



## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Jussi Tuunanen

### **Lämpöpumppujen vaikutukset sähköverkkoliiketoiminnan kannalta**

Diplomityö  
2009

122 sivua, 45 kuvaa, 19 taulukkoa ja 2 liitettä

Tarkastajat: Professori Samuli Honkapuro  
Professori Jarmo Partanen

Hakusanat: Lämpöpumppu, sähköverkkoliiketoiminta

Energiatehokkuus sekä ilmastonmuutos ovat aiheuttaneet pyrkimyksen vähentää kokonaisenergiankulutuksia erilaisissa rakennuksissa. Lämmitysjärjestelmissä tämä on näkynyt voimakkaana lämpöpumppumäärien kasvuna. Lämpöpumput vaikuttavat erilaisissa rakennus- ja lämmitystyypeissä myös sähköenergiankulutukseen. Lämpöpumppujen käytöstä saadaan eniten hyötyä lämmityskustannuksiin sähkölämmitteisissä rakennuksissa. Seurauksena on, että tällaisen rakennuksen sähkönkulutus ja siten myös sähkölasku pienenevät. Toisaalta muihin kuin sähkölämmitteisiin rakennuksiin asennettu lämpöpumppu kasvattaa sähköenergiankulutusta. Lämpöpumppuihin integroitu jäähdytysominaisuus myös tavallisesti lisää sähkönkulutusta.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, kuinka lämpöpumput vaikuttavat sähköenergiankulutukseen. Vaikutuksia tutkitaan sähköverkkoyhtiöiden kannalta sähköenergian ja liikevaihdon osalta. Tarkastelussa käytetään neljää yleisintä lämpöpumpputyyppeä, ja niiden toimintaa verrataan eri rakennustyyppien lämmitysjärjestelmiin. Työssä käsitellään lämpöpumppujen toimintaa ja käytettävyyttä muiden lämmitysmenetelmien korvaajina tai lisänä. Tämän kirjallisen työn lisäksi on tehty laskentaohjelma, joka on perusteena työssä esitetyille tuloksille. Sen tarkoituksena on selvittää lämpöpumppujen vaikutukset sähköverkkoliiketoimintaan energiayhtiöissä.

Vaikutukset yksittäiseen energiayhtiöön ovat eniten riippuvaisia lämpöpumppujen asennuskohteista, lämpöpumppujen toiminnasta ja lämpöpumpputyypistä. Kuluttajat tulevat määräämään vaikutusten suuruuden, koska lämpöpumppujen lukumäärällä ja käytöllä on sähköenergiankulutukseen huomattava merkitys. Vaikutus sähköenergiaan energiayhtiöiden kannalta voi yleisesti ottaen olla 2020-luvulle mentäessä merkittävä. Tutkittavassa verkkoyhtiössä vaikutuksen sähköenergiaan arvioidaan olevan -10 % luokkaa yhdeltä vuodelta verrattuna tämän päivän kokonaissähköenergiankulutukseen. Vaikutus verkkoliikevaihtoon on arviolta puolet pienempi. Tällaiset tulokset edellyttävät lämpöpumppumäärän moninkertaistumista nykyisestä, mikä on myös odotettavissa.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Faculty of Technology  
Degree Programme in Electrical Engineering

Jussi Tuunanen

### **The Effects of Heat Pumps from the Perspective of Electricity Network Business**

Master's thesis

2009

122 pages, 45 figures, 19 tables and 2 appendices

Examiners: Professor Samuli Honkapuro  
Professor Jarmo Partanen

Keywords: Heat pump, electricity network business

Efficient energy use and global warming have inspired a need to reduce the total energy consumption in different types of buildings. In the field of heating systems this development can be seen as intensive growth in the amount of heat pumps. In different types of buildings and heating systems, heat pumps also affect the usage of electricity. The greatest benefit is obtained when the heat pump is installed in a building which uses electric heating. As a consequence, the electricity consumption and therefore the overall cost of electricity decrease. In contrast, the electricity consumption of buildings with other types of heating systems increase if a heat pump is installed. Furthermore, an integrated cooling function in a heat pump usually also increases electricity consumption.

The aim of this Master's thesis is to examine how heat pumps affect electricity consumption and network turnover. These effects are studied from the energy companies' point of view. The study deals with the four most common types of heat pump, whose usability as a replacing or supplementary heating system is studied. The electricity consumptions of the heat pumps are compared with the heating systems of different types of buildings. The results are based on a calculation program, which has been made in order to study the effects of the usage of heat pumps for electricity network companies.

The consequences for an energy company depend on how well the heat pumps work, what kind of buildings they are in, and what types of heat pumps have been installed. Ultimately the scope of the effects will be determined by consumers, because the amount of heat pumps in use and how they are used have a considerable effect on electricity consumption. Generally speaking, the effects for electricity network companies may be substantial by 2020. Within the energy company studied, the effect on electricity consumption might be about -10 % per annum compared with the total electricity consumption today. Network turnover loss is estimated to be approximately 5 %, half of the effect for the consumption. These kinds of results require the amount of heat pumps to multiply from the level today, which is forecasted to happen.

## **ALKUSANAT**

Tämä diplomityö on tehty Lappeenrannan teknillisen yliopiston sähkötekniikan osastolla kesän ja syksyn 2009 aikana. Työ liittyy tutkimusprojektiin ”Energiatehokkuuden kehittäminen energiayhtiöiden toimin”, jossa on mukana Lappeenrannan teknillisen yliopiston lisäksi Teknillinen korkeakoulu, Kuopion yliopisto sekä VTT.

Haluan esittää suuret kiitokseni työn tarkastajille ja ohjaajille professori Jarmo Partaselle ja professori Samuli Honkapurolle pääsystä mukaan mielenkiintoiseen tutkimukseen, sekä erittäin asiantuntevasta ja reippaasta työnohjauksesta. Heidän työpanoksellaan on ollut huomattava merkitys tutkimuksen eri vaiheissa. Lisäksi kiitokset kuuluvat Parikkalan Valo Oy:lle, joka on antanut tähän tutkimukseen verkkotietonsa käytettäväksi.

Kiitän perhettäni; vanhempiani ja siskojani, sekä muita läheisiäni saamastani tuesta opiskeluaikani.

Seuraavaksi keskitytään kohti uusia haasteita ja tavoitteita.

Lappeenrannassa 19.11.2009

Jussi Tuunanen

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKINNÄT .....</b>	<b>3</b>
<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>5</b>
<b>2 LÄMPÖPUMPUT.....</b>	<b>7</b>
2.1 Termodynamiikka ja lämpökerroin .....	7
2.2 Lämpöpumppujen toiminta.....	10
2.3 Lämpöpumpputyypit .....	11
2.3.1 Ilma-ilmalämpöpumppu .....	12
2.3.2 Ilma-vesilämpöpumppu .....	14
2.3.3 Poistoilmalämpöpumppu .....	15
2.3.4 Maalämpöpumppu.....	16
2.4 Lämpöpumpun sijoituspaikka.....	18
2.5 Lämpöpumppujen kappalemäärät .....	20
<b>3 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT- JA MÄÄRÄT SUOMESSA .....</b>	<b>23</b>
3.1 Rakennusten lämmitysjärjestelmät.....	23
3.1.1 Kaukolämpö.....	27
3.1.2 Öljylämmitys .....	28
3.1.3 Sähkölämmitys .....	29
3.1.4 Puulämmitys .....	31
3.1.5 Muut lämmitysmenetelmät .....	32
3.2 Rakennusten energiankulutus .....	33
3.2.1 Lämmitysenergiankulutus.....	34
3.2.2 Jäähdytysenergiankulutus .....	38
3.3 Lämmitysmenetelmien aiheuttamat päästöt .....	40
<b>4 LÄMPÖPUMPPUJEN TALOUDELLISUUS.....</b>	<b>42</b>
4.1 Lämpöpumppujen kustannukset.....	42
4.2 Taloudellisen laskennan perusteet pientaloissa .....	43
4.3 Lämpöpumpun taloudellisuus suorasähkölämmitteisessä rakennuksessa .....	47
4.4 Lämpöpumpun taloudellisuus kaukolämpörakennuksessa.....	55
4.5 Lämpöpumpun taloudellisuus öljylämmitteisessä rakennuksessa .....	56
4.6 Lämpöpumpun taloudellisuus puulämmitteisessä rakennuksessa.....	58

<b>5 LASKENTA OHJELMAN ESITTELY .....</b>	<b>60</b>
5.1 Tilastokeskus pohjainen laskenta .....	61
5.2 Verkkotietopohjainen laskenta .....	62
5.3 Tarvittavat lähtötiedot .....	64
5.3.1 Rakennusparametrit.....	66
5.3.2 Energia-arvot .....	68
5.3.3 Lisäparametrit.....	70
5.4 Laskentamethodiikka .....	73
5.5 Yhteenveto ja kehittämistarpeet .....	78
<b>6 VAIKUTUKSET SÄHKÖVERKKOLIIKETOIMINTAAN.....</b>	<b>82</b>
6.1 Laskennassa käytettävät parametrit.....	82
6.1.1 Perustelut lämpöpumppumäärille.....	82
6.1.2 Tutkimuksen laskentaparametrit .....	84
6.2 Vaikutukset sähköenergian kannalta.....	91
6.2.1 Vaikutus sähköenergiaan perusskenaariolla.....	92
6.2.2 Vaikutus sähköenergiaan suurimman mahdollisen vaikutuksen skenaariolla	96
6.3 Vaikutukset verkkoliikevaihdon kannalta .....	99
6.3.1 Vaikutus liikevaihtoon perusskenaariolla.....	99
6.3.2 Vaikutus liikevaihtoon suurimman mahdollisen vaikutuksen skenaariolla..	102
6.3.3. Tariffien muutospainet .....	103
6.4 Yhteenveto .....	105
<b>7 LÄMPÖPUMPUT SÄHKÖNTOIMITUKSEN KANNALTA.....</b>	<b>107</b>
7.1 Sähköjakeluverkon pienjännitepuoleen kohdistuvat vaikutukset.....	107
7.1.1 Lämpöpumppujen sähköistys .....	108
7.1.2 Häiriöt ja ongelmat.....	109
7.2 Vaikutukset sähkönsiirtoverkkoon .....	111
7.3 Vaikutus sähköntuotantoon.....	112
<b>8 YHTEENVETO.....</b>	<b>116</b>
<b>LÄHDELUETTELO.....</b>	<b>119</b>

## LIITTEET

## KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKINNÄT

### Lyhenteet

ATJ	Asiakastietojärjestelmä
COP	Coefficient of Performance, lämpökerroin
EER	Energy Efficient Ratio, jäähdytyskerroin
EMV	Energiamarkkinavirasto
HFC	Vety-fluori-hiili -yhdiste
IILP	Ilma-ilmalämpöpumppu
IVLP, VILP	Ilma-vesilämpöpumppu, vesi-ilmalämpöpumppu
LP	Lämpöpumppu
MLP	Maalämpöpumppu
OKT	Omakotitalo, omakotitaloasuminen
PILP	Poistoilmalämpöpumppu
SPF	Seasonal Performance Factor, keskimääräinen COP vuodessa
SULPU	Suomen lämpöpumppuyhdistys ry
Tukes	Turvatekniikan keskus
UILP	Ulkoilmalämpöpumppu
VTJ	Verkkotietojärjestelmä

### Kreikkalaiset merkinnät

$\Delta$	muutos
$\eta$	hyötysuhde
$\Phi$	lämpö, lämpövirta

**Merkinnät**

<i>A</i>	pinta-ala
<i>AN</i>	annuiteetti
<i>E</i>	energia, energiankulutus
<i>h</i>	entalpia
<i>ha</i>	hinta
<i>LV</i>	liikevaihto
<i>P</i>	teho
<i>Q</i>	lämpö, lämpömäärä, lämpöenergia
<i>q</i>	virta, virtaus
<i>p</i>	korkoprosentti
<i>R</i>	rakennus
<i>T</i>	lämpötila
<i>t</i>	aika, pitoaika

**Alaindeksit**

a	apulaite
et	energiatariffi
C	Carnot
H	höyrystin, höyrystymis-
hs	hyödyksi saatu
k	kompressori
L	lauhdutin, lauhtumis-
lkv	lämminkäyttövesi
m	massa
mp	muutospaine
sm	sähkömoottori
ta	tutkittava alue



## 1 JOHDANTO

Energiankulutuksen säästötoimet sekä energiatehokkuuden lisääminen ovat merkittävässä osassa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Rakennusten lämmityksessä lämpöpumppu on tehokas tapa pienentää tarvittavaa primäärienergianmäärää. Lämpöpumppujen määrä onkin kasvanut voimakkaasti viime vuosina ja on ennustettavissa, että samantapainen kehitys tulee jatkumaan.

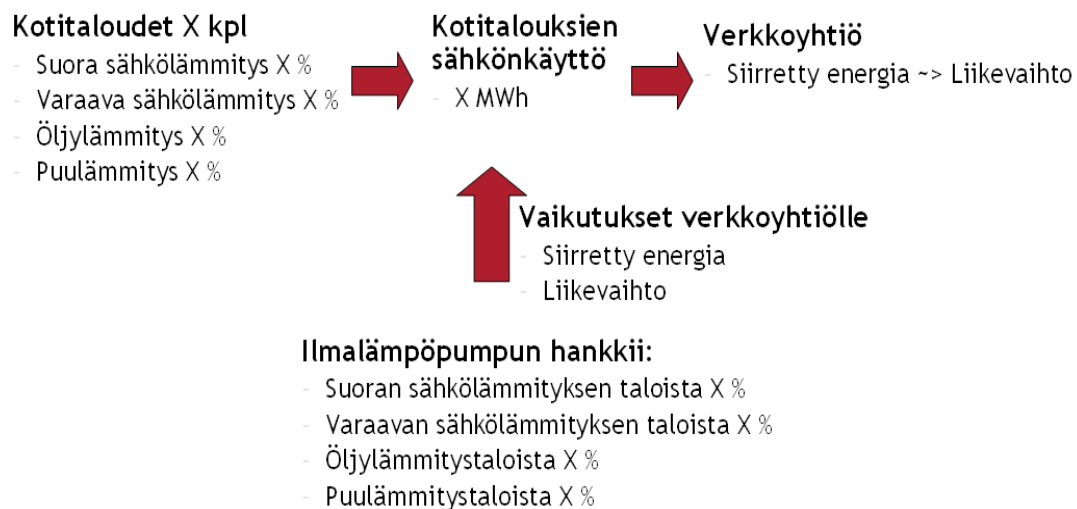
Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää lämpöpumppujen vaikutuksia sähköverkkoliiketoiminnan kannalta. Lämpöpumput vaikuttavat siirrettävän sähköenergian määrään, josta seuraa muutoksia energiayhtiöiden tuloihin. Tulosten suuruus riippuu erilaisten lämpöpumppujen lukumäärästä ja ominaisuuksista sekä siitä minkälaisiin rakennus- ja lämmitystyyppihin niitä asennetaan. Vaihtelun voi havaita esimerkiksi sähkölämmitteisessä omakotitalossa, jossa lämpöpumppu pienentää sähköenergiankulutusta, kun taas öljylämmitteisessä rakennuksessa sähkönkäyttö lisääntyy. Huolimatta kokonaisenergian pienentymisestä molemmissa tapauksissa, ovat vaikutukset sähköverkkoyhtiön kannalta erilaiset.

Tutkimuksen pohjalle luodaan laskentaohjelma, jolla voidaan analysoida lämpöpumppujen aiheuttamia muutoksia jakeluverkkoyhtiöön sähköenergian ja liiketalouden kannalta erilaisilla lähtöparametreilla. Muunneltavia parametreja ovat esimerkiksi verkkoyhtiön asiakastiedot sekä lämpöpumppujen määrät ja ominaisuudet. Tarkastelussa käytetään neljää yleisintä lämpöpumpputyyppiä sekä rakennusten jakoa kahdeksaan eri tyyppiin. Laskentaohjelman avulla tutkitaan lämpöpumppujen vaikutukset yhden verkkoyhtiön kannalta, jolloin ohjelmalla voidaan luoda erilaisia skenaarioita lämpöpumpuista. Laskentaohjelmaa voidaan käyttää myös muiden sähköverkkoyhtiöiden tutkimiseen.

Diplomityö etenee niin, että työn alussa tutkitaan eri lämpöpumppuja sekä rakennusten lukumääriä ja lämmitystyyppisiä Suomessa. Näistä saadaan tiedot lämpöpumppujen

lämmityskustannuksiin, joita vertaillaan muihin lämmitysmenetelmiin. Näiden jälkeen paneudutaan laskentaohjelman laskentamodiikkiin ja esitellään laskentaohjelmasta saatuja tuloksia. Lopussa pohditaan vielä lämpöpumppujen vaikutuksia yleisesti sähkötoimituksen kannalta.

Tämän aihepiirin tutkiminen on tärkeää, jotta kovaksi puheenaiheeksi energia-alalla nousutta energiatehokkuutta voitaisiin parantaa myös energiayhtiöiden toimin. Kuvassa 1.1 on havainnollistettu, mitä tämä työ esimerkiksi pitää sisällään.



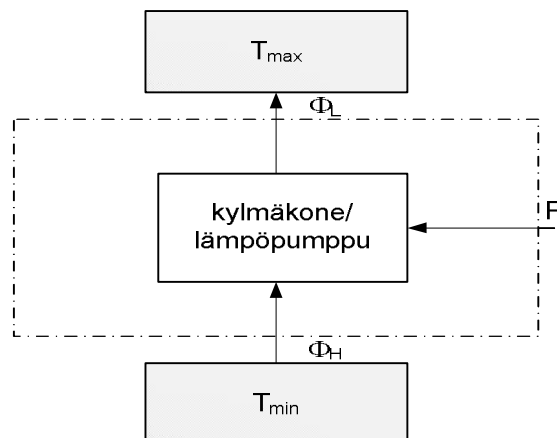
Kuva 1.1. Kuvassa on havainnollistettu yhden tutkimuskohteen eli kotitalouksien lämmitysratkaisujen vaikutusta sähköverkkoyhtiöön. Kotitalouksien sähkökäyttö vaikuttaa jakeluverkossa siirrettävään sähköenergian määrään, mikä on puolestaan suoraan yhteydessä verkkoyhtiön liikevaihtoon.

## 2 LÄMPÖPUMPUT

Lämpöpumput soveltuvat lämmitysmuodoiksi erilaisiin kiinteistöihin pää- tai lisälämmitysjärjestelmiksi. Eri vaihtoehtoja lämpöpumppuratkaisuiksi rakennusten lämmitykseen ja jäähdytykseen löytyy useita. Sen vuoksi on hyödyllistä tietää lämpöpumppujen rakenteesta ja toiminnasta, joihin perehdytäänkin heti alkuun.

### 2.1 Termodynamiikka ja lämpökerroin

Teknillisen termodynamiikan perusteella kiertoprosessit jaetaan toiminnan mukaan voimakoneprosesseihin ja työkoneprosesseihin. Voimakoneprosesseista saadaan mekaanista tehoa tai sähkötehoa. Työkoneprosessiin on puolestaan tuotava mekaanista tai sähkötehoa, ja siten lämpöpumput kuuluvat työkoneisiin. Lämpöpumppu toimii suljettuna kiertoprosessina, jossa prosessin sisällä kiertää koko ajan sama työaine. Kiertoprosessi tarvitsee Kelvin-Planckin väittämän perusteella kaksi lämpövarastoa: kylmän- ja kuuman varaston, joiden välillä prosessi tapahtuu. Tätä havainnollistaa kuva 2.1. (LUT-TTD 2009)



Kuva 2.1. Kuvassa on lämpöpumpun perustoimintaperiaate lämpövarastojen välillä. Lyhenne  $T$  tarkoittaa lämpötilaa,  $\Phi$  lämpövirtaa ja  $P$  tehoa. (LUT-TTD 2009)

Lämpöenergiaa pystytään siirtämään kylmäkoneen tai lämpöpumpun avulla kylmemmästä kappaleesta kuumempaan, jolloin siirtoon tarvitaan työtä. Koneita kutsutaan kylmäkoneeksi, jos kohteesta on tarkoitus poistaa lämpöä ja lämpöpumpuksi mikäli kohteeseen tuodaan lämpöä. Tekniikassa tarvitaan tiettyjä sääntöjä ja lakeja, jotka pohjautuvat fysiikkaan sekä niistä sovellettuihin peruslauseisiin. Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan prosesseilla on luonnollinen suunta kohti tilojen erojen tasoittumista, eivätkä prosessit kulje itsestään päinvastaiseen suuntaan. Lisäksi pääsääntöön kuuluu, että prosessin kerran tapahduttua, ei systeemiä voida enää palauttaa alkutilaansa ilman ulkopuolista työtä tai energiaa. Tästä syystä lämpöpumpuista ei käytetä tehokkuuden mittarina hyötysuhdetta vaan lämpökerrointa. Lämpökertoimesta käytetään myös nimityksiä tehokerroin ja lyhennettä COP, Coefficient of Performance. (LUT-TTD 2009)

Lämpökerroin kertoo, mikä on tuotetun lämpötehon suhde käytettyyn tehoon, joka on kompressorin moottorin ja apulaitteiden tarvitsemaa sähkötehoa. Voidaan ajatella, että mitä suurempi lämpökerroin, sitä parempi on lämpöpumppu. Lämpökertoimet ovat lämpöpumpputyypikohtaisia ja niiden arvot vaihtelevat. Standardi EN 14155 määrittää lämpöpumppujen lämpökertoimet. Tämän mukaan lämpökertoimissa pitäisi olla huomioitu kompressorin sähkönkulutus, pumppujen puhaltimien sekä höyrystimien ja lauhduttimen painehäviöstä aiheutuva sähkönkulutus. Vuosittaisissa lämmitysenergialaskuissa käytetään yleensä vuoden keskimääräistä lämpökerrointa eli SPF-kerrointa (Seasonal Performance Factor). (Nissilä 2007) Jos lämpökertoimeksi ilmoitetaan kaksi, tarkoittaa se lämpöpumpun kykenevän tuottamaan kaksinkertaisen määrän lämpöä verrattuna kuluttamaansa sähköön. Tällöin saadaan yhdellä kilowatilla sähköä tuotettua kaksi kilowattia lämpöä. Sama pätee energiaan, eli jos lämpökerroin on kaksi ja otetaan 1 kWh sähköä, saadaan 2 kWh lämpöä. Loppuosa energiasta tulee ulkoisesta lämmönlähteestä, kuten ilmasta tai maasta. (IVT 2009)

Lämpökertoimen suuruuteen vaikuttaa melko voimakkaasti lämpötilat lämmönoton ja lämmönkäytön puolella. Hyödyllisintä on mahdollisimman korkea lämmönoton lämpötila ja mahdollisimman matala lämmönkäytön lämpötila. Lämpökertoimelle voidaan hyötysuhteen tapaan ilmoittaa lämpötiloista riippuva paras mahdollinen arvo, jolloin

käytetään nimitystä Carnot'n lämpöpumppu. Todelliset lämpöpumput ja kylmäkoneet eivät ole koskaan ideaalisia, eivätkä toimi siten Carnot'n lämpöpumpun tavoin. Siksi myös lämpökerroin on aina Carnot'n lämpökerrointa pienempi. Carnot'n lämpöpumpun lämpökerroin saadaan yhtälöstä (2.1):

$$COP_C = \frac{\Phi_L}{P} = \frac{\Phi_L}{\Phi_L - \Phi_H} = \frac{T_L}{T_L - T_H}. \quad (2.1)$$

$COP_C$  on prosessin Carnot'n lämpökerroin ja  $P$  on koneen tarvitsema teho,  $\Phi_L$  on lauhduttimen lämpövirta ja  $\Phi_H$  höyrystimen lämpövirta sekä  $T_L$  lauhtumislämpötila ja höyrystymislämpötila  $T_H$ . Todellisessa prosessissa ei saada lämpökertoimeksi kuin 40-80 % Carnot'n lämpökertoimesta. (LUT-TTD 2009) Kompessorin ottamalle sähköteholle  $P$  voidaan kirjoittaa yhtälö (2.2):

$$P = q_m \frac{\Delta h}{\eta_{sm}}, \quad (2.2)$$

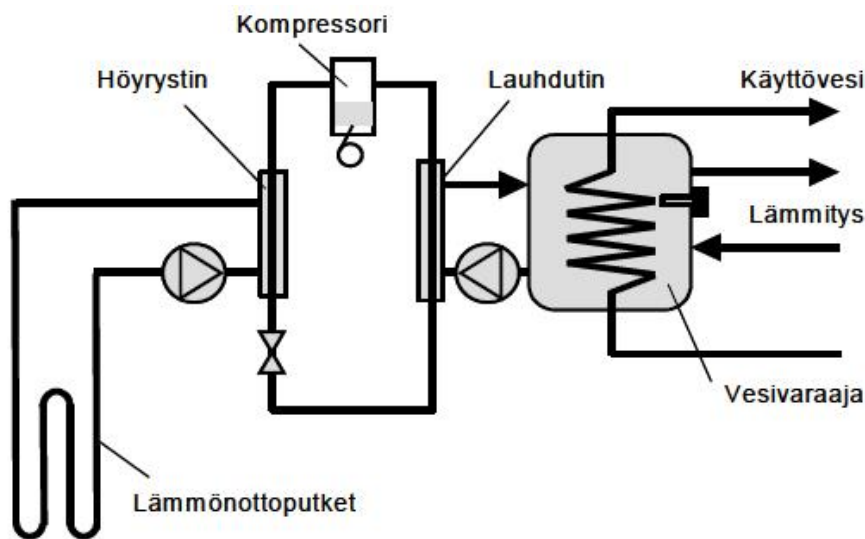
jossa  $\eta_{sm}$  on kompressorin sähkömoottorin hyötysuhde,  $q_m$  on kylmäaineen massavirta ja  $\Delta h$  ominaisentalpian muutos. (LUT-TTD 2009) Laskettaessa lopullista lämpökerrointa tulisi ottaa huomioon apulaitteiden teho. Tähän sisältyvät esimerkiksi lauhdutin, höyrystinpiirien pumppujen ja puhaltimien tehot sekä automatiikan teho. Todelliselle lämpökertoimelle pätee yhtälö (2.3):

$$COP = \frac{\Phi_{hs}}{P_k + P_a}. \quad (2.3)$$

$\Phi_{hs}$  on hyödyksi saatu lämpö, johon kuuluu osa pumppausenergiasta ja kompressorin lämpöhäviöistä,  $P_k$  on kompressorin ja  $P_a$  apulaitteiden teho. (Nissilä 2007)

## 2.2 Lämpöpumppujen toiminta

Lämpöpumppujen toiminta perustuu koneistossa kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Lämpöpumpun koneiston muodostavat: kompressori, lauhdutin, paisuntaventtiili ja höyrystin, jotka ovat yhdistetty suljetuksi kiertopiiriksi. Toiminta pohjautuu kiertoaineen kulkuun putkistossa, jolloin aine on osittain nesteen ja osittain höyryn muodossa. Höyrystymisessä sitoutuu lämpöä, joka otetaan höyrystimeen matalassa lämpötilassa, esimerkiksi maalämpöpumpun tapauksessa maahan sijoitetusta putkistosta kiertävästä liuoksesta. Syntyvä höyry puristetaan kompressorilla korkeampaan paineeseen, jolloin höyry lämpiää. Korkeapaineinen lämmin höyry jäähdytetään lauhduttimessa. Nesteytyessään vapautuva lämpö lämmittää lauhduttimen läpi kulkevan lämmitettävän aineen, joka on yleensä vettä tai ilmaa. Kiertoaine palautetaan höyrystimeen laskemalla sen paine paisuntaventtiilissä. Kuvassa 2.2 havainnollistetaan lämpöpumpun toimintaa. (Aittomäki 2001)



Kuva 2.2. Lämpöpumppukoneisto. (Heljo & Laine 2005)

Kompressorin puristus vaatii työtä, joka tulee sähkömoottorista. Lämpöpumppu kuluttaa sähköä myös kiertoainetta kierrättävässä pumpussa sekä säätölaitteissa. Kompressorina lämpöpumpuissa käytetään täyshermeettisiä mäntä- ja syrjäytyskompressoreita, joista Scroll-kompressori on eräs käytetyimmistä. (IVT 2009) Lauhdutin ja höyrystin ovat

puolestaan tyypillisiä lämmönsiirtimiä, joiden pintojen suurentaminen ja lämmönsiirtymiskertoimien parantaminen suurentaa lämpökerrointa. (LUT-TTD 2009) Lämpöpumpuissa kiertoaineena käytetään nykyisin pääasiassa fluorihilivetyjä eli HFC-yhdisteitä, jotka eivät ole myrkyllisiä eivätkä palavia. Kylmäaineen tyyppi vaihtelee lämpöpumpputyypin mukaan, mutta käytetyimpiä kylmäaineita ovat R410A ja R407C sekä R134A. Maalämmössä käytetään myös vesipohjaisia liuoksia, joissa lisäaine alentaa veden jäätympistettä. (IVT 2009)

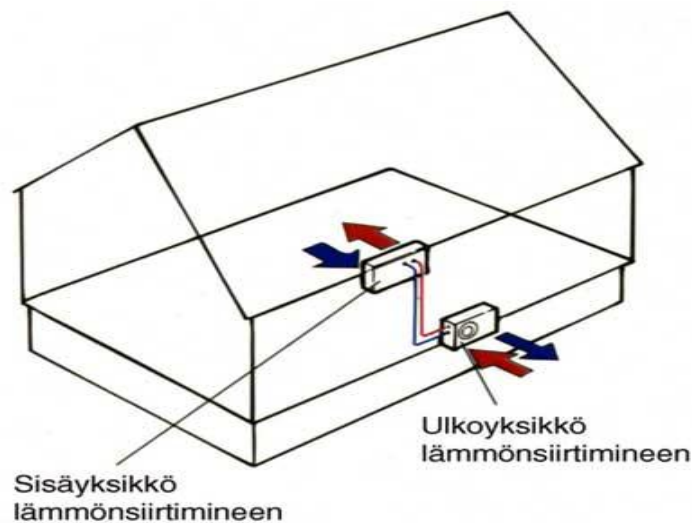
Lähtökohtana rakennusten tarvitseman lämpötehon mitoitukselle on huippupakkaset. Lämpöpumput voivat tuottaa enimmäkseen vain osan maksimilämmitystarpeesta ja loppuosa tuotetaan muilla lämmitystavoilla, kuten päälämmitysjärjestelmällä tai sähkölämmityksellä. Osatehmitoitettun lämpöpumpun käyttötapaa voidaan luokitella joko 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. (Pesonen 2005)

### **2.3 Lämpöpumpputyypit**

Lämpöpumppu on laite, joka ottaa energiaa alhaisemmasta lämpötilasta ja muuttaa sen korkeampaan lämpötilaan. Alhaisempana lämpötilavarastona voivat olla esimerkiksi ilma, maaperä tai vesi. Eri lämpöpumppurakenteita kutsutaan sen mukaan, mikä on lämpöä luovuttava ja mikä vastaanottava väliaine. Tyypillisesti lämpöpumput jaetaan ilma- ja maalämpöpumppuihin. Lämpöpumput soveltuvat eri käyttötarkoituksiin ja ne käyttävät erilaisia ulkoisia olosuhteita hyväkseen. Tässä tutkimuksessa syvennyttään tavallisimpiin lämpöpumpputyyppeihin: ulkoilma-, poistoilma- ja maalämpöpumppuihin.

### 2.3.1 Ilma-ilmalämpöpumppu

Lämpöpumppu, joka sitoo lämpöä ulkoilmasta ja luovuttaa lämpöä sisäilmaan kutsutaan ulkoilmalämpöpumpuksi (UILP). Ulkoilmalämpöpumppua on kahta tyyppiä, jotka ovat ilma-ilmalämpöpumppu (IILP) ja ilma-vesilämpöpumppu (IVLP). Ulkoilmalämpöpumppu koostuu sisä- ja ulkoyksiköstä, jotka sijoitetaan mahdollisimman lähelle toisiaan. Yksiköiden välillä olevat kylmäaineputket tulisi eristää ja koteloida, jotta lämpöhäviöt saataisiin minimoitua. Ilmalämpöpumppuun kuuluvat lisäksi yksiköiden väliset ohjaus- ja sähkönsyöttökaapeli. Sisäyksikkö varustetaan myös jäähdytyksen aikaisen kondenssin poistoletkulla, joka johdetaan ulos tai viemäriin. Sisäyksikössä on puhallin ja lauhdutin, joka luovuttaa lämmön huonetilassa kierrätettävään ilmaan. Ulkoyksikössä on puhallin, kompressori, paisuntaventtiili sekä höyrystin, jonka lävitse ulkoilma kierrätetään. (IVT 2009) Kuvassa 2.3 on IILP toimintaperiaate.



Kuva 2.3. Rakennuksen ilma-ilmalämpöpumppujärjestelmä, jossa on yksi sisä- ja ulkoyksikkö.

(Sulpu 2009)

Ilmalämpöpumpuissa voi olla yhtä ulkoyksikköä kohden kaksi tai useampia sisäyksiköitä. Tällöin ulkoyksikön täytyy olla tavanomaista suurempi. Useamman tavallisen ilmalämpöpumppuparin käyttö on yleistä isoissa kohteissa. Sisäilman lämmitys ja jäähdytys voidaan tällöin jakaa paremmin suuressa, sokkeloisessa tai useampi



kerroksisessa talossa. Lämpöteho vaihtelee lämpöpumpun mukaan, mutta IILP:lla se on tavallisesti 2-4 kW luokkaa. (IVT 2009) Tarvittavana lämmitystehona tämä on liian pieni ja lisälämmitys on tehtävä sähköllä tai muulla lämmitysjärjestelmällä. Keskimääräinen vuosilämpökerroin ilma-ilmalämpöpumpulle on tyypillisesti 1,8...2,2. (Sulpu 2009)

Ulkolämpötilan laskiessa höyrystymislämpötila sekä lämpöpumpunteho laskevat ja samalla lämpökerroin pienenee. Lämpöpumpun höyrystymislämpötilan ja kompressorin käyttöalueen vuoksi ulkolämpötilaa ei voi juurikaan laskea alle  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Lämmitysteho pienentyy näissä lämpötiloissa ja lämpökerroin putoaa alle yhden. Huurtuminen on toinen käyttöä rajoittava tekijä. Huurteen sulattamiseen tarvitaan usein lämpöpumpun tuottamaa lämpöenergiaa, joka vähentää lämpöpumpun tuottoa. (Aittomäki 1996) Uusimmille ilmalämpöpumpuille luvataan toimintaa jopa  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (IVT 2009) Lämmityskäytössä ilmalämpöpumppu tarvitsee päälämmitysjärjestelmän Suomen olosuhteissa.

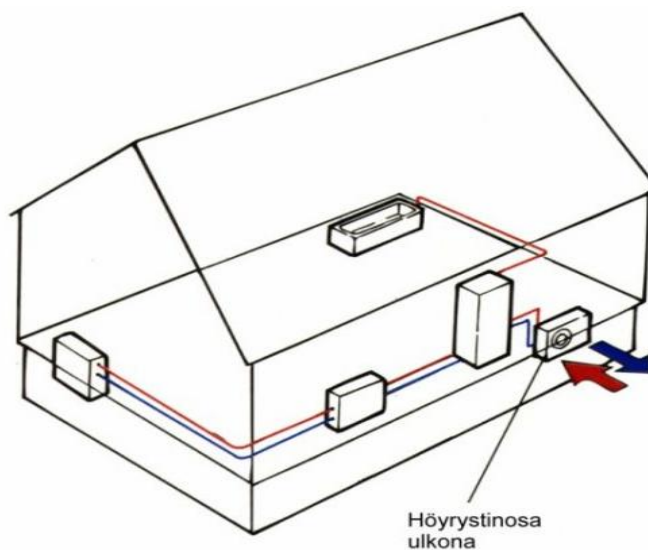
Ilma-ilmalämpöpumppu voi sitoa lämpöä ulkoilmasta ja luovuttaa sen sisäilmaan tai päinvastoin. Laitteiston toiminta käännetään toisinpäin, jos halutaan siirtyä sisäilman lämmityksestä jäähdytyskäyttöön. Jäähdytyskäyttöön ulkoilma soveltuu yleensä hyvin. Jäähdytyksessä lauhdutus tapahtuu kuitenkin ulkoilmaan, jonka lämpötilataso voi olla suuri, jopa yli  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tällöin jäähdytyksen korkealla ulkolämpötilalla on heikentävä vaikutus lämpökertoimeen. (Aittomäki 1996)

Ilmalämpöpumpussa ulkoilman etuina voidaan ajatella olevan sen yleissoveltuvuus, sijainti lähellä käyttöpaikkaa ja rajaton saatavuus sekä käytön vähäiset vaikutukset ympäristöön. Lämmöntuotto ei aiheuta suurinakaan määrinä vaikutuksia ympäristöön. Haittana on matala lämpötilataso suurimpana lämmöntarpeen aikana. Lämpöteho, lämpökerroin ja höyrystymislämpötila pienenevät ulkolämpötilan laskiessa. Ilmalämpöpumpun mitoitukseen vaikuttaa tarvittava teho  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja sitä lämpimämmissä olosuhteissa. Ilma-ilmalämpöpumppu ei lämmitä myöskään käyttövetä, eikä se ole liitettävissä vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään. (IVT 2009)

Toiminnallisuutensa vuoksi ilmalämpöpumpun mitoitusta ei tehdä huippupakkasten mukaan, vielä ainakaan toistaiseksi. Toisaalta jos ilmastonlämpeneminen johtaa pienempiin huippupakkasiin ja lämpöpumpputekniikka kehittyy tarpeeksi, voi olla että tulevaisuudessa pieniä omakotitaloja voidaan lämmitellä pelkästään ulkoilmalämpöpumpulla. IILP on yksinkertainen laite, investoinnin ja käytön osalta halpa sekä maailman yleisin lämpöpumppu. Lämmitys- ja jäähdytyskäytön lisäksi se suodattaa ja poistaa kosteutta huoneilmasta. (Motiva 2009)

### 2.3.2 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu, josta käytetään myös nimitystä vesi-ilmalämpöpumppu (VILP), toimii melko samanlaisella periaatteella kuin ilma-ilmalämpöpumppu. Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan kuitenkin lämmitellä myös käyttövedtä. Lämmön luovutus tapahtuu lauhdutin-lämmönsiirtimessä joko käyttöveden esilämmittämiseen ja lämmitysverkoston veteen tai vaihtoehtoisesti molempiin. Lämmön keruu tapahtuu ulkoilmaan sijoitetun ulkoyksikön avulla eli samalla tapaa kuin ilma-ilmalämpöpumpussa. Lämpöpumpun lämpökerroin laskee nopeasti ulkolämpötilan laskiessa. Lämpötilaa  $-20\dots-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  kylmemmissä olosuhteissa lämpöpumppua ei kannata käyttää. (Sulpu 2009) Kuvassa 2.4 on IVLP toimintaperiaate.

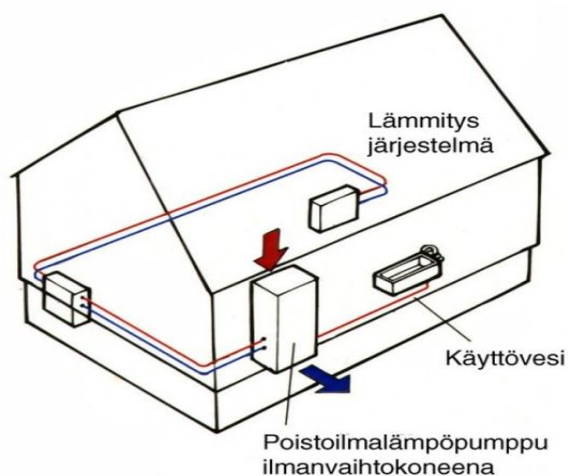


Kuva 2.4. Rakennuksen ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän toimintaperiaate. (Sulpu 2009)

Ilma-vesilämpöpumppu sopii lähes kaikkiin rakennuksiin, joissa on vesikiertoinen lämmönjakojärjestelmä. Laitteen haittapuolena on, että se vaatii suurimman mahdollisen energiankulutuksen mukaan mitoitettua rinnakkaisena lämmitysjärjestelmän, koska kylmimmällä säällä lämpöpumppu ei toimi tarpeeksi hyvin. Haittana ovat myös ulkona olevan höyrystinyksikön puhallinääni ja ajoittainen höyrystinpatterin tarvitsema sulatus, joka alentaa saavutettavaa lämpökerrointa. Hankintakustannus on toisaalta maalämpöpumpun huomattavasti edullisempi, joten se soveltuu alentamaan lämmityskustannuksia aina silloin kun ulkolämpötila on korkeampi kuin  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vuositasolla lämpökerroin vaihtelee huomattavasti ulkolämpötilan mukaan asettuen 1,5...2,0 välille. (Sulpu 2009)

### 2.3.3 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu (PILP) toimii rakennuksessa lämpöpumpuna, ilmastointikoneena ja lämminvesivaraajana. Lämmön kerääminen tapahtuu höyrystin- tai liuospatterin avulla rakennuksen poistoilmasta. Lämmön luovuttaminen lauhdutinpatterin avulla tapahtuu valmistajien erilaisista tyypeistä riippuen rakennuksen käyttöveden lämmittämiseen varaajassa tai lämmitysverkoston veteen ja tuloilmaan. Kuvassa 2.5 on poistoilmalämpöpumppu osana kiinteistön lämmitysjärjestelmää. (Sulpu 2009)

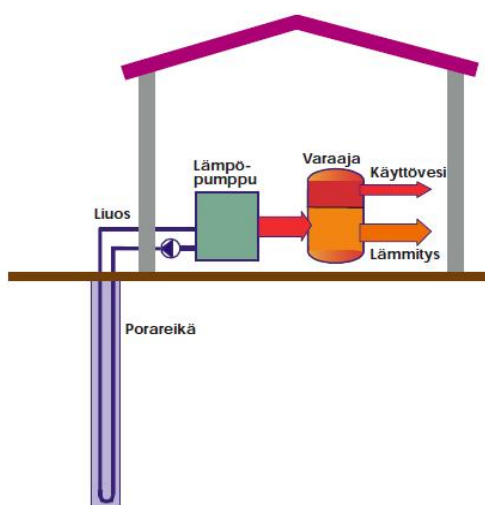


Kuva 2.5. Kuvassa on rakennuksen poistoilmalämpöpumppujärjestelmän toimintaperiaate. (Sulpu 2009)

Poistoilmasta saadaan vain osa tarvittavasta lämmitystehosta. Loppu on suuremman lämmitystarpeen aikana tuotettava lisälämmityksellä. Tarvittaessa lisälämpöä kytketään automaattisesti sähkövastuksia rinnakkaiskäyttöön. Laitteisto ei vaadi täysimitoitettua rinnakkaista lämmitysjärjestelmää, koska poistoilman lämpötila pysyy lähes samana vuoden ympäri, eikä se riipu ulkolämpötilasta. Poistoilmalämpöpumpun hyvänä puolena on maalämpöpumppua hieman alhaisempi kokonaishankintakustannus, koska laite sisältää rakennuksen ilmanvaihtolaitteiston. Laite mahdollistaa myös kesäaikaisen jäähdytyksen. Se ei myöskään aiheuta häiritseviä puhallinääniä ulkona. Huonona puolena on, että maksimissaankin poistoilman energiasisältö kattaa vain osan rakennuksen lämmitystarpeesta, joten lisälämpöä on saatava muualta. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi suoralla sähkölämmityksellä tai puulämmityksellä. Vuositasolla lämpökerroin on 1,5...2,2. (Sulpu 2009)

#### *2.3.4 Maalämpöpumppu*

Maalämpöpumppu (MLP) kerää varastoituneen aurinkolämmön maahan, kallioon tai vesistöön upotetussa muoviputkistossa. Tässä kierrätettävässä jäätymättömällä liuoksella varustetussa putkessa aine siirtyy höyrystin-lämmönsiirtimelle, jossa tapahtuu lämmön siirtyminen kylmäaineeseen. Kylmäaineesta lämpöenergiaa siirretään höyryjäähdytin-lämmönsiirtimessä lämpimän käyttöveden kuumentamiseen varaajaan ja lauhdutin-lämmönsiirtimessä vesikiertoiseen lattialämmitysjärjestelmään tai käyttöveteen. Lämpöpumpun mitoittaminen mahdollisimman korkeaan höyrystyslämpötilaan 0...+3 °C ja vastaavasti alhaiseen lauhtumislämpötilaan +35...+40 °C, parantaa lämpöpumpun lämpökerrointa. Käyttöveden loppukuuminen eli priimaus suoritetaan erillisessä varaajassa sähkövastuksella. (Sulpu 2009) Keskimääräiset vuosilämpökertoimet ovat 2,6...3,6. Maalämpöpumppu ja porakaivot lämmönlähteenä sopii lämmöntuottajaksi myös majoitustiloihin, liikekiinteistöihin ja teollisuustiloihin, joita lämmitetään lattialämmityksellä tai ilmalämmityksellä. (Sulpu 2009) Kuvassa 2.6 on maalämmön toteutusperiaate.



Kuva 2.6. Maalämpöpumpun toimintaperiaate. Keruuputkisto on maan alla. (Aittomäki 2001)

Maalämpöpumpun huipputehon mitoittaminen voidaan tehdä vastaamaan 60-85 % rakennuksen lämmitystehon maksimitarpeesta, jolloin lämpöpumppu kuitenkin tuottaa lämmitysenergian kokonaisvuositarpeesta peräti 85-98 %. Lämpöpumppu käy hyvällä lämpökertoimella pitkiä jaksoja lämmityskaudella ja huipputehon lisatarve katetaan lisävastuksella muutamina talven kylmimpinä päivinä. Tämä vähentää merkittävästi kompressorin käynnistyskertojen lukumääriä, jotka aiheuttavat ylimääräistä sähkönkulutusta, kulumista ja lämpökertoimen alenemista. (Sulpu 2009)

Maaperään vaakasuoraan asennettavan lämmönkeruuputkiston mitoitus on järjestelmän vaativin suunnittelutehtävä, koska mitoituksen optimoinnissa on useita toisiaan vastaan vaikuttavia mitoittussuureita ja monia yksilöllisiä epävarmuustekijöitä. Lisäksi kaikki suunnittelukohteet ovat erilaisia. Merkittävä mitoitustekijä on maaperän lämmönjohtavuus ja kosteuspitoisuus, jotka voivat vaihdella suuresti pienelläkin alueella. Näiden tutkimiseen kannattaa panostaa, jotta voitaisiin suunnitella riittävän pitkä putkiverkosto kuitenkin ylimitoittamatta sitä tarpeettomasti. Karkeana putkimäärän ohjearvona voidaan käyttää arvoa 1-2 m putkea lämmitettävän rakennuksen  $m^3$  kohti. Tonttimaata tarvitaan 1,5  $m^2$  yhtä putkimetriä kohti. Yleensä lämpöpumppujärjestelmän toimittaja suunnittelee ja toimittaa koko lämmitysjärjestelmän mitoituksineen, lämmönlähteputkistoineen ja lämmönjakeluverkostoineen sekä vastaa myös sen suunnittelun mukaisesta toimivuudesta. (Sulpu 2009)

Viime vuosina saatujen kokemusten myötä on yleistynyt menetelmä, jossa maalämpöpumpun lämmönlähteenä käytetään rakennuksen viereen porattua porakaivoa. Porakaivoon upotetaan lähes pohjaan saakka ulottuva muoviputkilenkki maaputkipiiriin sijaan. Tällä menetelmällä on etuina porakaivon energiasaannon parantuminen kaksinkertaiseksi putkimetriä kohti verrattuna maahan kaivettuun putkeen. Lisäksi vältetään mittavilta kaivaustöiltä tontilla ja saadaan pitkäikäinen, toimintavarma, routimaton ja helposti ilmattava järjestelmä. Vesistöä lämmönlähteenä käytettäessä, menetelmään soveltuvat järvet, lammet ja merenrannat. Vesistön on oltava vähintään 2 m syviä jo rannan läheisyydessä. Tähän soveltuu käytettäväksi sama tekniikka kuin maalämpöputkistossakin. Putket on eristettävä rakennuksesta rantaveteen saakka, koska muuten osa vesistöstä palaavan liuoksen lämmöstä siirtyy kylmempään maahan, etenkin jos meno- ja paluuputket on sijoitettu samaan kaivantoon. (Sulpu 2009)

Maalämpöpumpun etuna ovat alhaiset käyttökustannukset. Vesikiertoinen lämmön jakojärjestelmä on pitkäikäinen ja joustava järjestelmä. Maapiiriä voidaan tarvittaessa käyttää kesäaikana rakennuksen sisäilman viilentämiseen liittämällä liuospiiriin kiertoon asennettu patteri, puhallinkonvektori, ja kierrättämällä liuospiiriä sen kautta. (Sulpu 2009) Huonona puolena ovat melko suuret investointikustannukset, joten investointi ei välttämättä ole kannattavaa pienissä ja matalaenergiataloissa. Lämmitysenergiankulutuksen kasvaessa takaisinmaksuaika kuitenkin lyhenee. (Nissilä 2007)

#### **2.4 Lämpöpumpun sijoituspaikka**

Lämpöpumpulle täytyy tehdä huolellinen valinta sijoitettavan paikan suhteen, sillä huonolla sijoituksella voidaan ratkaisevasti heikentää laitteen toimintaa ja sen ominaisuuksia. Lämpöpumpun sijoittamisen tavoitteena on saada lämpöpumpusta irti paras mahdollinen hyöty. Toiminnan kannalta laitetta toivotaan käytettävän niin, että saadaan aikaan suurin lämpöteho suurimmalla lämpökertoimella. Lämpöpumpun

suunnittelu on suoritettava ammattilaisten avulla niin vanhassa, kuin uudisrakennuksessakin.

Yleisimmät asennusvirheet UILP:n kohdalta ovat: väärä sijoittelu, ulkoyksikön tärinänvaimennus, vuotavat liitokset, turvakytkimen puuttuminen, ulkoyksikön kannatinsysteemi ja huono asennusjälki. Sisäyksikön sijoitus vaatii taitoa laitteen toimimiseksi oikein ja optimaalisesti. Tällä on olennainen osa lämmityksessä ja jäähdytyksessä, ja siten se vaikuttaa myös sähkönkulutukseen. Suomessa sisäyksikön sijoitusperusteena on lämmityskäyttö, jolloin se sijoitetaan eteiseen tai muuhun avaraan tilaan. Silloin se voi kierrättää lämmitysilmää laajaan osaan huoneistoa luovuttaakseen lämmintä ilmaa. Yksikön valinnassa kannattaa puolestaan huomioida ainakin seuraavat: invertterisäätö, ulkoyksikön sulatus, laitteen toimivuuden ja tehokertoimen testaus Suomen olosuhteissa, lämpökerroin pakkasella, asennuksen laatu, takuu ja huolto. (IVT 2009) Asennusohjeita ulkoilmalämpöpumpun sisäyksikön sijoitukselle:

- Sijoitetaan keskeiseen paikkaan ylös lähelle katon rajaa, josta lämpö jakaantuu hyvin koko huoneistoon.
- Äänitaso ja puhallusnopeudet ovat alhaiset. Vältettävä kuitenkin paikkaa, jonka läheisyydessä tai alla oleskellaan jatkuvasti.
- Puhallettava ilma ei saisi törmätä muutaman metrin matkalla mihinkään.
- Sijoitus ulkoseinää vasten, jolloin lyhyemmät putkivedot.
- Laite ottaa ilman ylhäältä ja puhalttaa sen lämmitettynä tai jäähdytettynä alas.
- Huomioi huoltomahdollisuus, äänien minimointi ja ulkonäölliset asiat.
- Jäähdytyskäytössä lauhdetta voi tulla 1,5 l/h, joka on viemäroitävä pois.
- Muut lämmitys- ja ilmastointivirtaukset on pyrittävä hyödyntämään.

Ulkoilmalämpöpumpun ulkoyksikkö kerää huurretta ja jäätä lämmittäessään taloa. Sulatusjärjestelmä on tavallisesti automaattinen ja sen on toimittava kaikissa olosuhteissa. On myös huolehdittava ulkoyksikön sulatusvesien poistamisesta. (IVT 2009)

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.
- Huoltomahdollisuus ja ulkonäkö kannattaa huomioida.
- Sijoitus lumirajan yläpuolelle ja mieluiten katoksen tai räystään alle. Ympärillä oltava riittävästi tilaa ja vapaa ilmankierto. Yksikön tulisi välttää kovaa tuulta ja sadetta.
- Lämmityskäytössä voi syntyä 10-20 l lauhdevettä vuorokaudessa.
- Suurin ja lyhyin yksiköiden välinen putkien pituus 3-15 m. (IVT 2009)

Poistoilma- ja maalämpöpumppujen sijoittamisella ei vaikuteta niinkään niistä saataviin etuihin. Asentamispaikkojen suhteen saneerauskohteissa olisi kuitenkin hyvä hyödyntää mahdollisimman paljon vanhoja lämmitysratkaisuja.

## **2.5 Lämpöpumppujen kappalemäärät**

Lämpöpumppuja on käytetty jo pitkään jäähdytyskäyttöön, mutta viime vuosikymmeninä niiden on havaittu soveltuvan myös lämmitykseen. Molemmiin puolin 1980-lukua asennetuissa lämpöpumpuissa tehtiin virheitä ja kiinnostus niihin sammui. (Aittomäki 1996) Viime vuosien aikana kappalemäärien kasvu on ollut reipasta erityisesti ilma-ilmalämpöpumppujen osalta. Tähän ovat vaikuttaneet parantuneet lämpökertoimet ja kyky laajempaan ulkolämpötilojen hyödyntämiseen. Lisäksi jäähdytysominaisuus ja säästöt sähkölaskuissa ovat kannustaneet hankkimaan lämpöpumpun.

Lämpöpumppujen kappalemäärät ovat olleet viime vuosina voimakkaassa kasvussa. Voidaan sanoa, että lämpöpumpuista on tullut trendi. Valitettavaa on kuitenkin se, että lämpöpumppujen ostajat eivät välttämättä aina tiedä mitä ovat ostamassa. Lämpöpumpputyypeistä ilma-ilmalämpöpumppu on kaikkein yleisin



lämpöpumpputyyppejä Suomessa. Maalämpöpumppuja on asennettu seuraavaksi eniten. (Sulpu 2009) Nämä kaksi lämpöpumpputyyppeä ovat varteenotettavimmat vaihtoehdot rakennusten lämpöpumppuratkaisuiksi myös tulevaisuudessa, mikä johtuu niiden käyttöominaisuuksista. IILP on erityisesti omakotitaloasumisessa, mutta myös kesäasunnoissa IILP:n kappalemäärät ovat kasvaneet ja tulevat oletettavasti myös jatkossa nostamaan suosiotaan. Muita potentiaalisia asennuskohteita lämmityskäytössä tulevaisuudessa tälle lämpöpumpputyypille ovat todennäköisesti rivitaloasunnot. Toimisto- ja liikerakennuksissa IILP tullaan näkemään pääasiassa jäähdytyksen vuoksi. Taulukossa 2.1 on havaittavissa ilmalämpöpumppumäärien voimakas kasvu. Taulukossa on esitetty myös lämmitystehon -ja energian arvoja.

Taulukko 2.1. Ilmalämpöpumppujen kappalemäärien, tehon ja energian kehitys on luettavissa alla olevasta taulukosta. (Sulpu 2009)

Vuosi	Määrä [kpl]	Kapasiteetti [MW]	Tuotettu lämpö [GWh]	Käytetty sähkö [GWh]	Primäärisesti hyödynnetty energia [GWh]
1997	958	2,54	20,23	10,40	9,83
1998	1 662	4,41	35,20	18,11	17,09
1999	2 214	5,87	45,23	23,26	21,96
2000	3 014	7,99	53,90	27,73	26,17
2001	3 968	10,52	82,29	42,31	39,98
2002	5 872	15,57	123,57	63,53	60,05
2003	10 876	28,83	230,13	118,25	111,89
2004	18 876	50,03	403,08	207,06	196,02
2005	35 880	95,10	730,28	375,05	355,23
2006	65 880	174,60	1 356,28	696,84	659,44
2007	102 880	247,00	1 865,00	958,00	906,00

Maalämpöpumput ovat suurimmilta osin asennettu pientaloihin. Muita kohdetyyppejä voivat olla rivi- ja kerrostalot sekä liike- ja toimistorakennukset. Olisi toivottavaa energiatehokkuuden kannalta, että maalämmön suosio kasvaisi tulevaisuudessa. Perusteena ovat esimerkiksi maalämmönkyky korvata uusiutumaton energiaa lämmöntuotannossa sekä sähkölämmitteisissä rakennuksissa pienentää huipputehoja. PILP:n suurempaa läpimurtoa vielä odotellaan, mutta sillä olisi käyttöpotentiaalia. Poistoilmalämpöpumppuja oli asennettu reilut 14 000 kpl vuonna 2007. Ruotsissa PILP on yleisin käytössä oleva lämpöpumppu. (IVT 2009) Taulukossa 2.2. on esitetty edellisen taulukon tapaan vastaavat asiat maalämpöpumpulle.

Taulukko 2.2. Maalämpöpumppujen kappalemäärien, tehon ja energian kehitys on luettavissa alla olevasta taulukosta. (Sulpu 2009)

Vuosi	Määrä [kpl]	Kapasiteetti [MW]	Tuotettu lämpö [GWh]	Käytetty sähkö [GWh]	Primäärisesti hyödynnetty energia [GWh]
1997	14 731	314,70	1 131,90	390,30	741,60
1998	15 434	329,70	1 216,10	419,30	796,70
1999	16 339	350,10	1 237,40	426,70	810,70
2000	17 539	375,80	1 174,20	404,30	769,30
2001	19 016	406,80	1 441,00	480,30	960,70
2002	20 495	437,80	1 567,90	522,60	1 045,20
2003	22 695	484,90	1 710,20	570,10	1 140,10
2004	25 600	548,20	1 962,00	654,00	1 308,00
2005	29 106	624,30	2 104,30	701,40	1 402,90
2006	33 612	721,90	2 502,10	834,00	1 668,10
2007	38 906	831,00	2 815,00	983,00	1 877,00

Asennetuista lämpöpumpuista ja niiden asennuskohteista selviää perustelu lämpöpumppuasennuksien suuntautumisesta juuri omakotitaloihin. Koko maan lämpöpumpuista oli asennettu pientaloihin ennen vuotta 2008 (pientaloihin/kokonaisuudessaan) (Sulpu 2009; Tilastokeskus 2009):

- Maalämpöpumppuja: 38 751 / 38 906 kpl ~99,60 % pientaloissa
- Ilmalämpöpumppuja: 93 537 / 102 880 kpl ~90,92 % pientaloissa
- Poistoilmalämpöpumppuja: 13 822 / 14 372 kpl ~96,17 % pientaloissa.

Lämpöpumput näyttäisivät olevan erityisesti pientalojen lämmitysmenetelmä, ainakin toistaiseksi. Vertailtaessa keskenään ilma- ja maalämpöä havaitaan vuonna 2007 kappalemäärän olevan ilmalämpöpumpuissa yli 2,5-kertainen. Vaikka maalämpöä on asennettu huomattavasti vähemmän, on sen tuottama lämmityskapasiteetti yli kolminkertainen ja tuotetun lämmönmäärä 1,5-kertainen ilmalämpöpumppuihin verrattuna. Sähköä on molempiin lämmitysmenetelmiin kulunut vuonna 2007 lähes yhtä paljon, mutta lämmityskapasiteetissa ja tuotetussa lämmössä maalämpö on ylivoimainen.

### **3 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT- JA MÄÄRÄT SUOMESSA**

Lämmitysjärjestelmän valinta on eräs keskeisistä rakennussuunnittelun päätöksistä. Valinnassa täytyy huomioida taloudelliset näkökohdat, ulkoiset olosuhteet, lämmitysjärjestelmän ominaisuudet ja rakennuttajan mielipiteet sekä rakennuksen koko ja energiantarve. Rakennusten energiantarve muodostuu käyttöveden lämmityksestä, tilojen lämmityksestä, sähköenergiasta ja jäähdytyksestä. Suuren kiinteistön ylläpitokustannukset pienentyvät, mikäli valitaan lämmitysmenetelmä, joka tuottaa edullista lämpöä, huolimatta kalliimmasta rakennusinvestoinnista. Pienissä rakennuskohteissa tämä asetelma on usein täysin päinvastainen. (Nissilä 2007)

#### **3.1 Rakennusten lämmitysjärjestelmät**

Rakennusten lämmitysjärjestelmissä on tapahtumassa perusteellinen muutos: öljyn käytöstä joudutaan tulevaisuudessa luopumaan, ja tilalle ovat tulleet ja yhä lisääntyvissä määrin tulevat kotimaiset polttoaineet, sähkö, aurinkolämmitys ja lämpöpumput. Perinteiset lämmitysmenetelmät ovat pitäneet pintansa uudiskohteiden lämmitysratkaisuna, mutta murros lämmitysmenetelmien valinnoissa on havaittavissa. Tässä kappaleessa perehdytään Suomen rakennuskantaan ja niissä toimiviin lämmitysratkaisuihin.

Tilastotietojen mukaan Suomessa oli 5,3 miljoonaa ihmistä ja vajaa kaksi miljoonaa rakennusta vuonna 2008. Rakennusten lämmitykseen kuluva energia käsitti vuonna 2007 energian kokonaiskulutuksesta 20 % eli 298 000 TJ, joka tarkoittaa noin 83 TWh. Taulukosta 3.1 selviää koko maan rakennusten kappalemäärät rakennustyypeittäin. Rakennustyyppit on tässä tilastossa jaettu 12 ryhmään, jonka lisäksi kaikki rakennukset on laskettu yhteen ja niistä on kerrottu kappalemäärä lämmitysmenetelmittäin. Tiedot on kerätty kunnilta ja viimeisimmät tiedot ovat vuodelta 2008. Tilastossa ei ole mukana kesämökkejä ja maataloutta. Näistä rakennustyypeistä on tiedossa vain kokonaiskappalemäärät, joka on kesämökeille 481 731 kpl ja maataloudelle 65 802 kpl.

(MMM 2009; Tilastokeskus 2009) Rakennuksien jaottelussa rakennus on saanut luokkansa sillä perusteella, mihin suurinta osaa rakennuksen pinta-alasta rakennusta käytetään. Rakennuksessa voi olla tällaisissa tapauksissa muitakin käyttäjäryhmiä, jotka eivät näy Tilastokeskuksen rakennuslukumäärässä. Myös saneerattaessa vanhan rakennuksen lämmitysjärjestelmää, tehdään siitä harvoin ilmoitusta paikkakunnan rakennusviranomaisille. Tilastoissa on siis todennäköisesti jonkin verran virhettä. (Tilastokeskus 2009)

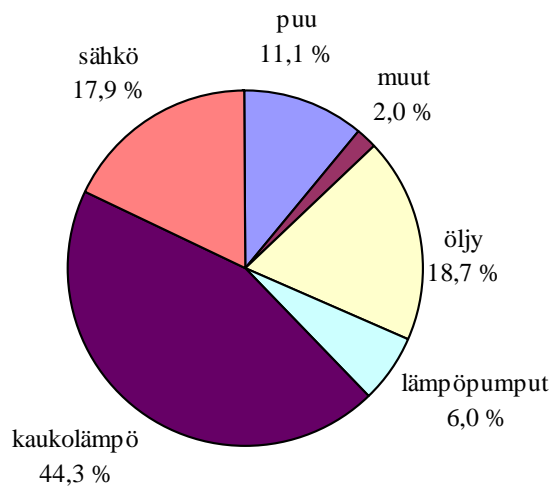
Taulukko 3.1. Taulukossa on rakennusten lukumäärä rakennustyypeittäin ja lämmitysenergian mukaan vuonna 2008. Kesämökkit ja maatalous puuttuvat tilastosta. (Tilastokeskus 2009)

Rakennuksia [kpl]	Kaikki rakennukset	Erilliset pientalot	Rivi- ja ketjutalot	Asuin- kerrostalot	Liike- raken.	Toimisto- raken.
<b>Yhteensä</b>	<b>1 421 188</b>	<b>1 082 511</b>	<b>75 109</b>	<b>55 925</b>	<b>41 419</b>	<b>10 732</b>
Kaukolämpö	158 605	52 498	32 571	42 470	6 536	4 422
Öljy, kaasu	322 530	258 097	17 272	9 545	7 529	2 761
Sähkö	540 986	456 581	23 942	2 291	18 328	2 611
Kivihiili	7 037	6 604	36	94	55	16
Puu, turve	276 674	262 334	650	1 102	4 165	207
Maalämpö	16 011	15 432	82	17	115	14
Muu	99 345	30 965	556	406	4 691	701

Rakennuksia [kpl]	Liikenteen raken.	Hoitoalan raken.	Kokoontumis- raken.	Opetus- raken.	Teollisuus- raken.	Varasto- raken.	Muut raken.
<b>Yhteensä</b>	<b>54 134</b>	<b>7 835</b>	<b>13 418</b>	<b>8 885</b>	<b>39 581</b>	<b>25 964</b>	<b>5 675</b>
Kaukolämpö	1 957	3 933	2 369	3 377	5 865	1 819	788
Öljy, kaasu	5 278	2 268	2 615	3 342	10 723	2 222	878
Sähkö	14 328	1 158	4 572	1 032	10 882	3 959	1 302
Kivihiili	39	8	15	14	123	15	18
Puu, turve	1 434	172	1 114	784	3 320	580	812
Maalämpö	121	29	22	12	109	46	12
Muu	30 977	267	2 711	324	8 559	17 323	1 865

Taulukon rakennusten yhteenlaskettu lukumäärä on 1,42 miljoonaa kappaletta ilman kesämökkejä ja maataloutta. Nämä huomioiden rakennuksia on noin 1,94 miljoonaa kappaletta. Taulukosta 3.1 voidaan lukea rakennusten käytetyimmät lämmitysmuodot. Kaikista rakennuksista kappalemäärältään suurin on sähkölämmitys 540 986 kpl. Seuraavina tulevat öljy 322 530 kpl, puu 276 674 kpl ja kaukolämpö 158 605 kpl. Erillisiä pientaloja on rakennustyypeistä selvästi eniten eli 1,083 miljoonaa kpl. (Tilastokeskus 2009) Maalämmön osalta tilastotieto kaikkien rakennusten suhteen 16 011

kpl ei ole luotettava, sillä Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry:n (SULPU), mukaan vuoteen 2008 mennessä asennettuja maalämpöpumppuja oli hieman alle 40 000 kpl. (Sulpu 2009) Rakennusten lämmityksen hyötyenergia jakautuu puolestaan lämmitysmuodoittain kuvan 3.1 mukaisesti. Suurin osa rakennusten lämmöstä tuotetaan kaukolämmöllä. Öljy, puu ja sähkö ovat järjestyksessä seuraavina. Huomionarvoista on se, että taulukossa 3.1 sähkölämmitysrakennuksia oli selvästi eniten kaikista rakennuksista. Lämmitysenergiana sen määrä on selvästi pienempi kuin kaukolämmöllä. (Tilastokeskus 2009)

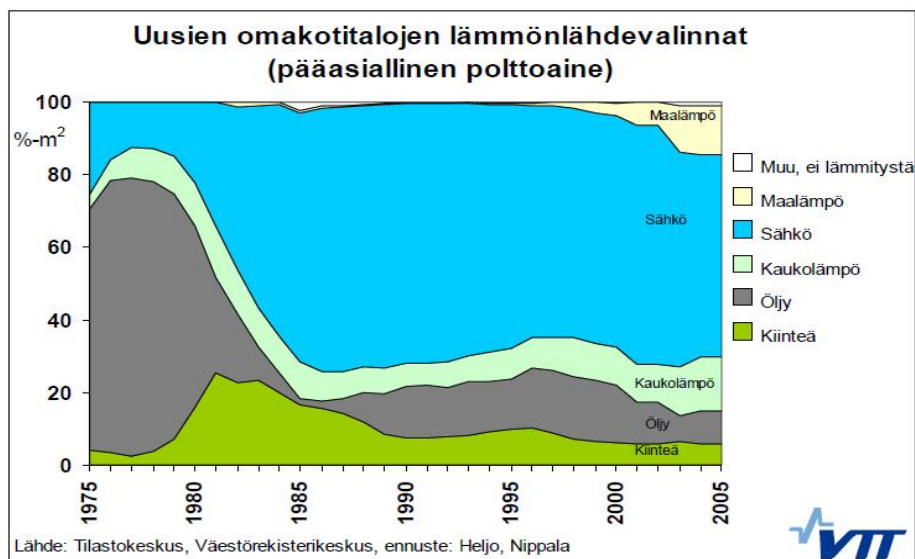


Kuva 3.1. Rakennusten lämmityksen hyötyenergiat jakaantuivat Suomessa kuvan mukaisesti vuonna 2007. (Tilastokeskus 2009)

Taulukossa 3.1 lämmitysjärjestelminä ovat: kaukolämpö, öljy/kaasu, sähkö, kivihiili, puu/turve, maalämpö, muu. Myöhemmissä tarkasteluissa lämmitysjärjestelmistä jätetään pois kivihiili sen vähäisen käytön vuoksi. Kivihiilen osuus lämmitysjärjestelmissä on promillen luokkaa ja paikkakuntaakohtaisessa tarkastelussa joissakin rakennustyypeissä sitä ei ole laisinkaan. Myös maalämpö jätetään pois, sillä sitä vertaillaan muiden lämpöpumppujen kanssa toisiin lämmitysjärjestelmiin. Lisäksi rakennukset, joista on ilmoitettu lämmitysmenetelmäksi öljy/kaasu ja puu/turve, käytetään tarkastelussa vain öljyä ja puuta. Perusteluna tälle supistamiselle on kaasun ja turpeen huomattavasti vähäisempi lämmityskäyttö verrattuna muihin lämmitysmenetelmiin.

Lämmitysjärjestelmistä tullaan siis huomioimaan myöhemmin: kaukolämpö, öljy, sähkö, puu sekä yhtenä kokonaisuutena muut lämmitysmenetelmät.

Lämpöpumppuja voitaisiin asentaa järkevin perustein sähkölämmitteisiin ja öljylämmitteisiin kohteisiin. Näiden lämmitystyyppien yhteenlaskettu kokonaismäärä on noin miljoona rakennusta. Tätä voidaan pitää eräänlaisena ylärajana lämpöpumppujen yleistymiselle lämmityskäytön osalta. Toisaalta katsottaessa taulukon 3.1 rakennustyyppejä havaitaan, että suurimmassa osassa rakennuksista voisi olla käyttöä myös jäädytykselle. Täytyy kuitenkin huomioida, että muitakin jäädytysjärjestelmiä on olemassa. Pelkästään erillisissä pientaloissa olisi lämpöpumppuratkaisuille jo runsaasti käyttöä. Viime vuosina omakotitaloja on rakennettu vuosittain keskimäärin 15 000 kpl. (Nissilä 2007) Näihin kohteisiin lämpöpumput sopivat useimmiten erittäin hyvin. Kuvassa 3.2 on uusien omakotitalojen lämmönlähteiden osuuksien kehitys.



Kuva 3.2 Kuva havainnollistaa uusien omakotitalojen lämmönlähteivalintojen kehitystä. (Heljo & Laine 2005)

Viimeaikainen kehitys uusien omakotitalojen lämmitysjärjestelmien osalta on ollut kuvan mukainen. Keskitettyjen järjestelmien eli kaukolämmityksen, sähkölämmityksen ja lämpöpumppujen lämmitysosuudet ovat lisääntyneet. Samalla paikallisten polttoaineiden eli puun, öljyn ja turpeen osuus on vähentynyt.

### 3.1.1 Kaukolämpö

Taulukosta 3.1 nähdään kaukolämmön osuus rakennusten lämmityksessä. Rakennusten kokonaismäärä, joissa kaukolämpöä käytetään, muodostaa reilut 10 % kaikista rakennuksista. Kaukolämpöä hyödynnetään tavallisesti kaupungeissa ja erityisesti kerrostaloissa. Tätä todistaa se, että lähes 76 % kerrostaloista lämpiää kaukolämmöllä. Myös rivi-, toimisto- ja hoitoalan rakennuksissa käytetään paljon kaukolämpöä.

Kaukolämpö tarkoittaa keskitetysti tuotettua ja vesiverkostolla kohteisiin luovutettua lämpöä. Kaukolämpöä tuotetaan sähköä ja lämpöä tuottavissa voimalaitoksissa ja lämpökeskuksissa. Lämpö jaetaan käyttäjille kaukolämpöverkossa kiertävän kuuman veden avulla. Pientalot sopivat liitettäväksi kaukolämpöverkkoon yleensä tiheästi asutuilla taajama-alueilla. Kaukolämpöverkosta lämpö siirretään talon lämmönjakokeskukseen, jossa on oma lämmönsiirrin tilojen lämmitykselle ja lämpimälle käyttövedelle. Lämmönsiirrin erottaa kaukolämpöverkon veden ja talon lämmönjakojärjestelmän toisistaan. Pientalon lämmönjakokeskus on tehdasvalmisteinen kokonaisuus, johon kuuluu lämmönsiirtimien lisäksi säätölaitteet, kiertovesipumput, paisunta- ja varolaitteet, mittarit ja sulkuventtiilit. Kaukolämpötalossa ei tarvita erillistä lämminvesivaraajaa. (Motiva 2009)

Lämmönjakotapana käytetään yleensä vesikeskuslämmitystä eli patteri- tai lattialämmitystä, mutta myös ilmalämmitys ja ilmanvaihtolämmitys ovat joskus käytettyjä vaihtoehtoja. Kaukolämpöenergian hinta on yleensä hyvin kilpailukykyinen ja se vaihtelee paikkakunnittain. Käyttäjän kannalta kaukolämpö on hyvin vaivaton, sillä se ei vaadi juurikaan huoltoa tai ylläpitoa. Yhteistuotantolaitokset, joissa tuotetaan sähköä ja lämpöä, toimivat erittäin hyvällä hyötysuhteella. Lisäksi, jos kaukolämpölaitoksen polttoaineena käytetään uusiutuvaa energiaa kuten puuta tai haketta, on kaukolämpö ympäristöystävällistä. Kaukolämmitystä kannattaisi suosia lämmitysmuotona aina, jos sitä on saatavilla. Kaukolämmön osuus uusien pientalojen lämmitystapana on hieman noussut viime vuosina. Lämmitysmenetelmän yleistymistä rajoittaa vaikea saatavuus tietyillä alueilla. (Motiva 2009)

Kaukolämpöä olisi hyvä suosia alueellisena lämmitysjärjestelmänä vedoten energiatehokkuuteen ja taloudellisiin etuihin. Lämpöpumpuista voidaan ajatella käytettäväksi kaukolämmitysrakennuksissa lähinnä ilma-ilmalämpöpumppua jäähdytyskäyttöön. Muut lämpöpumppujärjestelmät eivät todennäköisesti pysty kilpailemaan lämmityskustannuksissa ja hiilidioksidipäästöissä verrattuna kaukolämpöön. Lämpöpumppujen lämmitysratkaisut voisivat tosin olla toteutettavissa kaukolämmön korvaajina. Järkevämpää energiatehokkuuden kannalta olisi kuitenkin pitää nämä lämmitysmenetelmät erillään toisistaan. Tällöin kehitys ja kilpailu toimisivat paremmin. Lisäksi energiatehokkuutta pystyttäisiin kehittämään siellä, missä sitä eniten tarvittaisiin.

### *3.1.2 Öljylämmitys*

Öljylämmitystä käytetään lämmitysmenetelmänä yli 20 % kaikista rakennuksista. Suurimmat öljyä käyttävät rakennustyypit ovat hoito-, opetus- ja teollisuusrakennukset. Pientaloissa öljylämmitystä käytetään 258 000 rakennuksessa, joka käsittää noin 24 % kaikista pientaloista. Öljylämmityksen osuus uusissa erillisissä pientaloissa on nykyään pieni. Tämä voi olla seurausta öljynhinnan noususta ja vaihteluista sekä myös kuluttajien ympäristönäkökulmista.

Öljylämmitysjärjestelmä sisältää öljykattilan, öljypolttimen, säätölaitteet ja öljysäiliön. Järjestelmä tuottaa huonetilojen ja lämpimän käyttöveden tarvitseman lämpöenergian. Erillistä lämminvesivaraajaa ei tarvita. Lämpö siirretään kohteeseen vesikiertoisella lämmönjakojärjestelmällä. Öljylämmityskattiloiden hyötysuhde on yli 90 %, jonka lisäksi palaminen on puhdasta. Nykyisin on kehitteillä ja käytössä polttonesteitä, joissa osa polttoaineesta on biopohjaista. Öljylämmitys voidaan yhdistää muihin lämmitysjärjestelmiin, vaikkapa aurinkolämmitykseen, jolloin 25-35 % lämmöntarpeesta voidaan tuottaa aurinkolämpöjärjestelmällä. Markkinoilla on myös kaksoispesäkattiloita, jossa öljyn rinnalla voidaan käyttää puuta. (Motiva 2009)



Vanhan rakennuksen öljylämmitys voidaan muuttaa lämpöpumpulla toimivaksi kokonaan tai osittain. Jos vanha kattila korvataan kokonaan, lämpöpumppu voidaan valita kuin uutta lämmitysjärjestelmää rakennettaessa. Lämmitystehonmitoitus tehdään tällaisissa tapauksissa joko suurimmalle teholle tai osateholle. Jos vanha kattila säilytetään huipputehoja varten, tarvitaan lisäksi käyttöveden varaaja, mikäli lämpöpumppu ei sitä sisällä. Vanhaa järjestelmää uusittaessa täytyy huomioida lämmitysverkoston menoveden lämpötilataso. Jos huippupakkasilla tarvitaan kuumempaa vettä mitä lämpöpumppu pystyy tuottamaan, täytyy lisälämmitys tehdä sähkövastuksilla tai vanhalla öljykattilalla. Matalampi lämpöpumpun lähtöveden lämpötila tuottaa paremman lämpöpumpun lämpökertoimen. Jos talossa on parannettu eristyksiä tai muuten lämmönsäilyvyyttä, alentuu menoveden tarpeellinen lämpötilataso verrattuna suunniteltuun. Lämmin käyttövesi voidaan tuottaa lämpöpumpun omaan tai erilliseen varaajaan. (Aittomäki 2001) Öljylämmityksen kustannuksiin öljynhinnan lisäksi tulee nuohouskulut sekä polttimen huoltokustannukset. Uuteen taloon investointina öljylämmitys on kallis, sillä siihen kuuluvat kattilalaitos, öljysäiliön jakelu- ja varolaitteet. Lämmitysjärjestelmälle täytyy varata myös tarpeeksi tilaa. (Salmi 2003)

Öljylämmitys voidaan korvata ulkoilmalämpöpumpulla joko osittain tai kokonaan. Ilma-ilmalämpöpumppu ei sisällä käyttövedenvaraajaa, jolloin on mahdollisuuksien mukaan hankittava sähköinen lämminvesivaraaja tai käytettävä vanhaa öljykattilaa. Ilma-vesilämpöpumpulla ei tällaista ongelmaa ole. Öljyn ja kiinteän polttoaineen käyttö lämmöntuotantoon lämpöpumppujärjestelmän rinnalla on edullista, koska käyttäjälle ei aiheudu kiinteitä kuluja. (Salmi 2003) Lämpöpumpuista parhaiten öljylämmitystä korvaamaan sopinee maalämpö. Tämä pystyy kattamaan kaiken tarvittavan lämmön, eikä lisälämmitystä tarvita. Myös poistoilmalämpöpumpun asentaminen on mahdollista.

### *3.1.3 Sähkölämmitys*

Suomessa sähkölämmitystä käytetään lukumääräisesti eniten, 38 % rakennuksista lämmitetään sähköllä. Suurin rakennustyyppi lukumäärältään sähkölämmityksen

käyttäjänä on pientaloasuminen. Näistä yli 40 % käyttää päälämmitysjärjestelmänä sähkölämmitystä. Myös kesämökeillä sähkölämmitys on melko suosittua. Sähkölämmitys jaetaan suoraan ja varaavaan lämmitykseen, joista ensimmäinen on käytetympi. Osuuksien määrä vaihtelee alueittain. Vuonna 2004 sähkölämmittäjistä pientaloissa (419 000 kpl) käytti huonekohtaista lämmitystä 374 000 kpl ja vesikeskuslämmitystä 37 000 kpl. Sähkölämmittäjien suhteelliseksi osuudeksi muodostuu silloin suoralle 90 % ja varaavalle 10 %. (Lehtonen ym. 2007)

Suorassa sähkölämmityksessä lämpö tuotetaan sähköllä suoraan lämmitettävään tilaan. Tällaisissa rakennuksissa lämmityslaitteina voivat olla esimerkiksi sähkölämmittimet tai katto- ja lattialämmitys. Varaavassa sähkölämmityksessä vesikeskuslämmityksen lämmönlähteenä käytetään sähköä. Lämmöntuottolaitteena on joko sähkövastuksilla varustettu varaaja tai sähkökattila. Sähkövaraajan koko on tyypillisesti pientaloissa 1-2 m<sup>3</sup>, jolla tuotetaan tilojen lämmitysenergia ja lämpimän käyttöveden tarvitsema energia. Varaajaratkaisuja on olemassa erilaisia. Esimerkiksi käyttövesi voidaan valmistaa erillisellä varaajalla. Sähkövaraajia voidaan käyttää myös puukattiloiden yhteydessä. Suuri varaaja mahdollistaa myös aurinkoenergian hyödyntämisen. Yösähkön osuus olisi hyvä olla taloudellisista syistä noin 90 %. (Motiva 2009)

Sähkökattila tuottaa talon tarvitseman lämmitysenergian sähkövastuksilla. Lämpö siirretään huonetiloihin vesikiertoisella lämmönjakojärjestelmällä. Lämpöä ei yleensä varata yösähköllä, mutta järjestelmään voidaan liittää myös varaaja. Käyttövesi lämmitetään erillisellä käyttövesivaraajalla. Sähkökattila sopii parhaiten pienehköihin, noin 100 m<sup>2</sup>:n kokoisiin omakotitaloihin sekä taloihin, joissa lämmitystarve on pieni. Sähkökattilan etuna on halpa hankintahinta yhdistettynä vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään, joka mahdollistaa lämmitysenergian vaihtamisen. (Motiva 2009)

Lämpöpumppuja kannattaa hyödyntää erityisesti sähkölämmityksen yhteydessä, jolloin sähköenergian ja lämmityskustannusten osalta saadaan irti kaikkein suurimmat hyödyt. Samalla voidaan parantaa ympäristöystävällisyyttä, koska CO<sub>2</sub>-päästöt laskevat. Käytön

heikentävänä puolena on tavallisesti sähköteho, jota tarvitaan samaan tapaan kuin sähkölämmitteisissä rakennuksissa. Kaikki lämpöpumpputyypit sopivat sähkölämmityksen rinnalle tai sen tilalle.

### *3.1.4 Puulämmitys*

Puulämmitystä suositetaan lämmitysjärjestelmänä kaikista rakennustyypeistä 20 % kiinteistöistä, mistä valtaosa on pientaloja. Lisäksi suuressa osassa pientaloista puulämmitys on täydentävänä lämmityksenä. Myös kesämökkien ja maatalouden puulämmitys on erittäin suosittua. Kesämökeillä puulämmitys on energiamäärältään jopa suosituin lämmitysmenetelmä. (Tilastokeskus 2009) Puupolttoaineiden käyttö lämmityksessä on ympäristön kannalta hyvä vaihtoehto, sillä puun poltto ei aiheuta hiilidioksidi- eikä rikkipäästöjä. (Motiva 2009)

Puukattiloissa käytetään polttoaineina pilkkeitä, halkoja ja haketta. Lämmönjakojärjestelmänä on yleensä joko vesikiertoinen patteri- tai lattialämmitysverkko. Puulämmitysjärjestelmässä voi olla varaaja, johon kattilan kehittämä lämpö varastoidaan. Parhaimmillaan yksi lämmityskerta ja pesällinen polttoainetta riittää jopa vuorokaudeksi. Pientalon vuotuinen puupolttoaineen tarve on noin 20 pinokuutiometriä. Hyvän puukattilan hyötysuhde nimellisteholla on yli 80 %. Puulämmitys vaati asukkailta enemmän työtä kuin muut lämmitystavat. Puulämmitystä harkittaessa on syytä miettiä etukäteen mistä polttoainetta hankitaan ja missä sitä säilytetään. (Motiva 2009)

Pelleteissä on puuenergiaa hyvin tiiviissä muodossa. Kuutio pellettejä sisältää saman energiamäärän kuin 300-330 l kevyttä polttoöljyä. Puupelletit ovat kotimaista polttoainetta ja niiden ympäristökuormitus on hyvin pieni. Pellettilämmitysjärjestelmä koostuu kattilasta, polttimesta, siirtoruuvista ja varastosiilosta. Omakotitalossa sopiva siilon koko on 8 m<sup>3</sup>, jolloin siihen mahtuu vuoden pellettien tarve eli noin 4 t pellettejä (6,5 m<sup>3</sup>). Pellettejä poltetaan erityisesti pellettien polttoon suunnitelluissa polttimissa.

Polttimen ohjausyksikkö säätelee polttoaineen syöttöruuvien, palamisilmapuhaltimen ja polttimen toimintaa lämmöntarpeen mukaan. Pellettipoltin voidaan asentaa erityisesti pelletin polttoon suunniteltuun kattilaan, mutta myös useimpiin öljy- ja puukattiloihin. Pellettikattilatyypeissä huolto on tehtävä 1-2 kk välein, täysautomaattisissa kattiloissa muutaman kerran vuodessa. Pellettilämmityksen markkinaosuus uusissa pientaloissa on vielä melko pieni, mutta odotettavissa on, että se kasvattaa suosiotaan. (Motiva 2009)

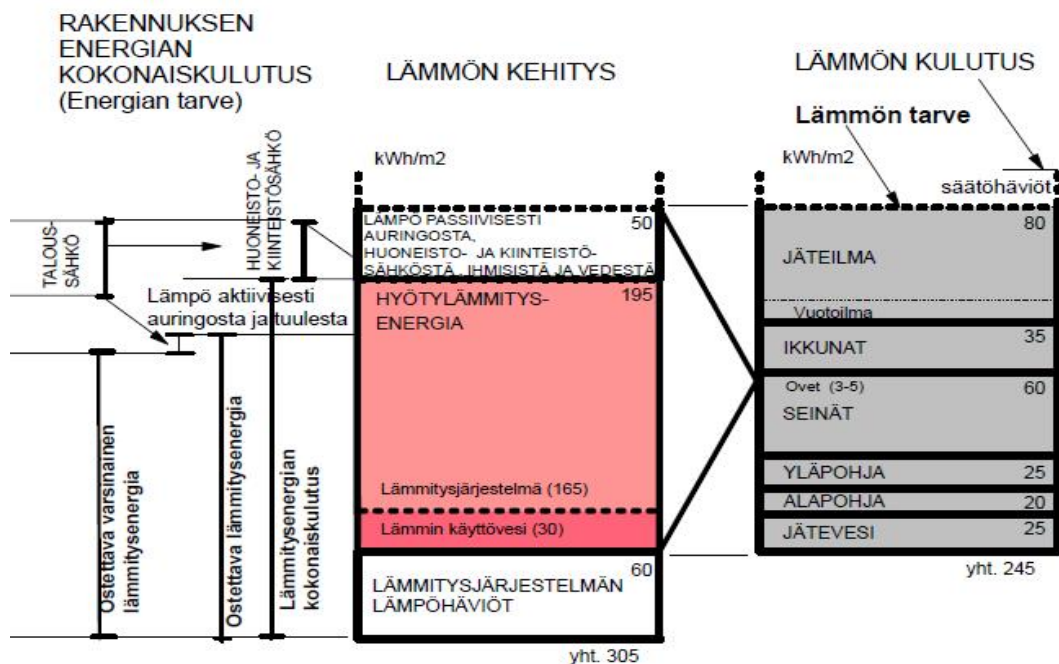
Kiinteät polttoaineet tarvitsevat varaston sekä usein myös syöttölaitteet, mikä on investointina hankalampi toteuttaa ja vaatii hankinnalta siksi enemmän. Kiinteillä polttoaineilla on oltava erillinen lämminvesivaraaja. (Pesonen 2005) IILP ja puulämmityksen yhteiskäytössä lämpö leviää ja tasoittuu ilmalämpöpumpun ansiosta hyvin. Myös lämpötilakerrostumat ja vetoisuus pienenevät tai poistuvat. Sähkö- ja puulämmitteiset pientalot ovat erityisen hyviä päälämmitysjärjestelmiä ilmalämpöpumpulle. Myös muut lämpöpumpputyypit soveltuvat puulämmityksen rinnalle tai korvaajiksi. Lämmityskustannuksista on vain hankalampaa saada säästöjä aikaan, jos tilalle vaihdetaan lämpöpumppu. (IVT 2009)

### *3.1.5 Muut lämmitysmenetelmät*

Muut lämmitysmenetelmät sisältävät lämmitysmenetelmiä edellä olleiden menetelmien ulkopuolelta. Muita lämmitysmenetelmiä on käytetty 7 % kaikista rakennuksista. Oletetaan, että mukana on lämmöntuotto-osuudeltaan pieniä ja tuntemattomia lämmitysmenetelmiä. Lämmitysmenetelmä on tuntematon, kun rakennuksen lämmitystavasta ei ole selvyyttä. Tässä lämmitysmuodossa myöhemmin esitettävät sähkön- ja lämmitysenergia-arvot ovat arvioita ja ne on saatu laskemalla keskiarvo muista lämmitysmenetelmistä. Oletetaan myös, että tässä lämmitysyryhmässä kaikki lämpöpumpputyypit soveltuvat pää- tai rinnakkaislämmitysjärjestelmiksi.

### 3.2 Rakennusten energiankulutus

Rakennusten kokonaisenergiankulutuksen voidaan ajatella jakautuvan lämmitysenergiaan, jäähdytysenergiaan ja sähköenergiaan. Sähköenergia on niin kutsuttua laitesähköä, joka käsittää sähkölaitteisiin kuluvan sähkön. Osa laitesähkön energiasta kuluu hukkalämmöksi, jota ei tässä tutkimuksessa huomioida. Kuvassa 3.3 esitetään rakennuksen kokonaisenergiantarpeen rakenne.



Kuva 3.3. Rakennuksen kokonaisenergiankulutus koostuu kuvanmukaisesti. (Heljo ym. 2005)

Kuvan periaatteena on, että rakennukseen tuodaan energiaa ja rakennuksesta lähtee lämpöä. Lämmitysenergiankulutus on yleensä huomattavasti suurempi kuin sähköenergiankulutus. Sähkölämmitteisessä rakennuksessa sähköenergiaa kuluu enemmän, koska sähköenergiankulutus muodostuu sekä lämmityksen että kulutussähkön tarpeesta. Tässä kappaleessa esitellään keskimääräisiä ja yleistettyjä arvioita lämmitys- ja jäähdytysenergioille. Sähköenergiankulutukseen ei esitetä tässä tutkimuksessa keskimääräisiä kulutusarvoja rakennustyyppikohtaisesti, koska nämä arvot vaihtelevat paljon ja tiedot on saatavissa sähköverkkoyhtiöiltä.

Ulkolämpötila ja auringon säteily määräävät vuodenaikojen ja vuorokauden suhteen muuttuvat lämmitys- ja jäähdytystehot. Kiinteistöjen lämmitysenergianmäärä vaihtelee vuoden ja vuorokauden ajan, alueen sekä rakennustyyppin mukaan. Rakennusten lämmityksen energiatarpeeseen lasketaan käyttöveden lämmitys, tilojen lämmitys ja jäähdytys. Jos lämmitys tapahtuu sähköllä, lasketaan se mukaan tilojen lämmitysenergiatarpeeseen. (Nissilä 2007) Yhtälö (3.1) kertoo rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen:

$$E_{rakennus} = Q_{lämmitys,tilat} + Q_{lkv} + E_{sähkö} + Q_{jäähdytys,tilat}, \quad (3.1)$$

jossa  $E_{rakennus}$  on kokonaisenergiankulutus,  $Q_{lämmitys,tilat}$  on tilojen lämmityksen energian kulutus,  $Q_{lkv}$  lämpimän käyttöveden energia,  $E_{sähkö}$  sähköenergia ja  $Q_{jäähdytys,tilat}$  tilojen jäähdytyksen energian kulutus. (Nissilä 2007) Lämmitykseen kuluvan energian määrittäminen rakennuskohtaisesti ei ole välttämättä helppoa. Yksittäisen rakennuksen energiankulutusta voidaan mitata sähkölämmitteisessä talossa, josta saa tarkan arvon sähkömittarien luennalla. Sähköenergiankulutus saadaan jokaisesta rakennuksesta, koska jokainen kulutuspiste vaatii liittymän ja siihen sähkömittarin. Mittarin sähköenergielukema on osa sähköverkkoyhtiöiden laskutusperustetta. Usein on niin, että sähkölämmittäjäasiakkaat pystytään erottelemaan muita lämmitysmenetelmiä käyttävistä asiakkaista. Lämmityssähkön osuutta ei kuitenkaan pystytä tavallisesti erottelemaan kulutussähköstä. Rakennuksessa, jossa on kauko-, öljy-, tai pellettilämmitys voidaan lämmitysenergiasta saada mittaustietoa. Silloin kokonaisenergiankulutus muodostuu sähkön ja lämmön yhteenlasketusta energiasta. Vaikeampaa on arvioida rakennuksia, joissa on puulämmitys tai muu lämmitysmenetelmä. Jos muuta keinoa lämmitysenergian arviointiin ei ole, voidaan energia-arvoja arvioida laskennallisoin keinoin.

### 3.2.1 Lämmitysenergiankulutus

Lämmitysenergiatarve on kiinteistökohtaista, mihin vaikuttavat eri rakennustyyppit ja rakennuskoot sekä erilaiset käyttötottumukset. Tuotettiinpa lämpö millä

lämmitysmuodolla tahansa, on rakennuksen hyötylämmitysenergiantarve aina sama. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että täysin samanlaisissa rakennuksissa tietynä ajankohtana tarvitaan esimerkiksi puulämmityksessä saman verran lämpöenergiaa kuin sähkölämmityksessä. Lämmitysenergiankulutustietojen saaminen asettaa haasteita. Jos ajatellaan vaikka kesämökin ja teollisuusrakennuksen vuosittaista lämmönkulutusta, niin näiden väliltä on löydettävissä huomattava ero. Siksi rakennusten jakaminen tiettyihin ryhmiin on välttämätöntä. Pientalojen lämmitysjärjestelmien osalta koko maan alueella on tyypillistä, että kaukolämmitysrakennukset ovat keskimääräiseltä pinta-alaltaan huomattavasti suurempia kuin puulämmitteiset rakennukset. Lämmöntarpeeseen vaikuttava rakennuksen koko on tapauskohtaisesti vaihteleva parametri, mutta sitä voidaan keskimääräisenä arvona käyttää laskennallisesti hyödyksi lämmitysenergioiden selvittämiseen. Taulukko 3.2 kertoo pientalojen osalta keskimääräisten pinta-alojen eron eri lämmitysmenetelmien välillä.

Taulukko 3.2. Suomalaisen pientalojen lämmitystyyppien jakautuminen kerrosalan sekä keskimääräisen pinta-alan mukaan. (Tilastokeskus 2009)

<i>Koko maa</i> <i>Erilliset pientalot</i> Lämmitystyyppi	Kerrosala [m <sup>2</sup> ]	Rakennuksia [kpl]	Keskimääräinen pinta-ala [m <sup>2</sup> ]
Kaukolämpö	9 532 887	52 498	182
Öljy, kaasu	37 904 803	258 097	147
Sähkö	65 405 653	456 581	143
Puu, turve	29 471 946	262 334	112
Muu	1 970 485	30 965	64
<b>Yhteensä</b>	<b>144 285 774</b>	<b>1 060 475</b>	<b>136</b>

Kaikista rakennustyypeistä ei ole saatavissa eikä laskettavissa keskimääräisiä pinta-aloja. Lisäksi pinta-alaan sidonnainen lämmitysenergioiden määrittäminen ei vaikuta kovin luotettavalta, joten on käytettävä muita keinoja rakennusten keskimääräisen lämmitysenergian selvittämiseksi. Erään ratkaisun antaa taulukko 3.3. Valtakunnallisesta lämmitysenergiatarpeesta voidaan saada apua energia-arvojen arvioinnin helpottamiseksi. Tilastokeskuksen tilastosta muodostetussa taulukossa on lämmitysenergiankulutus rakennus- ja lämmitystyypeittäin Suomessa vuonna 2007. Taulukkoon on poimittu ja laskettu tärkeimmät arvot. Energia-arvoihin sisältyy lämpimänkäyttövedenenergia

keskuslämmitysjärjestelmissä. Rakennustyyppin keskimääräinen vuotuinen lämmitystarve on lihavoituna.

Taulukko 3.3. Rakennusten lämmitysenergiat vuodelta 2007 on esitettyä taulukossa. (Tilastokeskus 2009)

<b>Vuosi 2007. Koko Suomi.</b>		Kauko-	Öljy	Sähkö-	Puu	Yhteensä/ Keskiarvo
Rakennusten lämmitysenergiat		lämmitys		lämmitys		
Erilliset pientalot	GWh	1 410	4 344	5 730	5 378	16 862
	lukumäärä	50 470	258 329	446 801	262 661	1 018 261
	<i>ka/rakennus</i> MWh	28	17	13	20	<b>17</b>
Kytkeytyt pientalot	GWh	2 490	811	1 090	23	4 414
	Lukumäärä	32 064	17 275	23 539	657	73 535
	<i>ka/rakennus</i> MWh	78	47	46	35	<b>60</b>
	<i>ka/asunto</i> MWh	16	9	9	7	<b>12</b>
Asuinkerrostalot	GWh	13 360	560	150	8	14 078
	lukumäärä	41 875	9 600	2 278	1 119	54 872
	<i>ka/rakennus</i> MWh	319	58	66	7	<b>257</b>
	<i>ka/asunto</i> MWh	13	2	3	0	<b>10</b>
Julkinen palvelu	GWh	5 694	1 635	910	229	8 469
	lukumäärä	15 778	16 274	23 153	3 616	58 821
	<i>ka/rakennus</i> MWh	361	100	39	63	<b>144</b>
Yksityinen palvelu	GWh	4 566	1 311	730	184	6 790
	lukumäärä	7 952	9 649	21 735	4 659	43 995
	<i>ka/rakennus</i> MWh	574	136	34	39	<b>154</b>
Teollisuusrakennukset	GWh	3 010	3 142	2 670	290	9 113
	lukumäärä	5 666	10 602	10 574	3 183	30 025
	<i>ka/rakennus</i> MWh	531	296	253	91	<b>303</b>
Kesämökit	GWh	0	29	370	825	1 224
	lukumäärä	0	0	240 866	240 866	481 732
	<i>ka/rakennus</i> MWh	0	0	2	3	<b>3</b>
Maatalousrakennukset	GWh	130	1 240	770	779	2 919
	lukumäärä	0	19 741	19 741	26 321	65 802
	<i>ka/rakennus</i> MWh	0	63	39	30	<b>44</b>

Taulukkoa on muotoiltu niin, että se mahdollisimman hyvin auttaa määrittämään myöhemmin laskentaohjelmassa tarvittavia energiaparametreja. Taulukkoon on erikseen laskettu rakennus- ja asuntokohtaisia lämmitysarvoja sekä huomioitu hyötysuhteet. Raskas ja kevyt polttoöljy on yhdistetty öljyksi sekä turve, hiili ja maakaasu on yhdistetty muuksi lämmitysmenetelmäksi. Taulukosta on jätetty pois lämpöpumput, sillä ne tulevat omaan erilliseen tarkasteluunsa.



Taulukon rakennustyypeissä on palvelurakennukset eroteltu julkiseen ja yksityiseen palveluun. Julkinen palvelu sisältää Tilastokeskuksen rakennustyypeistä: toimistorakennukset, liikenteen rakennukset, hoitoalan rakennukset, kokoontumisrakennukset sekä opetusrakennukset. Yksityinen palvelu koostuu liikerakennuksista ja varastorakennuksista. Jaotteluperusteena on käytetty rakennusten luonteenomaista käyttötarkoitusta kuuluvaksi joko yksityiseen tai julkiseen palveluun. Tilastokeskuksen rakennustyyppien kappalemääriä on myös vertailtu tutkittavista verkkoyhtiöistä saatuihin asiakastietojen käyttäjäryhmien lukumääriin. Toimistorakennuksissa on myös paljon yksityistä palvelua, mutta jaottelu on tehty nyt näillä perusteilla. Lähes vastaavaa jaottelua on käytetty tutkimuksessa *Rakennusten energiankulutus ja CO<sub>2</sub>-ekv päästöt Suomessa* (Juhani Heljo ym.). Siinä yksityiseen palveluun ovat kuuluneet liike-, toimisto- ja liikenteen rakennukset. Julkiseen vastaavasti ovat kuuluneet hoitoalan rakennukset sekä opetus- ja kokoontumisrakennukset. Taulukossa on lisäksi laskettu keskimääräinen lämmitystarve rakennusta kohden. Kytkeytyissä pientaloissa ja asuinkerrostaloissa on laskettu lisäksi asuntokohtainen lämmitysarvo, joiden määrittämiseen on molemmissa rakennustyypeissä käytetty koko Suomen keskimääräisiä asuntomääriä. Arvoina on käytetty rivitaloille 5 ja kerrostaloille 25 asuntoa/rakennus. Nämä muutokset eivät aiheuta suurta virhettä, koska muokkauksissa on kyse lähinnä tietojen yhdistelemisestä.

Taulukosta voidaan havaita rakennus- ja lämmitystyyppien välillä olevan erittäin suuri lämmitystarpeen vaihtelu, joka selittyy rakennusten välillä olevista huomattavista suuruuseroista. Koska tilasto koskee koko Suomea, voidaan kaukolämpö ajatella kaupunkien keskustoissa olevien suurten rakennusten lämmitysratkaisuksi, ja puulämmitys taas maaseudulla sijaitsevien hieman pienempien kiinteistöjen lämmitysmenetelmäksi. (Tilastokeskus 2009) Mielenkiintoinen huomio taulukon ulkopuolelta on, että öljynkäyttö (sisältäen raskaan ja kevyen polttoöljyn) lämmitysenergiana on vuodesta 1995 vuoteen 2007 vähentynyt 21,5 %. Tämä suuntaus tulee hyvin todennäköisesti jatkumaan yhä voimakkaammin. Uusissa omakotitalorakennuksissa ei öljylämmitystä ole suosittu kuin noin 1 % kohteista. (Heljo 2008)

Taulukon lämmitysarvot eivät välttämättä tunnu kaikilta osin realistisilta, mikä voi olla esimerkiksi maaseudulla aivan tyypillistä. Rakennusten kokoluokat voivat olla siellä hieman pienempiä ja lämmitysmenetelmät erilaisia. Esimerkiksi pientalojen osalta taulukon keskimääräinen lämmitysarvo rakennusta kohden vaihtelee merkittävästi kaukolämmityksen 28 MWh ja sähkölämmityksen 13 MWh välillä. Vertailupohjaa ja lisäinformaatiota antaa Olli Nissilän diplomityö, jossa on tehty lämpöpumppututkimusta kolmelle rakennustyypille tehon näkökulmasta. Tyyppirakennukset ovat omakotitalo, rivi- ja kerrostalo. Omakotitaloasumiselle määritelty lämmitysteho on 9 kW ja lämmitysenergian tarve 24 MWh. Rivitaloasumiselle vastaavat arvot ovat 17 kW ja 48 MWh sekä kerrostalolle 41 kW ja 126 MWh. (Nissilä 2007)

Sähköenergiankulutus eroaa hieman viiden tutkittavan lämmitysmuodon välillä. Sähkölämmittäjien sähköenergiamäärä koostuu lämmitys- ja kulutussähköstä, minkä vuoksi sähköenergiamäärä on huomattavasti muita lämmitystyyppisiä suurempi, ja joka voi hieman vaikuttaa myös kokonaisenergian määrään. Varaavassa sähkölämmityksessä kuluu hienokseltaan enemmän sähköenergiaa vuodessa kuin suorassa sähkölämmityksessä. (Lehtonen ym. 2007) Oletetaan kuitenkin näiden arvojen olevan niin lähellä toisiaan, että niille voidaan käyttää samoja energia-arvoja. Kaukolämmön, puulämmityksen ja muun lämmityksen osalta sähkönkulutus tulisi olla samanlaisissa rakennuksissa keskimääräisesti lähellä toisiaan. Öljylämmityksessä tarvitaan öljypolttimen toimimiseen sähköä. Omakotitalorakennuksessa tähän voi kulua muutama sata kWh, a enemmän sähköä kuin esimerkiksi kaukolämmityksessä. Jos öljypolttimen kokoa kasvatetaan suurempia rakennuksia varten, tarkoittaa se myös lämmitysenergian sekä lämmitykseen käytettävän sähkönkulutuksen kasvua.

### *3.2.2 Jäähdytysenergiankulutus*

Rakennukset varustetaan lisääntyvässä määrin jäähdytysjärjestelmällä. Jäähdytys on osa rakennuksen kokonaisenergiankulutusta ja usein jäähdytysenergia mielletään laskettavaksi yhteen lämmitysenergian kanssa. Suomessa jäähdytystä tarvitaan kesällä

tavallisesti lyhyen aikaa, ja silloin kun ulkoilman vapaajäähdytys ei ole toteutettavissa. Rakennusten jäähdytyksen osuus muodostuu normaalisti melko pieneksi kokonaisenergiantarpeesta. Kuitenkin on havaittavissa, että kehittyvä tekniikka ja miellyttävät asumisolosuhteet ovat saaneet ihmisiä panostamaan myös kodin kesäaikaiseen jäähdyttämiseen. Aikaisemmin jäähdytykseen on pienemmissä kiinteistöissä käytetty erilaisia puhaltimia ja tuulettimia. Nykyisin on suosittua käyttää myös lämpöpumppuja. Jäähdytysenergian määrä rakennuksessa riippuu jäähdytystehosta, käyttöajasta sekä rakennuksen pinta-alasta. Nämä vaihtelevat rakennuskohteen ja käyttötottumuksien mukaan, mutta rakennuksen jäähdytysenergiat voivat muodostua esimerkiksi taulukon 3.4 mukaisesti, jolloin esimerkiksi omakotitaloasumisessa vuotuinen jäähdytystarve olisi 1,37 MWh.

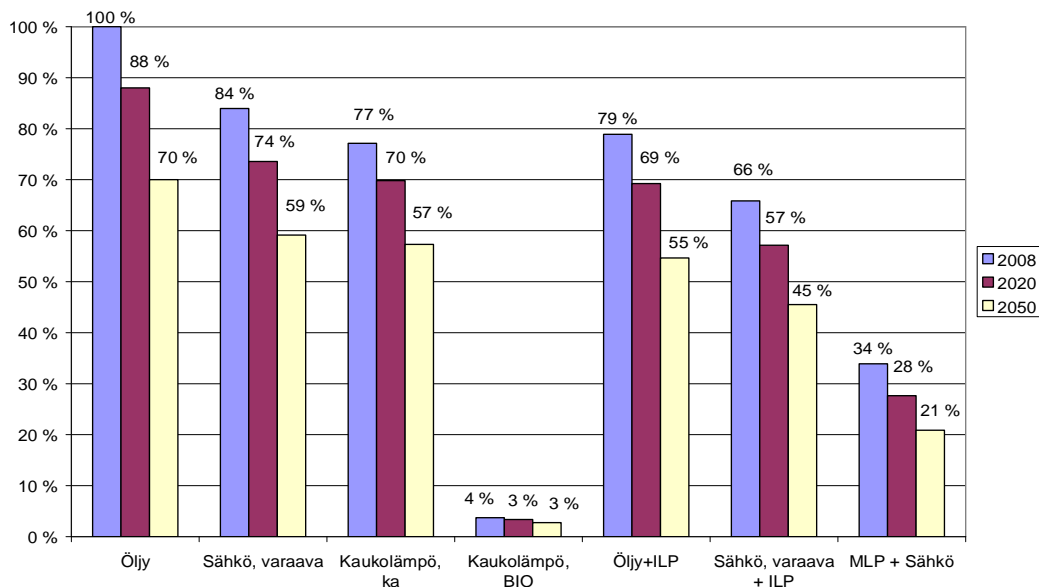
Taulukko 3.4. Jäähdytyksen tarve vaihtelee rakennustyypeittäin. Jäähdytykseen kuluvan energian voidaan ajatella muodostuvan seuraavista parametreista. (LUT-TUT 2009)

Rakennustyyppi	Keskimääräinen jäähdytysenergia [kWh/m <sup>2</sup> , a]	Jäähdytyksen käyttöaika [h/a]	Jäähdytys-teho [W/m <sup>2</sup> ]	Keskiarvo pinta-ala [m <sup>2</sup> ]	Jäähdytys /rakennus [kWh, a]
Omakotitaloasuminen	10	500	20	137	1 369
Rivitaloasuminen	10	500	20	428	4 278
Kerrostaloasuminen	10	500	20	1 584	15 841
Julkinen palvelu	15	2 100	7	687	10 093
Yksityinen palvelu	20	4 000	5	624	12 485
Teollisuus	18	3 050	6	1 119	20 477
Kesämökki	10	500	20	50	500
Maatalous	10	500	20	600	6 000

Taulukon arvoja on muuteltu hieman verrattuna alkuperäisiin arvoihin. Julkinen palvelu sisältää Tilastokeskuksen rakennustyypeistä: toimistorakennukset, liikenteen rakennukset, hoitoalan rakennukset, kokoontumisrakennukset sekä opetusrakennukset. Yksityinen palvelu koostuu liikerakennuksista ja varistorakennuksista. Julkinen ja yksityinen palvelu on laskettu keskiarvoksi edellä mainituista rakennustyypeistä. Kesämökki ja maatalous ovat arvioita, jotka pohjautuvat omakotitaloasumiseen. Rakennusten yksityiskohtainen tarkastelu on tärkeää, kun rakennukseen suunnitellaan sekä lämmitystä että jäähdytystä. Huomioitavia tekijöitä ovat kohteen koko, käyttötarkoitus ja rakennukselle asetetut vaatimukset. Näillä tiedoilla voidaan arvioida energiankulutusta ja määrätä tarvittava tehotaso. (Pesonen 2005)

### 3.3 Lämmitysmenetelmien aiheuttamat päästöt

Eri lämmitysmenetelmien aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä on havainnollistettu tyyppierialueella kuvassa 3.4. Tarkastelun kohteena on käytetty öljylämmitystä, joka on ajateltu korvattavaksi toisella lämmitysmuodolla. Öljylämmityksen päästö on 100 % vuonna 2008 ja tähän on suhteutettu vuosien 2020 ja 2050 vastaavat arvot. Muille lämmitysmenetelmille on tehty samanlaiset suhteuttamiset. Laskelmissa on huomioitu oletettu rakennusten lämmöntarpeen pienenemisestä sekä lämmitysmenetelmien hyötysuhteiden parantumisesta vuosille 2020 ja 2050. Yhteistuotannon päästöt on laskettu hyödynjakomenetelmällä sähkölle ja kaukolämmölle. (LUT-TUT 2009)



Kuva 3.4. Öljylämmitykseen suhteutetut eri lämmitysmenetelmien hiilidioksidipäästöt. (LUT-TUT 2009)

Kuva kertoo, että öljylämmityksen, varaavan sähkölämmityksen ja keskimääräisen tuotantojakauman rakenteella tuotetun kaukolämmön hiilidioksidipäästöt ovat kaikkein suurimmat. Öljylämmityksen ja varaavan sähkölämmityksen lisänä oleva ILP pienentää päästöjä selkeästi verrattuna pelkkään öljylämmitykseen ja varaavaan sähkölämmitykseen. Biopolttoaineilla tuotettu kaukolämpö on hiilidioksidipäästötöntä, mutta kuvan pienet päästöt muodostuvat energiaketjun muista lähteistä. Muista lämmitysvaihtoehdoista pienimmät päästöt saadaan siirtymällä öljystä maalämpöön.

Ilmalämpöpumppu ja sähkölämmitys yhdessä saavat päästöt myös lähes tiputettua kolmanneksella verrattuna öljyyn. Maalämpö näyttäisi olevan päästöjen kannalta paras ratkaisu, jolloin hiilidioksidipäästöt ovat noin 30 % öljylämmityksestä. Nopein ja ehkä helpoin keino päästöjen pudottamiseen on hankkia ilmalämpöpumppu.

## **4 LÄMPÖPUMPPUJEN TALOUDELLISUUS**

Lämpöpumput ovat lukumäärältään ja lämmitysteholtaan kasvava lämmitysmenetelmä. Suomessa lämpöpumppuja käytetään pääasiassa tiloihin, joissa tarvitaan lämmitystä ja halutaan tarvittaessa käyttää myös jäähdytystä. Lämpöpumppujärjestelmiä on asennettu myös kohteisiin, joissa ei aikaisemmin ole ollut tarvetta jäähdytykselle. Vanhan rakennuksen lämmitysjärjestelmän saneerauksessa voidaan lämpöpumppua pitää vartenotettavana vaihtoehtona käytettäväksi vanhan lämmitysjärjestelmän rinnalla tai kokonaan entisen lämmitysjärjestelmän tilalle. Lämmitettäessä lämpöpumpulla tarvitaan usein jokin toinen lämmitysmuoto pää- tai lisälämmitysjärjestelmäksi.

Lämpöpumpun asentamista mietittäessä tärkeimpiä huomioitavia asioita ovat taloudellisuuden selvittäminen sekä tarvitseeko vanhaa lämmitysjärjestelmää hyödyntää. Yleisesti maalämpöpumput ovat lämmitystoiminnoiltaan kattavimmat, koska niitä käytettäessä ei välttämättä tarvita erillistä käyttöveden lämmitystä tai lisälämmitysjärjestelmää. Poistoilmalämpöpumppu toimii lämmitysominaisuuksiltaan samalla tavoin, mutta lisälämmitysjärjestelmä on tarpeellinen. Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan lämmittää käyttövesi, mutta erillinen päälämmitysjärjestelmä on taas tarpeellinen. MLP, PILP ja IVLP eivät kuitenkaan aina sovi hyvin saneerauskohteisiin tai lisälämmitykseen. Tällaisissa tapauksissa IILP voisi olla hyvä valinta. Se on helppo asentaa, mutta vaatii rinnalleen päälämmitysjärjestelmän Suomen ilmastollisissa olosuhteissa. Se ei pysty myöskään lämmittämään käyttövettä, joten lämminkäyttövesi on hankittava muulla tavoin. Vertailtaessa lämpöpumppuja ja eri lämmitysmenetelmiä keskenään, tapahtuu vertailu yleensä yhden kiinteistön osalta, jolloin päästään tarkkoihin energialaskelmiin.

### **4.1 Lämpöpumppujen kustannukset**

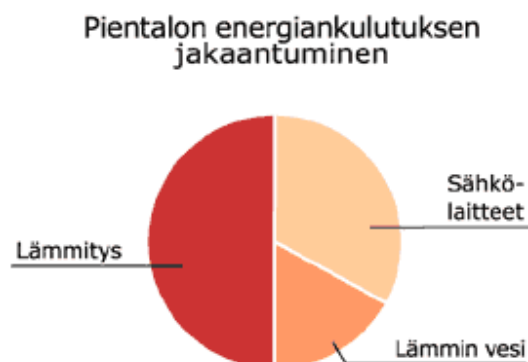
Lämmitysmenetelmien kustannukset koostuvat yleisesti investointikustannuksista ja käyttökustannuksista. Kustannusten vertailussa investointikustannukset on jaettava

usealle vuodelle ja eri energiamuodoille on arvioitava suuruusluokaltaan oikea hinta tarkasteltavalla ajanjaksolla. Lämpöpumpulla voidaan laite- ja rakennustyyppistä riippuen kattaa rakennuksen koko huipputehotarve. Tämä on investointina kallista, mutta käyttökustannuksiltaan edullista. Arvioitaessa lämpöpumpun taloudellisuutta yhdeltä vuodelta, tulisi laskennassa käyttää keskimääräistä lämpökerrointa. Koska lämpöpumput tarvitsevat toimiakseen sähköä, tulee käyttökustannuksia sähkönkulutuksesta. (Nissilä 2007)

Ilmalämpöpumpun hankintakustannukset muodostuvat asennuksesta ja itse laitteesta. Käyttöikä pidetään tavallisesti 15 a. Huoltokustannuksia voi tulla lähinnä kompressorista. Invertteri-mallinen ilma-ilmalämpöpumppu yhdellä sisäyksiköllä maksaa laitteesta ja asentajasta riippuen kaiken kaikkiaan 1 500-2 500 €. Ilma-vesilämpöpumpulle toimii samat periaatteet laitteiston käyttöajan ja huollon suhteen kuin ilma-ilmalämpöpumpulle. Hintaa tälle lämpöpumpputyypille kertyy asennuksineen kuitenkin huomattavasti enemmän. Poistoilmalämpöpumpun hankintakustannukset muodostuvat myös asennuksesta ja itse laitteesta. Käyttöikä on ilmalämpöpumppua pidempi, 20-30 a. Poistoilmalämpöpumpun kustannus vaihtelee paljon laitteesta ja asennuspaikasta riippuen, samoin kuin maalämpöpumpulla. Maalämpöpumppu maksaa lämpöpumpuista yleensä eniten. Käyttöikä pidetään tavallisesti 15-20 a.

## **4.2 Taloudellisen laskennan perusteet pientaloissa**

Lämpöpumput asennetaan yleisimmin pientaloihin, jonka vuoksi tässä tutkitaan omakotitalojen energiankulutusta ja vertaillaan uudisrakennusten lämmitysmenetelmävaihtoehtoja. Pientalon energiankäyttö jakaantuu kuvan 4.1 mukaan. Puolet energiasta kuluu lämmitykseen, viidennes veden lämmitykseen ja kolmannes sähkölaitteisiin ja valaistukseen. (Motiva 2009) Tällä perusteella pystytään arvioimaan lämmitysenergian vuosittaista tarvetta omakotitalossa.



Kuva 4.1. Pientalon energiankulutus jakaantuu tavallisesti kuvan mukaisesti. Energiankulutuksessa noin puolet kuluu lämmitykseen, viidennes veden lämmitykseen ja kolmannes sähkölaitteisiin ja valaistukseen. (Motiva 2009)

Taulukossa 4.1 on arvioituna pientalon kokonaisenergiankulutus, jonka perusteella on puolestaan määritetty rakennuksen laitesähköön, lämmitykseen, lämpimän veden tuottamiseen käytettävä energia sekä lämmitykseen ja lämpimän veden tuottoon yhteensä käytettävä energia rakennuksen pinta-alan mukaan.

Taulukko 4.1. Taulukkoon on arvioitu omakotitalon kokonaisenergiankulutus eri pinta-alojen mukaan. Lisäksi on eritelty lämmitys, lämmin vesi, laitesähkö sekä lämmitys ja lämmin vesi yhdessä.

Rakennuksen pinta-ala	[m <sup>2</sup> ]	60	90	120	150	180
Kokonaisenergia	[kWh]	13 500	19 000	23 500	27 000	30 000
Laitesähkö	[kWh]	4 050	5 700	7 050	8 100	9 000
Lämmitys	[kWh]	6 750	9 500	11 750	13 500	15 000
Lämmin vesi	[kWh]	2 700	3 800	4 700	5 400	6 000
Lämmitys + lämmin vesi	[kWh]	9 450	13 300	16 450	18 900	21 000

Taulukosta nähdään, minkälainen kokonaisenergiankulutus omakotitaloasumisessa voi erään arvion mukaan olla. Arvion perusteena on käytetty pientalon keskimääräistä pinta-alaa, joka on valtakunnallisesti 136 m<sup>2</sup> ja tämän keskimääräistä lämmitystarvetta 17 MWh. Taulukosta käytetään seuraavissa lämmityskustannusvertailussa 120 m<sup>2</sup> pinta-alaa vastaavaa lämmitysenergia-arvoa.

Vertaillaan alkuun uudiskohteen lämmitysmenetelmiä. Mukana vertailussa on suora sähkölämmitys, kaukolämpö, öljy sekä puu eli tässä tapauksessa pellettilämmitys.



Kaikissa lämmitysmenetelemissä käytetään investoinnille annuiteettimenetelmää  $AN$ , joka voidaan laskea yhtälöstä (4.1):

$$AN = \frac{(1 + \frac{p}{100})^t \cdot \frac{P}{100}}{(1 + \frac{p}{100})^t - 1}, \quad (4.1)$$

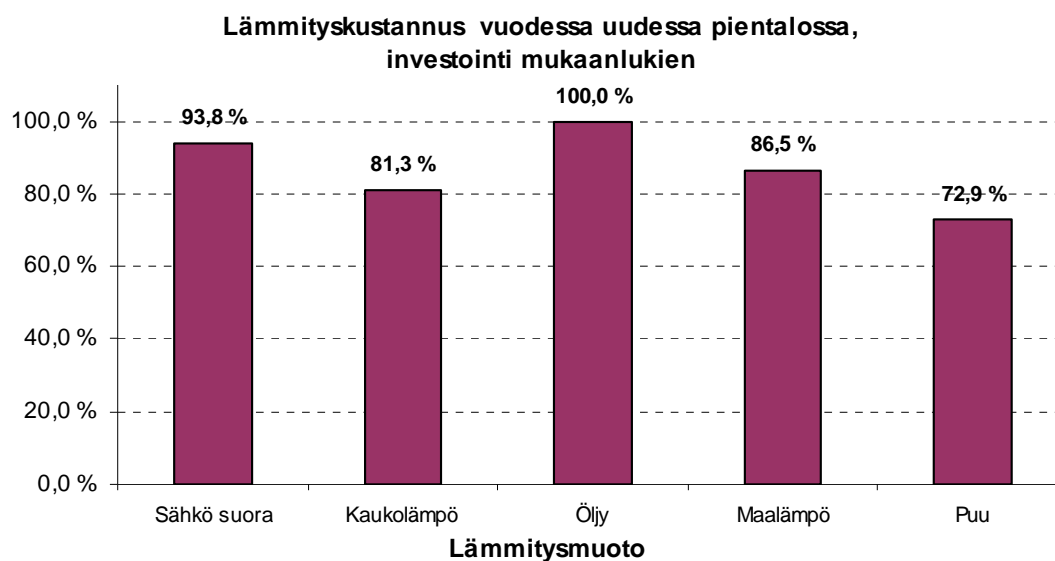
jossa  $p$  on korkoprosentti ja  $t$  pitoaika. Taloudellisessa laskennassa korolle käytetään arvoa 5 % ja pitoajalle 20 a. Laskennassa käytettävät investointi ja energiahinnat ovat taulukon 4.2 mukaiset.

Taulukko 4.2. Tarkastelussa on uuden pientalon lämmitysmenetelemt, kun lämmitysenergiantarve on 16 450 kWh. Lämmityskustannusvertailu on tehty sarakkeeseen lämmityksen hinta, investointia ei ole huomioitu. Kaukolämmön perusmaksu on 358 € a.

<b>Pientalo 120 m<sup>2</sup></b>	Investointi	Energiakustannus	Lämmityksen hinta	Hyötysuhde
Lämmitystapa	[€]	[€/kWh]	[€ a]	[%]
Suora sähkö	4 500	0,090	1 481	100
Kaukolämpö	6 360	0,044	1 084	100
Öljy	10 000	0,060	1 161	85
Puu -pelletti	11 000	0,030	548	90

Arvot perustuvat eri tutkimusten ja valmistajien tietoihin. Energiakustannuksissa ei ole huomioitu energianhinnan muutoksia. Suoran sähkölämmityksen ja kaukolämmön oletetaan olevan hyötyenergiaa sellaisenaan, jolloin niiden hyötysuhde on 100 %. Sähkölämmityksessä ei ole huomioitu investoinnissa liittymämaksua, koska sähköliittymä tarvitaan pientaloon joka tapauksessa. Sähkön energianhinnassa ei ole puolestaan huomioitu 2-aikamittausta eikä perusmaksua. Sähkön perusmaksu kuuluu maksettavaksi aina energiankulutuksen suuruudesta riippumatta, joten se voidaan jättää tässä huomioimatta. Kaukolämpö investoinnissa oletetaan, että laitteet maksavat 3 000 € ja liittymämaksuna on käytetty valtakunnallista painotettua keskiarvoa 3 360 € Kaukolämmön energiakustannuksessa on mukana pelkkä energiamaksu. Perusmaksu täytyy huomioida erikseen ja sen suuruus on 358 € a. (ET 2009) Pellettilämmityksen ajatellaan tuottavan myös lämpimän veden ja siksi sen investointi muodostuu suureksi.

Kun otetaan huomioon uudisrakennuksien lämmityskustannus ja investointi, saadaan kuva 4.2. Investoinnin sisältämä lämmityksen hinta vuodessa on laskettu taulukon 4.2 parametreja käyttäen. Tässä maalämmön investointikustannuksena on käytetty 15 000 €. Kuvasta selviää, että öljy olisi kallein lämmitysmuoto valittaessa lämmitysmenetelmää uuteen pientaloon. Muiden lämmitysmuotojen kustannukset on suhteutettu öljyyn.



Kuva 4.2. Kuvassa pientalo uudisrakennuksen lämmitysmenetelmien kustannukset on suhteutettu kalleimpaan lämmitysmuotoon eli öljylämmitykseen. Lämmitystarve laskennassa on ollut 16,5 MWh, korko 5 % ja pitoaika 20 a.

Kuvan perusteella kauko- ja puulämmitys ovat halvimmat lämmitysmenetelmät. Maalämpöä kannattaisi suosia puolestaan öljyn ja sähkön sijaan. Taulukossa 4.3 on puolestaan listattu eri lämpöpumpputyypin oleelliset arvot, kun lämpöpumppua suunnitellaan käytettäväksi vanhan lämmitysjärjestelmän tilalle.

Taulukko 4.3. Pientalon lämpöpumpuille taloudellisissa laskuissa käytetään seuraavia parametreja.

<b>Pientalo 120 m<sup>2</sup></b>	Investointi	Lämpökerroin	Pitoaika
Lämpöpumppu	[€]	[SPF]	[a]
IILP	2 000	2,0	15
IVLP	5 000	2,0	15
PILP	5 000	1,8	20
MLP	10 000	3,0	20

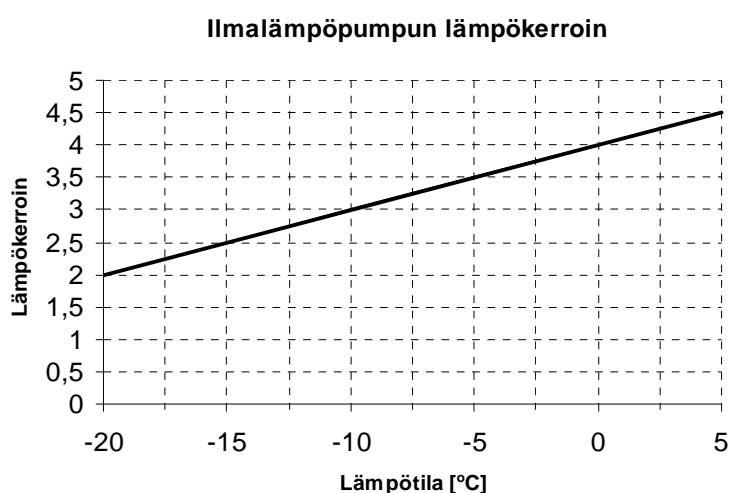
IVLP:n ja PILP:n kustannukset oletetaan tulevan pääasiassa vain itse laitteesta, ja siksi investointi on näiden osalta pieni. Lämpöpumpputyypin esittelyn yhteydessä kappaleessa 2.3 on määritelty vuotuiset keskimääräiset lämpökertoimet eri lämpöpumpputyypeille, mitkä ovat nyt perusteena taulukon lämpökertoimille. Taulukkojen 4.2 ja 4.3 arvoja käytetään seuraavissa kappaleissa, joissa etsitään taloudellisia perusteita lämpöpumppujen käytölle.

### **4.3 Lämpöpumpun taloudellisuus suorasähkölämmitteisessä rakennuksessa**

Vertailtaessa lämpöpumpun käyttöä suoraan sähkölämmitykseen, saadaan aikaan suurimmat säästöt lämmityskustannuksiin. Melko tavallisena arviona voidaan pitää 30-40 % lämmitysenergian säästöä sähkölämmitteisessä pientalossa IILP osalta. IVLP säästöt ovat 40-60 % ja poistoilmalämpöpumpulla lähelle 40 % verrattaessa suoraan sähkölämmitykseen. UILP voidaan asentaa taloon, jossa on öljy-, sähkö-, puu- tai vesikiertoinen sähkölämmitys. PILP soveltuu parhaiten asennettavaksi kiinteistöihin, joissa voidaan käyttää koneellisesti poistettavaa ilmanvaihtoilmaa. Energiankulutuksensäästö poistoilmalämpöpumpulla on ilmanvaihtokertoimesta riippumatta lähes vakio. Maalämpöpumpulla saatavat energiasäästöt ovat riippuvaisia mitoitetusta tehosta, mutta tyypillinen säästö suoraan sähkölämmitykseen verrattuna on 60 %. MLP voidaan asentaa vanhaan rakennukseen etenkin, jos rakennuksessa on ennestään ollut vesikiertoinen lämmönjakojärjestelmä. Osateholle mitoitettu maalämpöpumppu on energiankulutukseltaan lähes yhtä edullinen kuin täydelle teholla mitoitettu lämpöpumppu. (Motiva 2009)

Tulevien sähkönkulutuksen ja sähkölaskun säästöjen arvioimiseksi täytyy määrittää lämpökerroin. Ulkoilmalämpöpumpulla ulkoilman lämpötila vaikuttaa merkittävästi lämpökertoimeen. Kuvassa 4.3 on tehty ulkoilmalämpöpumpun lämpökertoimelle linearisoitu malli, jossa COP muuttuu ulkolämpötilan funktiona. Mallissa -20 °C lämpötilassa lämpökerroin on kaksi ja +5 °C lämpötilassa 4,5. Mallin perusteena on ollut TM Rakennusmaailman ilmalämpöpumpputesti parhaimpien lämpöpumppujen osalta.

(Rakennusmaailma 2009) Liitteessä 1 ja 2 on vertailun vuoksi esitettyä erään valmistajan ilma-ilmalämpöpumpulle ilmoittama lämpökerroin ja lämpöteho ulkoilmanlämpötilan mukaan. Kuvan 4.3 lineaarimalli vastaa hyvin todellisia ulkoilmalämpöpumpuja. Kehittynyt tekniikka on mahdollistanut lämpökertoimien merkittävän parantumisen viimeisten vuosien aikana. Eri lämpötiloissa myös rakennuksen lämmitysenergian tarve vaihtelee. Siten ei ole kovin perusteltua käyttää Suomen keskimääräisen ulkolämpötilan (hieman yli 0 °C) määräämää lämpökerrointa, vaan tätä matalampien lämpötilojen määräämiä lämpökertoimia.



Kuva 4.3. Kuvassa on UILP:n lineaarinen lämpökertoimen kuvaaja ulkolämpötilojen funktiona.

Kuvan 4.3 pohjalta on tehty puolestaan taulukko 4.4, josta selviää ulkolämpötilan vaikutus käytettävään sähkөөn ja sähköenergian säästöön. Esimerkiksi ulkolämpötilassa -10 °C lämpökerroin on 3, jolloin sähköenergiankulutus pienenesi lämmityksessä 67 % verrattuna sähkölämmitykseen.

Taulukko 4.4. Ulkolämpötilan vaikutus lämpökertoimeen ja lämpökertoimen vaikutus puolestaan sähköenergiaan voidaan lukea taulukosta.

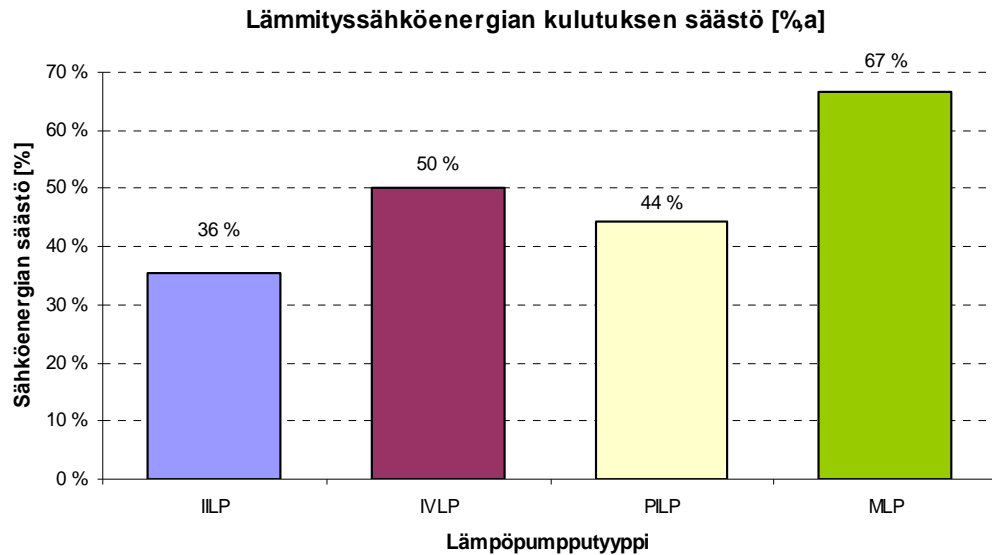
Lämpötila [°C]	-20	-15	-10	-5	0	5
Lämpöpumpun lämpökerroin	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Sähköenergiaa lämpökertoimesta [%]	50 %	40 %	33 %	29 %	25 %	22 %
Sähkön säästökerroin [%]	50 %	60 %	67 %	71 %	75 %	78 %

Muistetaan kuitenkin, että yhden ilmalämpöpumpun sisäyksikön lämmityskapasiteetti riittää n. 100 m<sup>2</sup> pinta-alalle. Tavallisesti voidaan käyttää myös esimerkkiarvoina 1 kW, joka riittää 30 m<sup>2</sup> lämmitykseen ja 15 m<sup>2</sup> tehokkaaseen jäähdytykseen.

Poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin pysyy lähes samana vuoden ajasta riippumatta. Syynä tähän on, ettei poistoilmalämpöpumppu ole riippuvainen ulkoilmasta vaan on enemmän sidoksissa sisäilmaan. Lämpökerroin ei siten nouse niin merkittävään rooliin, kuin esimerkiksi ulkoilmalämpöpumpuilla. Ilmaislämmön määrä pysyy melko samana jatkuvasti, eikä suurempi lämpökerroin välttämättä nosta ilmaisenergian määrää. Paremmalla lämpöpumpulla voidaan hyödyntää suurempi määrä lämpöä talteen, eli poistoilman lämpötilaa voidaan laskea alemmaksi. (Nissilä 2007) Ilmanvaihtokertoimen oletetaan olevan seuraavissa laskelmissa vakio sekä optimaalinen, että saadaan paras mahdollinen säästökerroin sähköenergialle.

Maalämpöpumpun lämmöntuotto ja sähkönkulutus riippuvat toimintaolosuhteista. Tämä tarkoittaa rakennuksen lämmitystarvetta ja lämpötiloja lämmönkeruupiirissä sekä lämmönluovutuspiirissä. Oletetaan yleisesti, että lämpöpumpun teho riittää tuottamaan tarvittavan lämmitystehon. Jos lisälämmitystä tarvitaan, tuotetaan se useimmiten sähkövastuksilla. (Nissilä 2007) Tiedettäessä lämpöpumpun lämpökerroin, voidaan laskea lämpöpumpun käyttämä sähkö sekä mahdollisesti lisälämmitystä tuottavien sähkövastuksien tarvitsema sähkö. Maalämpöpumpun lämpökertoimen tarkka laskeminen on haastavaa. Maalämpöpumpun lämmöntuotto riippuu maaperän lämpötilasta, joka pysyy porakaivoissa vuodenajasta riippumatta melko vakiona. (Nissilä 2007) Tämän työn laskelmissa tyydytään käyttämään arviota vuoden keskimääräisestä lämpökertoimesta eli SPF-kertoimesta. Tällä oletuksella ei varmastikaan tehdä laskentaan kovin suurta virhettä. Lämpökerroin vaihtelee laitteesta ja asennuksesta riippuen. Oletetaan, että maalämpöpumppu on jatkuvasti lämmöntuotannossa sekä käyttövedentuotannossa. Häviöt oletetaan lisäksi niin pieniksi, ettei niitä tarvitse huomioida.

Käytetään nyt taulukon 4.3 SPF-kertoimia. Kuva 4.4 kertoo lämpöpumppujen aiheuttaman lämmityssähkön energiankulutuksen säästön prosentteina, kun lämpöpumput on asennettu suorasähkölämmitteiseen pientaloon.



Kuva 4.4 Lämmityssähköenergian kulutuksen säästö [%, a] käytettäessä lämpöpumppua lämmitykseen suorasähkölämmitteisessä pientalossa.

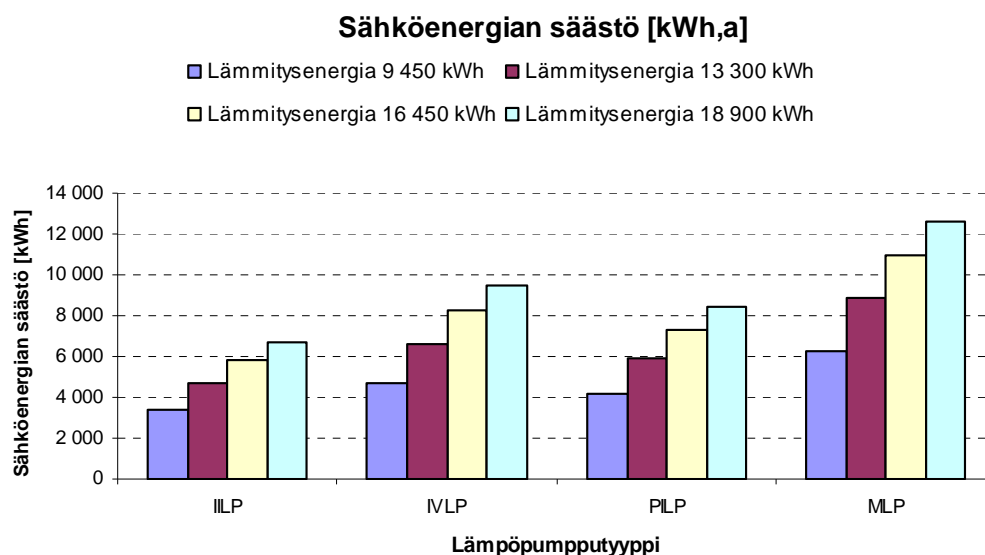
Prosentit kertovat säästön lämmitysenergiankulutuksesta, eivät kokonaissähkönkulutuksesta. Tarkastelu on tehty yhdelle vuodelle ilman investoinnin huomiointia. Eri lämpöpumppujen säästöiksi voi kuvan 4.5 perusteella todeta IILP noin 35 %, ILVP 50 %, PILP 45 % ja MLP 65 %, mitkä ovat myös hyvin lähellä Motivan ilmoittamia lämmitysenergiesäästöjä kyseisille lämpöpumpputyypeille.

Taulukkoa 4.1 ja lämpökertoimia hyödyntämällä saadaan selville lämpöpumpputyypien käytöstä kertyvä sähköenergian vuotuinen säästö verrattuna sähkölämmitykseen. Tulokset on esitetty taulukossa 4.5. Lämmitysenergia sisältää tilojen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden. Poikkeuksena on IILP, jonka kohdalla lämmintä käyttövettä ei ole sisällytetty lämmitysenergiaan.

Taulukko 4.5. Lämpöpumpuista koituvat sähköenergian vuotuiset säästöt verrattuna suoraan sähkölämmitykseen, pinta-alan ja lämmitysenergian mukaan.

Lämpöpumpputyyppi:		Sähköenergian säästö [kWh]:			
Pinta-ala	Lämmitysenergia	IILP	IVLP	PILP	MLP
[m <sup>2</sup> ]	[kWh]	[SPF = 2,0]	[SPF = 2,0]	[SPF = 1,8]	[SPF = 3,0]
60	9 450	3 355	4 725	4 200	6 300
90	13 300	4 722	6 650	5 911	8 867
120	16 450	5 840	8 225	7 311	10 967
150	18 900	6 710	9 450	8 400	12 600

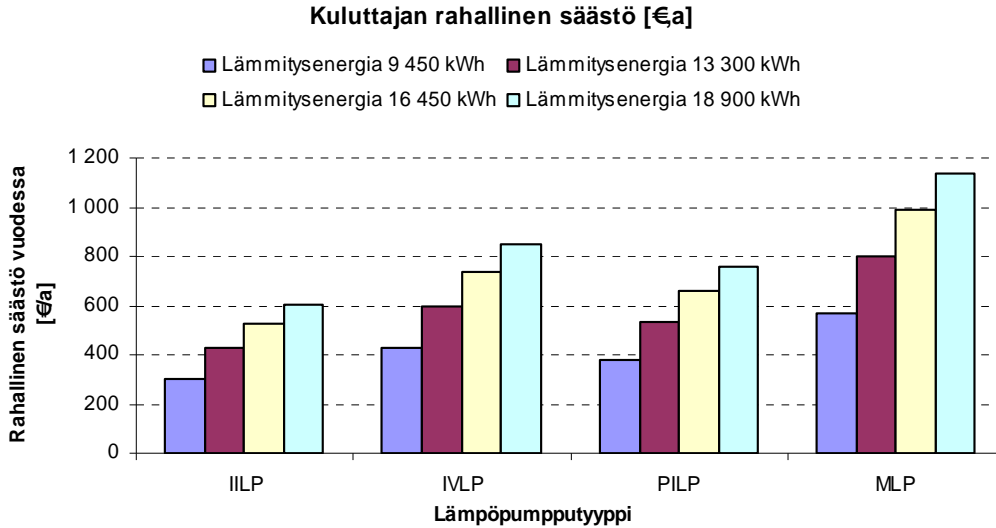
Taulukkoa havainnollistaa kuva 4.5. Sen mukaan eniten sähkönkulutuksen säästöjä saadaan aikaan maalämpöpumpulla. IILP:n pienen sähköenergiaosuuden säästön syynä on lämpimän veden tuottokyvyn puuttuminen.



Kuva 4.5. Kuvassa on esitetty sähköenergian säästö vuodessa suorasähkölämmitteisessä pientalossa. Tässä ei ole huomioitu lämpöpumppujen investointeja.

Sähköenergian kulutuksen vähenemisen seurauksena pienenee myös sähkölasku. Nyt voidaan selvittää, paljonko lämpöpumpuilla saavutetaan rahallista hyötyä vuositasona. Energiamarkkinaviraston ilmoittama pienkuluttajan vuoden 2008 sähkön kokonaishinnan keskiarvo oli 12,45 snt/kWh. Tämä hinta sisältää sähkön oston ja siirron energia- sekä perusmaksun. Perusmaksuun ei voida vaikuttaa sähköenergian muutoksilla, joten siksi täytyy käyttää vain energiaosan hintaa, jonka on arvioitu olevan 9,0 snt/kWh. Kuva 4.6

havainnollistaa kuluttajan rahallista säästöä, kun lämpöpumput pienentävät lämmitykseen käytettävää sähköenergian määrää. Suurimmat säästöt saadaan kun rakennuksen pinta-ala ja lämpökerroin saadaan mahdollisimman suureksi.



Kuva 4.6. Kuluttajalle kertyy lämpöpumppujen käytöstä rahallista säästöä [€/a] kuvan mukaisesti, kun lämpöpumppulämmitystä verrataan suoraan sähkölämmitykseen.

Vastaavasti voidaan vertailla sähkölämmityksen ja lämpöpumppujen lämmityshintoja. Taulukon 4.6 lämmityshinnat ovat pelkästään energiakustannuksista ja yhdeltä vuodelta. Maalämmön oletetaan korvaavan sähkölämmityksen kokonaan ja muiden lämpöpumppujen oletetaan olevan lisälämmitysmenetelmiä. Muut lämpöpumput pystyvät tuottamaan tässä tarkastelussa 80 % tarvittavasta kokonaislämmöntarpeesta, ja loppu lämpöenergia tuotetaan sähköllä. IILP:lla ei pystytä myöskään lämmittämään käyttövetä.

Taulukko 4.6. Sähkölämmityksen ja lämpöpumppujen lämmityshinnat eri lämmitysenergiatarpeilla.

Lämpöpumpputyppi		Lämmityksen hinta [€/a]				
Pinta-ala [m <sup>2</sup> ]	Lämmitysenergia [kWh]	Sähkölämmitys	IILP [SPF = 2,0]	IVLP [SPF = 2,0]	PILP [SPF = 1,8]	MLP [SPF = 3,0]
60	9 450	851	609	510	548	284
90	13 300	1 197	857	718	771	399
120	16 450	1 481	1 060	888	954	494
150	18 900	1 701	1 218	1 021	1 096	567

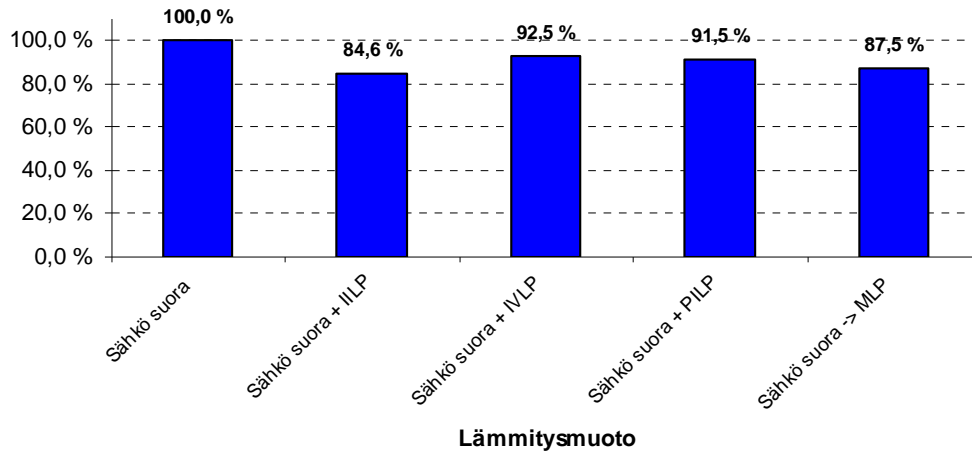


Seuraavien kappaleiden lämmityskustannustarkasteluille käytetään vastaavia laskennallisia periaatteita. Lämmityksestä saatavat säästöt eivät välttämättä kuitenkaan mene jäädytykseen. Tätä voidaan perustella seuraavasti. Potentiaalisia jäädytyskuukausia on kolme ja ne ovat kesä-, heinä- ja elokuu. Näiden kuukausien aikana ei ole vuorokautisten lämpötilojen puolesta jatkuvaa jäädytystarvetta. Tilaa ei kannata myöskään käyttää jäädytykseen vuorokauden ympäri eikä silloin kun talo on tyhjillään. Jäädytyskäytössä kannattaa laitetta käyttää tasaisella teholla, eikä hetkittäin täydellä jäädytysteholla. Näillä ja kokemusten antamilla perusteilla jäädytykseen kuluu järkevästi käytettynä 150 m<sup>2</sup> talossa vuodessa noin 200-500 kWh sähköä. Tällöin kuumimpina kesinäkin 150 m<sup>2</sup> talon jäädytykseen ei normaalisti kulu juuri yli 50 € (IVT 2009)

Huomioitaessa laitesähkö energiankulutukseen mukaan, voidaan suorasähkölämmitteisessä talossa ajatella sähkölaskun pienentämisen mahdollisuutena lämpöpumpputyypistä ja rakennuksen lämmitystarpeesta riippuen 25-45 %. Esimerkiksi jos 100-150 m<sup>2</sup> suorasähkölämmitteisessä talossa sähkölasku on 1200-1800 €, pystytään ilmalämpöpumpulla 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) Muilla lämpöpumpuilla takaisinmaksuaika on pidempi, koska niiden investointi on huomattavasti suurempi. Esimerkiksi maalämpöpumpun asentaminen omakotitaloihin on yleensä kallista, ja siksi takaisinmaksuajaksi voi muodostua koko lämpöpumpun käyttöikä. Matalaenergiapientaloissa ei välttämättä saada investointia kuoletettua laisinkaan, koska tarvittavan lämmitysenergian tarve on suhteellisen pieni ja siten lämmityskustannuksiin on vaikeampaa saada aikaan säästöjä.

Jos huomioidaan lämpöpumppuinvestointi, muuttuu vertailtava tilanne hieman toisenlaiseksi. Kuvasta 4.7 nähdään, että näillä laskentaparametreilla lämpöpumpun asentaminen suorasähkölämmitteiseen taloon kannattaa aina. Hintojen vertailu on tehty suoran sähkölämmityksen vuotuisen lämmityshintaan. Saavutettava säästö olisi vielä suurempi, jos investointilaskelmassa ei huomioitaisi korkoa.

**Suhteutetut kustannukset siirryttäessä sähkölämmitteisessä pientalossa lämpöpumppeihin, investointi mukaan lukien [%a]**



Kuva 4.7. Kuvassa on huomioitu investoinnin vaikutus lämmityskustannuksiin. Sähkölämmitys on siis kalliimpaa kuin lämpöpumpuilla lämmittäminen. Laskennassa lämmitysenergian tarve on 16,5 MWh, korko 5 % ja pitoaika 20 a.

Laskelman mukaan sähkölämmitysjärjestelmän vaihtaminen lämpöpumppuun tai lämpöpumpun lisääminen sähkölämmityksen rinnalle ovat siis aina kannattavia lämmitysvaihtoehtoja.

Lisänäkökulmaa lämpöpumppujen ja sähkölämmityksen suhteesta antaa taulukko 4.7. Tässä taulukossa on Olli Nissilän diplomityössä saadut tutkimusarvot pientalon (150 m<sup>2</sup>) eri tehoille mitoitettujen maalämpöpumppujen vaikutuksesta sähköenergian säästöön. (Nissilä 2007)

Taulukko4.7. Olli Nissilä on analysoinut tehon perusteella lämpöpumppujen vaikutusta pientalon lämmityssähkönkulutukseen. (Nissilä 2007)

Lämmitys- menetelmä	Huipputehon tarve	Lämmityssähkön- kulutus yhteensä	Lisälämmityksen osuus lämmityksen sähkönkulutuksesta	Energia säästö vs. suora sähkölämmitys
[kW]	[kW]	[kWh/a]	[%]	[%]
Sähkö	8,7	23 981	100	0
MLP 1 kW	8	17 724	85,9	26,1
MLP 2 kW	7,2	13 576	69,3	43,4
MLP 3 kW	6,5	10 566	49,2	55,9
MLP 5 kW	5,1	7 774	16,6	67,6
MLP 7 kW	3,8	6 970	2,4	70,9
MLP 9 kW	2,5	6 852	0	71,4

Lämpökertoimenä on käytetty 3,5. Maalämpöpumpulla lämmityssähköenergian säästökseen saadaan tavallisesti noin 67 %. Verrattaessa tätä taulukon 4.7 arvoihin, voidaan lukea vaadittavan 5 kW tehoisen maalämpöpumpun, jotta saavutettaisiin 67,6 % energiasäästöt 150 m<sup>2</sup> suorasähkölämmitteisessä omakotitalossa.

#### 4.4 Lämpöpumpun taloudellisuus kaukolämpörakennuksessa

Kaukolämmitys rakennukseen on vaikea etsiä käyttöperusteita lämpöpumpuille jo pelkästään siitä syystä, että kaukolämpö on tehokas alueellinen tapa tuottaa lämpöä runsaslukuiselle rakennusten keskittymälle. Taulukkoon 4.8 on koottu lämpöpumppujen ja kaukolämmityksen hintoja. Laskennassa on käytetty samoja arvoja ja periaatteita kuin sähkölämmitykseen edellisessä kappaleessa taulukon 4.6 ja kuvan 4.7 yhteydessä.

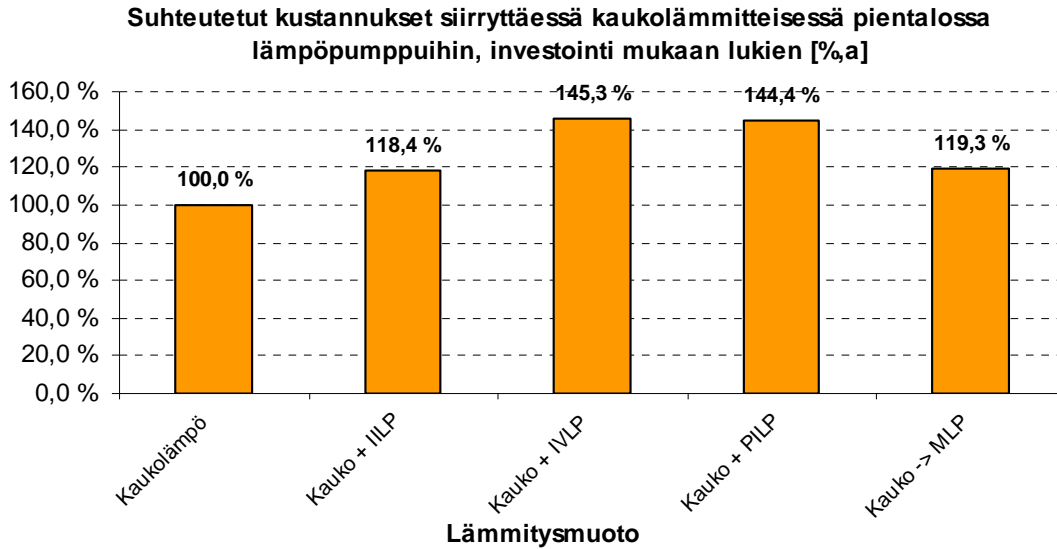
Taulukko 4.8. Kaukolämmityksen ja lämpöpumppujen lämmityshinnat eri lämmitysenergiatarpeilla.

Kaukolämmön energianhinta on 0,044 €/kWh ja perusmaksu 358 € a. Sähkön hintana on käytetty 0,09 €/kWh.

Lämpöpumpputyypit		Lämmityksen hinta [€ a]				
Pinta-ala	Lämmitysenergia	Kauko- lämmitys	IILP	IVLP	PILP	MLP
[m <sup>2</sup> ]	[kWh]		[SPF = 2,0]	[SPF = 2,0]	[SPF = 1,8]	[SPF = 3,0]
60	9 450	776	780	782	823	284
90	13 300	946	952	954	1 012	399
120	16 450	1 086	1 093	1 096	1 167	494
150	18 900	1 194	1 202	1 206	1 287	567

Tarkastelussa tutkitaan lämpöpumppujen sijoittamista kaukolämpöpientaloon lisälämmitykseksi ja maalämmön osalta korvaavaksi lämmitysmenetelmäksi. Pelkkien energiakustannusten perusteella vaikuttaisi siltä, että vain maalämpöpumpulla saataisiin rahallista säästöä. Jos IILP:lle käytettäisiin SPF-kertoimenä kolmea, muuttuisi sen käyttö kannattavaksi. Tutkitaan asiaa vielä kuvasta 4.8, jossa laskennassa on huomioitu myös investointi. Lämmitysenergiana on käytetty taulukon 4.8 pientalon 120 m<sup>2</sup> tarvitsemaa 16 450 kWh energiamäärää. Lämpöpumppujen lämmityksen vuotuinen kustannus ja investoinnin poisto on suhteutettu kaukolämmityksen vuotuisen kustannukseen. Lämpöpumppujen kokonaiskustannukset on suhteutettu kaukolämmön vuotuisen

lämmitysenergian hintaan. Voidaan havaita, että kaukolämmitysrakennukseen ei kannatta asentaa tämän laskelman perusteella lämpöpumppuja. IILP on käytännöllisesti katsoen ainoa, jonka laittamista voisi edes harkita kaukolämpörakennukseen.



Kuva 4.8. Lämmityskustannukset jakautuvat eri lämpöpumpputyypeillä kaukolämmityksen osalta kuvan mukaisesti. Pientalon lämmitysenergiatarpeena on käytetty 16,5 MWh, korkona 5 % ja pitoaikana 20 a.

Jos IILP investointilaskennassa ei huomioitaisi korkoa, olisi sen käyttö lämmityksessä samanhintaista kuin pelkän kaukolämmityksen. Jäähdytysominaisuus tosin parantaa asumismukavuutta kaukolämpörakennuksessa. Erikokoisessa rakennuksessa kuvan tilanne muuttuisi toisenlaiseksi. Kaukolämpö on jo sellaisenaan tehokas tapa tuottaa lämpöä, joten miltään kannalta ei tahdo olla järkevää perustetta käyttää IVLP, PILP tai MLP kaukolämpörakennuksissa.

#### 4.5 Lämpöpumpun taloudellisuus öljylämmitteisessä rakennuksessa

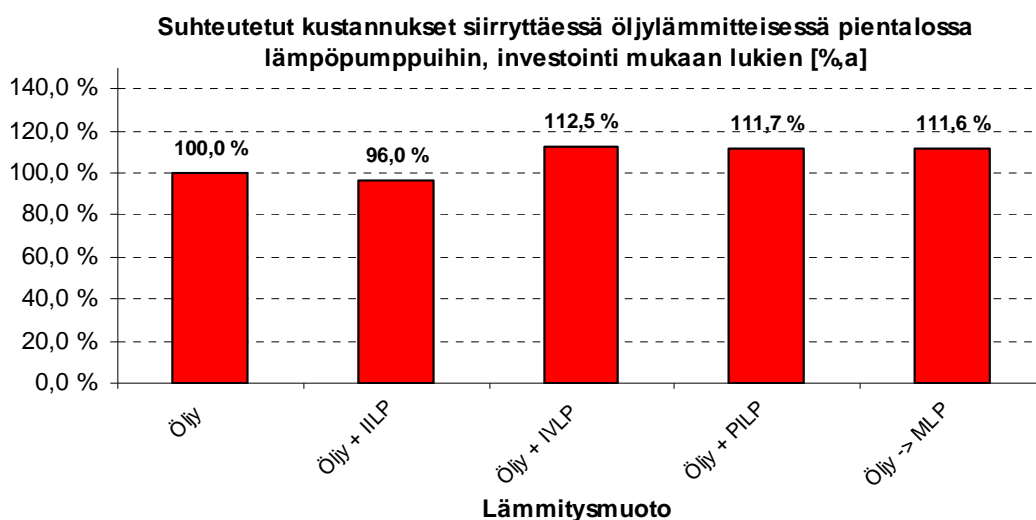
Lämpöpumppuja on asennettu viime aikoina myös korvaamaan öljylämmitystä pientaloissa. Taulukkoon 4.9 on koottu edellisen taulukon tapaan lämpöpumppujen ja öljylämmityksen lämmityshinnat yhdeltä vuodelta. Investoinnit eivät ole tässä

tarkastelussa mukana. Öljylämmitykseen verrattuna maalämmöstä saataisiin suurimmat edut ilman investoinnin huomioonottamista. Öljyn hintana on käytetty 0,06 €/kWh.

Taulukko 4.9. Öljylämmityksen ja lämpöpumppujen lämmityshinnat eri lämmitysenergiatarpeilla.

Lämpöpumpputyyppi		Lämmityksen hinta [€ a]				
Pinta-ala	Lämmitysenergia	Öljy-lämmitys	IILP [SPF = 2,0]	IVLP [SPF = 2,0]	PILP [SPF = 1,8]	MLP [SPF = 3,0]
[m <sup>2</sup> ]	[kWh]					
60	9 450	667	530	474	514	284
90	13 300	939	746	667	724	399
120	16 450	1 161	922	824	895	494
150	18 900	1 334	1 059	947	1 029	567

Näyttäisi pelkkien energiakustannusten perusteella siltä, että lämpöpumpuista saataisiin rahallista säästöä öljylämmitykseen verrattuna, mikäli niitä asennettaisiin öljylämmityksen rinnalle tai MLP tapauksessa öljylämmityksen tilalle. Kuvassa 4.9 on huomioitu myös investointi. Öljylämmitysrakennukseen lämpöpumput näyttäisivät soveltuvan heikommin kuin sähkölämmitteiseen rakennukseen, mutta paremmin kuin kaukolämmitteiseen taloudellisen tarkastelun kannalta. Öljylämmitysrakennuksessa näyttäisi saatavan säästöä kustannusten osalta vain IILP:lla. Investoinnin suuruus tuo laskentaan merkittävän lisäosan, joka selittää kuvan tuloksia.



Kuva 4.9. Lämmityskustannukset eri lämpöpumpputyypeillä suhteutettuna öljylämmitykseen. Pientalon lämmitysenergiatarpeena on käytetty 16,5 MWh, korkona 5 % ja pitoaikana 20 a.

Suoraa rahallista säästöä lämpöpumpuilla ei siis voida saada lämmityskustannuksiin kuin IILP:lla. Pitkällä aikavälillä olisi kuitenkin järkevää siirtyä käyttämään lämpöpumppuja. Saneeraustarpeen tullen öljylämmitys rakennus on kannattavaa siirtää lämmittämään lämpöpumpuilla, sillä silloin valitaan tavallaan lämmitysjärjestelmää kuin uuteen pientaloon kustannusvertailun näkökulmasta. Uusissa pientaloissa maalämpö on kannattavampi lämmitysratkaisu kuin öljy (kuva 4.2). Siirryttäessä maalämpöön, olisi hyvä ratkaisu korvata öljylämmitys täydelle teholle mitoitetulla maalämmöllä, jolloin ei tarvittaisi muita lämmitysmenetelmiä.

#### 4.6 Lämpöpumpun taloudellisuus puulämmitteisessä rakennuksessa

Puulämmitys tarkoittaa tässä tarkastelussa pellettilämmitystä, joka on erittäin halpaa ja sen oletetaan toimivan hyvällä 90 % hyötysuhteella. Taulukkoon 4.10 on koottu lämpöpumppujen ja puulämmityksen hintoja ilman investoinnin huomioimista yhdeltä vuodelta. Puulämmitys rakennukseen lämpöpumput soveltuvat kustannustarkastelujen perusteella heikoimmin. Vaikuttaa siltä, että lämpöpumpuista ei saada rahallista säästöä edes lämmityskustannuksiin.

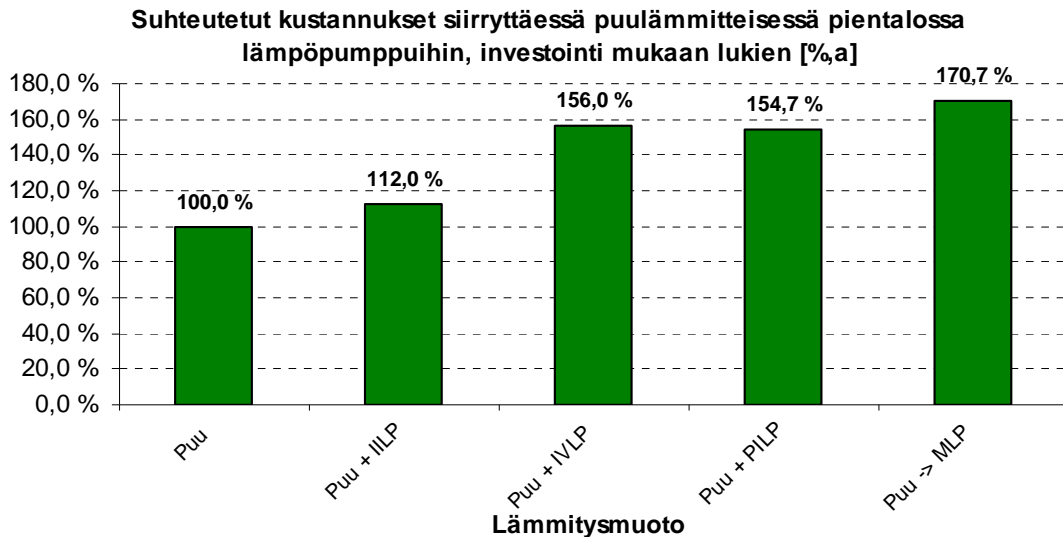
Taulukko 4.10. Puulämmityksen ja lämpöpumppujen lämmityshinnat eri lämmitysenergiatarpeilla.

Puulämmitykselle on käytetty hintaa 0,03 €/kWh ja sähkölämmitykselle 0,09 €/kWh.

Lämpöpumpputyyppi		Lämmityksen hinta [€ a]				
Pinta-ala	Lämmitysenergia	Puu- lämmitys	IILP	IVLP	PILP	MLP
[m <sup>2</sup> ]	[kWh]		[SPF = 2,0]	[SPF = 2,0]	[SPF = 1,8]	[SPF = 3,0]
60	9 450	315	378	403	444	284
90	13 300	443	531	567	625	399
120	16 450	548	657	702	773	494
150	18 900	630	755	806	888	567

Vain energiakustannusten perusteella huomioituna maalämpö olisi ainoa, josta saataisiin säästöä lämmityskustannuksiin. Laskenta pohjautuu samoihin periaatteisiin kuin edelläkin. Kuvassa 4.10 on huomioitu myös investointi. Näillä laskentaperusteilla havaitaan, että puulämmitys rakennukseen ei kannattaisi lämpöpumppuja asentaa. IILP on jälleen ainoa potentiaalinen ratkaisu, sillä siitä saadaan muita etuja, koska se myös

jähdyttää ja kierrättää lämmintä sisäilmaa. Jos käytössä on perinteinen varaava takka, on IILP erityisesti silloin käyttökelpoinen ratkaisu. Muissa lämpöpumpputyypeissä investoinnin suuruus on niin suuri, että se ei pysty kilpailemaan puulämmityksen hinnan kanssa.

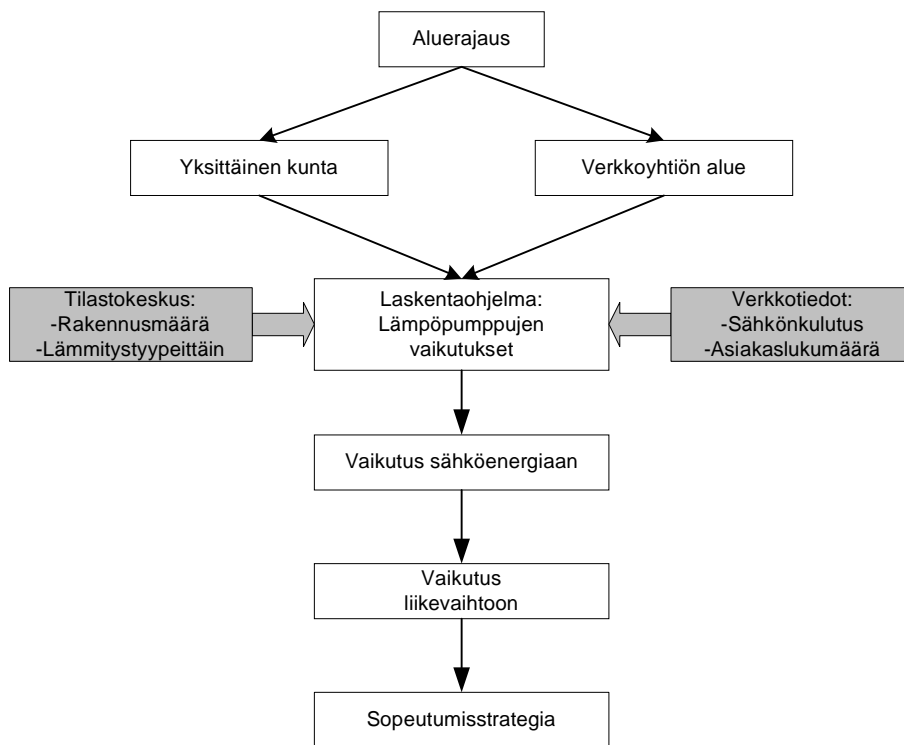


Kuva 4.10. Lämmityskustannukset eri lämpöpumpputyypeillä suhteutettuna puu- eli pellettilämmitykseen. Pientalon lämmitysenergian tarpeena on käytetty 16,5 MWh, korkona 5 % ja pitoaikana 20 a.

Tämä tarkastelu osoittaa, että puulämmitteistä rakennusta ei kannata lähteä muuttamaan lämpöpumppulämmitteiseksi lämmityskustannusten perusteella. Uudisrakennuksien ja lämmityssaneerauksien suhteen puulämmitys tulisi myös edullisemmaksi vaihtoehdoksi. Puulämmityksestä tulee tosin vaivaa ja se ei ole aina välttämättä toteuttamiskelpoinen ratkaisu, joten näistä näkökulmista katsoen lämpöpumppu voisi olla mahdollinen lämmitysmuoto.

## 5 LASKENTAOHJELMAN ESITTELY

Lämpöpumppujen ja muiden lämmitysmenetelmien lämmitysenergiankulutuksen vertailuun sekä taloudellisten muutosten arviointeihin tarvitaan laajassa aineistossa laskelmia, joiden tutkimiseen on lähes välttämätöntä hyödyntää laskentaohjelmaa. Tämän tutkimuksen tulosten perusteena on laskentaohjelma, jonka tehtävä on määrittää lämpöpumppujen aiheuttaman muutoksen suuruus verkkoyhtiön sähköenergiankulutukseen ja liikevaihtoon tulevaisuudessa. Kuvassa 5.1 havainnollistetaan, mihin laskentatyökalussa pyritään.



Kuva 5.1. Kuvan kaavio kertoo, että laskentaohjelmalla pyritään arvioimaan lämpöpumppujen vaikutukset sähköenergiaan ja liikevaihtoon. Nämä puolestaan ohjaavat sopeutumisstrategiaa.

Laskennassa täytyy huomioida runsaanlaisesti eri parametreja. Esimerkiksi rakennustyytit ja lämmitysenergiantarve voivat vaihdella alueittain voimakkaasti, jolloin muodostuu erilaisia variaatioita rakennus- sekä lämmitysenergiaparametreihin.



Täsmällisillä arvoilla ja oikeanlaisilla arvioilla laskentaohjelmassa päästään hyvään laskentatarkkuuteen. Tutkittaessa lämpöpumppujen vaikutusta tietyllä alueella ei pelkästään riitä, että tietää yhden rakennustyyppin ja yhden rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen. Tutkittavat alueet ovat yleensä joko yksittäisiä kuntia tai useampien kuntien muodostamia alueita eli toisin sanoen verkkoyhtiön jakelualueita. Tällaiseen tarkasteluun tarvitaan tietoa alueen rakennuksista ja energiankulutuksesta.

Laskennasta saadaan tulokset rakennustyyppikohtaisesti sekä kokonaisvaikutusten osalta. Käyttäjällä on vastuu laskennan lopputuloksista ja antamiensa laskentaparametrien oikeellisuudesta. Käyttäjä määrittelee laskentaohjelmassa parametrit ja laskenta antaa niistä laskentamethodiikan mukaiset tulokset. Laskentaohjelman toiminta on Microsoft Excel -pohjainen. Tämä luku esittelee laskentaan vaadittavia lähtötietoja ja laskentamethodiikkaa.

### **5.1 Tilastokeskuspohjainen laskenta**

Tämän laskentamallin periaatteena oli saada tuloksia lämpöpumppujen vaikutuksista nopeasti ja vaivattomasti miltä tahansa alueelta Suomessa. Laskennan toiminta-ajatuksena oli, että julkisista lämmitys- ja rakennustiedoista olisi saanut rakennettua ohjelman, joka ei tarvitsisi tarkkoja sähkönkulutustietoja. Laskenta ei kuitenkaan osoittautunut toimivaksi, sillä keskimääräisesti arvioidut lämmityksen- ja sähkönenergiankulutuksen arvot eivät olleet tarpeeksi tarkkoja eri alueilla. Kompastuskiveksi muodostui asiakastyypin keskimääräisten sähkönkulutustietojen puuttuminen, joka olisi ollut erittäin tärkeää laskennan kannalta. Laskentatuloksista ei voinut saada oikeastaan mitenkään perusteltuja, koska lämpöpumput ovat oleellisesti sidoksissa lämmitys- ja sähköenergiämääriin.

Ohjelma pohjautui Tilastokeskuksen tilastoihin, josta saatiin tieto rakennuslukumääristä ja lämmitystyypeistä. Nämä tiedot rakennuskannasta ovat suhteellisen oikeanlaisia ja tarkkoja kunnittain. Rakennus- ja lämmitystyyppikohtaisille lukumäärille ei tässä

ohjelmatyypissä olisi saanut luotettavampaa varmuutta, jolloin olisi täytynyt vain tukeutua Tilastokeskukselta saatuihin lukumääriin. Tämä osoittautui siis epäpäteväksi menetelmäksi. Tilastokeskus pohjaisessa laskentaohjelmassa yritettiin tutkia eräiden verkkoyhtiöiden alueita, jotka käsittävät pääpiirteissään muutaman maaseudun kunnan. Laskentaohjelmassa käyttäjäryhmät jaoteltiin Tilastokeskuksen rakennustyyppi jaottelun mukaisesti lisäämällä näihin ryhmiin kesämökit ja maatalous. Jaottelu oli seuraavanlainen:

- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| 1. Erilliset pientalot    | 8. Kokoontumisrakennukset |
| 2. Rivi- ja ketjutalot    | 9. Opetusrakennukset      |
| 3. Asuinkerrostalot       | 10. Teollisuusrakennukset |
| 4. Liikerakennukset       | 11. Varastorakennukset    |
| 5. Toimistorakennukset    | 12. Kesämökit             |
| 6. Liikenteen rakennukset | 13. Maatalous             |
| 7. Hoitoalan rakennukset  |                           |

Lopulta saatiin tulokseksi, että toimivaan laskentaohjelmaan tarvitaan Tilastokeskuksen rakennus- ja lämmitystyyppitietoja sekä tutkittavan alueen verkkotietoja. Siten tämän laskentaohjelman kehittäminen ja käyttö päätettiin haudata.

## 5.2 Verkkotietopohjainen laskenta

Toinen laskentaohjelma on toimiva, sähköverkkoyhtiön verkkotietoihin pohjautuva ohjelma ja sitä voi käyttää kuntakohtaiseen tai sähköverkkoyhtiökohtaiseen tarkasteluun. Haasteena ohjelmatyyppien rakennusten valinnan jaottelussa oli se, että verkkoyhtiöillä on toisiinsa verrattuna erilaiset käyttäjäryhmät. Useammalta kannalta katsottuna asia on pyritty ratkaisemaan niin, että yhteensopivuus kaikkien verkkoyhtiöiden ja heidän verkkotietojen yhdistelemiseen onnistuisi kätevästi. Laskenta on helppoa ja tarkkuus muodostuu hyväksi, kun verkkotiedot on jaettu ja järjestetty ohjeistetulla tavalla. Tutkimuksessa on käytetty Parikkalan Valo Oy:n verkkoaluetta. Alkuun tältä

jakelualueelta on käytetty tutkimiseen vain yhtä kuntaa. Myöhemmin tutkimusta on laajennettu koskeväksi koko verkkoaluetta ja kokonaan toista verkkoyhtiötä, jotta tuloksista saataisiin mahdollisimman luotettavat. Jako seuraaviin rakennustyyppeihin on tehty myötäilemään tavanomaisimpia käyttäjäryhmiä eri energiayhtiöissä. Tarkoituksena olisi, että laskelmia voisi helposti tehdä Suomen kaikille jakeluverkkoyhtiöille. Käyttäjärühmät on jaoteltu seuraavasti:

- |                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| 1. Omakotitaloasuminen | 4. Julkinen palvelu   |
| – Sähkölämmittäjä      | 5. Yksityinen palvelu |
| – Ei-sähkölämmittäjä   | 6. Teollisuus         |
| 2. Rivitaloasuminen    | 7. Kesämökit          |
| – Sähkölämmittäjä      | – Sähkölämmittäjä     |
| – Ei-sähkölämmittäjä   | – Ei-sähkölämmittäjä  |
| 3. Kerrostaloasuminen  | 8. Maatalous          |

Ryhmät eroavat Tilastokeskuksen jaottelusta ja siten myös taulukosta 3.1. Esimerkiksi sähkölämmittäjät ja ei-sähkölämmittäjät on eritelty omakotitalo- ja rivitaloasumisessa sekä kesämökeissä. Lisäksi on muodostettu julkinen ja yksityinen palvelu laskemalla yhteen Tilastokeskuksen eri rakennustyyppejä. Palveluryhmien perustaminen on tehty siksi, että palvelut ovat tärkeä osa yhteiskuntaa ja tärkeä osa verkkoyhtiön asiakaskuntaa. Palvelut on eriytetty toisistaan, koska ne ovat osin erilaisia lämmityksen ja kokonaisenergiankulutuksen suhteen. Käyttäjärühmäjakoa on jo esitelty ja perusteltu kappaleessa 3.2.1.

Verkkotietojen lajittelu oheisen jaon perusteella on haastavaa, koska verkkotiedot voivat vaihdella melkoisesti eri verkkoyhtiöiden välillä. Verkkotiedot ovat vieläpä tavallisesti osittain puutteellisia ja virheellisiä. Asiakasmäärästä ja tietojen luotettavuudesta riippuen, täytyy jaotteluun varata runsaasti aikaa. Mitä paremmin tiedot saa lajiteltua, sitä luotettavampia tuloksia on laskentaohjelmasta odotettavissa.

Huomionarvoista on omakotitalo- ja rivitaloasumisen sekä kesämökkiasiakkaiden jaottelu sähkölämmittäjiin ja muihin lämmittäjiin. Näissä käyttäjäryhmissä on lukumäärältään tavallisesti eniten verkkoyhtiöiden asiakkaita ja siksi energia-arvot tulisi saada mahdollisimman tarkoiksi. Toinen puoli asiassa on se, että näihin sähkölämmitteisiin rakennuksiin tavanomaisimmin juuri asennetaan lämpöpumppuja. Kun asiakkaat on järjestelty oheisiin ryhmiin, täytyy jokaisesta ryhmästä laskea seuraavat asiat: asiakkaiden kappalemäärät, käyttäjäryhmäkohtainen sähköenergia ja keskimääräinen käyttäjäryhmäkohtainen sähköenergia. Omakoti- ja rivitaloasumiselle sekä kesämökeille tulee määrittää myös sähköenergiankulutuksen keskimääräiset arvot erikseen sähkölämmittäjille ja ei-sähkölämmittäjille.

### 5.3 Tarvittavat lähtötiedot

Vertailtaessa muita lämmitysjärjestelmiä lämpöpumppuratkaisuihin, on oltava riittävän laajat ja tarkat lähtötiedot. Laskentatuloksista tulee luotettavia, jos lähtötiedot ovat luotettavia ja laskennan prosentuaalinen virhe tutkittavaan aineistoon verrattuna saadaan pysymään pienenä. Lähtötietoihin voidaan vaikuttaa tutkittavan alueen rajauksella, joka täytyy tehdä tutkittavan paikkakunnan tai alueen mukaan. Tilastokeskuksen tilastotiedot ovat kuntakohtaisia ja verkkoyhtiön tiedot ovat taas verkkoalueelta, joka voi käsittää sähköyhtiöstä riippuen yhden kunnan tai jopa muutamien kymmenien kuntien alueen. Jos tätä ei huomioida, tulee verkkotietojen ja Tilastokeskuksen tilastojen välillä helposti kuntakohtaisia päällekkäisyyksiä ja tuloksiin syntyy sitä kautta virhettä. Lähtötietojen käsittelyssä tutkittavan alueen paikallistuntemuksesta on apua. Esimerkiksi verkkotietojen ja laskentaparametrien analysointi sekä tuloksien arviointi helpottuu.

Välilehtiä laskentaohjelmassa on seitsemän. Nämä ovat: *Rakennusparametrit*, *Energiat*, *Lisäparametrit*, *Tulokset*, *Laskenta*, *Tilasto* ja *Rakennukset*. Laskentaohjelman käyttö alkaa ensimmäiseltä, *Rakennusparametrit* välilehdeltä. Tilastokeskuksen paikkakuntakohtaiset tiedot lämmitystyypeistä etsitään viimeiseltä, *Rakennukset* välilehdeltä ja syötetään ensimmäisellä välilehdellä kysytyyn kohtaan.

*Rakennusparametrit* välilehdellä annetaan laskenta-arvoja sekä verkkoyhtiön asiakastiedot. Välilehdille *Energia* ja *Lisäparametrit* tarvitsee myös syöttää laskentaparametreja. Kaikki tiedot menevät *Laskenta* osioon ja sinne laskentamoottorille. Laskentaohjelman tulokset löytyvät yhteenvedona sekä kuvaajina *Tulokset* välilehdeltä. *Tilasto* osiossa puolestaan voi tutustua koko maan sekä kaikkien Suomen kuntien osalta rakennustyyppien lukumääriin ja rakennusaloihin. Lisäksi rakennusten keskimääräisiä pinta-aloja voi vertailla kunnittain omakotitaloasumisen, rivitaloasumisen, kerrostaloasumisen, julkisen palvelun, yksityisen palvelun ja teollisuuden osalta. Kuvassa 5.2 on laskentaohjelman välilehdet ja niiden sisältöä.

1. Välilehti	2. Välilehti	3. Välilehti	4. Välilehti	5. Välilehti	6. Välilehti	7. Välilehti
Rakennusparametrit	Energia	Lisäparametrit	Tulokset	Laskenta	Tilasto	Rakennukset
<ul style="list-style-type: none"> <li>- verkkoyhtiön määrittäminen</li> <li>- lämmitysmuodot: kesämökkit ja maatalous [%]</li> <li>- kesämökkien sähköistysaste, rivi- ja kerrostalojen asuntojen määrä [kp]</li> <li>- rakennusmäärät &amp; lämmitystyytit</li> <li>- verkkotiedot</li> <li>- sähkölämmittäjät</li> <li>- virhe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lämmitysenergia</li> <li>- sähköenergia</li> <li>- jäähdytysenergia</li> <li>- kokonaisenergia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tariffit</li> <li>- sähkölämmittäjien jako suora/varaava</li> <li>- verkkoyhtiön tunnusluvut</li> <li>- lämpökertoimet</li> <li>- korjauskertoimet</li> <li>- lämpöpumppujen yhteenvedo</li> <li>- lämpöpumppujen lukumäärät rakennustyypeittäin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- taulukko ja kuva muodossa</li> <li>- tulokset: sähköenergiasta ja liikevaihdosta</li> <li>- tulokset koko verkkoyhtiön ja rakennustyyppien osalta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rakennustyyppi-kohtainen</li> <li>- sisältää kaiken laskennan</li> <li>- sisältää kuvaajien laskentatiedot</li> <li>- sisältää ohjelman ulkopuolista tietoa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- koko maa ja kuntakohtainen tarkastelu</li> <li>- rakennusten lukumäärä</li> <li>- kerrosalat</li> <li>- keskimääräiset pinta-alat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sisältää tiedot rakennuksista ja lämmityksestä</li> </ul>

Kuva 5.2. Laskentaohjelman välilehdet ja niiden sisältöä. Laskentaohjelman käyttö alkaa 1. välilehdeltä.

Kolme ensimmäistä välilehteä ovat laskennan kannalta tarpeellisia ja *Rakennukset* -välilehdeltä saadaan rakennus- ja lämmitystiedot. Käyttäjän ei tarvitse puuttua *Laskenta* osioon laisinkaan.

*Tilasto* -välilehdelle on myös koottu yhteenvedona omakotitaloasumisen, rivitaloasumisen sekä kesämökkien sähkölämmitysasteet. Sähkölämmitysasteella, eli paljonko sähkölämmittäjiä on verrattuna kaikkiin lämmittäjiin, voidaan arvioida minkä kuntien alueella lämpöpumpuille olisi teoriassa eniten käyttöä, ja mihin verkkoyhtiöön lämpöpumput olisi siten eniten vaikuttamassa. Käytännössä tämä lopulta riippuu verkkoyhtiön asiakkaista, ja heidän lämpöpumppu hankinnoistaan. Tilastokeskukselta saatavat kuntien lämmitysjärjestelmätiedot on integroitu suoraan laskentaohjelmaan ja ne

ovat suoraan kopioitavissa laskentaohjelmasta välilehdeltä *Rakennukset*. Tarkastellaan seuraavaksi lähemmin, mitä tietoja kolmelle ensimmäiselle välilehdelle tulee antaa.

### 5.3.1 Rakennusparametrit

Laskentaohjelma alkaa *Rakennusparametrit* -välilehdeltä, jossa täytyy antaa pyydettyjä parametreja. Laskentaohjelmassa vaaditaan useitakin lähtötietoja, mutta perustietona tulee tietää alueen rakennuskanta ja sen kappalemäärän jakauma. Täsmällisen tiedon saaminen tästä on vaikeaa ilman Tilastokeskuksen ylläpitämää tilastoa koko maan kunnista ja niiden rakennusmääristä lämmitystyypeittäin. Tilastokeskuksen tiedot sisältävät rakennusten ja niiden lämmitysjärjestelmien lukumäärät sekä rakennusten neliökoon. Koko maan ja kaikkien kuntien järjestelty rakennuskanta-aineisto löytyy laskentaohjelmasta välilehdeltä *Rakennukset*. Tiedot on kerätty Tilastokeskuksen lämmitys -tietokannasta ja kesämökkien kappalemäärät kesämökit -tietokannasta. (Tilastokeskus 2009) Maatilojen lukumäärät ovat maatilarekisteri Matildasta. (MMM 2009) Jos laskentaohjelmassa kysytään yleisesti sellaisia parametreja, mistä käyttäjällä ei ole aavistustakaan, voidaan tällaisissa tapauksissa käyttää niin sanottuja ohjearvoja. Ohjearvoina ovat muun muassa keskimääräisiä lämmitysenergiatietoja rakennustyypeittäin sekä prosentuaaliset kesämökkien ja maatalouden lämmitystyyppijakautumat.

Rakennus- ja lämmitystiedoista löytyy jokaisen rakennustyyppin lämmitysmenetelmät kappalemäärittäin kuntakohtaisesti. Tilastotieto kesämökkien ja maatilojen lämmitysjakaumasta puuttuu, mutta laskentaohjelmassa on 1. välilehdellä kohta, jossa näiden rakennustyyppien lämmitystavat voidaan määrätä prosentuaalisesti. Ensimmäisellä lehdellä tehtävä kesämökkien ja maatalouden lämmitysmenetelmien prosentuaalinen jakaminen vaikuttaa myös *Tilasto* ja *Rakennukset* osioihin. Kesämökkien ja maatalouden rakennustyyppien tavallisimmat lämmitysmuodot ovat öljy-, puu- ja sähkölämmitys. Kesämökeissä on myös mukana mökkejä, jotka eivät ole sähköistettyjä eivätkä näy verkkoyhtiöiden asiakastiedoissa. Tästä syystä kesämökeille täytyy antaa

kesämökkien sähköistysasteen prosenttiluku, joka karsii ne rakennukset pois, joissa ei ole sähköjä. Muuten syntyisi virhettä verrattaessa tätä kappalemäärää verkkotietoihin. Kesämökkien sähköistys on tavallisesti 70 % luokkaa. (ET 2009)

*Rakennusparametrit* välilehdellä, samassa yhteydessä kesämökkien sähköistysasteen kanssa, kysytään rivi- ja kerrostalorakennusten asuntojen keskimääräistä lukumäärää. Rivi- ja kerrostaloasuntojen keskimääräisillä energia-arvoilla voidaan paremmin arvioida energiankulutusta ja lämpöpumppuja näissä rakennustyypeissä kuin rakennuskohtaisesti. Rakennusten asuntojen lukumäärän hiomiseen on kaksi vaihtoehtoa: voidaan käyttää annettua ohjearvoja, jotka ovat lähellä koko maan keskimääräisiä arvoja tai selvitetään asuntojen määrä käyttämällä hyväksi verkko- ja rakennustietoja. Verkkotiedoista pystytään rivi- ja kerrostaloasuminen erottelemaan usein suoraan käyttäjäryhmien perusteella. Jos näin ei kuitenkaan ole, voidaan käyttää hyväksi kulutuspaikkatietoja. Jos kulutuspaikan postiosoitteessa on useampi asiakas samassa osoitteessa, on kyseessä todennäköisimmin rivi- tai kerrostaloasiakas. Tiedettäessä verkkotietojen asiakkaiden kokonaismäärä esimerkiksi rivitalojen osalta, voidaan katsoa laskentaohjelmasta kuinka suureksi Tilastokeskus arvioi kyseisen rakennusmäärän, jolloin arvojen täytyisi olla lähellä toisiaan. Kuvassa 5.3 esitellään *Rakennusparametrit* välilehden sisältöä.

Verkkoyhtiö - Alueen kunnat	Lämmitysmenetelmien jako [%]	Rivi- ja kerrostalojen sekä kesämökkien erityisparametrit	Rakennuskohtaiset kappalemäärät kunnittain [kpl]	Rakennus- ja lämmitystyytit [kpl]	Verkkotiedot: - Lukumäärä [kpl] - Energia [kWh]	Sähkölämmittäjien määrän vertailu [%]
1. Kunta	Tehdään rakennustyypeille: - Kesämökit - Maatalous	Kesämökkien sähköistysaste [%]	1. Omakotitaloasuminen	1. Omakotitaloasuminen	1. Omakotitaloasuminen - Sähkölämmittäjät - Ei-sähkölämmittäjät	- Verkkotiedot - Tilastokeskus
2. Kunta	Jaetaan rakennustyyppien lämmitysmenetelmät (%) 5 eri lämmityksen suhteen	Rivitaloasuntojen lukumäärä: - Tutkittavalla alueella - Suomessa	2. Rivitaloasuminen	- Kaukolämpö	2. Rivitaloasuminen - Sähkölämmittäjät - Ei-sähkölämmittäjät	
3. Kunta			3. Kerrostaloasuminen	- Öljy		
4. jne...	- Kaukolämpö	Kerrostaloasuntojen lukumäärä: - Tutkittavalla alueella - Suomessa	4. Julkinen palvelu	- Sähkö	3. Kerrostaloasuminen	
	- Öljy		5. Yksityinen palvelu	- Puu	4. Julkinen palvelu	
	- Sähkö		6. Teollisuus	- Muu	5. Yksityinen palvelu	
	- Puu		7. Kesämökit	2. Rivitaloasuminen	6. Teollisuus	
	- Muu		8. Maatalous	- Kaukolämpö	7. Kesämökit - Sähkölämmittäjät - Ei-sähkölämmittäjät	
		Yhteensä	- jne...	8. Maatalous Yhteensä		

Kuva 5.3. Kuva esittää laskentaohjelman ensimmäisen *Rakennusparametrit* -välilehden sisältöä.

Seuraavina ohjelmaan syötetään lajitellut verkkotiedot. *Rakennusparametrit* -välilehden lopussa arvioidaan verkkotietojen sähkölämmittäjien kappalemäärien vastaavuutta Tilastokeskuksen vastaaviin määriin. Syynä tähän on näiden rakennustyyppien sähkönkulutuksen hiominen kohdalleen, koska nämä aiheuttavat muutoin huomattavasti virhettä laskennalliseen kokonaissähköenergiankulutukseen. Lämpöpumppuja on myös yleisimmin juuri näissä kohteissa. Jos arvoissa on suurta virhettä eli yli 10 %, on perusteltua muuttaa lajiteltuja verkkotietoja, että saadaan laskentaa tarkemmaksi. Verkkotietojen ja Tilastokeskuksen tiedoilla voidaan varmentaa se, että tutkittavan alueen lämmitysmenetelmät vastaavat todellisia arvoja.

### 5.3.2 Energia-arvot

Seuraavalla eli *Energiat* välilehdellä, täytyy antaa parametreina rakennustyyppi ja lämmitysmenetelmäkohtaiset energia-arvot. Annettavia energia-arvoja ovat lämmitysenergia ja sähköenergia, joista muodostuu kokonaisenergia. Jäähdytysenergia arvot annetaan erikseen, mutta ne vaikuttavat myös kokonaisenergiaan.

Tarkemmalle yksityiskohtaiselle lämmitys- ja jäähdytysenergiatiedoille on käyttöä. Lämmitysenergia aihetta on käsitelty kappaleessa 3.2.1 *Lämmitysenergiankulutus*. Laskentaohjelmassa on *Energiat* välilehden lopussa valtakunnallisiin keskiarvoihin perustuva taulukko (taulukko 3.3), josta on apua lämmitysenergioiden arvioimiseen. Taulukon tiedoilla päästään kohtalaisen hyvin kiinni kyseisten rakennustyyppien lämmitysenergiamääriin. Varsinkin taulukon sarakkeessa *Keskiarvo* oleva parametri on melko yleispätevä lämmitysenergielukema rakennustyyppille. Huomioitavaa kuitenkin on, että alue-, rakennus- ja lämmitystyyppikohtaisissa arvoissa on paikoitellen erittäin suuria eroja. Jos taulukon arvot eivät tunnu järkeviltä, on perusteltua ja tarpeellista käyttää omia arvioita, jotka kylläkin voivat pohjautua taulukon arvoihin. Esimerkiksi teollisuuden arvoissa on suuria heittoja. Tätä selittää se, että erityyppinen teollisuus on keskittynyt erilaisille alueille ja rakennusten kokojen välillä voi olla tällöin huomattaviakin eroja.



Verkkoyhtiön asiakastietojärjestelmästä voidaan saada tukea lämmitysarvojen arviointiin. Verkkotietojärjestelmien sisältämä tieto asiakastyypeistä, kulutuksista ja käyttäjäryhmistä auttaa todella paljon energiaparametrien arvioinnissa. Verkkoyhtiön asiakastiedoista nähdään asiakkaiden vuotuinen sähköenergiankulutus. Asiakastyypit on jaoteltu monella eri tapaa, mutta usein voidaan erotella sähkölämmittäjät ja ei-sähkölämmittäjät toisistaan. Tällöin saadaan tieto sähkölämmittäjien keskimääräisestä energiasta ja ei-sähkölämmittäjien keskimääräisestä energiasta, joista voidaan päätellä näiden arvojen erotuksena rakennustyyppin keskimääräinen lämmitysenergia. Toisaalta voi olla mahdollista, että sähkölämmittäjiä ei ole eriteltyinä verkkotiedoissa. Tässä tapauksessa tarvittavat tiedot saadaan Tilastokeskuksen paikkakuntaakohtaisista rakennus- ja lämmitystiedoista. Silloin pystytään selvittämään, paljonko alueella on esimerkiksi omakotitaloasumista ja paljonko niissä on sähkölämmittäjiä. Tällä lukumäärällä päästään kiinni myös verkkoyhtiön asiakastietojen sähkölämmittäjien määrään, ja lajittelu saadaan onnistumaan. Kun kappalemäärät ovat selvillä, lasketaan keskimääräiset energiat sekä sähkölämmittäjistä ja muista lämmittäjistä. Näistä keskimääräisien energioiden erotuksesta saadaan kohtuullinen arvio siitä, paljonko kyseisen rakennustyyppin lämmitysenergia voisi olla keskimäärin jossain tietyssä rakennuksessa.

Laskennassa on myös tehty indeksiarvoihin perustuva arvio, miten rakennusten lämmitysenergian tarve kehittyy tutkittavalta tasolta vuosien 2020 ja 2050 tasolle. Juhani Heljo on arvioinut rakennusten keskimääräistä lämmitysenergian tarvetta [kWh/m<sup>2</sup>,a] rakennustyypeittäin Lappeenrannan ja Tampereen teknillisten yliopistojen tutkimusraportissa *Sähkön ja kaukolämmön rooli energiatehokkuudessa ja energian säästöissä*. (LUT-TUT 2009) Näistä arvioista on laskettu laskentaohjelmaan indeksi, jossa vuoden 2009 lämmitysenergia-arvot ovat 100 % ja arvot vuosille 2020 ja 2050 ovat suhteutettu tutkittavaan vuoteen. Indeksiarvoissa oletetaan tapahtuvan selvää pienenemistä vuosien kuluessa. Vuosien 2020 ja 2050 lämmitysenergiakulutuserviot ovat nähtävillä laskentaohjelmassa, mutta niitä ei ole käytetty itse laskennassa. Arvot ovat esillä sen vuoksi, että käyttäjä voi analysoida pitkän aikavälin skenaariota tehdessään, kuinka lämmitysenergioiden tarve voisi kehittyä. Keskimääräistä pinta-alaa eri kuntien

välillä voi tarvittaessa hyödyntää välilehdeltä *Tilastot*. Energia arviointiin kuuluu myös jäähdytysenergia, jonka energiamäärä on lisääntynyt viime aikoina. Jäähdytykseen ovat vaikuttaneet pienkulutuksen puolella merkittävästi nimenomaan lämpöpumput. Taulukosta 3.4 saa ohjeistusta jäähdytysenergia-arvoihin.

### 5.3.3 Lisäparametrit

Lämpöpumppujen yhteydessä energiayhtiöitä kiinnostaa kuinka lämpöpumput vaikuttavat niiden liikevaihtoon. Tämän takia täytyy lähtötietoina tietää verkkoyhtiön siirtotariffit eri käyttäjäryhmiltä. Siirtotariffiin sisältyy energia- ja perusmaksu. Lisänä ovat myös verot. Siirtotariffi on jaettu tätä tutkimusta varten pien- ja suurkuluttajiin. Pienkuluttajat ovat omakotitaloasuminen, rivitaloasuminen, kerrostaloasuminen, kesämökit ja maatalous. Suurkuluttajia ovat julkinen ja yksityinen palvelu sekä teollisuus. Molemmat kuluttajatyypit on jaettu vielä yleistariffiin ja 2-aikamittaustariffiin, jolloin oletetaan 2-aikamittauksen kohdistuvan sähkölämmittäjiin. 2-aikamittauksessa on erikseen päivä- ja yötariffit. Kaikille siirtotariffin energia- ja perusmaksulle täytyy antaa laskentaohjelmassa hinta.

Välilehdellä *Lisäparametrit* vaaditaan kertoimet sähkölämmittäjien jakamiseksi suoraan ja varaavaan sähkölämmitykseen. Verkkotiedoista saa esimerkiksi omakotitaloasumisen suhteen tälle arvion, joko suoraan käyttäjäryhmien jaon perusteella tai sitten sähkölämmittäjien kulutusta vertailemalla. Energiajakaumasta päivä- ja yösähkölle voidaan olettaa, että varaavassa sähkölämmityksessä olisi esimerkiksi päivän kulutus luokkaa 25 % ja yön 75 %. Vastaavasti arvot suoralle sähkölämmitykselle voisivat olla 50 % ja 50 %. Näitä tietoja pyydetään arvioimaan laskentaohjelmassa, koska tällä on vaikutusta parametrien syöttövaiheessa lämpöpumppumäärien jakautumiseen ja käytettävyyteen erityyppisissä sähkölämmitysrakennuksissa. Verkkotietojen tutkimisen yhteydessä saadaan laskennalliset arviot suoran ja varaavan suhdeluville, jotka voivat pohjautua esimerkiksi omakotitaloasumisen sähkölämmittäjien energiankulutuslukemiin. Erihintaisten tariffien vuoksi jako vaikuttaa lopulta myös verkkoyhtiön liikevaihtoon.

Selvitettäessä tuloksia energian ja talouden kannalta nykyiseen verkkotilanteeseen verrattuna, tarvitaan luotettavat tiedot verkkoalueen sähköenergiankulutuksesta ja verkkoliikevaihdosta. Nämä ovat saatavissa esimerkiksi Energiamarkkinaviraston (EMV) [www-sivuilla](http://www.sivuilla).

*Lisäparametrit* -välilehdellä tarvitaan lämpökertoimien arvot lämpöpumppujen energiantuottoon. Laskennassa käytetään SPF-kertoimia eli vuotuisia keskimääräisiä lämpökerroin-arvoja ja ohjearvoina on myös valmistajien määrittämiä sekä lämpöpumpputesteistä saatuja lämpökertoimia. Laskennassa oletetaan, että keskimääräinen vuosittainen lämpökerroin on tarpeeksi tarkka peruste laskettaessa lämpöpumppujen lämmitystuotantoa ja siihen käytettävää sähköä. Näin ollen esimerkiksi poistoilmalämpöpumpun osalta ei huomioida ilmanvaihtokertoimia, vaan oletetaan että ilmanvaihtokerroin on vakio ja sellainen, että se antaa parhaimman mahdollisen arvon lämmöntuotolle. Lisäohjeistuksena on lämpökertoimien arvoja eri lämpötilavyöhykkeillä (Helsinki, Jyväskylä, Rovaniemi) ja erikokoisissa pientalorakennuksissa. Jäähdytyskertoimet, eli EER-kertoimet, ovat myös valittavina. Näiden painoarvo on huomattavasti pienempi kuin lämpökertoimien, sillä lämmityksen ja jäähdytyksen vuosittaiset energiakulutusarvot ovat täysin eri mittasuhteissa.

Lämpöpumppujen energiantuottoon tarvitaan myös korjauskertoimia. Aikaisemmin on jo todettu, että ilma-ilmalämpöpumpulla ei voida tuottaa lämmintä vettä laisinkaan. Tämä tarkoittaa sitä, että pientalon lämmityksessä IILP:lla pystytään teoriassa enintään tuottamaan 75 % koko lämmitysenergian tarpeesta. Todellinen prosenttiosuus on vielä huomattavasti pienempi. Vastaava periaate koskee myös muita rakennustyyppisiä. Isoissa kohteissa, joissa lämmitystarve on huomattavan suuri, ei välttämättä mikään lämpöpumpputyyppi pysty tuottamaan tarvittavaa energiamäärää. Maalämpöpumput pystyvät tuottamaan kuitenkin lähes aina tarvittavan lämmitysenergian rakennustyyppistä riippumatta, mutta ongelmallisia rakennustyyppisiä voivat olla esimerkiksi kerrostalot ja teollisuus. Lämpöpumpputyypeille on annettava lämmitysenergiämäärä, jonka lämpöpumput pystyvät tuottamaan. Tämä tehdään määrittämällä prosentuaaliset korjauskertoimet. Korjauskertoimen arvo on pienin ilma-ilmalämpöpumpuilla ja suurin

maalämpöpumpuilla. Korjauskertoimella pyritään huomioimaan lisäksi lämpöpumppulämmitykseen käytettävä aika. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että mikäli lämpöpumppu ei ole jatkuvasti toiminnassa ja lämmitystä silti tarvitaan esimerkiksi huippupakkasilla, täytyy korjauskertoimen ulkopuolelle jäävä tarvittava lämmitysenergianmäärä tuottaa siten alkuperäisellä lämmitysmuodolla. Korjauskertoimien oletetaan yhdessä SPF-kertoimen kanssa myös kompensoivan lämpöpumppujen toiminta-alueen ulkopuoliset lämmitystarpeet eli käytännössä huippupakkasten vaikutukset. Jäähdytyksessä oletetaan, että tarvittava jäähdytysenergia voidaan tuottaa vuoden ympäri ilman, että se tarvitsisi korjauskertoimia.

Tutkittavan alueen lämpöpumppumääristä on *Lisäparametrit* välilehdellä yhteenveto. Yhteenveto sisältää muun muassa kaikkien rakennuksien lämpöpumppujen lukumäärän laitetyyppikohtaisesti. Lämpöpumppuja arvioidaan laskentaohjelmassa kappalemääräisesti jokaista rakennustyyppiä ja lämmitysmuotoa myöten. Aluekohtainen lämpöpumpputyypin kappalemääräselvitys on kuitenkin erittäin vaikeaa. Kunnilla ei ole tilastointivelvollisuutta lämpöpumppujen suhteen, eikä kunnilta tätä tietoa siten löydy. Kunnat ilmoittavat kunnan alueella olevien kiinteistöjen lämmitysjärjestelmät Tilastokeskukselle, josta ei myöskään löydy tietoa lämpöpumpuista. Asennettaessa lämpöpumppuja voi asennuksesta tehdystä työstä saada 60 % kotitalousvähennykseen. Vaikka tätä jonkin verran käytetäänkin hyödyksi, ei Verohallinto kirjaa lämpöpumppujen asennuksista tulevia kotitalousvähennyksiä. (Vero 2009) Kappalemääriä voi yrittää selvittää lähialueiden lämpöpumppuasentajilta, mutta tämäkään ei anna hyviä tuloksia. Myöskään energiayhtiöt eivät pidä tästä kirjaa. Oikeastaan ainoa tapa arvioida tietyn ajanhetken lämpöpumppumäärää -ja tyypejä on suhteuttaa tutkittavan alueen rakennusmäärä valtakunnalliseen rakennusmäärään ja kertoa tämä valtakunnallisilla lämpöpumppumäärillä.

#### 5.4 Laskentamethodiikka

Laskentaohjelmassa on seuraava toiminta-ajatus. Sähkölämmityskiinteistössä lämpöpumppu vähentää sähköenergiankulutusta lämpöpumpputyypistä, sen lämpökertoimesta ja lämmitysenergian tarpeesta riippuen. Tämä muutos tapahtuu kaikissa rakennuksissa sekä suorassa että varaavassa sähkölämmityksessä. Päinvastainen reaktio tapahtuu muissa lämmitysjärjestelmissä, joissa sähköenergiankulutus vastaavasti kasvaa lämpöpumppujen käytön seurauksena. Jäähdytys taas lisää aina sähköenergiankulutusta. Laskennassa tulee kiinnittää huomiota siihen, mihin lämmitysjärjestelmiin lämpöpumppuja eri rakennuksissa verrataan. Kokonaisrakennus -ja lämpöpumppumääristä nähdään lämpöpumppuaste, joka tässä tarkoittaa lämpöpumppujen lukumäärää suhteutettuna koko rakennuskantaan. Eri laskentakombinaatioista saadaan runsaasti materiaalia laskentaan, mitä voidaan käsitellä laskentaohjelmassa. Laskennallisesti määritetyillä verkkoyhtiön kokonais sähköenergioilla ja liikevaihdolla voidaan tutkia laskennan tarkkuutta ja lämpöpumppujen vaikutusta tulevaisuuteen energian ja liikevaihdon osalta. Laskennallisesti määritettyjä sähköenergioita voidaan verrata todellisten verkkotietojen sähköenergia-arvoihin sekä EMV:n ilmoittamiin verkkoyhtiön tunnuslukujen sähköenergioihin ja liikevaihtoon.

Tilastokeskuksen rakennus- ja lämmitystyyppit suhteutetaan laskentaohjelmassa verkkotietojärjestelmän kappalemääriin ja tästä saadaan laskentaohjelman kappalemääräparametrit kullekin lämmitystyyppille. Tällöin lämmitysmuodot pysyvät samassa suhteessa rakennustyyppien sisällä kuin ne ovat Tilastokeskuksenkin tietokannoissa. Siten ei myöskään voimakkaasti häiritse, vaikka rakennustyyppien kappalemäärissä olisikin heittoja verkkotietojen ja Tilastokeskuksen tietojen välillä. Esimerkiksi, jos omakotitaloasumisessa on VTJ:ssä saatu kokonaislukumääräksi 5 000 kpl, ja Tilastokeskuksen omakotitaloasumisen lukumääräksi on ilmoitettu 5 200 kpl, joista kaukolämmitystä on 55 kpl, saadaan laskentaohjelmaan omakotitaloasumisen kaukolämmitysten kokonaislukumääräksi yhtälön (5.1) mukaisesti:

$$OKT_{kaukolämpö,ta} = \frac{OKT_{VTJ}}{OKT_{Tilastokeskus}} \cdot OKT_{kaukolämpö,Tilastokeskus} \quad (5.1)$$

$OKT_{kaukolämpö,ta}$  tarkoittaa omakotitalorakennusten kaukolämpömäärää tutkittavalla alueella ja alaindeksi  $VTJ$  tarkoittaa verkkotietojärjestelmää. Näin saadaan kyseisessä tapauksessa tutkittavalle alueelle 53 kpl kaukolämmitysrakennusta omakotitaloasumiselle. On tyypillistä, että verkkoyhtiön ja Tilastokeskuksen tiedot rakennustyyppistä eivät täsmää. Jos tutkittava alue käsittää useamman kunnan alueen, lasketaan kuntien rakennusmäärät yhteen ja verrataan määriä verkkotietojärjestelmän määriin. Jos nämä eivät vastaa lähellekään toisiaan, ja verkkotietojen luotettavuudesta on epävarmuutta, tulee silloin muuttaa verkkotietoja.

*Energiat* välilehdellä annetaan lämmitys-, sähkö- ja jäähdytysenergia-arvoja. Nämä vaikuttavat suoraan verkkoyhtiön kokonaissähköenergiaan. Lämmitysenergioiden osalta rivi- ja kerrostaloasumisessa annetaan laskentaparametrit huoneistokohtaisella arviolla. Kokonaisenergia, lämmitysenergia ja sähköenergia muunnetaan rakennuskohtaisiksi energioiksi kertomalla energiamäärät *Rakennusparametrit* -välilehdellä annettujen asuntojen lukumäärän perusteella. Jäähdytys vaikuttaa sähkönkulutukseen lisäävästi. Jäähdytysenergian määrittäminen tietyssä rakennustyyppissä voidaan tehdä yhtälön (5.2) mukaisesti:

$$E_{jäähdytys} = P_{jäähdytys} \cdot t_{jäähdytys} \cdot A_{keskimääräinen} \quad (5.2)$$

jossa  $E_{jäähdytys}$  on vuotuinen jäähdytysenergiatarve rakennustyyppiä kohden.  $P_{jäähdytys}$  on hetkellinen jäähdytysteho,  $t_{jäähdytys}$  jäähdytyksen tyypillinen käyttöaika.  $A_{keskimääräinen}$  tarkoittaa keskimääräistä pinta-alaa tutkittavalle rakennustyyppille, jossa voidaan yleensä käyttää koko maan keskimääräistä arvoa. Vaihtoehtoisesti tiedettäessä vuotuinen keskimääräinen jäähdytysenergiatarve [kWh/m<sup>2</sup>,a] voidaan laskea vuotuinen jäähdytysenergiatarve tulona keskimääräisestä pinta-alasta. Aikaisemmin pientaloissa ei ole ollut juuri minkäänlaista jäähdytyslaitteistoa, mutta ilmalämpöpumppujen myötä tilanne on muuttunut. Jäähdytyskausi on lyhyt, joten energiankulutus jää kuitenkin

pieneksi. Laskennassa on ajateltu, että sähköenergiaa kuluu jäähdytykseen, jos rakennuksessa on lämpöpumppu ja se kykenee jäähdyttämään. Jäähdytyksessä oletetaan, että jäähdytystä käytetään sekä päivällä että yöllä. Siten jäähdytyksen käyttämä energia on jaettu puoliksi päivä- ja yötariffin kesken. Sama koskee sähkölämmitteisiä rakennuksia, joissa on ajateltu lämpöpumppujen lämmitystä tarvittavan tasaisesti päivällä ja yöllä. Varaavassa sähkölämmityksessä lämpöpumppujen vaikutukset on myös tästä syystä jaettu puoliksi päivän ja yön suhteen.

*Lisäparametrit* -välilehdellä pyydetään antamaan verkkoyhtiön siirtotariffin energia- ja perusmaksujen hintoja. Kokonaisverkkoliikevaihto lasketaan tariffihinnoittelun ja laskennallisten energiaparametrien perusteella. Todelliset verkkoyhtiön energian ja liikevaihdon arvot pyydetään parametreina, joita verrataan prosentuaalisesti laskennallisiin tuloksiin. Lisäksi siirtotariffien hintoja käytetään hyväksi, jotta lämpöpumppujen liiketoimintatulosten pohjalta voidaan laskea, kuinka paljon energia tai kiinteitä hintoja tulisi muuttaa, jotta pysyttäisiin samalla liikevaihdon tasolla verrattuna alkuperäiseen ajankohtaan. Tällöin tulisi selvittää, mitkä olisivat vaikutusten myötä uudet tariffit ja kuinka suuret olisivat tariffien muutospainet. Laskenta perustuu liikevaihdon muutokseen ja hintoihin kohdistuva muutostarve on jaettu tasan kaikille kuluttajatyypeille. Hintojen muotuspainetta arvioidaan energiatariffilla niin, että taloudellista muutosta verrataan laskennalliseen verkkoyhtiön kokonaisliikevaihtoon. Tästä tuleva prosentiosuus kerrotaan kuluttajatyypin energiahinnalla, yhtälö (5.3):

$$ha_{mp,et} = \left( 1 + \frac{\Delta LV}{LV_{Verkkoyhtiö}} \right) \cdot ha_{et}. \quad (5.3)$$

Tässä  $ha_{mp,et}$  on hinnanmuutospaine energiatariffilla,  $\Delta LV$  on kyseiseen tarffiin vaikuttava liikevaihdon muutos,  $LV_{Verkkoyhtiö}$  on laskennallisesti saatu verkkoyhtiön verkkoliiketoiminnan tulos ja  $ha_{et}$  on alkuperäishintainen energiatariffi. Kaikille kulutustyypeille lasketaan hinta samalla kaavalla. Vastaava hinnanmuutospaine perustariffin osalta saadaan korvaamalla energiatariffin hinta perusmaksun hinnalla.

Laskentaohjelmassa on myös laskettu uudet tariffien hinnat niin, että hinnoittelu on jaettu puoliksi perusmaksun ja energiahintojen välille.

Lämpökertoimet ovat osa laskennan perustaa. Asennettaessa lämpöpumppu muuhun kuin sähkölämmitteiseen rakennukseen ja aikaisemman lämmitystyyppin rinnalle tai tilalle saadaan lämpökertoimen vaikutus sähköenergiaan kaavasta (5.4):

$$E_{ei-sähkölämmittäjä} = E_{laitesähkö} + \frac{Q_{korjattu}}{COP_{LP}} + \frac{E_{jäähdytys}}{EER_{LP}}. \quad (5.4)$$

$E_{ei-sähkölämmittäjä}$  tarkoittaa muiden kuin sähkölämmittäjien sähköenergiaa silloin, kun asennetaan lämpöpumppu ja sähköenergian kulutus muuttuu.  $E_{laitesähkö}$  on verkkotiedoista saatu sähköenergianparametri, joka tarkoittaa sähkölaitteiden käyttämää sähköä.  $COP$  tarkoittaa lämmityksen lämpökerrointa ja  $EER$  jäähdytyksen tehokerrointa. Alaindeksi  $LP$  viittaa tiettyyn lämpöpumpputyyppiin.  $Q_{korjattu}$  tarkoittaa lämpöpumpulla tuotettavaa lämmitysenergiaa, joka on muokattu annetun korjauskertoimen mukaan. Vastaavasti asennettaessa lämpöpumppu sähkölämmitteiseen rakennukseen saadaan lämpökertoimen vaikutus sähköenergiaan kaavasta (5.5):

$$E_{sähkölämmittäjä} = E_{lämmitys} - \left( \left( 1 - \frac{1}{COP_{LP}} \right) \cdot Q_{korjattu} \right) + \frac{E_{jäähdytys}}{EER_{LP}} + E_{laitesähkö}. \quad (5.5)$$

$E_{sähkölämmittäjä}$  tarkoittaa sähkölämmittäjän sähköenergiaa, kun asennetaan lämpöpumppu ja sähköenergian kulutus muuttuu.  $E_{lämmitys}$  tarkoittaa sähkölämmittäjän lämmitykseen käyttämää sähkönmäärää. Lämpöpumppujen aiheuttama sähköenergian väheneminen lämmityksessä pienentää siis kokonaissähkölämmityksen määrää.

Lämpöpumppujen kappalemäärien arvioimisen voi tehdä seuraavasti. Valtakunnalliset lämpöpumppumäärät löytyvät SULPU:lta ja rakennuksien kappalemäärät Suomessa ja paikkakunnittain Tilastokeskukselta. Näistä tiedoista saadaan laskennalliset parametrit aluekohtaisille kappalemäärille lämpöpumpputyypeittäin. Tutkittavan paikkakunnan



rakennusmäärä suhteutetaan koko maan rakennusmäärään ja kerrotaan tilastoiduilla lämpöpumppumäärillä. Arvio lämpöpumppujen kappalemäärästä aluekohtaisesti saadaan kaavasta (5.6):

$$LP_{määrä,ta} = \frac{R_{määrä,ta}}{R_{määrä,kokomaa}} \cdot LP_{kokomaa} \quad (5.6)$$

Tässä  $LP$  on lämpöpumppu ja alaindeksi  $määrä,ta$  tarkoittaa kappalemäärää tutkittavalla alueella ja  $kokomaa$  Suomea,  $R$  tarkoittaa rakennusta. Nyt saadaan hyvä ja perusteltu arvio tämänhetkiselle kappalemäärälle. Tämä koskee kaikkia laite- ja rakennustyyppisiä. Tosin täytyy huomioida, ettei tämä ole ehdottoman luotettava keino, mutta se on todennäköisimmin ainoa tapa arvioida kappalemääriä. Vaihtelua lämpöpumppumäärissä on kunnittain varmasti runsaasti. Siten keskimääräiset arvot antavat vain arvion. Lämpöpumppujen käytön osalta on tärkeää huomioida kuinka paljon ja minkälaisia pumpputyyppejä sekä millaisella energiatehokkuudella toimivia lämpöpumppuja on asennettu. Huomionarvoista on myös se, millä perusteella ja minkälaiseen toimintaan lämpöpumppu on tarkoitettu. Jos käyttötarkoituksena on esimerkiksi asuinkerrostaloissa vain viilentää ilmalämpöpumpulla, lisää se silloin sähkönkulutusta eikä vähennä sitä.

Rakennuksiin sijoitettavissa lämpöpumpuissa on periaatteena, että yhtä rakennusta kohden voidaan asentaa yksi lämpöpumppu. Rivi- ja kerrostaloissa on useita asuntoja yhtä rakennusta kohden, joten laskennassa on ajateltu IILP hankittavan asuntokohtaisesti ja muut lämpöpumpputyypit rakennuskohtaisesti. Esimerkiksi kerrostaloissa suurempi asiakastiheys aiheuttaa suuremman lämpimän käyttöveden valmistuksen osuuden verrattuna omakotitaloihin ja rivitaloihin. Samalla kiinteistön tilojen lämmityksen osuus pienenee. Tämä vaikuttaa lämpöpumppujen osalta siihen, että IILP käyttö lämmitykseen ei ole kovin perusteltua kerrostaloissa.

Periaatteena ja oletuksena laskentaohjelmassa lämpöpumppujen sijoittamiselle eri lämmitysmuotoihin on seuraavanlainen. Jos kyseessä on IILP, IVLP tai PILP, asennetaan se lisälämmitysjärjestelmäksi ja alkuperäinen lämmitysjärjestelmä kattaa loput

tarvittavasta lämmitystarpeesta, jota ne eivät kykene tuottamaan. Ilma-ilmalämpöpumpun tuottokyvyn ylittävään lämmitystarpeeseen kuuluu lämmin vesi, kylmimmät pakkaset sekä suurien tilojen lämmitystarve. Tämä tuottokyvyn ylitys on huomioitu korjauskertoimilla. MLP:n suhteen voidaan ajatella, että ne ovat asennettu päälämmitysjärjestelmäksi ja näiden lämpöpumppujen oletetaan tuottavan suurimman osan tai kaiken tarvittavasta lämmitysenergiasta. Jos lämpöpumppu tuottaa osan lämmitysenergiasta, kattaa alkuperäinen lämmitysmenetelmä loput tarvittavasta lämmöstä. Eli kun lämpöpumppu on asennettu, pyritään sitä käyttämään mahdollisimman paljon. Näillä perusteilla arvioidaan ja vertaillaan sähköenergiankulutusta.

*Tulokset* -välilehden taulukot ja kuvaajat saadaan laskennasta. Kuvaajat on piirretty annettujen parametrien pohjalta. Kuvaajien piirtämisessä on tavallisesti käytetty laskentapisteitä kolmesta eri ajankohdasta. Ajankohdat ovat aika, jolloin ei ollut lämpöpumppuja, tämän hetken ajankohta sekä tulevaisuus. Tämän hetken ajankohdalla tarkoitetaan lämpöpumppujen määrää tutkintaa tehtävänä ajankohtana. Tulevaisuuden arvot ovat approksimaatioita lämpöpumppumääristä, jotka laskentaohjelmankäyttäjät antaa laskentaan.

## **5.5 Yhteenveto ja kehittämistarpeet**

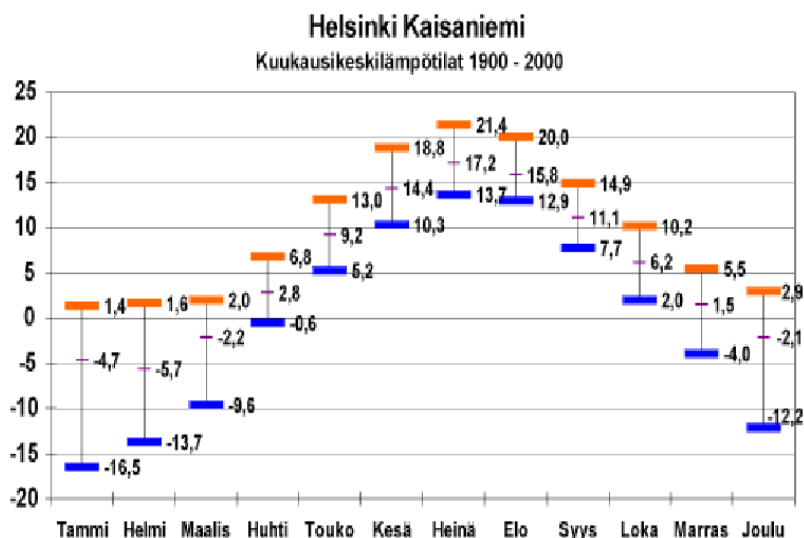
Tulokset energian ja liikevaihdon muutosten osalta riippuvat paljon siitä, mitä lämpöpumpputyyppejä asennetaan, mihin rakennuskohteeseen asennetaan ja minkä lämmitysjärjestelmän tilalle tai korvaajaksi lämpöpumppu tulee. Tulos voi olla siten energian ja liikevaihdon kannalta yhtä hyvin negatiivinen kuin positiivinenkin. Skenaarioissa täytyisi käyttää realistisia arvoja, jotta tulokset olisivat perusteltuja. Kiinteistöjen lämmitysmenetelmiä on kuitenkin vaikea arvioida täsmällisesti. Esimerkiksi maaseudulla pientaloissa on tavallista käyttää useaa lämmitysmenetelmää, kuten puuta, sähköä ja lämpöpumppua pelkästään yhdessä pientalorakennuksessa. Ehkä ainoana lämmitysratkaisujen selvittämiseen voisi olla energiayhtiöiden kysely lämmitysjärjestelmistä. Asiakas voisi nimetä tai merkitä pää- ja

lisälämmitysjärjestelmänsä kyselylomakkeeseen. Tällä olisi ratkaiseva merkitys lämmitysjärjestelmien kartoittamisessa esimerkiksi pientaloissa.

Toinen kehittämiskorjaus voisi olla sähköverkkoyhtiöiden käyttäjäryhmien yhtenäistäminen. Tällöin olisi huomattavasti helpompaa seurata ja vertailla eri verkkoyhtiöiden keskinäisiä energiankulutusarvoja ja asiakastyyppejä. Pääryhmien, joita voisi olla noin kymmenen, lisäksi voisi olla verkkoyhtiöiden omia alaryhmiä. Näihin alaryhmiin voisi jokainen verkkoyhtiö laittaa omantyyppisiä ryhmiä niin tarkasti kuin haluaa. Tällä järjestelyllä saataisiin niin sanotusti yhteismitallisuutta, mikä auttaisi tutkimus- ja tilastointityössä. Tästä olisi hyötyä tilastoitaessa ja vertailtaessa verkkoyhtiöiden keskinäisiä tietoja. Tutkimukseen voisi liittää myös sähkönkulutukseen vaikuttamattomia tekijöitä kuten kyselyn rakennuksen valmistumisvuodesta, tarkoista lämpöpumppumäärätiedoista sekä lämpöpumppujen hankinta vuoden. Näillä saataisiin selvyyttä ikärakenteeseen ja voitaisiin pohtia, miten esimerkiksi rakennusten eristysratkaisut tulisivat kehittymään. Laskentaohjelma sisältää ylipäättään suuren määrän parametreja, joiden tarkkuuksien parantaminen olisi kaikilta osin tarpeellista. Nämä asiat vaatisivat verkkoyhtiöiltä suuren määrän toimintoja toteutuakseen, mutta ne edesauttaisivat huomattavasti tämän tutkimuksen lisäksi muita tahoja.

Itse laskentaohjelmaa voitaisiin myös jatkossa kehittää. Varsinaisessa laskennassa on tehty nyt melko voimakkaita oletuksia lämpökertoimien osalta. Laskentaohjelmassa lämpöpumpuista johtuva sähköenergian muuttuminen saadaan selville korjauskertoimilla korjatun lämmöntarpeen ja lämpökertoimien avulla. Laskennassa käytetään SPF-kerrointa, jonka oletetaan soveltuvan kaikille lämpöpumpputyypeille. Oletuksena on, että tämä keskimääräinen lämpökerroin ottaa huomioon kaikki tarpeellisimmat asiat lämpöpumppulämmityksessä ja lisäksi korjauskertoimilla saadaan tarkennettua SPF-kertoimien lämmöntuottoa. SPF-kertoimella oletetaan, että lämpötila ja lämmitysenergiatarve ovat koko ajan keskimäärin samoja. Käytännössä energiankulutus ei mene kuitenkaan aivan näin suoraviivaisesti. Tämän uskotaan kuitenkin olevan tarpeeksi tarkka oletus laskentaan. Todellisuudessa tätä tulisi tarkentaa vaikka niin, että lämmitysajankohtia tutkittaisiin kuukausittain, koska sisätilojen lämmitystarve määräytyy

pitkälti ulkolämpötilojen mukaan. Esimerkiksi voidaan ajatella lämmityskautta olevan Suomessa 8-9 kk eli aikalailla syyskuusta toukokuuhun. Tässä ajanjaksolla ulkolämpötilavaihtelut ovat huomattavia ja lämmitystarve hyvinkin erilainen. Tällöin voitaisiin eri alueiden suhteen luoda kuukausittaisia lämmitystarve arvioita tarkemmin, ja siten tehokkaammin analysoida lämpökertoimien arvoja. Vastaavaa periaatetta voitaisiin soveltaa maalämpöpumpulle. Poistoilmalämpöpumpulle voitaisiin puolestaan hyödyntää eri ilmanvaihtokertoimia. Painotettuna keskiarvona voitaisiin laskea kuinka vuotuinen lämmitystarve jakaantuisi eri kuukausille lämpötilan mukaan. Yksityiskohtainen tarkastelu olisi työlästä, mutta antaisi tarkkuutta ja varmuutta laskentaan. Kuvassa 5.4 on keskimääräiset kuukausien lämpötilat vuosien 1900-2000 välillä, josta voisi olla Helsingin säävyöhykkeelle jo runsaasti tietoa.



Kuva 5.4. Kuukausikeskilämpötilan vaihtelut Helsingissä vuosien 1900-2000 välillä. Kuvassa lila on keskimääräinen lämpötila. (Ilmatieteen laitos 2009)

Kehitysnäkökulmana laskentaohjelmaan voisi olla myös mittausdatan saaminen lämpöpumpuista. Eri valmistajien ja tyyppien sekä tehojen suhteen olisi mielenkiintoista saada luotettavaa aineistoa, jonka voisi integroida laskentaohjelmaan. Siten ohjelmaan voisi liittää tehopohjaista analyysia ja kartoittaa tarkemmin liikevaihdollisia kustannuksia sekä verkostollisia vaikutuksia. Tämä tulisi olemaan todennäköisesti erittäin haastavaa.

Myös yksittäisten rakennuksien todellinen kustannusvertailu voisi perustua mittauksiin eri lämmitystyyppien ja lämpöpumppujen suhteen. Esimerkiksi omakotitalossa voitaisiin tehdä tarkat lämmityskustannusvertailut öljyn ja IILP:n välillä, jota voitaisiin hyödyntää suoraan laskennassa. Rakennukset voisivat olla pinta-alaltaan valtakunnallisesti keskimääräisiä rakennuksia, joista voisi saada irti entistä luotettavampaa informaatiota esimerkiksi lämmitysenergioiden suhteen.

## **6 VAIKUTUKSET SÄHKÖVERKKOLIIKETOIMINTAAN**

Kun laskentaohjelma ja laskentametodiikka on nyt esitelty, voidaan analysoida saatuja tuloksia. Etukäteen voisi arvioida, että kokonaissähköenergiakulutus pienenesi verkkoyhtiön alueella lämpöpumppujen takia. Argumentteja sähköenergian pienenemiselle ovat esimerkiksi se, että suurin osa lämpöpumpuista asennetaan tällä hetkellä pientaloihin ja sähkölämmityksen korvaajaksi, mistä seuraa sähköenergian käytön väheneminen. Siten myös sähköverkkoliiketoiminnalle tulisi miinusmerkkisiä vaikutuksia, koska tällöin vähenevät myös verkkoyhtiön tulot. Tämä vaikutus suurenee, kun lämpöpumppujen kappalemäärä kasvaa. Laskennallinen arvio verkkoliiketoiminnan muutoksesta tehdään tulevaisuuteen ja tuloksia verrataan nykyhetkeen. Tässä luvussa selvitetään, kuinka merkittävät vaikutukset ovat verkkoyhtiön kannalta.

### **6.1 Laskennassa käytettävät parametrit**

Kaikki Suomen 90 sähköverkkoyhtiötä eroavat jollain tavoin toisistaan. Yhdessäkään verkkoyhtiössä ei ole sama asiakasmäärä, asiakasjakauma, liikevaihto tai toimitettu energia. Jos laskentaohjelman tuloksia halutaan eri verkkoyhtiöistä, joudutaan jokaiseen verkkoyhtiöön tekemään oma tutkimus ja laskenta lämpöpumppujen vaikutuksista.

#### *6.1.1 Perustelut lämpöpumppumäärille*

Tämänhetkistä lämpöpumppujen jakaumaa tai lukumäärää tutkittavalla verkkoalueella ei tiedetä tarkasti ja tulevaisuudenkin lämpöpumppujen kappalemääriä voidaan vain arvioida. Keskeisimpänä tietolähteenä täytyy käyttää valtakunnallista lukumäärää ja jakaumaa, koska alue- tai paikkakuntakohtaisia tietoja ei ole saatavissa. Ylärajana lämpöpumppujen kappalemäärille voidaan pitää rakennusten lukumäärää. Tulevaisuudessa lämpöpumppujen määrän on ennustettu kasvavan reilusti, etenkin IILP:n

osalta. Eri lämpöpumpputyypin suhteen SULPU on antanut seuraavanlaisen arvion vuoteen 2020 (Sulpu 2009):

- § Ilmalämpöpumppu 750 000 kpl
- § Ilmavesilämpöpumppu 76 000 kpl
- § Poistoilmalämpöpumppu 53 000 kpl
- § Maalämpöpumppu 267 000 kpl

Tämän arvion kokonaislämpöpumppumäärä kasvaa yli miljoonaan 2020-luvulle mentäessä. Ennuste on alan toimijoiden tekemä. Tähän tutkimukseen arvio on ehkä hieman liian optimistinen, joten arvioidaan tulevaisuuden eli 2020-luvun valtakunnalliseksi lämpöpumppumääräksi 900 000 kpl, joka edellyttää noin 15 % vuosittaista kasvua seuraavan kymmenen vuoden aikana. Arvioitua lämpöpumppumäärää voidaan perustella asennuskohteiden lukumäärällä, joka rajoittaa todennäköisesti kasvua. Lämpöpumppujen käyttö on soveltunut tähän mennessä lähinnä pientaloihin, joissa sähkö- ja öljylämmittäjien lukumäärä on vähän yli 700 000 kpl. Potentiaalisimmat lämpöpumppujen hankkijat ovat näissä lämmitystyypeissä. Kaikkiin näihin rakennuksiin ei luultavasti lämpöpumppua kuitenkaan tule vielä 2020-luvulle tultaessa, ellei sitä lakisääteisesti tai muilla keinoin niin määrätä. Käyttökelpoisimmista rakennustyypeistä omakotitalojen lisäksi ovat puolestaan rivitalot ja kesämökit. Tämänhetkisten tietojen ja käsitysten pohjalta tiedetään, että muutkin rakennustyypit soveltuvat lämpöpumppulämmitykseen jo tällä hetkellä ja tulevaisuudessa todennäköisesti vielä paremmin. Tulevaisuuden valtakunnalliset lämpöpumppumääräarviot ovat pohjana myös tutkittavan verkkoalueen kappalemäärien arvioille.

Etsitään perusteita, mitkä olisivat todelliset lämpöpumppumäärät tietyssä rakennustyyppissä tietylle lämmitysmuodolle. Tämän tutkimiseen kannattaa käyttää ainoastaan lämmityskustannusten säästöihin pohjautuvaa tarkastelua, mitä on pohdittu jo luvussa neljä. Muita näkökulmia voisivat olla jäähdytysominaisuudet ja ympäristöystävällisyys. Jäähdytyksen ja ympäristöystävällisyyden vaikutuksia ei kuitenkaan tässä tutkita, koska niiden merkityksen oletetaan olevan vähäinen

lämpöpumppujen hankintapäätökseen, verrattuna lämmityksestä saataviin säästöihin. Jäähdytyksestä todettakoon, että sen osuus on kasvussa ja lämpöpumppuja hankitaankin jäähdytyskäyttöön myös sellaisiin rakennuksiin, joissa ei lämmityksestä olisi saatavissa aikaan merkittäviä säästöjä. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi puulämmitteiset pientalot, joihin on hankittu IILP. Sen sijaan jäähdytystä ja ympäristöystävällisyyttä voidaan pitää perusteena täydentää laskentaohjelman skenaarioissa lämpöpumppumääriä. Annettaessa lämpöpumppulukumääriä laskentaohjelmaan täytyy seurata, kuinka monessa prosentissa kohteista silloin on lämpöpumppu. Periaate on, että lämpöpumppumäärä tiettyä rakennus- ja lämmitystyyppiä kohden ei voi ylittää 100 %.

### 6.1.2 Tutkimuksen laskentaparametrit

Tutkimuskohteena on ollut maaseudulla toimiva verkkoyhtiö Parikkalan Valo Oy, joka toimii kuuden kunnan alueella. Asiakkaita yhtiöllä on 10 000 kpl ja tutkimuksessa mukana olevien rakennusten lukumäärä on noin 7 700 kpl. Laskentaparametreina on käytetty sellaisia arvoja, että ne parhaiten vastaisivat todellisuutta verkkoyhtiön ja lämpöpumppujen osalta. Kesämökkien ja maatalouden lämmitysmuotojakaumasta ei ole olemassa tilastotietoja ja siksi ne täytyy määrittää laskentaa varten. Kesämökkien lämmitys on jaettu tasan sähkö- ja puulämmityksen kanssa. Maataloudessa sekä öljyn että sähköön osuutena on käytetty 30 % ja puun 40 %. Sähkölämmittäjien suhteeksi verkkoyhtiössä arvioitiin suoralle 80 % ja varaavalle 20 %. Keskimääräisinä lämpökertoimina käytetään taulukon 6.1 arvoja.

Taulukko 6.1. Laskennassa käytettyjen lämpöpumpputyypin keskimääräiset lämpökertoimet eli SPF-kertoimet ovat taulukossa.

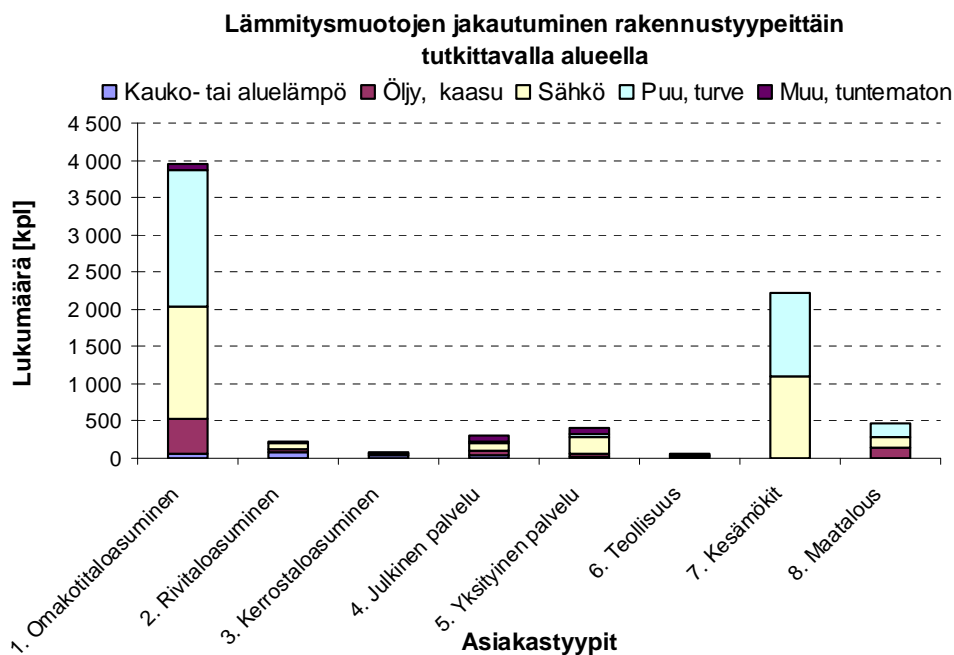
Lämpöpumpputyypit:	Tällä hetkellä	Tulevaisuudessa
Ilma-ilmalämpöpumppu	2	3
Ilma-vesilämpöpumppu	2	3
Poistoilmalämpöpumppu	1,8	2,2
Maalämpöpumppu	3,1	3,5

Lämpökertoimien kehityksessä on tapahtunut ulkoilmalämpöpumppujen osalta huomattavaa kehitystä viime vuosina ja lämpöpumput toimivat yhä alhaisemmissa



lämpötiloissa paremmilla lämpökertoimilla. Kehityksen odotetaan jatkuvan ja taulukon IILP ja IVLP lämpökertoimien kasvu perustuu tähän. PILP:n ja MLP:n suhteen ei ole enää odotettavissa kovinkaan suurta kehitystä, sillä näiden laitteiden toimintaympäristö on koko ajan lähes vakaa ja lämpökertoimien nostaminen tulee siten olemaan vaikeaa.

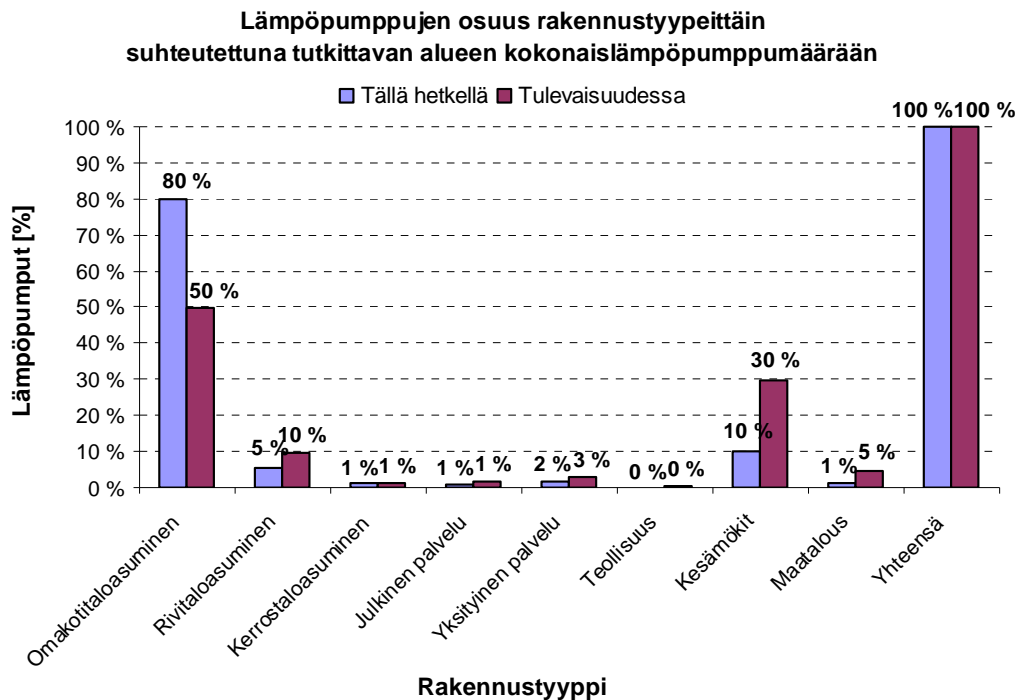
Kuvassa 6.1. esitetään verkkoalueen eri lämmitysmuotojen jakauma rakennustyypeittäin. Näyttää siltä, että tutkittavalla alueella rakennusten lukumäärässä mitattuna eniten rakennustyyppinä on omakotitaloasumisessa ja kesämökeissä. Alue on maaseutua, mikä näkyy myös osittain lämmitysmuodoista. Puu-, sähkö- ja öljylämmitystä näyttäisi olevan paljon, kun taas kaukolämmityksen osuus on melko pieni. Öljy- ja sähkölämmityksen sekä omakotitaloasumisen ja kesämökkien suuri suosio vaikuttavat myönteisesti lämpöpumppujen asentamiseen verkkoalueelle.



Kuva 6.1. Kuvassa on lämmitysmenetelmien jakauma rakennustyypeittäin esimerkkialueella.

Tämän hetken lämpöpumppujen jakaumaa eri lämmitys- ja rakennustyyppien suhteen ei tiedetä varmasti, minkä vuoksi sitä täytyy arvioida. Valtakunnallisesta lämpöpumpputyypien jakaumasta tällä hetkellä noin 65 % on UILP, 25 % MLP ja

10 % on PILP. Lämpöpumppujen voidaan olettaa jakautuvan rakennus- ja lämmitystyyppien mukaan yleisesti ottaen tasaisesti, mutta tutkittavan alueen jakaumaan täytyy suhtautua aina pienellä varauksella. Seuraavat lukuarvot ovat siten suuntaa antavia. Oletetaan, että tällä hetkellä suurin osa eli 80-90 % lämpöpumpuista on omakotitaloasumisessa. Lämpöpumppujen määrän suhteen seuraaviksi suurimmista rakennustyypeistä ei ole tarkkaa tietoa, mutta arvioituna suurimmat ovat rivitalot ja kesämökit, joiden osuudet lienevät 5-10 % luokkaa. Teollisuudessa ei tiettävästi ole juurikaan käytössä lämpöpumppuja tällä hetkellä. Muissa rakennustyypeissä prosentuaaliset osuudet oletetaan pieniksi (~1 %). Kuva 6.2 havainnollistaa lämpöpumppujakautumista tällä hetkellä ja tulevaisuudessa tutkittavalla verkkoalueella. Selvästi eniten laitteita on tällä hetkellä omakotitaloasumisessa. Koska muissa rakennustyypeissä lämpöpumppumäärät tulevat kasvamaan, pienentää se suhteellisesti tulevaisuudessa omakotitalojen lämpöpumppujen osuutta.



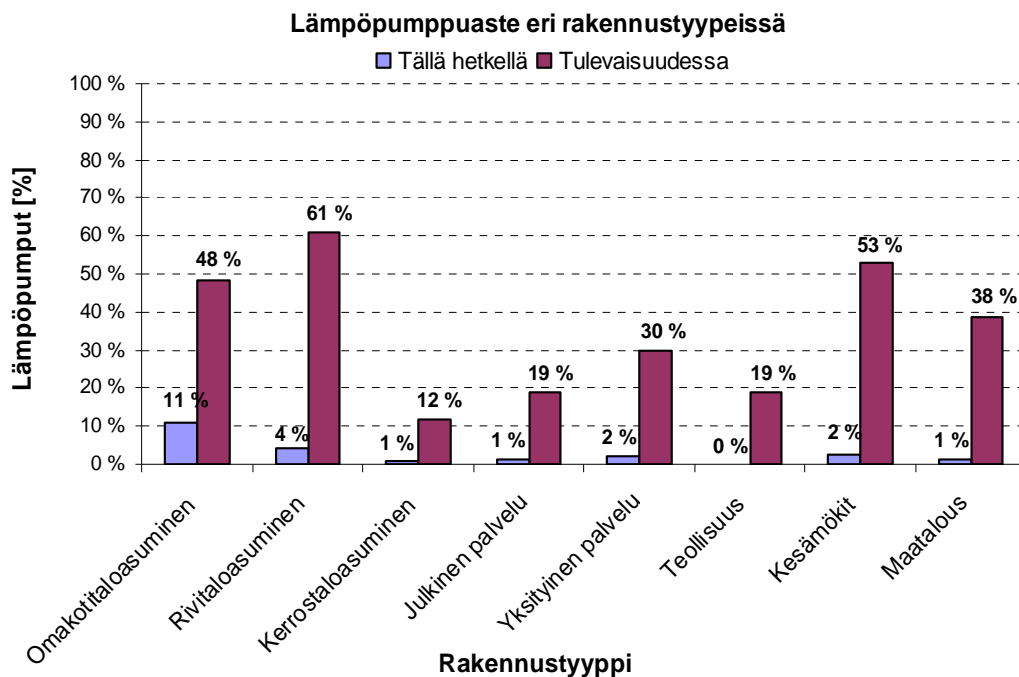
Kuva 6.2. Kuva esittää arvion tutkittavan verkkoalueen lämpöpumppujen jakautumisesta eri rakennustyyppien mukaan. Kuvan % -lukemat ovat suuntaa antavia arvioita, ja ne perustuvat pääasiallisesti lämmityksen taloudellisuuteen.

Tämä malli sopinee muihinkin verkkoalueisiin. Lämmitystyyppien suhteen lämpöpumput on asennettu tällä hetkellä pääasiassa sähkölämmitteisiin rakennuksiin. Lämpöpumppuja on sähkölämmitteisissä rakennuksissa tällä hetkellä vähemmän kuin 10 %, paitsi omakotitaloasumisessa, jossa niitä voi olla 10-30 %. Lämmityksen näkökannalta vertailtaessa lämpöpumppuja muihin lämmitysmenetelmiin, kiinnitty suurin huomio sähkölämmitykseen ja lähes poikkeuksetta suoraan sähkölämmitykseen. Lämpöpumppujen energiankulutusta vertaillaan sähkölämmitykseen, jolloin lämpöpumpuilla saadaan suurin hyöty niin sähköenergiankulutuksen kuin sähkölaskunkin säästön kannalta. Luvussa *4 Lämpöpumppujen taloudellisuus* on perusteltu lämpöpumppujen käyttöä eri lämmitysmenetelmien yhteyksissä. Hyödynnetään talouslaskelmia ja perustetaan arviot näihin. Oletetaan, että tulevaisuudessa eli 2020-luvun alkupuolella lähes kaikilla sähkölämmittäjillä on lämpöpumppu. Tämä voisi tarkoittaa erityisesti päätarkastelukohteissa eli omakotitaloissa, rivitaloissa ja kesämökeissä 90-95 % kaikista sähkölämmittäjistä. Muihinkin rakennustyyppeihin lämpöpumppuja tullaan varmasti asentamaan kasvavissa määrin. Ainakin IILP määrän voidaan ennustaa kasvavan samaan tahtiin kuin aikaisemmin, joten muissa sähkölämmitteisissä rakennustyypeissä lämpöpumppujen osuus voi vaihdella 30-90 %.

Muut merkittävimmät vertailtavat lämmitysmuodot ovat kaukolämpö-, öljy- ja puulämmitys. Huomioituna investointi, ei kaukolämpörakennuksiin ole taloudellisesti kannattavaa asentaa lämpöpumppuja. IILP parantaa kuitenkin asumismukavuutta. Arvioidaan siksi kaukolämmitysrakennuksissa lämpöpumppujen määräksi alle 30 %. Omakotitalorakennuksissa määrä voi olla myös suurempi. Öljylämmityksessä vain IILP saadaan lämmityssäästöjä aikaan, kun investointi on tarkastelussa mukana. Lämpöpumpuilla tuotettu lämpö on kuitenkin halvempaa kuin öljylämmitys ja tämän vuoksi rakennuksen lämmitysmenetelmän tarvitessa saneerausta on lämpöpumppu todennäköinen vaihtoehto. Tällä perusteella omakotitaloissa ja rivitaloissa lämpöpumppuja voi olla tulevaisuudessa noin 80 % kaikista öljylämmitteisistä rakennuksista. Muissa rakennustyypeissä vastaava luku jää luultavasti alle 40 %. Puu eli pellettilämmitys on puolestaan niin halpaa, että investointi huomioiden mitään lämpöpumppua ei kannata laittaa puulämmitteiseen rakennukseen. Puulämmityksen

hintakin on niin halpaa, että vain maalämpö pystyy kilpailemaan sen kanssa. Perusteltu vaihtoehto on käyttää IILP kierrättämään lämmintä ilmaa sekä jäähdytystarkoitukseen. Jos puulämmitysrakennuksissa on perinteinen varaava takka, on toki mahdollista että maalämpö korvaisi näitä lämmitysmenetelmänä saneeraustarpeen ilmaantuessa. Niinpä jokaisessa rakennustyyppissä puulämmityksen osuus jää alle 10 %. Ryhmässä muu lämmitysmenetelmä arvioidaan lämpöpumppumääräksi 0 %, koska lämmitysmenetelmän lukumäärän on oletettu olevan tässä tarkastelussa pieni ja merkityksetön.

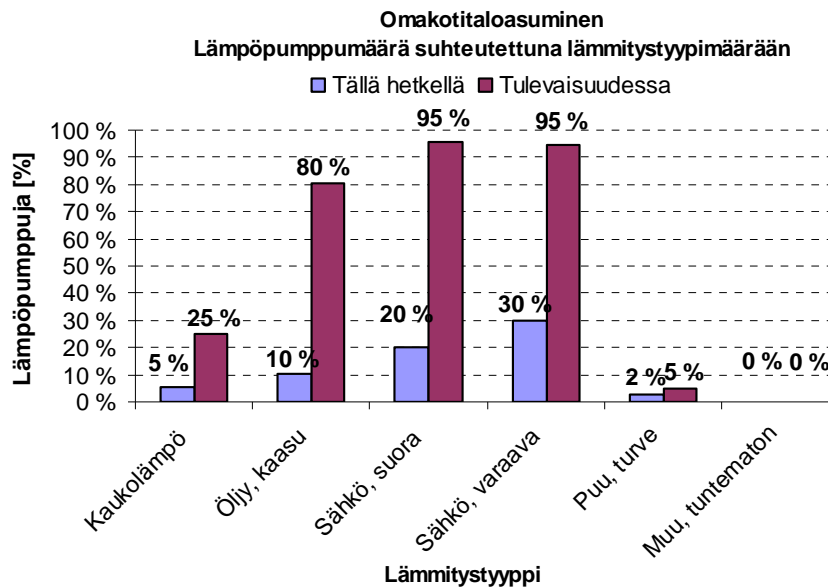
Tutkitaan lämpöpumppuastetta eri rakennustyypeissä. Tämä selviää kuvasta 6.3. Lämpöpumppuaste kertoo lämpöpumppujen lukumäärän suhteessa kokonaisrakennusmäärään. Kuvasta voidaan nähdä, että lämpöpumppujen määrän on arvioitu kasvavan suhteellisesti eniten rivitaloissa, kesämökeissä, omakotitaloissa ja maatalouksissa.



Kuva 6.3. Lämpöpumppuaste kuvaa lämpöpumppujen lukumäärää verrattuna rakennusmäärään. Kuvasta voidaan siten lukea, että skenaarion mukaan kaikista omakotitaloista 48 % olisi tulevaisuudessa lämpöpumppu.

Yleinen lämpöpumppumäärien kasvu vaikuttaa selvästi jokaiseen rakennustyyppiin. Tämä perustuu IILP:n laajaan käyttömahdollisuuteen sekä tällä hetkellä toiminnassa olevien lämmitysratkaisujen saneeraustarpeeseen. Prosenttiosuudet perustuvat tutkittavan verkkoalueen kokonaislämpöpumppumääräarvioon. Kuvan rakennustyyppien prosenttilukemat muodostuvat edellä esitettyjen perusteluiden pohjalta.

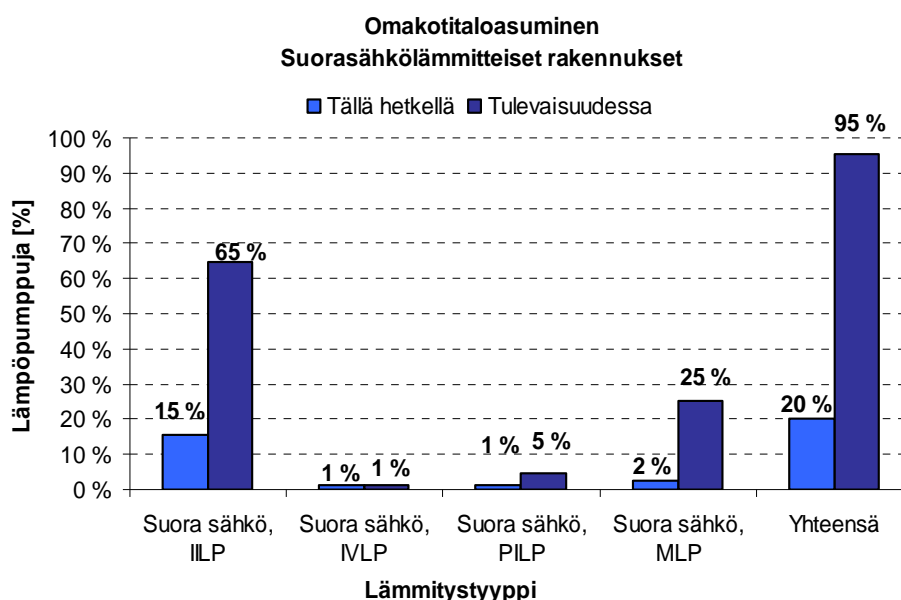
Kuvassa 6.4. on esitetty omakotitaloasumisen suhteellinen lämpöpumppumäärä eri lämmitystyypeissä. Tämä kertoo lämpöpumppumäärän suhteutettuna omakotitalojen tiettyyn lämmitystyyppimäärään. Prosenttilukema tulee siis annettujen kappalemäärien perusteella ja käsittää kaikki neljä lämpöpumpputyyppiä. Esimerkiksi jos kaukolämmöllä lämpiäviä omakotitaloja on yhteensä 100 kpl, on niissä tällä hetkellä viidessä kappaleessa eli 5 %:ssa lämpöpumppu.



Kuva 6.4. Omakotitaloasumisen suhteutetut lämpöpumppumäärät ovat laskennassa kuvan mukaiset. Jakauma perustuu lämmityksestä saataviin säästöihin ja tutkittavan alueen ennusteisiin lämpöpumppujen kokonaiskappalemäärästä.

Suhteessa lämmitystyyppien rakennusmäärään, eniten omakotitaloasumisessa lämpöpumppuja on arvioitu tulevaisuudessa olevan sähkölämmitteisissä rakennuksissa. Kuvasta voidaan lukea esimerkiksi, että arvion mukaan tulevaisuudessa

suorasähkölämmitteisiin omakotitalorakennuksiin lämpöpumppuja on asennettu 95 % kaikista suorasähkölämmitteisistä omakotitalorakennuksista. Tulevaisuudessa lämpöpumppuja olisi reilusti enemmän kuin tällä hetkellä. Suhteessa eniten niitä olisi sähkö- ja öljylämmityksessä. Katsotaan tarkemmin arvioitua lämpöpumppujakaumaa suorasähkölämmitteisessä omakotitalorakennuksessa kuvasta 6.5. Jakauma perustuu tässäkin lämmityksestä saataviin säästöihin ja tutkittavan alueen ennusteisiin lämpöpumppujen kokonaiskappalemäärästä. Lämpöpumpputyypin keskinäiset jakaumasuhteet perustuvat valtakunnalliseen lämpöpumppumääräarvioon eli siihen, että tulevaisuudessa noin 70 % on UILP, 25 % MLP ja 5 % PILP.



Kuva 6.5. Omakotitaloasuminen suorasähkölämmitteisten rakennuksien lämpöpumppumäärät arvioituna tällä hetkellä ja tulevaisuudessa. Yhteensä sarake on sama kuin kuvan 6.4 kohta sähkö, suora.

Eniten suorasähkölämmitteisissä pientaloissa on arvioitu olevan IILP ja MLP, mikä perustuu koko maan lämpöpumppumääräjakauman arvioon. Kuvan mukaisten prosenttilukemien määrittäminen on erittäin haastavaa. Kuvassa on eritelty, miten eri lämpöpumpputyypin oletetaan jakautuvan suorasähkölämmitteisessä omakotitalossa tutkittavan verkkoalueen rakennuksissa. Tämä arvio perustuu lämpöpumpputyypin jakaumaan. Lukumäärien arvioiminen laitetyypin kohdalta tiettyyn lämmitystyyppiin on melko työlästä ja haastavaa. Prosenttilukemia kannattaa vertailla laitetyypin kanssa

keskenään ja lopuksi täytyy vain seurata rakennustyyppin ja koko tutkittavan alueen kokonaislämpöpumppumäärää. Ongelmana tässä on se, että joidenkin rakennusten lämmitystyyppimäärä voi olla niin pieni, että lämpöpumppujen suhteutetusta prosenttiluvusta ei tule halutunlainen luku. Tämä ilmenee esimerkiksi silloin, jos haluttaisiin arvioida tulevaisuudessa olevan 25 %:ssa kaukolämmitteisistä omakotitaloista lämpöpumppu ja tutkittavalla alueella on 13 kpl kaukolämmitteistä omakotitaloa. Tällöin voidaan arvioida, että näissä rakennuksissa tulisi olla kolme LP, mikä tarkoittaa prosentuaalisesti 23 % eikä tavoiteltua 25 %. Arvioitu kokonaislämpöpumppumäärä tutkittavalla alueella tällä hetkellä ja tulevaisuudessa nähdään taulukosta 6.2.

Taulukko 6.2. Lämpöpumppujen lukumäärä ja prosentuaalinen osuus kaikissa rakennuksissa tällä hetkellä ja tulevaisuudessa on luettavissa taulukosta.

<i>Ajankohta:</i>	Tällä hetkellä 2009	Tällä hetkellä 2009	Tulevaisuudessa 2020-luvun alku	Tulevaisuudessa 2020-luvun alku
<i>Lämpöpumpputyypit:</i>	[kpl]	[%]	[kpl]	[%]
Ilma-ilmalämpöpumppuja	430	6 %	2 740	36 %
Ilma-vesilämpöpumppuja	20	0 %	220	3 %
Poistoilmalämpöpumppuja	30	0 %	190	2 %
Maalämpöpumppuja	80	1 %	800	10 %
<i>Yhteensä</i>	560	7 %	3 950	51 %

Taulukon kappalemäärät on arvioitu koko maan lämpöpumppumääristä. Verrattuna lämpöpumppumäärää verkkoalueen kokonaisrakennusmäärään saadaan kokonaislämpöpumppuaste, joka taulukon mukaan on tällä hetkellä 7 % ja tulevaisuudessa 51 %. Kappalemääräennustuksen mukaan, lämpöpumppujen määrän tulisi siten 7-kertaistua reilussa kymmenessä vuodessa verkkoalueella, jotta arvio pitäisi paikkansa. Jos lämpöpumppujen määrä olisi tulevaisuuden 51 % lämpöpumppuasteen sijaan joku muu, vaikka 80 %, muuttuisivat tulokset taas erilaisiksi ja vaikutukset sähköenergiankulutukseenkin olisivat aivan toisenlaiset.

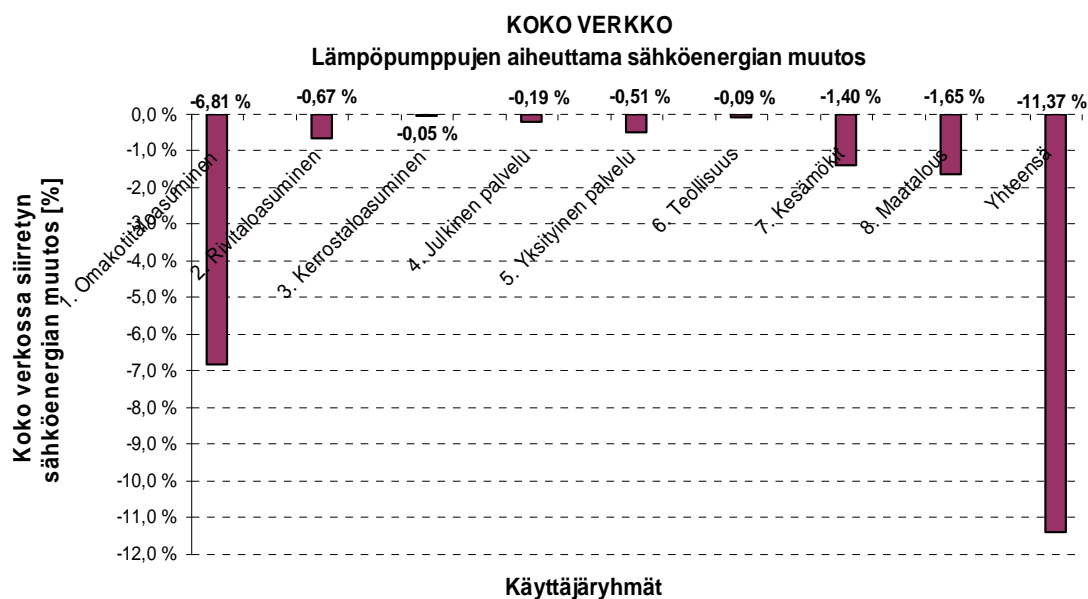
## 6.2 Vaikutukset sähköenergian kannalta

Sähköverkkoliiketoimintaan vaikuttaa ratkaisevissa määrin toimitetun sähköenergian määrä. Laskennan tuloksista käsitellään ensin sähköenergian osuus, jolloin eri

rakennustyypeihin kohdistuvat kokonaissähköenergiavaikutukset saadaan selville. Tutkimuksessa on tehty perusskenaario sekä worst-case eli suurimman mahdollisen vaikutuksen skenaario. Perusskenaario on kaikkein eniten odotettavissa oleva skenaario ja worst-case kaikkein voimakkaimmin vaikuttava skenaario.

### 6.2.1 Vaikutus sähköenergiaan perusskenaariolla

Perusskenaariossa kaikki arviot on tehty mahdollisimman perustellusti ja realistisesti. Laskennassa on käytetty edellä esitetyn kappaleen parametreja. Esimerkiksi lämpöpumppumäärissä on käytetty taulukkoa 6.2. Selvitetään alkuun lämpöpumppujen vaikutukset sähköenergiaan. Kuva 6.6 kertoo tulokset käyttäjäryhmittäin ja summattuna yhteensä. Kokonaisvaikutus sähköenergiaan näyttäisi olevan annetuilla laskentaparametreilla merkittävä.

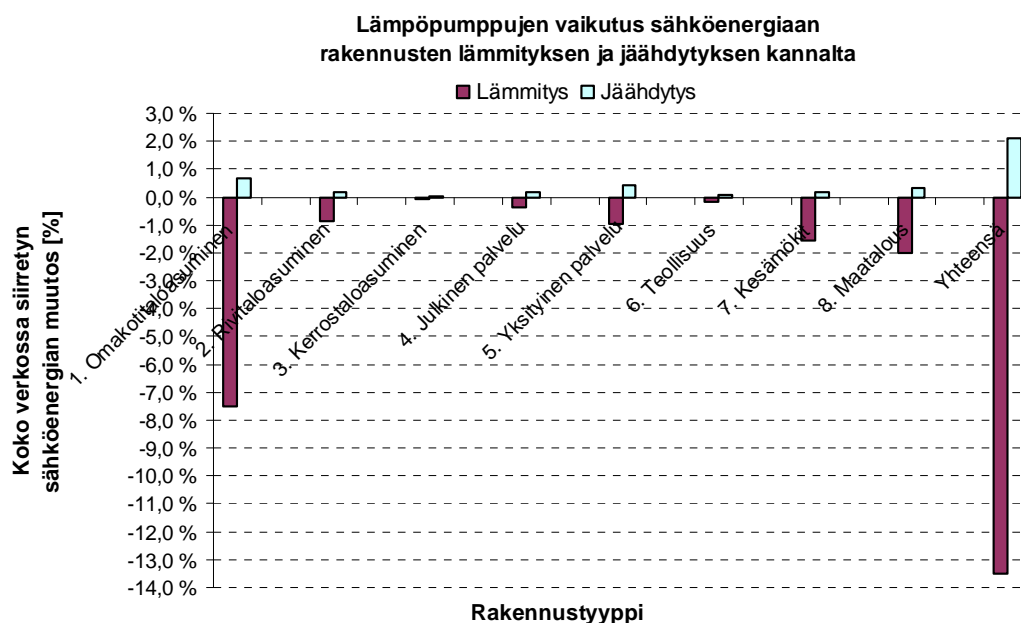


Kuva 6.6. Kuva kertoo lämpöpumpuista aiheutuvan sähköenergian muutoksen tutkittavassa verkkoalueessa. Tutkittavana alueena on ollut koko verkkoalue ja siinä olevat rakennukset.

Vaikutus kaikkien lämpöpumppujen ja rakennustyyppien suhteen olisi tutkittavasta hetkestä 2020-luvulle saakka negatiivinen. Sähköenergian kulutus laskisi noin 11 % koko verkkoalueen toimitettavan sähköenergian määrästä. Suurimmat vaikutukset tulevat



omakotitaloasumisesta, joka käsittää yli puolet koko verkkoalueen vaikutuksista. Seuraavaksi eniten yksittäisistä rakennustyypeistä vaikuttavat maatalous ja kesämökit. Kesämökeissä on oletettu olevan paljon lämpöpumppuja tulevaisuudessa, mutta lämmitysenergiamäärät ovat erittäin pieniä. Nyt on kuitenkin huomioitava se, että suurin osa lämpöpumpuista on asennettu sähkö- ja öljylämmitteisiin rakennuksiin, jolloin öljylämmitteisten rakennusten lämpöpumput lisäävät sähkönkulutusta. Tutkittavalla alueella on vielä paljon kohteita, joissa on sähkölämmitys, mutta niissä ei ole lämpöpumppua. Tämä ei siis ole kaikkein pahin skenaario vaan laskennan on tässä oletettu olevan mahdollisimman realistinen. Tutkitaan erikseen lämpöpumppujen lämmitysenergiaa ja jäähdytysenergiaa, jolloin voidaan huomata eroja käytetyn energian suhteen. Kuvassa 6.7 on lämpöpumppujen käytöstä johtuvat sähköenergian muutokset eriteltynä rakennustyypeittäin lämmityksen ja jäähdytyksen suhteen.

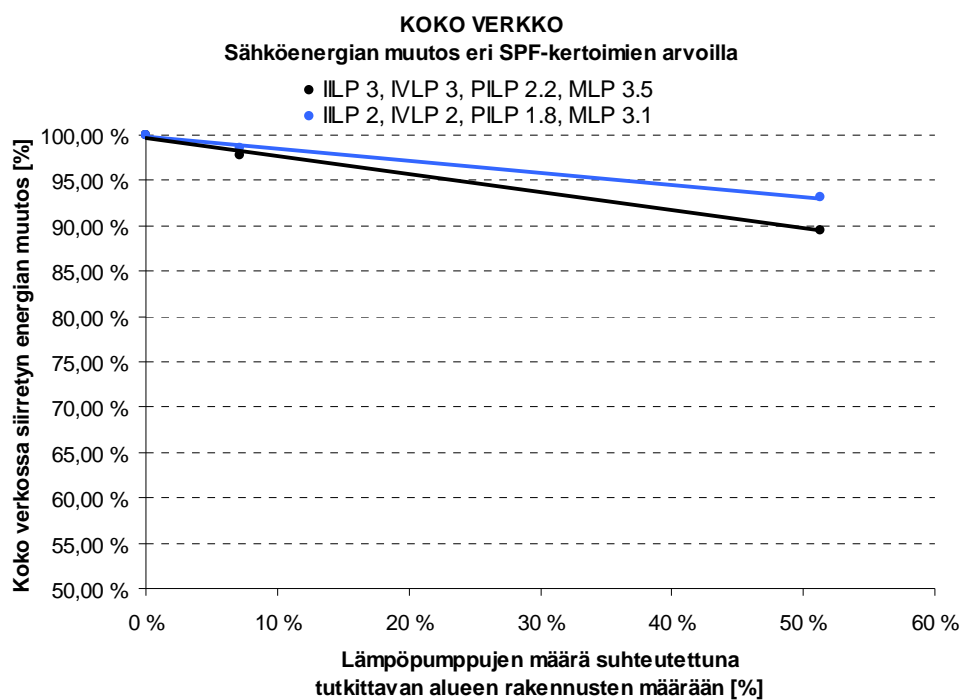


Kuva 6.7. Kuva kertoo lämpöpumppujen vaikutuksen rakennusten sähköenergiaan lämmityksen ja jäähdytyksen kannalta.

Lämmityksessä on tyypillistä, että lämpöpumput pienentävät käytettävää sähköenergiämäärää mikäli lämpöpumppu on asennettu lisälämmitykseksi tai kokonaan uudeksi lämmitysjärjestelmäksi sähkölämmitteiseen rakennukseen. Jäähdytyksen taas

oletetaan lisäävän aina sähköenergian käyttöä. Kaiken kaikkiaan jäähdytyksen ja lämmityksen välinen ero on selkeä. Lämmityksessä lämpöpumput vähentäisivät skenaarion mukaan 13 % kokonaissähköenergiankulutusta, mikä on huomattavan paljon enemmän kuin vastaava jäähdytyksen lisäämä 2 % sähköenergiankulutus verrattuna kokonaissähköenergiankulutukseen. Skenaariossa omakotitaloasuminen käyttäisi suurimman osan jäähdytyksestä eri rakennustyypeissä. Tätä selittävät omakotitaloasuminen suuri lämpöpumppumäärä sekä jäähdytysenergian kohtuullisen suuri tarve. Vaikka kesämökeillä olisi suuri lämpöpumppuaste, on siellä tyypillisesti tarvittava jäähdytysenergian määrä sen verran pieni, ettei sen osuus muodostu niin merkittäväksi. Maataloudessa tilanne on taas päinvastainen, jolloin jäähdytysenergian tarve voi olla suuri, vaikka lämpöpumppuaste olisi pieni.

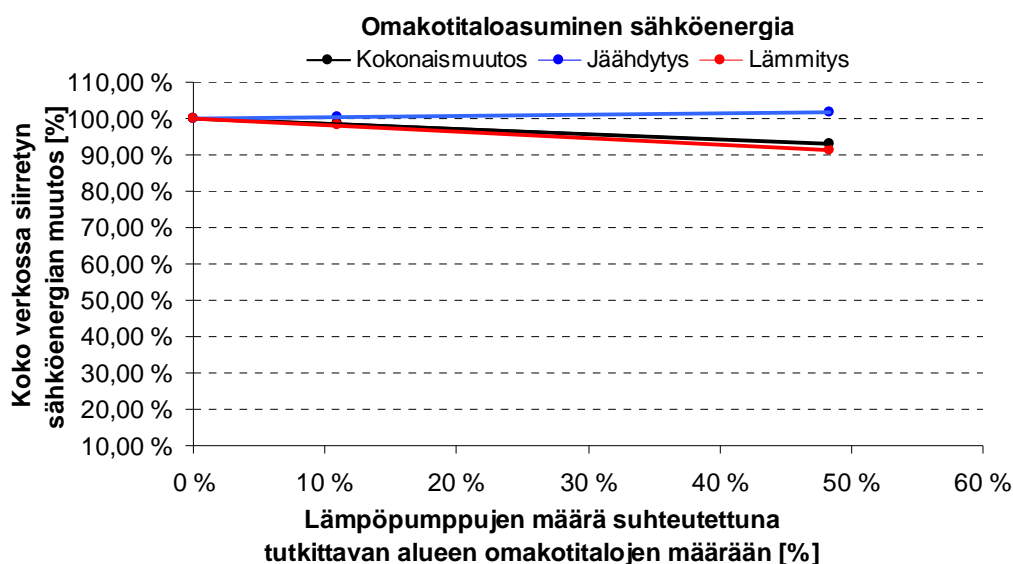
Laskentaohjelman laskenta perustuu lämpökertoimiin ja keskimääräisiin energia-arvoihin. Lämpökertoimissa tapahtuu muutosta ja kehitystä ajansaatossa, jonka vuoksi on hyvä arvioida lämpökertoimien vaikutusta sähköenergian muutokseen. Kuvassa 6.8 tämä on tehty käyttämällä SPF-kertoimia.



Kuva 6.8. Sähköenergian muutos tutkittavalla alueella eri SPF arvoilla, kun lämpöpumppuaste on 51 %.

Aikaisempia parametreja on muutettu sikäli, että taulukossa 6.1 mainitut lämpökertoimet ovat tällä hetkellä ja tulevaisuudessa samat eli kuvan 6.8 sinisen käyrän laskennassa on käytetty tällä hetkellä ja tulevaisuudessa IILP:lle lämpökerrointa 2. Siten nämä tulokset eivät ole suoraan verrannolliset aikaisemmin esitettyihin sähköenergianmuutoksen tuloksiin. Tästä kuvaajasta kuitenkin voidaan erotella lämpökertoimien vaikutus. Lämpöpumppuasteen ollessa 51 %, huomataan suorien välillä noin 5 prosenttiyksikön ero. Suurempien vaikutusten syntyminen edellyttäisi myös poistoilma- ja maalämpöpumppujen lämpökertoimien merkittävämpää kehittymistä. Kuvan muutos tarkoittaisi sitä, että uusien ja energiatehokkaampien lämpöpumppujen asentaminen kiinteistöihin kasvattaisi vaikutusta verkkoyhtiöihin entistä voimakkaammin. Uusien lämpöpumppujen tulisi toimia siis paremmilla SPF-kertoimilla.

Kuten kuvasta 6.6 havaittiin, oli suurin muutos eri rakennustyypeissä sähköenergian osalta tapahtunut omakotitaloasumisessa, joka oli suuruudeltaan noin -7 %. Tarkastellaan tästä syystä kuvassa 6.9. omakotitaloasumista yksittäisenä osa-alueena tutkittaessa sähköenergian muutosta koko tutkittavalla alueella.

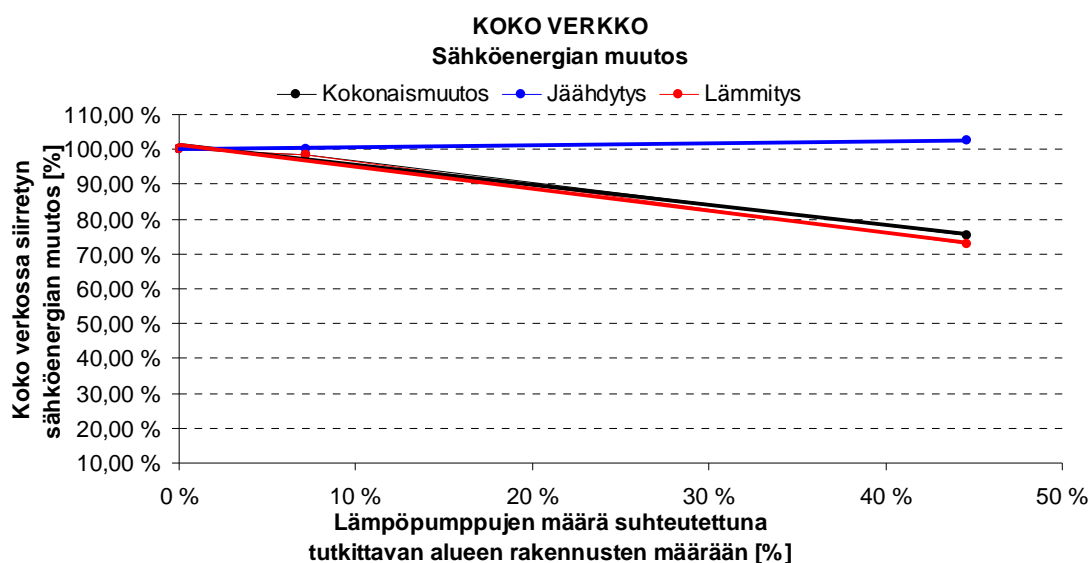


Kuva 6.9. Omakotitaloasumisen lämpöpumppujen vaikutus tutkittavan alueen koko sähköenergian. Mustan käyrän oikeassa laidassa oleva piste 48 % kohdalla kertoo omakotitaloissa olevien lämpöpumppujen kokonaisvaikutuksen sähköenergian, eli saman kuin kuvan 6.6 kohta omakotitaloasuminen. Jäähdytys ja lämmitys ovat eriteltyinä kuvassa.

Kuvassa on omakotitalojen muutoksen tulokset suhteutettu koko verkkoyhtiön tuloksiin. Lämpöpumppujakauma on puolestaan kuvan 6.4 mukainen. Siten 48 % lämpöpumppumäärällä saadaan omakotitaloissa aikaan sähköenergiaa 7 % pienentävä vaikutus, mikä voidaan lukea kuvan mustalta käyrältä. Tämä rakennustyyppi vaikuttaa kaikkein eniten sähköenergiaan tällä verkkoalueella sekä luultavasti myös muiden sähköverkkoyhtiöiden alueella.

### *6.2.2 Vaikutus sähköenergiaan suurimman mahdollisen vaikutuksen skenaariolla*

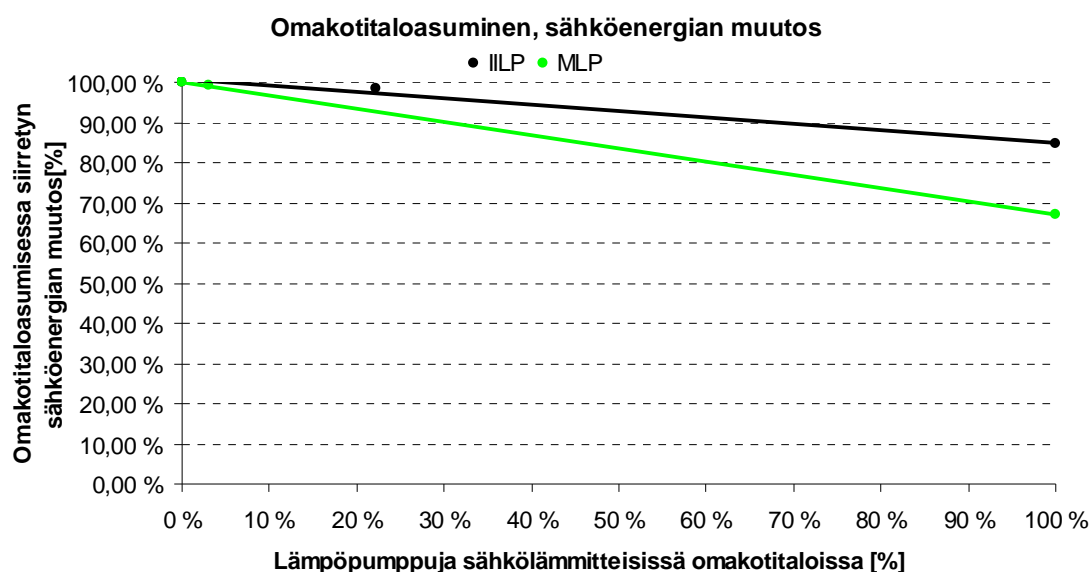
Suurimman mahdollisen vaikutuksen eli worst-case skenaarion tarkoitus on selvittää teoreettisesti voimakkain vaikutus, joka lämpöpumpuilla voidaan saada aikaan. Selvitetään alkuun lämpöpumppujen vaikutukset sähköenergiaan. Lämpöpumppujen vaikutus on suurimmillaan silloin, kun jokaisessa sähkölämmitteisessä rakennuksessa on lämpöpumppu. Parametreja on muutettu perusskenaarioon verrattuna niin, että tulevaisuudessa lämpöpumppuja on vain sähkölämmitysrakennuksissa. Sekä suoran että varaavan sähkölämmitysrakennusten lämpöpumppujen osuus on siis jokaisessa rakennustyyppissä 100 %. Tämä tarkoittaa, että koko verkkoalueen sähkölämmittäjien osuus on 45 % kaikista rakennuksista. Lämpöpumpputyyppeinä käytetään ilma-ilma- ja maalämpölämpöpumppuja, koska näillä saadaan aikaan suurimmat vaikutukset ja ne ovat myös yleisimmät lämpöpumpputyypit tällä hetkellä. Lämpöpumput jakautuvat tässä niin, että IILP:ja on 25 % ja MLP:ja 75 %. Muuten laskenta noudattaa samaa laskentamethodiikkaa ja parametrit ovat samat. Kuvassa 6.10 on laskettu tutkittavan alueen suurin mahdollinen lämpöpumpuista syntyvä sähköenergian pieneneminen verkkoalueella. Kuvassa on esitetty kokonaissähköenergian muutos, sekä lämmitys ja jäädytys. Kuvasta katsomalla suurin mahdollinen vaikutus näillä arvoilla on 45 % kohdalla olevassa pisteessä, jolloin sähköenergia on laskenut noin 75 %:iin alkuperäisestä. Käytännössä tämä siis tarkoittaa sitä, että lämpöpumput voivat vaikuttaa suurimmillaan tässä verkkoyhtiössä 25 % -yksikköä pienentävästi sähköenergiaan verrattuna tähän hetkeen.



Kuva 6.10. Kokonaissähköenergian muutos, kun tarkastellaan suurinta mahdollista sähköenergian pienentämistä tutkittavalla alueella. Kaikissa sähkölämmitteisissä rakennuksissa on nyt lämpöpumppu, mikä tarkoittaa 45 % kaikista rakennuksista. Lämpöpumppujen jakauma on IILP:ja 25 % ja MLP:ja 75 %.

Jos lämpöpumppuasteeksi ilmoitettaisiin 100 % ja käytössä olisivat kaikki lämpöpumput, muutos sähköenergiankulutuksen suhteen ei olisi suurin mahdollinen, sillä silloin lämpöpumppuja täytyisi asentaa kaikkiin rakennustyyppeihin. Seurauksena olisi, että vaikutus sähköenergian kannalta olisi aivan toisenlainen kuin mitä kuvassa. Tehtäessä vastaavanlaisia arvioita tulisi esittää myös lämpöpumpputyypin jakaumat. Laskentaohjelman käyttäjällä on siis vastuu, minkälaisessa muodossa hän tulokset esittää.

Katsotaan vielä kuinka suuri ero syntyy MLP:lla ja IILP:lla sähköenergiankulutuksen säästöissä. Tutkitaan tätä pelkästään omakotitaloasumisessa. Muutetaan lämpöpumppujakaumaa omakotitaloasumisessa nyt niin, että tulevaisuudessa sähkölämmitteisissä rakennuksissa on yhteensä 100 %:ssa lämpöpumppu, eli jokaisessa sähkölämmitteisessä talossa on lämpöpumppu. Muutetaan lämpöpumppujen suhteita edellisestä kuitenkin niin, että lämpöpumpuista joko 100 % on IILP:ja tai 100 % MLP:ja. Tällöin saadaan kuva 6.11. MLP lämpökerroin on 3,1 ja IILP lämpökerroin on 2. Tulokset suhteutetaan tässä nyt vain verkkoalueen omakotitalojen käyttämään sähköenergiaan.



Kuva 6.11. IILP ja MLP pienentävät koko esimerkkialueen omakotitaloasumisessa sähköenergiankulutusta eri määrän.

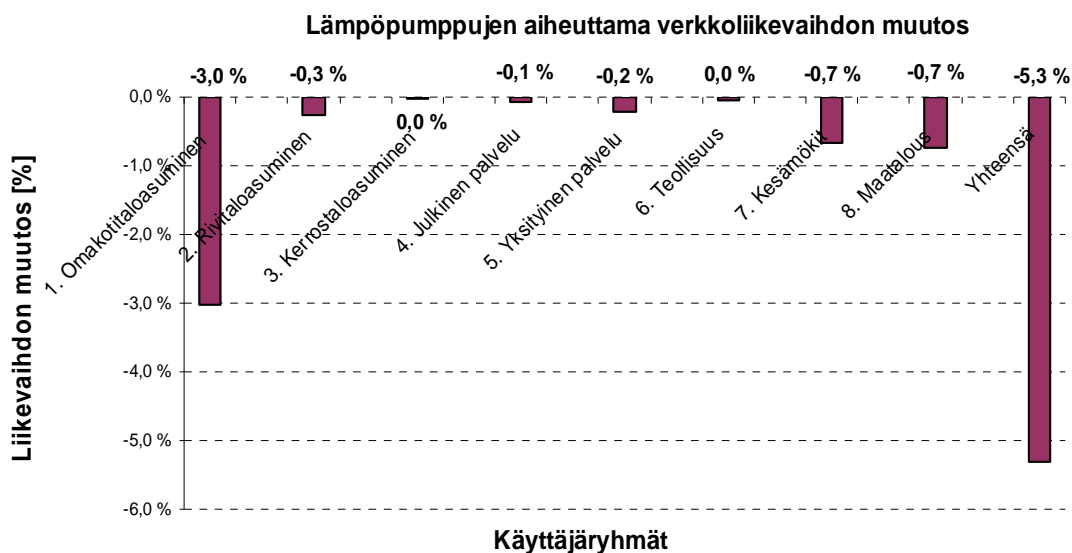
Kuvasta huomataan, että eroa syntyy lämpöpumpputyypin välillä. Maalämpöpumpulla pystytään huomattavasti suurempiin sähköenergia säästöihin kuin ilma-ilmalämpöpumpulla. Verkkoalueen omakotitalojen kokonaisenergiankulutus vähenisi noin 65 %:iin muuttamalla sähkölämmitteisten omakotitalojen lämmitysjärjestelmä maalämmöksi. IILP:lla vastaavasti omakotitalojen kokonaisenergiankulutus vähenisi noin 85 %:iin lähtötilanteesta. Maalämmön vaikutus olisi jo erittäin merkittävä, mutta kaikkien sähkölämmitteisten omakotitalojen muuttaminen maalämpöpumppulämmitteiseksi ei ole odotettavissa. Jos omakotitaloihin ei tulisi muihin lämmitysjärjestelmiin lämpöpumppuja, voidaan suorista lukea molempien lämpöpumpputyypin aiheuttama vaikutus erikseen. Esimerkiksi jos IILP:ja on 70 %:ssa sähkölämmitteisistä omakotitalorakennuksista, on vaikutus esimerkkialueen omakotitaloasumisen kokonaissähköenergiaan -10 % verrattuna tähän ajankohtaan. Muiden rakennustyyppien osalta vastaavanlainen tarkastelu ei ole yhtä mielekästä, sillä niistä saadut tulokset ovat huomattavasti pienempiä verrattuna omakotitaloasumiseen.

### 6.3 Vaikutukset verkkoliikevaihdon kannalta

Sähkönjakeluyhtiöiden laskutus siirtotariffin osalta perustuu energiamaksuun ja perusmaksuun, joista joudutaan maksamaan lisäksi verot. Perusmaksu on aina kuukausittain tai vuosittain maksettava kiinteä maksu. Siirtotariffin kokonaisenergiamaksu vuodessa määräytyy taas liittymäkohtaisesti käytetyn sähköenergian mukaan. Tätä kautta lämpöpumput vaikuttavat verkkoyhtiöiden verkkoliikevaihtoon, jota tutkitaan nyt tarkemmin.

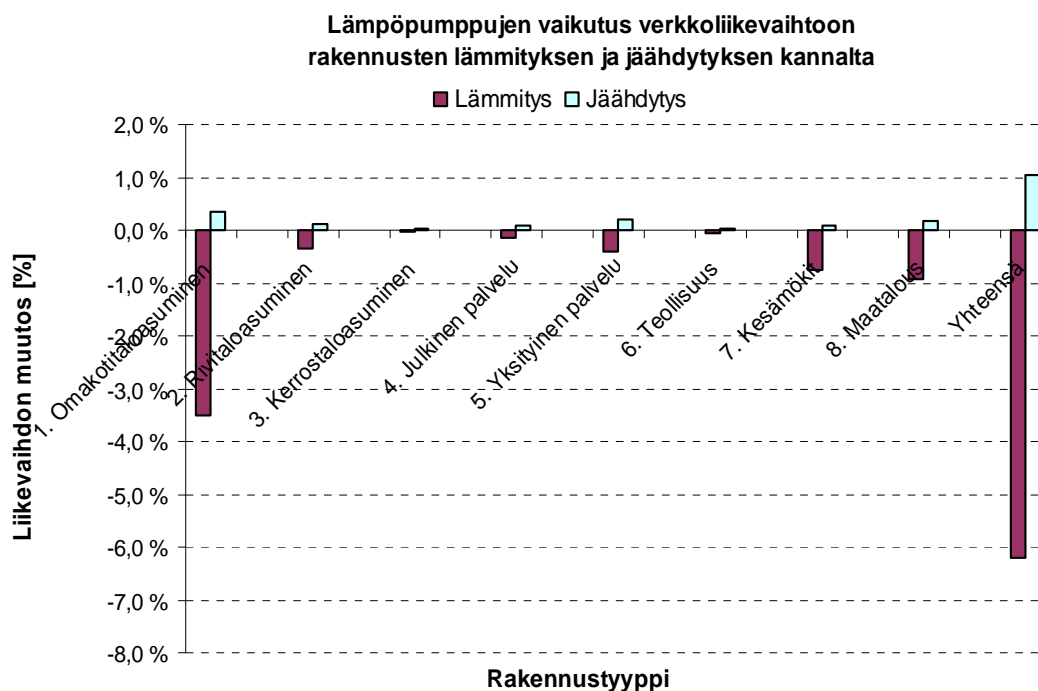
#### 6.3.1 Vaikutus liikevaihtoon perusskenaariolla

Tässä skenaariossa laskennan suhteen on käytetty samoja parametreja kuin edellä vastaavassa sähköenergiatarkastelussa. Laskentaohjelmaan syötetyt tariffien arvot vaikuttavat yhdessä sähköenergiankulutuksen kanssa verkkoyhtiön liikevaihtoon. Tutkittavalla alueella verkkoliikevaihdon voidaan arvioida muuttuvan kuvan 6.12 mukaisesti.



Kuva 6.12. Lämpöpumppujen vaikutus tutkittavalla alueella verkkoliikevaihtoon vaihtelee eri rakennustyypeissä kuvan mukaisesti.

Yhteensä koko muutos verkkoalueella on yli -5 %. Jäähdytys ei näyttäisi muuttavan missään käyttäjäryhmäntyyppissä liikevaihdon muutosta positiiviseksi. Edellisessä kappaleessa kokonaisvaikutus sähköenergian osalta oli -11 % ja nyt voidaan havaita, että liikevaihtoon vaikutus on noin -5 %, jolloin liikevaihdon vaikutus muutoksen suhteen on noin puolet pienempi. Syynä tähän on verkkoyhtiön tariffirakenne, joka jakautuu lähes puoliksi energia- ja perusmaksun suhteen. Eroa käyttäjäryhmien kesken ei kuitenkaan liikevaihdon ja sähköenergian välillä juurikaan synny. Omakotitaloasuminen on selvästi merkittävin rakennustyyppi tämän skenaarion mukaan. Seuraavina tulevat kesämökkit ja maatalous. Vaikutus talouteen lämmityksen ja jäähdytyksen osalta on lämpöpumppujen määrän funktiona kuvan 6.13 mukainen.



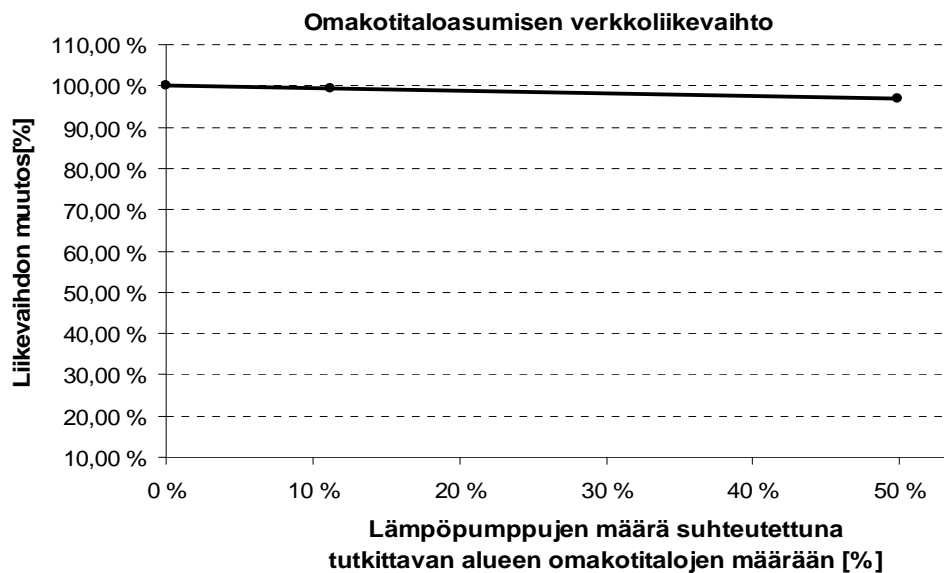
Kuva 6.13. Verkkoliiketoiminnan muutos on esitetty lämmityksen ja jäähdytyksen kannalta.

Liikevaihdon vaikutuksen puolittuminen sähköenergiaan verrattuna selittyy siirtomaksun rakenteella eli jakautumisesta energia ja perusmaksuun. Tässä verkkoyhtiössä perus- ja energiamaksu jakavat lähes puoliksi verkkoliiketoiminnan liikevaihdon. Tilanne voisi olla aivan toisenlainen talouden osalta, jos verkkoyhtiössä energiamaksu olisi suhteellisesti huomattavasti korkeampi ja perusmaksu pienempi. Tilanteessa tulisi silloin



estää voimakasta lämpöpumppujen vaikutusta muuttamalla siirtotariffin suhteita niin, että perusmaksulla olisi suurempi painoarvo.

Energian muutosten yhteydessä tutkittiin, kuinka omakotitaloasumisessa olevat lämpöpumput vaikuttavat siirrettävään energianmäärään prosentuaalisesti suhteutettuna koko verkkoalueen sähköenergian määrään. Tutkitaan paljonko taloudellinen vaikutus on samoilla arvoilla. Kuva 6.14 esittää omakotitaloasumisen lämpöpumppujen vaikutusta suhteutettuna koko verkkoon.

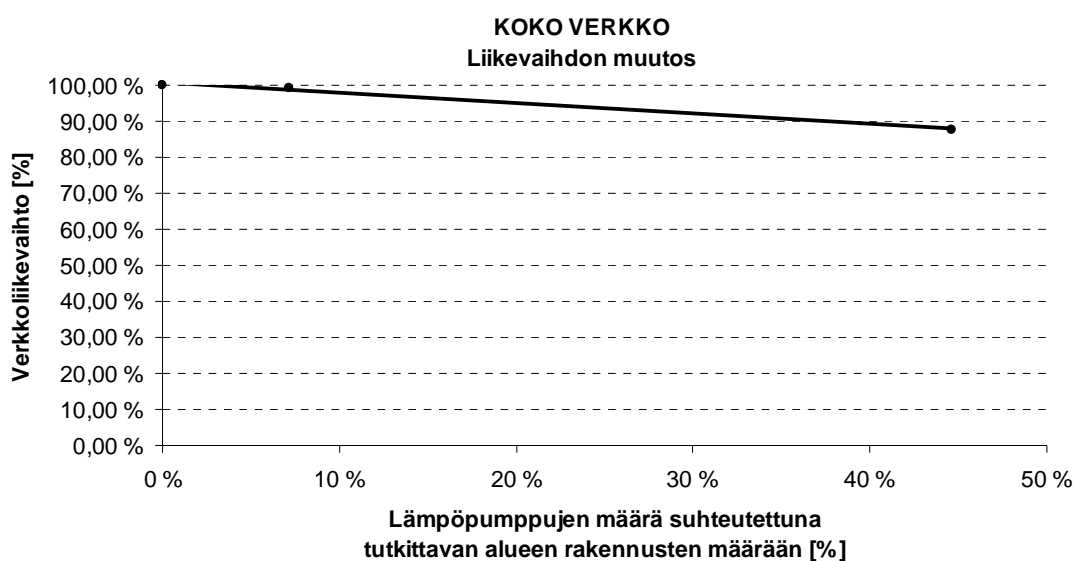


Kuva 6.14. Omakotitalojen lämpöpumppujen vaikutus tutkittavan alueen koko verkkoliiketoimintaan.

Kuvassa 6.12 omakotitalojen osalta vaikutus liikevaihtoon oli kaikkein suurin, eli -3 %. Tämä kuvaaja kertoo arvion kehittymisen. Skenaarion lopussa lämpöpumppumäärä omakotitaloissa olisi 48 %, ja vaikutus olisi tällöin noin 3 % negatiivinen. Mukaan ei ole otettu erikseen lämmitystä ja jäähdytystä, koska erot ovat hyvin pieniä. Muiden kuluttajatyyppeiden osalta vastaavaa ei kannata suuremmin tarkastella, sillä lukemat ovat hyvinkin pieniä.

### 6.3.2 Vaikutus liikevaihtoon suurimman mahdollisen vaikutuksen skenaariolla

Tarkastellaan kuvan 6.15 avulla suurinta mahdollista vaikutusta verkkoyhtiön liikevaihtoon. Vastaava tehtiin sähköenergian tarkasteluissa kuvassa 6.10. Vaikutus saadaan selville, kun lämpöpumppuja asennetaan pelkästään kaikkiin sähkölämmitysrakennuksiin. Tällöin lämpöpumppuaste on 45 %. Kaikista lämpöpumpuista 25 % on IILP ja 75 % MLP.



Kuva 6.15. Verkkoliikevaihtoon kohdistuva suurin mahdollinen muutos saadaan aikaan, kun lämpöpumppuja on asennettu pelkästään sähkölämmitteisiin rakennuksiin, mikä tarkoittaa 45 % kaikista rakennuksista. Lämpöpumppujen jakauma on IILP 25 % ja MLP 75 %.

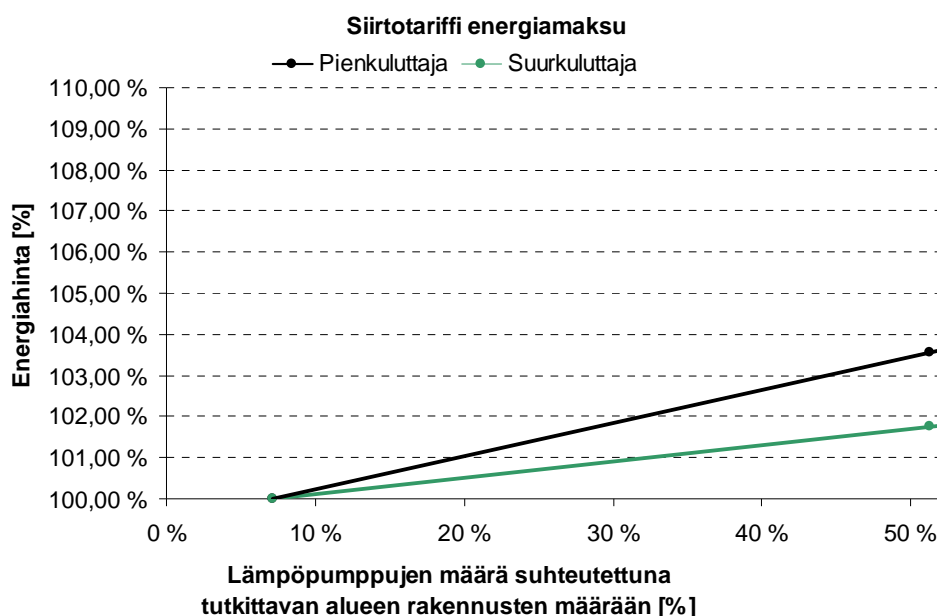
Suurin mahdollinen vaikutus lämpöpumpuista liikevaihtoon tässä verkkoyhtiössä olisi noin -12 % -yksikköä alkuperäisestä. Tähän tuskin tullaan koskaan pääsemään, mutta on hyvä tietää että vaikutukset eivät voi olla tätä suurempia. Muissa verkkoyhtiöissä on odotettavissa melko vastaavanlaisia tuloksia. Muutosta näihin tuloksiin voi syntyä, mutta erot ovat luultavasti pieniä. Erot johtuvat todennäköisesti eniten erilaisesta tariffirakenteesta. Jos perusmaksun osuus on huomattavasti suhteellisesti suurempi kuin energiamaksun osuus, ovat vaikutukset silloin pienempiä. Myös rakennusjakaumalla ja sähkölämmittäjien määrällä eri rakennustyypeissä on merkityksensä. Lisäksi tuloksiin vaikuttavia tekijöitä ovat tutkittavan alueen lämmitys- ja sähkönkulutuksen ehkä

normaalia hieman pienemmät määrät. Tämä johtunee maaseutualueesta, jolloin rakennukset ovat ehkä vähän pienempiä pinta-alaltaan ja rakennustyyppien jakauma on eri kuin kaupunkialueella. Sijainti säävyöhykkeellä II eli Jyväskylän korkeudella, vaikuttaa taas vuotuisiin lämmitysmääriin. Sähkölämmittäjien määrä ei ole myöskään valtakunnallisesti kaikkein suurimpia, jolloin vaikutus verkkoyhtiöön jää pienemmäksi.

### *6.3.3. Tariffien muutospaineeet*

Taloudellisten vaikutusten yhteydessä on kiinnostavaa tutkia myös siirtotariffien hinnoittelun muutosvaikutukset. Useimmiten lämpöpumppujen kokonaisvaikutukset osoittautuvat energiayhtiöille negatiivisiksi tuloksiksi. Tältä kannalta katsottuna halutaan taloudellinen tuotto verkkoyhtiöissä pitää entisenlaisena. Toisaalta jos jäähdytysenergian määrä on suuri ja lämpöpumppujen asentaminen ei-sähkölämmitteisiin rakennuksiin on tavanomaista, voivat tulokset olla myös positiivisia. Tämän takia tulee tietää verkkoliikevaihdon tulos, sitä ohjailevat siirtotariffit ja liikevaihdon kehittyminen sähköenergianmuutoksen mukaan. Vaihtoehtoina on, että vaikutukset halutaan kohdistaa joko energia- tai perustariffille tai molemmille.

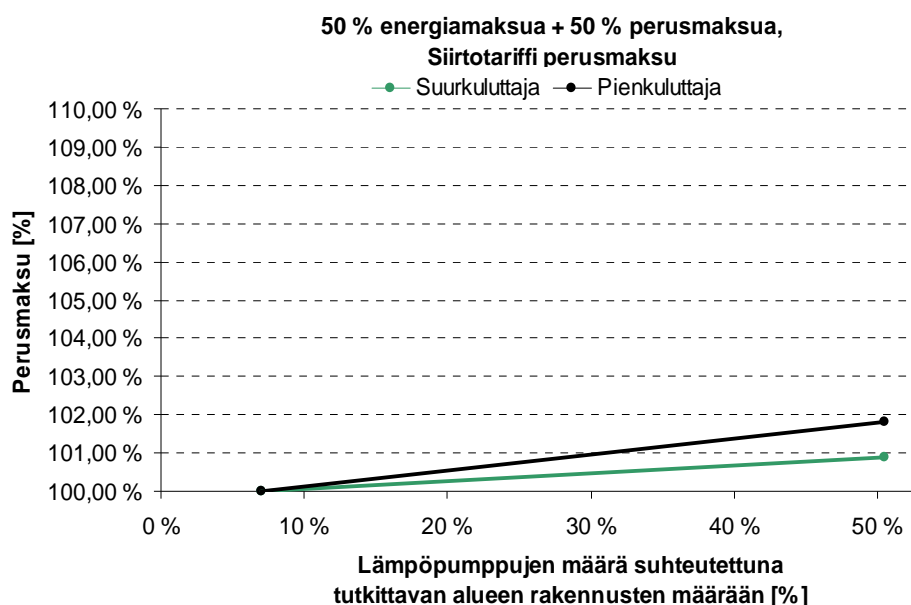
Kuvassa 6.16 vaikutukset on kohdistettu energiamaksuun. Vaihtelua tariffien välillä voi olla paljon ja hinnoittelu eroaa jonkin verran toisistaan, siksi pien- ja suurkuluttajille on määriteltävä näissä laskelmissa omat tariffit. Vaikutukset on kohdistettu tasaisesti kaikille kuluttajatyypeille. Pienkuluttajien aiheuttamat vaikutukset kattavat 2/3 liikevaihdosta ja suurkuluttajien 1/3. Tämä johtuu siitä, että pienkuluttajien lämpöpumput aiheuttavat tässä tarkastelussa suuremmat muutokset liikevaihtoon. Perusskenaarion mukaisesti kuvan pienkuluttajien ja suurkuluttajan käyrät alkavat tämän hetkisestä lämpöpumppujen määrästä eli 7 % ja päättyvät lämpöpumppujen määrän ollessa 51 %. Energianhinta on alkutilanteessa 100 %, eli muutosta ei ole vielä ehtinyt tapahtua liikevaihdon osalta. Jos liikevaihdon halutaan pysyvän samana, tulisi skenaarion mukaan energianhintoja korottaa, kun lämpöpumppumäärä verkkoalueella kasvaa.



Kuva 6.16. Siirtotariffin energiahinnan kehittyminen, kun käytössä on aikaisemmin esitetyt parametrit.

Lämpöpumppumäärän ollessa 51 %, tulisi pienkuluttajan energiamaksun hintoja korottaa vajaa 4 %, jotta liikevaihto pysyisi samansuuruisena kuin tällä hetkellä. Vastaavanlainen kuvaaja voidaan tehdä perusmaksulle, jos halutaan keskittää vaikutukset siihen. Silloin käyrät ovat samanlaiset kuin kuvassa 6.16.

Jaettaessa kustannukset puoliksi energia- ja perusmaksun suhteen, saadaan kuva 6.17. Kuvassa tarkastelu on tehty perusmaksun suhteen. Kuvan pienkuluttajien ja suurkuluttajan käyrät ovat samantapaisia kuin edellisessä kuvaajassa. Käyrät alkavat perusskenaarion mukaisesti lämpöpumppujen määrästä 7 % ja päättyvät lämpöpumppujen määrän ollessa 51 %. Koska hinnoittelu on tehty puoliksi energia- ja perusmaksun suhteen, ovat kuvaajat siten samanlaisia keskenään. Tämän takia tässä ei ole esitetty kuin kehitys perusmaksun suhteen.



Kuva 6.17. Jos tariffien muutoksilla halutaan pitää liikevaihto muuttumattomana ja hinnoittelu kohdistetaan puoliksi energia- ja perusmaksulle, menee hintojen kehitys lämpöpumppumäärän kasvaessa perusmaksulla kuvan tapaan.

Tutkimuksen tulevaisuuden ajankohtana lämpöpumppujen suhteutettu määrä on 51 % tutkittavan alueen rakennusten määrästä. Jos liikevaihto haluttaisiin pitää tämän päivän tasolla, tulisi pienkuluttajien perusmaksua korottaa vajaat 2 % ja suurkuluttajien 1 %.

## 6.4 Yhteenveto

Lämpöpumppujen vaikutuksista sähköverkkoliiketoimintaan voidaan tiivistää seuraavanlaiset tulokset. Tutkittavalle sähköverkkoyhtiölle tehtiin kaksi erilaista skenaariota 2020-luvulle. Perusskenaariossa pyrittiin käyttämään mahdollisimman realistia laskentaparametreja. Suurimman mahdollisen vaikutuksen eli worst-case skenaariossa puolestaan haluttiin tuoda esiin lämpöpumppujen suurimmat mahdolliset vaikutukset. Perusskenaariossa oletetaan lämpöpumppumäärän kasvavan reilusti ja lämpöpumppuja arvioidaan asennettavan pääasiassa sähkö- ja öljylämmitteisiin rakennuksiin. Perusskenaariossa tulokseksi saatiin lämpöpumppujen vaikutukseksi sähköenergialle -11 % verrattuna verkkoalueen tämän hetken kokonaissähköenergiaan ja

-5 % kokonaisverkkoliikevaihtoon. Rakennustyypeistä omakotitaloasumisessa vaikutukset olivat selvästi suurimmat. Lämpökertoimien kehittyminen UILP:lla 2 -> 3, PILP:n 1,8 -> 2,2 ja MLP:n 3,1 -> 3,5 vaikutti sähköenergiaan 5 % -yksikköä sähköenergiaa laskevasti. Suurimman mahdollisen vaikutuksen skenaariossa lämpöpumput asennettiin pelkästään sähkölämmitteisiin rakennuksiin. Lämpöpumpuista tällöin 25 % oli IILP:ja ja 75 % MLP:ja. Tulokseksi sähköenergialle saatiin -25 % verrattuna verkkoalueen tämän hetken kokonaissähköenergiaan ja -12 % kokonaisverkkoliikevaihtoon.

Laskentaohjelman käyttäjä voi luoda lämpöpumpuista haluamansa skenaarion ja arvioida vaikutuksia verkkoyhtiöön. Annettujen parametrien tulee kuitenkin olla järkevästi perusteltuja ja esimerkiksi tässä tutkimuksessa esitetyt parametrit voisivat olla yleisesti ottaen sopivia. Laskentaohjelman antamiin tuloksiin tulee suhtautua pienellä varauksella ja tuloksia kannatta analysoida ennen kuin pohtii niiden tarkempaa vaikutusta verkkoyhtiön toimintaan. Tulevaisuutta ajatellen mielenkiinnolla odotetaan, mikä on lämpöpumppujen todellinen määrä 2020-luvulle tultaessa. Arvioitavissa on, että lämpöpumppujen kappalemäärien kasvukausi tulee hieman taittumaan. Tämä riippuu kuitenkin kuluttajien kiinnostuneisuudesta lämpöpumppuja kohtaan. Oman vaikutuksensa tuovat myös matalaenergiatalot ja kehittyvä lämpöpumpputekniikka. Lämmitysmenetelmissäkin voi tapahtua muutoksia. Esimerkiksi uusiin pientaloihin ei välttämättä 2020-luvulla enää asenneta öljylämmitystä laisinkaan.

Verkkoyhtiökohtaisesti täytyisi tehdä tarkempia tarkasteluja eri alueilta, jotta saataisiin käsitystä kuinka suurta vaihtelua tuloksiin voi muodostua. Esimerkiksi Pohjois-Suomessa on lämmitystarvetta lähes ympäri vuoden ja enemmän kuin eteläisessä Suomessa. Voisi olla mielenkiintoista tietää täsmällisesti, kuinka lämmitysmenetelmissä oleva murros vaikuttaa pohjoisen verkkoyhtiöiden liiketoimintaan ja verkoissa siirrettäviin energiamääriin. Toisaalta Etelä-Suomessa näyttäisi olevan pinta-aloiltaan suurimmat omakotitalorakennukset sekä eniten sähkölämmitysrakennuksia. Etelä-Suomessa on myös runsaasti lämpöpumpputoimittajia. Lisäksi vuosittaiset lämpötilat ovat sitä luokkaa, että tulevaisuuden lämpöpumput voisivat toimia ympärivuotisesti.

## **7 LÄMPÖPUMPUT SÄHKÖNTOIMITUKSEN KANNALTA**

Lämpöpumppu ei toimi ilman sähköä ja siksi sen antama lämpö on epäsuoraa sähkölämmitystä. Jos sähköä ei ole käytettävissä, ei lämmitystä saada myöskään tuotettua lämpöpumpuilla. Lämpöpumput vaikuttavat siten muillakin sähkötekniikan osa-alueilla kuin pelkästään sähköjakelun puolella. Tässä luvussa tehdään yleiskatsaus vaikutuksista aloittaen pienjännitepuolesta ja päättäen sähköntuotantoon kohdistuviin vaikutuksiin.

### **7.1 Sähköjakeluverkon pienjännitepuoleen kohdistuvat vaikutukset**

Sähköjakelu kuluttajille tapahtuu paikallisten verkkoyhtiöiden toimesta. Käytännössä sähköjakelu tapahtuu 20 kV verkossa ja pienasiakkaille pienjännitepuolen 400 V jakeluverkoissa. Sähköjakelu on monopolitoimintaa, jota valvoo Energiamarkkinavirasto. Sähkön siirtomaksut ja sähköverot peritään jakeluyhtiön toimesta. Kuluttajakohtaisesti mitataan yksi- tai kaksi energiamäärää, jossa kaksi energiamäärää tarkoittaa päivä- ja yömittausta. Tehoa voidaan arvioida pääsulakkeen perusteella. Tehokustannukset kohdistetaan energianhintaan siten, kuinka kuluttajatyypin osallistuu tehokustannusten muodostumiseen. Osa kiinteistä kustannuksista siirretään energiamaksuun. (Sähkömarkkinat 2008) Sähköjakelun näkökulmasta vaikutuksia on tutkittu luvussa 6, joten tässä ei paneuduta sen syvemmin aiheeseen kuin pienjännitepuolta sivuten.

Kuormitusmallit ovat ennustusmenetelmiä sähkönkulutuksen arvioimiseen sähköjakeluverkon pienjännitepuolella. Kuormitusmallit koostuvat 46 tyyppikäyrästä, jotka ovat variaatioita erilaisista tyyppikäyttäjistä. Niissä olevat vuoden 2-viikkoindeksit ja aikaindeksit kertovat huipputehon tiettyyn kellonaikaan, tiettyinä päivinä jollekin tietylle asiakkaalle. (Sähkömarkkinat 2008) Lämpöpumpun toimiessa optimaalisesti normaalit sähköenergiamäärät ovat huomattavasti pienempiä kuin sähkölämmityksessä. Ennustettavissa on, että kuormituskäyrät tulevat muuttumaan lämpöpumppujen käytön

takia erityisesti omakotitalokäyttäjien ja sähkölämmityskäyttäjien osalta. Suurimmat muutokset olisivat sähkölämmityskäyttäjillä, jotka hyödyntäisivät täydelle teholle mitoittettua lämpöpumppulämmitystä, jolloin poikkeavuus nykyisiin käyttäjiin olisi suurimmillaan. Osateholle mitoitetussa lämpöpumppulämmityksessä syksy- ja kevätkausina sähkönkulutuksen teho olisi pienempi. Sellaiset käyttäjät, jotka hyödyntäisivät lämpöpumppua jatkuvalla jäähdytyksellä kesäaikana, voitaisiin havaita pientä muutosta 2-viikoindeksien käyrissä sekä itse indeksiarvoissa. Vaikuttaisi siltä, että tehot eivät tule kuitenkaan muuttumaan niin merkittävästi, että sillä olisi vaikutusta verkon mitoitukseen. Näin ollen tältä osin ei ole odotettavissa liittymäkohtaisia kustannuksellisia säästöjäkään liittymien rakentamisvaiheessa.

### *7.1.1 Lämpöpumppujen sähköistys*

Lämpöpumpun asennus on ammattilaisten sähkö- ja kylmäasennustyötä, johon luvan myöntää Tukes. Asennusvaiheessa on huolehdittava käyttöönototarkastuksesta ja käyttäjän opastuksesta. UILP:ssa sähkönsyöttökaapeli tulee laitteesta riippuen, joko sisä- tai ulkoyksikköön. Lisäksi tarvitaan ulko- ja sisäyksiköiden välinen ohjauskaapeli. Jännitetasona käytetään 220-240 V ja taajuutena 50 Hz eli normaalia verkkojännitettä. IILP:a ei tarvitse erikseen huomioida pientaloissa yleisen sähköjärjestelmän mitoituksessa, sillä omakotitalot mitoitetaan tavallisesti 3x25 A pääsulakkeilla. Muilla lämpöpumpuilla ja rakennustyypeillä tilanne on erilainen johtuen korkeammista tehovaatimuksista, ja siksi joudutaan käyttämään suurempia sulakekokoja. IILP:lla 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 muutamien kW luokkaa. IVLP:lla käytetään suurempien tehojen (noin 10 kW) takia kolmea vaihetta ja varokekokona tyypillisesti joko 10 tai 16 A. MLP:n tarvittava varokekoko vaihtelee vaadittavasta tehosta riippuen, mutta se on lämpöpumpuista yleensä suurin. Maalämmöllä otto- ja antotehotkin ovat huomattavasti muita suuremmat. PILP sijoittuu teho ja sulake vaatimuksissa MLP:n ja IVLP:n välille.



Lämpöpumppujen kompressorien moottoreissa on huomattavan suuret käynnistysvirrat, mutta niiden vaikutukset pystytään minimoimaan erilaisilla käynnistysmenetelmillä. Siten muu rakennuksen sähköjärjestelmä tai muut lähellä sijaitsevat kulutuspisteet eivät kärsi yhden laitteen toiminnasta. Kompressoria pyörittävänä moottorina käytetään tasavirtamoottoria. Tämä moottorityyppi on käyttöominaisuuksiltaan sopiva ja se toimii lisälaitteiden kanssa erinomaisesti sekä sitä on helppo säätää. Lämpöpumppuja voidaan säätää kahdella tapaa. 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 lämpöpumpuissa 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. Invertteriteknikkaa käyttävä kompressori toimii eri nopeuksilla riippuen siitä, mikä on kiinteistön vaatima energiatarve. Tällä saavutetaan suuremmat säästöt, pienempi kuluminen ja alhaisempi melutaso. Uusimpiin ilmalämpöpumppuihin voidaan sähkötekniikaksi lisätoiminnoiksi asentaa esimerkiksi GSM-ohjaus tai automaattinen kosteusvalvonta. (IVT 2009)

### *7.1.2 Häiriöt ja ongelmat*

Lämpöpumpun käyttö voi aiheuttaa häiriöitä kuten jännitteenaleneman tai jännitteenvaihteluja käynnin, käynnistyksen tai sammutuksen aikana. Lämpöpumpuista voi syntyä jatkuva 2 % jännitteenalenema ja muutaman kerran tunnissa syntyvä jännitepoikkeama. Voidaan kuitenkin yleisesti ottaen olettaa, että nämä eivät ole merkittäviä ja eivätkä ylitä standardeja. Lyhytaikaisina, harvoin tapahtuvina ja pääasiassa vain kyseiseen kuluttajaan kohdistuvina niitä ei myöskään usein koeta häiritseväksi. Samalla alueella olevista runsaista lämpöpumppumääristä voi aiheutua ongelmia. Tämä häiriöriski on maaseudun verkoissa suurempi kuin kaupunkialueilla. (ET muistio 2009)

Asiakas on velvollinen huolehtimaan liittäessään verkkoon laitteita, että hänen sähkölaitteensa ja -asennuksensa ovat asiallisia ja etteivät ne häiritse muita sähkökäyttäjiä, eivätkä jakeluverkonhaltijaa. Sähkölaitteille ja sähköasennuksille on asetettu vaatimuksia sekä laitteiden liittämistä verkkoon että häiriötilanteiden selvitystä koskien. Selvityspyynnön tekemistä suositellaan etenkin jos laitteen kytkentävirta on suuri verrattuna pääsulakkeen kokoon, laite kytketään verkkoon usein tai laite aiheuttaa merkittävää yliaaltovirtaa. Selvityspyyntö 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 aiheutua ongelmia verkkoon. Siksi verkonhaltijan on hyvä miettiä tarkempia ohjeita kuluttajille kyseisten laitteiden liittämistä sähköverkkoon. Erityisesti tulisi huomioida laitteet, jotka kytkeytyvät toistuvasti ja/tai ottavat suurehkon käynnistysvirran, kuten esimerkiksi maalämpöpumput ja yksivaiheiset kompressorit. Lisäksi on luokiteltu mahdollisia ongelmia aiheuttavia laitteita ja laitteistoja, joista voi aiheutua häiriötilanteita. Tätä työtä koskevia laitteita on kirjattu taulukkoon 7.1. Taulukossa on kerrottu, mitä ongelmia laitteet aiheuttavat sekä mahdollisia toimenpiteitä ongelmien poistamiseksi. (ET muistio 2009)

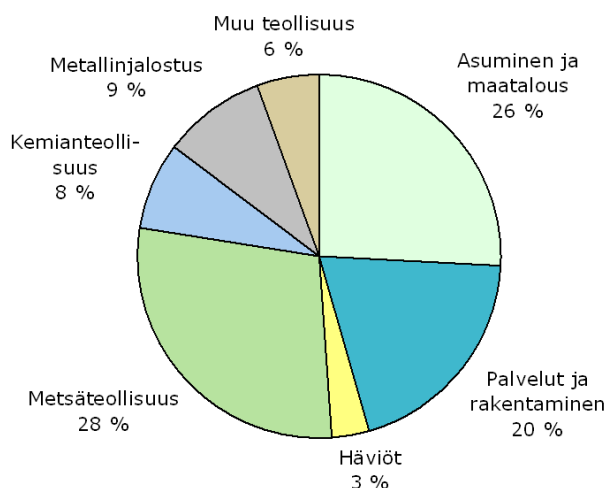
Taulukko 7.1. Taulukkoon on listattu eräiden tähän työhön liittyvien laitteiden ja laitteistojen verkkoon aiheuttamia ongelmia. (ET muistio 2009)

<b>Laite / Laitteisto</b>	<b>Ongelmat</b>	<b>Toimenpiteet</b>
Kompressorit ja ilmastointilaitteet, erityisesti 1-vaiheiset	<ul style="list-style-type: none"> <li>tavallisesti rakennustyömailla</li> <li>aiheuttaa jännitevaihteluita, välkyntää lähiverkkoon</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> <li>suositus: hehkulamppujen vaihtaminen loisteputkilampuiksi</li> <li>verkon vahvistus</li> <li>ääritapauksessa verkkoyhtiö kehottaa asiakasta sopimaan laitteen käyttöajat 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>voi estää tiedonsiirron ja autom. mittarinluennan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>taajuusmuuttajissa oltava verkkosuodattimet</li> </ul>

Lämpöpumpuista ei tiettävästi ole vielä koitunut suurempaa haittaa sähköverkkoihin. Verkkoyhtiöillä on harvoin olemassa käytönvaikutuksista tai lämpöpumpuista tilastollista kappalemäärä seuranta.

## 7.2 Vaikutukset sähkönsiirtoverkkoon

Suomessa käytettiin sähköä vuonna 2008 yhteensä noin 87 TWh. Kuvasta 7.1 selviää sähkön kokonaiskulutuksen rakenne Suomessa vuonna 2008. Teollisuus ja rakentaminen käyttivät sähköstä 51 %, asuminen ja maatalous 26 % sekä palvelut ja rakentaminen 20 %. Häviöiden osuus oli 3 %. (ET 2009)



Kuva 7.1. Sähkön kokonaiskulutus muodostui vuonna 2008 kuvan mukaisesti. (ET 2009)

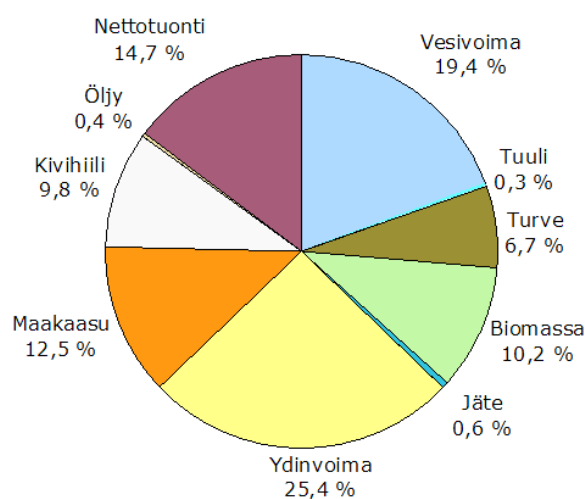
Sähköä siirretään sähköntuotantolaitoksilta 440 kV ja 220 kV jännitetasoilla pitkiä matkoja lähemmäksi suuria kulutuspaikkoja. Kantaverkosta vastaa Fingrid. Siirron kustannukset ovat n. 2-4 €/MWh, mikä vastaa pienempää kuin 5 % osuutta kotitalousasiakkaan sähkön kokonaishinnasta. (Fingrid 2009)

Yleisesti ajateltuna, lämpöpumpuista koituu sähköenergian kulutuksesta velottaville rahallista menetystä, koska yleisimmin lämpöpumpulämmityksessä muodostuu säästöä sähkönkulutukseen. Toisaalta jäähdytyskäyttö lisää tuloja kesäaikaan, mutta niiden määrä

on pienekkö verrattuna lämmityskäyttöön, niin kuin aikaisemmin on todettu. Runsas lämpöpumppujen määrä tulevaisuudessa ja niiden korvaavuus sähkölämmityksen sijaan, voivat vaikuttaa heikentävällä tavalla myös sähkön siirron tuloihin. Mikäli lämpöpumppulämmityksessä tarvitaan lisälämmitystä ja se tehdään muuten kuin sähköllä, helpottaa tämä valtakunnallisen sähkönkulutuksen -ja tehon vaatimuksia. Jos lisälämmitystä ei tarvita, pienenee tehontarve sähkölämmitykseen verrattuna hieman vähemmän kuin energiantarve. Tehon tarve kiinnostaa erityisesti potentiaalisena huippukuormituskautena. Huipunaikainen tarve riippuu laitteen teknillisestä toteutuksesta. (Nissilä 2007)

### 7.3 Vaikutus sähköntuotantoon

Sähköenergiaa tuotetaan useilla energialähteillä ja tuotantomuodoilla. Energialähteistä käytetyimmät ovat ydinvoima, vesivoima, kivihiili ja maakaasu sekä biomassa kuvan 7.2 mukaisesti. (ET 2009)



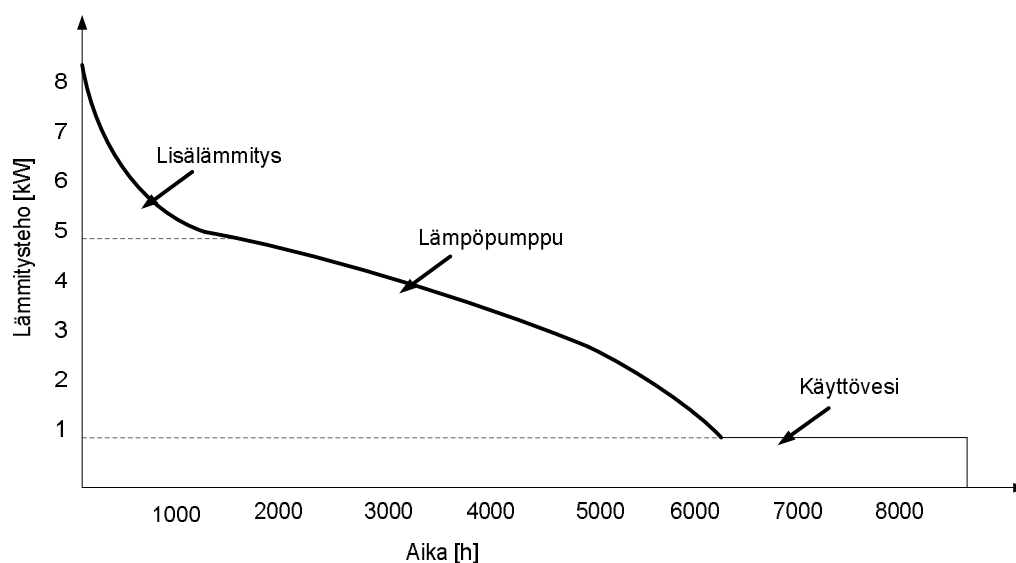
Kuva 7.2. Suomen sähkönhankinta energialähteittäin vuonna 2008. (ET 2009)

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. Suomen sähköstä kolmannes tuotetaan yhteistuotantona. Viidennes tuotannosta koostuu tuonnista ja Suomeen sähköä voidaan tuoda Ruotsista, Norjasta, Virosta ja Venäjältä. Vesivoimalla tuotetaan viidennes ja ydinvoimalla neljännes koko Suomen sähköenergiasta. (ET 2009)

Yleisesti voidaan todeta, että lämpöpumppulämmityksellä on koko voimantuotannon käyttöä hieman pienentävä vaikutus. Tämä johtaa siihen, että verkostoa kuormittava lämmitysteho pienentyy verrattuna suoraan sähkölämmitykseen. Kaikkien lämpöpumppujen toimintaskaalat -ja tehot eivät ole sitä luokkaa verrattuna suoran sähkölämmityksen tehoon, että ne vaikuttaisivat laskevasti kovimman pakkaskauden huippupakkasilla tuotantokapasiteetin tarpeeseen. Lämpöpumppulämmityksen tuotantokapasiteetin käyttöä pienentävä vaikutus kohdistuu pääasiassa perusvoimantuotantoon. Leudoimpina lämpötilakausina tästä on apua sähkönomavaraisuuteen. 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. (Nissilä 2007)

Osateholle mitoitettu lämpöpumppu ei ole sähköntuotannollisesti kovin hyvä asia, sillä se aiheuttaa lisääntynyttä sähköntarvetta huipputehoaikaan johtuen lisälämmityslaitteiden käyttämän sähkön takia. On kuitenkin arvioitu, että 60 %:n teholla mitoitettu maalämpöpumppu kykenee tuottamaan yli 90 % kokonaislämmöntarpeesta. Täydelle teholla mitoitettu maalämpöpumppu ei tarvitse lisälämmitystä ja se vähentää siten kaikkia tehoalueita, jolloin tehoalueet pienenevät samassa suhteessa suoraan sähkölämmitykseen verrattuna. Tämä on tosin approksimaatio, mutta todellisuuteen verrattuna muutokset ovat pieniä ja ne johtuvat lämpökertoimien muutoksista. (Nissilä 2007) Kuvan 7.3 pysyvyysskäyrä kertoo pientalon lämmitystehontarpeen jakautumisen osateholle mitoitetulla lämpöpumpulla.



Kuva 7.3. Pientalon lämmitystehontarpeen jakautuu kuvan tapaan eräällä lämpöpumpulla. Pysyvyyskäyrä kuvaa yhtä vuotta ja peruskuormana on lämmin käyttövesi. (Nissilä 2007)

Kaikki lämpöpumput eivät voi tuottaa tarvittavaa lämpöä huippupakkasilla. Lämpöpumpputyypeistä maalämpö on ainoa, jolla saadaan huomattavaa huipputehontarpeen alenemaa aikaiseksi verrattuna suoraan sähkölämmitykseen. Pienillä ilmanvaihtokertoimilla huipputehontarvetta saadaan laskettua hieman myös poistoilmalämpöpumpuilla. Ulkoilmalämpöpumpuilla huipputehontarvetta ei ole toistaiseksi mahdollista laskea Suomen olosuhteissa. (Nissilä 2007)

Tulevaisuudessa huippukuormien aikaan täytyy varautua kasvaviin huipputehoihin. Voidaankin sanoa, että sähköntuotannon kannalta paras ratkaisu olisi käyttää mahdollisimman pienen huipputehontarpeen omaava lämmitysjärjestelmä. Tehontarve on silloin melko tasainen eikä huipputehontarpeen aikana ole niin suuria poikkeamia. Huonoin ratkaisu tältä kannalta on osateholle mitoitettu lämpöpumppu, jonka tehontarve on suurimman osan vuodesta melko pieni, mutta huippupakkasilla sen tarvitsema teho kasvaa lisälämmityslaitteiden käyttämän sähkön vuoksi voimakkaasti. Siksi sähköntuotannossa on valmistauduttava suhteessa suurempaan lisätehontuotantoon. Lämpöpumppulämmityksellä ei siis pystytä olennaisesti pienentämään kapasiteetin

tarvetta. Laajamittaisella lämpöpumppulämmityksellä on kansantaloudellinen merkitys, sillä säästetyn lämmitysenergiankulutuksen säästö on huomattava. (Nissilä 2007)

Lämpöpumppujen jäähdytyskäyttö ei aiheuta vielä sähköntuotantoon suurtakaan lisäystä. Vuonna 2006 Suomen 66 000 ilma-ilmalämpöpumpulle jäähdytyskäytön yhteenlaskettu maksimiteho oli suurimmillaan 150 MW. Tavanomainen tehontarve Suomessa kesäaikaan on 7 000 MW eli se tarkoittaa, että ilmalämpöpumppujen jäähdytyksen kulutukseksi tulee suurimmillaan 2,1 %. (Fingrid 2009) Vuonna 2009 kesällä oli ilma-ilmalämpöpumppuja noin 150 000 kpl. Näin ollen yhteenlaskettu maksimiteho olisi arviolta lähelle 340 MW ja se muodostaisi Suomen kesäaikaisesta tehontarpeesta 4,8 %, jos tavanomainen tehontarve olisi tuo 7 000 MW. Kovimpien arvioiden mukaan IILP voisi olla 2020-luvulla lähes miljoona kappaletta. Silloin se voisi tarkoittaa maksimitehona jo noin 2 300 MW.

## 8 YHTEENVETO

Energiankulutuksen säästötoimet sekä energiatehokkuuden lisääminen ovat energia-alan suurimpia kiinnostuksen aiheita tällä hetkellä. Rakennusten lämmityksessä lämpöpumpuista on tullut energiatehokkuuden lippulaivue, mistä kertoo lämpöpumppujen kappalemäärän voimakas kasvu viime vuosien aikana. Tämän tutkimuksen tavoitteena on ollut tutkia lämpöpumppujen vaikutuksia sähköverkkoliiketoiminnan kannalta. Tutkimustyön tulosten perusteena ja oikeastaan päätuloksena on tutkimuskäyttöön tuotettu laskentaohjelma. Laskentaohjelman laskentamodiikka antaa laskentatulokset, jotka määrittävät lämpöpumppujen vaikutukset sähköverkkoyhtiöön sähköenergian ja liikevaihdon kannalta.

Työn alussa tarkasteltiin eri lämpöpumpputyyppejä ja niiden ominaisuuksia sekä lukumääriä. Seuraavaksi selvitettiin käytössä olevia lämmitysmenetelmiä Suomessa ja pohdittiin taloudellisesta näkökulmasta, minkälaisen lämmitystyyppien rakennuksiin lämpöpumppuja olisi järkevää asentaa. Tämän jälkeen paneuduttiin laskentaohjelmaan; sen käyttöön ja toimintaan. Seuraavaksi työssä keskityttiin tutkittavan verkkoyhtiön osalta laskentaohjelmaan annettaviin parametreihin ja niistä eri skenaarioilla saatuihin tuloksiin. Lopuksi lämpöpumppuja käsiteltiin yleisen sähköntoimituksen kannalta.

Lämpöpumpputyypeinä tutkimuksissa käytettiin neljää yleisintä lämpöpumpputyyppeä eli ilma-ilma-, ilma-vesi-, poistoilma- ja maalämpöpumppua. Tutkittavina rakennuskohteina käytettiin kahdeksaa eri rakennustyyppiä. Lämmitysjärjestelmistä vertailtiin lämpöpumppeihin kauko-, öljy-, sähkö- ja puulämmitystä sekä yhtenä ryhmänä muut -lämmitysmenetelmät. Laskennassa on huomioitu sekä lämmitys että jäähdytys. Pääperiaatteena laskennassa on ollut keskimääräisten vuosittaisten lämpökertoimien (SPF-kerroin) hyödyntäminen. Lämmitysenergioiden määrittämisessä on käytetty keskimääräisiä vuosittaisia lämmitystarpeita eri rakennustyypeille. Laskennassa lämpöpumpuille on lisäksi määritetty korjauskertoimet eri rakennustyypeihin, koska lämpöpumput eivät välttämättä kykene tuottamaan kaikkea tarvittavaa lämmitysenergiaa.



Laskentaa varten tarvitaan tiedot tutkittavan verkkoalueen rakennus- ja lämmitystyypeistä, mitkä ovat saatavissa Tilastokeskukselta kaikkien Suomen kuntien osalta, ja nämä on liitetty laskentaohjelmaan. Tutkimuksessa osoittautui, että rakennus- ja lämmitystiedot eivät pelkästään riitä, vaan lisäksi tarvitaan tutkittavan verkkoyhtiön asiakastietoja sähkönkulutuksen osalta.

Lämpöpumppujen lukumäärän valtakunnallisella kehitymisellä on merkittävä vaikutus tuloksiin. Tällä hetkellä Suomessa on noin 200 000 kpl lämpöpumppuja ja määrän uskotaan kasvavan miljoonaan kappaleeseen 2020-luvulle tultaessa. Tämänhetkinen lämpöpumppumäärä ei ole tarkkaan tiedossa verkkoyhtiökohtaisesti, joten sitä täytyy arvioida. Tässä tutkimuksessa arviona on käytetty verkkoyhtiön rakennusmäärän suhteuttamista valtakunnalliseen rakennusmäärään, joka kerrotaan valtakunnallisesti asennetulla lämpöpumppumäärällä. Tämän uskotaan olevan riittävän tarkka peruste lämpöpumppumäärän arviolle. Lämpöpumppujen asentamista mietittäessä tulisi aina pohtia, minkä lämmitysjärjestelmän rinnalle tai korvaajiksi lämpöpumput asennetaan. Lämmityskustannusten näkökulmasta lämpöpumppuja kannattaisi asentaa sähkö- ja öljylämmitteisiin rakennuksiin. Verkkoyhtiöön kohdistuu sähköenergiaa vähentävä vaikutus, kun lämpöpumppu asennetaan sähkölämmitteiseen rakennukseen. Muissa lämmitysjärjestelmissä lämpöpumppu lisää sähkönkulusta.

Tutkittavalle sähköverkkoyhtiölle tehtiin kaksi erilaista skenaariota 2020-luvulle. Perusskenaariossa pyrittiin käyttämään mahdollisimman realistia laskentaparametreja. Suurimman mahdollisen vaikutuksen skenaariossa, eli worst-case skenaariossa, haluttiin puolestaan tuoda esiin lämpöpumppujen suurimmat mahdolliset vaikutukset. Tutkittavan verkkoyhtiön perusskenaariossa oletettiin lämpöpumppumäärän kasvavan reilusti. Tällä hetkellä lämpöpumppuja oletetaan olevan 7 % kaikista rakennuksista, ja skenaarion lopulla 51 %. Prosenttiarvot perustuvat valtakunnallisiin tämän hetkisiin arvoihin ja tulevaisuuden lämpöpumppumäärien ennustuksiin. Pääpaino lämpöpumppujen asennuskohteissa on ollut sähkö- ja öljylämmityksessä. Tulokseksi saatiin, että tutkittavassa verkkoyhtiössä lämpöpumppujen vaikutus sähköenergiaan on vuodessa noin 11 % kokonaissähköenergiaa vähentävä. Verkkoliikevaihtoa vähentävä vaikutus oli

puolestaan 5 % vuodessa. Suurimmillaan vaikutus on silloin kun, lämpöpumppu on asennettu sähkölämmitteiseen rakennukseen. Lämpöpumpputyypeistä puolestaan maalämpöpumppu vaikuttaa eniten sähköenergian pienemiseen. Suurimman mahdollisen vaikutuksen skenaariossa maalämpöpumppuja oli 75 % ja ilmalämpöpumppuja 25 % kaikista lämpöpumpuista. Lämpöpumppuja on tässä skenaariossa jokaisessa sähkölämmitteisessä rakennuksessa ja muiden lämmitystyyppien rakennuksissa niitä ei ole laisinkaan. Suurimmiksi mahdollisiksi tuloksiksi saatiin sähköenergialle 25 % pienentävä vaikutus kokonaissähköenergiaan verrattuna ja liikevaihdolle noin 12 % laskeva vaikutus.

Lämpökertoimien kehittyminen ei vaikuttaisi tuovan kovin suurta muutosta sähköenergian säästöön. Maalämmön ja poistoilmalämpöpumppujen suhteen lämpökertoimien ei voida odottaa kasvavan kovin paljoa, mutta ulkoilmalämpöpumpuilla kehitystä odotetaan tapahtuvan. Tulokseksi saatiin, että UILP:n lämpökertoimien kasvu yhdellä sekä PILP:n ja MLP:n lämpökertoimien kasvu 0,4 yksikköä pienentäisi siirrettävää sähköenergiaa 5 % verrattuna nykyisillä kertoimilla laskettuun skenaarioon. Saadut tulokset ovat aika hyvin yleistettävissä muihinkin verkkoyhtiöihin, koska rakennus- ja lämmityskannassa ei ole loppujen lopuksi niin hirvittävän suuria eroja. Eniten liikevaihdosta saatuihin tuloksiin vaikuttaa verkkoyhtiöiden välillä tariffirakenne. Vaikutukset liikevaihtoon eivät ole niin merkittäviä, jos tariffirakenteessa perusmaksun osuus on suhteessa suurempi kuin energiamaksun. Laskennallinen selvitys täytyy tehdä kuitenkin jokaiselle sähköverkkoyhtiölle erikseen.

Lämpöpumppuala on kovassa myötätuulessa, ja lämpöpumput ovat tulleet Suomeen jäädäkseen. Vaikutuksia kohdistuu tällöin oikealla tavalla ja sopiviin olosuhteisiin asennetuista lämpöpumpuista niin kuluttajille, kuin sähköverkkoyhtiöillekin. Tulevaisuudessa lämpöpumpuilla on lämmityksen osalta runsaasti käyttöpotentiaalia, ja tätä varmasti vielä lisää rakennusten asumisviihtyisyyttä parantava kesäaikainen jäähdytys. Aika näyttää, miten kuluttajat tulevat jatkossa lämpöpumppuja hankkimaan. Tämä tulee myös näyttämään suunnan sähköverkkoyhtiöihin kohdistuviin vaikutuksiin.

**LÄHDELUETTELO**

- (Aittomäki 1996) Aittomäki, A. Kylmäteknikka. Tampere, 1996. Gummerus Oy, 2.painos. ISBN 951-96449-4-6
- (Aittomäki 2001) Aittomäki A. Lämpöpumppulämmitys. Tampere University of Technology, Tampereen teknillinen yliopisto, (TUT). 2001. [Viitattu 23.6.2009] Saatavilla www-muodossa osoitteesta: <http://www.tut.fi/units/me/ener/julkaisut/LP-opas.PDF>
- (ET 2009) Energiateollisuus. [Viitattu 18.7.2009] Saatavilla www-muodossa: [www.energia.fi](http://www.energia.fi)
- (ET muistio 2009) Energiateollisuus. Muistio. Periaatteita vika- ja häiriötilanteiden selvittämiseksi 12.11.2008. [Viitattu 25.1.2009].
- (Fingrid 2009) Fingrid Oyj. [Viitattu 21.10.2009] Saatavilla www-muodossa: [www.fingrid.fi](http://www.fingrid.fi)
- (IVT 2009) IVT lämpöpumput Oy. [Viitattu 23.6.2009]. Saatavilla www-muodossa: [www.ivt.fi](http://www.ivt.fi)
- (Heljo ym. 2005) Heljo J., Nippala E., Nuuttila H. Rakennusten energiankulutus ja CO<sub>2</sub>-ekv päästöt Suomessa. Raportti 2005:4. Tampereen teknillinen yliopisto, 2005. Tampere University of Technology. Rakentamistalouden laitos.

- (Heljo & Laine 2005) Heljo, J., Laine H. Sähkölämmitys ja lämpöpumput sähkökäyttäjänä ja päästöjen aiheuttajina Suomessa. Raportti 2005:2. Tampere University of Technology, Tampereen teknillinen yliopisto, 2005. Rakentamistalouden laitos.
- (Heljo 2008) Heljo Juhani. Lämmitysmarkkinoiden kehitys - millä Suomi lämmittää tulevaisuudessa. Seminaarikalvot 9.5.2008. Energiateollisuus ry kevätseminaari.
- (Lehtonen ym. 2007) Lehtonen M., Heine P., Kallonen M., Lähdetie A., Tapper J., Vitie M., Koski P., Elväs S., Rautiainen K., Husu T., Silvast A. IT-sovellukset ja energitehokkuuden kehittäminen. Tutkimusraportti 2007. Teknillinen Korkeakoulu. Teknillisen korkeakoulun Sähköverkot ja suurjännitetekniikan julkaisuja.
- (LUT-TTD 2009) Lappeenranta University of Technology, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, (LUT). [Viitattu 23.6.2009]. Teknillinen termodynamiikka verkko-opetusmateriaali.
- (LUT-TUT 2009) Honkapuro S., Jauhiainen N., Partanen J. Sähkön ja kaukolämmön rooli energitehokkuudessa ja energian säästössä. Lappeenranta University of Technology. Tampere University of Technology. Tutkimusraportti 4. 2009. ISBN 978-952-214-841-4.
- (MMM 2009) Maatilarekisteri Matilda. [Viitattu 21.7.2009]. Saatavilla [www.muodossa: www.matilda.fi](http://www.muodossa: www.matilda.fi)
- (Motiva 2009) Motiva. Lämpöä ilmassa -esite. Lämpöä omasta maasta -esite. [Viitattu 23.6.2009]. Saatavilla [www.muodossa: www.motiva.fi](http://www.muodossa: www.motiva.fi)

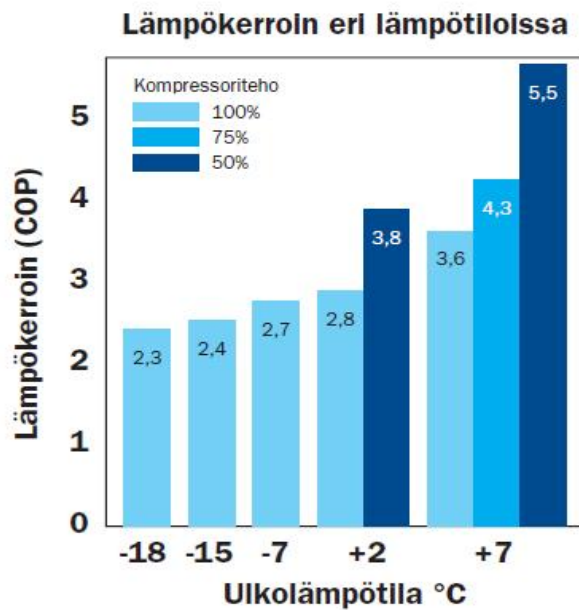
- (Nissilä 2007) Nissilä, O. Lämpöpumppujen käytön vaikutus sähköntuotantoon ja CO<sub>2</sub>-päästöihin. Diplomityö, 2007. Teknillinen korkeakoulu, Teknillisen fysiikan ja matematiikan osasto, Espoo.
- (Pesonen 2005) Pesonen, A. Lämpöpumpun käyttö rakennusten lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Kolme esimerkkirakennusta. Tampere, 2005. Raportti 180, Tampereen teknillinen yliopisto, Energia- ja prosessitekniiikan laitos. ISBN 952-15-1358-6. s.15–51
- (Rakennusmaailma 2009)TM Rakennusmaailma 5/2009. Ilmalämpöpumput vertailussa. [Viitattu 14.10.2009]
- (Salmi 2003) Salmi, J. Lämpöpumppu pientaloissa. Pro gradu–työ, Turku, 2003. Turun yliopisto, fysiikka.
- (Sulpu 2009) Suomen lämpöpumppuyhdistys, (SULPU). [Viitattu 23.6.2009]. Saatavilla www-muodossa: [www.sulpu.fi](http://www.sulpu.fi). Liitteen PDF-taulukko: Lämpöpumppujärjestelmän suunnittelu (PDF); [http://212.50.144.76/sulpu/PDFfiles/LP\\_opas.pdf](http://212.50.144.76/sulpu/PDFfiles/LP_opas.pdf)
- (Sähkömarkkinat 2008) Partanen J., Viljainen S., Lassila J., Honkapuro S., Tahvanainen K., Karjalainen R. Sähkömarkkinat opintomoniste, 2008. Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT). ISBN 951-764-819-9
- (Ilmatieteen laitos 2009) Ilmatieteen laitos. Kuukausikeskilämpötilan vaihtelu. [Viitattu 2.10.2009]. Saatavilla www-muodossa: [www.fmi.fi/saa/tilastot](http://www.fmi.fi/saa/tilastot)
- (Tilastokeskus 2009) Tilastokeskus. [Viitattu 15.12.2008]. Saatavilla www-muodossa: [www.stat.fi](http://www.stat.fi).

(Vero 2009)

Verohallinto. [Viitattu 23.6.2009] Saatavilla [www-muodossa osoitteesta: www.vero.fi](http://www.vero.fi)

## LIITTEET

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



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

