft-vattenvärmepump värmer uppvärmningsnätet i byggnaden. I vanliga fall är köldmediumet överhettad ånga när det kommer från kompressorn och lämnar

kondensorn som litet underkyld vätska. COP-värmefaktorn för värmepumpen är mycket beroende av hur bra värmeöverföringen i kondensorn fungerar. Det finns luftkylda, vattenkylda och förångningskylda kondensorer beroende på i hurudant användningssyfte kondensorn kommer att användas inom. Luft-luftvärmepumpar använder oftast luftkylda och luft-vattenvärmepumpar däremot vattenkylda kondensorer. Kondensorererna i luft-vattenvärmepumpar brukar oftast vara av typen plattvärmväxlare. (Granryd et al. 2002)

#### **2.4.4 Expansionsventil**

Expansionsventilen ser till att det förekommer tryckskillnader i värmepumpen för att åstadkomma värmeöverföring. När köldmediumet med högt tryck från kondensorn kommer till expansionventilen minskar trycket och köldmediumet kan fortsätta till förångaren. Expansionsventilen sköter också om flödet av köldmediumet beroende på hurudan belastning förångaren har. (Maheshwari et al. 2013)

### **2.5 Köldmedium**

Köldmedium används inom värmepumpsprocesser för att överföra värme från en kall reservoar till en varm omgivning. Processen baserar sig på köldmediers förmåga att byta tillstånd från vätska till gas när den tar emot värme i förångaren och från gas till vätska när den avger värme i kondensorn. Trycket och temperaturen har en stor inverkan på köldmediers egenskaper. (Kaappola et al. 2011, s. 31) Förutom att ett bra köldmedium skall ha olika termodynamiska egenskaper måste de också:

- Inte vara brännbara
- Inte vara giftiga
- Ha bra stabilitet
- Vara inaktiva till andra ämnen
- Ha svag irritation på hud och slemhinnor

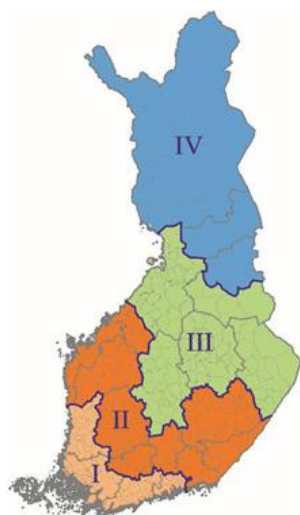
Utöver egenskaperna ovan skall köldmedier vara billiga och miljövänliga. Köldmedium betecknas med bokstaven R som härstammar från engelskans Refrigerant. Ofullständiga halogenerade kolväteföreningar (HCFC), exempelvis R22, har länge varit det vanligaste köldmediumet inom värmepumpsanläggningar. (Aittomäki 2008, s. 106-114) Eftersom

det blivit strängare miljöaspekter, tillåts inte användningen av nya HCFC köldmedium inom service av pumpar från och med år 2010. Från och med den 1.1.2015 kommer HCFC köldmedium vara helt förbjudna. (Suomen ympäristökeskus SYKE 2013)

På grund av detta har många gamla köldmedium måste ersättas av miljövänligare köldmedium. R22 har ersatts med R407C samt R410A och de är i dagens läge en av de mest använda köldmedium inom värmepumpsbranschen. Dessa köldmedium skadar inte ozonskiktet men är ändå växthusgaser. (Aittomäki 2008, s. 118-119)

### 3 VÄDERLEKSDATA

När man beräknar energiförbrukningen för en byggnad brukar man oftast använda sig av olika väderleksdata. Enligt Meteorologiska institutet delas Finland in i följande fyra klimatzoner (se figur 6), I (Helsinki-Vantaa), II (Jokioinen), III (Jyväskylä) och IIII (Sodankylä). För zonerna I och II används samma testår, för att skillnaden mellan zonernas medeltemperatur är obetydlig. (Ilmatieteen laitos 2012) För att beräkna effektbehovet för uppvärmning använder man sig av olika dimensionerande utetemperaturer. För klimatzon I används -26 °C, klimatzon II -29 °C, klimatzon III -32 °C och för klimatzon IIII -38 °C. (Finlands byggbestämmelser 2012)



Figur 6. Finlands zonindelning. (Meteorologiska institutet 2012)

År 2011 utvecklades det ett nytt testår som bland annat omfattar utomhustemperaturens varaktighet från åren mellan 1980-2009 och som går under namnet TRY2012. Till varje månad för teståret TRY2012 valdes det väderdata från respektive år, som under den berörda månaden var så nära som möjligt det genomsnittliga klimatet. Det gamla teståret som endast innehöll väderdata från året 1979 var gammalmodigt, vilket nu har ersatts med det senaste teståret TRY2012. (Rakennusten energialaskennan testivuodet 2012)

Förutom utomhustemperaturens varaktighet kommer arbetet innehålla graddagstal. Graddagstalet baserar sig på att uppvärmningsenergin är proportionell mot skillnaden mellan inne- och utomhustemperaturen. Graddagstalets enhet [ $^{\circ}\text{Cdygn}$ ] kan exempelvis förklaras,

$$\text{Graddagstal}_{\text{månad}} = \text{dygn} * (T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) \quad (4)$$

|     |                                     |   |
|-----|-------------------------------------|---|
| där | $\text{Graddagstal}_{\text{månad}}$ | graddagstal för en månad                    |
|     | dygn                                | dygn i månaden                              |
|     | $T_{\text{inne}}$                   | innetemperatur                              |
|     | $T_{\text{ute}}$                    | utomhustemperatur, månatlig medeltemperatur |

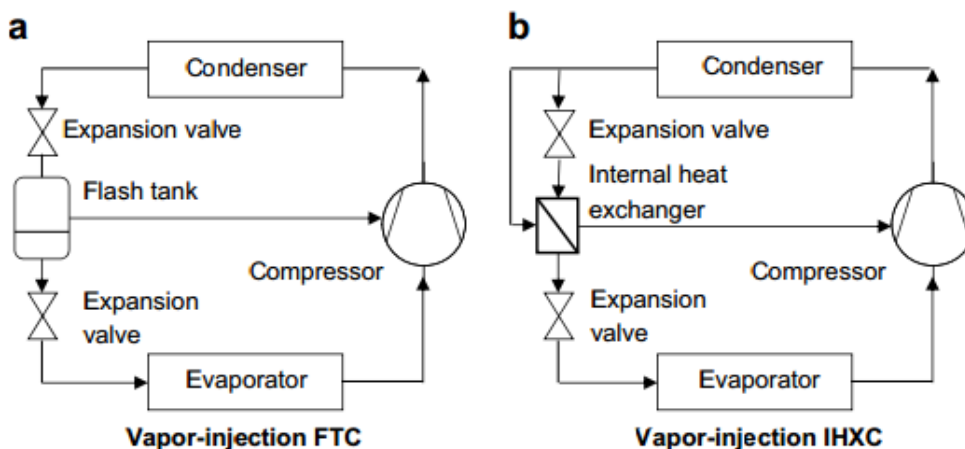
Oftast används S17 (+17 $^{\circ}\text{C}$ ) som innetemperatur när man beräknar med graddagstalet, för man antar att interna värmelaster kommer att värma byggnaden till den faktiska innetemperaturen. Graddagstalena som används i beräkningarna är ett medeltal från åren mellan 1981-2010. Ju större graddagstal, desto kallare har det varit. (Lämmitystarveluku 2014)

I detta arbete används utomhustemperaturens varaktighet för zonerna I-II (Helsinki-Vantaa) och III (Jyväskylä). Datan är nerladdad som en Microsoft Excel fil från Miljöministeriet 2014. Datan är sedan bearbetad så att exempelvis till utomhustemperaturen -15  $^{\circ}\text{C}$ , hör temperaturerna från -14,5  $^{\circ}\text{C}$  till -15,4  $^{\circ}\text{C}$ . Förutom denna data används också graddagstal för Helsingfors och Jyväskylä som finns på Ilmatieteen laitoksen sidor.

## 4 JÄMFÖRELSE MELLAN EN KONVENTIONELL OCH FLASHINJEKTION SCROLLKOMPRESSOR

När en luft-vattenvärmepump utsätts för kalla utomhustemperaturer eller höga kondenseringstemperaturer (radiatorkretsen) kommer dess värmekapacitet och värmefaktor att minska. Låg förångningstemperatur eller hög kondenseringstemperatur gör att kompressorn måste anstränga sig mot en hög förlust av undertryck, låg volymetrisk effektivitet och hög utflödestemperatur. (Wang et al. 2008) 2006 konstaterade (Wang et al. 2006) att köldmediuminjektion inte bara förbättrar systemets värmekapacitet och värmefaktor utan också minskar utflödestemperaturen, som ger kompressorn en säker drift.

Enligt (Wang & Hwang 2009) finns det två olika sätt man kan åstadkomma köldmediums injektion. Det ena sättet som kallas för flash tank cycle (FTC) och det andra som heter internal heat exchanger cycle (IHXC). I en FTC kommer köldmediumet att separeras till vätska och gas efter expansionsventilen i en så kallad flash tank (se figur 7a). Detta leder till att gasen stiger ovanpå vätskan och kan därmed injekteras till kompressorn. Den andra varianten, en IHXC använder sig av en värmeväxlare efter kondensorn (se figur 7b). En del av köldmediumet från kondensorn kommer att gå igenom expansionsventilen, varefter köldmediumet sedan kommer till den interna värmeväxlaren (IHXC). I den interna värmeväxlaren kommer köldmediumet att kyla ner det huvudsakliga köldmediumet som kommer från kondensorn, vilket resulterar till att köldmediumet blir i gasform och kan därefter injekteras till kompressorn. (Wang & Hwang 2009)

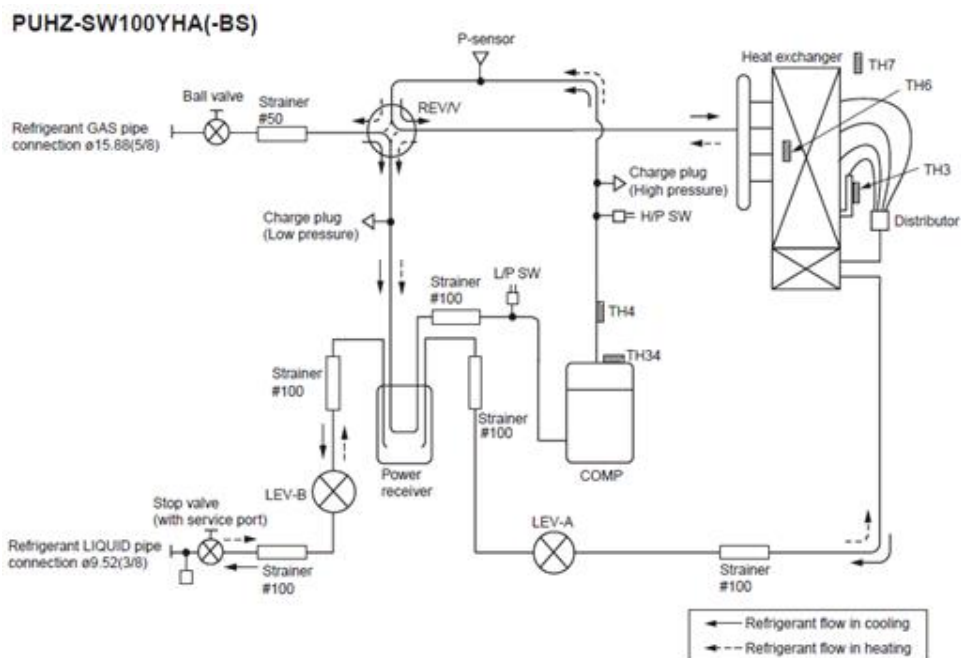


Figur 7. Figur (a) flash tank cycle köldmediumkrets. Figur (b) internal heat exchanger cycle köldmediumkrets. (Wang & Hwang 2009)



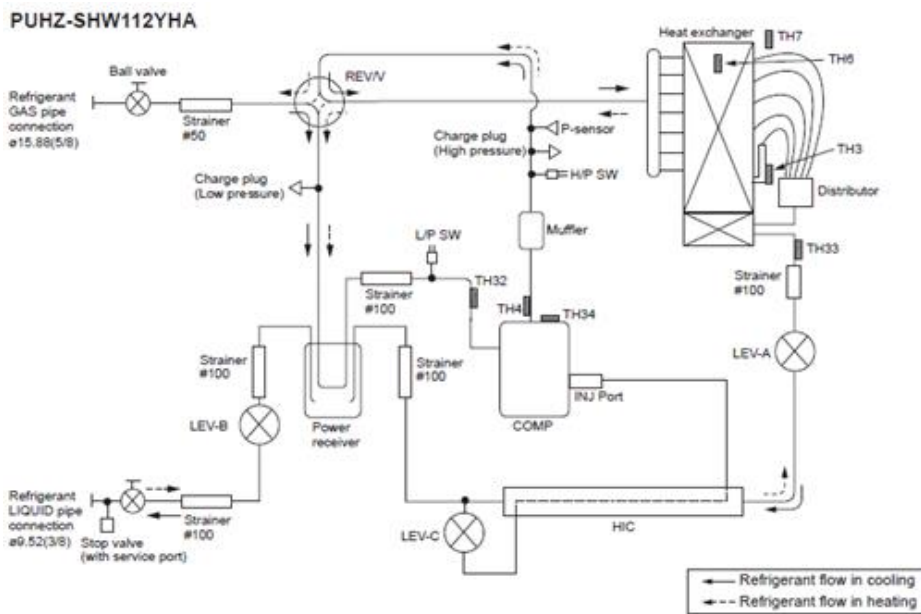
Mitsubishi Electric har skapat ett system som ökar värmekapaciteten och värmefaktorn vid låga utomhustemperaturer. Mitsubishi Electric's luft-vattenvärmepumpar som hör till Zubadan serien, har en så kallad flash injektionskrets. (Mitsubishi Electric, 2010) Scrollkompressorn är på grund av detta utrustad med en till sugingång, nämligen en injektionsport. I detta arbete kommer PUAZ-SHW112 flashinjektions utrustade luft-vattenvärmepumpen jämföras mot den konventionella PUAZ-SW100 luft-vattenvärmepumpen. Både PUAZ-SHW112 samt PUAZ-SW100 är Mitsubishi Electric luft-vattenvärmepumpar och båda använder hermetiska scrollkompressorer som tillverkas av Siam Compressor Industry i Thailand. (Siam Compressor Industry 2013)

Luft-vattenvärmepumparna med den så kallade flashinjektionskretsen (Flash Injection Circuit, FIC), har en högeffektiv DC motordriven injektionskompressor och linjära expansionsventiler (Linear Expansion Valve, LEV). Värmeväxlingen av köldmediet i Mitsubishi Electric's flashinjektions krets sker i den interna värmeväxlaren (Heat Inter Changer, HIC) och kommer sedan att injekteras i kompressorn. Med detta åstadkommer värmepumpen en hög värmeeffekt även under kalla utomhustemperaturer, genom att bibehålla en tillräckligt hög cirkulation av köldmediet. (Takahashi 2010)



Figur 8. Köldmedium system diagram för PUAZ-SW100. (Ecodan data book, 2013)

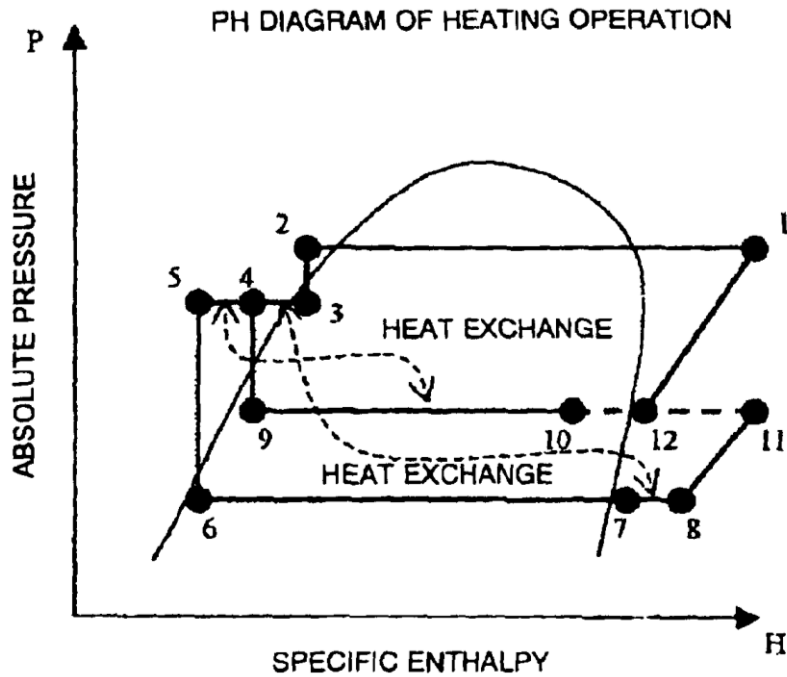
Ur figur 8 och figur 9 kan köldmediumskretsarna för PUAZ-SW100 samt PUAZ-SHW112 jämföras, där alltså PUAZ-SHW112 har den så kallade flashinjektionskretsen. Från figurerna ser vi att båda luft-vattenvärmepumparna har en intern värmeväxlare för köldmediumet, alltså den så kallade Power receivern. PUAZ-SHW112 har också förutom expansionsventilerna LEV A och LEV B en tredje expansionsventil, alltså LEV C. Förutom detta har PUAZ-SHW112 en andra intern värmeväxlare (HIC), som sköter om värmeväxling före köldmediumet kommer att injekteras i kompressorn.



Figur 9. Köldmedium system diagram för PUAZ-SHW112. (Ecodan data book, 2013)

Som vi vet från tidigare kan en värmepumpsprocess inritas i ett entalpi, tryck diagram. Ur figur 10 visas PUAZ-SHW112 luft-vattenvärmepumpens injektionskretsprocess i ett entalpi, tryck diagram. Köldmediumet från kondensorn kommer till den första expansionsventilen (LEV B) som ur figur 10 finns i punkt 2, där köldmediumet övergår från att vara vätska till gas/vätska stadiet. Därefter fortsätter köldmediumet vidare till stället mellan punkterna 3 och 4 där den första interna värmeväxlaren finns. I den första interna värmeväxlaren kommer det tvåfasiga köldmediumet att överge värme till köldmediumet som kommer att sugas in till kompressorn (punkten mellan 7 och 8). Efter detta kommer en del av köldmediumet att passera den andra expansionsventilen (LEV C, punkt 4) som orsakar köldmediumet en temperatur minskning. Köldmediumet kommer

sedan att kyla ner det huvudsakliga köldmediet i den interna värmeväxlaren (HIC mellan punkt 9 och 10), varefter det injekteras i kompressorn. Andra delen av köldmediet som blev nedkylt i den interna värmeväxlaren (mellan punkt 4 och 5) fortsätter till den tredje expansionsventilen (LEV A, punkt 5) och slutligen till förångaren. (USRE43805 E1 2012)



Figur 10. Entalpi, tryck diagram över injektions processen för PUAZ-SHW112. (USRE43805 E1 2012)

## 5 METOD

Räkningarna i detta arbete är beräknade med hjälp av Microsoft Excel. Här presenteras nu de viktigaste delarna av beräkningarna.

### 5.1 Basdata

Först och främst krävs det att användaren fyller i basdata över byggnaden, för att verktyget skall kunna basera sig på hur mycket energi som används i byggnaden. Tabell 1 visar hur första bladet i Excel verktyget ser ut. Dagspriset 5.5.2014 för elen i tabellen är utan mervärdesskatt.

Användaren fyller i:

2. Oljeförbrukning, L/år
3. Årsverkningsgrad för värmepanna,  $\eta$
6. Varm vatten förbrukning, L/person/dygn
7. Antal personer
8. Framledningstemperatur, °C
9. Elpris, €/kWh
10. Innetemperatur, °C

Tabell 1. Excel basdata.

|    |                       |                        |
|----|-----------------------|------------------------|
| 1  | Järjestelmä           | Ölly                   |
| 2  | Kulutus               | 4500 l/v               |
| 3  | Hyötysuhde            | 81 %                   |
| 4  | Polttoöljyn lämpöarvo | 10 kWh/dm <sup>3</sup> |
| 5  | Vyöhyke               | l                      |
| 6  | Lämmin käyttövesi     | 50 L/henk./vrk         |
| 7  | Henkilöä              | 2                      |
| 8  | Menovesi              | 50 °C                  |
| 9  | Sähkön hinta          | 0,12 €/kWh             |
| 10 | Sisälämpötila         | 17,0 °C                |

|    |   |                |
|----|---|----------------|
| 11 | Kokonais energiantarve                    | 36450 kWh      |
| 12 | Lkv energiantarve                         | 1065 kWh/henk. |
| 13 | Lkv tehontarve                            | 0,24 kW        |
| 14 | Energiantarve ilman käyttövettä           | 34321 kWh      |
| 15 | Energiantarpeen normitus Jyväskylään      | 44893 kWh      |
| 16 | Energiantarve Jyväskylä ilman käyttövettä | 42764 kWh      |

De nästa stegen utförs på följande sätt,

11. Energibehovet räknas enligt,

$$\text{oljaförbrukning} * \text{årsverkningsgrad} * \text{brännoljaens värmevärde}$$

12. Varma tappvattnet enligt Finlands byggbestämmelse D5 2012 i punkt 3.7.1 (Finlands byggbestämmelser 2012) Svaret multipliceras ännu med 365, för att få varm vatten energibehovet för ett helt år.

$$Q_{lkv} = \rho_v * C_{\rho v} * V_{lkv} * \frac{T_{lkv} - T_{kv}}{3600} - Q_{lkv,LTO}$$

|     |               |   |
|-----|---------------|---|
| där | $Q_{lkv}$     | energibehov av uppvärmning av tappvatten, kWh                     |
|     | $\rho_v$      | vattnets densitet, 1000 kg/m <sup>3</sup>                         |
|     | $C_{\rho v}$  | vattnets specifika värmekapacitet, 4,2 kJ/(kg K)                  |
|     | $V_{lkv}$     | förbrukning av varmt tappvatten, 0,047 m <sup>3</sup> (47 L/dygn) |
|     | $T_{lkv}$     | temperatur för varmt tappvatten, 55 °C                            |
|     | $T_{kv}$      | temperatur för kallt tappvatten, 5 °C                             |
|     | 3600          | koefficient för omvandling till kWh                               |
|     | $Q_{lkv,LTO}$ | värmeåtervinning av avloppsvattnet, kWh                           |

13. Effektbehovet för varma vattnet räknas enligt,

$$Q_{lkv} * \text{personer} / 8760$$

14. Energibehovet utan varmvatten räknas enligt,

$$\text{energibehovet} - \text{varma tappvattnet}$$

15. För att kunna jämföra energiförbrukningen på olika orter måste energibehovet normeras, detta enligt formel 2 på Motivass hemsida. (Motiva 2014)

$$Q_{norm} = k_2 * \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{lämmin\ käyttövesi}$$

|     |                           |   |
|-----|---------------------------|---|
| där | $k_2$                     | ortsspecifik korrigeringsfaktor för Jyväskylä |
|     | $S_{N\ vpkunta}$          | normalårets graddagstal för jämförelseorten   |
|     | $S_{toteutunut\ vpkunta}$ | verkliga graddagstalet för jämförelseorten    |

|                         |   |
|-------------------------|---|
| $Q_{toteutunut}$        | byggnadens energibehov, utan varma vattnets förbrukning |
| $Q_{lämmän käyttövesi}$ | byggnadens varmvatten energiförbrukning                 |

I formeln behövs den ortsspecifika korrigeringsfaktorn för Jyväskylä,  $k_2$ , som finns att ladda ner som csv fil på Motivass hemsida. De anger  $k_2$  som 1,23, men jag har istället använt 1,246 som fås genom att dividera graddagstalet för Jyväskylä (4832) med graddagstalet för Helsingfors (3878). (Motiva vertailupaikkakunnat 2014) Genom att använda 1,246 som  $k_2$  värdet, kommer byggnadens effektbehov för klimatzon I och III vara lika. Det vill vi ha för att få en likvärdig jämförelse, så att inte byggnadernas olika effektbehov påverkar på resultatet. För  $S_{N\ vpkunta}$  och  $S_{toteutunut\ vpkunta}$  har jag använt mig av samma värde för båda, eftersom vi inte är intresserade av att veta det normerade energibehovet under olika tidpunkter.

16. Enerigibehovet för Jyväskylä utan varmvatten räknas enligt,  
enerigibehovet för Jyväskylä – varma tappvattnet

Sista steget inom första bladet i excel verktyget är omvandling av energibehovet till det dimensionerande effektbehovet. Detta görs med hjälp av denna formel,

$$Q = P * 24 * Kd / \Delta T$$

|     |            |  |
|-----|------------|--|
| där | Q          | byggnadens energibehov, kWh                                      |
|     | P          | byggnadens effektbehov vid dimensionerande utomhustemperatur, kW |
|     | 24         | 24 h/dygn  |
|     | Kd         | graddagstal  |
|     | $\Delta T$ | inom- och utomhustemperatur skillnad, S17, °C (se punkt 3)       |

Tabell 2 visar byggnadens effektbehov vid olika utomhustemperatur, både för Helsingfors och Jyväskylä. Enligt tidigare (se punkt 3), är den dimensionerande utetemperatur för klimatzon I -26 °C och för zon III -32 °C. (Finlands byggbestämmelser 2012) Vid en utetemperatur på +17 °C, kommer byggnadens effektbehov att vara 0 kW, på grund av att vi har fyllt i +17 °C som innetemperatur i tabell 1.

Tabell 2. Byggnadens effektbehov både i Helsingfors och Jyväskylä vid olika utomhustemperaturer.

|        | Helsinki |  | Jyväskylä |
|--------|----------|--|-----------|
|        | tehon-   |  | tehon-    |
|        | tarve    |  | tarve     |
|        |          |  |           |
| -32 °C |          |  | 18,07 kW  |
| -31 °C |          |  | 17,70 kW  |
| -30 °C |          |  | 17,33 kW  |
| -29 °C |          |  | 16,96 kW  |
| -28 °C |          |  | 16,59 kW  |
| -27 °C |          |  | 16,23 kW  |
| -26 °C | 15,86 kW |  | 15,86 kW  |
| -25 °C | 15,49 kW |  | 15,49 kW  |
| -24 °C | 15,12 kW |  | 15,12 kW  |
| -23 °C | 14,75 kW |  | 14,75 kW  |
| -22 °C | 14,38 kW |  | 14,38 kW  |
| -21 °C | 14,01 kW |  | 14,01 kW  |
| -20 °C | 13,64 kW |  | 13,64 kW  |
| -19 °C | 13,28 kW |  | 13,28 kW  |
| -18 °C | 12,91 kW |  | 12,91 kW  |
| -17 °C | 12,54 kW |  | 12,54 kW  |
| -16 °C | 12,17 kW |  | 12,17 kW  |

## 5.2 Uträkningar

Andra delen i beräkningarna ser ut som nedanstående tabell 3. Tabell 3 är vid en utomhustemperatur på -16 °C för luft-vattenvärmepumpen PUAZ-SHW112 i Helsingfors klimatzon. Det finns sammanlagt fyra olika blad i Excel, PUAZ-SHW112 i klimatzon I, PUAZ-SHW112 i klimatzon III, PUAZ-SW100 i klimatzon I och PUAZ-SW100 i klimatzon III.

Tabell 3. Beräkningar för värmepumpen PUAZ-SHW112 i klimatzon I vid en utomhustemperatur på -16 °C.

| 1             | 2                      | 3  | 4                   | 5                        | 6                             | 7                             |            |
|---------------|------------------------|--|---------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|
| Ulkolämpötila | Rakennuksen tehontarve | Rakennuksen tehontarve ilman käyttövettä | Menoveden lämpötila | Pysyvyysarvot koko vuosi | Rakennuksen lämmitysenergia   | Lp:n tuottama lämmitysenergia |            |
| -16 °C        | 12,41 kW               | 12,17 kW                                 | 44,7 °C             | 49 h                     | 608,2 kWh                     | 608,2 kWh                     |            |
| 8             | 9                      | 10                                       | 11                  | 12                       | 13                            | 14                            | 15         |
| Sähköllä      | Lp:n max teho          | LP:n tuottama teho                       | LP COP              | LP:n sähkön kulutus      | LP:lla sähkönkulutus yhteensä | Suorasähkö                    | LP:lla Eur |
| 0,0 kWh       | 12,68 kW               | 12,41 kW                                 | 1,80                | 6,89 kW                  | 337,5 kWh                     | 73,0 €                        | 40,5 €     |

Här följer en genomgång av tabell 3,

1. Först i tabellen kommer utomhustemperaturen som i detta fall är -16 °C.
2. Vid denna utomhustemperatur har byggnaden ett effektbehov på 12,41 kW. Värdet är alltså effektbehovet + varma tappvatten effektbehovet (12,17 kW + 0,24 kW) som fås från föregående tabeller (se tabell 1 & 2).
3. Byggnadens effektbehov utan det varma tappvattnet.
4. Framledningstemperaturen. Linjär interpolering har använts, vid en utomhustemperatur på -26 °C är framledningstemperaturen 50 °C och vid utomhustemperaturen +21 °C är framledningstemperaturen 25 °C.
5. Utomhustemperaturens varaktighet. I klimatzon I förekommer det statistiskt en utomhustemperatur på -16 °C 49 h om året. (se punkt 3 Väderleksdata)
6. Byggnadens energibehov vid -16 °C. Räknat enligt, byggnadens effektbehov \* utomhustemperaturens varaktighet.
7. Energi alstrad av värmepumpen. Räknat enligt, värmepumpens alstrade effekt \* utomhustemperaturens varaktighet.
8. Tillskottsenergi som värmepumpen inte täcker. Räknat enligt, byggnadens energibehov – värmepumpens alstrade energi.
9. Värmepumpens maximala effekt. Värdet söks upp genom att beakta två olika variabler, nämligen utomhustemperaturen och framledningstemperaturen (se bilaga 1 för SHW112 och bilaga 2 för SW100). På grund av att Mitsubishi Electric's originala tabell inte innefattar värden över varje temperaturskillnad, har linjär interpolering använts. Värdet söks upp bland Max, Nominal, Mid samt Min och sedan kommer verktyget fram till vilken effekt som räcker för



byggnadens effektbehov. Vid framledningstemperaturer mellan 30 °C och 35 °C och vid en kallare utomhustemperatur än -10 °C, har värmepumpens effekt antagits gå linjärt.

10. Värmepumpens alstrade effekt. Räknat enligt,
  - om byggnadens energibehov  $\geq$  än värmepumpens maximala effekt  $\rightarrow$  värmepumpens maximala effekt
  - om byggnadens energibehov  $<$  än värmepumpens maximala effekt  $\rightarrow$  byggnadens energibehov
11. Värmepumpens värmefaktor. Värdet söks upp på samma sätt som för värmepumpseffekten. (Se bilaga 1 för SHW112 och bilaga 2 för SW100) Vid framledningstemperaturer mellan 30 °C och 35 °C och vid en kallare utomhustemperatur än -10 °C, har värmepumpens värmefaktor antagits gå linjärt.
12. Värmepumpens elförbrukning. Räknat enligt, värmepumpens alstrade effekt / värmepumpens värmefaktor.
13. Värmepumpens sammanlagda elförbrukning. Räknat enligt,
  - om byggnadens energibehov  $\geq$  värmepumpens alstrade effekt  $\rightarrow$  byggnadens energibehov – värmepumpens alstrade effekt + värmepumpens elförbrukning \* utomhustemperaturens varaktighet
  - om byggnadens energibehov  $<$  värmepumpens alstrade effekt  $\rightarrow$  värmepumpens elförbrukning \* utomhustemperaturens varaktighet
14. Kostnad för direktverkande el. Räknat enligt, byggnadens energibehov \* elpriset
15. Kostnad med värmepumpen. Räknat enligt, värmepumpens sammanlagda elförbrukning \* elpriset

## 6 RESULTAT

Syftet med arbetet var att komma fram till om det är lönsamt att använda värmepumpen med den så kallade flash injektions kretsen istället för den konventionella värmepumpen. För att komma fram till detta har värmepumparna testats med nio olika utgångsvärden. De faktorer som har varit olika under simuleringen är olika byggnaders effektbehov samt framledningstemperaturer. Byggnadens effektbehov vid den dimensionerande utetemperaturen i klimatzon I som har använts är 8,62 kW, 10,49 kW och 16,10 kW. I klimatzon III vid den dimensionerande utetemperaturen har byggnadens effektbehov satts till 9,78 kW, 11,92 kW och 18,31 kW. I byggnadens effektbehov ingår effektbehovet för varmvatten. För framledningstemperatur har det använts 35 °C, 45 °C och 60 °C. I övrigt är värdena för basdatan samma som i tabell 1.

### 6.1 Effektbehov på 8,62 kW för klimatzon I och 9,78 kW för klimatzon III vid $T_{u,mit}$

#### 6.1.1 Framledningstemperatur 35 °C

Nedan en kostnadskalkyl över hur mycket de två olika luft-vattenvärmepumparna skulle kosta per år. I tabellen syns luft-vattenvärmepumpens modell, klimatzon, byggnadens effektbehov vid  $T_{u,mit}$ , byggnadens energibehov per år, värmepumpens alstrade energi per år, värmepumpens alstrade energi i procent, kostnad med värmepump per år, kostnad med direkt driven el. Byggnadens utgångsvärden som har använts är, för klimatzon I 8,62 kW och för klimatzon III 9,78 kW vid  $T_{u,mit}$  samt 35 °C framledningstemperatur.

Tabell 4. Kostnadstabell med ett effektbehov på 8,62 kW för zon I och 9,78 kW för zon III vid  $T_{u,mit}$  och med en framledningstemperatur på 35 °C.

| Lämpö-pumppu | Vyöhyke | Tehon-tarve $T_{u,mit}$ | Rakennuksen lämmitysener-gia | LP:n tuottama lämmitysener-gia | LP:n tuottama osuus lämmit-senergiasta | Kustannus LP:lla | Sähköllä |
|--------------|---------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|--|------------------|----------|
| SHW112       | I       | 8,62 kW                 | 22032 kWh                    | 21937 kWh                      | 99,57 %                                | 701 €            | 2644 €   |
| SW100        | I       | 8,62 kW                 | 22032 kWh                    | 21868 kWh                      | 99,25 %                                | 734 €            | 2644 €   |
| SHW112       | III     | 9,78 kW                 | 25608 kWh                    | 24812 kWh                      | 96,89 %                                | 909 €            | 3073 €   |
| SW100        | III     | 9,78 kW                 | 25608 kWh                    | 24615 kWh                      | 96,12 %                                | 963 €            | 3073 €   |

Med dessa utgångsvärden ser vi från tabell 4 att flash injektion utrustade luftvattenvärmepumpen i klimatzon I skulle spara 33 € per år. I Jyväskylä klimatzon skulle besparingen vara 54 € per år.

### 6.1.2 Framledningstemperatur 45 °C

I tabell 5 är byggnadens effektbehov samma som i tabell 4 men framledningstemperaturen har ökats till 45 °C. Vi kan se att besparingen med flashinjektions luftvattenvärmepumpen i Helsingfors klimatzon är 30 € per år och i Jyväskylä 49 € per år.

Tabell 5. Kostnadstabell med ett effektbehov på 8,62 kW för zon I och 9,78 kW för zon III vid  $T_{u,mit}$  och med en framledningstemperatur på 45 °C.

| Lämpöpump | Vyöhyke | Tehontarve $T_{u,mit}$ | Rakennuksen lämmitysenergi | LP:n tuottama lämmitysenergi | LP:n tuottama osuus lämmitysenergiasta | Kustannus LP:lla | Sähköllä |
|-----------|---------|------------------------|----------------------------|------------------------------|--|------------------|----------|
| SHW112    | I       | 8,62 kW                | 22032 kWh                  | 21937 kWh                    | 99,57 %                                | 776 €            | 2644 €   |
| SW100     | I       | 8,62 kW                | 22032 kWh                  | 21874 kWh                    | 99,28 %                                | 806 €            | 2644 €   |
| SHW112    | III     | 9,78 kW                | 25608 kWh                  | 24812 kWh                    | 96,89 %                                | 1005 €           | 3073 €   |
| SW100     | III     | 9,78 kW                | 25608 kWh                  | 24633 kWh                    | 96,19 %                                | 1054 €           | 3073 €   |

### 6.1.3 Framledningstemperatur 60 °C

Tabell 6 har ännu samma effektbehov som i ovanstående tabeller 4 och 5 men istället en framledningstemperatur på 60 °C. I Helsingfors klimatzon kommer flashinjektions utrustade luftvattenvärmepumpen spara in 9 € varje år. Däremot i Jyväskylä klimatzon kommer flashinjektions luftvattenvärmepumpen spara in 10 € varje år.

Tabell 6. Kostnadstabell med ett effektbehov på 8,62 kW för zon I och 9,78 kW för zon III vid  $T_{u,mit}$  och med en framledningstemperatur på 60 °C.

| Lämpöpump | Vyöhyke | Tehontarve $T_{u,mit}$ | Rakennuksen lämmitysenergi | LP:n tuottama lämmitysenergi | LP:n tuottama osuus lämmitysenergiasta | Kustannus LP:lla | Sähköllä |
|-----------|---------|------------------------|----------------------------|------------------------------|--|------------------|----------|
| SHW112    | I       | 8,62 kW                | 22032 kWh                  | 20997 kWh                    | 95,30 %                                | 980 €            | 2644 €   |
| SW100     | I       | 8,62 kW                | 22032 kWh                  | 20997 kWh                    | 95,30 %                                | 989 €            | 2644 €   |
| SHW112    | III     | 9,78 kW                | 25608 kWh                  | 23023 kWh                    | 89,91 %                                | 1285 €           | 3073 €   |
| SW100     | III     | 9,78 kW                | 25608 kWh                  | 23023 kWh                    | 89,91 %                                | 1295 €           | 3073 €   |

## 6.2 Effektbehov på 10,49 kW för klimatzon I och 11,92 kW för klimatzon III vid $T_{u,mit}$

### 6.2.1 Framledningstemperatur 35 °C

Byggnadens effektbehov i tabell 7 är 10,49 kW för klimatzon I och 11,92 kW för klimatzon III vid  $T_{u,mit}$  och framledningstemperaturen är 35 °C. Från tabell 7 ses att SHW112 kommer spara in 54 € per år jämfört med SW100 i klimatzon I. I klimatzon III kommer inbesparingen att vara 85 € per år.

Tabell 7. Kostnadstabell med ett effektbehov på 10,49 kW för zon I och 11,92 kW för zon III vid  $T_{u,mit}$  och med en framledningstemperatur på 35 °C.

| Lämpö-pumppu | Vyöhyke | Tehon-tarve $T_{u,mit}$ | Rakennuksen lämmitysener-gia | LP:n tuottama lämmitysener-gia | LP:n tuottama osuus läm-mitysenergiasta | Kustannus LP:lla | Sähköllä |
|--------------|---------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|---|------------------|----------|
| SHW112       | I       | 10,49 kW                | 26481 kWh                    | 26382 kWh                      | 99,63 %                                 | 842 €            | 3178 €   |
| SW100        | I       | 10,49 kW                | 26481 kWh                    | 26098 kWh                      | 98,55 %                                 | 896 €            | 3178 €   |
| SHW112       | III     | 11,92 kW                | 30855 kWh                    | 29903 kWh                      | 96,91 %                                 | 1097 €           | 3703 €   |
| SW100        | III     | 11,92 kW                | 30855 kWh                    | 29314 kWh                      | 95,00 %                                 | 1182 €           | 3703 €   |

### 6.2.2 Framledningstemperatur 45 °C

Tabell 8 visar kostnaderna med samma effektbehov som i föregående tabell men med en framledningstemperatur på 45 °C. Flashinjektions utrustade luft-vattenvärmepumpen kommer spara in 51 € per år i klimatzon I och 79 € i klimatzon III.

Tabell 8. Kostnadstabell med ett effektbehov på 10,49 kW för zon I och 11,92 kW för zon III vid  $T_{u,mit}$  och med en framledningstemperatur på 45 °C.

| Lämpö-pumppu | Vyöhyke | Tehon-tarve $T_{u,mit}$ | Rakennuksen lämmitysener-gia | LP:n tuottama lämmitysener-gia | LP:n tuottama osuus läm-mitysenergiasta | Kustannus LP:lla | Sähköllä |
|--------------|---------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|---|------------------|----------|
| SHW112       | I       | 10,49 kW                | 26481 kWh                    | 26382 kWh                      | 99,63 %                                 | 930 €            | 3178 €   |
| SW100        | I       | 10,49 kW                | 26481 kWh                    | 26104 kWh                      | 98,58 %                                 | 981 €            | 3178 €   |
| SHW112       | III     | 11,92 kW                | 30855 kWh                    | 29903 kWh                      | 96,91 %                                 | 1208 €           | 3703 €   |
| SW100        | III     | 11,92 kW                | 30855 kWh                    | 29331 kWh                      | 95,06 %                                 | 1287 €           | 3703 €   |

### 6.2.3 Framledningstemperatur 60 °C

Byggnadens effektbehov är ännu samma men framledningstemperaturen har ökat till 60 °C. Vid dessa utgångsvärden kommer SHW112 i klimatzon I att spara in 20 € per år. I klimatzon III kommer SHW112 spara in 22 € varje år.

Tabell 9. Kostnadstabell med ett effektbehov på 10,49 kW för zon I och 11,92 kW för zon III vid  $T_{u,mit}$  och med en framledningstemperatur på 60 °C.

| Lämpö-pumppu | Vyöhyke | Tehon-tarve<br>$T_{u,mit}$ | Rakennuksen<br>lämmitysener-<br>gia | LP:n tuottama<br>lämmitysener-<br>gia | LP:n tuottama<br>osuus lämmi-<br>tysenergiasta | Kustannus<br>LP:lla | Sähköllä |
|--------------|---------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------|----------|
| SHW112       | I       | 10,49 kW                   | 26481 kWh                           | 25239 kWh                             | 95,31 %  | 1173 €              | 3178 €   |
| SW100        | I       | 10,49 kW                   | 26481 kWh                           | 25172 kWh                             | 95,06 %  | 1193 €              | 3178 €   |
| SHW112       | III     | 11,92 kW                   | 30855 kWh                           | 27727 kWh                             | 89,86 %  | 1540 €              | 3703 €   |
| SW100        | III     | 11,92 kW                   | 30855 kWh                           | 27686 kWh                             | 89,73 %  | 1562 €              | 3703 €   |

### 6.3 Effektbehov på 16,10 kW för klimatzon I och 18,31 kW för klimatzon III vid $T_{u,mit}$

#### 6.3.1 Framledningstemperatur 35 °C

I tabell 10 är byggnadens effektbehov 16,10 kW för klimatzon I och 18,31 kW för klimatzon III vid  $T_{u,mit}$  och framledningstemperaturen är 35 °C. Flashinjektions utrustade luft-vattenvärmepumpen i Helsingfors klimatzon kommer spara in 161 € per år och i Jyväskyläs klimatzon 201 € per år.

Tabell 10. Kostnadstabell med ett effektbehov på 16,10 kW för zon I och 18,31 kW för zon III vid  $T_{u,mit}$  och med en framledningstemperatur på 35 °C.

| Lämpö-pumppu | Vyöhyke | Tehon-tarve<br>$T_{u,mit}$ | Rakennuksen<br>lämmitysener-<br>gia | LP:n tuottama<br>lämmitysener-<br>gia | LP:n tuottama<br>osuus lämmi-<br>tysenergiasta | Kustannus<br>LP:lla | Sähköllä |
|--------------|---------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------|----------|
| SHW112       | I       | 16,10 kW                   | 39826 kWh                           | 39514 kWh                             | 99,22 %  | 1316 €              | 4779 €   |
| SW100        | I       | 16,10 kW                   | 39826 kWh                           | 37671 kWh                             | 94,59 %  | 1477 €              | 4779 €   |
| SHW112       | III     | 18,31 kW                   | 46598 kWh                           | 44658 kWh                             | 95,84 %  | 1734 €              | 5592 €   |
| SW100        | III     | 18,31 kW                   | 46598 kWh                           | 42497 kWh                             | 91,20 %  | 1935 €              | 5592 €   |

### 6.3.2 Framledningstemperatur 45 °C

Effektbehovet är samma som i tabell 10 men framledningstemperaturen har ökats till 45 °C. I Helsingfors klimatzon kommer flashinjektions utrustade luft-vattenvärmepumpens driftkostnader vara 140 € mindre än för den konventionella värmepumpen. I Jyväskylä klimatzon kommer skillnaden vara 182 €.

Tabell 11. Kostnadstabell med ett effektbehov på 16,10 kW för zon I och 18,31 kW för zon III vid  $T_{u,mit}$  och med en framledningstemperatur på 45 °C.

| Lämpö-pumppu | Vyöhyke | Tehon-tarve $T_{u,mit}$ | Rakennuksen lämmitysener-gia | LP:n tuottama lämmitysener-gia | LP:n tuottama osuus lämmitysenergiasta | Kustannus LP:lla | Sähköllä |
|--------------|---------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|--|------------------|----------|
| SHW112       | I       | 16,10 kW                | 39826 kWh                    | 39554 kWh                      | 99,32 %                                | 1454 €           | 4779 €   |
| SW100        | I       | 16,10 kW                | 39826 kWh                    | 37645 kWh                      | 94,52 %                                | 1594 €           | 4779 €   |
| SHW112       | III     | 18,31 kW                | 46598 kWh                    | 44720 kWh                      | 95,97 %                                | 1902 €           | 5592 €   |
| SW100        | III     | 18,31 kW                | 46598 kWh                    | 42469 kWh                      | 91,14 %                                | 2084 €           | 5592 €   |

### 6.3.3 Framledningstemperatur 60 °C

I tabell 12 har framledningstemperaturen ökats till 60 °C men effektbehovet är ännu samma som i tabell 11. I Helsingfors klimatzon kommer flashinjektions utrustade luft-vattenvärmepumpens driftkostnader vara 72 € mindre än för den konventionella luft-vattenvärmepumpen. I Jyväskylä klimatzon kommer skillnaden vara 75 €.

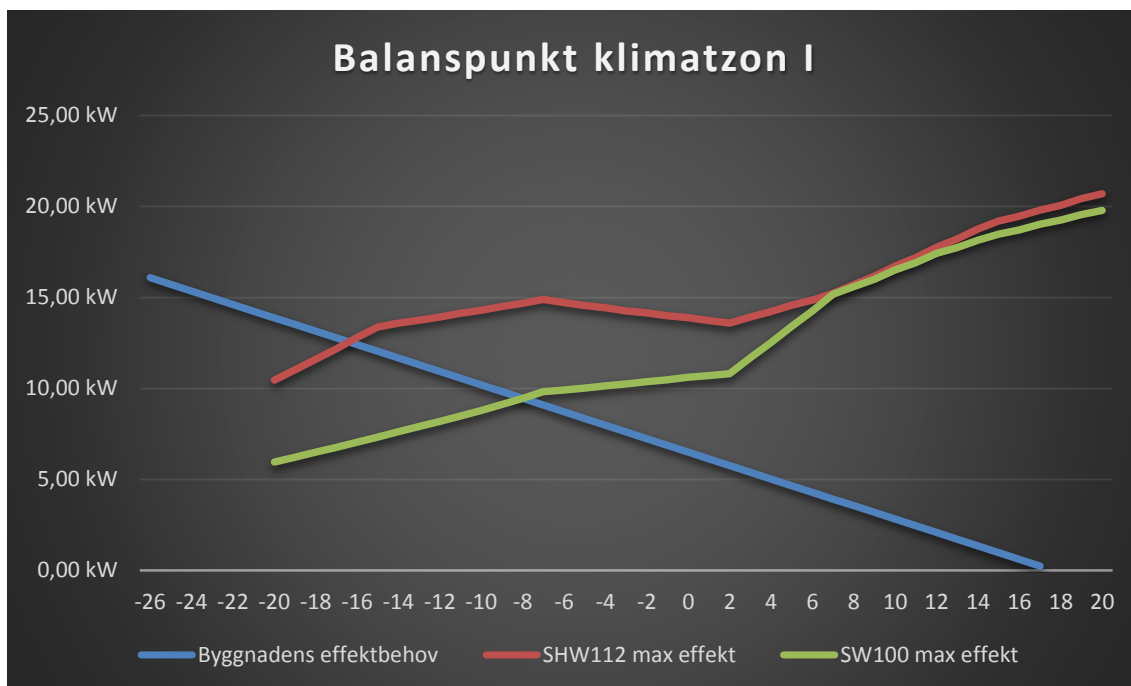
Tabell 12. Kostnadstabell med ett effektbehov på 16,10 kW för zon I och 18,31 kW för zon III vid  $T_{u,mit}$  och med en framledningstemperatur på 60 °C.

| Lämpö-pumppu | Vyöhyke | Tehon-tarve $T_{u,mit}$ | Rakennuksen lämmitysener-gia | LP:n tuottama lämmitysener-gia | LP:n tuottama osuus lämmitysenergiasta | Kustannus LP:lla | Sähköllä |
|--------------|---------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|--|------------------|----------|
| SHW112       | I       | 16,10 kW                | 39826 kWh                    | 37966 kWh                      | 95,33 %                                | 1804 €           | 4779 €   |
| SW100        | I       | 16,10 kW                | 39826 kWh                    | 36602 kWh                      | 91,91 %                                | 1876 €           | 4779 €   |
| SHW112       | III     | 18,31 kW                | 46598 kWh                    | 41839 kWh                      | 89,79 %                                | 2374 €           | 5592 €   |
| SW100        | III     | 18,31 kW                | 46598 kWh                    | 40655 kWh                      | 87,25 %                                | 2449 €           | 5592 €   |

Vi kan nu konstatera från de ovanstående tabellerna att luft-vattenvärmepumparnas driftkostnader kommer bero kraftigt av vilka utgångsvärden som valts. Syftet med arbetet var att komma fram om det lönar sig att använda den dyrare flashinjektions utrustade luft-vattenvärmepumpen istället för den konventionella luft-vattenvärmepumpen. Enligt priser från Innoair's hemsida, kostar SHW112 1460 € mera än SW100. (Innoair Oy 2014) Högsta inbesparingen uppnås enligt ovanstående tabeller i tabell 10. Där kan vi se att i Jyväskylä klimatzon kommer flashinjektions utrustade luft-vattenvärmepumpen årligen spara in 201 € jämfört med den konventionella luft-vattenvärmepumpen. Återbetalningstiden blir då för SHW112 litet över 7 år i Jyväskylä klimatzon. I Helsingfors klimatzon blir inbesparingen 161 € per år och då med en återbetalningstid strax över 9 år.

Syftet med arbetet var också att komma fram till hurudan påverkan klimatzone har på beslutet. Som det exempelvis kommer fram i tabell 10, kommer flashinjektions utrustade luft-vattenvärmepumpen att spara in 40 € mera varje år i klimatzon III än i klimatzon I. I tabellen kan man också se hur många procent luft-vattenvärmepumpen kan täcka av byggnadens energibehov. I klimatzon I kommer SHW112 värmepumpen täcka 4,63 % mera än SW100. För klimatzon III kommer SHW112 täcka 4,64 % mera än SW100.

Följande graf 1 visar tilläggsvärmebehovet för både SHW112 och SW100 i Helsingfors klimatzon. Datan baserar sig på att byggnadens effektbehov är 16,10 kW vid den dimensionerande utetemperaturen och att framledningstemperaturen är 45 °C. Ur grafen kan noteras att SW100 värmepumpen redan vid en utomhustemperatur på -8 °C behöver tilläggsvärme, medan SHW112 först vid en utomhustemperatur på -17 °C behöver tilläggsvärme.



Graf 1. Balanspunkt för både SHW112 och SW100 i Helsingfors klimatzon.

## 7 DISKUSSION

Resultaten visar att byggnadens effektbehov samt uppvärmingsnätets framledningstemperatur har en oerhört stor betydelse på lönsamheten. Vid vissa utgångsvärden, exempelvis som ses ur tabell 6 när framledningstemperaturen ligger på 60 °C och byggnadens effektbehov för klimatzon I är 8,62 kW, skiljer sig endast luftvattenvärmepumparnas driftkostnader i klimatzon I med 9 €. Detta beror på att båda luftvattenvärmepumparna tillför byggnaden lika mycket värmeenergi. Eftersom framledningstemperaturen i detta fall är 60 °C, kommer båda luftvattenvärmepumparna att ha problem med så hög framledningstemperatur vid låga utomhustemperaturer. Vid dessa låga utomhustemperaturer kommer båda luftvattenvärmepumparna använda lika mycket elektricitet och det enda som skiljer dem är deras värmefaktorer. På grund av att SHW112 luftvattenvärmepumpen har en aning bättre värmefaktor vid de olika utomhustemperaturerna, kommer den därför spara in mera varje år.



En annan viktig aspekt gällande luft-vattenvärmepumparnas inbesparingsskillnader är utomhustemperaturens varaktighet. Vid utomhustemperaturer mellan  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  och  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  kommer båda värmepumparnas värmefaktorer vara mycket likt varann. Från ovanstående graf 1, kan det konstateras att först vid en utomhustemperatur lägre än  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  kommer den konventionella värmepumpen att behöva tillägsvärme. Detta betyder att då utomhustemperaturen är mellan  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  och  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kommer SHW112 luft-vattenvärmepumpen spara in mera än den konventionella luft-vattenvärmepumpen. Eftersom det statistiskt inte finns många timmar per år då utomhustemperaturen underskrider  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kommer därför inbesparingen för SHW112 vara liten. Skulle däremot utomhustemperaturen oftast ligga under  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  skulle det alltid löna sig att skaffa den dyrare flashinjektions utrustade luft-vattenvärmepumpen.

Elpriset har också en stor betydelse beroende på hur stor inbesparingen kommer att vara med den dyrare luft-vattenvärmepumpen. Ifall elpriset exempelvis skulle stiga med låt oss säga 20 %, skulle det nya elpriset vara  $0,144\text{ €/kWh}$ . Tar vi igen en titt på tabell 10 och klimatzon III där inbesparingen var 201 € för ett år med ett elpris på  $0,12\text{ €/kWh}$ . Nu med det 20 % högre elpriset alltså  $0,144\text{ €/kWh}$ , kommer inbesparingen bli 241 € per år. Detta leder till att återbetalningstiden för den dyrare flashinjektions utrustade luft-vattenvärmepumpen kommer sjunka från 7 år till 6 år. Dock måste man komma ihåg att detta gäller för all elektronik, ju energieffektivare apparat ifråga, desto större kommer inbesparingen att vara ifall elpriset stiger.

Eftersom arbetet är baserat på statistiska utgångsvärden, kan därför inte någonslags fullständig korrekthet fastställas. Av den orsaken skulle det vara mycket intressant att få testa dessa luft-vattenvärmepumpar i ett simuleringsrum, där utomhustemperaturen själv kan väljas och på detta vis jämföra hur pålitliga dessa resultat är.

Överlag har arbetet varit mycket intressant och tankeväckande. När jag började med arbetet visste jag inte att det fanns någonting som flashinjektion utrustade luft-vattenvärmepumpar och överhuvudtaget hur de fungerade. Nu har jag fått en bra uppfattning över hur ett sådant system fungerar fastän det har varit otroligt svårt att få tag på information om Mitsubishi Electric's system. Allting är tydligen så hemligt, likaså var det omöjligt att gräva fram luft-vattenvärmepumparnas effekt samt värmefaktorvärden

under en utomhustemperatur på  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , fastän många olika personer har kontaktas. Eftersom Mitsubishi Electric flashinjektion utrustade luft-vattenvärmepumpar marknadsförs att de kan fungera ända ner till en utomhustemperatur på  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , så skulle det ha varit intressant att ha fått tillgång till effekt och värmefaktorvärden under  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## KÄLLOR

Aittomäki Antero. 2008, *Kylmäteknikka*, 3 uppl., Helsinki: Gummerus Kirjapaino Oy, 406 s.

Beckman Olof & Kjällerström Bengt & Sundström Tage. 1984, *Energilära*, 1 uppl., Stockholm: Almqvist & Wiksell Förlag Ab, 368 s.

Cengel Yunus A. & Boles Michael A. 2006, *Thermodynamics An Engineering Approach*, 5 uppl., Boston: McGraw-Hill College, 946 s.

Ecodan data book. 2013, *Air to water heat pump systems*, 322 s.

*e-Education*. 2014. Tillgänglig: <https://www.e-education.psu.edu/egee102/node/2090>  
Hämtad 13.3.2014.

*European Commission*. 2014.

Tillgänglig: <http://ec.europa.eu/clima/policies/package/> Hämtad 17.3.2014.

*Europaparlamentets direktiv*. 2010, 2010/31/EU.

Tillgänglig: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:01:SV:HTML>  
Hämtad 17.3.2014.

*Finlands byggbestämmelser*. 2012, D3 & D5. Tillgänglig: [http://www.ym.fi/sv-FI/Markanvandning\\_och\\_byggande/Lagstiftning\\_och\\_anvisningar/Byggbestammelseamlingen](http://www.ym.fi/sv-FI/Markanvandning_och_byggande/Lagstiftning_och_anvisningar/Byggbestammelseamlingen) Hämtad 22.4.2014

Granryd Eric & Ekroth Ingvar & Lundqvist Per & Melinder Åke & Palm Björn & Rohlin Peter. 2002, *Refrigerating engineering*, Stockholm: Royal Institute of Technology.

*Ilmatieteen laitos*. 2012. Tillgänglig: <http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky> Hämtad 11.3.2014

*Innoair Oy*. 2014. Tillgänglig: <http://www.innoair.fi/ilma-vesilampopumput> Hämtad 28.4.2014

Kaappola Esko & Hirvelä Aulis & Matti Jokela & Kianta Jani. 2011, *Kylmäteknikan perusteet*, 1 uppl., Helsinki: Juvenesprint Oy, 264 s.

Kylmäsovellusten scroll-kompressorit. Tillgänglig:  
[http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/D42A573B-D423-42A4-B366-9B9EF12272C8/0/scroll\\_textFIN.pdf](http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/D42A573B-D423-42A4-B366-9B9EF12272C8/0/scroll_textFIN.pdf) Hämtad 20.3.2014.

Lämmitystarveluku. 2014, *Ilmatieteen laitos*. Tillgänglig:  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut> Hämtad 9.4.2014.

Maheshwari Madhuri & Shrivastava Gaurav & Choubey Bhanu. 2013, *Study on refrigeration system designed for low temperature*. Tillgänglig: <http://www.ijsrp.org/research-paper-0213/ijsrp-p14121.pdf> Hämtad 20.4.2014

Miljöministeriet. 2014, Säätiödot. Tillgänglig: [http://www.ym.fi/sv-FI/Markanvandning\\_och\\_byggande/Lagstiftning\\_och\\_anvisningar/Byggbestammelseamlingen](http://www.ym.fi/sv-FI/Markanvandning_och_byggande/Lagstiftning_och_anvisningar/Byggbestammelseamlingen) Hämtad 20.3.2014.

Mitsubishi Electric. 2010, *Zubadan-Technology: 100% heating capacity at -15°C*. Tillgänglig: [http://www.mitsubishi-les.com/sitemodules/news/view.php?l=en&f=876191\\_2486408\\_PI\\_Zubadan\\_-\\_PK\\_2010\\_Mitsubishi\\_-\\_Finalversion\\_eng\\_t\\_p\\_i\\_.pdf](http://www.mitsubishi-les.com/sitemodules/news/view.php?l=en&f=876191_2486408_PI_Zubadan_-_PK_2010_Mitsubishi_-_Finalversion_eng_t_p_i_.pdf) Hämtad 17.4.2014

Mitsubishi Electric. 2014, *Full Product Line Catalogue*. Tillgänglig: [http://issuu.com/vitanest1/docs/full\\_product\\_line\\_catalog\\_2014/85](http://issuu.com/vitanest1/docs/full_product_line_catalog_2014/85) Hämtad 16.4.2014

Motiva. 2014, *Kulutuksen normitus*. Tillgänglig: [http://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/energian kayton\\_tehostaminen/kiinteistojen\\_energianhallinta/kulutuksen\\_normitus/laskukaavat\\_lammitysenergiankulutus](http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammitysenergiankulutus) Hämtad 22.4.2014

Motiva vertailupaikkakunnat. 2014. Tillgänglig: [http://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/energian kayton\\_tehostaminen/kiinteistojen\\_energianhallinta/kulutuksen\\_normitus/vertailukausi-ja\\_paikkakunnat\\_korjauskertoimet\\_ja\\_lammitystarveluvut](http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/vertailukausi-ja_paikkakunnat_korjauskertoimet_ja_lammitystarveluvut) Hämtad 22.4.2014

Nydal Roald. 2008, *Käytännön kylmäteknikka*, 4 uppl., Helsinki: Gummers Kirjapaino Oy, 241 s.

Perälä Osmo & Perälä Rae. 2013, *Lämpöpumput*, 3 uppl., Helsinki: Alfamer/Karisto Oy, 136 s.

Rakennusten energialaskennan testivuodet. 2012. Tillgänglig: [http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=3b0cb383-0c9a-4682-80d9-ef492ae4e955&groupId=30106](http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=3b0cb383-0c9a-4682-80d9-ef492ae4e955&groupId=30106) Hämtad 11.3.2014.

Siam Compressor Industry. 2013. Tillgänglig: [http://www.siamcompressor.com/eng/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1&Itemid=35](http://www.siamcompressor.com/eng/index.php?option=com_content&task=view&id=1&Itemid=35) Hämtad 14.3.2014.

Suomen ympäristökeskus SYKE. 2013. Tillgänglig: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto\\_ ja\\_ilma/Otsonikerroksen\\_suojelu/Otsonikerrosta\\_heikentavia\\_aineita\\_koskevat\\_rajotukset/HCFChdisteet\\_ohjeita\\_kiinteistojen\\_omistajille](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ ja_ilma/Otsonikerroksen_suojelu/Otsonikerrosta_heikentavia_aineita_koskevat_rajotukset/HCFChdisteet_ohjeita_kiinteistojen_omistajille) Hämtad 14.4.2014

Takahashi Yoshihiro. 2010, *Lineup and features of air-to-water products for Europe*. Tillgänglig: [http://www.mitsubishielectric.com/company/rd/advance/pdf/vol130/vol130\\_tr5.pdf](http://www.mitsubishielectric.com/company/rd/advance/pdf/vol130/vol130_tr5.pdf) Hämtad 14.3.2014

*Technical Specifications On Rheem.* 2009. Tillgänglig:  
<http://www.masterplumbers.org.nz/assets/Uploads/pdfs/Rheem-Heat-Pump-The-Facts.pdf> Hämtad 20.3.2014.

*USRE43805 E1.* 2012, Mitsubishi Electric patent. Tillgänglig:  
<http://www.google.com/patents/USRE43805> Hämtad 25.4.2014

Wang Xudong & Hwang Yunho. 2009, *Two-stage heat pump system with vapor-injected scroll compressor using R410A as a refrigerant.* Tillgänglig:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700709000814#> Hämtad 25.4.2014

Wang Baolong & Li Xianting & Wenxing Shi & Yan Qisen. 2006, *Design of experimental bench and internal pressure measurement of scroll compressor with refrigerant injection.* Tillgänglig:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700706000880#> Hämtad 17.4.2014

Wang Baolong & Shi Wenxing & Li Xianting. 2008, *Numerical analysis on the effects of the refrigerant injection on the scroll compressor.* Tillgänglig:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431108000525> Hämtad 17.4.2014

*Wikimedia.* Tillgänglig:  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9d/Diagrama\\_Ph.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9d/Diagrama_Ph.jpg) Hämtad 13.4.2014.

# BILAGOR

## 1 COP/EFFEKT PUHZ-SHW112

Tabell 13. Mitsubishi Electric COP & effekt tabell för PUHZ-SHW112.

### ■ PUHZ-SHW112V/YHA

| Water outlet temperature[°C] |           | 25        |      | 35       |       | 40       |       | 45       |       | 50       |      | 55       |      | 60       |      |
|------------------------------|-----------|-----------|------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|------|----------|------|----------|------|
| Ambient temperature[°C]      |           | Capacity  | COP  | Capacity | COP   | Capacity | COP   | Capacity | COP   | Capacity | COP  | Capacity | COP  | Capacity | COP  |
| Max                          | (IND) -20 | -         | -    | 10.46    | 2.14  | 10.46    | 1.93  | 10.46    | 1.73  | -        | -    | -        | -    | -        | -    |
|                              | (IND) -15 | -         | -    | 13.59    | 2.17  | 13.39    | 1.97  | 13.19    | 1.77  | 13.05    | 1.57 | 12.90    | 1.38 | -        | -    |
|                              | (IND) -10 | 14.80     | 2.69 | 14.42    | 2.40  | 14.22    | 2.15  | 14.03    | 1.91  | 13.94    | 1.72 | 13.85    | 1.52 | -        | -    |
|                              | (IND) -7  | 15.28     | 2.83 | 14.91    | 2.54  | 14.73    | 2.27  | 14.54    | 1.99  | 14.48    | 1.82 | 14.42    | 1.61 | -        | -    |
|                              | (IND) 2   | 14.11     | 3.37 | 13.46    | 3.10  | 13.13    | 2.81  | 12.80    | 2.51  | 12.50    | 2.24 | 12.21    | 1.95 | 11.67    | 1.61 |
|                              | 7         | 15.66     | 4.54 | 14.82    | 4.04  | 14.41    | 3.65  | 13.99    | 3.26  | 13.59    | 2.93 | 13.20    | 2.58 | 12.81    | 2.31 |
|                              | 12        | 18.05     | 5.06 | 17.11    | 4.52  | 16.46    | 4.03  | 15.80    | 3.54  | 15.36    | 3.20 | 14.93    | 2.85 | 14.57    | 2.56 |
|                              | 15        | 19.36     | 5.38 | 18.63    | 4.84  | 17.76    | 4.27  | 16.89    | 3.71  | 16.43    | 3.38 | 15.97    | 3.01 | 15.62    | 2.71 |
|                              | 20        | 20.70     | 5.54 | 19.70    | 5.06  | 19.20    | 4.52  | 18.70    | 3.99  | 18.20    | 3.65 | 17.69    | 3.28 | 17.38    | 2.96 |
|                              | Nominal   | (IND) -20 | -    | -        | 10.46 | 2.14     | 10.46 | 1.93     | 10.46 | 1.73     | -    | -        | -    | -        | -    |
| (IND) -15                    |           | -         | -    | 11.20    | 2.34  | 11.20    | 2.08  | 11.20    | 1.82  | 11.20    | 1.60 | 11.20    | 1.38 | -        | -    |
| (IND) -10                    |           | 11.20     | 3.13 | 11.20    | 2.65  | 11.20    | 2.33  | 11.20    | 2.01  | 11.20    | 1.80 | 11.20    | 1.55 | -        | -    |
| (IND) -7                     |           | 11.20     | 3.37 | 11.20    | 2.84  | 11.20    | 2.48  | 11.20    | 2.12  | 11.20    | 1.91 | 11.20    | 1.67 | -        | -    |
| (IND) 2                      |           | 11.20     | 3.90 | 11.20    | 3.34  | 11.20    | 3.02  | 11.20    | 2.70  | 11.20    | 2.37 | 11.20    | 2.01 | 11.20    | 1.66 |
| 7                            |           | 11.20     | 5.03 | 11.20    | 4.46  | 11.20    | 3.99  | 11.20    | 3.51  | 11.20    | 3.11 | 11.20    | 2.67 | 11.20    | 2.37 |
| 12                           |           | 12.93     | 5.66 | 12.93    | 5.01  | 12.93    | 4.45  | 12.93    | 3.88  | 12.93    | 3.47 | 12.93    | 3.02 | 12.93    | 2.67 |
| 15                           |           | 14.08     | 5.97 | 14.08    | 5.38  | 14.08    | 4.75  | 14.08    | 4.12  | 14.08    | 3.70 | 14.08    | 3.25 | 14.08    | 2.88 |
| 20                           |           | 15.19     | 6.54 | 15.19    | 5.74  | 15.19    | 5.05  | 15.19    | 4.36  | 15.19    | 3.94 | 15.19    | 3.47 | 15.19    | 3.08 |
| Mid                          |           | (IND) -20 | -    | -        | 8.37  | 2.23     | 8.37  | 2.00     | 8.37  | 1.78     | -    | -        | -    | -        | -    |
|                              | (IND) -15 | -         | -    | 8.96     | 2.43  | 8.96     | 2.14  | 8.96     | 1.84  | 8.96     | 1.62 | 8.96     | 1.39 | -        | -    |
|                              | (IND) -10 | 8.96      | 3.33 | 8.96     | 2.83  | 8.96     | 2.48  | 8.96     | 2.14  | 8.96     | 1.91 | 8.96     | 1.65 | -        | -    |
|                              | (IND) -7  | 8.96      | 3.61 | 8.96     | 3.06  | 8.96     | 2.69  | 8.96     | 2.33  | 8.96     | 2.07 | 8.96     | 1.80 | -        | -    |
|                              | (IND) 2   | 8.96      | 4.22 | 8.96     | 3.46  | 8.96     | 3.13  | 8.96     | 2.81  | 8.96     | 2.49 | 8.96     | 2.15 | 8.96     | 1.75 |
|                              | 7         | 9.01      | 5.18 | 8.96     | 4.61  | 8.96     | 4.06  | 8.96     | 3.51  | 8.96     | 3.15 | 8.96     | 2.75 | 8.96     | 2.42 |
|                              | 12        | 10.51     | 5.73 | 10.34    | 5.28  | 10.34    | 4.64  | 10.34    | 4.01  | 10.34    | 3.60 | 10.34    | 3.16 | 10.34    | 2.77 |
|                              | 15        | 11.33     | 6.17 | 11.26    | 5.72  | 11.26    | 5.03  | 11.26    | 4.34  | 11.26    | 3.90 | 11.26    | 3.42 | 11.26    | 3.01 |
|                              | 20        | 12.31     | 6.70 | 12.15    | 6.15  | 12.15    | 5.41  | 12.15    | 4.66  | 12.15    | 4.18 | 12.15    | 3.67 | 12.15    | 3.22 |
|                              | Min       | -20       | -    | -        | -     | -        | -     | -        | -     | -        | -    | -        | -    | -        | -    |
| -15                          |           | -         | -    | -        | -     | -        | -     | -        | -     | -        | -    | -        | -    | -        | -    |
| -10                          |           | -         | -    | -        | -     | -        | -     | -        | -     | -        | -    | -        | -    | -        | -    |
| -7                           |           | 5.96      | 3.59 | 4.91     | 2.84  | 4.71     | 2.48  | 4.51     | 2.12  | 4.32     | 1.91 | 4.12     | 1.68 | -        | -    |
| 2                            |           | 8.02      | 4.37 | 5.73     | 3.69  | 5.48     | 3.21  | 5.22     | 2.73  | 4.96     | 2.44 | 4.70     | 2.12 | -        | -    |
| 7                            |           | 9.01      | 5.18 | 5.53     | 4.41  | 5.29     | 3.83  | 5.05     | 3.25  | 4.80     | 2.91 | 4.55     | 2.53 | -        | -    |
| 12                           |           | 10.51     | 5.73 | 4.39     | 4.92  | 4.20     | 4.26  | 4.01     | 3.61  | 3.81     | 3.22 | 3.61     | 2.80 | -        | -    |
| 15                           |           | 11.33     | 6.17 | 4.78     | 5.33  | 4.60     | 4.64  | 4.42     | 3.95  | 4.20     | 3.53 | 3.98     | 3.07 | -        | -    |
| 20                           |           | 12.31     | 6.70 | 10.06    | 5.94  | 9.76     | 5.23  | 9.45     | 4.52  | 9.08     | 4.04 | 8.70     | 3.53 | -        | -    |







## 2 COP/EFFEKT PUHZ-SW100

Tabell 16. Mitsubishi Electric COP & effekt tabell för PUHZ-SW100.

### ■ PUHZ-SW100V/YHA(-BS)

| Water outlet temperature [°C] |       | 25       |      | 35       |      | 40       |      | 45       |      | 50       |      | 55       |      | 60       |      |
|-------------------------------|-------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|
| Ambient temperature [°C]      |       | Capacity | COP  | Capacity | COP  | Capacity | COP  | Capacity | COP  | Capacity | COP  | Capacity | COP  | Capacity | COP  |
| Max                           | -20   | -        | -    | 6.87     | 1.79 | 6.71     | 1.64 | 6.55     | 1.49 | -        | -    | -        | -    | -        | -    |
|                               | -15   | -        | -    | 8.17     | 2.16 | 8.07     | 1.93 | 7.96     | 1.89 | 7.87     | 1.52 | 7.77     | 1.34 | -        | -    |
|                               | -10   | 9.69     | 2.97 | 9.53     | 2.50 | 9.44     | 2.25 | 9.36     | 1.98 | 9.13     | 1.76 | 8.90     | 1.52 | -        | -    |
|                               | -7    | 10.87    | 3.27 | 10.59    | 2.73 | 10.44    | 2.45 | 10.30    | 2.14 | 10.00    | 1.91 | 9.69     | 1.62 | -        | -    |
|                               | 2     | 11.98    | 3.56 | 11.49    | 3.16 | 11.24    | 2.83 | 10.99    | 2.49 | 10.55    | 2.19 | 10.10    | 1.88 | 9.36     | 1.49 |
|                               | 7     | 15.57    | 4.48 | 14.79    | 4.15 | 14.40    | 3.70 | 14.01    | 3.24 | 13.41    | 2.90 | 12.80    | 2.54 | 12.20    | 2.07 |
|                               | 12    | 17.68    | 5.14 | 16.84    | 4.72 | 16.42    | 4.20 | 16.00    | 3.68 | 15.35    | 3.30 | 14.69    | 2.91 | 14.04    | 2.39 |
| Nominal                       | 15    | 18.66    | 5.53 | 17.78    | 4.98 | 17.34    | 4.44 | 16.90    | 3.89 | 16.24    | 3.51 | 15.58    | 3.08 | 14.92    | 2.58 |
|                               | 20    | 19.79    | 5.87 | 18.96    | 5.31 | 18.55    | 4.75 | 18.13    | 4.19 | 17.47    | 3.78 | 16.81    | 3.34 | 16.15    | 2.97 |
|                               | -20   | -        | -    | 6.87     | 1.79 | 6.71     | 1.64 | 6.55     | 1.49 | -        | -    | -        | -    | -        | -    |
|                               | -15   | -        | -    | 8.17     | 2.16 | 8.07     | 1.93 | 7.96     | 1.89 | 7.87     | 1.52 | 7.77     | 1.34 | -        | -    |
|                               | -10   | 8.50     | 3.02 | 8.50     | 2.52 | 8.50     | 2.27 | 8.50     | 2.02 | 8.50     | 1.78 | 8.50     | 1.54 | -        | -    |
|                               | -7    | 8.50     | 3.45 | 8.50     | 2.89 | 8.50     | 2.55 | 8.50     | 2.22 | 8.50     | 1.94 | 8.50     | 1.65 | -        | -    |
|                               | 2     | 10.00    | 3.88 | 10.00    | 3.32 | 10.00    | 2.99 | 10.00    | 2.66 | 10.00    | 2.28 | 10.00    | 1.89 | 9.36     | 1.49 |
| Mid                           | 7     | 11.20    | 4.89 | 11.20    | 4.45 | 11.20    | 3.94 | 11.20    | 3.42 | 11.20    | 3.02 | 11.20    | 2.60 | 11.20    | 2.13 |
|                               | 12    | 12.85    | 5.60 | 12.85    | 5.16 | 12.85    | 4.54 | 12.85    | 3.92 | 12.85    | 3.48 | 12.85    | 2.99 | 12.85    | 2.48 |
|                               | 15    | 13.62    | 6.00 | 13.62    | 5.49 | 13.62    | 4.83 | 13.62    | 4.18 | 13.62    | 3.71 | 13.62    | 3.21 | 13.62    | 2.65 |
|                               | 20    | 14.67    | 6.62 | 14.67    | 5.96 | 14.67    | 5.27 | 14.67    | 4.57 | 14.67    | 4.06 | 14.67    | 3.52 | 14.67    | 3.10 |
|                               | -20   | -        | -    | 5.50     | 1.81 | 5.37     | 1.67 | 5.24     | 1.51 | -        | -    | -        | -    | -        | -    |
|                               | -15   | -        | -    | 6.54     | 2.18 | 6.46     | 1.96 | 6.37     | 1.71 | 6.30     | 1.55 | 6.21     | 1.36 | -        | -    |
|                               | -10   | 6.80     | 3.11 | 6.80     | 2.60 | 6.80     | 2.34 | 6.80     | 2.08 | 6.80     | 1.84 | 6.80     | 1.58 | -        | -    |
| Min                           | -7    | 6.80     | 3.59 | 6.80     | 2.92 | 6.80     | 2.59 | 6.80     | 2.25 | 6.80     | 1.95 | 6.80     | 1.62 | -        | -    |
|                               | 2     | 8.20     | 4.34 | 8.00     | 3.62 | 8.00     | 3.19 | 8.00     | 2.76 | 8.00     | 2.42 | 8.00     | 2.04 | 7.49     | 1.77 |
|                               | 7     | 9.18     | 5.14 | 8.96     | 4.64 | 8.96     | 4.05 | 8.96     | 3.49 | 8.96     | 3.13 | 8.96     | 2.73 | 8.96     | 2.31 |
|                               | 12    | 10.73    | 5.80 | 10.28    | 5.38 | 10.28    | 4.70 | 10.28    | 4.03 | 10.28    | 3.59 | 10.28    | 3.12 | 10.28    | 2.60 |
|                               | 15    | 11.40    | 6.20 | 10.90    | 5.74 | 10.90    | 5.05 | 10.90    | 4.36 | 10.90    | 3.88 | 10.90    | 3.35 | 10.90    | 2.80 |
|                               | 20    | 12.52    | 6.82 | 11.74    | 6.40 | 11.74    | 5.56 | 11.74    | 4.72 | 11.74    | 4.25 | 11.74    | 3.75 | 11.74    | 3.19 |
|                               | -20   | -        | -    | -        | -    | -        | -    | -        | -    | -        | -    | -        | -    | -        | -    |
| Min                           | -15   | -        | -    | -        | -    | -        | -    | -        | -    | -        | -    | -        | -    | -        | -    |
|                               | -10   | -        | -    | -        | -    | -        | -    | -        | -    | -        | -    | -        | -    | -        | -    |
|                               | -7    | 5.28     | 3.52 | 4.30     | 2.72 | 3.81     | 2.40 | 3.99     | 2.09 | 3.35     | 1.84 | 3.40     | 1.56 | -        | -    |
|                               | 2     | 8.20     | 4.34 | 5.75     | 3.70 | 5.01     | 3.24 | 5.39     | 2.78 | 4.48     | 2.48 | 4.70     | 2.15 | -        | -    |
|                               | 7     | 9.18     | 5.14 | 5.43     | 4.48 | 5.09     | 3.91 | 4.73     | 3.33 | 4.03     | 2.97 | 3.63     | 2.59 | -        | -    |
|                               | 12    | 10.73    | 5.80 | 4.44     | 4.95 | 4.09     | 4.20 | 3.74     | 3.46 | 3.16     | 3.12 | 2.80     | 2.76 | -        | -    |
|                               | 15    | 11.40    | 6.20 | 4.85     | 5.43 | 4.43     | 4.57 | 4.07     | 3.72 | 3.44     | 3.40 | 3.08     | 3.04 | -        | -    |
| 20                            | 12.52 | 6.82     | 4.66 | 6.04     | 4.07 | 5.32     | 4.49 | 4.60     | 7.59 | 4.09     | 6.69 | 3.54     | -    | -        |      |



