

Tomi Niiranen

# Ilmalämpöpumpun investoinnin kannattavuus pientalossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

05.05.2014

Tekijä Otsikko	Tomi Niiranen Ilmalämpöpumpun investoinnin kannattavuus pientalossa
Sivumäärä Aika	39 sivua + 2 liitettä 05.05.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, suunnittelupainotteinen
Ohjaaja	yliopettaja Aki Valkeapää
<p>Insinööriyön tavoitteena oli tutustua ilmalämpöpumppujen toimintaperiaatteeseen, keskeisiin komponentteihin sekä yleisimpiin kylmäaineisiin ja niiden ympäristöluokituksiin. Ilmalämpöpumppujen myynti on lisääntynyt viime vuosina kallistuneen energian vuoksi, mutta on vain vähän puolueetonta tietoa ilmalämpöpumpun tuomista energiasäästöistä. Työssä tutkittiin ilmalämpöpumpun tuomia energiasäästöjä pientalossa ja selvitettiin taloyhtiön ja rakennusvalvonnan kanta ilmalämpöpumppujen sijoitukseen katukuvassa.</p> <p>Työhön on valittu kohdekiinteistöksi Espoossa sijaitseva 121 m<sup>2</sup>:n yksikerroksinen paritalo, joka on valmistunut vuonna 1990. Rakennuksen päälämmönlähteenä toimii sähköinen kattolämmitys sekä lisälämmönlähteenä varaava takka ja vuonna 2008 asennettu ilmalämpöpumppu. Kiinteistössä suoritettiin lämmityskaudella kolmen viikon pituinen mittausjakso, jossa seurattiin kohteen ilmalämpöpumpun toimintaa lämpötilantureilla sekä sähkönkulutusta sähkömittarilla. Mittausjakson tuloksia analysoitiin ja tehtiin johtopäätöksiä lämpöpumpun toiminnasta. Ilmalämpöpumpun ulkoyksikön sulatusjaksoissa huomattiin jaksottaisuutta eri ulkolämpötiloilla. Insinööriyön aikana tehtiin mittauksiin perustuen laskettiin ilmalämpöpumpun lämpöteho, COP-arvo sekä arvioitiin takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuajaksi kohteen ilmalämpöpumpulle saatiin 3 vuotta ja 3 kuukautta.</p> <p>Insinööriyöstä hyötyvät pientalojen omistajat, jotka harkitsevat ilmalämpöpumpun asentamista sekä ilmalämpöpumpun toimintaperiaatteista kiinnostuneet voivat perehtyä lämpöpumpun toimintaan. Kohdekiinteistön omistajat ovat olleet tyytyväisiä lämmitysmuotoon, asennuksen myötä lämpö on ollut huoneistossa tasaisempaa ja varaavan takan luovuttama lämpöenergia on saatu sekoittumaan laajemmalle osalle huoneistoa. Aukkaat suosittelivat ilmalämpöpumppua lisälämmönlähteeksi pientaloihin sillä edellytyksellä, ettei sisäyksikön humina häiritse asumista.</p>	
Avainsanat	ilmalämpöpumppu, COP, kylmäaine

Author Title	Tomi Niiranen Investment profitability to air-source heat pump in a single-family house
Number of Pages Date	39 pages + 2 appendices 05 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design orientation
Instructor	Aki Valkeaäpää, Principal Lecturer
<p>For this final year project, detailed information of air-source heat pump principal components and their function in a refrigerant circuit was collected. A one- storey single-family house with a surface area of 121 m<sup>2</sup>, build in 1990, was chosen as a subject building for this final year project. An air-source heat pump was installed in the house in 2008 as an extra heater besides the original ceiling heater. The operation of the air-source heat pump was measured during a three-week long measurement period during the heating season.</p> <p>The results of the measurement period were analysed and conclusions of the activity of the air-source heat pump were drawn. It was noticed that the outdoor coil defrost cycle was periodic on different outdoor temperatures. If the heat pump continues to work at the same coefficient of performance as during the measurement period, the payback period is 3 years and 3 months.</p> <p>The results of the Bachelor's thesis can be used by single-family house owners if they consider installing an air-source heat pump in their house, or if an air-source heat pump owner wants to understand the operational principle of a heat pump.</p>	
Keywords	COP, Air-source heat pump, refrigerant circuit

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
	Tausta	1
2	Ilmalämpöpumppu	2
2.1	Lämmöntarve	2
2.2	Ilmalämpöpumpun sisäyksikön sijoitus	3
2.3	Ilmalämpöpumpun ulkoyksikön sijoitus	4
2.4	Ilmalämpöpumppujen teholuokat	5
2.5	Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate	5
2.6	Prosessin Log p, -h -tilapiirros	8
3	Pääkomponentit	10
3.1	Kompressori	11
3.1.1	Mäntäkompressori	12
3.1.2	Scroll-kompressori	13
3.1.3	Twin rotary -kompressori	15
3.2	Oikosulkumoottori	16
3.3	Höyrystin	16
3.4	Lauhdutin	16
3.5	Paisuntaventtiili	16
3.5.1	Termostaattinen paisuntaventtiili	17
3.5.2	Elektroninen paisuntaventtiili	18
4	Kylmäaineet	19
4.1	HFC-kylmäaineet	19
4.2	GWP (Global Warming Potential)	21
4.3	ODP (otzone Depletion Potential)	21
4.4	Kylmäaineiden turvallisuusluokitus	21
4.4.1	Kylmäaineiden myrkyllisyysluokitukset	21
4.4.2	Kylmäaineiden syttymisherkkyyssluokitus	22
5	Lämpöpumpun huolto	22

6	COP-lämpökerroin	23
7	Kuumakaasusulatus	25
8	Elinkaari	27
9	Kohdekiinteistö	27
9.1	Rakennus	27
9.2	Lämmitysjärjestelmä	29
9.3	Asukkaan kommentit	30
10	Mittaukset	31
10.1	Lämpötilaseuranta	31
10.2	Lämmitysteho	33
10.3	COP-arvon laskenta	34
11	Takaisinmaksuaika	35
11.1	Yksinkertaistettu takaisinmaksuaika	36
11.2	Kotitalousvähennys	36
12	Yhteenveto	37
	Lähteet	38
	Liitteet	
	Liite 1. Log p, -h R410A	
	Liite 2. Ilmalämpöpumpun mittaustulokset sekä laskenta	

## Lyhenteet

Btu	Britanniassa käytössä oleva energian yksikkö.
COP	Lämpökerroin, joka määrittää esimerkiksi lämpöpumpun hyötysuhteen.
GWP	Indeksiluku, joka kertoo kylmäaineen vaikutuksen ilmaston lämpenemiseen.
HFC	Fluorihilivety, jota käytetään kylmäaineena.
ODP	Indeksiluku, joka kuvaa kylmäaineen suhteellista otsonihaitallisuutta.

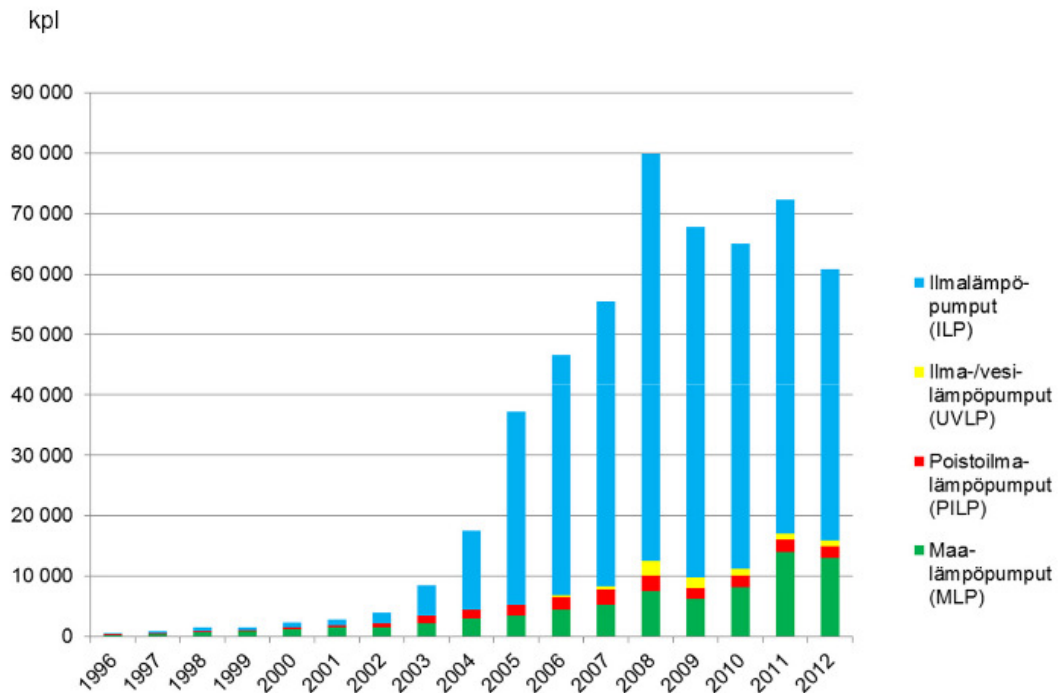
## 1 Johdanto

Insinööriyössä tutustutaan ilma-ilmalämpöpumpun toimintaan ja komponentteihin. Ilmalämpöpumpuista ei ole juurikaan saatavilla todellisia kulutus- ja energiansäästötietoja. Työhön on valittu kohdekiinteistöksi Espoossa sijaitseva 121 m<sup>2</sup>:n yksikerroksinen paritalo- ja paritalo, johon ilmalämpöpumppu on asennettu lisälämmönlähteeksi vuonna 2008. Tässä työssä tutkitaan ilmalämpöpumpun käyttäytymistä ja selvitetään COP-arvo kolmen viikon mittausjakson perusteella. Mittausjakson tuloksia analysoidaan ja niiden perusteella lasketaan takaisinmaksuarvio. Tietoja voivat pientalojen omistajat käyttää harkitessaan lisälämmönlähteeksi ilmalämpöpumppua. Insinööriyö kohdistuu oman mielenkiinnon vuoksi ilmalämpöpumppuihin.

### Tausta

Suomessa on yli miljoona erillispientaloa, määrään sisältyvät omakoti- ja paritalot. Näistä noin 500 000 on suoräsähkölämmitteisiä pientaloja, joiden energiankulutus ei vastaa nykypäivän EU-standardia. Pelkästään asuintalojen lämmitykseen kuluu Suomessa lähes viidennes kaikesta energianloppukäytöstä ja asumiseen kulutetusta energiasta noin puolet muodostuu lämmityksestä ja ilmanvaihdosta. Suomessa rakennukset kuluttavat lähes 45 % loppuenergiankulutuksesta ja kattavat noin 30 % kasvihuonepäästöistä. (1, s. 1.)

Ilmalämpöpumppujen myyntimäärät ovat kohonneet viime vuosina kallistuneen ostoenergian vuoksi, mutta tietoa ilmalämpöpumpuista on vielä hyvin vähän saatavilla. Tässä insinööriyössä tulen kertoa ilmalämpöpumpun toiminnasta sekä investoinnin kannattavuudesta mittauksiin ja laskelmiin perustuen. Kuvassa 1 on esitetty lämpöpumppujen myyntimäärät vuosilta 1996–2012.



Kuva 1. Lämpöpumpujen myyntimäärät kappaleina vuosittain 1996–2012 (2)

## 2 Ilmalämpöpumppu

### 2.1 Lämmöntarve

Ilmalämpöpumpun lämmöntuotanto on ristiriidassa rakennuksen lämmöntarpeeseen. Leudolla säällä ulkoilmassa on runsaasti lämpöenergiaa, jota ilmalämpöpumppu voi hyödyntää, mutta tällöin rakennuksen lämmöntarve on vähäinen. Pakkasen kiristyessä rakennuksen lämmöntarve kasvaa, mutta ilmalämpöpumpun kyky tuottaa lämpöä alenee. Kovilla pakkasilla,  $-15...-20$  °C, ulkoilmasta ei pystytä keräämään juuri lainkaan ”ilmaista” lämpöä. Tämän vuoksi ilmalämpöpumppua ei tule asentaa ainoaksi lämmönlähteeksi. Kovilla pakkasilla, kun ilmalämpöpumpusta ei saada tarvittavaa lämpöenergiaa, on rakennuksen päälämmönlähteen kyettävä pitämään rakennus lämpimänä.

Lämpöpumpujen yleistyessä seuraa ongelma sähkön riittävydessä kovilla pakkasilla. Kun ulkolämpötila laskee riittävästi, rakennukset joiden lämmityksestä suuren osan vuodesta lämpöpumppu vastaa lukuun ottamatta maalämpöä joutuvat korvaamaan

rakennuksen lämmityksen kokonaan tai lähes kokonaan päälämmönlähteellä, joka on yleensä suora sähkölämmitys. Sähköntuottajan kannalta tilanne on harmillinen, sillä suuren osan vuodesta lämpöpumput säästävät suuren osan rakennusten energiankulutuksesta. Huippupakkasia mitataan Suomessa keskimäärin muutamana päivänä vuodesta. Huippupakkasten aikaan, kun kulutusta on paljon ja sähkötehosta on pula, lämpöpumpputaloudetkin joutuvat turvautumaan sähkölämmitykseen eikä tähän välttämättä ole voitu valmistautua. Vuonna 2011 Suomen sähköntuotantokapasiteetti, joka pystytään tuottamaan tunnin ajan, oli 13 400 megawattia (Tilastokeskus). Suomen korkein kulutusarvo tähän mennessä on 14 600 megawattia, johon Suomen voimalakapasiteetti ei riitä, vaan ylimenevä kulutus on jouduttu ostamaan ulkomailta. Tuontisähköön ei kuitenkaan voida tyytyä, sillä huippupakkasten aikaan naapurimaidenkin sähkönkulutus nousee ja välttämättä sähköä ei riitä myyntiin Suomeen. (3.)

## 2.2 Ilmalämpöpumpun sisäyksikön sijoitus

Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö tulee sijoittaa keskeiseen paikkaan, josta lämpö jakautuu hyvin koko huoneistoon ottaen kuitenkin huomioon, että ulkoyksikkö voidaan sijoittaa mahdollisimman lähelle sisäyksikköä. Maksimi putkipituus on yleensä valmistajan ilmoittama 20 metriä. Ylimääräinen putkimatka lisää lämpöhäviöitä yksiköiden välillä. Sisäyksikön kondenssivesi johdetaan yleensä ulkoyksikön viereen putkella, ja on huomioitava tarvittava kaato. Sisäyksiköllä tulisi olla vähintään muutama metri vapaata tilaa, jottei lämmin puhallusilma törmää mihinkään kohteeseen, sillä törmättyään lämmin ilmavirtaus nousee nopeasti ylöspäin. Yksikerrostalossa sijoituspaikka valitaan yleensä sisääntulon lähetyviltä, kaksikerroksisessa talossa tarvitaan molempiin kerroksiin erilliset laitteet. Jos talossa on varaava takka, kannattaa ilmalämpöpumppu sijoittaa takan välittömään läheisyyteen, jotta takan lämpö saadaan tehokkaasti liikkeelle ja leviämään tasaisesti koko huoneistoon. Huomioitavaa on myös, ettei sisäyksikköä sijoiteta oleskeluvyöhykkeelle, olohuoneeseen sohvan päälle tai makuuhuoneeseen, jolloin ilmavirta tai melu saattaa häiritä. Sisäyksikköä ei tule sijoittaa keittiöön, sillä rasvaisessa ympäristössä suodattimet tukkeutuvat nopeasti laskien laitteen tehoa ja vähentäen käyttöikä. (4.)

### 2.3 Ilmalämpöpumpun ulkoyksikön sijoitus

Lämmityskaudella talvisin ulkoyksikön sijoituksella ilmansuunnan mukaan ei ole juurikaan merkitystä. Lämpötila talon ulkoseinustalla talvisin on lähes sama niin talon pohjois- kuin eteläpuolellakin, kun taas kesällä jäähdytyskäytössä ulkoyksikön olisi hyvä sijaita varjossa. Ulkoyksikön ympärille on jätettävä riittävästi tilaa, jotta ilma pääsee virtaamaan ulkoyksikön läpi. Vähimmäisetäisyydet ovat ulkoyksikön taakse yli 10 cm, sivuseinään yli 25 cm ja eteen tulee jättää yli 100 cm tilaa. Ulkoyksikköä ei tule sijoittaa suljettuun tilaan, sillä lämmityskäytössä ulkoyksikkö jäähdyttää suljetun tilan nopeasti jonka seurauksena hyötysuhde laskee. Ulkoyksikössä on liikkuvia osia, kuten kompressori ja puhallin, jotka voivat aiheuttaa resonanssia, ulkoyksikkö tulee siis kiinnittää niin, ettei rakenteisiin tule runkoääniä. Asennuskorkeudessa tulee ottaa huomioon, ettei ulkoyksikkö jää talvella lumen alle, Etelä-Suomessa 50–100 cm on suositeltu asennuskorko. Lämmityskäytössä ulkoyksikössä kondensoituu vettä jopa 10–20 litraa vuorokaudessa, joten liian korkealle asennettu ulkoyksikkö voi aiheuttaa ongelmia kondenssivesien roiskuessa seinälle. Ulkoyksiköstä kondensoituva ja sulava vesi kannattaa ohjata kauemmaksi seinästä esimerkiksi peltilevyillä, ettei seinän viereen valunut vesi kastele rakenuksen perusmuuria ja rapautu perustusta. (3; 4.)

Espoon rakennusvalvonta on laatinut ohjeen ilmalämpöpumpun sijoittamisesta. Ilmalämpöpumpun sijoittamiseen ei pääsääntöisesti tarvita lupaa, ellei rakennusta ole suojeltu asemakaavan tai rakennussuojelulain nojalla. Vaikka toimenpide ei ole luvanvarainen on otettava huomioon rakentamisesta annetut määräykset, rakentamistapaohjeet ja rakennettu ympäristö. Mikäli ilmalämpöpumpun sijoittamista ei suunnitella rakennuksen luonteeseen ja rakennuskuvaan soveluvaksi ja toimenpide rumentaa ympäristöä, voi rakennusvalvontaviranomainen velvoittaa kiinteistön haltijan purkamaan tai muuttamaan tehdyn toimenpiteen. Ilmalämpöpumpun aiheuttama melu pitää myös huomioida Suomen rakentamismääräyskokoelman C1 kohdan 4 mukaan, jossa rakennusta palvelevien LVIS-laitteiden aiheuttama keskiäänitaso saa olla enintään 45 dB saman tai läheisen rakennuksen ikkunan alapuolella, parvekkeella, pihamaalla tai muussa vastaavassa paikassa asuinalueella ja muilla melulle herkillä alueilla. (5; 6; 20.)

Kerros- ja rivitaloissa on syytä olla yhteydessä isännöitsijään, taloyhtiön hallitukseen sekä kunnan rakennusvalvontaan ennen ilmalämpöpumpun hankkimista, jotta voidaan varmistua, siitä ettei ilmalämpöpumpun asentamiselle ja käytölle ole esteitä.

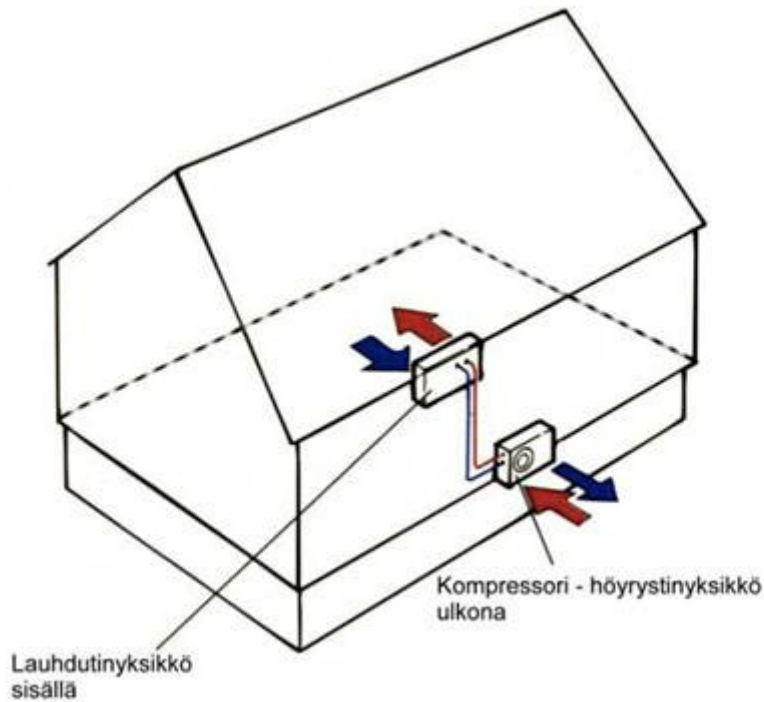
Espoon rakennusvalvonnan ohjeessa suositellaan ilmalämpöpumpun asentamista omakoti- ja rivitalon seinään pihanpuolelle siten, ettei se näy kadulle. Liike-, toimisto- ja teollisuusrakennuksissa ensisijainen sijoitus rakennuksen katolle, ettei se häiritse kaupunkikuvaa. Kerrostaloissa yksittäisiä huoneistoja palvelevat laitteet tulisi asentaa parvekkeen sisäpuolelle. (4; 5.)

#### 2.4 Ilmalämpöpumppujen teholuokat

Kuluttajille myytävien ilmalämpöpumppujen kokoluokat on ilmoitettu yleisesti esimerkiksi 9- ja 12-sarjan kokoluokkana. 12-sarjalla tarkoitetaan laitteen tuottamaa lämpöenergiämäärää, joka on 12 000 Btu (British thermal unit). Teholuokkien ilmoitus Btu-arvona on perua Pohjois-Amerikassa jäähdytyskonealalla vallinneesta käytännöstä, jossa 12 000 Btu/h on käytettävissä oleva yksikkö, joka tarvitaan sulattamaan yksi tonni (tässä short ton = n. 907 kg) jäätä 24 tunnissa. 1 000 Btu vastaa 0,293:a kilowattituntia. 12-sarjan laite vastaa siis noin 3,51 kW:a. Toiset valmistajat käyttävät tyyppimerkinnöissä metrijärjestelmän lukuja, jossa saman teholuokan n. 3,5 kW ilmoitetaan teholuokkana 35. (7.)

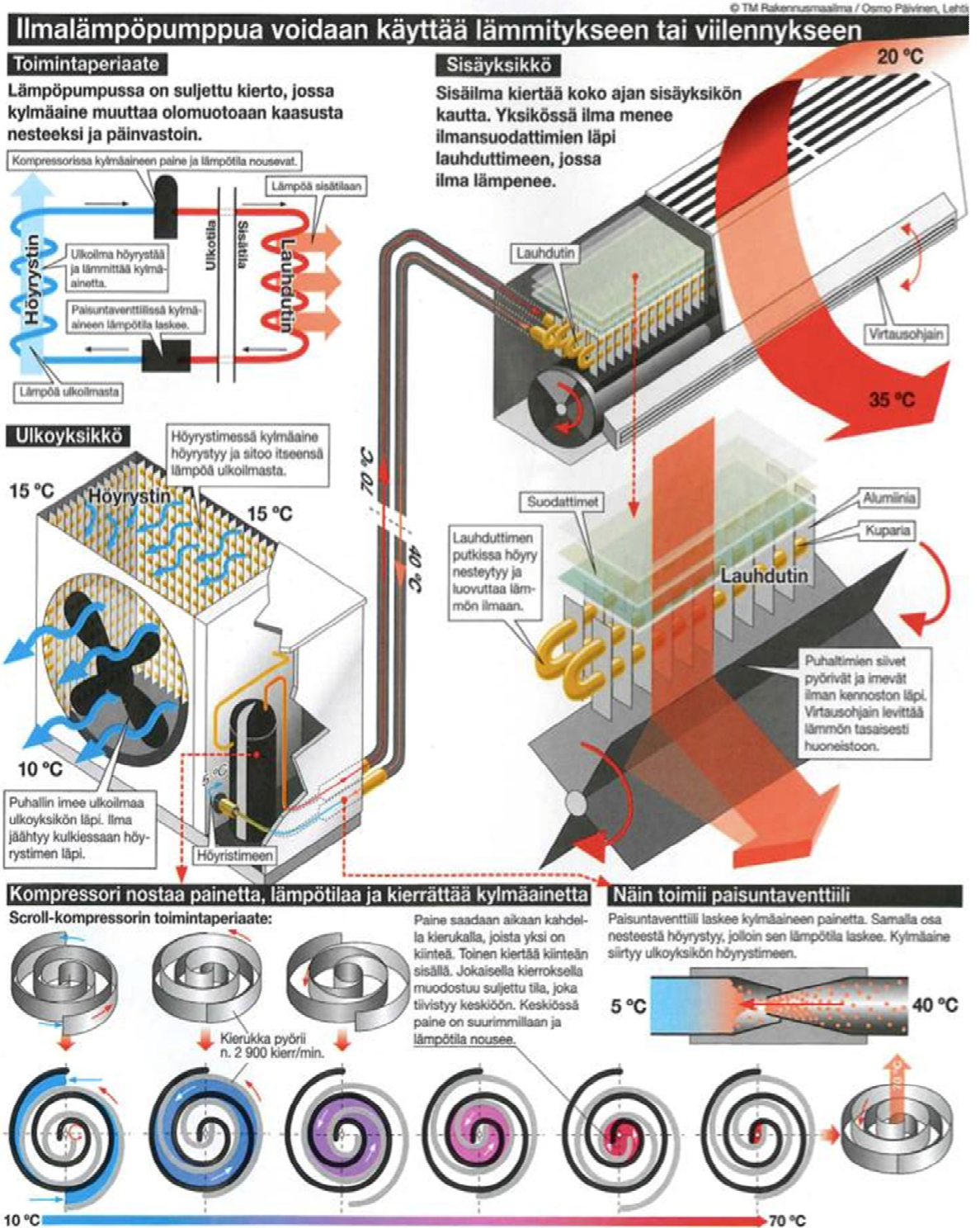
#### 2.5 Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate

Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate on lähellä jääkaapin ja pakastimen toimintaperiaatetta. Yksinkertaistettuna ilmalämpöpumppu kerää rakennuksen ulkopuolelta kylmemmästä ilmasta lämpöenergiaa ja johtaa sen rakennukseen sisälle, kuten kuvassa 2 on havainnollistettu.



Kuva 2. Ilma-ilma-lämpöpumpun toimintaperiaate (8)

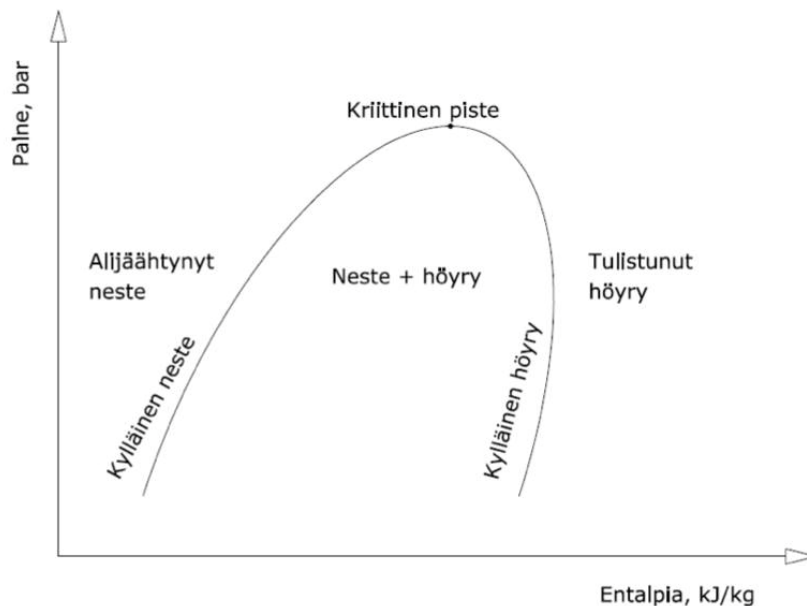
TM Rakennusmaailman julkaisussa 12/2013 kuvattiin kuvan 3 mukaisesti ilmalämpöpumpun toimintaa ja komponentteja. Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy sitoen lämpöä ulkoilmasta. Kompressori puristaa kylmäaineen korkeaan paineeseen nostaten kylmäaineen lämpötilaa. Lauhduttimessa höyry nesteytyy ja vapautunut lämpö johdetaan puhaltimen avulla huoneilmaan. Paine laskee paisuntaventtiilissä ja samalla kylmäaineen lämpötila laskee. (7.)



Kuva 3. Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate ja pääkomponentit (7)

## 2.6 Prosessin Log p, -h -tilapiirros

Kylmäaineen olomuoto ja kylmäprosessia havainnollistetaan Log p, -h -tilapiirroksella. Nimensä mukaan piirroksessa on pääasteikkoina, pystyasteikkona logaritminen paine (bar) ja vaaka-asteikossa entalpia eli lämpösisältö (kJ/kg). Kuvan 4 yksinkertaistetussa Log p, -h -piirroksessa selviää kylmäaineen olomuodot. Kylmäaineen rajakäyrä jakaa sen kolmeen olomuotoon, Kylläiseen nesteeseen, nesteen ja höyryn sekoitukseen sekä kyllläiseen höyryyn. Rajakäyrän huipulla sijaitsee kriittinen piste, jonka yläpuolella kaasu ei tiivisty nesteeksi, vaikka paine nousee. Prosesseja jotka tapahtuvat kriittisen pisteen yläpuolella, kutsutaan ylikriittisiksi. Esimerkiksi hiilidioksidilla (CO<sub>2</sub>) toteutetut kylmäprosessit ovat ylikriittisiä. Jokaiselle kylmäaineelle on yksilölliset tilapiirrokset.



Kuva 4. Kylmäaineen olomuodot Log p, -h -piirroksessa (9)

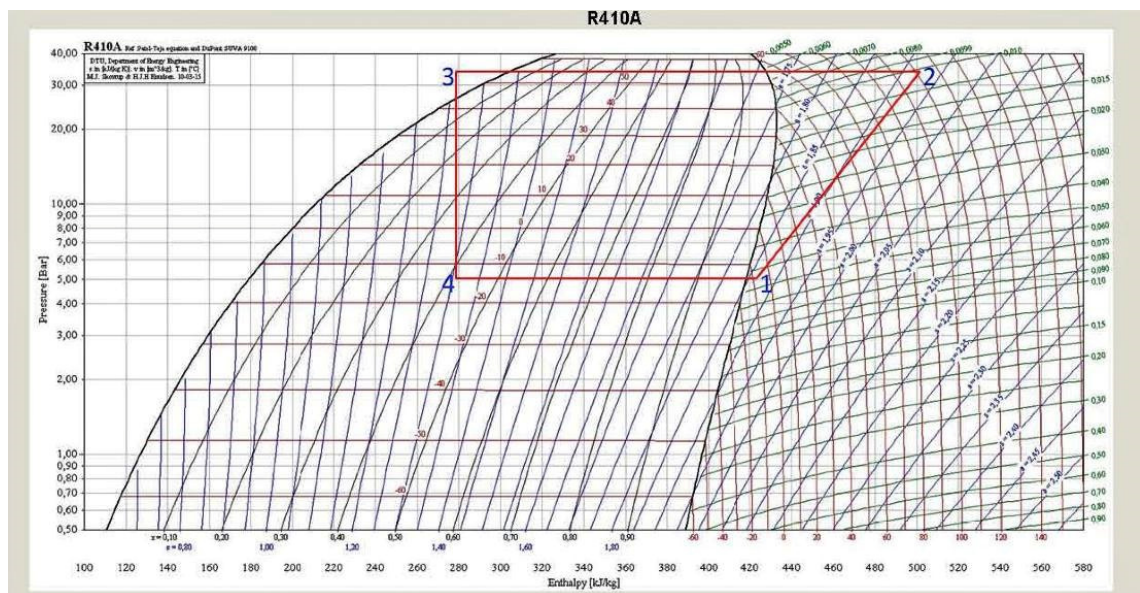
Log p, -h -tilapiirroksessa, jossa prosessi on piirretty, voidaan määrittää muun muassa

- käyntiolosuhteet
- lämpötilat eri toimintapisteissä
- olosuhteiden muutoksen vaikutus toiminta-arvoihin
- tulistus-, lauhtumis- ja alijäähtymislämmön osuus
- kylmäaineen massavirta

- kylmäaineen tilavuusvirta.

Kuvassa 5 on esitetty ilmalämpöpumpun Log p, -h -piirros, jossa on numeroin havainnollistettu pääkomponenttien vaikutus prosessiin:

- 1–2 kompressorin tekemä työ
- 2–3 lämmön poisto
- 3–4 paisuntaventtiilin tekemä työ
- 4–1 lämmön tuonti. (9.)



Kuva 5. Log p, -h -diagrammi R410a ja kiertoprosessi (10)

Log p, -h -tilapiirroksesta voidaan laskea lämpöpumpun lämpökerroin kaavalla 1.

$$\varepsilon L = \frac{(h_2 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \quad (1)$$

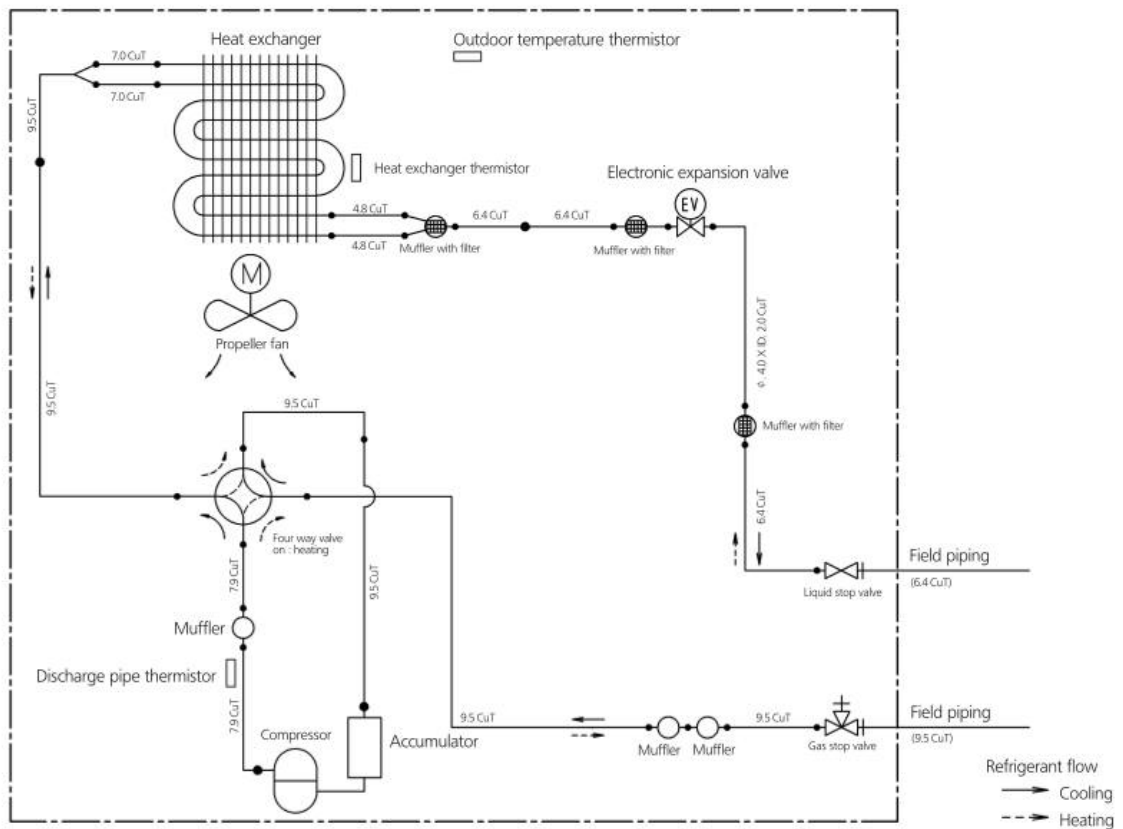
### 3 Pääkomponentit

Ilmalämpöpumppu koostuu mm. seuraavista komponenteista:

- kompressori
- höyrystin
- lauhdutin
- termistorit
- paisuntaventtiili
- puhallin
- kaasu ja nesteputkisto
- täyttö- ja sulkuventtiilit
- äänenvaimentimet.

Kuva 6 on tyypillisen ilmalämpöpumpun ulkoyksikön putkikaaavio. Kuvasta nähdään, että kylmäainepiirissä on useita äänenvaimentimia suodatintoiminnolla sekä termistoreja, jotka mittaavat putkiston, höyrystimen ja ulkoilman lämpötilaa. Termistorit ovat vastuksia, joiden resistanssi on lämpötilasta riippuvainen. Kuvasta nähdään myös paineputken ja nesteputken kokoerot, joka johtuu kaasumaisessa olomuodossa olevan kylmäaineen tarvitsemasta tilavuudesta. Paineputken halkaisijan ollessa 9,5 CuT on nesteputken halkaisija 6,4 CuT. Kuva on rajattu ulkoyksikköön, field piping kuvastaa putkilinjaa sisäyksikölle.

## RXS20-35K



Kuva 6. Daikin RXS20-30 -putkikaaviokuva

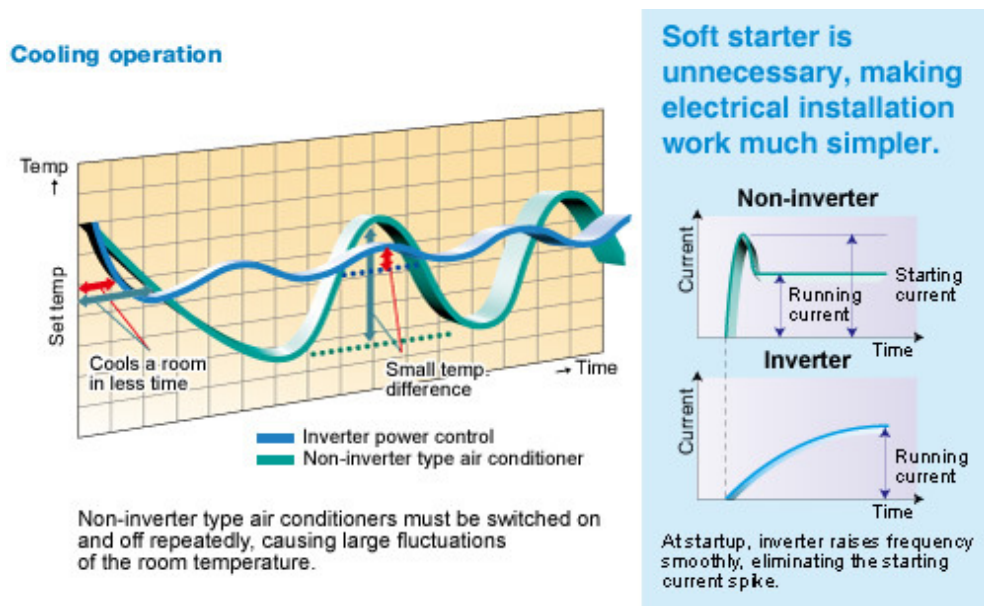
### 3.1 Kompressori

Kompressorin tehtävä on puristaa kylmäainepiirissä kiertävä kylmäaine korkeassa paineessa lauhduttimelle. Paineennousun seurauksena kylmäaineen lämpötila kasvaa voimakkaasti.

#### Kompressorin säätö

Kompressoria voidaan ohjata joko ON/OFF-periaatteella sekä invertteriohjauksella. ON/OFF-säätöinen kompressori käynnistyy termostaatin mukaan käyden täydellä teholla, kunnes haluttu lämpötila on saavutettu ja kompressori sammuu. Jatkuva kompressorin käynnistys kuluttaa kompressoria ja vähentää sen käyttöikää, ON/OFF-säätöinen kompressori aiheuttaa virtapiikin sekä melua käynnistyessään.

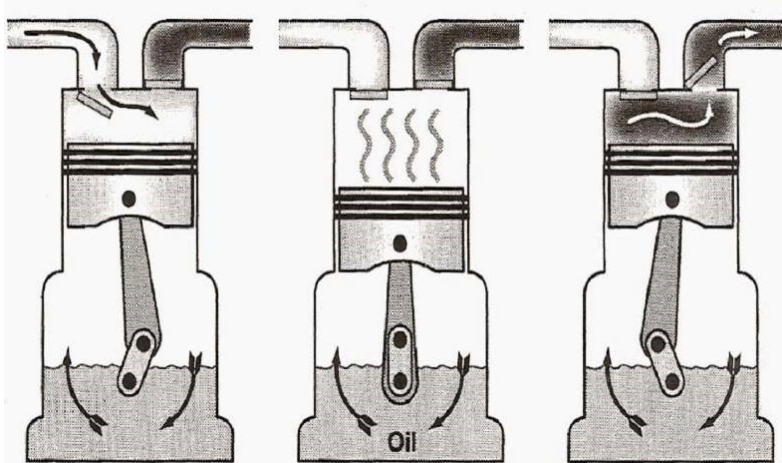
Invertterisäätö perustuu sähköverkosta saadun vaihtosähkön (50Hz) taajuuden muuntamiseen tarpeen mukaiseksi, kompressorin käy tasaisemmin ilman toistuvia pysähtymisiä ja käynnistymisiä. Taajuutta voidaan muuttaa tehontarpeen mukaan sopivaksi 20–110 Hz (11, s. 28). Kompressorin käyttöikä pitenee, kompressorin käynnistys ei aiheuta virtapiikkiä ja melu vähenee. Kuvassa 7 on esitetty ON/OFF-ohjattu lämpöpumppu vihreällä värillä ja invertteri-ohjattu lämpöpumppu sinisellä värillä. Kuvasta voidaan todeta, invertteri-ohjatun kompressorin eduiksi tasaisempi käyntinopeus, tasaisempi sisäilman lämpötila sekä se, ettei se aiheuta virtapiikkiä käynnistyessään kuten ON/OFF-ohjattu kompressorin aiheuttaa.



Kuva 7. ON/OFF- ja invertteri-ohjatun kompressorin käyntierot (12)

### 3.1.1 Mäntäkompressorin

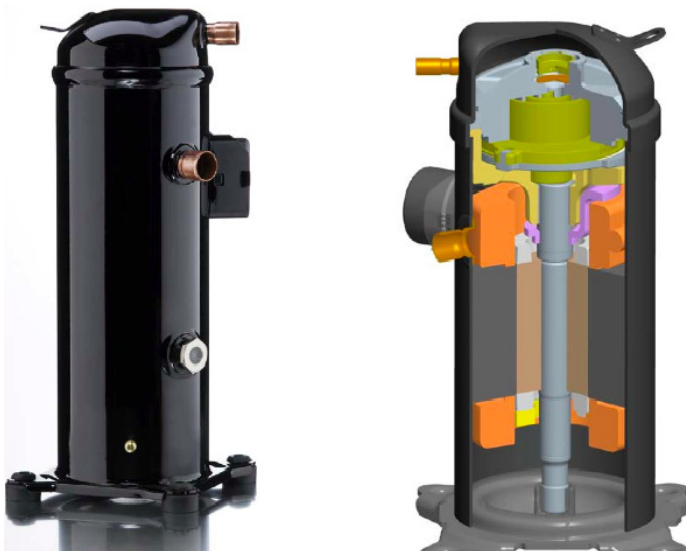
Mäntäkompressorin on yleisin kompressorityyppi, mutta harvinainen lämpöpumpuissa. Mäntäkompressorissa kampiakseli ja kiertokanki liikuttavat mäntää edestakaisin sylinterissä. Kuvassa 8 on havainnollistettu mäntäkompressorin toiminta. Männän liikkuessa alaspäin imuventtiili avautuu ja kylmääainetta virtaa sylinteriin, kun männän suunta muuttuu ylöspäin, se puristaa kylmääainetta suureen paineeseen ja lämpötilaan, jolloin paineventtiili avautuu ja kylmääainetta virtaa paineputkeen.



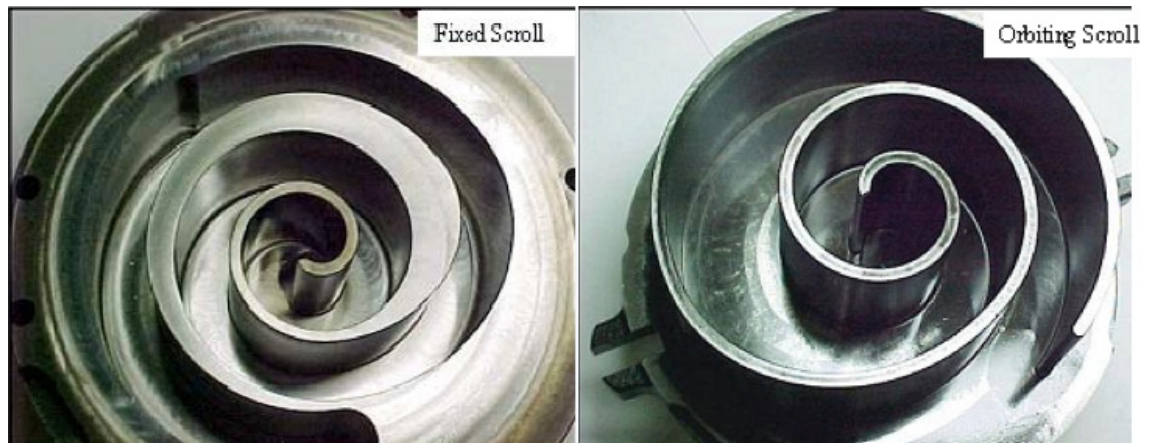
Kuva 8. Mäntäkompressorin toimintaperiaate (13)

### 3.1.2 Scroll-kompressori

Scroll-kompressori eli kierukkakompressori (kuva 9) on monelta osin mäntäkompressoria kehittyneempi. Rakenteeltaan kierukkakompressori on yksinkertainen, liikkuvia osia on vähän, mikä tekee siitä luotettavan ja pitkäikäisen. Kierukkakompressorissa ei ole venttiilejä joten sen käyntiääni on mäntäkompressoria hiljaisempi. Kierukkakompressorin toiminta perustuu kahteen kierukkaan, joista toinen on koko ajan paikoillaan ja toinen tekee pientä kiertoa kiertoliikettä kuitenkaan kääntymättä lainkaan. Kuvassa 10 on esitetty kierukoiden rakenne.

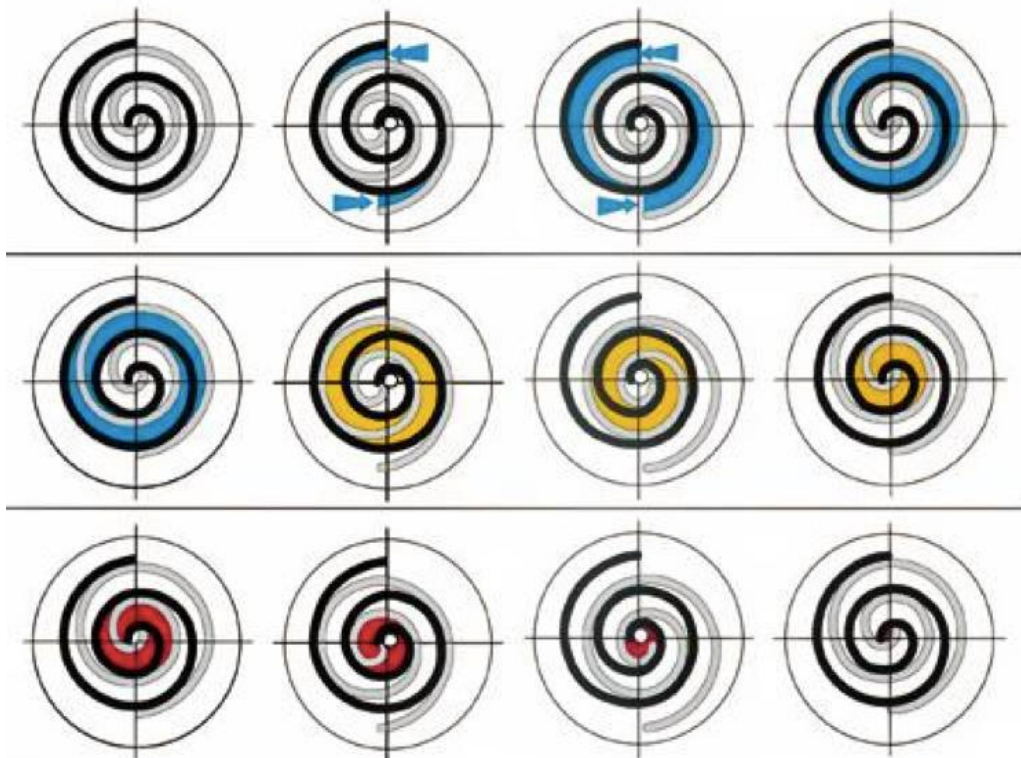


Kuva 9. Kierukkakompressori (14)



Kuva 10. Kierukoiden rakenne (14)

Kuvassa 11 on esitetty kierukkakompressorin kylmäaineen virtaus yksinkertaistettuna kahden kylmäaine-erän osalta, kylmäaineen läpivirtaus tapahtuu kolmen kierroksen aikana. Kierroksella 1 scroll imee viileän kylmäaineen ulkokehältä avautuvista aukoista ja sulkeutuu. Toisella kierroksella kylmäainehöyryä puristetaan lähemmäksi scrollin keskustaa, samalla sen tilavuus pienenee ja lämpötila kasvaa. Viimeisellä kierroksella kylmäainetta puristetaan lisää kohti scrollin keskustaa, ja kuumennut kylmäainehöyry poistuu scrollin keskeltä paineputkea pitkin eteenpäin. (3, s. 46–48; 14.)



Kuva 11. Scroll-kompressorin toimintaperiaate (14)

3.1.3 Twin rotary -kompessori

Twin rotary -kompessori eli vapaasti suomennettuna kaksoisrotaatio kompressor on kaksinokkainen pyörivä kompressor. Twin rotary -kompessorin toiminta perustuu yhden akselin ympärillä kahteen 180°:n vaihe-erolla pyöriviin mäntiin omissa puristuskammioissaan ja itsenäisillä imuputkillaan. 180°:n vaihe-ero vähentää keskipakovoimaa, laakereiden mekaanista rasitusta, värähtelyä ja melutasoa, kuten kuvan 12 esimerkeissä on kuvattu. Twin rotary kompressorin toiminta-alue on laaja, noin 12–150 Hz (720–9 000 rpm). (15.)

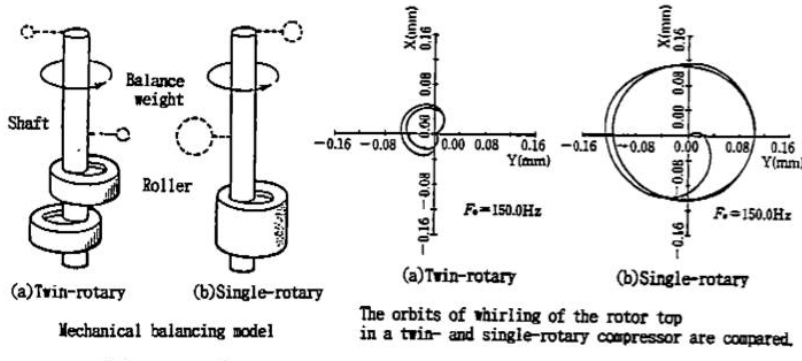


Figure 2

Figure 3

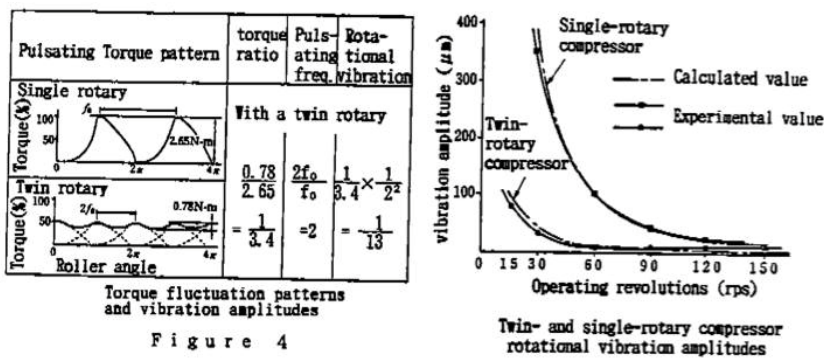
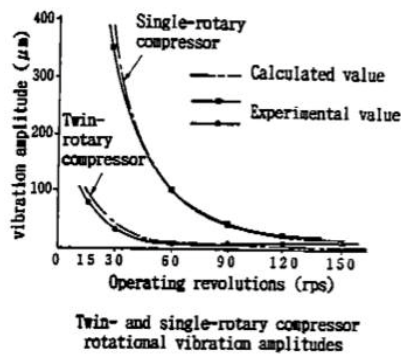


Figure 4



Kuva 12. Kaksoisrotaatiokompessori verrattuna rotaatiokompessoriin (15)

### 3.2 Oikosulkumoottori

Lämpöpumpun kompressoria tarvitsee toimiakseen oikosulkumoottorin. Oikosulkumoottori ja kompressori on usein suljettu hermeettisesti tiiviiseen suojakuoreen, joka ei päästä epäpuhtauksia ulkopuolelta kompressoriin. Hermeettinen kuori toimii myös eristeenä, eikä päästä paljoakaan moottorin hukkalämpöä prosessista pois, vaan se kulkeutuu kylmäaineen mukana lämmityskohteeseen parantaen hyötysuhdetta. (3.)

### 3.3 Höyrystin

Ilmalämpöpumpupiirissä höyrystin sijoitetaan ulos, mahdollisimman lähelle sisäyksikköä, jotta putkimatkat ja lämpöhäviöt eivät kasva huonontaan prosessin tehokkuutta. Kylmäaine höyrystyy höyrystimessä ja sitoo olomuodonmuutoksessa lämpöä ulkoilmasta.

### 3.4 Lauhdutin

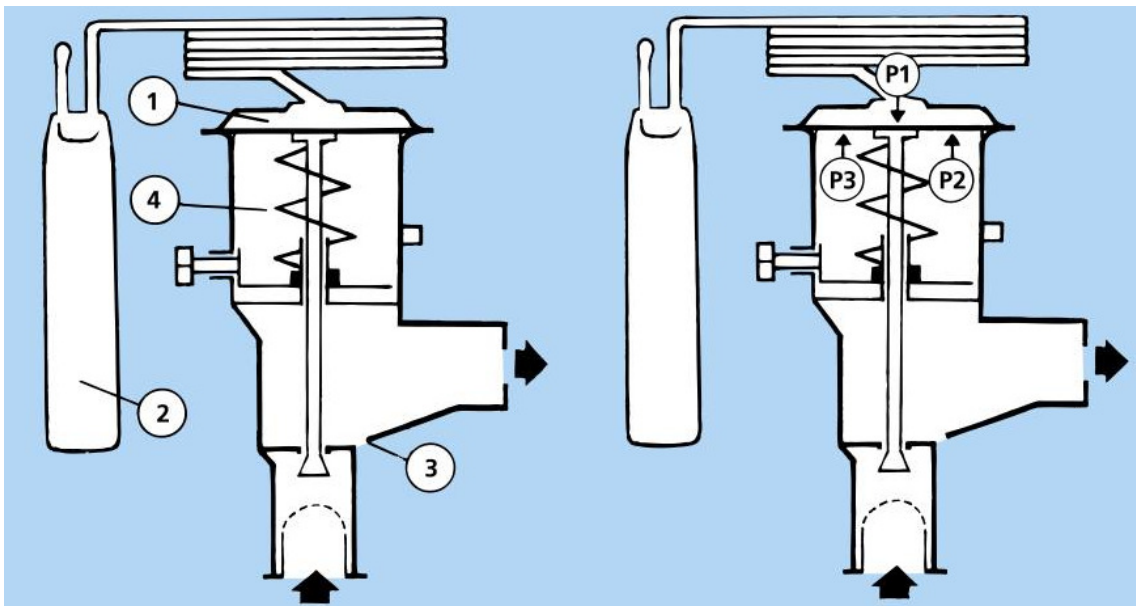
Lauhdutin sijaitsee ilmalämpöpumpun sisäyksikössä. Kompressorilta tuleva kaasumainen kylmäaine johdetaan lauhduttimelle. Lauhduttimen tehtävä on luovuttaa kaasun lämpöenergia sisäilmaan läpivirtaavan sisäilman avulla, ja näin ollen levittää lämpöä huoneistoon. Kun kylmäaine on luovuttanut lämpönsä, se muuttuu olomuotoaan kaasusta nesteeksi.

### 3.5 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiili laskee lauhduttimelta tulevan korkeapaineisen kylmäaineen paineen höyrystimen paineeseen, jolloin kylmäaineen lämpötila laskee ympäristön lämpötilaa alhaisemmaksi. Paineenalennus tapahtuu siten, että kylmäaineen entalpia pysyy muuttumattomana. Paisuntaventtiilit voidaan jakaa kahteen tyyppiin: termostaattisiin ja elektroniisiin paisuntaventtiileihin. (15.)

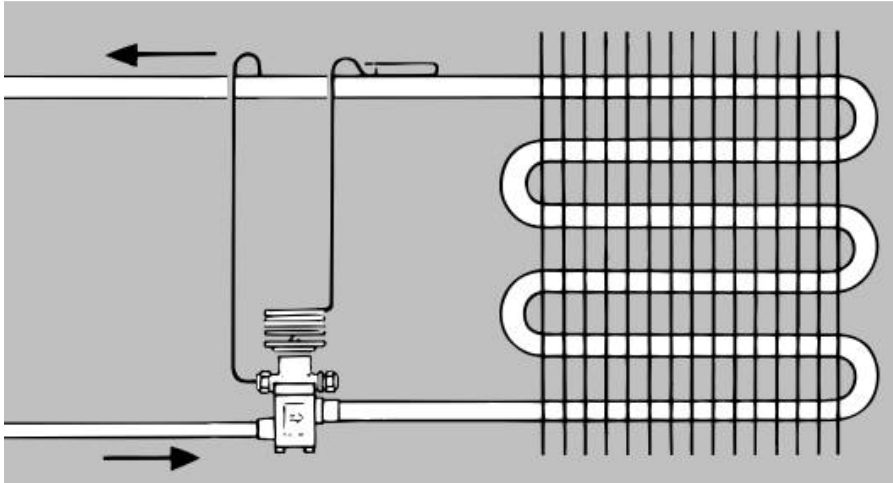
### 3.5.1 Termostaattinen paisuntaventtiili

Termostaattinen paisuntaventtiili koostuu termostaattisesta elementistä ja venttiilirongosta, jotka on erotettu toisistaan kalvolla. Anturi on yhdistetty termoelementtiin kapilaariputkella. Rungossa on venttiili-istukka ja jousi. Kuvassa 13 on esitetty termostaattisen venttiilin osat ja toiminta. Kuvassa osanumeroinnit: 1. venttiilirunko, 2. anturi, 3. venttiili-istukka ja 4. jousi. Termostaattista paisuntaventtiiliä ohjaa kolme eri peruspainetta. Kalvon yläpuolinen anturipaine (P1) avaa venttiiliä. Kalvon alapuolinen höyrystinpaine (P2) sekä jousipaine (P3) sulkee venttiiliä. Paisuntaventtiilin säätäessä vallitsee tasapaino kalvon yläpuolisen anturipaineen (P1) sekä kalvon alapuolella vaikuttavien höyrystymispaineen (P2) ja jousipaineen (P3) välillä. Tulistusta säädetään jousen avulla. (16.)



Kuva 13. Termostaattisen paisuntaventtiilin rakenne ja toiminta (16)

Termostaattiseen paisuntaventtiiliin tulee asentaa ulkoinen paineentasaus, jos käytetään nestejakajaa tai höyrystimen painehäviö on suurempi kuin paine, joka vastaa 2 K:ta. (16.) Kuvassa 14 on esitetty paisuntaventtiilin asennus ulkoisella paineentasausputkella ja lämpötila-anturilla.



Kuva 14. Paisuntaventtiili ulkoisella paineentasauksella (16)

### 3.5.2 Elektroninen paisuntaventtiili

Elektroninen paisuntaventtiili (kuva 15) koostuu säätimestä, sähköisesti toimivasta venttiilistä sekä lämpötila- ja paineanturista. Se on kehittyneempi kuin tavallinen termostaattinen paisuntaventtiili. Se on nopeatoimisempi, eikä se tarvitse erillistä paineentasausta. Elektronisella paisuntaventtiilillä saavutetaan korkeampi höyrystyslämpötila kuin termostaattisella paisuntaventtiilillä, joten höyrystinteho on suurempi ja hyötysuhde parempi. Elektroninen paisuntaventtiili mukautuu tarkasti vaihteleviin olosuhteisiin ja säätelee virtaaman tarpeenmukaiseksi.



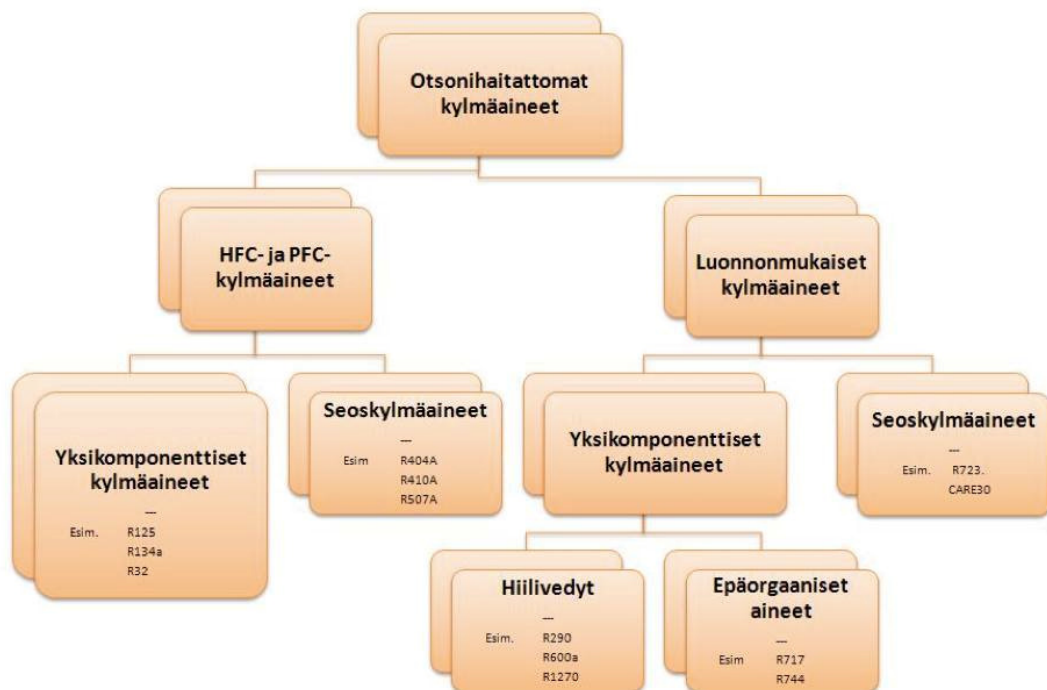
Kuva 15. Elektroninen paisuntaventtiili

## 4 Kylmäaineet

Kylmäaineet ovat nesteytettyjä kaasuja, joita käytetään lämpöenergian siirtoon paikasta toiseen. Kylmäaineiden käyttö lämpöpumpuissa perustuu niiden kykyyn ottaa vastaan lämpöenergiaa ympäristöstä, jolloin ne muuttavat olomuotoa nestemäisestä kaasumaiseksi. Luovuttaessaan lämpöä ympäristöön kylmäaineiden olomuoto muuttuu kaasumaisesta nestemäiseksi. Näitä olomuodon muutoksia hyväksikäyttäen pystytään siirtämään suuriakin lämpömääriä pienellä kylmäaineen massavirralla. (17.)

### 4.1 HFC-kylmäaineet

HFC-kylmäaineet (Hydro-Fluoro-Carbon) ovat yleisiä kylmäaineita ilmalämpöpumpuissa, ne ovat osittain halogenoituja hiilivetyjä, jotka sisältävät fluoria, hiiltä ja vetyä. Ne ovat otsonikerrokselle haitattomia yhdisteitä, mutta niillä on suuri ilmastoa lämmittävä vaikutus (GWP). (4.) Suosituimpia HFC-kylmäaineita ovat olleet R-134a, R-404A, R-407C ja R-410A. Näistä R-134a on puhdas aine, ja loput ovat erilaisia seoksia ja koostuvat yleensä komponenttien yhdisteistä. Kuvassa 16 on esitetty otsonihaitattomien kylmäaineiden taulukko.



Kuva 16. Otsonihaitattomat kylmäaineet ja niiden yhdisteet (10)

Taulukoissa 1 ja 2 on lämpöpumpuissa yleisimmin käytettävien kylmäaineiden R407C ja R410A luokitukset ja ominaisuudet.

Taulukko 1. R407C-kylmäaineen ominaisuudet (18)

	R407C
seos	R32/R125/R134a
koostumus [m-%]	23/25/52%
molekyylipaino [g/mol]	86,2
kiehumispiste [°C]	-43,8
kriittinen lämpötila [°C]	86,7
kriittinen paine [bar]	46,2
ODP	0
GWP	1520
turvaluokka	A1
liukuma	7,5...3,5 °C
yhteensopivat öljyt	AB, POE, PVE, PAG

Edut:

- alhainen puristusaine
- hyvä kylmäkerroin
- melko alhainen GWP-luku

Haitat:

- suuri lämpötilaliukuma

Taulukko 2. R410A-kylmäaineen ominaisuudet (18)

	R410A
seos	R32/R125
koostumus [m-%]	50/50%
molekyylipaino [g/mol]	72,6
kiehumispiste [°C]	-51,6
kriittinen lämpötila [°C]	74,7
kriittinen paine [bar]	51,7
ODP	0
GWP	1720
turvaluokka	A1
liukuma	0,1 °C
yhteensopivat öljyt	AB, POE, PVE, PAG

Edut:

- hyvä tilavuustuotto
- laaja käyttöalue
- melko alhainen GWP-luku

Haitat:

- korkea puristusaine
- suuri tulistuminen puristuksessa

Taulukoissa 1 ja 2 mainitut yhteensopivat öljyt ovat lyhenteinä:

- AB on alkylibetseniöljy
- POE on polyesteriöljy
- PVE on polyvinyliesteriöljy
- PAG on polyalkyleeniglykoliöljy.

#### 4.2 GWP (Global Warming Potential)

Kylmäaineille ilmoitetaan GWP-luku, joka kuvaa kylmäaineen kasvihuonekaasujen vaikutusta ilmastonmuutokseen tietyllä tarkastelujaksolla, yleensä tarkastelujakson pituutena käytetään 100 vuotta. Asteikko on 0:sta ylöspäin. Vertailuarvona kasvihuonehaitallisuudessa käytetään hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) GWP-lukua, joka on 1,0. Mitä suurempi luku on, sitä haitallisempi kasvihuonekaasu on kyseessä. (18.)

#### 4.3 ODP (otzone Depletion Potential)

ODP kuvaa kylmäaineen suhteellista otsonihaitallisuutta (Ozone Depletion Potential). Vertailuarvona otsonihaitallisuudessa käytetään kylmäaineen R11 lukua, jolle on annettu arvo 1,0. Asteikko on 0–1,0. Nykyään käytettävien kylmäaineiden ODP-luvun täytyy olla 0. (18.)

#### 4.4 Kylmäaineiden turvallisuusluokitus

Kylmäaineet jaetaan myrkyllisyytensä ja syttymisherkkyytensä mukaan ryhmiin. Amerikkalainen LVIJ-tekniikan etujärjestö ASHRAE myöntää kylmäaineille viralliset turvallisuusluokitukset. (18.)

##### 4.4.1 Kylmäaineiden myrkyllisyysluokitukset

Kylmäaineet jaetaan ryhmän A ja ryhmän B turvaluokkaan niiden myrkyllisyyden mukaan. Ryhmän A kylmäaineilla ei ole haittavaikutuksia ihmisiin, kun kylmäaineen keskipitoisuus on työpäivän ja -viikon aikana jatkuvasti  $\geq 400$  ppm. Ryhmän B kylmäaineilla tunnetaan haittavaikutuksia ihmisiin, kun kylmäaineen keskipitoisuus ilmassa on työpäivän ja -viikon aikana jatkuvasti yli 0 ppm, mutta alle 400 ppm. (18.)

#### 4.4.2 Kylmäaineiden syttymisherkeysluokitus

Kylmäaineet jaetaan kolmeen ryhmään niiden syttymisherkeyden mukaan. Syttymisherkeydellä tarkoitetaan kylmäaineen alemmaa syttymisrajaa. Alempi syttymisraja on kylmäaineen minimipitoisuus, joka aiheuttaa liekin syttymisen kylmäaineen ja ilman homogeenisessa seoksessa ilmakehän paineessa ja huonelämmössä.

- Ryhmä 1 Kylmäaineet, jotka eivät muodosta ilman kanssa syttyvää seosta millään pitoisuudella.
- Ryhmä 2 Kylmäaineet, jotka muodostavat ilman kanssa syttyvän seoksen, kun kylmäaineen pitoisuus ilmassa on  $\geq 3,5$  tilavuusprosenttia.
- Ryhmä 3 Kylmäaineet, jotka muodostavat ilman kanssa syttyvän seoksen, kun kylmäaineen pitoisuus ilmassa on alle 3,5 tilavuusprosenttia. (18.)

## 5 Lämpöpumpun huolto

Lämpöpumppua tulee huoltaa säännöllisesti. Lämpöpumpun sisäyksikön ilmansuodattimet tulee puhdistaa sisäilman pölyisyydestä riippuen noin kahden viikon välein, jotta paine-ero suodattimessa ei kasva pienentäen ilmavirtaa lauhduttimen läpi ja laskien pumpun hyötysuhdetta. Suodattimet voidaan puhdistaa imuroimalla tai pesemällä ne vedessä. Kun suodatin pestään vedellä, se tulee kuivattaa huolellisesti ennen takaisin asentamista. Kuvassa 17 on imuroitu suodatin oikealla ja likainen suodatin vasemmalla puolella. Pumpun allergiasuodattimet tulee puhdistaa kahdesti vuodessa, ja ne on uusittava rikkoutuessaan tai kolmen vuoden välein. Kun suodattimet pidetään puhtaina, pysyy pumpun teho korkeana, huoneilman laatu paranee ja ilmalämpöpumpun käyttöikä pitenee. Lämpöpumppuvalmistajien käyttöohjeissa on neuvottu oikeaoppinen suodattimien ja lämmönvaihtimen puhdistus. (3.)



Kuva 17. Likainen ja puhdistettu suodatin

## 6 COP-lämpökerroin

COP-arvo (coefficient of performance) kuvaa ilmalämpöpumpun tuottaman lämpöenergian suhdetta sen kuluttamaan energiaan. Esimerkiksi COP-arvon ollessa 3 tuottaa ilmalämpöpumppu kolmen kilowattitunnin edestä lämpöä ottaessaan sähköverkosta yhden kilowattitunnin. Ilmalämpöpumppuvalmistajat ovat vakiinnuttaneet käytännön ilmoittaa COP-lämpökertoimen standardin Eurovent-standardin mukaisesti +7 °C:n lämpötilassa ja 80 %:n suhteellisessa kosteudessa. Lämpötilassa +7 °C ilmoitettu COP-arvo ei välttämättä kerro lämpöpumpun lämpöhyötysuhteesta Suomen lämmityskaudella, kun ulkoilman lämpötila laskee pakkaselle. Eurovent-standardi johtaa siihen, että valmistajat säätävät lämpöpumppujen COP-lämpökertoimet korkeimmiksi +7 °C:n lämpötilalla, jolloin ulkoilmassa on paljon lämpöenergiaa, jotta voidaan ilmoittaa mahdollisimman suuri COP. Eurovent-standardin mukaan ilmoitetut lämpöpumppujen COP-arvot eivät siis ole Suomen lämmityskäytössä vertailukelpoisia. Lämpöpumppuvalmistajista ainakin Mitsubishi mittauttaa lämpöpumppujensa ominaisuudet VTT:llä soveltaen standardia SFS-EN 14511, jolloin kuluttajilla on mahdollista nähdä pumpun ominaisuudet eri lämpötiloilla.

Lämpöpumpun häviötön lämpökerroin on nimeltään Carnot'n lämpökerroin (kaava 2). Carnot'n lämpökertoimessa ei ole otettu huomioon lämpöpumpussa tapahtuvia häviöitä, vaan se on teoreettinen maksimiarvo annetuilla absoluuttisilla lauhtumis- ja höyrystymislämpötiloilla. (22.)

$$COP_{carnot} = \frac{T_2}{(T_2 - T_1)} \quad (2)$$

$COP_{carnot}$  on Carnot'n lämpökerroin.

$T_1$  on lämpötila, josta lämpö kerätään eli ulkoilman, maan tai veden lämpötila (Kelvin-yksikössä).

$T_2$  on kylmäaineen lauhtumislämpötila eli sisäilman tai kiertoveden lämpötila (Kelvin-yksikössä).

Esimerkkinä lasketaan kaavan 3 mukaisesti teoreettinen Carnot'n lämpökerroin, kun ulkoilman lämpötila  $T_1$  on 0 °C eli 273,15 K ja kylmäaineen lauhtumislämpötila  $T_2$  on 50 °C eli 323,15 K saadaan teoreettiseksi Carnot'n lämpökertoimeksi:

$$COP_{carnot} = \frac{323,15 \text{ K}}{(323,15 \text{ K} - 273,15 \text{ K})} = 6,46 \quad (3)$$

Teoreettinen lämpökerroin 6,46 kertoo, että lämpöpumppu tuottaa kuluttamaansa energiaan nähden 6,46-kertaisen määrän lämmitysenergiaa, eli kuluttaessaan yhden kilowattitunnin tuottaa ilmalämpöpumppu yhden kilowattitunnin lisäksi 5,46 kilowattituntia "ilmaista" lämpöenergiaa. Carnot'n lämpökerroin ei kuitenkaan vastaa todellista lämpökerrointa, sillä siinä oletetaan kompressorin ja muiden lämpöpumpun komponenttien toimivan 100 %:n hyötysuhteella. Lämpöpumpun todellinen lämpökerroin on noin 0,4–0,5 x Carnot'n lämpökerroin riippuen kylmäaineesta ja kompressorin hyvydestä sekä muista häviöistä. (3, s. 32; 22.)

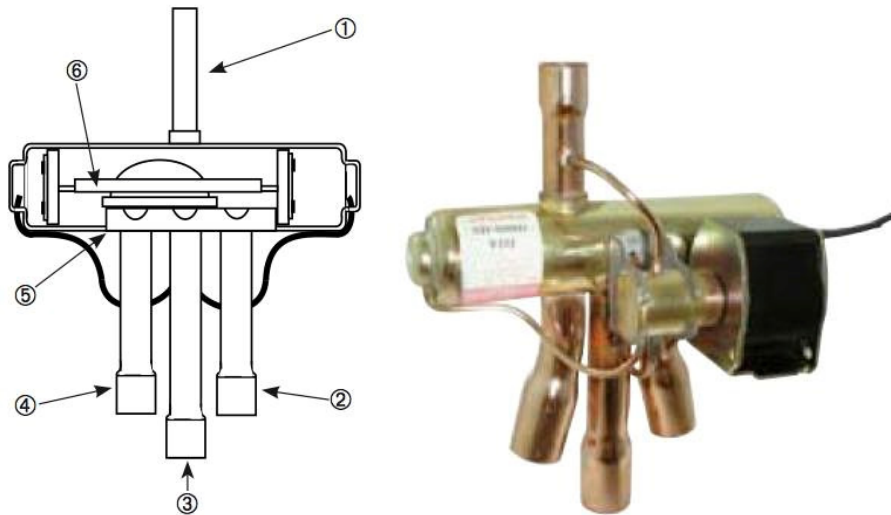
## 7 Kuumakaasusulatus

Lämmityskäytössä ulkoilman sisältämä kosteus kondensoituu höyrystimen pinnalle. Kun höyrystimen pintalämpötila alittaa 0 °C, vesihöyry kondensoituu höyrystimen pinnalle suoraan jääksi eli härmistyy. Höyrystimen jäätymiseen vaikuttavat ilman suhteellinen kosteus, höyrystimen lämpötila sekä lamelliväli. Lamellien jäätyessä höyrystimen paine-ero höyrystimen läpi kasvaa sekä ilmavirta pienenee, mikä johtaa höyrystimen tehon laskemiseen. Höyrystin on sulatettava, jotta lämmitysprosessi toimii oikein, ilma virtaa lamellien läpi ja lämpöä siirtyy tehokkaasti. Haasteelliset olosuhteet ilmalämpöpumpulle ovat ulkolämpötilan laskiessa lähelle nollaa ja kun suhteellinen kosteus on suuri. Ulkoyksikkö voi siis jäätyä lämpötilan ollessa nollan yläpuolellakin, kunhan höyrystimen pintalämpötila alittaa 0 °C.

Kuumakaasusulatus on yleisin sulatustapa kotitalouksiin myytävissä lämpöpumpuissa. Kotitalouksiin myytävissä ilmalämpöpumpuissa on usein aikaohjattu sulatus ulkoilman lämpötilan mukaan. Kun sulatetaan automatiikan mukaan, joka seuraa pelkästään ulkoilman lämpötilaa, on kyseenalaistettava, onko jokainen sulatus tarpeellinen. Sulatuksen aikana kylmäprosessi käännetään 4-tieventtiin avulla jäähdyttämään sisäilmaa ja lämmittämään ulkoyksikköä. Sulatukseen käytetty sähköenergia kuluu kokonaan sulatukseen, joten se lasketaan hukkaenergiaksi. Jokainen sulatus huonontaa lämpöpumpun lämpökerrointa, olisi siis tärkeää ohjata lämpöpumppu sulatukselle vain tarpeen vaatiessa. (3.)

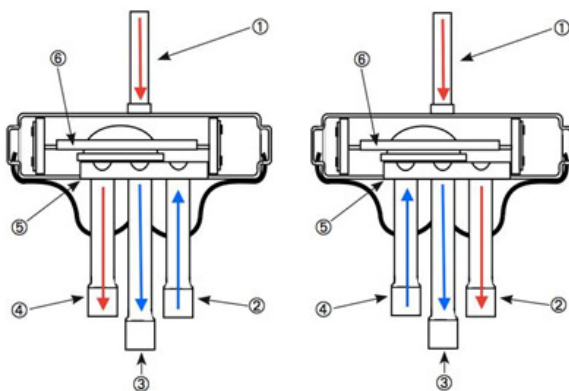
Kuvassa 18 on esitetty 4-tieventtiin rakenne. Oletetaan, että liitos 2 on höyrystinliitos ja liitos 4 on lauhdutinliitos. Numeroidut liitokset 1–4 kuvaavat kylmäainepiiriliitoksia. Kylmäainevirran suuntaa muutetaan luistin 6 avulla kiertämään paineputken liitoksesta

1. Paineputken liitäntä
2. Höyrystin-/lauhdutinliitäntä
3. Imuliitäntä
4. Lauhdutin-/höyrystinliitäntä
5. Venttiilin runko
6. Luistimekanismi



Kuva 18. 4-tieventtiili (Danfoss)

Kuvassa 19 on esitetty 4-tieventtiilin toiminta kylmäainepiirissä. Vasemmanpuoleinen 4-tieventtiili kuvaa lämmityskäyttöä, jolloin kuumakaasu on johdettu sisäyksikön lauhdittimelle, ja oikeanpuoleinen jäähdytys (sulatus) toimintoa, jolloin kuumakaasu johdetaan ulkoyksikön höyrystimelle, joka toimii lauhdittimena. Luistin 6 avulla ohjataan kompressorista tuleva kuuma kylmäainehöyry joko lauhduttimelle lämmittämään sisäilmaa tai höyrystimelle sulattamaan höyrystin.



Kuva 19. 4-tieventtiilin toiminta

Mitsubishi MSZ-FD25VA + MUZ-FD25VAH -ilmalämpöpumpun käyttöohjeessa on mainittu sulatuksen kestoksi noin 10 minuuttia.

## 8 Elinkaari

Suomen lämpöpumppuyhdistys (SULPU) määrittelee ilmalämpöpumpun elinkaareksi noin 10–15 vuotta käytön määrästä riippuen. Elinkaareen vaikuttavat myös tehdyt tehdyt huollot ja tarkastukset. Lämpöpumpun elinkaareen vaikuttavat myös suuresti jo asennusvaiheessa huolellisesti suoritettu tyhjiöinti sekä oikea kylmäainemäärä. Nämä takaavat kompressorin voitelun ja täten kompressorille pitkän käyttöiän. Laitteen elinkaaren turvaamiseksi kannattaa käyttää ammattitaitoista asentajaa.

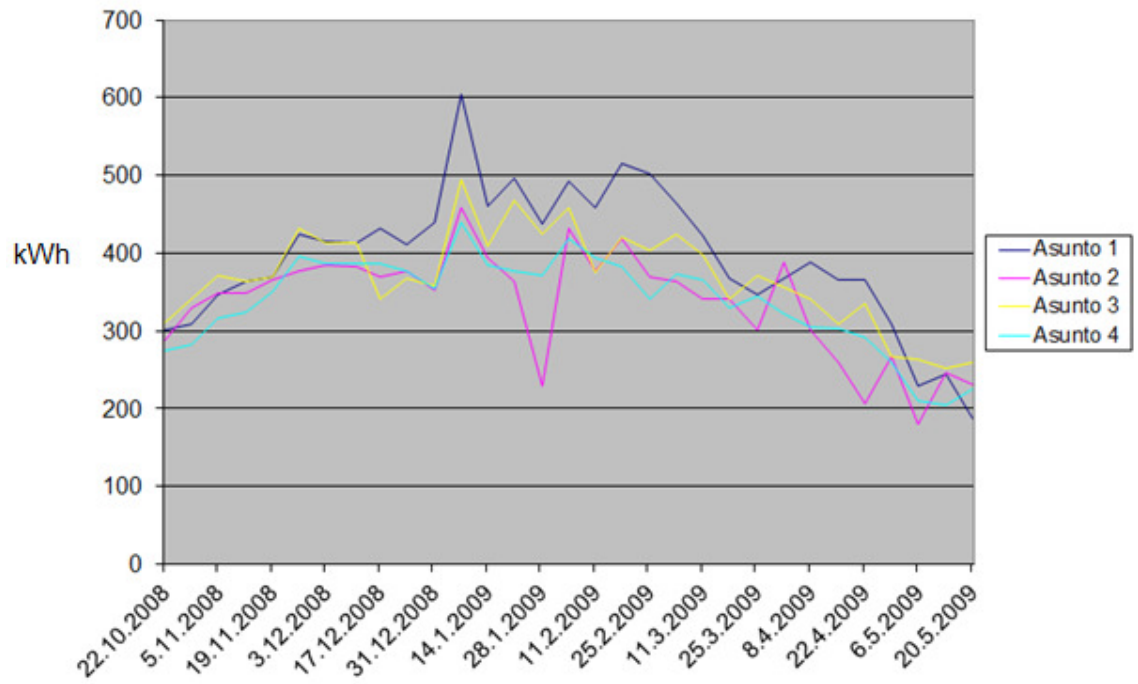
## 9 Kohdekiinteistö

### 9.1 Rakennus

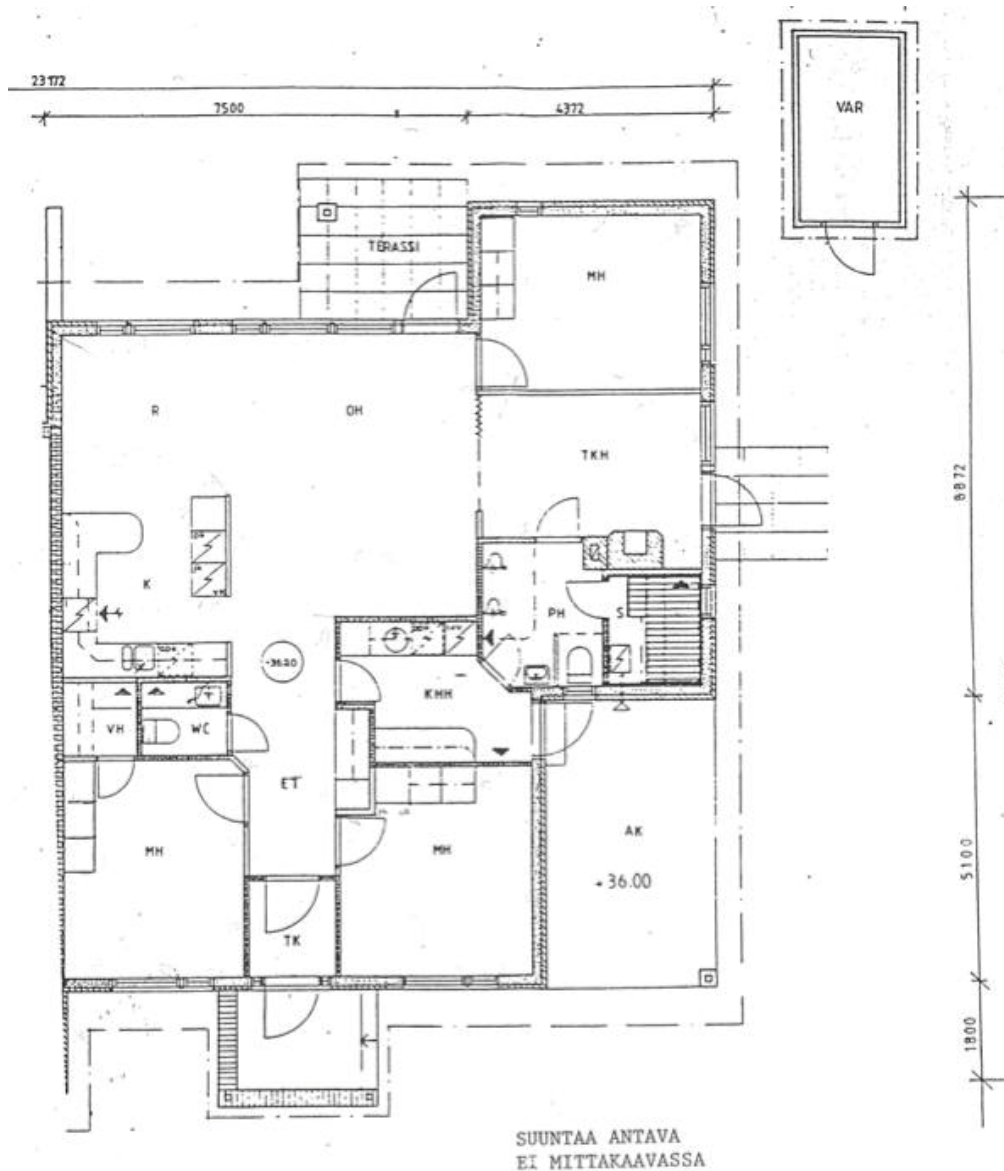
Kohdekiinteistö kuuluu vuonna 1990 valmistuneeseen taloyhtiöön joka koostuu kahdesta yksikerroksisesta paritalosta, eli neljästä asunnosta. Paritalot ovat identtisiä keskenään ja koostuvat kahdesta 105 m<sup>2</sup>:n ja 121 m<sup>2</sup>:n asunnosta. Kuvassa esitetyt asunnot 1–2 ovat 105 m<sup>2</sup>:n ja asunnot 3–4 ovat 121 m<sup>2</sup>:n kokoisia. Kohdekiinteistö jossa mittauksia suoritettiin, on asunto 4 eli 121 m<sup>2</sup>:n asunto (kuva 21).

Taloyhtiön kanta ilmalämpöpumppuihin on myönteinen, taloyhtiön neljästä asunnosta vain yhteen ei ole asennettu ilmalämpöpumppua (asunto 1). Yhtiössä on seurattu sähkönkulutusta asennusten jälkeen. Kuvassa 20 on esitetty yhtiön sähkönkulutus aikavälillä 22.10.2008–20.05.2009. Sähkönkulutusseurannassa voidaan huomata asuntojen 2–4 kulutuksen olevan keskimäärin pienempi kuin asunnon 1, jossa ilmalämpöpumppua ei ole asennettu. Seuranta ei ota kantaa asumistottumuksiin, kuten sisäilman lämpötilaan sekä lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Kuvassa asunnon 2 sähkönkulutuksen lasku 28.01.2009 johtuu sisäilman lämpötilan laskemisesta, huoneistossa ei asuttu. Seurannan tuloksia voidaan kuitenkin pitää suuntaa antavina ja säästöjä voidaan osaltaan perustella ilmalämpöpumpulla. Mittausjakson aikana asuntojen sähkönkulutukset olivat

- Asunto 1 – 12 254 kWh
- Asunto 2 – 10 399 kWh
- Asunto 3 – 11 457 kWh
- Asunto 4 – 10 483 kWh



Kuva 20. Asuntojen sähkönkulutus 22.10.2008 – 20.05.2009



Kuva 21. Kohdekiinteistön pohjakuva

## 9.2 Lämmitysjärjestelmä

Kohdekiinteistön päälämmönlähde on sähköllä toimiva kattolämmitys, lisälämmönlähteenä on varaava takka sekä ilmalämpöpumppu, jonka toimintaa seurattiin kolmen viikon mittausjaksolla 23.01.–13.02.2014.

Kiinteistöön asennettu vuonna 2008 Mitsubishi MSZ-FD25VA + MUZ-FD25VAH -ilmalämpöpumppu, jonka pinta-ala suositus on 60–120 m<sup>2</sup>:n kokoiseen kiinteistöön. Saman sarjan kokoa suurempi lämpöpumppu MSZ-FD35VA +

MUZ-FD35VAH soveltuu 80–150 m<sup>2</sup>:n rakennuksen lämmitykseen. Kiinteistöön valittiin 25-sarjan lämpöpumppu, joka on hieman halvempi ja pinta-alasuositukseen nähden sopiva vaihtoehto. Asennetun ilmalämpöpumpun tiedot on koottu taulukkoon 3.

Taulukko 3. Kohdekiinteistön ilmalämpöpumpun tiedot

Sisäyksikkö		MSZ-FD25VA	
Ulkoyksikkö		MUZ-FD25VAH	
toiminto		Jäähdytys	Lämmitys
Kapasiteetti, nimellisteho kW		2,5	3,2
Ottoteho kW		0,485	0,6
Paino	Sisäyksikkö kg	12	
	Ulkoyksikkö kg	36	
Kylmäainemäärä (R410A) kg		1,15	
IP koodi	Sisäyksikkö	IP 20	
	Ulkoyksikkö	IP 24	
	LP ps Mpa	1,64	
	LP ps MPA	4,15	
Äänitaso	Sisäyksikkö Teho/suuri/keski/pieni dB(A)	42/36/ 29/20	42/36/ 29/20
	Ulkoyksikkö dB(A)	46	

### 9.3 Asukkaan kommentit

Asukkaat ovat olleet tyytyväisiä ilmalämpöpumppuun lisälämmönlähteenä. Asennuksen myötä lämpötila on ollut huoneistossa tasaisempaa, ja varaavan takan luovuttama lämpöenergia on saatu sekoittumaan laajemmalle osalle huoneistoa. Lämpöpumppua on jouduttu huoltamaan takuu-aikana, jolloin sisäyksikön laakerit olivat kuluneet. Suodattimien puhdistamista asukkaat eivät koe suurena rasitteena ja suosittelvat ilmalämpöpumppua lisälämmönlähteeksi pientaloihin sillä edellytyksellä, ettei sisäyksikön humina häiritse asumista.

## 10 Mittaukset

Kohdekiinteistöön on asennettu jälkikäteen Mitsubishi MSZ-FD25VA + MUZ-FD25VAH -ilmalämpöpumppu lisälämmönlähteeksi kattolämmityksen rinnalle. Sisäyksikkö sijaitsee pohjakuvassa (kuva 21) takkahuoneessa varaavan takan ja ulkoseinän välissä, josta se tehostaa myös takan lämmönluovutusta muualle asuntoon. Ulkoyksikkö on sijoitettu ulkoseinustalle välittömään läheisyyteen.

### 10.1 Lämpötilaseuranta

Squirrel Data Loggerilla, jonka mittaustarkkuus on 0,2 °C mitattiin neljää lämpötilaarvoa, pumpun imu- , puhallus- , ulko- sekä sisäilman lämpötilaa 2 minuutin välein aikavälillä 23.01.–13.02.2014 (kuva 22) ulkolämpötilan vaihdellessa välillä -20,2...+3,2 °C. Puhallusilma oli korkeimmillaan +55,2 °C ja alimmillaan +4,6 °C. Puhallusilman alhainen lämpötila voidaan selittää lämpöpumpun sulatusjaksolla, joka kääntää kylmäainevirran päinvastaiseksi, jolloin kuumakaasu johdetaan ulkoyksikölle ja sisäyksikölle alhaisessa lämpötilassa olevan kylmäaineen. Sisälämpötila vaihteli mittausten aikana +18,8...+25 °C. Sisälämpötilan huojuntaa selittää takan läheisyys ja mittausta paikan sijainti ulkoseinustalla sijaitsevassa takkahuoneessa. Takkahuoneessa ilma oli kerrostunutta, lähellä katonrajaa ilmalämpöpumpun imuaukossa ilmanlämpötila vaihteli välillä +23,6...+31,0 °C.



Kuva 22. Ilmalämpöpumppu ja lämpötila-anturit

Keskiarvolämpötilat, joiden mukaan laskenta on suoritettu, olivat seuraavat:

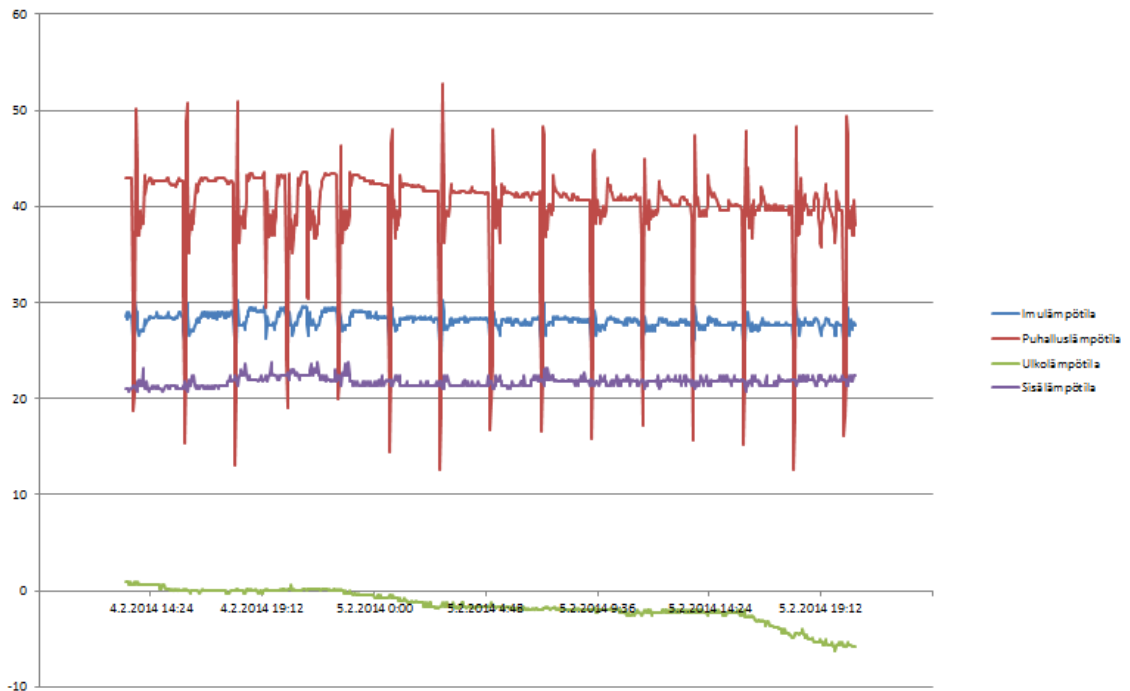
- imulämpötila +28,3 °C
- puhalluslämpötila +41,4 °C
- ulkolämpötila -4,6 °C
- sisälämpötila +21,3 °C.

Kuvasta 23 nähdään puhallusilman lämpötilan jaksollisuudet. Puhalluslämpötila romahtaa tapahtuu säännöllisesti klo 11:58, 13:28, 15:00, 16:30, 18:00, 19:30, 21:02, 22:30, 00:02, 01:32 ja 03:04 eli noin 90 minuutin sykleissä ollen alimmillaan +7 °C, joka viittaa ilmalämpöpumpun sulatustoimintoon.



Kuva 23. Lämpötilaseuranta 23.01.2014 klo 10.20 – 24.01.2014 klo 03.30

Samanlaista jaksottaisuutta esiintyi myös seuraavassa otoksessa kuvassa 24, jossa jaksottaisuus esiintyi noin 130 minuutin välein.



Kuva 24. Lämpötilaseuranta 04.02.2014 klo 13.18 – 05.02.2014 klo 20.18

## 10.2 Lämmitysteho

Ilmalämpöpumpun lämmitystehon laskennassa tulee olla selvillä ilman keskimääräinen virtausnopeus puhallusaukon suulla, puhallusaukon pinta-ala, ilman tiheys ja ominaislämpökapasiteetti sekä keskimääräinen lämpötilaero puhallus- ja imuilman välillä.

Ilman keskimääräinen virtausnopeus puhallusaukon suulla mitattiin kertaluontoisesti TSI VelogiCalc -ilmavirtausmittarilla kymmenestä kohtaa ja laskemalla näille keskiarvo. Puhallusaukon pinta-ala mitattiin ja tarkennettiin valmistajan ilmoittamilla mittakuvilla. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan ilman tiheyden arvona on käytetty  $1,2 \frac{kg}{m^3}$  ja ominaislämpökapasiteettina  $1 \frac{kJ}{kgK}$ . Puhallus- ja imulämpötiloja mitattiin noin 513 tunnin mittausjaksolla kahden minuutin välein Squirrel Data Loggerilla.

Ilmalämpöpumpun lämmitysteho lasketaan kaavalla 4.

$$\Phi_{\text{lämmitys}} = vA\rho_i c_{pi} \Delta t \quad (4)$$

jossa

$\Phi_{\text{lämmitys}}$  on ilmalämpöpumpun lämmitysteho, kW

$v$  on ilman keskimääräinen virtausnopeus puhallusaukon suulla,  $\frac{m}{s}$

$A$  on puhallusaukon pinta-ala,  $m^2$

$\rho_i$  on ilman tiheys,  $\frac{kg}{m^3}$

$c_{pi}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti,  $\frac{kJ}{kgK}$

$\Delta t$  on keskimääräinen lämpötilaero (puhallus- ja imuilma), °C

Ilmalämpöpumpun keskimääräiseksi lämpötehoksi kaavalla 4 laskettuna mittausjakson aikana saadaan 1,81 kW. Kun otetaan huomioon mittausjakson pituus ja kerrotaan keskimääräinen lämpöteho mittausjakson pituudella tunteina, saadaan lämpöenergiantuotoksi 926,9 kWh.

### 10.3 COP-arvon laskenta

Lämpöpumpun COP-arvoa laskettaessa hyödynnetään lämmitysteho-osiossa laskettu lämpöenergiantuotto. Lämpöenergiantuotoksi saatiin 926,9 kWh, ilmalämpöpumpun sähköverkosta ottaman tehon tulee olle alhaisempi, jotta lämpöpumppuprosessi olisi kannattava ja toimii yli yhden COP-arvolla.

Mittausjaksolla 23.01.–13.02.2014 seurattiin ilmalämpöpumpun sähkönkulutusta pistorasiamallisella Technoline-sähkönkulutusmittarilla. Sähkönkulutukseksi saatiin 400,9 kWh ja huipputehoksi 2 056 W. COP-arvo saadaan laskettua kaavalla 5.

$$COP = \frac{Q_{\text{lämmitys}}}{Q_{\text{sähkö}}} \quad (5)$$

Ilmalämpöpumpun keskimääräiseksi COP-arvoksi mittausjaksolla saatiin 2,31.

## 11 Takaisinmaksuaika

Ilmalämpöpumpun kustannukset elinkaarensa aikana koostuu ostohinnasta asennuksineen, sähköverkosta ottaman energian hinnasta, mahdollisista huolloista sekä lämpöpumpun kierrätyksestä elinkaarensa päässä.

Etelä-Suomessa ulkolämpötilat ovat alle 10 °C, lokakuusta huhtikuun loppuun eli lämmityskauden pituus on keskimäärin seitsemän kuukautta, 212 päivää, 5 088 tuntia. Oletetaan ilmalämpöpumpun toimivan koko lämmityskauden ajan mittausjaksolla selvitetillä hyötysuhteella 2,31 saadaan vuotuiseksi lämpöenergiaksi 9 201 kWh ja sähköenergiaksi 3 980 kWh. Ilmalämpöpumppu tuottaa laskelmien mukaan 5 221 kWh niin sanottua ilmaisenergiaa.

### 11.1 Yksinkertaistettu takaisinmaksuaika

Yksinkertaistettu takaisinmaksuaika, jossa ei ole huomioitu sähkön hinnan muutoksia eikä inflaatiota, voidaan laskea kaavalla 6:

$$N = \frac{I}{A} \quad (6)$$

jossa

N on takaisinmaksuaika

I on investointikustannus

A on vuotuiset nettotuotot.

Laskelmien (liite 2) mukaan asennetun ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika on noin 3 vuotta ja 3 kuukautta. Investointia voidaan pitää kannattavana. Jos kotitalousvähennys asennuksen osuudesta otetaan huomioon laskelmissa, saadaan takaisinmaksuajasta hieman lyhyempi.

### 11.2 Kotitalousvähennys

Vuonna 2014 kotitalousvähennystä on mahdollista saada 2 400 euroa ja puoliset 4 800 euroa. Kotitalousvähennyksen omavastuu on 100 euroa ja 60 % työstä. Kotitalousvähennys ei koske uudisrakentamista. Uudisrakentamiseksi verottaja katsoo rakennuksen, jossa ei lopputarkastuksia ole tehty. Lisäksi uudisrakennus katsotaan olevan kahden vuoden ajan kotitalousvähennyskelvoton ensimmäistä kertaa tehtäviin lisätyösuoritukseen, kuten takan tai ilmalämpöpumpun asennukseen. Jos verovelvollinen pystyy osoittamaan, ettei esimerkiksi ilmalämpöpumppua asenneta rakennukseen ensimmäistä kertaa, vaan vaihdetaan vanhan tilalle, on ilmalämpöpumpun asennus kotitalousvähennyskelpoinen. (21.)

## 12 Yhteenveto

Suomessa on yli miljoona erillispientaloa, määrään sisältyvät omakoti- ja paritalot. Näistä noin 500 000 on suorasähkölämmitteisiä pientaloja, joiden energiankulutus ei vastaa nykypäivän EU-standardeja. Tässä insinööriyössä on käsitelty ilmalämpöpumpun toimintaa, pääkomponentteja ja kylmäaineita varsin yksityiskohtaisesti ja on otettu kantaa ilmalämpöpumppujen lisääntyneeseen asennukseen pientaloihin. Työssä on myös mainittu Espoon rakennusvalvonnan kanta ilmalämpöpumppuasennuksiin ja niiden näkyvyyteen katukuvassa.

Työhön on valittu kohdekiinteistöksi Espoossa sijaitseva 121 m<sup>2</sup>:n yksikerroksinen paritaloasunto. Asuntoon on asennettu Mitsubishi MSZ-FD25VA + MUZ-FD25VAH -ilmalämpöpumppu vuonna 2008. Työhön sisällytettiin kaksi mittausjaksoa, ensimmäinen noin 4 viikon ja toinen noin 3 viikon seurantajakso lämmityskaudella. Mittausjaksolla seurattiin ilmalämpöpumpun toimintaa Squirrel Data Logger- ja Technoline-sähkönkulutusmittarilla. Tuloksia analysoitiin ja tehtiin johtopäätöksiä ilmalämpöpumpun toiminnasta ja sulatusjaksoista. Ensimmäinen 4 viikon mittausjakso epäonnistui puhallusilmaa mittaavan lämpöanturin irrottua, jolloin mitattiin väärää lämpötilaa.

Mittausjaksoon ja Suomen rakentamismääräyskokoelman osaan D5 perustuen laskettiin ilmalämpöpumpun lämmitysteho, COP-arvo sekä takaisinmaksuaika. Ilmalämpöpumpun lämmitystehoksi saatiin 1,81 kW, lämpökertoimeksi 2,31 ja takaisinmaksuajaksi noin 3 vuotta 3 kuukautta. Takaisinmaksuajan perusteella voidaan investointia pitää kannattavana.

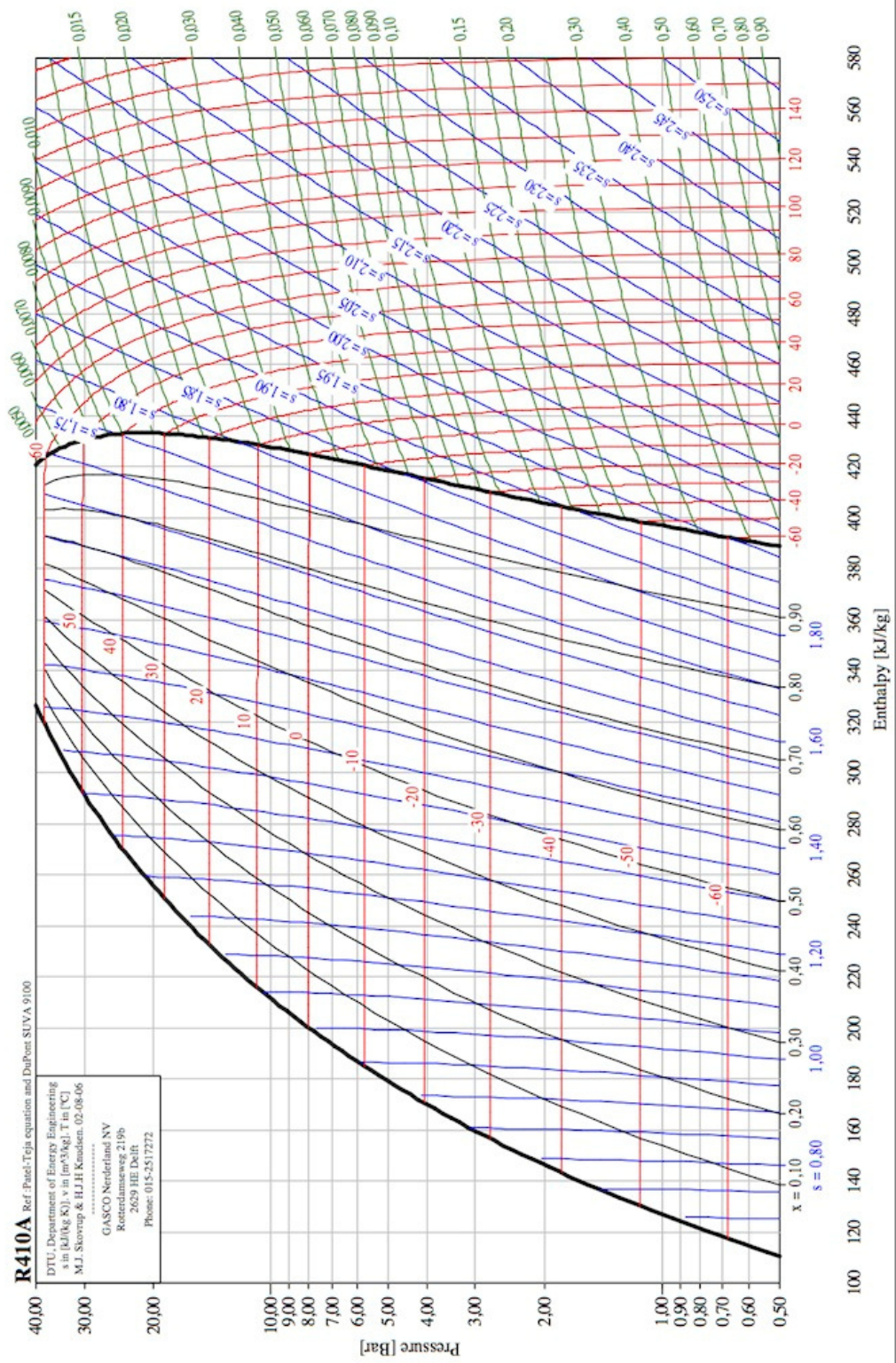
Haastavan työstä teki se, että ilmalämpöpumppuvalmistajat eivät kerro avokätisesti laitteidensa teknisiä tietoja eivätkä vastanneet yhteydenottoihin. Työhön käytetty materiaali koostuu alan kirjallisuuteen sekä internetistä löydettyihin lähteisiin. Kohdekiinteistö jouduttiin vaihtamaan kesken insinööriyöprojektin, koska ensimmäisessä kohdekiinteistössä ilmalämpöpumppu oli kytketty kiinteästi sähköverkkoon ja mittaukset ilman kytkennän muuttamista ja sähkömiestä olisivat mittaukset olleet mahdottomia. Siten kohteeksi valittiin asunto jossa ilmalämpöpumpun sähköenergiankulutus pystyttiin mittaamaan ilman kytkentämuutoksia.

## Lähteet

- 1 von Hellens, Saija. 2013. Sähkölämmitteisen pientalon energiaremontti. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu
- 2 Lämpöpumppujen myyntimäärät vuosittain 1996–2012. Verkkodokumentti. Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. <<http://www.sulpu.fi/documents/184029/208772/L%C3%A4mp%C3%B6pumppujen%20vuosittaiset%20myyntim%C3%A4%C3%A4r%C3%A4t%201996-2012%20kappaleina.pdf>>. Luettu 27.01.2014.
- 3 Perälä, Rae. 2009. Lämpöpumput. Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. Helsinki: Alfamer Oy.
- 4 Ilmalämpöpumpun energiataloudellinen käyttö. 2010. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <[http://www.motiva.fi/files/3472/Ilmalampopumpun\\_energiataloudellinen\\_kaytto.pdf](http://www.motiva.fi/files/3472/Ilmalampopumpun_energiataloudellinen_kaytto.pdf)>. Luettu 20.03.2014.
- 5 Kaappola, Esko. 2014. Kylmäprosessi. Oppimismateriaali. Julkaisematon.
- 6 Espoon kaupungin rakennusvalvonta. 2012. Rakennusvalvonnan ohje. 05.07.2012. <<http://www.espoo.fi/download/noname/%7B56EB8A9B-E9F4-498C-B01E-91EB2581E771%7D/25046>>. Luettu 26.03.2014.
- 7 Lindell Markku, Weckström Henrik. 2013. Vertailussa ilmalämpöpumput. TM Rakennusmaailma 12/2013, s. 14–25.
- 8 Toimintaperiaatekuva. Ilma-ilma-lämpöpumppu. 2014. Verkkodokumentti. Sulpu ry. <<http://www.suomela.fi/lammitys-lvis/Lammitys-energiaAnna/Saastoa-lampopumpulla-esittelyssa-ilma-ilmalampopumppu-50576>>. Luettu 18.3.2014.
- 9 Kaappola, Esko. 2013. Kylmätekniiikan koulutuspäivät 2013. Suomen kylmäyhdistys ry. Julkaisematon materiaali
- 10 Happonen, Taitto. 2010. Ilmalämpöpumpun toiminta ja asennus. Aducate Reports and Books. Itä-Suomen yliopisto.
- 11 Laurila, Jyrki. 2009. Ilma-ilma-lämpöpumpun toiminnan ja ohjausjärjestelmän säädön tutkiminen. Oulun seudun ammattikorkeakoulu
- 12 Daikin Global. 2014. Toimintaperiaatekuva <[http://www.daikin.com/global\\_ac/products/commercial/super\\_inverter/images/feature/f\\_02.jpg](http://www.daikin.com/global_ac/products/commercial/super_inverter/images/feature/f_02.jpg)>. Luettu 18.03.2014.

- 13 Junkala, Mika. 2009. Maalämpöpumppulämmitys IKEA-tavarataloissa. Tutkintotyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu.
- 14 Kylmäsovellusten scroll-kompressorit. 2014. Verkkodokumentti. Danfoss Oy. <[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)>. Luettu 26.03.2014.
- 15 Okoma, K.; Tahata, M.; Tsuchiyama, H. 1990. Study of Twin Rotary Compressor for Air-Conditioner with Inverter System. International Compressor Engineering Conference. Verkkodokumentti. Purdue University. <<http://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1744&context=icec>>. Luettu 10.3.2014.
- 16 Termostaattiset paisuntaventtiilit. 2003. Danfoss Oy. Verkkodokumentti. <<http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/AE3F028B-EE1C-4968-83B6-B93254B24BAE/0/Termostaattisetpaisuntaventtiilit.pdf>>. Luettu 23.3.2014.
- 17 Hirvelä Aulis, Jokela Matti, Kaappola Esko, Kianta Jani. 2011. Kylmätekniiikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
- 18 Kianta, Jani. Kylmäainetilanne 2008. Verkkodokumentti. <<http://www.skil.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=37> 25.05.2008>. Luettu 15.03.2014.
- 19 Kaappola, Esko. 2005. Kompressorien ja lauhduttimien mitoitus, 1.6.2005, julkaisematon.
- 20 Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 21 Vero. 2014. Kotitalousvähennys. <[http://www.vero.fi/fi-FI/Syventavat\\_veroohjeet/Henkiloasiakkaan\\_tuloverotus/Kotitalousvahennys%2831651%29](http://www.vero.fi/fi-FI/Syventavat_veroohjeet/Henkiloasiakkaan_tuloverotus/Kotitalousvahennys%2831651%29)>. Luettu 26.03.2014.
- 22 Räisä, Jukka. 2013. Maalämpöpumppulaboratorio oppimisympäristönä. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

### Log p, -h R410A



## Ilmalämpöpumpun mittaustulokset sekä laskenta

$A = x \cdot y$				mitattu ilmavirta 10 kohdasta
x	688 mm	v=	0,52 m/s	
y	100 mm		1,36 m/s	
A=	68800 mm <sup>2</sup>		1,9 m/s	
	0,0688 m <sup>2</sup>		1,5 m/s	
			1,45 m/s	
			1,9 m/s	
			1,86 m/s	
			2,17 m/s	
			2,5 m/s	
			1,6 m/s	
		Keskiarvo	<b>1,676 m/s</b>	
$q_v = vA$	0,115309 m <sup>3</sup> /s		6,919 m <sup>3</sup> /min	
$\Phi = vA\rho_i C_{p,i} \Delta t$	qv	0,12 m <sup>3</sup> /s		
jossa	$\rho_i$	1,2 kg/m <sup>3</sup>		
	$C_{p,i}$	1 kJ/kgK		
	$\Delta t$	13,07 °C		
	$\Phi$	<b>1,81 kW</b>		

Mittaukset suoritettiin aikavälillä				
	23.1.2014 10:20			<b>Mittausjakson pituus</b>
	13.2.2014 18:54			21,4 vuorokautta
				512,6 tuntia
				Sähköenergia <b>400,9 kWh</b>
Lasketaan ilmalämpöpumpun COP				Lämpöenergia <b>926,9 kWh</b>
$COP = \frac{Q_{\text{lämmitys}}}{Q_{\text{sähkö}}}$				<b>COP= 2,31</b>
Lämmityskauden pituus 40 viikkoa				
	5088	9,926514		<b>Vuotuinen lämpöenergia (40 viikkoa)</b>
				<b>9201 kWh</b>
				<b>Vuotuinen sähköenergia (40 viikkoa)</b>
				<b>3980 kWh</b>
				<b>Ilmaisenergia</b>
				<b>5221 kWh</b>
<b>Takaisinmaksuaika</b>				
Ilmalämpöpumpun hinta asennettuna		1700 €		
Sähkön hinta		0,1 €/kWh		
Takaisinmaksuaika vuosissa		<b>3,255924</b>		<b>n. 3 vuotta 3 kuukautta</b>