

BL10A1000 Kandidaatintyö ja seminaari

KANDIDAATINTYÖ  
31.1.2009

Jussi Tuunanen  
0312904  
Säte 3

## **Pientalojen ilmalämpöpumput sähköverkossa**

# TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Sähkötekniikan osasto

Jussi Petteri Tuunanen

## **Pientalojen ilmalämpöpumput sähköverkossa**

Kandidaatintyö

2009

40 sivua, 14 kuvaa, 9 taulukkoa, 5 liitettä

Tarkastaja: Professori Jarmo Partanen

Hakusanat: ilmalämpöpumput, sähköverkko

Työssä tutkitaan ilmalämpöpumppujen kokonaisvaltaista vaikutusta sähköverkkoon. Tarkastelu aloitetaan lämpöpumppujen toiminnasta ja rakenteesta, josta jatketaan laitteen käytettävyyteen ja muiden lämmitysmenetelmien vertailuun. Sähköisten ominaisuuksien tarkastelussa pohditaan ilmalämpöpumppujen vaikutusta suomalaiseen sähköverkkoon muun muassa yleissähkötekniikan, taloudellisuuden ja energiatehokkuuden sekä häiriöiden kannalta. Tämä tutkielma rajoittuu pientaloihin, ja niihin asennettuihin ilma-ilmalämpöpumppuihin.

Työn loppupäätelmänä on, että ilmalämpöpumppujen käytöstä ei juuri aiheudu vaikutuksia suomalaiseen sähköverkkoon. Suurimmat ilmalämpöpumppujen käytöstä syntyvät seuraukset kohdistuvat sähköverkkoyhtiöihin, joihin ilmalämpöpumput aiheuttavat taloudellisia menetyksiä. Suuret ja tulevaisuudessa kasvavat ilmalämpöpumppumäärät aiheuttavat sähköntuotantoon lisätehontarvetta huippukuorman aikaan. Toisaalta välitehoalueella tehontarve sekä energiankulutus pienenevät. Sähköverkoissa ei ole toistaiseksi havaittu ilmalämpöpumpuista johtuvia häiriöitä.

# **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Department of Electrical Engineering

Jussi Petteri Tuunanen

## **Detached houses air heat pumps' connected to the electric grid**

Thesis for the Degree of Bachelor of Science in Technology

2009

40 pages, 14 figures, 9 tables, 5 appendices

Examiner: Professor Jarmo Partanen

Keywords: air heat pumps, electric grid

This work researches the integrated impacts of air heat pumps on the electric grid. The study begins from the function and construction of the heat pumps, continues by studying purposes and comparing with other heating systems. The research focuses on electrical engineering, both economical and energy effectiveness and problems, which air heat pumps cause the Finnish electric grid. The topic is limited to air-air heat pumps of detached houses.

The main finding was that the use of air heat pumps has hardly any effects on the Finnish electric grid. There is, however, an effect on the incomes of distribution companies, which is decreased by the widespread of air heat pumps. If more air heat pumps are installed in the future, more electrical power will be needed during electrical load peaks. On the other hand, the demand for power and energy will decrease in the mid-power area. To this date air heat pumps have not caused any troubles to the grid.

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1 Johdanto .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Ilmalämpöpumpun rakenne ja toiminta .....</b>	<b>4</b>
2.1 Kiertoprosessien jaottelu .....	4
2.2 Termodynamiikka ja lämpöpumpun tehokerroin .....	4
2.3 Ilmalämpöpumpun rakenne .....	6
2.4 Ilmalämpöpumpun toiminta .....	7
2.5 Lämpöpumpputyypit .....	9
2.6 Ilmalämpöpumpun toimintarajat .....	10
<b>3 Ilmalämpöpumppujen käytettävyys.....</b>	<b>11</b>
3.1 Käyttö pientaloissa.....	11
3.2 Lämpöpumpun sijoitus.....	12
<b>4 Lämmitysmääristä – ja menetelmistä.....</b>	<b>14</b>
4.1 Lämmönkulutus Suomessa.....	14
4.2 Lämmityskustannuksista .....	15
4.3 Lämmityksen säästöt.....	16
4.3.1 Vertailu muihin lämmitysmenetelmiin .....	16
4.3.2 Vertailu sähkölämmitykseen.....	18
4.4 Jäähdytyskustannukset .....	22
<b>5 Ilmalämpöpumppu sähköverkossa.....</b>	<b>23</b>
5.1 Laitteiston sähkösyöttö .....	23
5.2 Invertteritekniikka.....	23
5.3 Lisälaitteet .....	24
<b>6 Vaikutukset sähköntuotantoon, markkinoihin ja siirtoon .....</b>	<b>24</b>
6.1 Vaikutukset tuotannon kannalta .....	26
6.2 Sähkömarkkinat, sähkönhinta ja tariffit .....	28
6.3 Vaikutukset sähkönsiirtoon.....	29
6.4 Sähköön ja lämpöpumppuihin liittyvät päästövelvoitteet.....	30
<b>7 Ilmalämpöpumppujen vaikutus sähköverkkoihin.....</b>	<b>30</b>
7.1 Vaikutukset tehon ja energian kannalta .....	31
7.2 Kuormitusmallien muutokset .....	32
7.3 Verkkoyhtiöiden siirtotulot .....	33
7.4 Ilmalämpöpumpusta koituvat häiriöt .....	36

8 Yhteenveto.....	38
LÄHDELUETTELO.....	39

## Liitteet

### Käytetyt lyhenteet ja merkinnät

IILP	Ilma-ilmalämpöpumppu
MLP	Maalämpöpumppu
PILP	Poistoilmalämpöpumppu
SULPU	Suomen lämpöpumppuyhdistys ry
Tukes	Turvatekniikan keskus
UILP	Ulkoilmalämpöpumppu
VILP	Vesi-ilmalämpöpumppu
<i>COP</i>	lämpökerroin, kylmäkerroin, tehokerroin
$\Delta h$	entalpian muutos
$\eta$	hyötysuhde
$\Phi$	lämpövirta
$q$	virta, virtaus
$P$	teho
$T$	lämpötila

### Alaindeksit

a	apulaite
c	Carnot
H	höyrystin
k	ominainen, ominais-
kom	kompressori
L	lauhdutin
m	massa
max	maksimaalinen, suurin mahdollinen
min	minimaalinen, pienin mahdollinen
moot	moottori
s	hyödyksi saatu

## 1 Johdanto

Vuosikymmeniä takaperin koko maailmaa heilauttanut energiakriisi antoi sysäyksen alkaa tutkimaan erilaisia energiavaihtoehtoja fossiilisten polttoaineiden sijaan. Tähän yritykseen lämpöpumput ovat olleet eräitä tehokkaimmista ja lupaavimmista keinoista. Lämpöpumpuista erityisesti ilmalämpöpumput ovat tulleet suomalaisten pientalojen lämmitys- ja jäähdytyskäyttöön. Ilmalämpöpumppujen määrä on kasvanut viime vuosina reippaasti energianhinnan nousun myötä. Ilmalämpöpumppu säästää rahaa ja energiaa sekä tarvittaessa viilentää. Suomessa laitetta käytetään kuitenkin pääasiassa lämmitykseen. Suuresta kasvusta huolimatta ilmalämpöpumppuja voitaisiin lisätä vielä moniin pientaloihin.

Ilmastonmuutoksen seurauksena Suomessa tulee olemaan lämpimämpiä kesiä ja talvia, jonka seurauksena mukavuudenhaluiset ihmiset haluavat parantaa kotinsa viihtyisyyttä. Hellekesien kokemukset ovat kasvattaneet viilennystarvetta pientaloissa. Tämä tulee näkymään tulevaisuudessa ilmalämpöpumppujen määrän lisääntymisenä. Laite tarvitsee toimiakseen sähköä, ja se vaikuttaa siten sähkönkulutukseen. Tällä on taas seurauksia sähköntuotantoon, siirtoon, jakeluun ja myyntiin. Eräänä seurauksena on, että valtakunnallisesti sähköntarve pienenee ilmalämpöpumppujen käytön ansiosta verrattuna sähkölämmitykseen. Lisäksi ilmalämpöpumppua suoran sähkölämmityksen sijaan käytävissä pientaloissa sähkölasku yleisesti ottaen pienentyy. Laitteen yleistymisen ongelmana saattaa olla tiedonpuute ilmalämpöpumpuista, niiden toiminnasta sekä hyödyllisyydestä.

Tämän työn tarkoituksena on luoda katsaus ilmalämpöpumppujen käytönvaikutuksista sähköverkkoon. Tarkastelussa keskitytään ilma-ilmalämpöpumppuun viime vuosien rajun kappalemäärän kasvun takia. Rajauksena on myös pientalot, joihin kyseinen laite parhaiten soveltuu. Aiheen tutkiminen on tarpeellista siksi, että tiedettäisiin mitä lisääntyvästä ilmalämpöpumppujen määrästä aiheutuu suomalaiselle sähköverkolle.

## 2 Ilmalämpöpumpun rakenne ja toiminta

Aloitetaan tarkastelu ilmalämpöpumppujen rakenteesta ja toiminnasta. Tämän tarkoituksena on, että pystytään myöhemmissä luvuissa ymmärtämään ilmalämpöpumppujen käyttömahdollisuuksia ja käytöstä aiheutuvia seurauksia.

### 2.1 Kiertoprosessien jaottelu

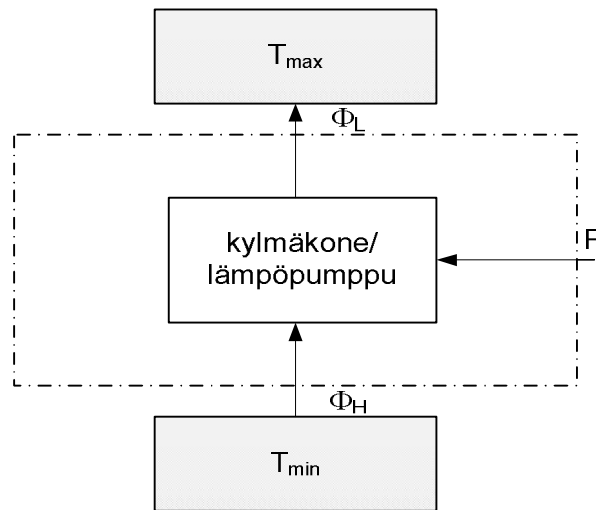
Teknillisen termodynamiikan perusteella kiertoprosessit jaetaan toiminnan mukaan voimakoneprosesseihin ja työkoneprosesseihin. Voimakoneprosesseista saadaan mekaanista tehoa tai sähkötehoa, kun taas työkoneprosessiin on tuotava mekaanista tehoa. Yleisimmät työkoneet ovat lämpöpumput, kylmäkoneet ja kompressorit. Lisäksi kiertoprosessit voidaan jaotella suljettuihin ja avoimiin kiertoprosesseihin. Suljetuissa kiertoprosesseissa koneen tai laitoksen sisällä kiertää koko ajan sama työaine. Näin toimivia prosesseja ovat mm. lämpöpumppu – ja kylmälaitoskoneprosessit sekä höyryvoimalaitosprosessit. Avoimessa kiertoprosessissa työaine ei kierrä prosessia, vaan se vaihtuu koko ajan. Poistuva työaine purkautuu samaan tilaan, josta ainetta tuodaan prosessiin sisälle. (Tek LUT)

Kiertoprosessien koneet voidaan puolestaan jakaa virtauskoneisiin ja mäntäkoneisiin. Virtauskoneet koostuvat yhdestä tai useammasta juoksupyörästä siivistöineen, jolloin aine siirtyy jatkuvana virtauksena koneen läpi. Turbiinit, puhaltimet, aksiaali- ja radiaalikompressorit ovat esimerkkejä virtauskoneista. Mäntäkoneet toimivat jaksottaisesti. Näihin koneisiin kuuluvat männän ja sylinterin avulla toimivien koneiden lisäksi erilaiset ruuviperiaatteella toimivat koneet. Työaineen siirtyminen tapahtuu koneen läpi vaiheittain osaprosessien kautta. (Tek LUT)

### 2.2 Termodynamiikka ja lämpöpumpun tehokerroin

Kiertoprosessi tarvitsee Kelvin-Planckin väittämän perusteella kaksi lämpövarastoa, kylmän – ja kuumavaraston. Prosessi tapahtuu lämpövarastojen välillä. Tätä havainnollistaa kuva 1. Lämpöenergiaa pystytään siirtämään kylmäkoneen tai lämpöpumpun avulla kylmemmästä kappaleesta kuumempaan. Siirtoon tarvitaan työtä. Koneita kutsutaan kylmäkoneeksi, jos kohteesta on tarkoitus poistaa lämpöä ja lämpöpumpuksi mikäli kohteeseen tuodaan lämpöä. Kaikkeen tarkasteluun joudutaan käyttämään tiettyjä sääntöjä, jotka pohjautuvat fysiikan lakeihin ja niistä

sovelletuihin peruslauseisiin. Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan prosesseilla on luonnollinen suunta kohti tilojen erojen tasoittumista, eivätkä prosessit kulje itsestään päinvastaiseen suuntaan. Lisäksi prosessin kerran tapahduttua, ei systeemiä voida enää palauttaa alkutilaansa ilman ulkopuolista työtä tai energiaa. Tästä syystä kylmäkoneista ja lämpöpumpuista ei käytetä tehokkuuden mittarina hyötysuhdetta, vaan tehokerrointa eli ts. lämpö- tai kylmäkerrointa. Tehokertoimesta käytetään myös englanninkielestä tulevaa lyhennettä COP, Coefficient of Performance. (Tek LUT)



Kuva 1. Kuvassa on esitetty lämpöpumpun perustoimintaperiaate lämpövarastojen välillä. (Tek LUT)

Tehokerroin kertoo, mikä on tuotetun lämpötehon suhde käytettyyn tehoon, joka on kompressorin moottoria ja muita apulaitteita pyörittämään tarvittavaa sähkötehoa. Mitä suurempi tehokerroin, sitä parempi on lämpöpumppu. Tärkein tehokertoimen suuruuteen vaikuttava tekijä on höyrystymis- ja lauhtumispainoiden välinen ero. Pienemmällä paine-erolla saavutetaan korkeampi tehokerroin. Tehokertoimelle voidaan hyötysuhteen tapaan ilmoittaa lämpötiloista riippuva paras mahdollinen arvo, jolloin puhutaan Carnot'n lämpöpumpusta. Suurin mahdollinen teoreettinen lämpökerroin kiertoprosessille, joka toimii kahden eri lämpötilassa olevan lämpövaraston välillä, saadaan Carnot-lämpökertoimen avulla. Todelliset lämpöpumput ja kylmäkoneet eivät ole koskaan ideaalisia eivätkä siten toimi siis Carnot'n lämpöpumpun mukaisesti vaan lämpökerroin on aina pienempi, koska prosessi ei ole palautuva. Carnot-prosessin lämpökerroin  $COP_c$ , voidaan määrittää käyttämällä apuna lämpövarastojen suurinta  $T_{max}$  ja pienintä  $T_{min}$  lämpötilaa:

$$COP_c = \frac{\Phi_L}{P} = \frac{T_{max}}{T_{max} - T_{min}}. \quad (1)$$



Todellisen lämpöpumpun lämpökerroin saadaan yhtälöstä

$$COP = \frac{\Phi_L}{P} = \frac{\Phi_L}{\Phi_L - \Phi_H}. \quad (2)$$

Nyt  $COP$  on prosessin lämpökerroin ja  $P$  on koneen tarvitsema teho.  $\Phi_L$  on lauhduttimen lämpövirta ja  $\Phi_H$  puolestaan höyrystimen lämpövirta. (Tek LUT; Wik 1980)

Todellisessa prosessissa ei saada tehokertoimeksi kuin 40–80 % Carnot-tehokertoimesta. Todellinen vuosilämpökerroin ilmalämpöpumpulle on tyypillisesti noin kaksi, mikä tarkoittaa sen tuottavan kaksinkertaisen määrän lämpöä verrattuna kuluttamaansa sähköön. Jos lämpökerroin on kaksi, saadaan yhdellä kilowatilla sähköä tuotettua kaksi kilowattia lämpöä. Sama pätee energialle, eli jos otetaan 1 kWh sähköä, saadaan 2 kWh lämpöä. Loppu osa energiasta tulee ilmasta. (Tek LUT; Mot 2009)

### 2.3 Ilmalämpöpumpun rakenne

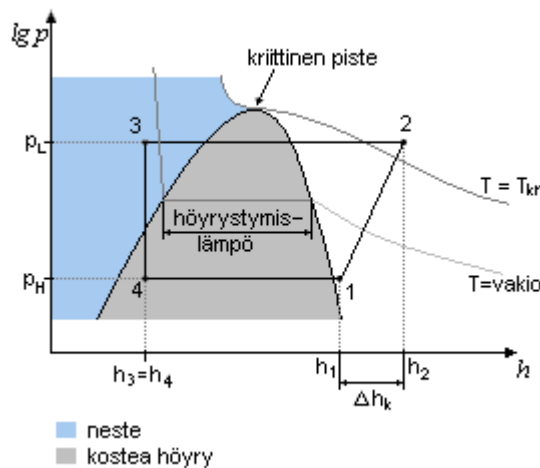
Lämpöpumpun koneiston muodostavat: kompressori, lauhdutin, paisuntaventtiili ja höyrystin, jotka ovat yhdistetty suljetuksi kiertopiiriksi eristetyillä kupariputkilla. Toiminta pohjautuu kiertoaineen kulkuun putkistossa, jolloin aine on osittain nesteen ja osittain höyryn muodossa. Ilmalämpöpumppu koostuu sisä- ja ulkoyksiköstä. Yksiköt olisi sijoitettava mahdollisimman lähelle toisiaan ja kylmäaineputket tulisi eristää ja koteloida, jotta lämpöhäviöt saataisiin minimoitua. Ilmalämpöpumppuun kuuluvat myös yksiköiden väliset ohjaus- ja sähkönsyöttökaapeli. Sisäyksikössä on puhallin ja lauhdutin, joka luovuttaa lämmön huonetilassa kierrätettävään ilmaan. Sisäyksikkö varustetaan jäähdytyksen aikaisen kondenssin poistoletkulla, joka johdetaan ulos tai viemäriin. Ulkoyksikössä on puhallin, kompressori, paisuntaventtiili ja höyrystin, jonka lävitse ulkoilma kierrätetään. (Mot 2009)

Kiertoaineena, eli ts. kylmäaineena käytetään nykyisin pääasiassa fluorihilivetyjä. Nämä HFC-yhdisteinäkin tunnetut aineet eivät ole myrkyllisiä eivätkä palavia. Kiertopiirissä kiertoainetta on vajaa kilo ja käytetyimpiä ilma-ilmalämpöpumpuissa ovat R410A ja R407C. Vanhemmissa laitteissa käytettiin otsonihaitallisia aineita ja ne ovat jääneet pois käytöstä. Kompressorina pienissä lämpöpumpuissa käytetään yleisesti täyshermeettisiä mäntä- ja syrjäytyskompressoreita. Scroll-

kompressori on kompressorityyppinä eräs käytetyimmistä. Lauhdutin ja höyrystin ovat tyypillisiä lämmönsiirtimiä, joiden pintojen suurentaminen ja lämmönsiirtymiskertoimien parantaminen suurentaa lämpökerrointa. (Wik 1980; Rau 2008))

## 2.4 Ilmalämpöpumpun toiminta

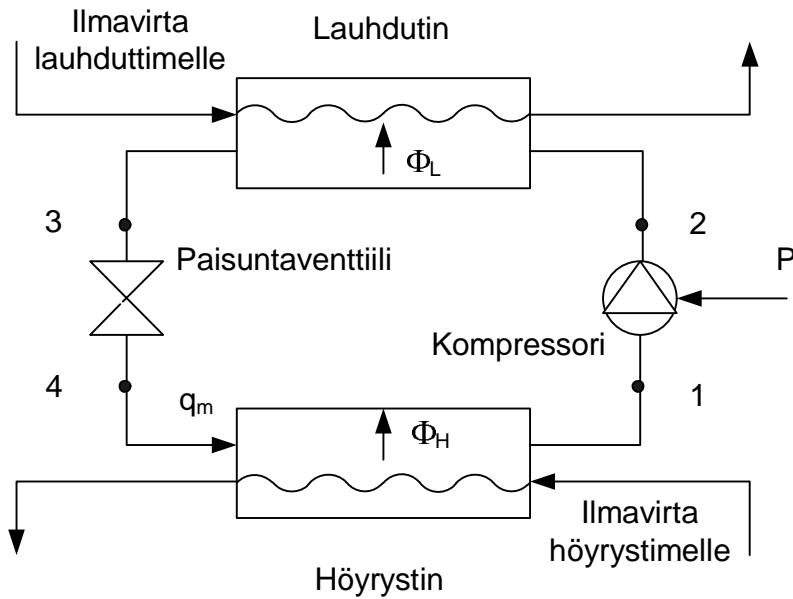
Ilmalämpöpumppu toimii pääpiirteissään seuraavasti. Ulkoyksikön kompressori imee höyrystimestä kylmäaineen höyryä. Kompressori puristaa höyryn korkeampaan paineeseen ja lämpötilaan. Painetta vastaava höyryn lämpötila on tällöin korkeampi kuin ympäristön lämpötila. Lämmennyt kylmäainehöyry siirtyy kompressorin toiminnan seurauksena sisäyksikköön, jossa kylmäaine lauhtuu lauhduttimessa nesteeksi. Samalla ulkoilmasta saatua lämpöenergiaa luovutetaan lauhtumisen seurauksena sisäilman lämmitykseen. Nesteytynyt kylmäaine palautuu lauhduttimesta takaisin ulkoyksikköön höyrystettäväksi. Aine kulkee paisuntaventtiilin kautta höyrystimeen, jossa kiertoaine höyrystyy ulkoilman energialla. Höyrystimen lämpötila laskee ympäristön lämpötilan alapuolelle lämmön sidonnan seurauksena. Ympäristöstä alkaa siirtyä lämpöä höyrystimeen ja siellä kiehuvaan kylmäaineeseen. Tämän jälkeen kompressori imee taas kylmäainehöyryä höyrystimeltä ja prosessi alkaa alusta. Kuvassa 2 on esitetty vastaava asia termodynamiikan kannalta. (Tek LUT; Wik 1980)



Kuva 2.  $Lg p, h$ -piirros lämpöpumpulle. 1 $\rightarrow$ 2 kylmäaine puristetaan kompressorissa. 2 $\rightarrow$ 3 höyry lauhtuu nesteeksi ja jäähtyy lauhduttimessa. 3 $\rightarrow$ 4 kylmäaineen paine ja lämpötila laskee sekä tapahtuu höyrystymistä kylmäaineen virratessa paisuntaventtiilin läpi. 4 $\rightarrow$ 1 lopullinen höyrystyminen tapahtuu höyrystimessä. (Tek LUT)

Ymmärrettäessä nyt ilmalämpöpumpun toimintaa, voidaan piirtää toimintakaavio. Kuvassa 3 on rakenteen kannalta oleelliset osat, toimintapisteet sekä prosessissa siirtyvät energiat. Koneen ja

ympäristövälinen lämmönsiirto tapahtuu siis kylmällä puolella höyrystimessä ja kuumalla puolella lauhduttimessa.



Kuva 3. Lämpöpumpun toimintakaavio, jossa ovat mukana kompressori, lauhdutin, paisuntaventtiili ja höyrystin.

Nyt saadaan yhteys aikaisemmin esillä olleille lämpövirroille. Lauhduttimen lämpövirta on

$$\Phi_L = q_m (h_2 - h_3), \quad (3)$$

ja höyrystimen lämpövirta

$$\Phi_H = q_m (h_1 - h_4). \quad (4)$$

Tässä  $q_m$  on kylmäaineen massavirta ja  $h$  on piirin eri pisteiden entalpia. Kompressorin sähköteholle  $P$  voidaan kirjoittaa kylmäaineen massavirran ja ominaisentalpian muutoksen avulla:

$$P = q_m \frac{\Delta h_k}{\eta_{moot}}. \quad (5)$$

Yhtälössä  $\eta_{moot}$  on kompressorin sähkömoottorin hyötysuhde. Laskettaessa lopullista lämpökerrointa tulisi ottaa huomioon apulaitteiden teho. Tähän sisältyvät mm. lauhdutin, höyrystinpiirien puhaltimien tehot sekä automatiikan teho. Silloin pätee yhtälö:

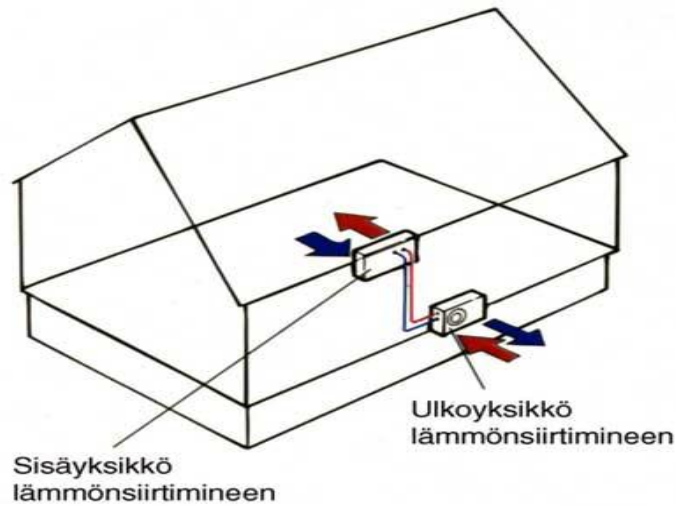
$$COP = \frac{\Phi_s}{P_{kom} - P_a}. \quad (6)$$

Tällöin  $\Phi_s$  on hyödyksi saatu lämpö,  $P_{kom}$  on kompressorin teho ja  $P_a$  on apulaitteiden teho. (Tek LUT; Rau 2008)

## 2.5 Lämpöpumpputyypit

Lämpöpumppu on siis laite, joka ottaa energiaa alhaisemmasta lämpötilasta, kuten ilmasta, maaperästä tai vedestä, ja muuttaa sen korkeampaan lämpötilaan. Eri lämpöpumppurakenteita kutsutaan sen mukaan, mikä on lämpöä luovuttava ja mikä vastaanottava väliaine. Tyypillisesti lämpöpumput jaetaan ilma- ja maalämpöpumppuihin (MLP). Lämpöpumput soveltuvat eri käyttötarkoituksiin ja ne käyttävät erilaisia ulkoisia olosuhteita hyväkseen. Lämpöpumpputyypit kuluttavat eri tavalla sähköä ja ne eivät siksi ole keskenään suoraan vertailukelpoisia tehokkuuden ja säästöjen mittauksessa.

Ilmalämpöpumppu, joka sitoo lämpöä ulkoilmasta ja luovuttaa lämpöä sisäilmaan kutsutaan ulkoilmalämpöpumpuksi. UILP jakaantuu kahteen tyyppiin: ilma-ilmalämpöpumppuun (IILP) eli ts. split-järjestelmään ja vesi-ilmalämpöpumppuun (VILP). Vesi-ilmalämpöpumpulla voidaan lämmittää myös käyttövetä. IILP toimintaperiaatetta rakennuksessa selventää kuva 4. Ilmalämpöpumppuja voi olla yhtä ulkoyksikköä kohden kaksi tai useampia sisäyksiköitä, jolloin puhutaan multi-split laitteista. Tällöin ulkoyksikön täytyy olla vain tavanomaista suurempi. Isoissa kohteissa on puolestaan hyödyllistä käyttää kahta tavallista ilmalämpöpumppuparia. Sisäilman lämmitys ja jäähdytys voidaan jakaa paremmin isossa, sokkeloisessa tai useampi kerroksisessa talossa. Ilma-ilmalämpöpumppu voi sitoa lämpöä sisäilmasta ja luovuttaa sen ulkoilmaan, jolloin sen toiminta käännetään kaukosäätimestä toisin päin normaaliin verrattuna, ja silloin se toimii jäähdytyskäyttönä. IILP on yksinkertainen, investoinnin ja käytön osalta halpa sekä lisäksi maailman yleisin lämpöpumppu. Lämmitys- ja jäähdytyskäytön lisäksi se suodattaa huoneilmaa ja poistaa kosteutta. Ilma-ilmalämpöpumppu ei lämmitä käyttövetä, eikä se ole liitettävissä vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään. Lämmityskäytössä ilmalämpöpumppu tarvitsee aina lisälämmityksen Suomen olosuhteissa. (IVT 2009)



Kuva 4. Ilma-ilmalämpöpumpputjärjestelmän toimintaperiaate. (Suo 2009)

## 2.6 Ilmalämpöpumpun toimintarajat

Ulkolämpötilan laskiessa höyrystymislämpötila sekä lämpöpumpun teho laskevat. Samalla pienenee lämpökerroin. Lämpöpumpun höyrystymislämpötilaa ei voida laskea alle  $-20^{\circ}\text{C}$ , ja toiseksi kompressorin käyttöalueen määrää ulkolämpötilat  $-15\dots-10^{\circ}\text{C}$ . Nämä ovat rajana ulkoilmalämpöpumpun toiminnalle. Aivan uusimmille ilmalämpöpumpuille luvataan kuitenkin toiminta jopa  $-30^{\circ}\text{C}$ . Käytännössä lämmitysteho pienentyy näissä lämpötiloissa ja lämpökerroin putoaa alle yhden. Huurtuminen on myös käyttöä rajoittava tekijä. Se on suurimmillaan  $-5\dots+5^{\circ}\text{C}$  ulkolämpötiloilla. Jos huurteen sulattamiseen tarvitaan lämpöpumpun tuottamaa lämpöenergiaa, on se pois lämpöpumpun tuotosta. (Ait 1996)

Ilmalämpöpumpun lämmönlähteenä olevan ulkoilman etuina ovat sen yleissoveltuvuus, sijainti lähellä käyttöpaikkaa ja rajaton saatavuus sekä käytön vähäiset vaikutukset ympäristöön. Lämmöntuotto ei aiheuta suurinakaan määrinä vaikutuksia ympäristöön. Haittana on matala lämmöntuottotaso suurimpaan lämmöntarpeen aikaan. Ulkoilma soveltuu jäähdytyskäyttöön yleensä hyvin. Jäähdytyksessä lauhdutus tapahtuu ulkoilmaan, jonka lämpötilataso voi olla suuri, jopa yli  $+30^{\circ}\text{C}$ . Tällöin jäähdytyksen korkealla ulkolämpötilalla on heikentävä vaikutus tehokertoimeen. (Ait 1996)

### 3 Ilmalämpöpumppujen käytettävyys

Lämpöpumppuja on käytetty jo pitkään jäähdytyskäyttöön, mutta viime vuosikymmeninä niiden on havaittu soveltuvan myös lämmityskäyttöön. Molemmiin puolin 1980-lukua asennetuissa lämpöpumpuissa tehtiin virheratkaisuja ja kiinnostus niihin lopahti. Viime vuosien aikana kappalemäärien kasvu on muuttunut rajuksi. Tähän ovat vaikuttaneet parantuneet lämpökertoimet ja kyky laajempaan ulkolämpötilojen hyödyntämiseen. Lisäksi jäähdytyskäyttöominaisuus ja säästöt sähkölaskuissa ovat kannustaneet hankkimaan ilmalämpöpumpun. Ilma-ilmalämpöpumppua käytetään tavallisesti tukilämmitysjärjestelmänä tai energiankulutuksensäästölaitteena pohjoisilla leveyspiireillä. (Hau 1991)

#### 3.1 Käyttö pientaloissa

Suomessa ilmalämpöpumppua käytetään tiloihin, joissa tarvitaan lämmitystä ja halutaan käyttää tarvittaessa jäähdytystä. Käyttökelpoisia kohteita ovat pientalot ja rivitalot. Ilmalämpöpumppujen käyttökohteista pientalojen lämmitys on ollut lukumäärältään suurin. Kerrostaloissa ei niinkään löydy perusteita ilmalämpöpumppujen käytölle. Tässä työssä painotutaan ilma-ilmalämpöpumppuihin pientaloissa.

Pientalojen lämmitysjärjestelmissä on tapahtumassa perusteellinen muutos. Öljyn käytöstä on luovuttava ennemmin tai myöhemmin. Tilalle tulevat kotimaiset polttoaineet, sähkö, aurinkolämmitys ja lämpöpumput. Nykyisin rakennukset varustetaan lisääntyvässä määrin jäähdytysjärjestelmällä. Lämpöpumppujärjestelmät valloittavat myös kohteita, joissa ei ole aikaisemmin ollut tarvetta jäähdytykselle. Yksityiskohtainen tarkastelu on tärkeää tapauksissa, joissa suunnitellaan käytettäväksi sekä lämmitystä että jäähdytystä. Huomioitavia tekijöitä ovat kohteen koko, käyttötarkoitus ja rakennukselle asetetut vaatimukset. Yleisesti näillä tiedoilla voidaan arvioida energiankulutusta ja määrätä lämpöpumpulta tarvittava tehotaso. (Wik 1980)

Yleisenä lähtökohtana rakennusten tarvitseman lämpötehon mitoitukselle on huippupakkaset. Ilmalämpöpumput voivat tuottaa vain osan maksimilämmitystarpeesta. Loppuosa tuotetaan muilla lämmitystavoilla, kuten öljyllä tai sähkölämmityksellä. Ilmalämpöpumpun mitoitukseen vaikuttaa kuitenkin tarvittava teho  $-20^{\circ}$  C:ssa ja sitä lämpimämmissä olosuhteissa. Toiminnallisuutensa vuoksi ilmalämpöpumpun mitoitusta ei tehdä huippupakkasten mukaan, vielä ainakaan toistaiseksi.

Toisaalta jos ilmastonlämpeneminen johtaa pienempiin huippupakkasiin ja tekniikka kehittyy, voi olla seurauksena, että tulevaisuudessa pieniä omakotitaloja voidaan lämmittää pelkästään ilmalämpöpumpulla. Osatehomitoidun lämpöpumpun käyttötapa voidaan luokitella vuoroittaiskäyttöön tai rinnakkaiskäyttöön. Vuoroittaiskäytössä lämpöpumppua käytetään niin kauan kuin tehoa riittää, jonka jälkeen kone pysäytetään ja otetaan lisälämmitys käyttöön. Rinnakkaiskäytössä lämpöpumppu lämmittää jatkuvasti ja lämpövaje tuotetaan lisälämmityksellä. (Pes 2005)

### **3.2 Lämpöpumpun sijoitus**

Ulkolämpötila ja auringon säteily määräävät vuodenaikojen ja vuorokauden suhteen muuttuvat lämmitys- ja jäähdytystehot. Suomessa jäähdytyskausi on lyhyt ja jäähdytystä on vain kesällä, jolloin ulkoilman vapaajäähdytys ei ole useinkaan toteutettavissa. Jatkuvan jäähdytysosuuden lisääntyessä saadaan ilmalämpöpumpun käytöstä kustannuksellisia säästöjä. (Pes 2005)

Lämpöpumpulle täytyy tehdä huolellinen valinta sijoitettavan paikan suhteen, sillä huonolla sijoituksella voidaan pilata hyvä laite ja sen ominaisuudet. Sisäyksikön sijoitus vaatii taitoa laitteen toimimiseksi oikein ja optimaalisesti. Tällä on olennainen osa lämmityksessä ja jäähdytyksessä, ja siten se vaikuttaa voimakkaasti myös sähkönkulutukseen. Suomessa sisäyksikön sijoitus perusteena on lämmityskäyttö, jolloin se sijoitetaan eteiseen tai muuhun avaraan tilaan. Silloin se voi kierrättää lämmitysilmää laajaan osaan huoneistoa luovuttaakseen lämmintä ilmaa. Lämpöteho on tavallisesti 2-4 kW luokkaa. Tarpeellisen lämmitysenergian luovuttajana se saattaa jäädä pieneksi. Käyttöveden lämmitys on tehtävä erillisellä ratkaisulla ja lisälämmitys sähköllä tai muulla lämmitysjärjestelmällä. (Hau 1991)

Yleisimmät asennusvirheet ovat väärä sijoittelu, ulkoyksikön tärinänvaimennus, vuotavat liitokset, turvakytkimen puuttuminen, ulkoyksikön kannatinsysteemi ja huono asennusjälki. Yksikön valinnassa kannattaa puolestaan huomioida muun muassa invertterisäätö, ulkoyksikön sulatus, laitteen toimivuuden ja tehokertoimen testaus Suomen olosuhteissa, lämpöeroin pakkasella, asennuksen laatu, takuu ja huolto. (IVT 2009)

Sääntöjä ja ohjeita sisäyksikön sijoitukselle:

- Sijoitetaan keskeiseen paikkaan, ylös lähelle katon rajaa, josta lämpö jakaantuu hyvin koko huoneistoon. Esimerkiksi sisääntulon lähetyvillä olevat paikat.
- Vältettävä paikkaa, jonka läheisyydessä tai alla oleskellaan jatkuvasti. Äänitaso ja puhallusnopeudet ovat kuitenkin alhaiset.
- Sijoitus paikkaan, jossa lämpötila voi olla korkeampi kuin huoneistossa keskimäärin.
- Puhallettava ilma ei saisi törmätä muutaman metrin matkalla mihinkään.
- Sijoitus ulkoseinää vasten, jolloin lyhyemmät putkivedot.
- Hyvä muistaa, että lämpö nousee ylöspäin ja viileys laskeutuu alas. Laite ottaa ilman ylhäältä ja puhalttaa sen lämmitettynä tai jäähdytettynä alas.
- Kannattaa huomioida huolto mahdollisuus, äänien minimointi ja ulkonäölliset asiat.
- Jäähdytyskäytössä lauhdetta voi tulla 1,5 litraa tunnissa, joka on viemäroitävä pois.
- Muut lämmitys- ja ilmastointivirtaukset pyrittävä hyödyntämään.

Ulkoyksikkö kerää huurretta ja jäätä lämmittäessään taloa. Sulatusjärjestelmä on tavallisesti automaattinen ja sen on toimittava kaikissa olosuhteissa. On myös huolehdittava ulkoyksikön sulatusvesien poistamisesta. Ulkoyksikön sijoituksessa kannattaa huomioida:

- Sijoitus tukevasti ulos tai tilaan, joka on vapaasti yhteydessä ulkoilmaan.
- Kiinnitys seinään tai lattia-/maatukiin. Seinäkiinnityksen oltava tukeva ja sellainen, ettei rakenteisiin tule runkoääniä.
- Huolto mahdollisuus ja ulkonäölliset seikat kannattaa huomioida.
- Sijoitus lumirajan yläpuolelle ja mieluiten katoksen tai räystäään alle. Ympärillä oltava riittävästi tilaa ja vapaa ilmankierto. Yksikön tulisi välttää kovaa tuulta ja sadetta.
- Lämmityskäytössä voi syntyä 10 - 20 litraa lauhdevettä vuorokaudessa.
- Suurin ja lyhyin yksiköiden välinen putkien pituus 3- 15 m. (IVT 2009)



## 4 Lämmitysmääristä – ja menetelmistä

Lämmitysjärjestelmän valinta on pientalosuunnittelun yksi keskeisiä päätöksiä. Valinnassa täytyy huomioida taloudelliset näkökohdat, ulkoiset olosuhteet, lämmitysjärjestelmän ominaisuudet ja omat mielipiteet sekä rakennuksen koko ja energiantarve. Rakennusten energiantarve jakaantuu käyttöveden lämmitystarpeesta, tilojen lämmitystarpeesta, sähköenergian tarpeesta ja jäähdytystarpeesta. Pienet rakennukset ovat investoinneiltaan halvempia, mutta kalliimpaa lämpöä tuottava järjestelmä saattaa tulla halvemmaksi. (Nis 2007)

### 4.1 Lämmönkulutus Suomessa

Taulukko 1. Rakennusten määrä talotyypeittäin ja lämmitysenergian mukaan vuodelta 2006. (Rau 2008)

1000 kpl												
Talotyyppi	Kauko- tai alue lämpö	Kevyt poltto öljy	Raskas poltto öljy	Sähkö	Kaasu	Kivihilli, koksi tms.	Puu	Turve	Maa lämpö tms.	Ei läm- mistystä	Yht.	
<b>Kaikki rakennuk.</b>	<b>156,0</b>	<b>325,8</b>	<b>17,9</b>	<b>659,7</b>	<b>10,9</b>	<b>0,0</b>	<b>693,8</b>	<b>5,2</b>	<b>35,9</b>	<b>344,0</b>	<b>2249,2</b>	
<b>Asuinrakennukset</b>	<b>122,3</b>	<b>253,2</b>	<b>0,2</b>	<b>451,7</b>	<b>4,3</b>	<b>0,0</b>	<b>298,4</b>	<b>2,9</b>	<b>33,8</b>	<b>15,4</b>	<b>1182,1</b>	
Erilliset pientalot	42,4	234,8	0,0	425,3	3,3	0,0	297,9	2,8	33,6	14,8	1054,9	
Kytkeytyt pientalot	33,1	13,4	0,0	24,1	0,6	0,0	0,3	0,0	0,1	0,4	72,2	
Asuinkerrostalot	46,8	5,0	0,1	2,3	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	55,0	
Vapaa-ajan as. rakenn.	0,0	13,3	0,0	105,6	4,5	0,0	321,3	0,0	0,6	46,6	492,0	

Tilastokeskuksen laatimasta taulukosta 1 voidaan lukea pientalojen käytetyimmät lämmitysmuodot. Suurin kappalemäärältään on sähkölämmitys 425 300 kpl. Seuraavina tulevat puu 297 900 kpl, kevyt polttoöljy 234 800 kpl ja kaukolämpö 42 400 kpl. Kaikkiaan erillisiä pientaloja on 1 054 900 kappaletta. Näiden lukemien pohjalta lämpöpumppuratkaisuille olisi siis runsaasti käyttöä tulevaisuudessa. Pientaloja rakennetaan vuosittain keskimäärin 15 000 kpl. (Rau 2008)

Taulukko 2. Rakennusten lämmitysenergiälähteet talotyypeittäin vuodelta 2006. (Rau 2008)

	Puun pienkäyttö	Turve Torv	Hilli Kol	Raskas polttoöljy	Kevyt polttoöljy	Maa- kaasu	Lämpöpump- pump	Polttoaineet yhteensä	Kauko- lämmitys	Sähkö- lämmitys
	Småskalig träanvändning	Peat	Coal	Tung brännolja	Lätt brännolja	Natur- gas	Jordväme- c luftväme- pump	Bränslen totalt	Fjärr- värmning	Electric heating
	Small scale combustion of wood			Heavy fuel oil	Light fuel oil	Natural gas	o.dyl. Heat pumps	Fuels total	District heating	
	TJ							GWh		GWh
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2006										
Asuinrakennukset	41240	470	13	230	27920	1450	8470	79793	16980	8650
• Erilliset pientalot	35580	430	-	-	21760	340	8380	66490	1370	7060
• Kytetyt pientalot	120	10	-	-	3710	550	60	4450	2490	1080
• Asuin kerrostalot	40	30	-	230	2320	530	20	3170	13120	150
• Vapaa-ajan asuinrakenn.	5500	-	13	-	130	30	10	5683	-	360
Palvelurakennukset	2780	80	-	3420	10000	1210	120	17610	11440	1640
Teollisuusrakennukset	2000	410	-	8150	6140	1600	20	18320	3050	2700
Maatalousrakennukset	5060	550	-	1110	4520	90	20	11350	130	770
<b>Yhteensä</b>	51080	1510	13	12910	48580	4350	8630	127073	31600	13760

Taulukosta 2 nähdään rakennustyypeittäin lämmitysenergiälähteiden vaihtelu TJ:ssa ja GWh:ssa (3,6 TJ vastaa 1 GWh). Erillisissä pientaloissa käytettiin puuta 35 580 TJ, sähköä 25 416 TJ, kevyttä polttoöljyä 21 760 TJ ja kaukolämmitystä 4 932 TJ. Puulla tuotetaan siis pientaloissa eniten lämpöä. Sitä käytetään erityisesti taajamien ulkopuolisilla alueilla lisälämmitykseen. Vuonna 2006 asuinrakennusten lämmöntuotannossa lämpöpumppujen osuus on melko pieni, mutta se on ollut 2000-luvulla voimakkaassa kasvussa. Keskitettyjen järjestelmien eli kaukolämmityksen, sähkölämmityksen ja lämpöpumppujen määrät ovat lisääntyneet, samalla kun paikallisten polttoaineiden eli puun, öljyn ja turpeen osuus on vähentynyt. Kaukolämmitystä hyödynnetään tavallisesti kaupungeissa ja erityisesti kerrostaloissa. Omakotitaloissa puolestaan käytetään sähkölämmitystä. (Rau 2008)

#### 4.2 Lämmityskustannuksista

Lämpöpumppu kilpailee muiden menetelmien kanssa lämmöntuottotapana. Vertailtaessa lämmitysmenetelmien kustannuksia ovat hankintakustannukset ja käyttökustannukset tärkeimmät tuotetun lämmön hintaan vaikuttavia tekijöitä. Kustannusvertailussa hankintakustannukset on jaettava usealle vuodelle ja eri energiamuodoille on arvioitava suuruusluokaltaan oikea hinta pitkälle tarkastelujaksolle. (Sal 2003)

Vanhan asuinrakennuksen lämmitysjärjestelmän vaatiessa saneerausta voidaan lämpöpumpun asentamista pitää vaihtoehtona vanhan lämmitysjärjestelmän tilalle. Mietittäessä lämpöpumpun

asentamista vanhaan rakennukseen ovat tärkeimpiä huomioitavia asioita kilpailukyvyn selvittäminen sekä tarvitseeko vanhasta lämmitysjärjestelmästä jättää osia käytettäväksi. Lämpöpumpun suunnittelu on suoritettava ammattilaisten avulla niin uudisrakennuksessa kuin vanhassakin rakennuksessa. Eri lämmitysjärjestelmien kustannusvertailuissa voidaan melko hyvällä tarkkuudella vertailla eri lämmitysjärjestelmien vuosikustannuksia. Lämpöpumpun taloudellisuutta arvioitaessa tulisi yleisesti käyttää keskimääräistä lämpökerrointa. (Sal 2003)

Ilmalämpöpumpun hankintakustannukset muodostuvat asennuksesta ja itse laitteesta. Käyttöikäenä pidetään 15 vuotta ja huoltokustannuksia voi koitua käyttöään loppupuolella, tyypillisesti kompressorista. Invertteri-mallinen ilmalämpöpumppu yhdellä sisäyksiköllä maksaa asennettuna noin 2 500 € (Mot 2009)

### **4.3 Lämmityksen säästöt**

Tuottaakseen koko lämmöntarpeen vaatii ilmalämpöpumppu lisälämmitysjärjestelmän. Käytettäessä sähkölämmitystä asetetaan haaste sähköntuotannolle ja -jakelulle. Kiinteän polttoaineen käyttö taas aiheuttaa lisäkustannuksia ja vaivaa. Ilma-ilmalämpöpumppu sopii hyvin taloon, jota lämmitetään suoralla sähkölämmityksellä. Melko tavallisena arviona voidaan pitää koko asunnon lämmitysenergian säästölle 30 - 40 %. IILP voidaan asentaa taloon, jossa on öljy-, pelletti-, puu- tai vesikiertoinen sähkölämmitys. Jos vanhan kattilan ja muut lämmitysjärjestelmän osat voidaan säilyttää, maksaa investointi itsensä nopeasti takaisin. (Mot 2009)

#### *4.3.1 Vertailu muihin lämmitysmenetelmiin*

Edellä olevien taulukoiden perusteella merkittävimmät lämmitysmenetelmät pientaloissa ovat kaukolämpö, öljy, puu, lämpöpumput ja sähkölämmitys. Viimeksi mainittu on tarkasteltu erikseen, sillä ilmalämpöpumppu tarvitsee sähköä ja IILP:n käyttö sähkölämmityksen rinnalla on erittäin yleistä sekä tehokasta. Ensin mainittuja lämmitysmenetelmiä on vertailtu vain sanallisesti, sillä työn laajuuden puitteissa ei ole järkevää esittää kustannus- tai energiasäästöjä, sillä muuttuvia tekijöitä on runsaasti. Toisaalta energianhinnat ja lämmitystehontarve vaihtelevat voimakkaasti, jolloin kohteista muodostuu runsaasti erilaisia variaatioita ja ne ovat vain suuntaa antavia. Työn aiheeseen liittyen ja edellä mainituista syistä tarkempi vertailu on tehty suoralle sähkölämmitykselle.

Internetissä ja energiavirastoissa voi tehdä lämmitysmenetelmävertailuja melko hyvällä tarkkuudella juuri omalle lämmitysjärjestelmälle.

Kaukolämpö tarkoittaa keskitetysti tuotettua ja vesiverkostolla kohteisiin luovutettua lämpöä. Kaukolämpöä käyttävä kohde liittyy kaukolämpöverkkoon ydin taajama-alueilla, joissa ei ole niinkään pientaloja. Tilannetta havainnollistaa taulukko 1. Siitä nähdään kaukolämmön, kaasun ja turpeen osuudet erillisten pientalojen lämmityksessä. Näiden rakennusten kokonaismäärä, joissa kyseisiä lämmitysmenetelmiä käytetään, muodostaa alle 5 % kaikista erillisistä pientaloista. Siten näiden vertailu ei ole kovinkaan mielekäästä. Todettakoon kuitenkin, että seurattaessa yleistä hintavertailua, on kaukolämpö erittäin halpa lämmöntuotantomenetelmä.

Öljylämmitys voidaan korvata ilmalämpöpumpulla joko osittain tai kokonaan. Ilmalämpöpumppu ei sisällä käyttövedenvaraajaa, jolloin on mahdollisuuksien mukaan hankittava sähköinen lämminvesivaraaja tai käytettävä vanhaa öljykattilaa. Öljyn ja kiinteän polttoaineen käyttö lämmöntuotantoon lämpöpumppujärjestelmän rinnalla on edullista, koska käyttäjälle ei aiheudu kiinteitä kuluja. Uuteen taloon investointina öljylämmitys tulee kalliiksi, sillä siihen kuuluvat kattilalaitos sekä öljysäiliön jakelu- ja varolaitteet ja tila. Öljylämmityksen kustannuksiin öljyn hinnan lisäksi tulee nuohouskulut sekä polttimen huoltokustannukset. (Sal 2003)

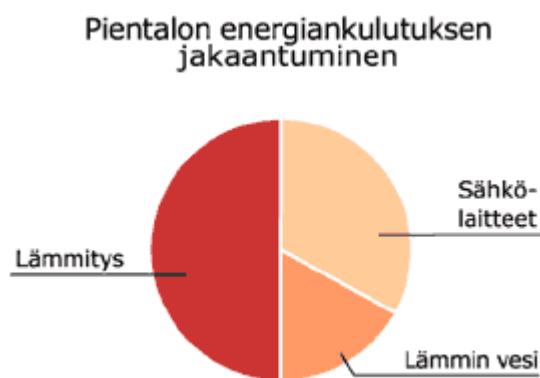
Kiinteät polttoaineet tarvitsevat varaston sekä usein myös syöttölaitteet. Investointina se on hankalampi toteuttaa ja vaatii siksi enemmän hankinnalta. Kiinteillä polttoaineilla on oikeastaan oltava erillinen lämminvesivaraaja. IILP:n ja puulämmityksen yhteiskäytössä lämpö leviää ja tasoittuu ilmalämpöpumpun ansiosta hyvin. Myös lämpötilakerrostumat ja vetoisuus pienenevät tai poistuvat. Sähkö- ja puulämmitteinen pientalo ovat erityisen hyviä päälämmitysjärjestelmiä ilmalämpöpumpulle. (IVT 2009; Pes 2005)

Lämpöpumput ovat kaiken kaikkiaan määrältään ja lämmitystekholtaan kasvava lämmitysmenetelmä. Yleisesti maalämpöpumput ovat lämmitystoiminnoiltaan kattavimmat, koska silloin ei tarvita erillistä käyttöveden lämmitystä tai lisälämmitysjärjestelmää. Poistoilmalämpöpumpulle (PILP) toimii sama periaate. MLP ja PILP eivät sovi kuitenkaan kovin hyvin saneerauskohteisiin tai lisälämmitykseen. Tällöin ilmalämpöpumppu olisi hyvä valinta. Vesi-ilmalämpöpumpulla voidaan lämmittää käyttövesi, mutta se vaatii myös lisälämmitysjärjestelmän. Ilma-ilmalämpöpumppu on täysin riippuvainen lisälämmityksestä Suomen olosuhteissa ja sillä ei voi lämmittää käyttövettä. Lämminkäyttövesi on saatava vain hankittua muulla tavoin. Nykyisin

IILP soveltuu parhaiten suoran sähkölämmityksen lisälämmitysjärjestelmäksi. On hyvä muistaa, että kaikilla lämpöpumpuilla on mahdollista saavuttaa hyötyä energiankulutuksessa. (Nis 2007)

#### 4.3.2 Vertailu sähkölämmitykseen

Suomen olosuhteissa ulkoilman hyödyntäminen lämmitykseen sähkölämmityksen rinnalla on hyvä vaihtoehto pientaloissa. Ulkoilmalämpöpumpuilla voidaan saavuttaa suurimmillaan 40–50 % säästö energian kulutuksessa. Sen suuruus riippuu lämpöpumpun tehosta suhteessa rakennuksen energian kulutukseen.



Kuva 5. Pientalon energiankulutuksen jakaantuminen. Energiankulutuksessa puolet kuluu lämmitykseen, viidennes veden lämmitykseen ja kolmannes sähkölaitteisiin ja valaistukseen. (Mot 2009)

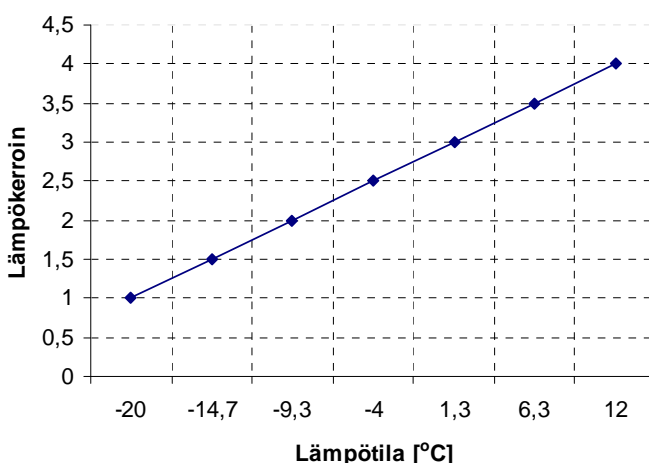
Pientalon energian käyttö jakaantuu kuvan 5 mukaan. Puolet energiasta kuuluu lämmitykseen, viidennes veden lämmitykseen ja kolmannes sähkölaitteisiin ja valaistukseen. Tällä perusteella voidaan taulukoida arvoja lämmitysenergian vuosittaisesta tarpeesta kohteessa, jossa on suora sähkölämmitys. Tämä onkin tehty taulukkoon 3. Taulukkoon on merkitty myös ihmisten lukumäärä, rakennuksen pinta-ala sekä rakennuksen kokonaisenergiankulutus. Tyypillinen suomalainen pientalon koostu neljästä henkilöstä ja on kooltaan 120 m<sup>2</sup>. Energiankulutusta on arvioitu yleisen kokemuksen mukaan. Todellinen arvo riippuu kuluttajasta, jolloin kulutukseen muodostuu +/- 10 % hajonta. (Mot 2009; Ene 2009)

Taulukko 3. Taulukkoon on arvioitu suoran sähkölämmityksen osuus koko pientalon energian kulutuksesta.

Kulutukseen vaikuttavia tekijöitä ovat ihmisten lukumäärä ja rakennuksen pinta-ala. (Ene 2009)

Ihmisten lukumäärä [kpl]	1	2	3	4	5
Rakennuksen pinta-ala [m <sup>2</sup> ]	30	60	90	120	150
Kulutus [kWh]	6600	10900	14600	18000	21100
Lämmityksen osuus [kWh]	3300	5450	7300	9000	10550

Tulevien sähkökulutuksen ja sähkölaskun säästöjen arvioimiseksi täytyy määrittää lämpökerroin ilma-ilmalämpöpumpulle. Kuvassa 6 on tehty linearisoitu malli, jossa lämpökerroin muuttuu ulkolämpötilan funktiona. Mallissa -20° C:een lämpötilassa lämpökerroin on yksi ja +12° C:een lämpötilassa neljä. Liitteessä 1 ja 2 on vertailun vuoksi esitettynä todellisen ilmalämpöpumpun lämpökerroin ja lämpöteho ulkoilmanlämpötilan mukaan. Kuvan 6 lineaarimalli vastaa hyvin todellisia ilmalämpöpumppuja, ja on siksi käyttökelpoinen.



Kuva 6. Ilmalämpöpumpun lineaarinen lämpökertoimen kuvaaja ulkolämpötilojen funktiona. Lämpökertoimen ollessa 1 on lämpötila -20° C ja kertoimen ollessa 4 on lämpötila +12° C.

Kuvan 6 ja liitteen 3 mukaan on tehty puolestaan taulukko 4, josta käy selville ulkolämpötilan vaikutus sähköenergian säästöön. Esimerkiksi ulkolämpötilassa +1° C on ilmalämpöpumpun lämpökerroin 3. Tästä seuraa, että sähkön kulutus pienenee 67 %. Nämä arvot ovat teoreettisia, mutta pitävät hyvin paikkansa todellisiin ilmalämpöpumppuihin verrattuna.

Taulukko 4. Ulkolämpötilan ja lämpökertoimen vaikutus prosentuaaliseen sähköenergiaan.

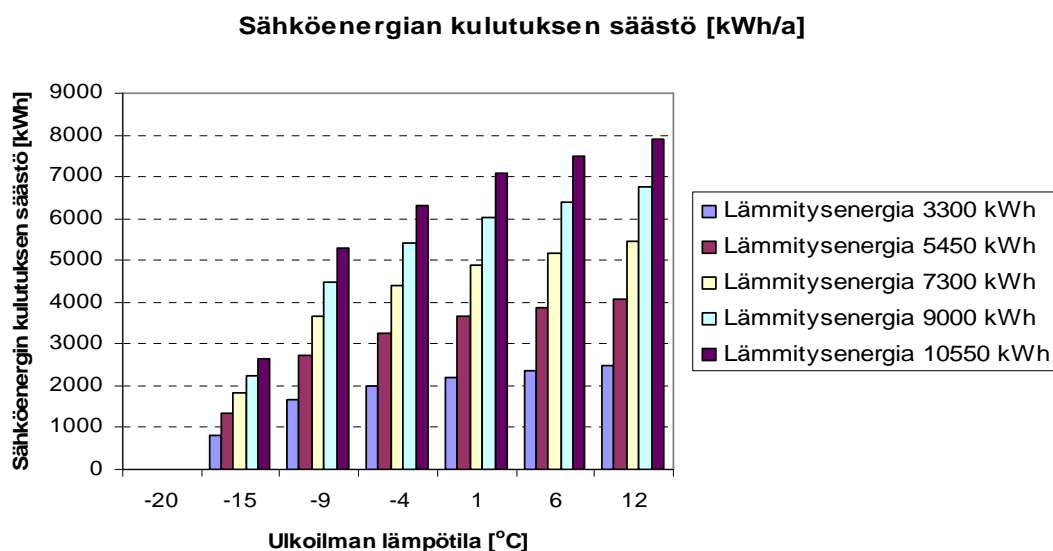
Lämpötila [°C]	-20	-15	-9	-4	1	6	12
Lämpöpumpun lämpökerroin	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Sähköenergiaa lämpökertoimesta [%]	1	0,75	0,5	0,4	0,33	0,29	0,25
Sähkön säästökerroin [%]	0	0,25	0,5	0,6	0,67	0,71	0,75

Liitteessä 3 on esitetty tarkemmin tiettyä lämpökerrointa vastaava sähköenergian osuus. Edellä esitettyjä taulukoita hyödyntämällä saadaan selville sähköenergian vuotuinen säästö. Kun ulkolämpötilat vaihtelevat edellä mainitulla tavalla, kertyy sähköenergia säästöjä taulukon 5 mukaan. Lämpötilan ollessa  $-20^{\circ}\text{C}$ , ei saavuteta sähköenergian kulutuksen osalta säästöä ja siksi se saa taulukossa arvon 0.

Taulukko 5. Ilmalämpöpumpusta koituvat sähköenergian vuotuiset säästöt suoraan sähkölämmitykseen verrattuna, pinta-alan ja ulkolämpötilan mukaan.

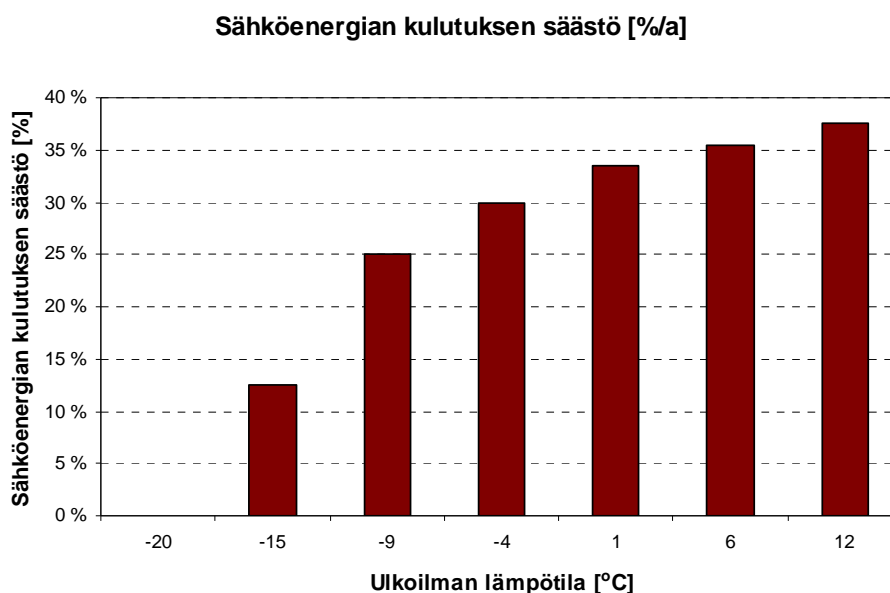
Pinta-ala [m <sup>2</sup> ]	Lämmitysenergia [kWh]	Lämpötilat [°C]						
		Sähköenergian säästö [kWh/a]						
		-20	-15	-9	-4	1	6	12
30	3300	0	825	1650	1980	2211	2343	2475
60	5450	0	1363	2725	3270	3652	3870	4088
90	7300	0	1825	3650	4380	4891	5183	5475
120	9000	0	2250	4500	5400	6030	6390	6750
150	10550	0	2638	5275	6330	7069	7491	7913

Rakennuspinta-alan kasvaessa säästöt lisääntyvät. Täytyy kuitenkin muistaa, että yhden ilmalämpöpumpun sisäyksikön lämmityskapasiteetti on n. 100 m<sup>2</sup>. Vertailuarvoina voi käyttää 1 kW, joka riittää tavallisesti 30 m<sup>2</sup> lämmitykseen ja 15 m<sup>2</sup> tehokkaaseen jäähdytykseen. Kuva 7 havainnollistaa taulukon 5 arvoja diagrammimuodossa. (Mot 2009)



Kuva 7. Sähköenergian kulutuksen säästöt vuoden ajalta eri pinta-aloissa ja ulkolämpötiloissa.

Kuva 8 kertoo sähköenergian kulutuksen säästön prosentteina ulkolämpötilan funktiona. Prosentit kertovat säästön koko energiankulutuksesta, jos ilmalämpöpumpua käytetään suoran sähkölämmityksen sijaan. Tarkastelu on vuodelle ja siinä ei ole otettu huomioon investointia. Vuoden keskilämpötila on Suomessa vähän 0° C:een yläpuolella. Keskimääräiseksi kulutuksen säästökseen voi kuvan 8 perusteella todeta n. 30 %.



Kuva 8. Sähköenergian kulutuksen säästö %/a käytettäessä ilma-ilmalämpöpumpua lämmitykseen.

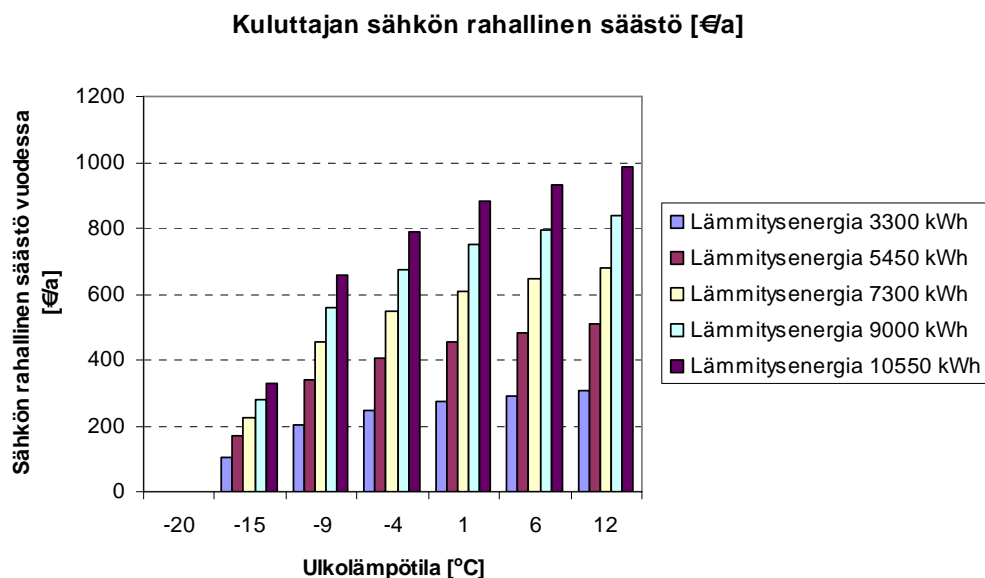
Kiinnostavaa on myös se, paljonko ilma-ilmalämpöpumpulla saavutetaan rahallista hyötyä vuositasona. Se on laskettu seuraavassa käyttämällä hyväksi edellä olevia arvoja ja taulukoita. Taulukosta 6 nähdään tarkemmat arvot rahalliselle säästölle. Sähkön hinnalle on arvioitu Energiamarkkinaviraston ilmoittamaa pienkuluttajan vuoden 2008 keskiarvohintaa eli 12,45 snt/kWh. Hinta on ollut noususuuntainen ja sen pitemmän aikavälin tarkastelun voi nähdä liitteestä 4.

Taulukko 6. IILP:lla saavutettava sähkönkäytön vähentymisestä koitua rahallinen säästö vuodessa, pinta-alan ja ulkolämpötilan mukaan.

Pinta-ala [m <sup>2</sup> ]	Lämmitysenergia [kWh]	Lämpötilat [°C]						
		Sähkön rahallinen säästö [€/a]						
		- 20	-15	- 9	- 4	1	6	12
30	3300	0	103	205	247	275	292	308
60	5450	0	170	339	407	455	482	509
90	7300	0	227	454	545	609	645	682
120	9000	0	280	560	672	751	796	840
150	10550	0	328	657	788	880	933	985



Kuva 9 havainnollistaa taulukon 6 arvoja diagrammimuodossa. Suurimmat säästöt saadaan kun rakennuksen pinta-ala on yli 100 m<sup>2</sup> ja ulkoilmanlämpötila suurempi kuin +10 °C.



Kuva 9. Havainnollistava kuvaaja kuluttajan ilma-ilmalämpöpumpulla syntyvästä vuosittaisesta rahallisesta säästöstä verrattuna suoraan sähkölämmitykseen.

Huomioitaessa taloussähkö ja käyttöveden lämmitys, voidaan pitää nyrkkisäätonä suorasähkölämmitteisessä talossa sähkölaskun pienentämisen mahdollisuutena kolmannesta. Esimerkiksi jos 100–150 m<sup>2</sup> suorasähkölämmitteisessä talossa sähkölasku on 1200–1800 €/a, ilmalämpöpumpulla pystytään säästämään n. 400–600 €. Ilmalämpöpumpulle saadaan tavallisesti viiden vuoden taloudellinen takaisinmaksuaika. Energianhinnan nousulla on tähän vain vähäinen merkitys ja lisäksi viilennys sekä ilman suodatus lisäävät asumismukavuutta. (IVT 2009)

#### 4.4 Jäähdytyskustannukset

Lämmityksestä saatavat säästöt eivät mene jäähdytykseen. Tämä voidaan todistaa seuraavasti. Potentiaalisia jäähdytyskuukausia on vain kolme ja ne ovat kesä-, heinä- ja elokuu. Näiden kolmen kuukauden aikana ei ole vuorokautisten lämpötilojen puolesta jatkuvaa jäähdytystarvetta. Tilaa ei kannata myöskään käyttää jäähdytykseen vuorokauden ympäri eikä silloin kun talo on tyhjiällä. Lisäksi on hyvä muistaa, että jäähdytyskäytössä kannattaa käyttää laitetta tasaisella teholla, eikä hetkittäin täydellä jäähdytysteholla. Näillä ja kokemusten antamilla perusteilla jäähdytykseen kuluu järkevästi käytettynä 150 m<sup>2</sup> talossa vuodessa noin 200 - 300 kWh sähköä. Tällöin kuumimpina kesinäkin 150 m<sup>2</sup> talon jäähdytykseen ei normaalisti kulu juuri yli 40 € (IVT 2009)

## **5 Ilmalämpöpumppu sähköverkossa**

Lämpöpumppu ei toimi ilman sähköä ja siksi sen antama lämpö on epäsuoraa sähkölämmitystä. Vuoden keskimääräisen lämpökertoimen mukaisesti sähkönkulutus on normaalisti 30–50 % lämpöpumpun tuottamasta lämmönmäärästä. Koska lämmityskäytössä Suomen olosuhteissa tarvitaan lisälämmitystä, hoidetaan se yleisimmin sähköllä.

### **5.1 Laitteiston sähkösyöttö**

Sähkösyöttökaapeli tulee laitteen mukaan, joko sisä- tai ulkoyksikköön. Kotitalouksissa käytetään kompressorin moottorina yksivaihekoneistoja. Tällöin kompressorin moottorin sähkösyöttönä käytetään yksivaiheisia kaapeleita, kuten MMJ 3x1,5S. Sulakkeena riittää käyttää 10 A, sillä koneet ovat suurimmilta tehoiltaan muutaman kilowatin luokkaa. Jännitetaso on 220–240 V ja taajuus 50 Hz, eli normaali verkkojännite. Ilmalämpöpumppua ei tarvitse erikseen huomioida pientaloissa yleisen sähköjärjestelmän mitoituksessa, sillä omakotitalot mitoitetaan tavallisesti 3x25 A pääsulakkeilla. Kustannus syistä tätä suurempia kokoja harvemmin käytetään, ja näin ollen ilma-ilmalämpöpumput toimivat tämän rajan puitteissa.

Vaikka kompressorien moottoreissa on huomattavan suuret käynnistysvirrat, pystytään suurten virtojen vaikutukset minimoimaan erilaisilla käynnistysmenetelmillä. Tällä vaikutetaan siihen, että muu pientalon sähköjärjestelmä ei kärsi yhden laitteen toiminnasta. Kompressoria pyörittävänä moottorina käytetään tasavirtamoottoria. Tämä moottorityyppi on käyttöominaisuuksiltaan sopiva ja helppo säätää, sekä se toimii lisälaitteiden kanssa erinomaisesti. Lämpöpumpun asennus on ammattilaisten sähkö- ja kylmäasennustyötä, johon luvan myöntää Tukes. Asennusvaiheessa on huolehdittava käyttöönottotarkastuksesta ja käyttäjän opastuksesta. Sähköturvallisuuden kannalta kyseiset laitteet ovat olleet hyvin käyttäjäystävällisiä. Liitteessä 4 on lisää tuotetietoa ja sähköteknisiä ominaisuuksia eräästä ilma-ilmalämpöpumpusta.

### **5.2 Invertteriteknikka**

Ilmalämpöpumppuja voidaan säätää joko On/Off- tai invertterisäädöllä. On/Off tyyppisessä lämpöpumpussa kompressoria käyttävä moottori käy niin pitkään vakionopeudella ennen kuin haluttu lämpötila on saavutettu, jonka jälkeen moottori pysähtyy. Lämpötilan muuttuessa tarpeeksi

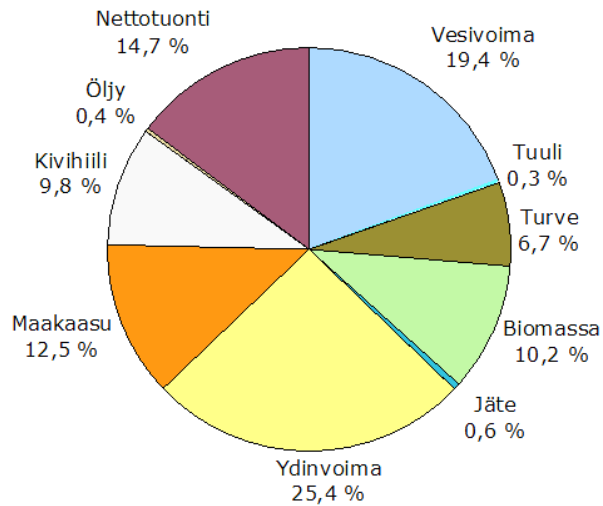
moottori käynnistyy uudelleen. Nykyaikaisemmissa ilmalämpöpumpuissa käytetään invertterisäätöä, joka kytkeytyessään päälle saavuttaa nopeasti halutun lämpötilan. Tämän jälkeen moottorin pyörimisnopeutta hidastetaan ja se käy niin, että kompressori saa pidettyä yllä haluttua lämpötilaa. Invertterisäätöiset laitteet siirtävät siis energiaa portaattomalla tehonsäädöllä. Invertteriteknikkaa käyttävä kompressori toimii eri nopeuksilla, riippuen kiinteistön vaatimasta energiatarpeesta. Tällä saavutetaan suuremmat säästöt, pienempi kuluminen ja alhaisempi melutaso. (Rau 2008)

### **5.3 Lisälaitteet**

Uusimpiin ilmalämpöpumppeihin voidaan sähkötekniikaksi lisätoiminnoiksi asettaa mm. GSM-ohjaus, jolloin voidaan nostaa lämpötilaa tai laskea lämpötila ylläpitolämpötilaksi, joka on taloudellisesti järkevä ratkaisu. Automaattinen kosteusvalvonta puolestaan takaa, että kosteustaso pysyy automaattisesti esisäädetyllä tasolla. Jos kosteusvahti havaitsee kosteustason nousevan liikaa, nostaa ilmalämpöpumppu lämpötilatasoa automaattisesti. Energiasäästö on optimaalinen ja kosteustason ollessa oikea, talossa ei esiinny kondenssi- tai kosteusongelmia. (IVT 2009)

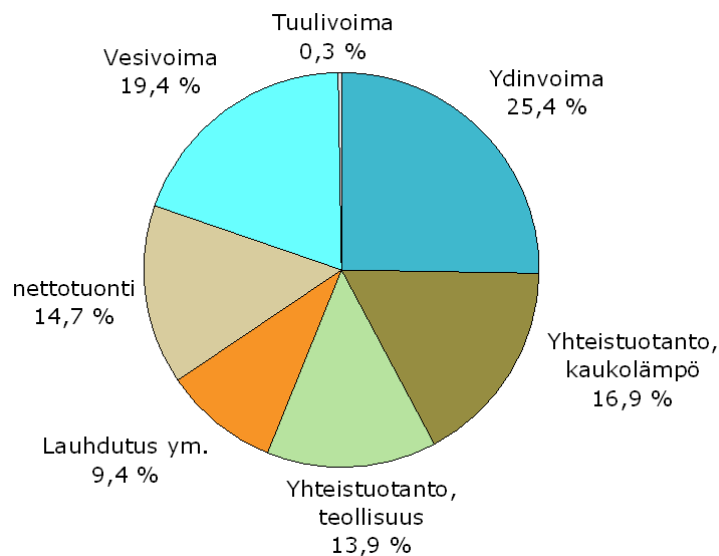
## **6 Vaikutukset sähköntuotantoon, markkinoihin ja siirtoon**

Ilmalämpöpumpun vaikutusten arvioimiseksi sähkötekniikan kannalta, on hyvä tietää joitain asioita Suomen yleisestä sähköntoimituksesta. Sähköenergiaa tuotetaan useilla energialähteillä ja tuotantomuodoilla. Suomessa tuotettiin sähköä vuonna 2008 yhteensä n. 87 TWh. Energialähteistä käytetyimmät ovat ydinvoima, vesivoima, kivihiihi ja maakaasu sekä biomassa kuvan 10 mukaisesti. Ydinvoimaa käytetään perusvoiman tuotantoon, koska se on halpaa, sitä voidaan tuottaa täydellä teholla ja sen tehontuotantoa on vaikea säätää. Vesivoima taas sopii perustuotantoon ja erityisesti säätökäyttöön. Lämpövoimalaitoksia käytetään sähkön ja lämmön yhteistuotantoon sekä huippu- ja varavoimalaitoksiksi. (Mui 2009)



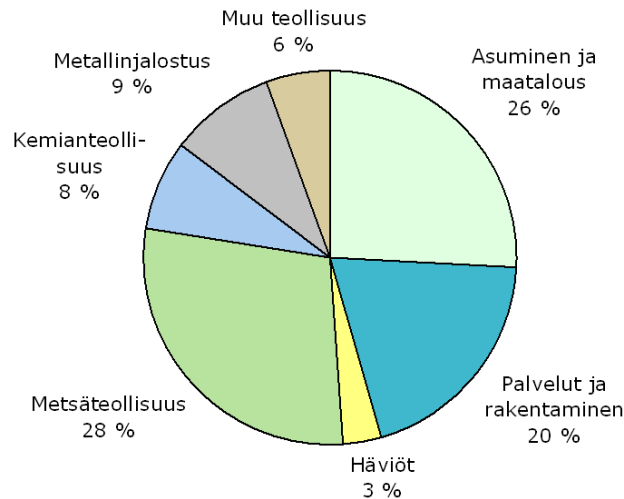
Kuva 10. Suomen sähkönhankinta energialähteittäin 2008. (Mui 2009)

Suomen sähköstä kolmannes tuotetaan yhteistuotantona. Viidennes tuotannosta koostuu tuonnista ja Suomeen sähköä tuodaan Ruotsista, Norjasta, Virosta ja Venäjältä. Vesivoimalla tuotetaan vajaa viidennes ja ydinvoimalla neljännes. Nämä osuudet näkyvät hyvin kuvasta 11. (Mui 2009)



Kuva 11. Suomen sähkönhankinta tuotantomuodoittain 2008. (Mui 2009)

Kuvasta 12 selviää Suomen sähkön kokonaiskulutuksen rakenne vuonna 2008. Teollisuus ja rakentaminen käyttivät sähköstä 51 %, asuminen ja maatalous 26 % sekä palvelut ja rakentaminen 20 %. Häviöiden osuus on 3 %.

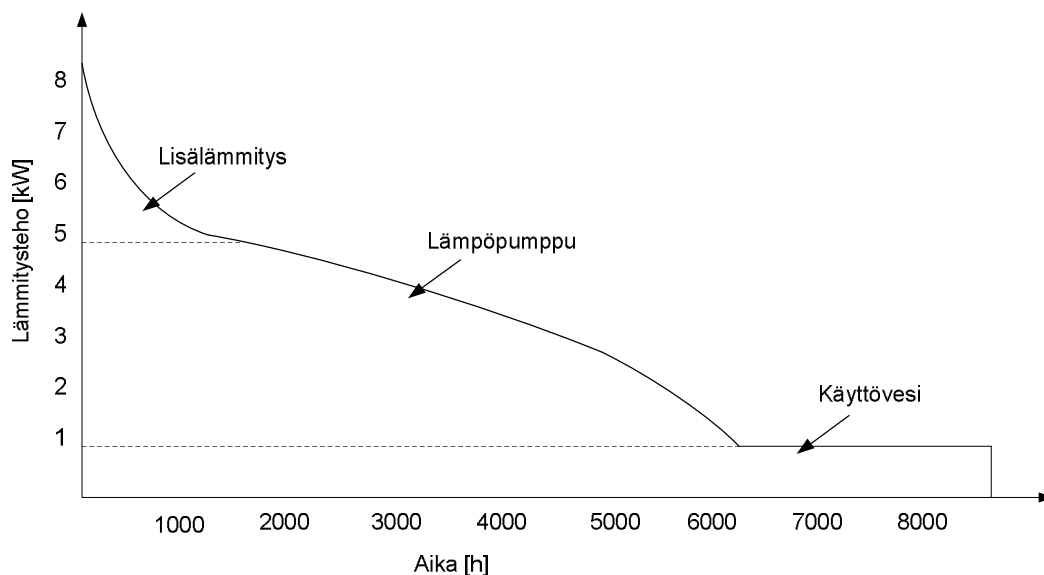


Kuva 12. Sähkön kokonaiskulutus 2008. (Mui 2009)

### 6.1 Vaikutukset tuotannon kannalta

Yleisesti voidaan todeta, että lämpöpumppulämmityksellä on koko voimantuotannon käyttöä hieman pienentävä vaikutus. Lämpöpumppujen lämmöntuotosta on valtakunnallisesti aina osa käytössä. Tämä johtaakin siihen, että verkostoa kuormittava lämmitysteho pienentyy verrattuna suoraan sähkölämmitykseen. Lämpöpumppujen toimintaskaalat - ja tehot eivät ole sitä luokkaa, että ne vaikuttaisivat kovimman pakkaskauden huippupakkasilla tuotantokapasiteetin tarpeeseen suoran sähkölämmityksen tehoon verrattuna. Lämpöpumppulämmityksen tuotantokapasiteetin käyttöä pienentävä vaikutus kohdistuu pääasiassa perusvoimantuotantoon. On arvioitu, että 60 %:n teholla mitoitettu lämpöpumppu kykenee tuottamaan yli 90 % kokonaislämmöntarpeesta. Leudoimpina lämpötilakausina tästä on apua sähkönomavaraisuuteen. Kuvan 13 pysyvyyskäyrä kertoo pientalon lämmitystehontarpeen jakautumisen yleisesti lämpöpumpulla. Siitä voidaan havaita, että lämpöpumppu kattaa likimain tuon 90 %. Ilmalämpöpumpun osuus samaisesta pysyvyyskäyrästä on pienempi, koska käyttövesi jätetään huomioimatta. (Nis 2007)

Lämpöpumppujen laajempi käyttö vaikuttaa sähköntuotantorakenteeseen niin, että perus- ja huipputehoalueen suhteellinen sähkönkulutus kasvaa ja välitehoalueen sähkönkulutus laskee. Nousu perustehoalueelta huipputehoalueelle aiheuttaisi sähköntuotannossa jyrkemmän muutoksen. Tämän takia tulisi suosia tehokkaita lämpöpumppuja, jotka tuottaisivat koko lämmöntarpeen rakennukseen myös kylmimpinä aikoina. (Rau 2008)



Kuva 13. Pientalon lämmitystehontarpeen jakautuminen lämpöpumpulla. Pysyvyyskäyrä kuvaa yhtä vuotta ja peruskuormana on käyttövesi. (Nis 2007)

Osateholle mitoitettu lämpöpumppu ei ole sähköntuotannollisesti kovin hyvä asia, sillä se aiheuttaa lisääntyntä sähköntarvetta huipputehoaikaan. Tulevaisuudessa huippukuormien aikoina täytyy varautua kasvaviin huipputehoihin. Kaikki lämpöpumput eivät voi tuottaa kaikkea tai ollenkaan tarvittavaa lämpöä huippupakkasilla. Voidaankin sanoa, että sähköntuotannon kannalta paras ratkaisu olisi käyttää mahdollisimman pienen huipputehontarpeen omaava lämmitysjärjestelmä. Huonoin ratkaisu tältä kannalta taas on osateholle mitoitettu lämpöpumppu, jonka tehontarve on suurimman osan vuodesta melko pieni, mutta huippupakkasilla niiden tarvitsema teho kasvaa lisälämmityslaitteiden käyttämän sähkön vuoksi voimakkaasti. Sähköntuotannossa on valmistauduttava suhteessa suurempaan lisätehontuotantoon. Huippuvoimalla tuotetun sähkölämmitysenergian osuus on vähemmän kuin 10 % kaikesta sähkölämmitysenergiasta. Näistä huippukauden tuotantolaitoksista osa toimii huomattavasti pienemmillä tehoilla tai osa ei ole toiminnassa laisinkaan. (Rau 2008; Nis 2007; Lap 1975)

Lämpöpumppulämmityksellä ei pystytä olennaisesti pienentämään kapasiteetin tarvetta. Tämän sijaan energian tarve puolittuu suoran sähkölämmityksen energiatarpeesta. Lämpöpumppulämmitysenergian tuotannon jako perus- ja huippukuorman osalta ei eroa merkittävästi suorasta sähkölämmityksestä. Sopivasti ohjatulla käytöllä lämmitystehon tuotannossa on kokonaisenergian keskihintaan vähän alentava vaikutus. Jos sähkölämmitysenergian osuus on alle 20 % kokonaisenergiasta, jää lämpöpumppulämmityksen sähkölämmitysenergian hinta alhaisemmaksi tavanomaiseen sähkölämmitysenergian hintaan verrattuna. Hinnat vaihtelevat rajusti

sähköenergiantuotantomuodon mukaan. Laajamittaisella ilmalämpöpumppujen käyttämisellä lämmityksessä on kansantaloudellinen merkitys, sillä säästetyn lämmitysenergian kulutuksen säästö on huomattava. (Lap 1975)

Ilma-ilmalämpöpumppujen jäähdytyskäyttö ei aiheuta sähköntuotantoon suurtakaan lisäystä. Vuonna 2006 Suomen 66 000 ilma-ilmalämpöpumpulle jäähdytyskäytön yhteenlaskettu maksimiteho oli suurimmillaan 150 MW. Tavanomainen tehontarve Suomessa kesäaikaan on 9 000 MW luokkaa eli se tarkoittaa, että ilmalämpöpumppujen jäähdytyksen kulutukseksi tulee suurimmillaan 1,7 %. Vuonna 2009 kesällä ilma-ilmalämpöpumppuja voi olla jo reilusti yli 150 000 kappaletta. Silloin yhteenlaskettu maksimiteho olisi likimain 340 MW ja se muodostaisi Suomen kesäaikaisesta tehontarpeesta 3,8 %, jos tavanomainen tehontarve olisi tuo 9 000 MW. Kovimpien arvioiden mukaan IILP voisi olla 2020-luvulla miljoona kappaletta. Silloin se tarkoittaisi maksimitehona jo 2 273 MW. (Nis 2007)

## **6.2 Sähkömarkkinat, sähkönhinta ja tariffit**

Suomi kuuluu vapaan kilpailun yhteispohjoismaisiin sähkömarkkinoihin Ruotsin, Norjan ja Tanskan kanssa. Markkinat ovat osaltaan merkittävät, sillä noin kolmannes käytetystä sähköstä kaupataan pohjoismaisen sähköpörssi Nord Poolin kautta. Sähkömarkkinat eivät tule todennäköisesti muuttumaan millään tavalla lämpöpumppujen vaikutuksesta. Hetkellisiä vaikutuksia voisi olla havaittavissa sähkökaupan termiinkaupoissa, jos tapahtuisi tariffimuutoksia tai lakimuutoksia ilmalämpöpumppujen osalta. Tämä toisaalta vaatisi suurta lämpöpumppujen käyttäjämäärää. Näidenkin tekijöiden pitkänajanvaikutukset olisivat olemattomat. (Nis 2007)

Kotitalousasiakkaan sähkön kokonaishinta muodostuu sähkölämmitteisessä talossa sähkön myynnistä 41 %, arvonlisäverosta 18 %, sähkön siirrosta 31 % ja sähköveroista 10 %. Liitteestä 5 nähdään hyvin sähkönhinnan ja sähkölämmittäjän hinnan muutokset. Niistä on pitemmällä aikavälillä havaittavissa reipas kasvu. Pelkästään viime vuonna nousua sähkölämmittäjän kokonaishinnassa oli 12,6 %. (Mui 2009)

Sähkön hinnan arvioinnissa on huomioitava päivä- ja yösähkön vaihtelevat hinnat sekä kokonaisuudessaan eri tariffit. Sähkön keskihintaan on lisättävä kiinteät sähkölämmityksestä aiheutuvat kustannukset kuten sulakemaksut ja siirtomaksut. Tariffi suosituksena 2-lämmityskuluttajille ja lämpöpumpuille on, että sovellettaisiin pääsääntöisesti yleistariffia.

Merkittävien verkostokustannuksien välttämiseksi voidaan sallia sähkölämmitystariffina päivä- ja yö sähkö, jos tariffi on verkostokustannusten osalta kuluttajamaksupainoinen. Pääsääntönä on, että mikäli lämpöpumppulämmitys ei tarvitse lisälämmitystä tai se hoidetaan varaavana lämmityksenä tai muulla tavoin kuin sähkölämmityksenä, sovelletaan kulutukseen päiväsähkötariffia. Muulloin käytetään yleistariffia. Lämpöpumppujen voimakkaasti yleistyessä on jopa kaavailtu lämpöpumpuille omaa tariffia. Jää nähtäväksi tuleeko sellaista ja minkä hintaista sähköä siinä tultaisiin tarjoamaan. (Wik 1980)

### **6.3 Vaikutukset sähkönsiirtoon**

Sähköä siirretään 440 kV ja 220 kV kantaverkossa voimalaitoksilta pitkiä matkoja kulutuskeskuksiin. Kantaverkosta vastaa Fingrid. Suomessa sähköä siirtyy pohjoisen vesivoimalaitoksista etelään ja Venäjän tuontilinkeiltä idästä länteen. Siirtoverkkoon kuuluvat muuntoasemat ja niiden yhteydessä olevat kytkinlaitokset. Kytkinlaitosten katkaisijoiden tehtävänä on erottaa vikakohta muutamassa millisekunnissa, jos johdossa on tapahtunut vika. Vika on pystyttävä erottamaan ennen kuin se leviää muualle. Siirtoverkonhaltijalla on käytössään 1 000 MW ns. nopeaa varavoimatehoa, joka käynnistetään suurimpien voimaloiden pudotessa verkosta. Varavoimatehona käytetään kaasuturbiineita, dieselmoottoreita ja tarvittaessa turvaudutaan kuormien poiskytkemiseen. Siirron kustannukset ovat n. 2–4 €/MWh, mikä vastaa 5–10 % osuutta koko sähkön markkinahinnasta. (Ene 2009)

Lämpöpumpuilla ei ole merkitys siirtoverkkoon, sillä niiden kuluttama teho ja energia ovat pieniä kokonaisvaltaisessa tarkastelussa. Siirtoverkosta ei voida myöskään eritellä, mitä laitetta kulloinkin käytetään. Häviötarkasteluissakaan ei koeta juuri muutoksia. Yleisesti ajateltuna, ilmalämpöpumpuista koituu sähköenergian kulutuksesta velottaville rahallista menetystä, koska lämpöpumppulämmityksessä muodostuu säästöä sähkönkulutukseen. Siirtoverkon osalta muodostuva hintakin on vain muutamien prosenttien luokkaa. Toisaalta jäähdytyskäyttö lisää tuloja kesäaikaan, mutta niiden määrä ei ole lähellekään lämmityskäyttöön verrannollinen, niin kuin aikaisemmin on todettu. Runsas ilmalämpöpumppujen määrä tulevaisuudessa ja niiden korvaavuus sähkölämmityksen sijaan, voivat vaikuttaa jopa merkittävästi talouteen. Lämpöpumput eivät ole ylipäätään kovin hyvä ratkaisu sähköenergiayritysten näkökulmasta.



## 6.4 Sähköön ja lämpöpumppeihin liittyvät päästövelvoitteet

Suomi on sitoutunut toteuttamaan EU:n päästötavoitteita. Sen mukaan Suomen tulee lisätä vuoden 2005 uusiutuvan energian käyttöä 28,5 % tasolta 38 %:iin, jolloin se tarkoittaa 30 TWh kasvua vuodessa. Kaiken kaikkiaan lämpöpumpujen avulla tätä voidaan lisätä 5-10 TWh/a. Vuonna 2008 lämpöpumppuja asennettiin noin 50 000 kpl ja vuoteen 2020 mennessä Suomessa on nykyisellä asennusmäärällä lämpöpumppuja 800 000 kpl. Tällä määrällä voitaisiin saavuttaa tuo lämpöpumpujen avulla tuotettava 5-10 TWh/a uusiutuvan energian määrä. Miljoonan omakotitalon lämmittäminen aiheuttaa n. 7-8 miljoonan tonnin CO<sub>2</sub>-päästöt vuodessa. Eli koko Suomen hiilidioksidipäästöistä 10 %. Voidaankin ajatella, että lämpöpumput tulisivat laskemaan tuota määrää. Tähän taas vaikuttaa lämpöpumpun tehokerroin ja sähköntuotanto rakenne. (Rau 2008)

Lämpöpumput pienentävät yleisesti ottaen sähkönkulutusta ja niillä voidaan vähentää öljylämmityksen käyttöä. Lämpöpumput aiheuttavat paikallisesti aivan olemattomat kasvihuonekaasupäästöt. Sähköntuotantolaitoksissa syntyy tavallisesti päästöjä, jotka riippuvat voimakkaasti sähköntuotantotavasta. Kylmimpinä aikoina sähköntuotannon kasvihuonepäästöt kasvavat, koska huipputehon tuotantoon käytetään lauhdetuotantoa, josta aiheutuu normaalia korkeammat päästöt. Päästöistä saatava hyöty riippuu myös paikallisen sähköntuotannon rakenteesta. Voidaan tietysti ajatella, että lämpöpumpusta aiheutuvat epäsuorat päästöt riippuvat myös lämpöpumpun tehokkuudesta. Tehokas lämpöpumppu toimii matalimmissa lämpötiloissa paremmin ja tarvitsee siksi vähemmän lisälämmitystä rakennuksen lämmitysenergiatarpeeseen. Lämpöpumpujen suorat päästöt johtuvat laitteessa itsessään tapahtuvista kylmäaine vuodoista eliniän aikana. Ilma-ilmalämpöpumppu on päästökertoimeltaan paras ratkaisu verrattuna lämpöpumpujen käytöstä aiheutuviin CO<sub>2</sub>-päästöihin. Se ei vaikuta perustehoalueen sähkönkäyttöön vaan pienentää välitehoalueen yhteistuotantosähköä. Perustehoalueella tuotetaan lämmintä käyttövoimaa ja huipputehoilla se ei toimi. (Nis 2007)

## 7 Ilmalämpöpumpujen vaikutus sähköverkkoihin

Sähkönjakelu kuluttajille tapahtuu paikallisten verkkoyhtiöiden toimesta. Käytännössä sähkönjakelu tapahtuu 20 kV verkossa ja pienasiakkaille 400 V jakeluverkoissa. Sähkönjakelu on

monopolitoimintaa, jota valvoo Energiamarkkinavirasto. Sähkön siirtomaksut ja sähköverot peritään yleensä jakeluyhtiön toimesta.

## 7.1 Vaikutukset tehon ja energian kannalta

Talviaikana lämmityskäytössä ilmalämpöpumppu kuluttaa suhteutettuna vähemmän sähköenergiaa kuin muut lämmitysmuodot. Lämpimimmillä keleillä lämpöpumppu toimii optimaalisesti ja normaalit sähköenergiamäärät ovat huomattavasti pienempiä. Kesällä tilanne taas muuttuu kun halutaan jäähdytystä asuintiloihin. Aikaisemmin pientaloissa ei ole ollut juuri minkäänlaista jäähdytyslaitteistoa, mutta ilmalämpöpumppujen myötä tilanne on muuttunut. Jäähdytyskausi on lyhyt, joten energiankulutus jää kuitenkin pieneksi. Onkin todennäköistä, että näiden asioiden summana vuotuinen kokonaisenergiankulutus tippuu.

Taulukko 7. Ilmalämpöpumppujen kappalemäärä. (Suo 2009)

### TILASTOJA - ILMALÄMPÖPUMPPU

#### ILMALÄMPÖPUMPPU

	Määrä	Kapasiteetti	Tuotettu lämpö	Käytetty sähkö	Primäärisesti hyödynnetty energia
	kpl	MW	GWh	GWh	GWh
1992	8	0,019	0,144	0,073	0,071
1993	48	0,121	0,954	0,490	0,465
1994	100	0,260	2,118	1,088	1,030
1995	252	0,661	5,112	2,629	2,484
1996	506	1,341	11,189	5,749	5,440
1997	958	2,540	20,232	10,402	9,831
1998	1662	4,408	35,203	18,113	17,091
1999	2214	5,869	45,226	23,263	21,962
2000	3014	7,989	53,895	27,727	26,168
2001	3968	10,517	82,292	42,311	39,981
2002	5872	15,565	123,573	63,528	60,045
2003	10876	28,830	230,133	118,248	111,885
2004	18876	50,030	403,080	207,057	196,024
2005	35880	95,095	730,284	375,051	355,232
2006	65880	174,595	1356,281	696,840	659,441
2007	102880	247,000	1865,000	958,000	906,000

Taulukosta 7 nähdään ilmalämpöpumppujen kehitys vuositasolla. Kappalemäärän lisäksi on nähtävissä lämmöntuottokapasiteetti, vuosittainen tuotettu lämpö ja käytetty sähkö sekä primäärisesti hyödynnetty energia. Mielenkiintoista on, että suurin osa ilmalämpöpumpuista on asennettu viime vuosina.

Vuonna 2006 lämpöpumpuilla säästettiin Suomessa sähköä yhteensä 900 GWh. Tämä vastaa prosenttia koko sähkönkulutuksestamme ja noin viittä prosenttia kotitalouksien sähkönkulutuksesta. Eniten säästöä syntyy ilma-ilmalämpöpumpuista, joiden voimakas kasvu nostaa niiden aikaansaaman säästön korkeaksi. Verrattuna säästöä yksittäisellä tasolla maalämpöpumpuun, tilanne ei ole enää sama. (Nis 2007)

Tulevaisuudessa lämpöpumppujen määrän on ennustettu kasvavan reilusti. Etenkin IILP:n määrän uskotaan kasvavan vuoden 2008 noin 150 000 ilmalämpöpumpusta lähelle miljoonaa kappaletta 2020-luvulla. Koska käyttö soveltuu lähinnä pientaloihin, rajoittaa kasvua rakennusten määrä. Käyttökelpoisia kohteita olisivat erilliset pientalot, kytketyt pientalot ja kesämökki kohteet. (Nis 2007)

Lämpöpumpun energiantarve vähenee suoraan sähkölämmitykseen verrattuna vuotuisen lämpökertoimen mukaan. Lämpökerroin huononee lämpötilan laskiessa edellä mainittujen rajojen alle. Tehon tarve kiinnostaa erityisesti potentiaalisena huippukuormituskautena. Huipunaikainen tarve riippuu teknillisestä toteutuksesta, esimerkiksi onko kyseessä ilma vai vesi. Lisäksi jos lisälämmitys tehdään muuten kuin suoralla sähköllä parantaa se tilannetta. Jos lisälämmitystä ei tarvita, pienenee tehontarve sähkölämmitykseen verrattuna hieman vähemmän kuin energiantarve. Tällainen tilanne on mm. kesämökeillä. Jos sähköä ei ole käytettävissä, lämmitystä ei saada tuotettua lämpöpumpuilla, jolloin varateho tai toinen ei sähköä tarvitseva lämmitysmenetelmä olisi paikallaan. Ilmalämpöpumpulla ei ole vaikutusta huipputehoon toisin kuin maa- ja poistoilmalämpöpumpulla. (Wik 1980)

## **7.2 Kuormitusmallien muutokset**

Kuormitusmallit ovat ennustusmenetelmiä sähkönkulutuksen arvioimiseen. Kuormitusmallit koostuvat 46 tyyppikäyrästä, jotka ovat variaatioita erilaisista tyyppikäyttäjistä. Niissä olevat vuoden 2-viikkoindeksit ja aikaindeksit kertovat huipputehon tiettyyn kellonaikaan, tiettyä päivänä jollekin tietylle asiakkaalle. Kuormituskäyrät tulisivat muuttumaan omakotitalokäyttäjien, erityisesti sähkölämmityskäyttäjien osalta, jos lämpöpumppuja olisi tarpeeksi paljon. Sellaiset käyttäjät, jotka hyödyntäisivät ilmalämpöpumppua jatkuvalla jäähdytyksellä kesäaikana, voisivat havaita muutosta 2-viikkoindeksien käyrissä sekä itse indeksiarvoissa. Suurimmat muutokset olisivat sähkölämmityskäyttäjillä, jotka hyödyntäisivät syksy- ja kevätkausina lämpöpumppulämmitystä,

jolloin poikkeavuus nykyisiin käyttäjiin olisi suurimmillaan. Tällöin sähkönkulutuksen teho olisi pienempi.

### 7.3 Verkkoyhtiöiden siirtotulot

Sähkön toimittamiskustannukset muodostuvat tukkutariffin mukaisista sähkön ostokustannuksista ja jakelun kustannuksista. Vaikuttavina tekijöinä ovat myös kuluttajalukumäärään verrannolliset kustannukset, ostettu tai tuotettu energia- ja häviökustannukset, jotka vaihtelevat eri vuoden ja vuorokauden vyöhykkeillä. (Wik 1980)

Vähittäismyyntitariffeissa on omat perusteensa ja rakenteensa. Perusteita ovat perille toimittamisen kustannukset, aiheuttamisperiaate ja yksinkertaisuus. Perille toimittamisen kustannukset tulisi olla minimoitu, kun taas markkina-arvon tulisi olla lähempänä maksimia. Aiheuttamisperiaate tarkoittaa sitä, että kuluttaja maksaa aiheuttamansa kustannukset. Yksinkertaisuuden sisältöön kuuluu harvoja ja tekniikaltaan tarkoituksenmukaisia tariffeja sekä lisäksi kulutuksen ohjaukseen ja yhtenäisyyteen liittyviä tekijöitä. Rakenne muodostuu käytettävissä olevasta mittaustekniikasta. Sen kustannuksia rajoittavat pienmyynnin aiheuttamisperiaatteen mukainen kustannustarkkuus. Kuluttajakohtaisesti mitataan yksi- tai kaksi energiamäärää, joka tarkoittaa päivä- tai yömittausta. Tehoa voidaan arvioida pääsulakkeen perusteella. Tehokustannukset kohdistetaan energianhintaan siten, kuinka kuluttajatyypin osallistuu tehokustannusten muodostumiseen. Osa kiinteistä kustannuksista siirretään myös energiamaksuun. (Wik 1980)

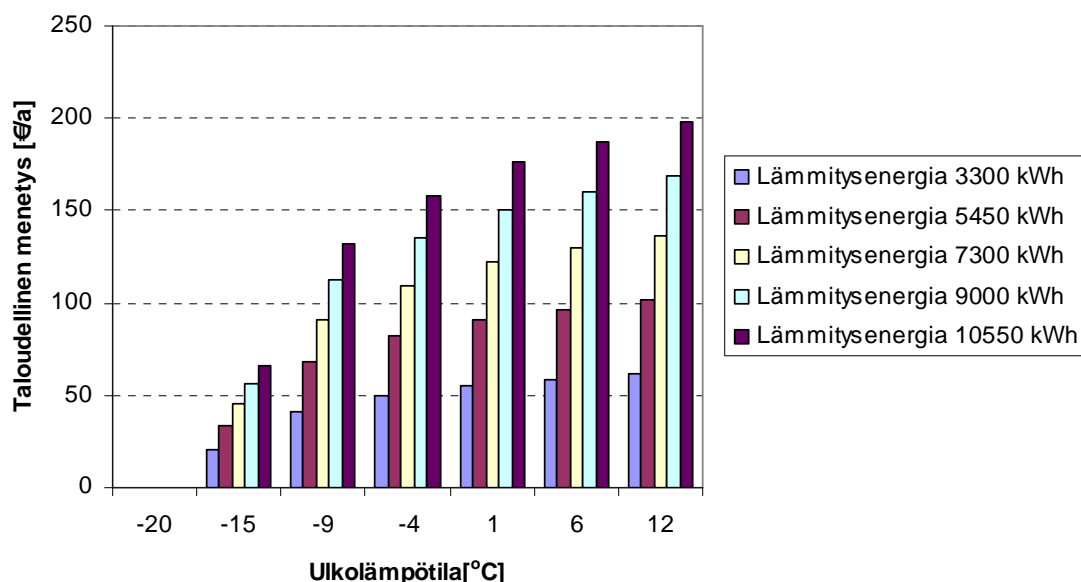
Aikaisemmin laskettiin sähköenergian vuotuinen säästö, kun siirryttiin käyttämään ilmalämpöpumppua suoran sähkölämmityksen sijaan. Tämähän tietysti vaikuttaa verkkoyhtiön tulojen pienentymisenä. Taulukkoon 8 on laskettu lämmityksen osalta syntyvä verkkoyhtiön tulojen pienentyminen vuositasolla. Verkkoyhtiön tulot koostuvat siirrosta ja myynnistä. Molemmat koostuvat lisäksi sekä energia että perusmaksusta. Myynnin puolella on lisäksi kustannustekijöinä verot. Kyseinen taulukko on laskettu käyttämällä verkkoyhtiön siirtotariffille arvoa 2,5 snt/kWh. Tämä siis käsittää verkkoyhtiön voiton myytyä kilowattituntia kohden. Nyt verkkoyhtiöltä jää toimittamatta edellä laskettu energiamäärä vuodessa, ja sen vuoksi se kokee taloudellisia menetyksiä seuraavan taulukon mukaisesti.

Taulukko 8. Verkkoyhtiölle ilmalämpöpumpusta aiheutuvat vuosittaiset menetykset verrattuna suoraan sähkölämmitykseen.

Pinta-ala	Lämmitysenergia	Lämpötilat [°C]:							
		Verkkoyhtiön taloudellinen menetys [€/a]							
[m <sup>2</sup> ]	[kWh]	- 20	- 15	- 9	- 4	1	6	12	
30	3300	0	21	41	50	55	59	62	
60	5450	0	34	68	82	91	97	102	
90	7300	0	46	91	110	122	130	137	
120	9000	0	56	113	135	151	160	169	
150	10550	0	66	132	158	177	187	198	

Vastaava asia on esitetty havainnollistetummin alla olevassa kuvassa 14. Diagrammista ja taulukon arvoista nähdään, että suurimmillaan menetykset yhden pientalon osalta voi olla 200 € Kovimmilla pakkasilla menetyksiä taas ei koidu laisinkaan.

**Verkkoyhtiön taloudellinen menetys [€/a]**



Kuva 14. Diagrammi kertoo verkkoyhtiön taloudellisen menetyksen €/a.

Näihin laskuihin ei ole otettu mukaan jäähdytystä. Siitä muodostuu tällä hetkellä niin pienet vaikutukset, että ne voidaan olettaa mitättömiksi. Tarkasteltaessa verkkoyhtiöiden taloudellista menetyksiä, täytyy etsiä jokin vertailupohja paremman käsityksen saamiseksi tilanteesta. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi kansallisella tasolla tai verkkoyhtiökohtaisesti. Suomalaiset pientalot ovat pinta-alaltaan keskimäärin 100 m<sup>2</sup> luokkaa ja keskiulkolämpötila on Suomessa vähän reilut 0°C. Taulukosta 8 voidaankin kohtuullisen hyvällä tarkkuudella todeta, että verkkoyhtiön taloudelliseksi menetykseksi yksittäisessä tapauksessa tulee n. 150 €/a. Vuonna 2008 voidaan

olettaa ilma-ilmalämpöpumppuja olevan 150 000 kpl. Jos nämä kaikki IILP:t olisi asennettu lisälämmitysjärjestelmäksi suoralla sähkölämmityksellä toimivaan pientaloon, ja ne toimisivat edellä oletettuun tapaan, tulisi kansallisella tasolla vuosittain verkkoyhtiöille 22,5 milj. € menetykset. Suomessa verkkoyhtiöitä on 91 kpl, jolloin yksittäiselle verkkoyhtiölle koituisi 250 k€ menetys.

Tilanne ei kuitenkaan ole täysin tällainen johtuen siitä, että oletuksia on tehty paljon. Esimerkiksi ei pystytä tarkasti sanomaan keskimääräistä asiakkaan lämmityskustannussäästöä vuodessa, kun ei ole täsmällistä tietoa millaisiin taloihin ilma-ilmalämpöpumppu on asennettu. Jäähdytyksestä tulevaa kesäaikaista voittoa ei myöskään siis ole huomioitu. Toisaalta ei tiedetä saneerauskohteiden aikaisemmin käytettyä tai korvattavaa lämmitysjärjestelmää. Tällähän on sikäli vaikutusta, että jos lämmitys on tehty aikaisemmin esimerkiksi puulla, joka ei vaikuta sähkönkulutukseen, ei verkkoyhtiölle koidu mitään menetyksiä. Jos käytössä olisi tai olisi ollut öljylämmitys, on tilanne taas hieman erilainen, koska öljylämmitys kuluttaa sähköä ja tuottaa siten tuloja verkkoyhtiölle. Sen vaikutus ei kuitenkaan olisi verkkoyhtiöiden menetyksiin painoarvoltaan niin suuri, kuin on suoralla sähkölämmityksellä.

Lämmitystehontarve vaikuttaa myös merkittävästi. Ilmalämpöpumpun osalta sijoituksella ja lämpökertoimella on vaikutuksensa. Lämpökertoimena voidaan käyttää keskimääräistä vuotuista lämpökerrointa, jolloin se antaa parhaan ja riittävän tarkan tuloksen sähköenergianosuudesta lämmityksessä. Verkkoyhtiöiden näkökulmasta asiakasmäärät eivät ole yhtä suuria ja pientalo asuminen painottuu eri tavalla verkkoyhtiöiden välillä. Jos ajatellaan esimerkiksi keskikokoista kaupunkiverkkoyhtiötä, jossa pientaloja on vähän, voivat menetykset jäädä pieniksi. Toisaalta tilanne on aivan toinen haja-asutusalueilla, missä pientaloja on usein paljon ja potentiaalisia IILP:n käyttäjiäkin siten enemmän. Lisäksi käytetty tariffi vaikuttaa lopulliseen summaan. Nyt on arvioitu yleistariffia, joka on tosin lähes samansuuruinen kuin lämmitystariffin päiväsähkössä.

Yksittäiselle verkkoyhtiölle taloudellisen menetyksen arvo voi olla kuitenkin suuri, mutta se on vain suuntaa antava edellä esitetyn keskimääräistarkastelun perusteella. Tarkempaan tulokseen pääsemiseksi tulisi huomioida edellä mainittuja asioita. Se vaatisi laajempaa perehtymistä ja runsaasti tietoa. Tämä lasku osoittaa kuitenkin sen, että verkkoyhtiöt tulevat kärsimään taloudellisesti lämpöpumpuista tulevaisuudessa jopa merkittävästi, kun lämpöpumppumäärät kasvavat. Tilannehan ei toisaalta ole verkkoyhtiöiden kannalta huolestuttava, sillä ne voivat korvata menetykset hintojen vaihtelulla.

## 7.4 Ilmalämpöpumpusta koituvat häiriöt

Lämpöpumpun käynnistyksen väli on mitoitukselta ja lämpötiloista sekä muista tekijöistä riippuen 2-3 tuntia. Tällöin häiriöitä voi aiheutua jännitteenalenemasta- ja vaihtelusta käynnin, käynnistyksen tai sammutuksen aikana. Tästä voidaan karkeasti ajatella, että jatkuva noin 2 % alenema ei ole merkittävä. Lisäksi voidaan olettaa, että 1-2 kertaa tunnissa syntyvä jännitepoikkeama ei ylitä standardirajoja. Lyhytaikaisena, harvoin tapahtuvana ja pääasiassa vain kyseiseen kuluttajaan kohdistuvana sitä ei koeta häiritseväksi. Paljon samalla lähialueella olevista lämpöpumpuista voi aiheutua ongelmia. Tällöin häiriöriski on maaseudun verkoissa suurempi kuin kaupunkialueilla. (Wik 1980)

Asiakas on velvollinen huolehtimaan liittäessään verkkoon laitteita, että hänen sähkölaitteensa ja -asennuksensa ovat asiallisia ja etteivät ne häiritse muita sähkökäyttäjiä, eivätkä jakeluverkonhaltijaa. Ilmalämpöpumpuille ei ole tällaisia säädöksiä, mutta tiedetään kuitenkin vastaavien laitteiden aiheuttavan vika- ja häiriötilanteita. Sähkölaitteille ja sähköasennuksille on asetettu vaatimuksia sekä laitteiden liittämisestä verkkoon että häiriötilanteiden selvitystä koskien. Energiategollisuus on antanut mm. seuraavia ohjeita sähkölaitteiden ja -asennusten verkkoon liittämisestä:

- Sähköasennusten ja laitteiden tulee olla säännösten, määräysten ja standardien vaatimassa kunnossa. Sähköasennuksia ja laitteita ei saa käyttää aiheuttamalla vahinkoa tai häiriötä jakeluverkolle tai muille käyttäjille.
- Standardien puuttuessa jakeluverkon haltija voi antaa suosituksia tai ohjeita käyttäjän laitteiden ja laitteistojen verkkoon liittämiseksi.
- Jos verkkohäiriöille ei ole tapaukseen soveltuvia standardeja, jakeluverkonhaltijan tulee selvittää käyttäjän pyynnöstä, voidaanko laitteisto liittää verkkoon. (Mui 2009)

Selvityspyynnön tekemistä suositellaan etenkin jos laitteen kytkentävirta on suuri verrattuna pääsulakkeen kokoon, laite kytketään verkkoon usein tai laite aiheuttaa merkittävää yliaaltovirtaa. Selvityspyynnö täytyy tehdä yleensä vähintään kaikista niistä laitteista, joiden ylivirtasuojauksen suuruus on yli 16 A, mutta verkonhaltija voi vaatia selvityspyynnön tekemistä myös pienemmistä laitteista. Jopa 10 A sulakkeella suojatuista laitteista saattaa aiheuttaa ongelmia verkkoon. Siksi verkonhaltijan on hyvä miettiä tarkempia ohjeita kuluttajille kyseisten laitteiden liittämisestä

verkkoon. Erityisesti tulisi huomioida laitteet, jotka kytkeytyvät toistuvasti ja/tai ottavat suurehkon käynnistysvirran, kuten esimerkiksi maalämpöpumput ja yksivaiheiset kompressorit. (Mui 2009)

Tämän lisäksi on luokiteltu mahdollisia ongelmia aiheuttavia laitteita ja laitteistoja, joista on aiheutunut häiriötilanteita. Tämän työn rajoissa olevia laitteita on kirjattu taulukkoon 9. Lisäksi on kerrottu, mitä ongelmia laitteet aiheuttavat sekä mahdollisia korjaustoimenpiteitä.

Taulukko 9. Pienasiakkaiden ja maatalouksien ongelmia aiheuttavia laitteita ja laitteistoja. (Mui 2009)

<b>Laite / Laitteisto</b>	<b>Ongelmat</b>	<b>Toimenpiteet</b>
Kompressorit, erityisesti 1-vaiheiset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tyypillisiä rakennustyömailla</li> <li>• aiheuttaa jännitevaihteluita, välkyntää</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• laitteen vaihto 3-vaiheiseksi</li> <li>• laitteen käytön rajoitus</li> <li>• verkon kytkentämuutokset, kuormien siirto vaiheelta toiselle</li> </ul>
Ilmastointilaitteet, 1-vaiheiset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aiheuttaa jännitevaihteluita, välkyntää lähiverkkoon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• suositus: hehkulamppujen vaihtaminen loisteputkilampuiksi</li> <li>• verkon vahvistus</li> <li>• ääritapauksessa verkkoyhtiö kehottaa asiakasta sopimaan laitteen käyttäjät naapuruston kanssa</li> </ul>
Maalämpöpumput	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aiheuttaa jännitevaihteluita, välkyntää lähiverkkoon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• taajuusmuuttaja, pehmokäynnistin</li> </ul>
Taajuusmuuttajat 1- ja 3-vaiheiset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• estää tiedonsiirron ja autom. mittarinluennan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• taajuusmuuttajissa oltava verkkosuodattimet</li> </ul>

Haastatelluissa sähköverkkoyhtiöissä Parikkalan Valo Oy:ssä, joka toimii maaseudulla ja kaupungissa toimivassa Lappeenrannan Energiassa ei ilmalämpöpumpuista ole koitunut vielä haittaa. Heillä ei ole olemassa käytönvaikutuksista eikä ilmalämpöpumpuista tilastollista seuranta. Huolimatta yksivaiheisesta kuormituksestakin, ei sähkönlaatuvirheissä ole ollut havaittavissa ilmalämpöpumppujen käyttöä. (Mat 2008; Myl 2008)



## 8 Yhteenveto

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on ollut selvittää, mitä vaikutuksia suomalaiseen sähköverkkoon kohdistuu ilmalämpöpumppujen käytöstä. Tarkastelu on tehty kokonaisvaltaisesti pyrkien ottamaan huomioon kaikki sähköverkkoon liittyvät asiat turvallisuudesta aina energiankulutukseen ja taloudelliseen säästöön saakka. Tutkimuksessa on lähtökohtaisesti otettu periaatteeksi, että ensin tehdään selväksi mikä on ilmalämpöpumppu ja miten se toimii. Tarkoituksena on ollut selvittää myös käyttöön liittyvät tekijät sekä vertailla menetelmää muihin lämmöntuotantotapoihin Suomessa. Nämä ovat olleet pohjatietona, jotta voitaisiin tarkastella laitteistosta koituvia seurauksia sähköteknillisestä näkökulmasta.

Tiivistettynä lämpöpumpuista voidaan tehdä seuraavia päätelmiä. Ilmalämpöpumput ovat hyvä lämmitysmuoto ja niiden käyttöä tukee myös ilmastointimahdollisuus. Ilma-ilmalämpöpumppua voidaan suositella pientaloihin uudisrakentamisessa kuin saneerauskohteissakin. Käyttönotossa on huomioitava monia tekijöitä, kuten yksiköiden sijoitus. Yleisesti arvioituna ilmalämpöpumpuista saadaan eniten hyötyä, kun niitä käytetään suoran sähkölämmityksen sijaan. Viime vuosien osalta ilmalämpöpumppujen kappalemäärissä on tapahtunut huomattava kasvu. Kasvu tulee todennäköisesti jatkumaan, jolloin vaikutukset sähköverkkoon ja siihen liittyviin ominaisuuksiin myös kasvavat. Sähköteknisestä näkökulmasta nämä laitteet luovat ongelmia sähköntuotantoon kasvavana tehotarpeena huipputehon aikaan. Välitehoalueella ne sen sijaan pienentävät tehon ja energian tarvetta. Suurin muutos, mitä ilmalämpöpumput tulevat aiheuttamaan on se, että ne pienentävät suorassa sähkölämmityksessä tuntuvasti sähköenergian kulutusta ja käyttäjän sähkölaskua. Tästä on suora seuraus sähköverkkoyhtiöiden siirtotuloihin. Tulevaisuudessa, kun ilmalämpöpumppujen määrät kasvavat entisestään, tuo vaikutus voi kasvaa hyvinkin merkittäväksi. Tällä hetkellä sen voi eri olettamuksien mukaan arvioida olevan kaikille verkkoyhtiöille yhteensä 22,5 milj. €arvoinen menetys. Ilmalämpöpumput saattavat luoda verkkoon häiriöitä, mutta niistä ei ole ollut vielä toistaiseksi suurta harmia. Sähköturvallisuuden kannalta laite on käyttäjäystävällinen.

Yleistettynä voidaan sanoa, että ilmalämpöpumppu on tehokas lämmitysmenetelmä, joka Suomen olosuhteissa tarvitsee aina lisälämmitysjärjestelmän. Sähköverkkoon kohdistuvat vaikutukset ovat toistaiseksi pieniä, mutta voivat muodostua tulevaisuudessa merkittäviksi.

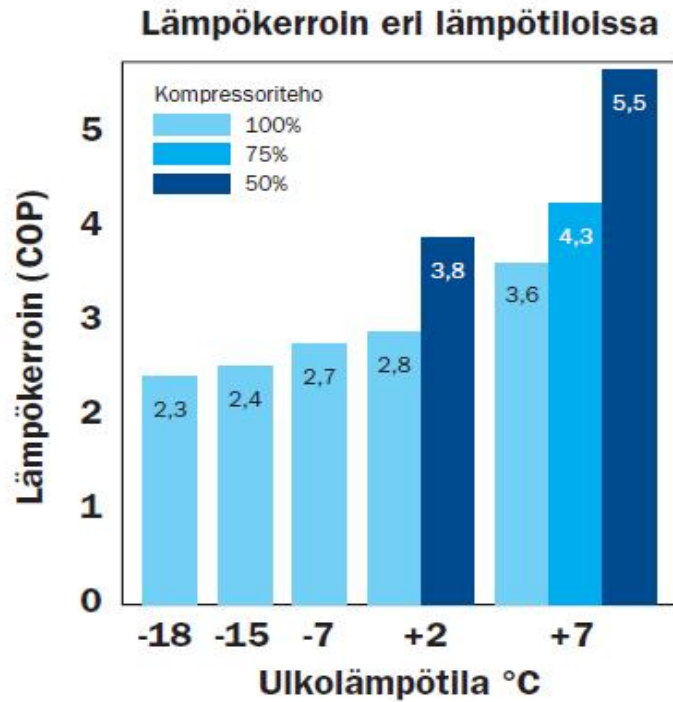
**LÄHDELUETTELO**

- (Tek LUT) Teknillinen termodynamiikka verkko-opetusmateriaali. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- (Mot 2009) Motiva. Lämpöä ilmassa esite. [Viitattu 15.1.2009]. Saatavilla www-muodossa: [www.motiva.fi](http://www.motiva.fi)
- (Wik 1980) Wiksten, R., Aho, E., Aittomäki A., Hannula A., Mäkynen M., Leiponen P., Lindström Y.. Lämpöpumput. Suomen LVI-yhdistys. Helsinki, 1980. Osat: I-VI.
- (Rau 2008) Rautio, J. Lämpöpumput ja niiden taloudellisuus ja ympäristöystävällisyys erillisten pientalojen lämmityksessä. Kandidaatintyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Ympäristötekniikan tiedekunta, Lappeenranta, 2008.
- (IVT 2009) IVT lämpöpumput Oy. [Viitattu 9.1.2009]. Saatavilla www-muodossa: [www.ivt.fi](http://www.ivt.fi)
- (Suo 2009) Suomen lämpöpumppuyhdistys, (SULPU). [Viitattu 15.12.2008]. Saatavilla www-muodossa: [www.sulpu.fi](http://www.sulpu.fi). Liitteen PDF-taulukko: Lämpöpumppujärjestelmän suunnittelu (PDF)
- (Ait 1996) Aittomäki, A. Kylmätekniikka. Tampere, 1996. Gummerus Oy, 2.painos. ISBN 951-96449-4-6
- (Hau 1991) Haukioja, R. Pientalojen lämpöpumppuratkaisut. Imatran Voima OY, T&K – tiedotteita. Helsinki, 1991. ISBN 951-8928-61-4.

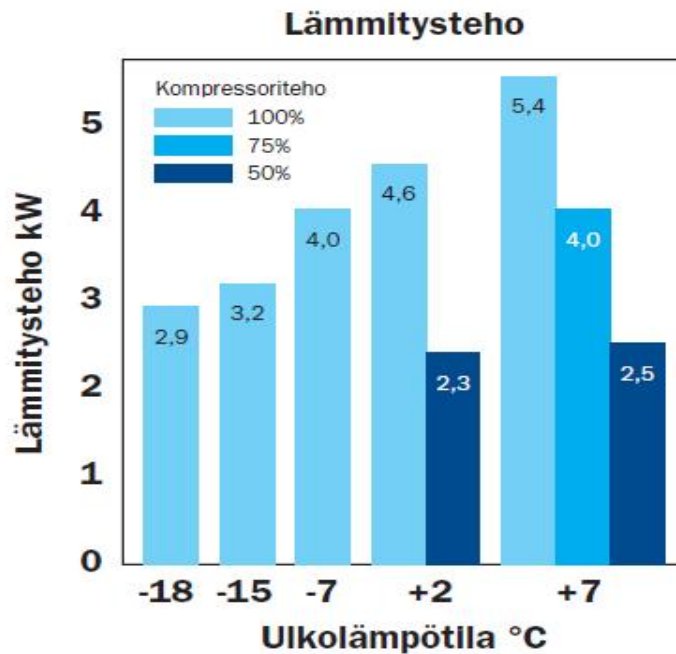
- (Pes 2005) Pesonen, A. Lämpöpumpun käyttö rakennusten lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Kolme esimerkkirakennusta. Raportti 180, Tampereen teknillinen yliopisto, Energia- ja prosessitekniikan laitos, Tampere, 2005. ISBN 952-15-1358-6. s.15–51
- (Nis 2007) Nissilä, O. Lämpöpumppujen käytön vaikutus sähköntuotantoon ja CO<sub>2</sub>-päästöihin. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Teknillisen fysiikan ja matematiikan osasto, Espoo, 2007.
- (Sal 2003) Salmi, J. Lämpöpumppu pientaloissa. Pro gradu-työ, Turun yliopisto, fysiikka, Turku, 2003. s. 36–41, 49–51
- (Ene 2009) Energianet. [Viitattu 29.1.2009]. Saatavilla [www-muodossa: www.energianet.fi](http://www.muodossa:www.energianet.fi)
- (Mui 2009) Muistio. Energiateollisuus. Periaatteita vika- ja häiriötilanteiden selvittämiseksi 12.11.2008. [Viitattu 25.1.2009]. Saatavilla [www-muodossa: www.energia.fi](http://www.muodossa:www.energia.fi)
- (Lap 1975) Lappalainen, M. Lämpöpumppulämmitys sähköenergian tuotannon kannalta. Tiedonanto 11, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Sähkötekniikan laboratorio, Otaniemi, 1975. s.29-36. ISBN 951-38-0225-6.
- (Mat 2008) Sähköpostiviesti 17.11.2008. Osastopäällikkö Olli Mattila. Parikkalan Valo Oy.
- (Myl 2008) Sähköpostiviesti 2.12.2008. Tekninen neuvoja Juha Myllynen. Lappeenrannan Energiaverkot Oy.
- (Läm 2009) Lämpöpumppukeskus. [Viitattu 20.1.2009]. Yleisesite Mitsubishi Electric FA-sarjat ja GA-sarjat. Saatavilla [www-muodossa: http://www.lampopumppukeskus.fi/index.php?node\\_id=8190](http://www.muodossa:http://www.lampopumppukeskus.fi/index.php?node_id=8190)

## Liitteet

Liite 1: Lämpökerroin ulkolämpötilan mukaan todellisella IVT:n NORDIC INVERTER 12 JHR-N ilmalämpöpumpulla. (IVT 2009)



Liite 2: Lämmitysteho ulkolämpötilan mukaan todellisella IVT:n NORDIC INVERTER 12 JHR-N ilmalämpöpumpulla. (IVT 2009)



Liite 3: Lämpöpumpun lämpökertoimen vaikutus energiaosuuksiin. (Suo 2009)

<b>Lämpökerroin</b>	<b>Sähköenergiaa</b>	<b>Ilmaisenergiaa</b>
4	25 %	75 %
3,9	26 %	74 %
3,8	26 %	74 %
3,7	27 %	73 %
3,6	28 %	72 %
3,5	29 %	71 %
3,4	29 %	71 %
3,3	30 %	70 %
3,2	31 %	69 %
3,1	32 %	68 %
3	33 %	67 %
2,9	34 %	66 %
2,8	36 %	64 %
2,7	37 %	63 %
2,6	38 %	62 %
2,5	40 %	60 %
2,4	42 %	58 %
2,3	43 %	57 %
2,2	45 %	55 %
2,1	48 %	52 %
2	50 %	50 %

Liite 4: Teknisiä tietoja Mitsubishiin ilmalämpöpumpusta. (Läm 2009)

<b>Tekniset tiedot</b>			<b>PlasmaDuo</b>				
Tyyppi			F-INVERTER lämpöpumppu		G-INVERTER lämpöpumppu		
Malli			MSZ-FA25VAH	MSZ-FA35VAH	MSZ-GA25VAH	MSZ-GA35VAH	
Sisäyksikkö			MSZ-FA25VA	MSZ-FA35VA	MSZ-GA25VA	MSZ-GA35VA	
Ulkoyksikkö			MUZ-FA25VAH	MUZ-FA35VAH	MUZ-G25VAH	MUZ-GA35VAH	
Sähkönsyöttö [V, vaihe, Hz, liitos]			230, 1-vaihe, 50, syöttö ulkoyksikköön				
Jäähdytys	Teho (min. - nom. - max.)	kW	0.9 - 2.5 - 3.2	1.0 - 3.5 - 4.1	0.9 - 2.5 - 3.0	1.0 - 3.5 - 3.9	
	Ottoteho (min.-nom.max.)	kW	0.185 - 0.595 - 0.880	0.250 - 0.935 - 1.280	0.190 - 0.640 - 0.850	0.260 - 1.080 - 1.300	
	EER		4.20	3.74	3.91	3.24	
		Energialuokka		A	A	A	
	Käyntivirta (normaali)	A	3.0	4.3	3.2	5.0	
	Äänitaso (äänenpaine)	Sisä (L-M-H-SH)	dB(A)	21 - 29 - 36 - 42	22 - 29 - 36 - 42	21 - 29 - 36 - 43	22 - 29 - 36 - 43
		Ulko	dB(A)	46	47	46	47
Lämmitys	Ilmanvirtaus	min - max.	m <sup>3</sup> /min	4.2 - 9.9	4.3 - 9.9	3.9 - 10.0	4.1 - 10.0
	Teho (min. - nom. - max.)	kW	0.9 - 3.2 - 5.0	0.9 - 4.0 - 6.0	0.9 - 3.2 - 4.5	0.9 - 4.0 - 5.0	
	Ottoteho (min.-nom.max.)	kW	0.195 - 0.735 - 1.450	0.215 - 0.995 - 1.900	0.200 - 0.760 - 1.300	0.220 - 1.055 - 1.480	
	COP		4.35	4.02	4.21	3.79	
		Energialuokka		A	A	A	
	Käyntivirta (normaali)	A	3.5	4.6	3.6	4.8	
	Äänitaso (äänenpaine)	Sisä (L-M-H-SH)	dB(A)	21 - 29 - 36 - 42	22 - 29 - 36 - 42	21 - 29 - 36 - 43	22 - 29 - 36 - 43
	Ulko	dB(A)	46	48	46	48	
Ilmanvirtaus	min - max.	m <sup>3</sup> /min	4.4 - 10.2	4.6 - 10.2	4.3 - 10.5	4.5 - 10.5	
Käynnistysvirta	A		3.5	4.6	3.6	5.0	
Sisäyksikkö	Väri		puhdas valkoinen	puhdas valkoinen	puhdas valkoinen	puhdas valkoinen	
	Ottoteho (normaali)	W	33	33	33	33	
	Mitat (K x L x S)	mm	298 x 780 x 198	298 x 780 x 198	298 x 780 x 210	298 x 780 x 210	
	Paino	kg	10	10	9	9	
Ulkoyksikkö	Väri		valkoinen	valkoinen	valkoinen	valkoinen	
	Mitat (K x L x S)	mm	550 x 800 x 285	550 x 800 x 285	550 x 800 x 285	550 x 800 x 285	
	Paino	kg	33	37	31	33	
	Putkitus						
Putkitus	Neste (halkaisija)	in	1/4"	1/4"	1/4"	1/4"	
	Kaasu (halkaisija)	in	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	
	Max. pituus	m	20	20	20	20	
	Max. korkeus	m	12	12	12	12	
	Perustäyttö	m	7	7	7	7	
Kylmäaine			R410A	R410A	R410A	R410A	
Toiminta olosuhteet (Ulkoyksikkö)	Jäähdytys	°C	-10 ~ +46	-10 ~ +46	-10 ~ +46	-10 ~ +46	
	Lämmitys	°C	-20 ~ +24	-20 ~ +24	-20 ~ +24	-20 ~ +24	

## Liite 5: Sähkönkokonaishinnan kehittyminen. (Mui 2009)

