



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**ESA JOKELA**  
**LÄMPÖPUMPPUJÄRJESTELMIEN VAIKUTUS ENERGIAYHTIÖN**  
**LIIKETOIMINTAAN**

Diplomityö

Tarkastajat: professori Risto Raiko,  
professori Hannu Ahlstedt

Tarkastajat ja aihe hyväksytyt:

Teknisten tieteiden

tiedekuntaneuvoston kokouksessa

3. syyskuuta 2014

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

**JOKELA, ESA:** Lämpöpumppujärjestelmien vaikutus energiayhtiön liiketoimintaan

Diplomityö, 102 sivua, 17 liitesivua

Lokakuu 2014

Pääaine: Voimalaitos- ja polttotekniikka

Tarkastajat: professori Risto Raiko, professori Hannu Ahlstedt

Avainsanat: Lämpöpumput, kaukolämpö, hybridilämmitys

Tämän diplomityön tarkoituksena on antaa mahdollisimman kattava ja ajankohtainen yleiskuva Suomessa kaupallisesti hyödynnettävistä lämpöpumpuista ja lämpöpumppumarkkinoista. Lämpöpumppumarkkinoita arvioidaan useasta eri näkökulmasta painottaen lämpöpumppujen vaikutusta energiayhtiön liiketoimintaympäristöön ja erityisesti kaukolämpöliiketoimintaan.

Kaukolämpö on edelleen asuinrakennusten tärkein lämmitysmuoto lämpöpumppujen kasvattaessa suosiotaan. Suomen lämpöpumppumarkkinat ovat Ruotsin ohella eräs kehittyneimmistä markkina-alueista, joissa lämpöpumppuja hyödynnetään kiinteistöjen lämmitykseen. Lämpöpumpputyypeistä lukumääräisesti yleisimpiä ovat pientalojen ilma-ilma- ja maalämpöpumput. Lämpöpumput ovat keskeinen osa kansallista energiatehokkuuden toimintasuunnitelmaa ja lämpöpumppujen tuoman energiansäästöpotentiaalin ennustetaan olevan 7-9 TWh vuonna 2020.

Viime vuosien nouseva kaukolämmön hintakehitys on lisännyt taloyhtiöiden kiinnostusta vaihtoehtoisia lämmitysmuotoja, kuten lämpöpumppuja kohtaan. Poistoilmalämpöpumpuilla on energiansäästöpotentiaalia vuosina 1960–2002 rakennetuissa kaukolämmitteisissä asuinrakennuksissa yksikanavaisen koneellisen poistoilmavaihdon vuoksi. Poistoilmalämpöpumpulla voidaan vähentää asuinrakennuksen kaukolämpöenergian kulutusta jopa 40 %. Poistoilmalämpöpumppu osoittautui kannattavuuslaskelmissa vähäriskiseksi investoinniksi eikä se ole kovin herkkä sähkön tai korkojen hinnan nousulle.

Lämpöpumpun ja kaukolämmön yhteiskäyttö, eli niin sanottu hybridilämmitys, vähentää kaukolämpöenergian kulutusta suhteessa enemmän kuin kaukolämpötehoa. Osatehoinen lämpöpumppujärjestelmä on usein täystehojärjestelmää kannattavampi, mutta ympäristön ja energiajärjestelmän kannalta epäedullisempi vaihtoehto. Osatehoinen lämpöpumppujärjestelmä yhdessä lämmönjakojärjestelmän korkean lämpötilatason kanssa voimistavat rinnakkaisen lämmitysjärjestelmän tehontarvetta pakkasjaksojen aikana. Tämä asettaa haasteita kaukolämpöä toimittavan energiayhtiön nykyiselle lämmöntuotanto- ja tariffirakenteelle. Lämpöpumpun ja kaukolämmön kytkennällä voi olla kaukolämmön jäähtymää heikentävä vaikutus. Jäähtymän heikkeneminen nostaa kaukolämmön jakelu- ja tuotantokustannuksia.

Energiayhtiöt voivat joko seurata sivusta lämpöpumppujen yleistymistä kaukolämmön rinnalla ja huolehtia kaukolämmön teknisestä toimivuudesta tai toimia lämpömarkkinoiden aktiivisena osapuolena.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

**JOKELA, ESA:** The Impacts of Heat Pump Systems on the Energy Company's Business

Master of Science Thesis, 102 pages, 17 appendix pages

October 2014

Major: Power Plant and Combustion Technology

Examiner: Professor Risto Raiko, Professor Hannu Ahlstedt

Keywords: heat pumps, district heating, hybrid heating systems

The aim of this thesis is to create comprehensive and topical overview of the commercially available heat pumps and markets in Finland. The market is valued from different parties that are involved but the main focus is on Energy Company's business and especially in district heating.

District heating is so far the most common form of heating in residential buildings but heat pumps are growing their market share as a primary or secondary heating system. The Finnish heat pump market, along with the Swedish, is one of the most developed ones. The most common heat pump types are ground source and air source heat pumps in single apartment buildings. Heat pumps are essential part of the national energy efficiency program and the energy saving potential is estimated to be 7-9 TWh by the year 2020.

The rising district heating price has led the housing companies to search for alternative heating forms such as heat pumps. There is potential for exhaust air heat pumps in the apartment buildings that have been built 1960-2002 because those buildings have single-channel mechanical exhaust ventilation. Buildings of that type and era are also the main customer group of district heating. The exhaust air heat pump can save up to 40 % of the district heating energy in an apartment building and in investment calculations it has proven to be relatively safe investment.

Combining the district heating and heat pump, or so called hybrid heating system, in residential building decreases district heating energy relatively more than capacity. It is generally not economically reasonable to design the heat pump to provide the full heating capacity that the apartment needs. Together with a high temperature heat distribution system this enhances the need for an alternative heating system, such as district heating capacity during cold outside temperatures. As the hybrid heating system gets more popular it creates challenges for the district heating distributor's current network, production structure and pricing. The coupling of heat pump and district heating can increase the district heating return temperature which affects negatively on the distribution costs.

Energy companies can take the role of a bystander when heat pumps become more widespread in their district heating network and only ensure the technical functionality or they can take a more active role in the heat pump market.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehdään Tampereen teknilliseen yliopistoon osana diplomi-insinöörin tutkintoa. Työn tilaajana on Leppäkosken Sähkö Oy. Työ tehtiin vuonna 2014 touko-lokakuun välisenä aikana. Kiitokset Leppäkosken Sähkö Oy:lle mahdollisuudesta tehdä diplomityö. Erityiskiitos kehitysjohtaja Mauno Oksaselle mielenkiintoisesta aiheesta ja avunannosta työn eri vaiheissa, kaukolämpöpäällikkö Tero Pyykölle asiantuntevista kommentteista lämpöpumppuihin liittyen sekä muille työtovereille kiinnostuksesta työtäni kohtaan. Suuri kiitos myös avopuolisolleni Annalle sekä perheelleni opintojeni tukemisesta näiden vuosien aikana.

Tampereella 17.10.2014

Esa Jokela

## SISÄLLYS

1	Johdanto.....	1
2	Yleistä.....	4
	2.1 Energiankulutus ja -tuotanto .....	5
	2.1.1 Energianhankinta .....	6
	2.1.2 Energiapolitiikka .....	6
	2.1.3 Rakennusten energiankulutus.....	8
3	Lämpöpumppumarkkinat .....	11
	3.1 Suomen lämpöpumppumarkkinat .....	11
	3.2 Ruotsin lämpöpumppumarkkinat.....	13
	3.3 Muut lämpöpumppumarkkinat.....	13
4	Lämpöpumpun toiminta .....	15
	4.1 Lämpöpumppujen pääkomponentit.....	19
	4.1.1 Kompressori .....	19
	4.1.2 Kompressorin käyttölaite ja säätö .....	20
	4.1.3 Etäohjaus ja automatiikka .....	20
	4.1.4 Kylmäaineet .....	20
5	Lämpöpumpputyypit .....	23
	5.1 Ilma-ilmalämpöpumppu .....	23
	5.2 Ilma-vesilämpöpumppu .....	24
	5.3 Poistoilmalämpöpumppu .....	26
	5.4 Maalämpöpumppu.....	29
	5.5 Yhteenveto eri lämpöpumpputyypeistä.....	32
6	Lämpöpumppuratkaisun toteutus.....	33
	6.1 Lämpöpumppujen lupakäytännöt Tampereella.....	33
	6.2 Avustukset .....	34
	6.3 Lämpöpumppuratkaisun mitoitus.....	34
	6.3.1 Lämmitysenergia ja -teho .....	35
	6.3.2 Mitoituksen vaikutus tuotetun lämmön hintaan .....	37
	6.3.3 Olemassa olevan lämmönjakojärjestelmän vaikutus lämpöpumppuratkaisuun.....	37
	6.3.4 Lämpöpumppuratkaisun vaikutus rakennuksen rinnakkaiseen lämmitysjärjestelmään .....	39
	6.4 Lämpöpumppuinvestoinnin kannattavuus .....	42
	6.5 Lämpöpumppujen hyödyt, ongelmat, mahdollisuudet ja uhat.....	45
7	Kaukolämpöjärjestelmä.....	46
	7.1 Kaukolämmön tuotantotavat .....	47
	7.2 Kaukolämmön tuotantorakenne .....	48
	7.3 Kaukolämmön jakeluverkko .....	49
	7.4 Kuluttajan kaukolämpölaitteet .....	51
	7.5 Kaukolämpöveden jäähtymä.....	52

7.6	Kaukolämmön tuotantokustannukset .....	53
7.7	Kaukolämpötariffit .....	55
8	Kaukolämpöliiketoiminnan muuttuvat toimintaolosuhteet .....	59
8.1	Energian kulutusmuutokset.....	60
8.1.1	Ilmastonmuutos .....	60
8.1.2	Energiatehokkuus ja rakentamismääräykset .....	60
8.2	Ilmastonpäästöjen vähentäminen .....	60
8.2.1	Päästökauppa.....	60
8.2.2	IE-direktiivi .....	61
8.3	Kahdensuuntainen lämpökauppa .....	61
8.4	Älykäs kaukolämpö ja lämmön varastointi .....	62
8.5	Kaukolämpömarkkinoiden sääntely .....	63
8.6	Kilpailun lisääntyminen lämmitysmarkkinoilla.....	63
8.7	Kaukojäähdytys.....	64
9	Lämpöpumppujärjestelmien vaikutus energiayhtiön liiketoimintaan.....	65
9.1	Lämpöpumpun ja kaukolämmön kytkentä lämmitysjärjestelmään asuinkiinteistössä.....	65
9.2	Lämpöpumppujen yleistymisen aiheuttama kaukolämmön tuotantorakenteen muutos .....	66
9.3	Maalämpöpumppujen vaikutus sähkön ja lämmön yhteistuotantoon .....	69
9.4	Lämpöpumppujen vaikutus energiayhtiön sähkön myynti- ja verkkoliiketoimintaan.....	70
9.5	Lämpöpumppujen vaikutus sähkön hintaan .....	71
9.6	Lämpöpumppujärjestelmien hyödyt, ongelmat, mahdollisuudet ja uhat energiayhtiön näkökulmasta .....	73
10	Lämpöpumppuratkaisujen vaikutus energiamarkkinoiden muihin sidosryhmiin...	74
10.1	Taloyhtiöt.....	74
10.2	Laitetoimittajat ja alan urakoitsijat.....	76
10.3	Yhteiskunta .....	77
10.3.1	Vaihtotase ja omavaraisuus.....	77
10.3.2	Verokertymä.....	78
10.3.3	Kunnat.....	78
10.4	Ympäristövaikutukset.....	78
11	Johtopäätökset.....	80
	Lähteet.....	84
	Liite 1: Ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä.....	93
	Liite 2: Säävyöhykkeiden aluejako.....	94
	Liite 3: Lämpöpumppujen tehokertoimia .....	95
	Liite 4: Hybrilämmitysjärjestelmän esimerkikiytkentä.....	99
	Liite 5: Lämpöpumppujen merkintä .....	101
	Liite 6: Kannattavuuslaskelma .....	102
	Liite 7: As Oy Vuorikilpi, Jyväskylä .....	103

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

h	Entalpia [kJ/kg]
$\dot{Q}$	Lämpöteho [W]
Q	Lämpömäärä [J]
T	Lämpötila [K]
W	Työ [J]
p	Paine [1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa]
70/40	Rakennuksen lämmönjakojärjestelmän lämpötilataso, jossa verkoston meno- ja paluulämpötilaa ohjataan ulkolämpötilan mukaisesti, siten että korkein menolämpötila on 70 °C ja paluulämpötila 40 °C.
2MPUK	Polyeteenimuovilla päällystetty polyuretaanieristeinen kiinnivaahdotettu kaukolämpöjohto, jossa teräksiset meno- ja paluujohtot kulkevat erillisessä suojakuoressa.
ARA	Asuntojen rahoittamis- ja kehittämiskeskus.
BAT	Paras käyttökelpoinen tekniikka (Best Available Technology). Parhaalla käyttökelpoisella tekniikalla tarkoitetaan mahdollisimman tehokkaita ja kehittyneitä, teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisia tuotanto- ja puhdistusmenetelmiä ja toiminnan suunnittelu-, rakentamis-, ylläpito- sekä käyttötapoja, joilla voidaan ehkäistä toiminnan aiheuttama ympäristön pilaantuminen tai tehokkaimmin vähentää sitä.
CFC	Klooria tai fluoria sisältävä halogeenihiilivety-yhdiste (Chlorine-Fluorine-Carbon), jota yleisesti on käytetty kylmälaitteissa.
CHP	Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitos (Combined Heat and Power).
COP	Nimellislämpökerroin (Coefficient of Performance). Hetkellinen lämpöpumpun tuottama lämpöteho jaettuna ottotehol- la.

EER	Kylmäkerroin (Energy Efficiency Ratio). Lämpöpumpun hetkellinen hyötysuhde jäähdytyskäytössä, joka ilmoitetaan jäähdytystehon suhde sähkönottotehoon.
F-kaasu	Fluorattu kasvihuonekaasu, joka muodostuu useasta kemiallisesti yhdisteestä joita ovat fluori- ja perfluorihilivedyt sekä rikkiheksafluoridi.
HFC	Fluorihilivety (Hydrogen-Flourine-Carbon).
Huipunkäyttöaika	Ajan pituus, joka kuluisi vuodessa tuotetun energiamäärän tuottamiseen, kun voimalaitos toimisi koko ajan nimellistehollaan.
Hybridilämmitys	Rakennus, jonka lämmitys ja lämmin käyttövesi tuotetaan sekä lämpöpumpulla että kaukolämmöllä.
IED	Industrial Emissions Directive. EU-direktiivi, jolla pyritään vähentämään teollisuuden typenoksidi- ja hiukkaspäästöjä.
IILP	Ilma-ilmalämpöpumppu. Siirtää lämpöä ulkoilmasta huoneilmaan. Voidaan käyttää myös rakennuksen jäähdytykseen.
IPCC	Hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli (Intergovernmental Panel on Climate Change).
IVLP	Ilma-vesilämpöpumppu. Siirtää lämpöä ulkoilmasta lämminvesivaraajaan, josta lämpö voidaan jakaa lämmitysverkostoon tai lämpimään käyttöveteen.
kWh/m <sup>3</sup> a	Asuinrakennuksen ominaistilavuutta kohti olevan vuotuisen energiankulutuksen yksikkö.
kW <sub>th</sub>	Lämpötehon yksikkö.
LVIS	Rakennuksen lämpö-, vesi-, ilma- ja sähköjärjestelmät sekä -laitteet.
Lämpökaivo	Lämpöpumpun yhteydessä maahan porattava kaivo, johon voidaan ladata tai purkaa lämpöä.



MLP	Maalämpöpumppu. Siirtää lämpöä maaperästä tai vesistöstä lämminvesivaraajaan, josta voidaan jakaa lämmitysverkkoon tai lämpimään käyttöveteen. Voidaan käyttää myös rakennuksen jäähdytykseen.
MPUK	Polyeteenimuovilla päällystetty polyuretaanieristeinen kiinnivaahdotettu kaukolämpöjohto, jossa teräksiset meno- ja paluujohdot kulkevat saman suojakuoren sisällä.
Multi-Split	Split-koneisto, joka liittää kokonaisuudeksi useamman kuin yhden sisäyksikön, kylmäainepiirin, kompressorin tai ulkoyksikön.
PILP	Poistoilmalämpöpumppu. Siirtää lämpöä poistoilmavirrasta lämminvesivaraajaan, josta voidaan jakaa lämmitysverkkoon tai lämpimään käyttöveteen.
Pysyvyyskäyrä	Pysyvyyskäyrä ilmaisee tehontarpeen pysyvyyden eli ajan, jonka tehontarve on vähintään tietyn suuruinen.
Sankey-diagrammi	Kuvaa viitteellisesti voimalaitoksen energiavirtojen jakautumista lämpöön, sähköön ja häviöihin.
SCOP	Lämmityskauden lämpökerroin (Seasonal Coefficient of Performance). Vuotuinen peruslämmitystarve jaettuna vuotuisella energiankulutuksella.
SEER	Vuotuinen kylmäkerroin (Seasonal Energy Efficiency Ratio) on laitteella tuotetun jäähdytysenergian suhde kompressorin ja apulaitteiden sähköenergian kulutukseen.
SPF	Kausisuorituskykykerroin (Seasonal Performance Factor), lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun vuotuisen sähkönkulutukseen.
Tilausteho	Tilausteho (kW) tai joissakin lähteissä sopimusteho, tarkoittaa kaukolämpöasiakkaan käyttöön varattua suurinta tuntista tehoa.
Tilausvesivirta	Tilausvesivirta (m <sup>3</sup> /h) tai sopimusvesivirta tarkoittaa kaukolämpöasiakkaan käyttöön varattua suurinta tuntista kaukolämpövesivirtausta.

toe

Öljykvivalenttitonni (Tonnes of Oil Equivalent). Energiämäärä, joka vapautuu poltettaessa tonni raakaöljyä. Yksi öljykvivalenttitonni vastaa noin 42 GJ.

# 1 JOHDANTO

Tässä diplomityössä tarkastellaan kiinteistökohtaisten lämpöpumppujen yleistymisen vaikutusta energiayhtiön sähkö- ja kaukolämpöliiketoimintaan. Tavoitteena on antaa mahdollisimman laaja ja ajantasainen kokonaiskuva edelleen dynaamisessa kehitysvaiheessa olevasta lämpöpumppumarkkinasta. Tähän perustuen esitetään toimenpideehdotuksia, joiden perusteella energiayhtiön liiketoiminnat voivat nykyistä paremmin huomioida lämpöpumppuja hyödyntävien asiakkaiden ja muiden lämpöpumppumarkkinoiden sidosryhmien tarpeet.

Erilaiset lämpöpumput ja lämmön talteenottojärjestelmät ovat kasvattaneet nopeasti markkinaosuuttaan uusien ja saneerattavien kiinteistöjen ensisijaisena tai toissijaisena lämmitysmuotona. Vuosittain Suomessa otetaan käyttöön kymmeniätuhansia asuntojen lämmitykseen tarkoitettuja lämpöpumppuja. Uudet energiatehokkuusvaatimukset, kiristynyt energiaverotus, nouseva energian hinta ja nopea laiteteknologian kehitys lisäävät lämpöpumppujen suosiota asuinkiinteistöjen lämmityksessä myös tulevaisuudessa.

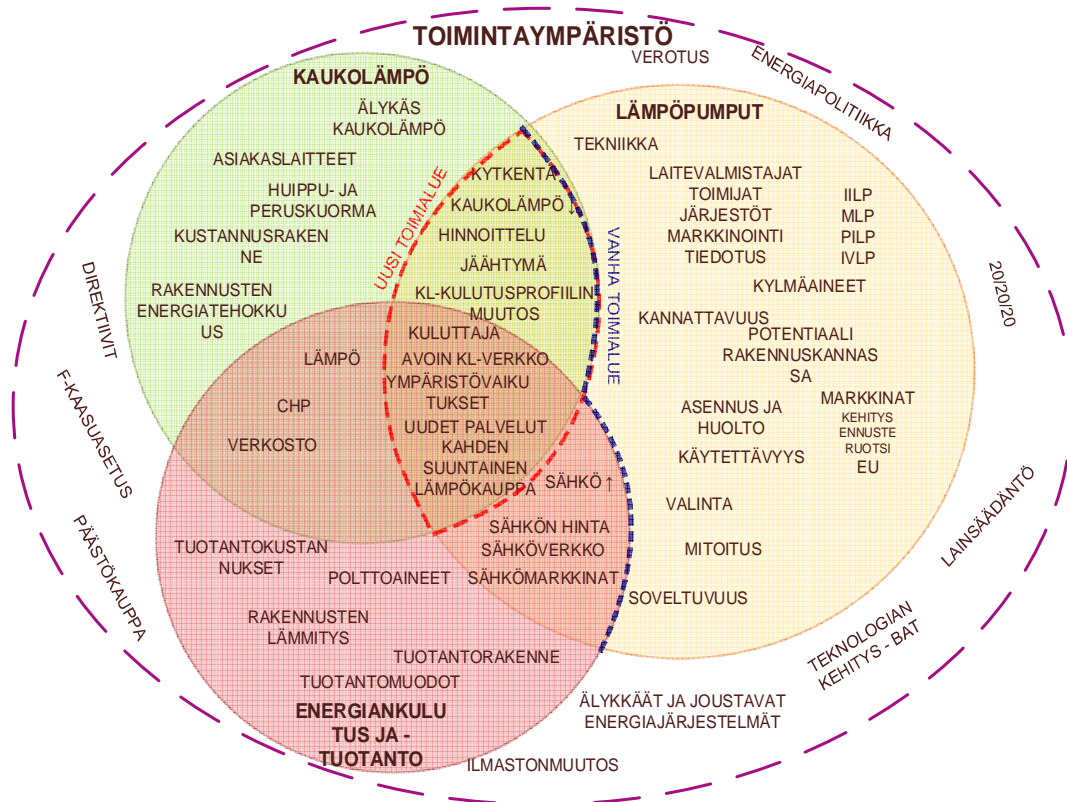
Energiamarkkinoilla on useita hyvin erilaisilla intresseillä toimivia sidosryhmiä. Energiayhtiöiden näkökulmasta asiakasrajapinnan takana tapahtuva nopea energian kulutuksen ja teknologian muutos on sekä strateginen että teknistaloudellinen haaste. Asiakkaan kannalta ostoenergian käyttöä vähentävä laiteinvestointi on asumiskustannuksia pienentävä energiatehokkuusinvestointi. Laitevalmistajan näkökulmasta energiatehokkuusinvestoinnit ovat mahdollisuus kasvattaa liiketoimintaa ja verottajan kannalta investointi tai kulutusmuutos voi merkitä verotulojen kasvua tai laskua.

Työn yhtenä osa-alueena käydään läpi olemassa olevia lämpöpumppukohteita ja arvioidaan näiden kohteiden toteutunutta energiansäästöä ja investointien kannattavuutta. Erityinen painoarvo on asetettu kaukolämpöverkkoon liittyviin niin sanottuihin hybridilämmityskohteisiin, joilla on suuri vaikutus erityisesti kaukolämpöasiakkuuksiin.

Lämpöpumppujen yleistymisen vaikutusta energiayhtiön olemassa olevaan ja tulevaan energian tuotanto- ja jakeluinfrastruktuuriin lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Kaukolämpöverkkoon liittyvien hybridilämmityskohteiden vaikutus tulisi ottaa nykyistä paremmin huomioon energiayhtiön verkostojen ja tuotantolaitoksien mitoituksessa. Energiayhtiön tulee edelleen kehittää kiinteistöjen lämmitysjärjestelmien suunnitteluun ja käyttöön liittyvää ohjeistusta.

Lämpöpumput ovat kuluttajan tekemä energiatehokkuusinvestointi, jolla on erityisesti kaukolämmön yhteydessä vaikutusta energiayhtiön eri liiketoiminta-alueisiin ja tämän vuoksi energiayhtiöiden olisi syytä olla kiinnostunut asiakkaiden lämpöpumppuinvestoinneista. Lämpöpumput siirtävät osaltaan nykyistä energiayhtiön ja asiakkaan

välillä rajapintaa lähemmäs asiakasta asettaen teknisiä haasteita ja avaten uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Tätä kokonaisuutta havainnollistetaan kuvassa 1.1.



**Kuva 1.1:** Työn kokonaiskuva, jossa lämpöpumput yhdistyvät osaksi energiajärjestelmää, avaavat uusia liiketoimintamahdollisuuksia ja asettavat teknisiä haasteita.

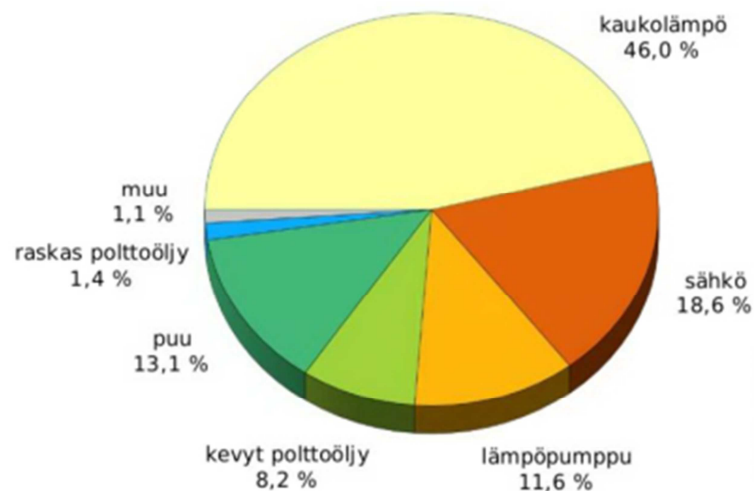
Dynaamisessa kasvu- ja kehitysvaiheessa olevat lämpöpumppu- ja lämmitysmarkkinat ovat energiayhtiöiden liiketoiminnoille sekä strateginen että teknistaloudellinen haaste ja mahdollisuus. Energiayhtiöiden energian tuotannon ja jakelun pitkäaikaiset ja pääomavaltaiset infrastruktuuri-investoinnit ovat tulevaisuudessa osa nopeasti muuttuvia kaksisuuntaisia ja joustavia energiainmarkkinoita.

Energiayhtiöiden perinteisten ydinliiketoimintojen markkinoilla ja asiakasrajapinnassa tapahtuvat kulutus- ja markkinaosuusmuutokset sekä energiainmarkkinoiden kilpailu kiristyminen vaikuttavat yhtiöiden pitkän aikajänteen taloudellisiin toimintaedellytyksiin ja siten niiden tuleviin strategisiin valintoihin. Sähkön ja lämmön myynnin volyymivaihtelun nopeat muutokset sekä muut asiakasrajapinnassa tapahtuvat muutokset heijastuvat yhä arvaamattomammin yhtiöiden energianhankintaan, tuotantoinvestointeihin ja henkilöresursseihin. Energiaverotus ja päästökauppa ovat muuttaneet eri primäärienergiamuotojen kilpailuasemaa ja luoneet markkinapotentiaalin vähäpäästöisille energiainmuodoille. Nopea teknologinen kehitys, perinteisten liiketoimintaprosessien sähköistyminen ja automatisoituminen ovat lisänneet erilaisten sähköisten palveluiden kysyntää ja tarjontaa. Esimerkiksi energiainkulutuksen etäluenta, raportointi ja erilaiset muut sähköiset palvelut kasvattavat merkitystään osana energiainyhtiöiden palveluita.

Työn lähtöaineistona ja viitekehyksenä toimivat monelta osin Motivan, Energia-teollisuuden ja Ympäristöministeriön teettämät tutkimukset ja selvitykset sekä alan muut yleisesti tunnistettavat lähteet ja oppikirjat. Työtä on täydennetty haastatteluilla ja olemassa olevilla kohdetiedoilla, joissa on hyödynnetty lämpöpumppuja. Työssä suoritettut laskennat on toteutettu Excel-tilukkolaskentaohjelmalla.

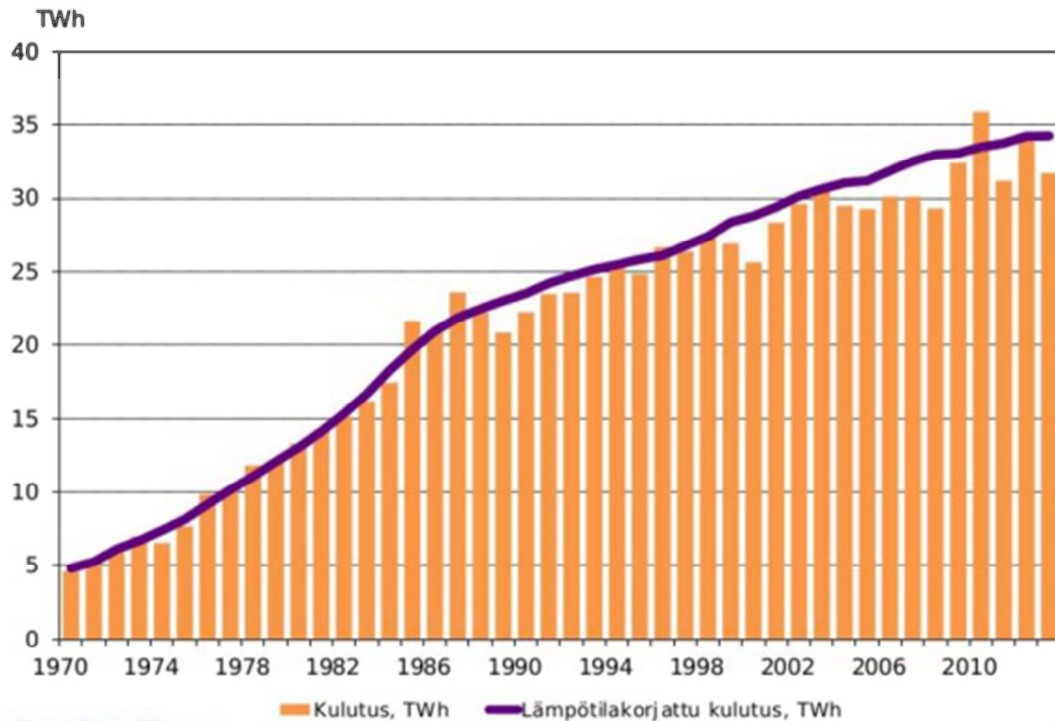
## 2 YLEISTÄ

Kaukolämpö on Suomessa edelleen yleisin lämmitysmuoto ja se on säilyttänyt markkinajohtajan aseman asuin- ja palvelurakennuksissa ensisijaisena lämmitysjärjestelmänä lämpöpumpujen ja erilaisten hybridilämmitysjärjestelmien kasvattaessa markkinaosuuttaan, kuva 2.1. Suomessa energianloppukulutus oli vuonna 2013 noin 306 TWh, josta kiinteistöjen lämmityksen osuus oli neljäsosa (SVT, energian hankinta ja kulutus). Kyse on merkittävästä energian käyttötarkoituksesta.



**Kuva 2.1:** Lämmityksen markkinaosuudet asuin- ja palvelurakennuksissa 2012. Lämpöpumput sisältävät lämpöpumppujen käyttämän sähköenergian. (Energiavuosi 2013)

Kaukolämmön markkinaosuuden säilyttäminen tulevaisuudessa edellyttää sen kilpailukyvyn tehostamista suhteessa vaihtoehtoihin lämmitysmuotoihin. Kaukolämmön kulutus on jatkanut tasaista kasvua kuvan 2.2 mukaisesti, mutta eräiden arvioiden mukaan kasvu tulee pysähtymään ja energian kulutus kääntyy laskuun vuoteen 2030 mennessä muun muassa rakennuskannan uusiutumisen, ilmaston lämpiämisen ja energiatehokkuusvaatimusten kiristymisen myötä (Kaukolämpöalan strategia, 2013).



**Kuva 2.2:** Kaukolämmön kulutuksen kehitys. (Energiavuosi 2013)

Perinteisten lämmitysmuotojen rinnalla erilaiset lämpöpumppuratkaisut ovat yleistyneet nopeasti asuinkiinteistöjen ensisijaisena tai olemassa olevaa järjestelmää täydentävänä ratkaisuna. Lämpöpumppumarkkinoiden kehitys on edennyt pienkiinteistöistä yhä suurempiin kohteisiin. Suuremmissa asuinkiinteistöissä maalämpö- ja poistoilmalämpöpumppuratkaisut kilpailevat erityisesti kaukolämmön kanssa ja muutos heijastunee vähitellen energiayhtiöiden olemassa olevaan liiketoimintaan.

Energiayhtiöiden rooli lämpöpumppumarkkinoilla ja lämpöpumppuratkaisujen asiakasrajapinnassa on ollut toistaiseksi epäselvä ja aktiivisuus lämpöpumppujen hyödyntäjänä omassa tai asiakkaiden energiaratkaisuissa vähäistä. Lämpöpumput kilpailevana tai energiayhtiöiden energianmyyntiä vähentävänä ratkaisuna tiedostetaan.

## 2.1 Energiankulutus ja -tuotanto

Suomalainen yhteiskunta erilaisine toimintoineen on energia-intensiivisiä ja energiaa sekä hankitaan että kulutetaan monella eri tavalla. Tässä diplomityössä keskitytään rakennusten lämmitysenergiaan ja sen tuotantomuodoista kaukolämpöön, kiinteistökohtaisiin lämpöpumppuihin ja näiden yhdistelmäratkaisuihin eli niin sanottuihin hybridi-lämmitysratkaisuihin. Lämpöpumput ja kaukolämpö ovat osa energiajärjestelmää ja kytkeytyvät sähkö- ja kaukolämpöverkon kautta voimalaitoksiin ja energiayhtiön liiketoimintaan.

### 2.1.1 Energianhankinta

Suomessa energiayhtiöt hankkivat asiakkaille myymänsä energian useista ei lähteistä. Eräs keskeinen hankintakriteeri on tuotetun tai ostetun energianhinta. Lisäksi energian hankinnalle voidaan asettaa muita kriteerejä, kuten energian saatavuus, kotimaisuus ja ympäristövaikutukset. Tyypillisesti energiayhtiön energianhankintaportfolio koostuu useasta eri primäärienergiälähteestä, jolla hajautetaan energian hintaan ja saatavuuteen liittyvää riskiä. Suomen energiaomavaraisuusaste on alhainen ja lähes 70 % primäärienergiasta tuodaan ulkomailta (SVT, energian hankinta ja kulutus).

### 2.1.2 Energiapolitiikka

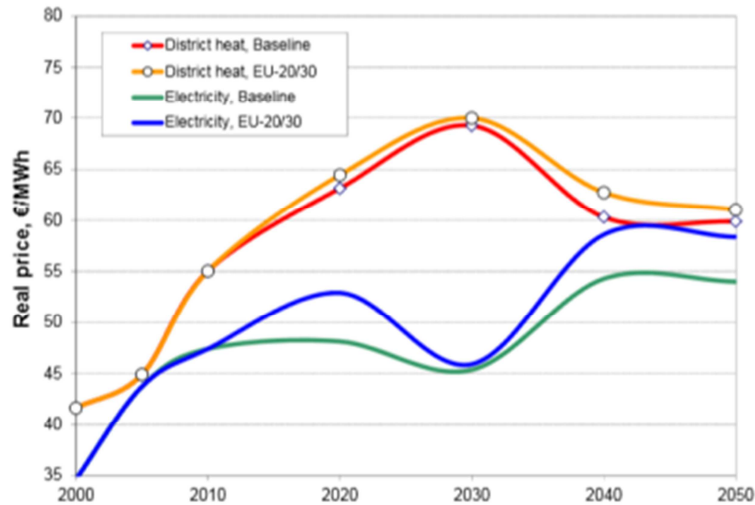
Kansallinen ja EU:n energiapolitiikka ja muu sääntely sekä energiamarkkinoiden kansainvälistyminen vaikuttavat yhä voimakkaammin suomalaisten energiayhtiöiden liiketoimintaympäristöön. Kansallinen energiaverotus, energiatuet ja ympäristönormit ovat osa keinovalikoimaa, joilla valtiolta ohjaa ja toteuttaa kulloistakin energiapolitiikkaa.

EU:n energia- ja ilmastotavoitteiden mukaisesti vuoteen 2020 mennessä Suomen tulee vähentää kasvihuonekaasupäästöjä viidennes vuoden 1990 tasosta, uusiutuvien energialähteiden osuutta on kasvatettava 38 %:iin loppukulutuksesta ja energiatehokkuuden on tehostettava viidenneksellä. (Kansallinen energia- ja ilmastostrategia, taustaraportti 2013) Suomen energiapolitiittisia nykylinjauksia on kuvattu kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa vuodelta 2013 (Kansallinen energia- ja ilmastostrategia 2013):

- Energiankäytön tehostaminen
- Energiantuotannon perustuminen hiilettömyyteen
- Uusiutuviin energialähteisiin perustuvan energiantuotannon kytkeminen osaksi rakennustekniikkaa ja energijärjestelmiä
- Öljyn korvaaminen liikennepolttoaineena
- Lämpöpumppujen ja aurinkolämmön mahdollisuuksien parantaminen kiinteistöjen energiatehokkuudessa ja kiinteistökohtaisten pientuotantomuotojen edistäminen

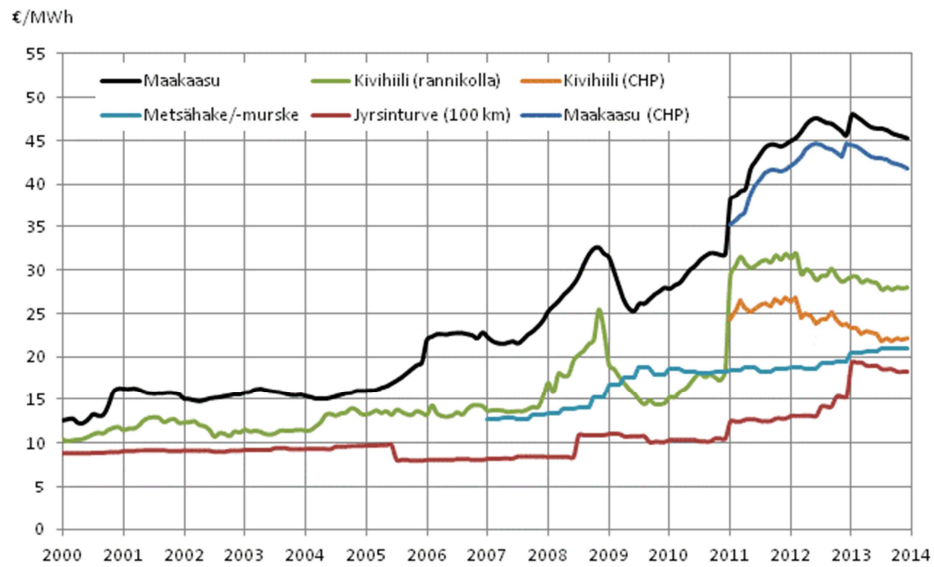
EU:n ja kansallisen energia- ja ilmastopolitiikan vaikutusta energian hintaan on tutkittu Valtion taloudellisen tutkimuskeskuksen julkaisussa vuodelta 2013. Julkaisussa tutkittiin nykyisestä 20 %:n päästövähennystavoitteen tiukempaa 30 %:in tavoitteeseen siirtymisen energia- ja kansantaloudellisia vaikutuksia. Kuvassa 2.3 esitetään ennuste tiukentuneiden päästövähennysten ja nykyisten tavoitteiden vaikutuksesta kaukolämmön ja sähkön hintaan Suomessa. Tiukemman päästörajan ennusteessa päästöoikeuksien hinnat nostavat sähkön hintaa ja kivihiilen käytön rajoitukset nostavat kaukolämmön hintaa. Sähkön hinnan ennusteisiin vaikuttavat muun muassa Olkiluoto 3:n käynnistysajankohtaan liittyvä epävarmuus ja Loviisa 1:n alasajo vuonna 2030. Yleisen arvion mukaan ei ole nähtävissä sähkön hintatason merkittävää nousua lähitulevaisuudessa. (Honkatukia et al. 2013)





**Kuva 2.3:** Tiukentuneiden päästötavoitteiden vaikutus sähkön ja kaukolämmön hintaan. (Honkatukia et al. 2013)

Energiapoliittiset vero- ja tukilinjaukset sekä ilmastostrategia ovat kohentaneet päästöttömien energiamuotojen kilpailuasemaa ja lisänneet uusiutuvien energialähteiden osuutta energiantuotannosta. Uusiutuvista energiantuotantomuodoista etenkin tuuli- ja aurinkosähköntuotanto riippuvat vaihtelevista sääolosuhteista. Tuuli- ja aurinkosähkö tarvitsevat rinnalleen vastaavan määrän säätö- ja varavoimaa, jolla tasataan tai varmistetaan näiden vaikeasti ennustettavien tuotantomuotojen aiheuttamia volyymivaihteluita. Tietyissä tilanteissa sähkömarkkinoille voi tulla hetkellisesti aurinko- ja tuulisähkön ylitarjontaa, jolloin sähkön markkinahinta voi muodostua negatiiviseksi. Tuuli- ja aurinkosähkön arvellaan kasvattavan kansallisen sisäisen säätövoiman tarvetta 400 MW vuoteen 2020 mennessä (Säätövoima). (Kaukolämpöalan strategia 2013) Kuvasta 2.4 esitetään voimalaitoksissa käytettyjen polttoaineiden hintakehitys vuodesta 2000.



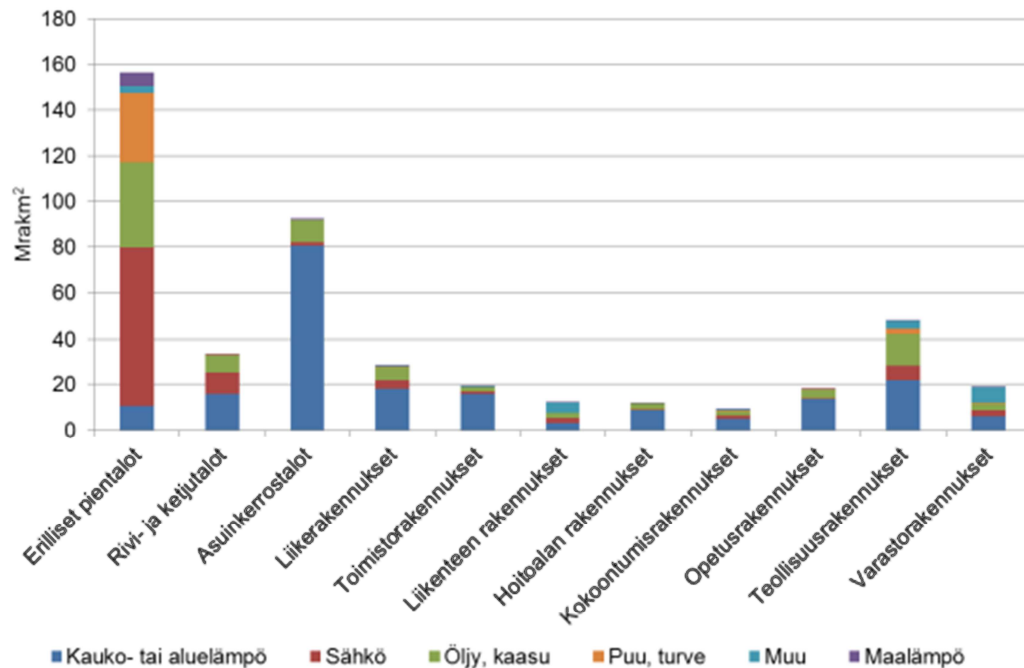
**Kuva 2.4:** Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa. (SVT, Energian hinnat)

Veronkorotukset nostivat kivihiilen ja maakaasuun hintaa 2011 ja maakaasuun on tulossa veronkorotus vuonna 2015 (Energiaverotus 2014). Öljy, kaasu ja kivihiili ovat globaaleja markkinapolttoaineita, joiden hintavaihtelut heijastuvat suoraan ja välillisesti myös Suomen ja Pohjoismaiden energiamarkkinoihin.

### 2.1.3 Rakennusten energiankulutus

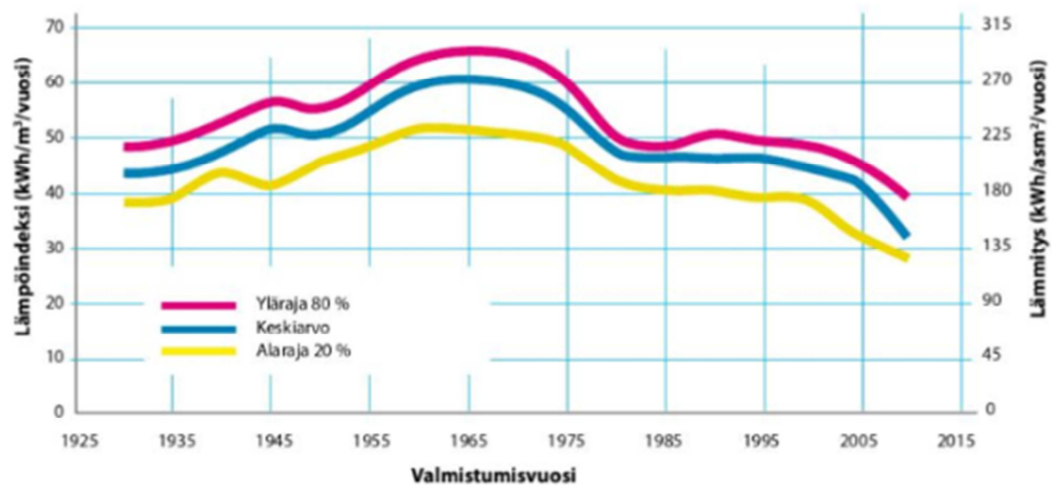
Rakennusten lämmitykseen kuluu noin neljännes Suomen energianloppukulutuksesta eli kyseessä on merkittävä energiamarkkinoiden osa-alue. Kansantalouden ja ympäristön kannalta lämmitysmarkkinat ovat tärkeä osa energia- ja ilmastopolitiikan tavoitteiden toteutumista.

Suomessa kaukolämpö on tällä hetkellä yleisin suurten rakennusten lämmitysmuoto taajama- ja kaupunkialueella. Kaukolämmitteisissä rakennuksissa asuu noin 2,7 miljoonaa ihmistä. Kuvasta 2.5 nähdään, että kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto asuinkerrostaloissa. Vuonna 2013 uudisrakentamisessa asuinkerrostaloista noin 96 % valitsi kaukolämmön lämmitysmuodokseen, pientaloissa osuuden ollessa ainoastaan 14 %. Pientalojen öljylämmitystä korvataan tai täydennetään enenevässä määrin lämpöpumpuilla. (Energiavuosi 2013)



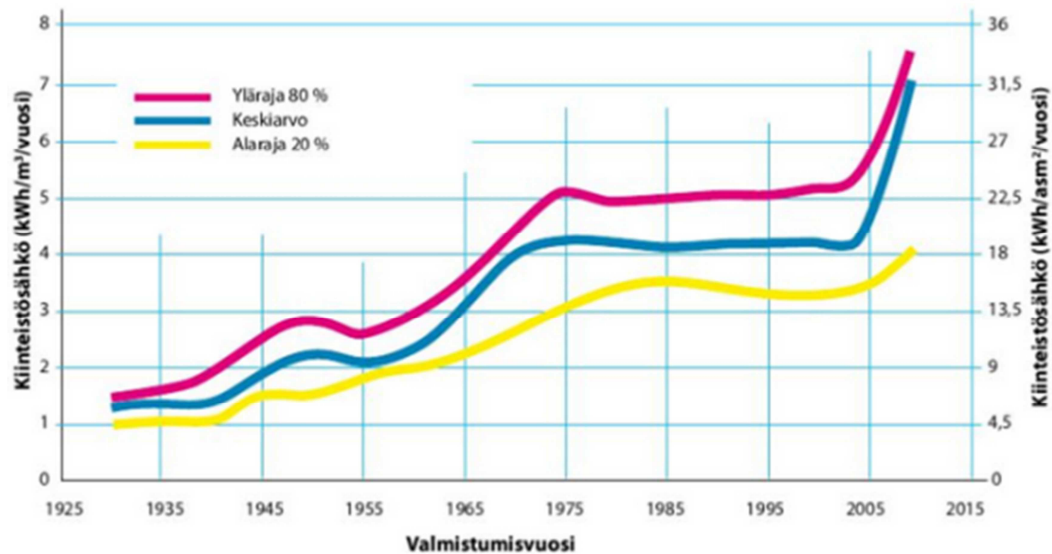
**Kuva 2.5:** Lämmitysmuotojen jakautuminen eri rakennustyyppien kesken rakennutun pinta-alan mukaan (miljoonaa rakennusneliometriä). (SVT, rakennukset ja kesämökki)

Uudisrakennuksien yhä kiristyvät energiatehokkuusvaatimukset vähentävät lämpöhäviöitä. Muuttuneiden rakentamismäärysten ja energian hinnannousun johdosta asuinkerrostalojen ominaislämmönkulutus on laskenut yli 40 % 70-luvun tasolta, kuten kuvasta 2.6 havaitaan.



**Kuva 2.6:** Asuinkerrostalojen lämmitysenergiankulutuksen muutos. (Virta & Pylsy 2011)

Ominaislämmönkulutuksen jatkaessa laskuaan asuintalojen sähkönkulutus kasvaa vuosittain, kuten kuvassa 2.7 esitetään. Kiinteistösähköä kuluu yleisesti valaistukseen, puhaltimiin, autonlämmityspistokkeisiin, pumppuihin, hisseihin sekä talosaunoihin ynnä muuhun.



**Kuva 2.7:** Asuinkerrostalojen kiinteistö sähkönkulutus. (Virta & Pylsy 2011)

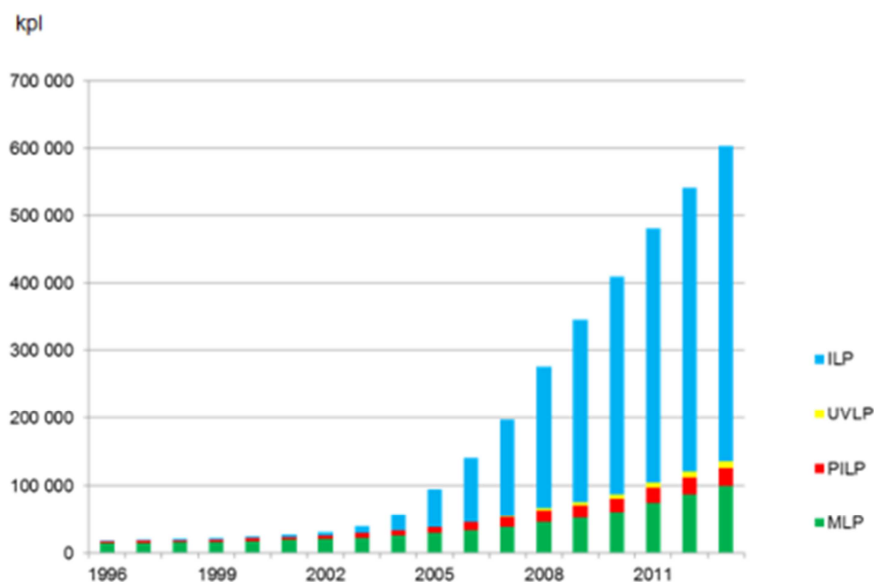
Sähkön kulutusta on lisännyt asuintalojen kasvanut viihde-elektroniikan määrä, siirtyminen koneelliseen poistoilmanvaihtoon 1960 luvulla ja koneelliseen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmään vuoden 2003 jälkeen sekä kosteiden tilojen sähköisen lattialämmityksen yleistyminen. (Virta & Pylsy 2011)

## 3 LÄMPÖPUMPPUMARKKINAT

Lämpöpumppujen tekniikan kehittyminen ja laskeva hinta, energia- ja kustannussäästöt, kiristyneet rakennusmääräykset sekä vaihtoehtoisten lämmitysmuotojen hintojen nousu ovat parantaneet lämpöpumppujen kilpailukykyä ja lisänneet niiden suosiota rakennusten lämmityksessä.

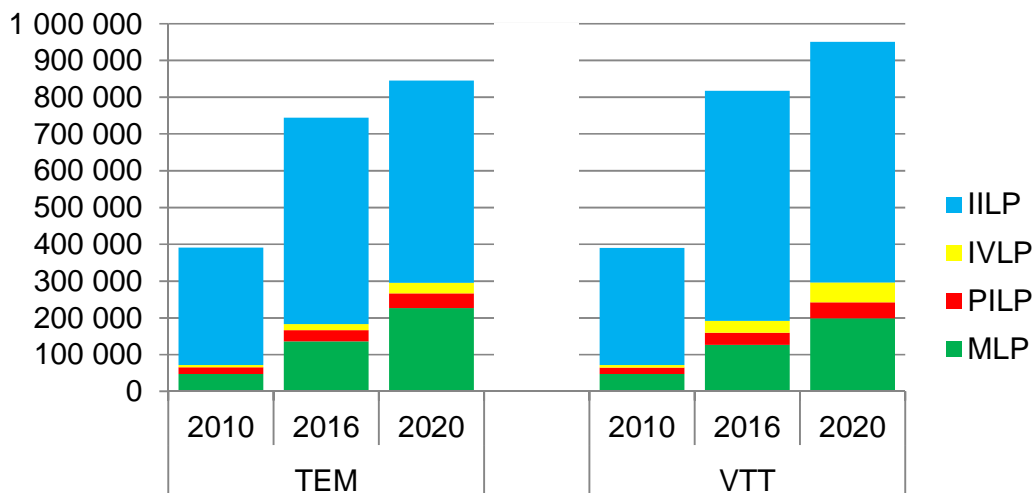
### 3.1 Suomen lämpöpumppumarkkinat

Vuonna 2013 yli 600 000 lämpöpumppua oli asennettu suomalaisiin kiinteistöihin, kuten kuvasta 3.1 ilmenee. Lämpöpumpuista yleisin on ilma-ilmalämpöpumppu (IILP) ja se on suosittu pientaloissa ja vapaa-ajanasunnoissa. Maalämpöpumppu (MLP) on jatkuvasti kasvattanut suosiotaan uudisrakentamisessa ja saneerauskohteissa vanhan öljylämmityksen korvaajana. Vuonna 2010 noin puolet pientalojen uudisrakentajista valitsi MLP:n rakennuksensa päälämmitysmuodoksi. Suuremmat asuinkiinteistöt, kuten rivi- ja kerrostalot, ovat viimeaikoina täydentäneet lämmitystään poistoilma-, ilma-vesi- ja maalämpöpumpuilla. Poistoilmalämpöpumppu (PILP) ja ilma-vesilämpöpumppu (IVLP) ovat kasvattaneet suosiotaan muita lämpöpumppuja selvästi hitaammin. (Suomen lämpöpumppuyhdistys ry., 2013)



**Kuva 3.1:** Lämpöpumppujen kokonaismäärän kehitys 1996–2013. (Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. 2013)

Kuvassa 3.2 on esitetty Ympäristöministeriön ja VTT:n ennusteet lämpöpumppujen kappalemäärien kasvusta, jotka hiukan poikkeavat toisistaan, mutta vuonna 2020 lämpöpumppuja voidaan ennustaa olevan noin 900 000 kappaletta ja niiden tuoma energiansäästöpotentiaali on noin 7,7-9 TWh (NEEAP-3 2014, s. 70) (Laitinen et al. 2014, s.16). Laitinen et al. (2014) ovat ennustaneet lämpöpumppujen yhteenlasketuksi lämpötehoksi yli 6 GW vuonna 2020.



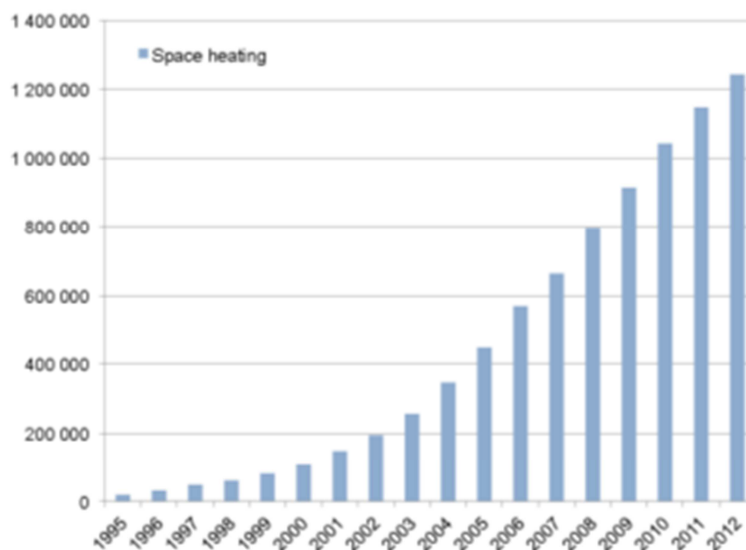
**Kuva 3.2:** Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) ja VTT:n kappalemääräiset lämpöpumppujen kasvuennusteet. (Laitinen et al. 2014, s. 16; NEEAP-3 2014, s. 70)

Suomessa myytävät lämpöpumput ovat pääosin saksalaisilta, ruotsalaisilta ja japanilaisilta valmistajilta. Kotimaisia lämpöpumppuvalmistajia ovat muun muassa Gebwell, Lämpöässä ja Oilon. Maalämpöpumppuhankkeiden kotimaisuusaste on keskimäärin noin 70 % (Hirvonen 2014). Ilma-ilma- ja ilma-vesilämpöpumput ovat pääsääntöisesti japanilaisilta valmistajilta, joiden tuotemerkkejä ovat esimerkiksi Mitsubishi, Panasonic, Sanyo, Toshiba ja Fujitsu. Poistoilmalämpöpumpuissa markkinajohtajina ovat ruotsalainen Nibe ja tanskalainen Nilan sekä kotimainen Ensto. (Lukkari 2014)

EU:n säädöksen 811/2013 perusteella syyskuun 2015 jälkeen EU:n alueella myytävissä lämpöpumpuissa on oltava liitteen 5 mukaiset merkinnät. Säädos helpottaa lämpöpumppujen vertailua ja siten kuluttajan ostopäätöstä.

### 3.2 Ruotsin lämpöpumppumarkkinat

Ruotsi on lämpöpumppujen hyödyntämisessä ja teknologian soveltamisessa edelläkävijä. Kuvassa 3.3 on esitetty lämpöpumppujen lukumääräinen kehitys ja vuonna 2012 lämpöpumppuja oli asennettu 1,2 miljoonaa kappaletta. Ruotsissa markkinat alkoivat kehittyä energiakriisin aikaan 1970-luvulla, kun kevyen polttoöljyn verotusta nostettiin. (Hirvonen 2014) Ruotsin lämpöpumppumarkkinoiden kehityksen perusteella voidaan arvioida Suomeen samankaltaista kehityspolkua. (Novak & Jaganjacova 2013)



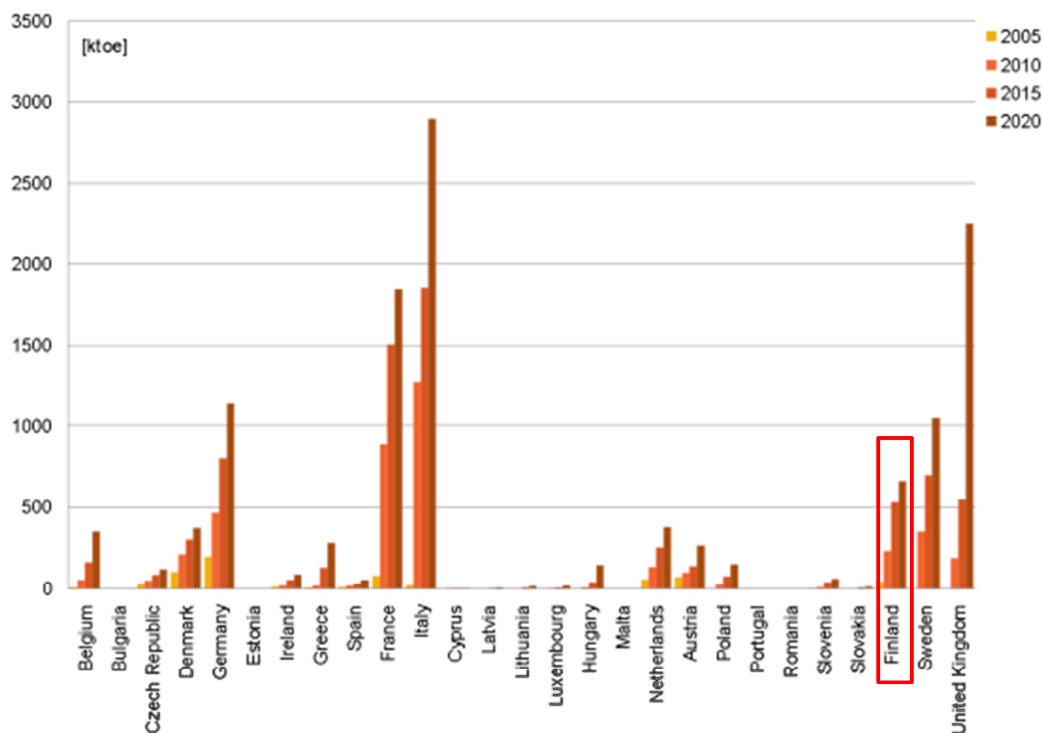
**Kuva 3.3:** Käytössä olevien lämpöpumppujen kappalemäärät Ruotsissa. (Novak & Jaganjacova 2013)

Ruotsissa lämpöpumppumarkkinat ovat kehittymässä suuntaan, jossa vanhaa laitekantaa uusitaan. Lämpöpumppujen myynti on siirtynyt uusista lämpöpumppukohteista vanhojen lämpöpumppujen tekniikan parantamiseen. Kasvupotentiaalia on kerrostaloissa ja liikerakennuksissa. Ruotsissa suurin osa kaupunkien rakennuskannasta on liitetty kaukolämpöverkkoon. Kaukolämmön hinnannousu on edelleen lisännyt kiinnostusta lämpöpumppuja kohtaan. (Novak & Jaganjacova 2013)

### 3.3 Muut lämpöpumppumarkkinat

Vuoden 2012 lopussa EU:n alueella oli asennettu noin 5,5 miljoonaa asuintilojen lämmitykseen ja jäähdytykseen tarkoitettua lämpöpumppua (Novak & Jaganjacova 2013, s. 7). Yleisin lämpöpumpputyyppe on ilma-ilmalämpöpumppu.

Euroopan Ympäristökeskuksen (European Environment Agency) raportissa vuodelta 2011 selvitettiin 27 EU:n jäsenmaan kansallisia uusiutuvan energian tavoitteita. Lämpöpumpuilla tuotetun lämmitysenergian kasvuennusteet olivat kuvan 3.4 mukaiset. EU:n alueella lämpöpumppujen oletetaan tuottavan vuonna 2020 lähes 11 % uusiutuvasta lämmitys- ja jäähdytysenergiasta (Beurskens & Hekkenberg 2011, s. 22).



**Kuva 3.4:** Lämpöpumppujen kasvuennusteet 27 EU maassa. ktoe=11,6 GWh, ktoe=tuhatta öljykvivalnetttonnia. (Beurskens & Hekkenberg 2011, s. 144)

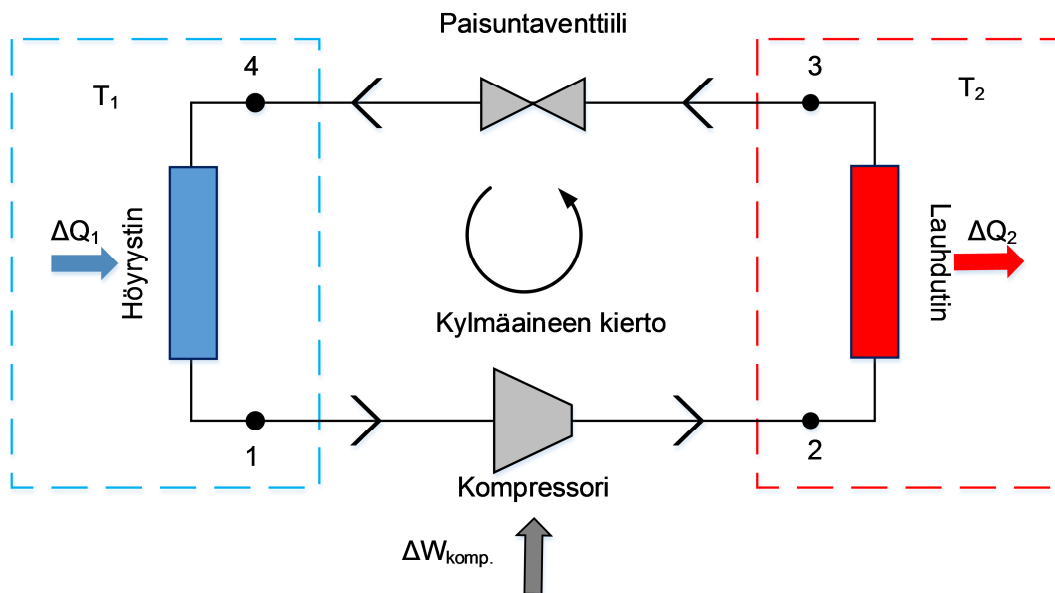
Eri maissa lämpöpumppuratkaisut vaihtelevat perinteisesti talokohtaisesta järjestelmästä laajempiin sovelluksiin, joissa lämpöpumput voivat olla osa laajempaa kokonaisratkaisua ja joustavaa energiajärjestelmää. Esimerkiksi Saksassa lämpöpumpuissa on pakollinen "Smart Grid" -mahdollisuus, jolloin lämpöpumppua voidaan ohjata sähkön tai lämmön hinnan mukaan. EU-alueen lisäksi lämpöpumput ovat kasvattaneet suosioitaan Pohjois-Amerikassa. (Novak & Jaganjacova 2013)



## 4 LÄMPÖPUMPUN TOIMINTA

Lämpöpumppu on koteloitu laitekokonaisuus, joka on suunniteltu tuottamaan lämpöä höyrystys-puristus-lauhdutuskierron avulla kuvan 4.1 mukaisesti. Höyrystimessä alhaisessa paineessa oleva kylmäaine höyrystyy ja sitoo itseensä ympäristön energiaa. Lauhduttimessa paineistettu kylmäaine lauhtuu ja luovuttaa energiaa ympäristöönsä.

Tyypillisiä käyttökohteita lämpöpumpuille ovat rakennusten lämmitys ja jäähdytys sekä lämpimän käyttöveden valmistus. Rakennusten lämmityksessä lämpöpumput hyödyntävät ulkoilmasta, maaperästä, vesistöistä tai poistoilmasta saatavaa matalalämpötilaista lämpöä.



**Kuva 4.1:** Yksinkertaistettu lämpöpumpun toimintaperiaate ja pääkomponentit. (Perälä 2009, muokattu)

Lämpöpumppua kutsutaan myös käänteiseksi lämpövoimakoneeksi. Lämpövoimakoneen teoreettinen toimintaperiaate on verrattavissa niin sanottuun Carnot'n koneeseen, joka toimii palautuvasti kahden eri lämpötilassa olevan tilan välillä isotermissesti. Lämpövoimakoneessa eri lämpötiloissa olevien lämpövarastojen lämpöä muutetaan työksi kiertoaineen faasimuutosta hyödyntäen.

Lämpöpumppu toimii samankaltaisesti, mutta päinvastaiseen suuntaan, kuin lämpövoimakone. Lämpöpumpulla siirretään lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan, kun systeemiin tuodaan työtä. (Napari 2007) Kuvan 4.1 prosessissa täyttyvät ehdot (1) ja (2).

$$\text{Lämpötila} \quad T_2 > T_1 \quad (1)$$

$$\text{Lämpövirta} \quad \Delta Q_2 > \Delta Q_1 \quad (2)$$

$T_2$  on lämpövaraston lämpötila [K], johon lämpö luovutetaan

$T_1$  on lämpövaraston lämpötila [K], josta lämpö kerätään

$\Delta Q_2$  on korkeamman lämpötilan lämpötilavarastoon siirrettävä lämpömäärä [J]

$\Delta Q_1$  on matalamman lämpötilan lämpötilavarastosta kerätty lämpömäärä [J]

Carnot'n koneen käyttö lämpöpumpuna on mahdollista, jos ympäristön ulkopuolelta tuodaan työtä Carnot'n koneeseen. Siirrettäessä lämpömäärä  $\Delta Q_1$  matalammas- ta lämpötilasta korkeampaan on kiertoprosessissa tarvittava ulkopuolisen työn määrä siirrettävien lämpömäärien erotus kaavan (3) mukaisesti.

$$\Delta W = \Delta Q_2 - \Delta Q_1, \quad (3)$$

jossa  $\Delta W$  on systeemiin tuotava ulkopuolinen työ. Carnot'n koneen lämpömäärien ja lämpötilojen välinen suhde on vakio

$$\frac{\Delta Q_1}{\Delta Q_2} = \frac{T_1}{T_2}. \quad (4)$$

Yhdistämällä kaavat (3) ja (4) saadaan kaavan (5) mukaisesti työksi

$$\Delta W = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \Delta Q_2 = \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right) \Delta Q_2, \quad (5)$$

Koska  $T_2 > T_1$ , niin

$$\Delta W < \Delta Q_2. \quad (6)$$

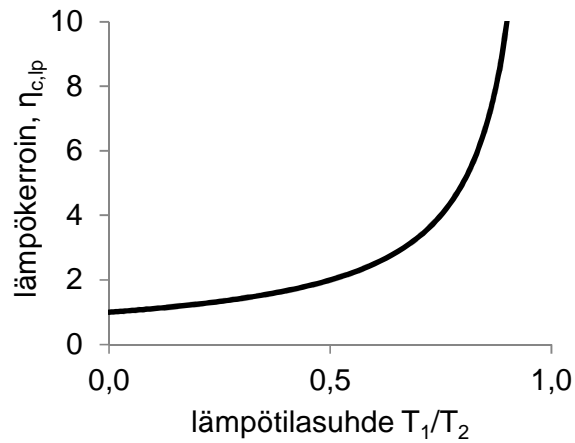
Kaavan (6) perusteella voidaan todeta, että lämpöä siirtyy lämpötilatasoon  $T_2$  enemmän, kuin systeemiin tuodaan työtä. Lämpöpumpun tehokerroin, lämpökerroin, riippuu lämpötilojen  $T_2$  ja  $T_1$  välisestä erosta. Lämpökerroin on lämpimämpään lämpö- varastoon siirretyn lämpömäärän ja tehdyn työn suhde, kaava (7):

$$\eta_{lp} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta W}. \quad (7)$$

Lämpökerroin voidaan ilmaista myös lämpövarastojen lämpötilojen avulla, jol- loin saadaan Carnot'n lämpöpumpulle:

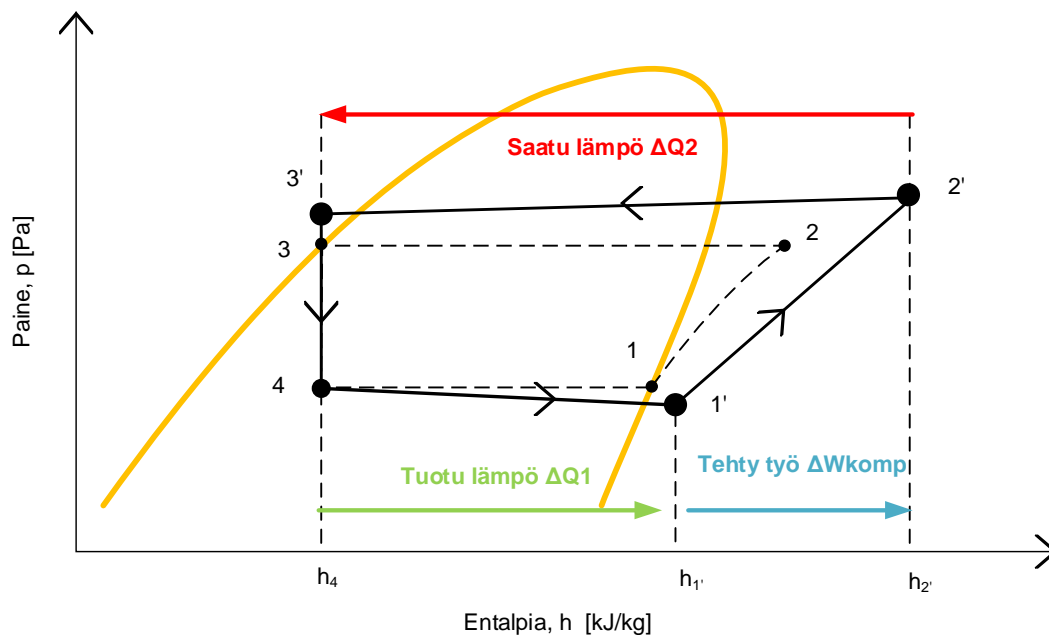
$$\eta_{c,lp} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}. \quad (8)$$

Teoreettisesti lämpökerroin voi kasvaa äärettömän suureksi lämpövarastojen vä- lisen lämpötilasuhteen lähestyessä yhtä, kuten kuvassa 4.2 on esitetty.



**Kuva 4.2:** Lämpöpumpun lämpökertoimen ja lämpövarastojen lämpötilasuhteen välinen yhteys. (Napari 2007)

Carnot'n prosessi on ainoastaan teoreettinen ja lämpöpumpun todellista prosessia kutsutaan käänteiseksi Clausius-Rankine prosessiksi. Todellisessa lämpöpumppuprosessissa saavutetaan 35–55 % teoreettisesta maksimihyötysuhteesta. Ideaalista ja todellista lämpöpumppuprosessia kuvitteellisen kylmäaineen p,h-kaaviossa on havainnollistettu kuvassa 4.3. (Napari 2007; Cengel & Boles 2011; Aittomäki 2008)



**Kuva 4.3:** Katkonainen viiva kuvaa ideaalista lämpöpumppuprosessia kuvitteellisen kylmäaineen  $p, h$  -kaaviossa, jossa keltainen viiva on kylmäaineen kyllästyskäyrä. Pisteet 1-4 vastaavat kuvan 4.1 vaiheita lämpöpumppuprosessissa ja ne ovat: 1-2 puristus, 2-3 lauhduminen, 3-4 paisunta, 4-1 höyrystyminen. Yhtenäinen viiva kuvaa todellista lämpöpumppuprosessia. Kompressorin tekee työn  $h_2-h_1$ , ympäristöstä kerätty lämpömäärä  $h_1-h_4$  ja saatu lämpömäärä  $h_2-h_4$ . Nimellislämpökerroin on tällöin saadun lämmön suhde tehtyyn työhön.

Lämpöpumppujen nimellislämpökerroin ilmoitetaan lyhenteellä COP (Coefficient of Power). COP ilmoittaa lämpöpumpun hetkellisen tehokertoimen, joka riippuu toimintaolosuhteista. Käytännön sovelluksissa lämpöpumpun nimellislämpökerroin määritellään saadun lämmitystehon ja kompressorin ottotehon ja apulaitteiden (pumput ja puhaltimet) tehon suhteena, kaava (9).

$$\text{COP} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta W_{\text{komp.}} + \Delta W_{\text{apu}}}, \quad (9)$$

jossa  $\Delta Q_2$  on saatu lämpömäärä [J]

$\Delta W_{\text{komp}}$  on kompressorin tekemä työ [J]

$\Delta W_{\text{apu}}$  on lämpöpumpun muiden apulaitteiden tekemä työ [J]

Lämpöpumpun sähköenergian kulutus koostuu kompressorin ja apulaitteiden sähkökulutuksesta. Lämpöpumppujen toimintaa ja tehokkuutta on helpompi vertailla, kun lämpökerroin lasketaan vuosikeskiarvona. Kausisuorituskykykerroin SPF (Season Performance Factor) ilmoittaa koko vuoden keskimääräisen lämpökertoimen. SPF luku lasketaan vuositasolla lämpöpumpun tuottaman tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian

suhteena lämpöpumpun ja apulaitteiden sähkönkulutukseen kaavan (10) mukaisesti. (Napari 2007; Cengel & Boles 2011; Aittomäki 2008)

$$\text{SPF} = \frac{\text{Vuotuinen saatu lämpö}}{\text{Vuotuinen tehty työ}} \quad (10)$$

Lämpöpumpputyypeille tarkemmat SPF-luvut ovat esiteltynä liitteessä 3 liitteen 2 eri säävyöhykkeillä.

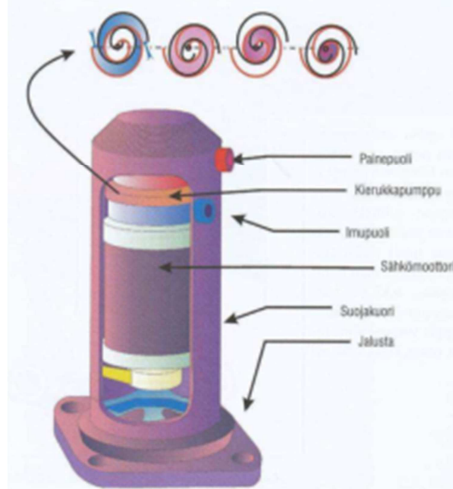
## 4.1 Lämpöpumppujen pääkomponentit

Lämpöpumpuissa on pääosin samat komponentit kuin kylmälaitteissa. Lämpöpumppujen vakio-osia ovat kompressori, lämmönvaihtimet, putkistot kiertovesipumppuineen sekä säätölaitteet. (Perälä 2009)

### 4.1.1 Kompressori

Sähkömoottorikäyttöinen kompressori puristaa höyrystimeltä poistuvan kylmäaineen korkeaan paineeseen, jolloin kylmäaine kuumenee voimakkaasti. Lämpöpumppujen kompressorit ovat pienemmässä kokoluokassa hermeettisesti suljettuja, jolloin lämpöhäviöt ympäristöön pienenevät ja kompressorin uusinnan yhteydessä koko moduuli vaihdetaan.

Kierukkakompressori puristaa kylmäaineen kahden tiiviisti toistensa kanssa kosketuksessa olevan kierukan väliin jäävässä tilassa kuvassa 4.4 esitetyllä tavalla. Kierukoiden väliin jäävän vapaan tilan tilavuus pienenee puristaen kylmäainetta kasaan, jolloin paine ja lämpötila nousevat. Kierukkakompressori käy tasaisesti ja värinättömästi, koska siinä ei ole venttiilejä eikä edestakaisin liikkuvaa mäntää. Voitelu tapahtuu kylmäaineen mukana kulkevalla öljyllä. Kierukkakompressorit ovat yleisiä ilma-ilmälämpöpumpuissa ja pienessä kokoluokassa. (Perälä 2009)



**Kuva 4.4:** Kierukka-kompressori. (Perälä 2009, s. 46)

Mäntäkompressoreita käytetään tyypillisesti suuren kokoluokan maalämpöpumpuissa ja ilmavesilämpöpumpuissa, joissa mäntäkompressorit mahdollistavat korkeamman lämpötilatason tuoton. Suuret lämpötilaerot höyrystimen ja lauhduttimen välillä kasvattavat kompressorin työmäärää ja kompressorin eliniän pidentämiseksi voi olla kannattavaa pysäyttää lämpöpumpun toiminta, kun lämpövarastojen välinen lämpötilaero kasvaa liian suureksi. (Perälä 2009)

#### **4.1.2 Kompressorin käyttölaite ja säätö**

Kompressorin käyttölaite on oikosulkumoottori. Oikosulkumoottorin käyntinopeuden määrittelee sähköverkon taajuus ja moottorityyppi. Kompressorin tuottamaa tehoa voidaan säätää joko ns. ON/OFF- tai invertteri-säädöllä taajuutta muuntamalla. ON/OFF säädössä termostaatti käynnistää kompressorin ja se käy vakionopeudella niin kauan, kuin lämpöä tarvitaan. ON/OFF säädön haittapuolina ovat katkonainen käynti ja lämpötilasäädön epätarkkuus. Toistuva pysäytys ja käynnistys aiheuttavat melua ja lyhentävät kompressorin käyttöikä. Invertteri muuntaa vaihtosähkön taajuutta ja näin ollen sähkömoottorin käyntinopeutta säädetään portaattomasti. Invertterillä varustettu kompressorikäy jatkuvasti kulloisenkin tehon tarpeen mukaan. (Perälä 2009)

#### **4.1.3 Etäohjaus ja automatiikka**

Monissa lämpöpumpumalleissa on etäohjaus mahdollisuus, jolloin kuluttaja voi tietokoneella tai älypuhelimella säätää lämpöpumpunsa toimintaa. Kuluttaja voi esimerkiksi laskea rakennuksen lämpötilaa poissaolon aikana ja näin säästää energiakustannuksissa.

Suurempiin lämpöpumpputähtjärjestelmiin on myös rakennettu monipuolisempia prosessi-informaatiojärjestelmiä, joista kuluttaja tai lämpöpumpputoimittaja voi tarkastella lämpöpumpun toiminta-arvoja, historiatietoja, tehdä tarvittavia säätöjä ja tarkastella vikailmoituksia. Eräs esimerkki kuluttajan näkemästä lämpöpumpun etäjärjestelmästä on esitetty kuvassa L7.6. (Heinonen Janne, 2014)

#### **4.1.4 Kylmäaineet**

Lämmönsiirto matalammasta lämpötilasta korkeampaan ei olisi mahdollista ilman sopivia termodynaamisia ominaisuuksia sisältävää kylmäainetta. Kylmäaineelta toivottavia termodynaamisia ominaisuuksia ovat muun muassa seuraavat:

- Höyrystyminen alhaisessa lämpötilassa ja paineessa
- Lauhtuminen korkeassa lämpötilassa ja paineessa
- Pieni painesuhde
- Alhainen viskositeetti
- Hyvä lämmönjohtavuus
- Sopiva tilavuustuotto
- ja sopiva höyrynpainealue.

Lisäksi hyvältä kylmäaineelta edellytetään sopivia fysiologisia ja kemiallisia ominaisuuksia kuten palamattomuus, myrkyttömyys, epäaktiivisuus, helppo vuotojen havaittavuus. Hyvä kylmäaine ei saa ärsyttää hengityselimiä tai limakalvoja. Tärkein kylmäaineen valintaan vaikuttava tekijä on hyödynnettävien lämpövarastojen lämpötila-ero. (Aittomäki 2008; Cengel & Boles 2011)

Valtioneuvoston asetuksessa 452/2009 on määrätty otsonikerrosta heikentävien ja fluorattuja kasvihuonekaasuja sisältävien laitteiden tarkistuksesta seuraavasti:

- Yli kolme kiloa kylmäainetta sisältävä kiinteästi asennettu lämpöpumppulaite on tarkistettava vuosittain.
- Yli 30 kiloa kylmäainetta tulee tarkastaa kerran puolessa vuodessa.
- Yli 300 kiloa kylmäainetta sisältävät laitteet tarkastetaan kerran kolmessa kuukaudessa.
- Tarkastusväliä voidaan pidentää, jos käytössä on vuodonilmaisujärjestelmä.
- Hermeettisesti suljettuja alle kuusi kiloa kylmäainetta sisältäviä laitteita ei tarvitse tarkistaa.
- Tarkistuksen saa suorittaa vain päteväitynyt henkilö.

### **Ammoniakki**

Ammoniakkia käytetään teollisuudessa lämpöpumppusovelluksissa. Ammoniakin etuina ovat edullisuus, hyvä hyötysuhde eikä se vaurioita otsonia. Myrkyllinen ammoniakki ei kuitenkaan sovellu kotitalouskäyttöön lämpöpumpuissa. (Aittomäki 2008)

### **Hiilidioksidi**

Hiilidioksidin etuja ovat myrkyttömyys, palamattomuus ja kilpailukykyinen hinta. Hiilidioksidilla on hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet, mutta se vaatii kuitenkin jopa 100 bar paineen. Hiilidioksidi mahdollistaa laitteiden pienemmän mitoituksen, mutta asettaa korkeat vaatimukset kompressorille ja muille komponenteille. Hiilidioksidia kylmäaineena käyttävillä lämpöpumpuilla korkein saatava veden lämpötila on 80–90 °C. (Aittomäki 2008; Perälä 2009)

### **Halogeeni-hiilivedyt**

Halogeenihiilivedyt ovat klooratut fluorihiilivedyt (Chlorine-Fluorine-Carbon, CFC) ja fluorihiilivedyt (Hydrogen-Fluorine-Carbon, HFC). HFC-kaasuihin kuuluvat R134a, R404A, R407C ja R410A ovat yleisimpiä lämpöpumpuissa käytettyjä kylmäaineita. HFC-yhdisteet eivät vahingoita otsonikerrosta, mutta ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja. Esimerkiksi 3,5 kg kylmäaine R-134a:ta ilmakehässä vastaa viittä tonnia hiilidioksidia. CFC-aineiden käyttö on päättynyt ja HFC-aineiden käyttö on päättymässä, koska ne ilmakehään vapautuessaan tuhoavat otsonia. (Nurmi & Finel 2014)

## **F-kaasuasetus**

Euroopan komission päätöksellä (EU 517/2014) HFC yhdisteiden käyttöä tullaan asteittain vähentämään vuoden 2015 alusta niiden ilmastovaikutusten vuoksi. Asetuksessa säädetään HFC-kaasujen vuotojen vähentämisestä, talteenotosta ja hävityksestä. HFC-kaasuja sisältävien uusien laitteiden pääsyä markkinoille rajoitetaan asteittain. Tällä asetuksella saattaa olla merkittäviä vaikutuksia lämpöpumppumarkkinoihin (Novak & Jaganjacova 2013, s. 26). Tilastojen perusteella Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2012 olivat noin 61 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub> ekvivalenttia, josta F-kaasujen osuus oli noin 0,93 miljoonaa tonnia (SVT, kasvihuonekaasut). (Nurmi & Finel 2014)



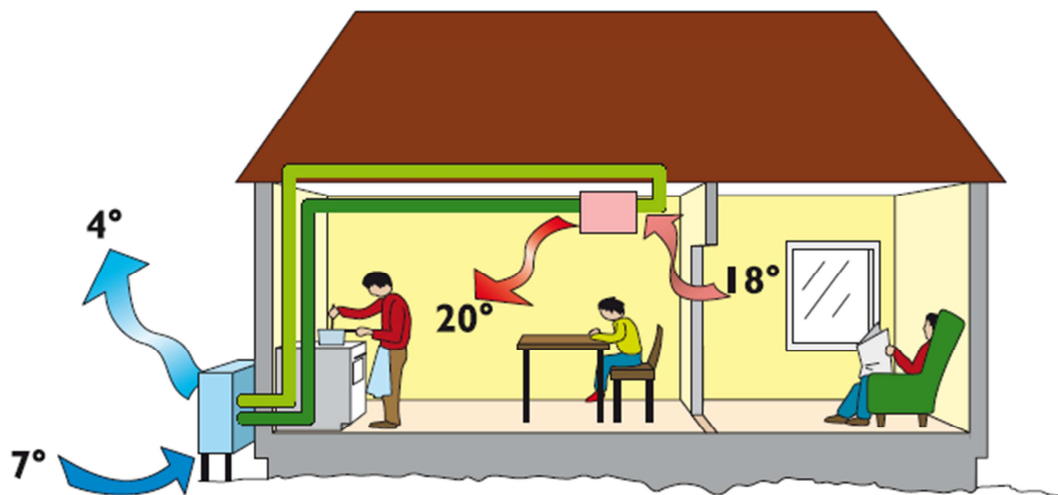
## 5 LÄMPÖPUMPPUTYYPIT

Markkinoiden yleisin lämpöpumpputyyppi on ilma-ilmalämpöpumppu, joita on asennettu Suomeen vuoteen 2013 mennessä noin 450 000 kappaletta. Maalämpöpumppuja on käytössä noin 100 000 kappaletta ja ne ovat kasvattaneet suosiotaan uudisrakentamisessa ja vesikeskuslämmitteisissä saneerauskohteissa. Vanhat rivi- ja kerrostalot ovat uusi kasvava kohderyhmä poistoilma- ja ilma-vesilämpöpumpuille. (Suomen lämpöpumppu yhdistys ry. 2013)

### 5.1 Ilma-ilmalämpöpumppu

Ilma-ilmalämpöpumppu koostuu kuvan 5.1 kaltaisesta ulko- ja sisäyksiköstä. Ulkoyksikössä on ulkoilmasta lämpöä keräävä höyrystin, kompressori ja automatiikan ohjauslaitteita. Sisäyksikkö sisältää lämmön huoneilmaan siirtävän puhallinpatterin ja lauhdutinpiirin.

IILP:llä ei lämmitetä käyttövetä, eikä sitä voida liittää vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. IILP toimii lisälämmityslaitteena ja sen rinnalle vaaditaan täystehomitettu päälämmitysjärjestelmä. IILP:n tyypillisiä käyttökohteita ovat vapaa-ajan asunnot ja pientalot, jossa ne täydentävät ja korvaavat suoraa sähkölämmitystä.



*Kuva 5.1: Ilma-ilmalämpöpumpun toimintaperiaate. (Välj rätt värmepump)*

Useimmilla ilma-ilmalämpöpumpuilla voidaan myös jäähdyttää, jolloin neliventtiilillä muutetaan kylmäaineen kiertosuuntaa. Jäähdytyskäytössä IILP lisää kiinteistön sähkönkulutusta kesäaikaan. Viime aikoina IILP:t ovat lisänneet suosiotaan asuinkekkostaloissa huoneistokohtaisena jäähdytyslaitteena (Murto 2014).

IILP:n lämpökerroin riippuu lauhtumis- ja höyrystymislämpötiloista. IILP:n lämpökerroin laskee ulkoilman lämpötilan laskiessa (liite 3, kuva L3.2). Ilmailmalämpöpumpun kausisuorituskykykerroin (SPF) heikkenee siirryttäessä pohjoisemmille säävyöhykkeille (liite 2) ja säävyöhykkeellä I-II SPF on 2,8 (Rakentamismääräyskokoelma D5). IILP:llä voidaan säästää noin 30–40 % asunnon lämmitysenergiasta ja suurin säästö syntyy keväällä ja syksyllä. (Lämpöä ilmassa 2012)

Motivan ja Energiateollisuus ry:n teettämässä Elvari - selvityksessä tutkittiin energiansäästöä ilma-ilmalämpöpumpulla 166 suoran sähkölämmityksen pientalokohteissa. Kohteiden keskimääräinen kokonaisenergiankulutus vuodessa oli noin 20 MWh, josta lämmitykseen kului puolet. Ilmailmalämpöpumppu laski kokonaisenergiankulutusta 1 - 5 MWh. Laadukkaan ilmailmalämpöpumpun takaisinmaksuaika on tyypillisesti neljästä seitsemään vuotta sähkön hinnan ollessa 120 €/MWh ja keskimääräinen vuotuisen lämmitysenergiensäästö 3 MWh. (Tutkittua energiasäästöä ilmalämpöpumpulla)

### **Ilma-ilmalämpöpumpun asennus ja huolto**

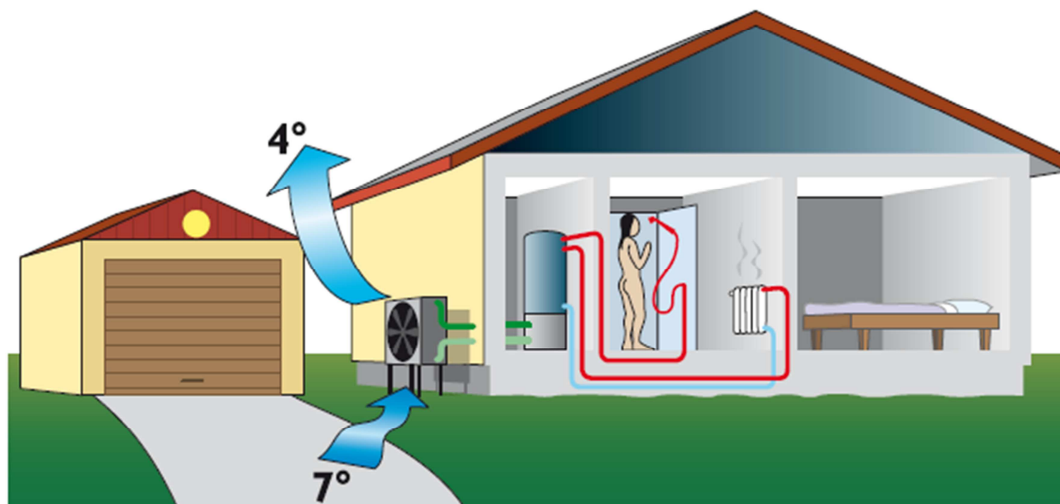
Sisäyksikkö sijoitetaan siten, että lämpö leviää rakennuksessa mahdollisimman laajalle. Sisä- ja ulkoyksikön etäisyys toisistaan ei saisi kasvaa liian suureksi kylmäaineen määrän ja toimintaviiveiden hallitsemiseksi. Suoran sähkölämmityksen yhteydessä sähkölämmityspattereiden termostaatit tulee säätää IILP:n termostaattia alempaan lämpötilaan, jolloin IILP toimii ensisijaisena lämmitysmuotona.

Höyrystimen tai lauhduttimen pintalämpötilan laskiessa alle ympäristön lämpötilan voi siihen tiivistyä kosteutta. Talvella kosteus voi jäätymään höyrystimen pinnalle heikentäen lämpöpumpun toimintaa. Kylmiin olosuhteisiin suunnitelluissa IILP:ssa tiivistyneen kosteuden jäätymisen hallitaan muuttamalla kylmäaineen kiertosuuntaa nelitieventtiilillä.

IILP:n sisä- ja ulkoyksikkö on tarkistettava ja puhdistettava pitkän käyttökatkon jälkeen. Suodattimet tulisi puhdistaa kuukausittain ja siitepölysuodatin uusia vähintään kerran vuodessa. Vikaantuneen laitteen huolto edellyttää sertifioitua asentajaa tai laitevalmistajaa. (Lämpöä ilmassa 2012)

## **5.2 Ilma-vesilämpöpumppu**

Ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaate vastaa IILP:a sillä erolla, että IVLP siirtää lämmön veteen. Lämpö varastoidaan lämmitysjärjestelmän vesivaraajaan, josta se voidaan jakaa lämmitykseen tai käyttöveteen, kuten kuvassa 5.2 on esitetty.



**Kuva 5.2:** Ilma-vesilämpöpumppu. Ulkoyksikössä on usein kompressorin ja höyryistin. Lämpö johdetaan lämminvesivaraajaan ja sieltä edelleen kiinteistön lämmitykseen tai lämpimän käyttöveden valmistukseen. (Välj rätt värmepump)

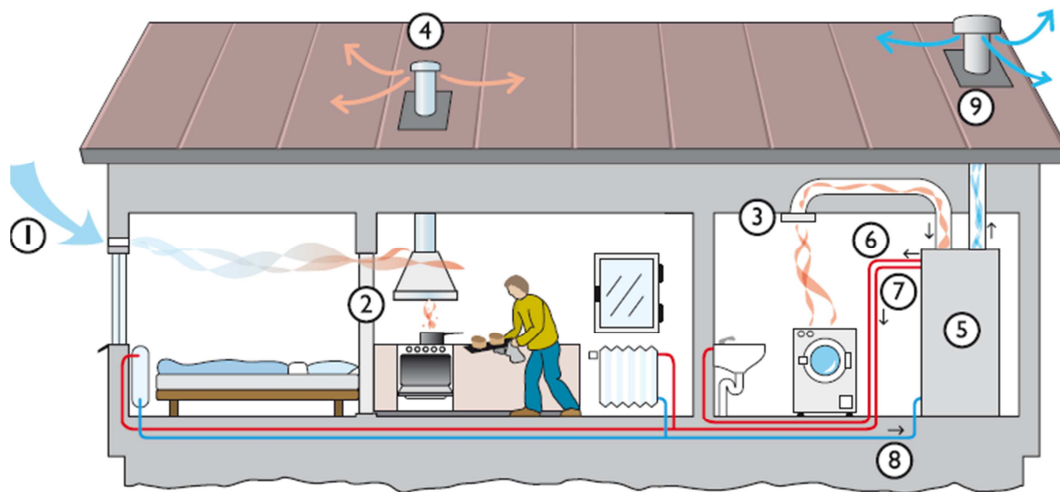
IVLP:n toiminta on tehokkainta noin  $-5...+10$  °C ulkolämpötilojen välillä ja lämmitystarve voidaan kattaa aina  $-15...-20$  °C ulkolämpötilaan saakka. Tätä alemmilla ulkolämpötiloilla laitteen hyötysuhde heikkenee ja useimmat IVLP:t pysähtyvät automaattisesti kompressorin ylikuormituksen välttämiseksi. IVLP edellyttää rinnalleen täystehomitoidun varalämmönlähteen huippupakkasille. Kausisuorituskykykerroin heikkenee siirryttäessä pohjoisemmille säävyöhykkeille. IVLP:n laskennalliset vuosihyötökertoimet ovat esitetty liitteen 3 taulukossa L3.1 eri säävyöhykkeille. Kesäaikaan IVLP:lla tuotetaan tyypillisesti ainoastaan lämmintä käyttövettä, jolloin hyötysuhde heikkenee liitteessä 3 esitetyn kuvan L3.1 mukaisesti.

IVLP:t ovat kasvattaneet suosiotaan olemassa olevaa vesikiertoista lämmitysjärjestelmää täydentävänä lämmitysmuotona esimerkiksi öljylämmityksen yhteydessä. Maalämpöpumppuun verrattuna IVLP on investointina edullisempi muun muassa säästyteneiden porauskustannusten johdosta, mutta vuosittainen energiantuotanto jää pienemmäksi. IVLP:n käytössä ja huollossa on huomioitava samat asiat kuin IILP:ssä sillä erolla, että IVLP:ssä ei ole IILP:n kaltaista sisäyksikköä. (Lämpöä ilmassa 2012)

Motivan ja Energiateollisuus ry:n teettämässä Elvari hankkeessa tutkittiin IVLP:lla syntyneitä energiansäästöjä 46 eri sähkölämmitteisessä vesikiertoisessa pientalo-kohteessa, joiden keskimääräinen kokonaisenergiankulutus oli 26 MWh. Tulosten perusteella keskimäärin IVLP:lla kokonaisenergiankulutuksen säästö oli noin 37 %. Keskimääräisellä investoinnilla takaisinmaksuaika oli 7 vuotta. (Tutkittua säästöä ilma-vesilämpöpumpulla)

### 5.3 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu kerää hukkalämpöä rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän poistoilmasta kuten kuvan 5.3 pientalon tapauksessa. Hukkalämpöä syntyy muun muassa rakennuksen sisäisistä kuormista kuten kodinkoneista. Rakennusmääräysten mukaisesti asuinrakennusten sisäilma tulee korvautua kerran kahdessa tunnissa, joten poistoilmavirta on jatkuvaa (Rakentamismääräyskokoelma D2). Poistoilmalämpöpumpulla tuotettu lämpö hyödynnetään tyypillisesti ilmanvaihtojärjestelmän tuloilman lämmityksessä, lämpimään käyttöveden tuotannossa tai asuintilojen lämmitysjärjestelmässä.



**Kuva 5.3:** Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate: (1) ulkoilma tulee huonetilaan esimerkiksi ikkunanraosta, (2) tuloilma lämpiää pattereista ja sisäisistä kuormista, (3,5,9) poistoilmasta lämpö siirretään lämminvesivaraajaan ja jäteilma poistetaan, (4) ruoanlaiton yhteydessä likainen ilma poistetaan liesituulettimella, (6,7,8) lämpö johdetaan lämminvesivaraajasta edelleen pattereille tai käyttöveteen. (Välj rätt värmepump)

Poistoilmalämpöpumppu voidaan tehdä jälkiasennuksena, jolloin lämmönkeruuyksikkö asennetaan olemassa olevan poistoilmapuhaltimen yhteyteen, kuten liitteen 7 kuvassa L7.5 esitetystä esimerkkitilasta on tehty. Olemassa olevaan asuinrakennukseen kompressorit asennetaan usein kellarikerrokseen ja lämmönkeruupiiri katolle tai vesikaton alapuolelle. Lämmönkeruupiirin ja kompressorin suuren etäisyyden vuoksi kiertoaineena voidaan käyttää alkoholi-vesiseosta, joka vähentää tarvittavaa kylmäainemäärää. Vesi-alkoholi seokseen siirtynyt poistoilmavirran lämpö siirtyy edelleen kylmäaineeseen ja kompressorin jälkeen lämpö on hyödynnettävissä rakennuksen lämmönkulutukseen.

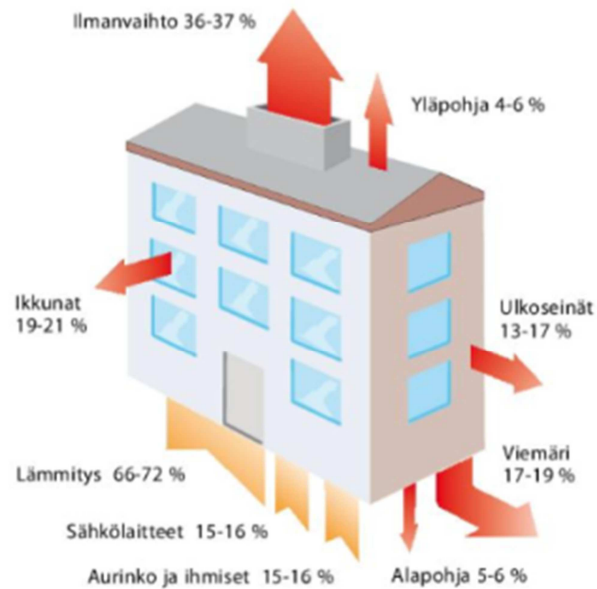
PILP:lla tuottaa lämmitysenergiaa ulkolämpötilasta riippumatta, koska poistoilmavirran lämpötila pysyy lähes vakiona. PILP on lämmön keruujärjestelmä eli sen avulla vähennetään rakennuksen ensisijaisen lämmityksen energiankulutusta. PILP:n voidaan katsoa olevan ensisijaisesti energiatehokkuustoimenpide, koska poistoilmasta otetaan lämpöä talteen ja siirretään se takaisin kiinteistöön.

PILP:n vuosihyötysuhde ei riipu kiinteistön sijaintipaikkakunnasta vaan lämmönkeruuyksikön jälkeisestä poistoilman lämpötilasta (jäteilma). Jäteilma voidaan laskea jopa 0 °C alapuolella, mutta silloin höyrystinpatterin jäätymisriski kasvaa. Jäteilman lämpötilalla +3 °C kausisuorituskykykerroin tilojen ja käyttöveden lämmitykseen on tyypillisesti noin kaksi (Rakentamismääräyskokoelma D5). Todellisissa kohteissa kausisuorituskykykerroin on vaihdellut 3,2–3,8 välillä (liite 7, taulukko L7.2; Matilainen 2013).

PILP:n huoltotoimenpiteisiin vaikuttaa laitteiston ja poistoilman laatu. Laitteistosta riippuen suodattimet on joko vaihdettava 1–3 kertaa vuodessa tai jos kyseessä on pestävä malli, niin suodattimet on pestävä 1–4 kertaa vuodessa. (Heinonen Janne, 2014) Erityisesti suodattimien puhtaudesta kannattaa olla tarkkana, jos talossa tehdään pölyisiä töitä. (Lämpöä ilmassa 2012)

### **Poistoilmalämpöpumpun potentiaali kaukolämmitteisissä asuinkerrostaloissa**

Suomen asuinkerrostaloista yli puolet on rakennettu 1960–1980 luvulla ja näiden rakennusten kaukolämmön kulutus vuonna 2012 oli noin 8 TWh (SVT, rakennukset ja kesämökit; SVT, energian hankinta ja kulutus), josta koneellisen ilmanvaihdon mukana hukataan yhä suuri määrä lämpöenergiaa, kuva 5.4. Koneellisen ilmanvaihdon, vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän ja suuren lämmönkulutuksen vuoksi nämä asuinkerrostalot ovat poistoilmalämpöpumpulle soveltuvia. PILP:lla voidaan vähentää 35–50 % lämmitysenergian käyttöä, jolloin PILP korvaa kaupunkialueella tyypillisesti kaukolämpöä (Virta & Pylsy 2011). Tämän tyyppisten asuinkerrostalojen poistoilmalämpöpumpuilla saatava kaukolämmön säästöpotentiaali olisi esimerkkikohteen toteutumilla noin 4 TWh. Tulevaisuudessa näiden asuinrakennusten tulevilla lämmitysenergia- ja energiatehokkuusratkaisuilla on vaikutusta muun muassa kaukolämmön asemaan lämpömarkkinoilla.

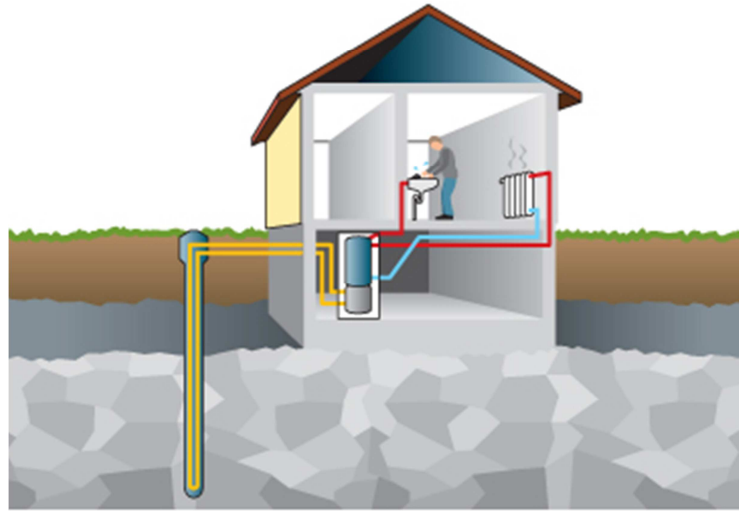


**Kuva 5.4:** 1960–1980 luvulla rakennetun asuinkerrostalon lämpötase. (Virta & Pylsy 2011)

Koneellisen ilmanvaihdon, jossa lämpöä ei oteta talteen, käyttö poistui vuonna 2003 voimaan astuneiden ilmanvaihtomääräysten myötä (Neuvonen 2006). Nykyisin rakennusmääräyksissä vaaditaan, että uusissa rakennuksissa ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmitykseen tarvitsemasta energiasta (Rakentamismääräyskokoelma D2 s. 24).

## 5.4 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu kerää lämpöä maaperästä tai vesistöistä ja siirtää sen rakennuksen lämmityksen tai lämpimän käyttöveden valmistukseen. MLP:n toimintaa on havainnollistettu kuvassa 5.5 ja sitä hyödynnetään tyypillisesti vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä.



**Kuva 5.5:** Maalämpöpumpun periaate. (Välj rätt värmepump)

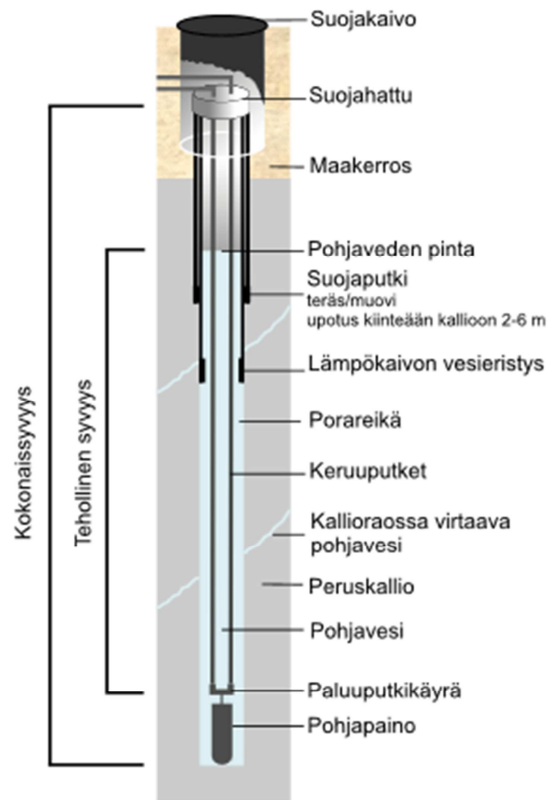
MLP:lla kausisuorituskykykerroin on noin kolme. Keskimääräiset vuosihyötökertoimet esitetään rakentamismääräysten mukaisesti liitteen 3 taulukossa L3.2 ja todellisia tuloksia testiolosuhteissa liitteen 3 kuvissa L3.3 ja L3.4.

MLP:n jäähdytyspotentiaali on vastaava kuin lämmityksellä ja yleisin toteutus-tapa jäähdytykselle on kytkeä keruupiirrinne tuloilman jäähdytyspatteriin tai lattia-lämmitykseen. Jäähdytyskäytössä MLP kerää lämpöä asuinrakennuksesta ja siirtää sen maaperään. Maaperään asennetun keruujärjestelmän lataaminen jäähdytyksessä saattaa parantaa investoinnin kannattavuutta, lisätä asuinmukavuutta ja vähentää maaperän lämpötilavaihteluita nostamalla lämpöpumpun hyötysuhdetta. (Lämpöä omasta maasta 2012)

Suomessa maalämpöpumppuja on käytetty 1970-luvulta lähtien. Lämpöpumppujen suosio kasvoi hetkellisesti 1970-luvun energiakriisin aikana, mutta ala ajautui kriisiin 1980-luvun puolivälissä ja käytännössä myynti lakkasi seuraavaksi kymmeneksi vuodeksi. Maalämpö on sitä kannattavampi, mitä suurempi on lämmitettävän kohteen energiankulutus. (Juvonen & Lapinniemi 2013)

## Maaperään tai vesistöön asennettavat lämmönkeruuputkistot

Lämpökaivo eli pora- tai energiakaivo on MLP:n yleisin lämmönlähde. Maaperään upotettavissa keruuputkissa kiertää tyypillisesti alkoholi-vesiseos. Suurin osa lämpökaivojen avulla maaperästä kerättävästä lämpöenergiasta on peräisin auringosta ja vain murto-osa on geotermistä lämpöä. Lämpökaivon rakenne on esitetty kuvassa 5.6.



**Kuva 5.6:** Maalämpökaivon periaatekuva. (Juvonen & Lapinniemi 2013)

Lämpökaivojen syvyyteen ja kaivojen lukumäärään vaikuttavat lämmöntarve ja kaivon vedentuotto. Kaivon syvyys on tärkein MLP:lla saatavaan lämpömäärään vaikuttava tekijä. Lämpöpumpun kompressoritehoa nostamalla ei voida vaikuttaa lämpökaivosta saatavaan lämpötehoon.

Tyypillinen lämpökaivo on halkaisijaltaan noin 130 mm ja 200–250 metriä syvä. Yleisenä mitoitusohjeena voidaan pitää sitä, että 200 metrisestä porakaivosta saadaan noin 7 kW lämpö- tai jäähdytystehoa (Pyykkö 2014). Lämpökaivo mitoitetaan hieman laskennallista lämmitystarvetta syvemmäksi, jolloin kaivon jäätyminen riski pienenee ja keruupiirin paluunesteen lämpötila nousee, mikä nostaa samalla MLP:n hyötysuhdetta. Lämpökaivot sijoitetaan normaalista noin 15 metrin etäisyydelle toisistaan. Lämpökaivon maaperän lämpötila vaihtelee vain 2–3 °C vuoden aikana jos, järjestelmä on mitoitettu oikein. (Juvonen & Lapinniemi 2013; Lämpöä omasta maasta 2012)

Lämmönkeruupiiri voidaan asentaa myös vaakatasoon maanpinnan alapuolelle. Jokaista lämmitettävää rakennuskuutiota kohden tarvitaan 1–2 metriä putkea ja 1,5 m<sup>2</sup>



tonttimaata. Normaalikokoisen pientalon lämmitys edellyttää noin 600–800 neliömetrin maapinta-alaa. Kosteaa ja savinista maaperää soveltuu parhaiten vaakaputkistolle. Vaakaputkisto on porakaivoa hieman edullisempi, mutta vastaavasti maaperän lämpötilavaihtelut ovat porakaivoa suuremmat. Lämmönkeruuputket voidaan myös upottaa vesistöön, jolloin lämmönkeruuputkisto ankkuroidaan vesistön pohjaan painojen avulla. (Lämpöä omasta maasta 2012)

### **Maalämpöpumpun huolto**

MLP huoltotarve on vähäinen, mutta lämmitys- ja keruupiirin paine ja nestemäärä tulee tarkistaa ajoittain, sillä alhainen paine indikoi vuotoa. Lämmitys-, käyttövesi- ja maapiirin varoventtiilien toiminta on tarkistettava säännöllisin väliajoin. Kompressorin käyttöikä on tyypillisesti 15–20 vuotta ja se on kuluvien osien osa MLP:ssä. Laitevalmistajasta riippuen kompressorille annetaan 2–5 vuoden takuu (Tekniikan maailma 18/2012). Useissa maalämpöpumppuratkaisuissa vesivaraajassa on lisävarusteena tehokas sähkövastus, joka kytkeytyy päälle automaattisesti MLP:n toimintahäiriön aikana. (Lämpöä omasta maasta 2012; Perälä 2009; Virta & Pylsy 2011)

## 5.5 Yhteenveto eri lämpöpumpputyypeistä

*Taulukko 5.1: Lämpöpumpputyypien yhteenveto.*

	<i>ilma-ilma</i>	<i>ilma-vesi</i>	<i>poistoilma</i>	<i>maalämpö</i>
<i>lämmönlähde</i>	ulkoilma	ulkoilma	poistoilma	maaperä/vesistö
<i>lämmönlouutus</i>	ilma	vesi	vesi	vesi
<i>voidaan tuottaa lämmintä käyttövettä</i>	-	x	x	x
<i>laskee huipputehon tarvetta</i>	-	-	x	x
<i>vaatii vesikiertoisen lämmönjakojärjestelmän</i>	-	x	x	x
<i>voidaan käyttää jäähdytykseen kesäaikana</i>	x	-	-	x
<i>vaatii koneellisen poistoilmanvaihdon</i>	-	-	x	-
<i>vuotuinen keskimääräinen lämmitysenergian tuotto</i>	30 - 40 %	40 - 60 %	35 - 50 %	80 - 90 %
<i>yleisin asennettu kokoluokka (2012-2013) [kW<sub>th</sub>]</i>	7-10	7-25	7-10	7-25
<i>kausuorituskykykerroin (SPF)(rakentamismääräyskokoelma D5)</i>	2,8	1,8-2,8	2-3,5	2,3-3,5
<i>investointi [€/kW<sub>th</sub>]</i>	500-800	800-1200	800-1500*	1000-2000
<i>mitoitus</i>	osateho	osateho	osateho	täys/osateho
<i>käyttöikä [vuotta]**</i>	10	15	15	20
<i>määrät vuosina 2010/2020** [kappaletta]</i>	319 500/549 100	6 326/29 100	18 033/40 000	47 390/226 600

\*arvio perustuu pientaloihin asennettavien poistoilmalämpöpumppujen kokoluokkaan ja vaihtelee tapauskohtaisesti

\*\* (NEEAP-3 2014)

## 6 LÄMPÖPUMPPURATKAISUN TOTEUTUS

Lämpöpumpun toiminnan ja taloudellisen käytön kannalta päästään parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen, kun rakennuksen lämmitysjärjestelmä suunnitellaan kokonaisuutena. Lämpöpumppuhankkeen päävaiheita ovat (Kauppila 2014):

- esiselvitys (toteutettavuus, verkoston soveltuvuus, tilojen riittävyys, lisälämmön tarve ym.)
- suunnittelu
- hankinnat (tarjouskyselyt, -neuvottelut ja -vertailut)
- toteutus
- käyttöönotto (vastaanottotarkistukset, käyttötestit)
- käyttö (käyttökoulutus).

Esimerkiksi patteriverkoston kiertoveden korkea menolämpötila, maalämpöpumpun lämpökaivon alimitoitus ja lämpöpumpun tekninen käytettävyys saattavat oleellisesti heikentää lämpöpumpulla saavutettuja hyötyjä lämpöpumpun elinkaaren aikana. Lämpöpumppuratkaisut ovat tapauskohtaisia ja suunnittelussa tulisi muun muassa ottaa huomioon seuraavat tekijät:

- lämmitysenergian ja lämpimän käyttöveden tarve
- rakenteiden soveltuvuus saneerattavissa kohteissa
- investoinnin kannattavuus
- olemassa oleva lämmitys- ja lämmönjakojärjestelmä
- lupakäytännöt
- rakennustyyppi
- sähkönsyöttö (sulakekoko).

### 6.1 Lämpöpumppujen lupakäytännöt Tampereella

Usein kunnissa on viranomainen, joka myöntää kunnan alueella lämpöpumppujen tarvitsemat luvat ja mahdolliset avustukset. Esimerkiksi Tampereella maalämpöä suunnittelevalle taloyhtiön on toimitettava kaupungin vastaavalle tarkastajalle:

- taloyhtiön päätöspöytäkirja
- kaupparekisteriote
- suunnitelmat lämpökaivojen sijoituksesta ja lämmönjakuhuoneesta
- mahdollinen kytkentäkaavio ja
- dokumentti naapureiden kuulemisesta

Lämpökaivon porauslupa voidaan hylätä, jos suunniteltujen kaivojen alapuolella on pohjavesialueita tai kaivo voi haitata nykyisiä tai suunnitteilla olevia yhdyskuntarakenteita. Kunnan tai kaupungin tarkastaja tekee maalämpöpumpun asennuksen jälkeen loppukatselmuksen, jonka yhteydessä urakoitsijan on toimitettava porausraportit jokaisesta lämpökaivosta, josta ilmenee tiedot kaivosta ja käytettävästä lämmönsiirtonesteestä. Tampereen kaupungilla maalämpökaivon käsittely kestää pientaloilla noin kolme viikkoa ja taloyhtiöillä 4-6 viikkoa. (Brunnila 2014) Tampereella on elokuuhun 2014 mennessä myönnetty lupia (Tampereen kaupungin rakennusvalvontavirasto):

- 77:lle pientalon ja 22:lle taloyhtiön maalämpöpumpulle
- kuudelle poistoilmalämpöpumpulle ja
- yhdelle ilma-vesilämpöpumpulle.

Poistoilma- ja ilma-vesilämpöpumput ovat myös luvanvaraisia. Poistoilmalämpöpumpun hankinta olemassa olevaan kohteeseen vaatii taloyhtiön päätöspöytäkirjan ja siitä on tehtävä ilmanvaihtojärjestelmän muutosilmoitus. Kaupunkikuvalle merkityksellisissä rakennuksissa julkisivuun asennettava laitteet, kuten IVLP:n ulkoyksikkö tai PILP:n nousulinjat, saattava edellyttää naamiointia tai muita erityistoimia. (Brunnila 2014)

## 6.2 Avustukset

Valtio tukee Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen (ARA) kautta asumisen ja rakentamisen energiatehokkuustoimia. Kunnat myöntävät ARA-avustusta sitä hakeneille kuntalaisille. Avustusta voi saada 15 % hankkeen kokonaishinnasta. Vuonna 2013 avustusrahaa jaettiin Tampereella noin miljoona euroa. Uusiutuvaksi energiantuotannoksi katsotut IVLP, PILP ja MLP hankkeet saivat avustusta. Vuonna 2014 avustusrahan määrä Tampereella on laskenut tasolle 44 000 €, eikä lämpöpumpuille myönnetä enää avustusta pois lukien PILP, joka luokitellaan energiatehokkuustoimeksi. (Tampereen kaupungin rakennusvalvontavirasto 2014; Uusitalo, 2014)

Kotitaloudet ovat vuodesta 2001 lähtien saaneet verotuksessa vähentää lämpöpumpun asentamisen kulut niin sanottuna kotitalousvähennyksenä. Vähennyksen taloudellinen vaikutus yksittäisen kotitalouden lämpöpumppuhankinnalle oli vuonna 2014 noin 200–3500 €. (NEEAP-3 2014, s. 69)

## 6.3 Lämpöpumppuratkaisun mitoitus

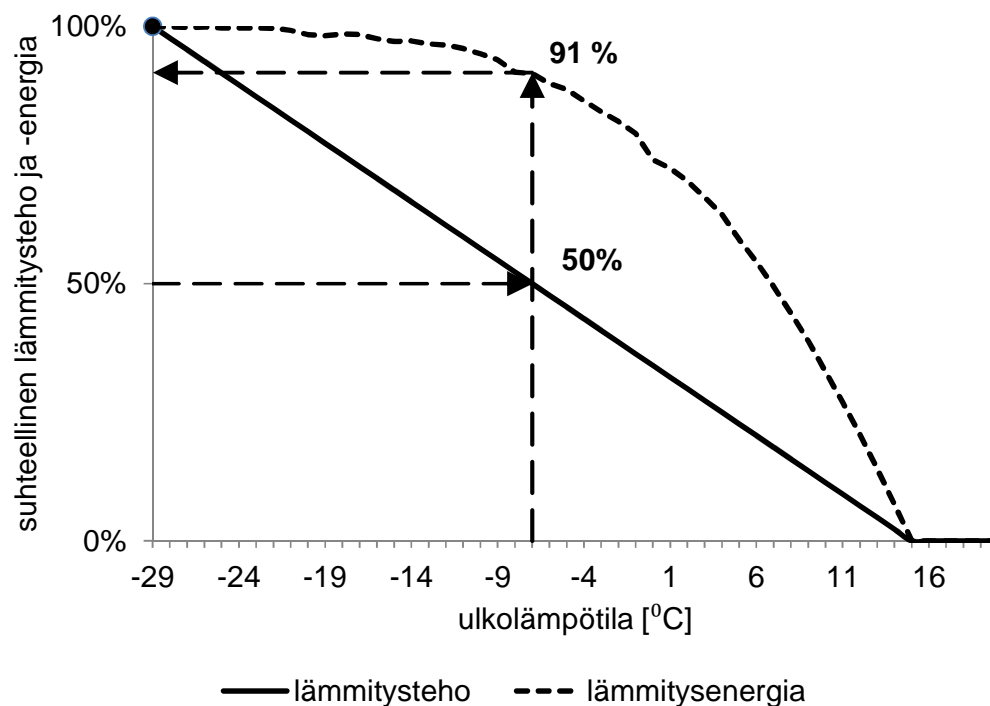
Lämpöpumpun mitoitus on teknistaloudellinen suunnittelu- ja optimointiprosessi, jossa on otettava huomioon lämpöpumppuratkaisun tekninen soveltuvuus haluttuun käyttötarkoitukseen ja ratkaisun taloudelliset reunaehdot.

Lämpöpumppuratkaisu mitoitetaan joko osa- tai täystehoiseksi. Osamitoituksessa lämpöpumppu tuottaa osan lämmitettävän kohteen lämpöenergian tarpeesta. Täyستهomitoitetussa järjestelmässä kaikki lämmityksen ja käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpö tuotetaan lämpöpumpulla. Lämpöpumppuratkaisun yli- tai alimitoitus johta-

vat aina teknistaloudellisesti epäedulliseen lopputulokseen. Alimitoitus lisää lämpöpumpun täydentävän energian käyttötarvetta ja ylimitoitus johtaa investointikustannusten kasvuun.

### 6.3.1 Lämmitysenergia ja -teho

Lämpöpumpun mitoituksen lähtökohtana on rakennuksen lämmitystehon ja lämmitysenergian tarve. Kuvassa 6.1 esitetään suhteellisen lämmitystehon ja laskennallisen kumulatiivisen lämmitysenergian ulkolämpötilan suhde ja siitä nähdään, että osatehoisella lämmitysjärjestelmällä voidaan kattaa merkittävä osa rakennuksen vuotuisesta lämmitysenergiasta. (Kauppila 2014)



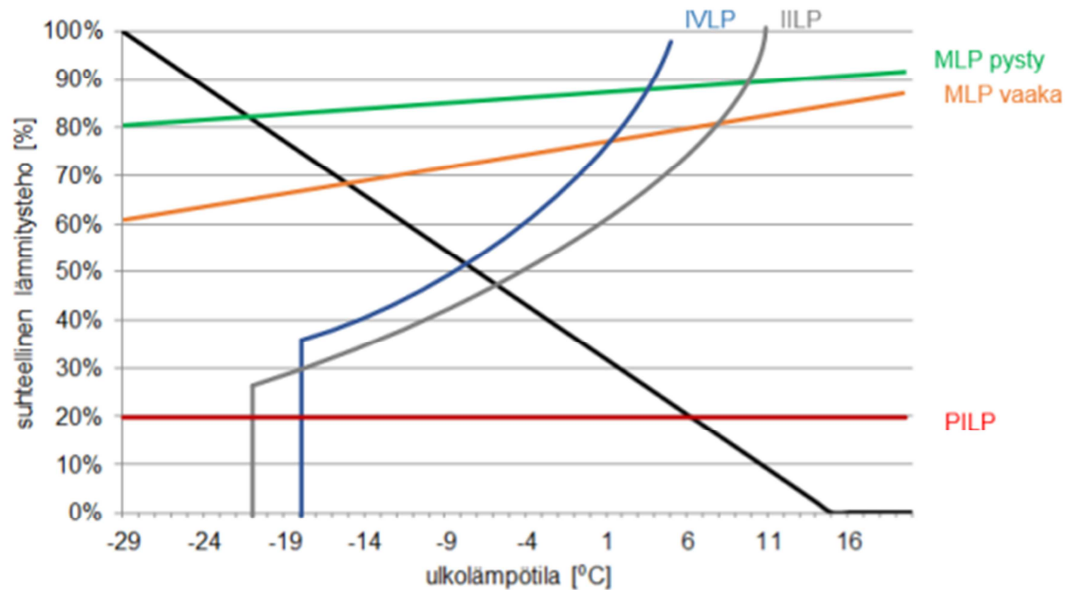
**Kuva 6.1:** Suhteellisen lämmitystehon ja laskennallisen kumulatiivisen lämmitysenergian suhde ulkolämpötilaan. (Energialaskennan testivuodet; Kauppila 2014, muokattu)

Rakennuksen lämmitystehontarve riippuu pääasiassa rakenteiden johtumislämpöhäviöistä, ilmavuodoista ja ilmanvaihdosta. Pitkäaikaisten alle  $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$  ulkolämpötilojen todennäköisyys esimerkiksi Tampereen seudulla on olematon, mutta siihen on kuitenkin varauduttava rakennuksen lämmitysjärjestelmää suunniteltaessa. (Rakentamismääräyskokoelma D5).

Lämmitysenergiakulutus riippuu ulkolämpötilan pysyvyyskäyrästä (liite 1). Pitkän aikavälin mittausten perusteella jokaiselle maantieteelliselle alueelle voidaan laskea todennäköisyys vuoden tunneista eri ulkolämpötilatasoilla.

Lämpöpumpun mitoituksessa on myös huomioitava käytettävä lämpöpumpputyypin, sillä eri lämpöpumppujen tuottamat lämmitystehot ulkolämpötilan suhteen poikkeavat

toisistaan. Kuvassa 6.2 on esitetty eri lämpöpumpputyypin periaatteellinen lämmitystekontuoton riippuvuus ulkolämpötilasta. Lämpöpumpun todellinen lämmitysteho kussakin toimintalämpötilassa voidaan laskea lämpöpumpun valmistajan ilmoittamista tiedoista. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012)

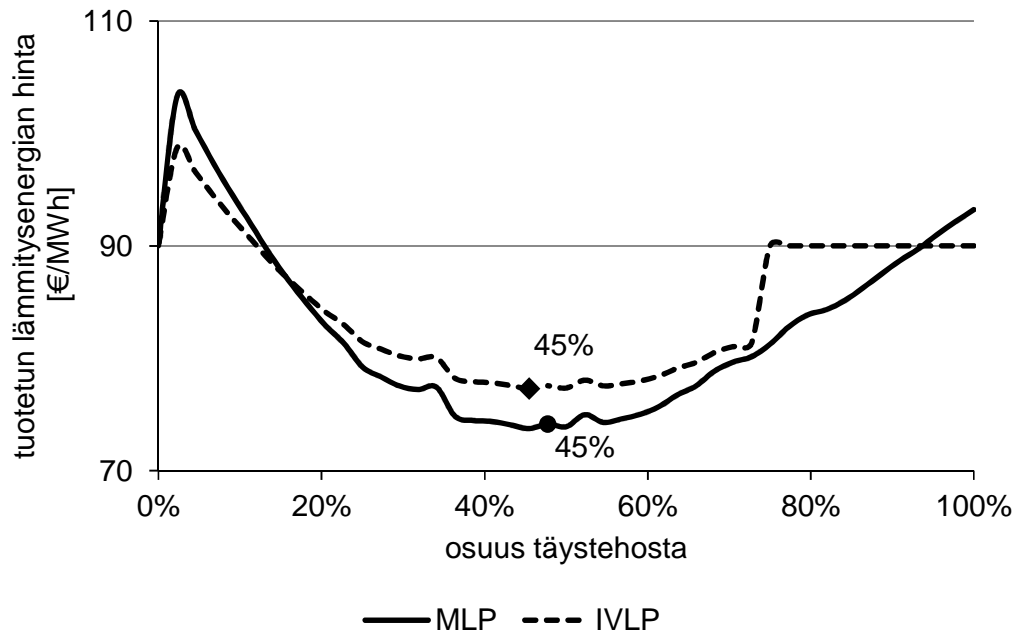


**Kuva 6.2:** Lämpöpumppujen tehon riippuvuus ulkolämpötilasta. Musta viiva kuvaa rakennuksen tehontarvetta. (Nordman, muokattu)

Useamman eri lämpöpumpputyypin hybridivaihtoehdot ovat myös mahdollisia lämmitysratkaisuja. Esimerkiksi PILP voidaan yhdistää MLP:n kanssa. Kesäaikaan poistoilmasta on saatavilla enemmän lämpöä kuin kiinteistö tarvitsee, jolloin ylimääräinen lämpö voidaan johtaa MLP:n lämpökaivoon. Tällöin maaperään varastoituu lämpöä ja lämpötilavaihtelut vähenevät, jolloin MLP toimii paremmalla hyötysuhteella. Lisäksi lämpökaivojen lukumäärää voidaan vähentää PILP:n tuoman lämmitysenergian säästön johdosta.

### 6.3.2 Mitoituksen vaikutus tuotetun lämmön hintaan

Lämmitystehon ja -energian eriävistä suhteesta johtuen lämpöpumppuratkaisulla tuotetulle energialle edullisin hinta on usein osatehoisella ratkaisulla. Kuvassa 6.3 on havainnollistettu maalämpö- ja ilmavesilämpöpumpun mitoituksen vaikutusta tuotetun lämmön kokonaishintaan kaukolämmitteisessä asuinkerrostalossa.

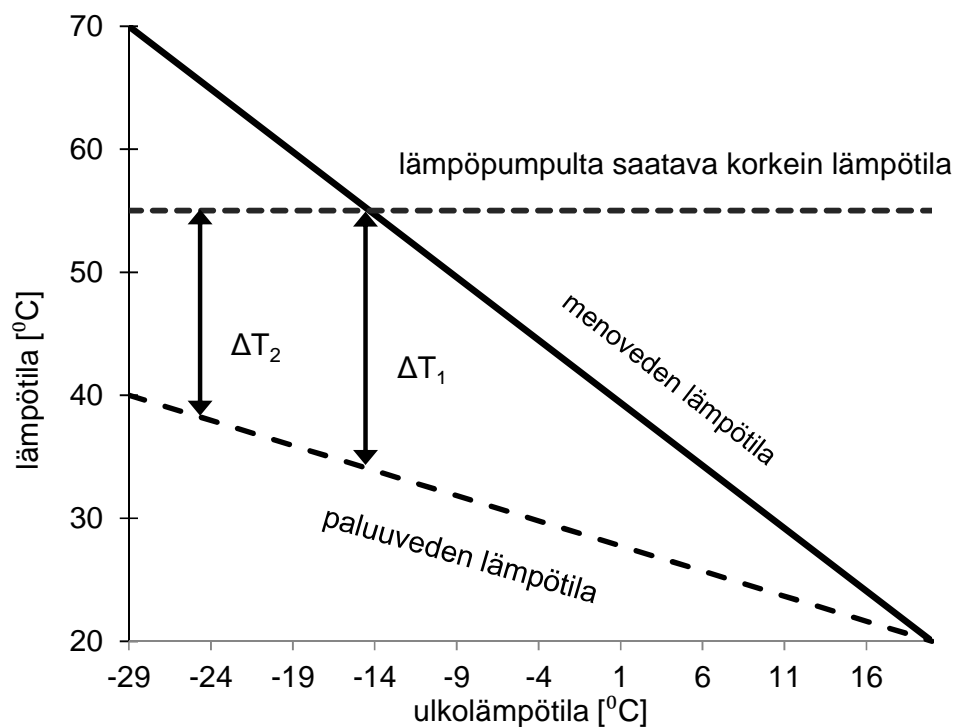


**Kuva 6.3:** Lämpöpumpun mitoituksen suhde tuotetun energian hintaan. (Kauppila 2014, muokattu)

Esimerkiksi maalämpöpumpun kohdalla optimaalinen mitoitus on tyypillisesti noin puolet täystehontarpeesta. Tämä ohjeellinen mitoituskriteeri pätee vain suuremmille kohteille ja pientalossa lämpöpumppu mitoitetaan tyypillisesti noin 60–80 %:lle täystehontarpeesta. (Lämpöä omasta maasta 2012)

### 6.3.3 Olemassa olevan lämmönjakojärjestelmän vaikutus lämpöpumppuratkaisuun

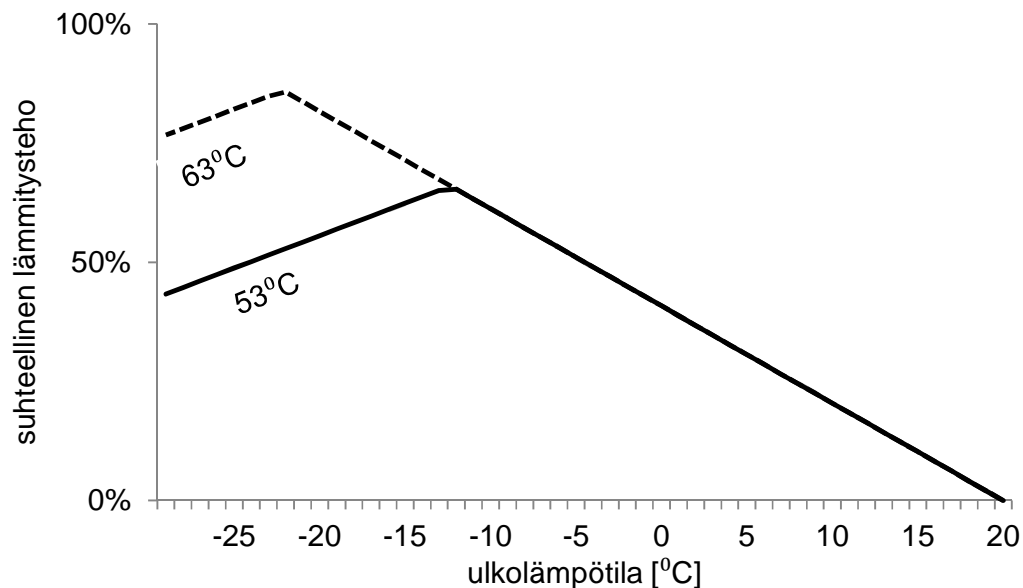
Vanhemmissa 1960–1975 luvulla rakennetuissa asuinkerrostaloissa lämmönsiirto huonetilaan on toteutettu yleisesti teräslevypattereilla (Neuvonen 2006). Teräslevypattereissa kiertävän veden lämpötilaa ohjataan lineaarisesti ulkolämpötilan mukaan, jolloin menoveden lämpötila on maksimissaan 70 °C ja paluueden lämpötila 40 °C (Koskelainen et al. 2006, s. 88). Patteriverkostossa kiertää yleisesti vakiovirta, jolloin teho riippuu meno- ja paluupuolen lämpötilaerosta. Patteriverkoston menoveden lämpötila nousee yli 55 °C ulkolämpötilan laskiessa riittävästi ja samalla paluueden lämpötila nousee. Lämpöpumpulla tuotetun lämpötilan ja patteriverkoston paluueden lämpötilaero pienenee ( $\Delta T_1 > \Delta T_2$ ). Tilannetta havainnollistaa kuva 6.4.



**Kuva 6.4:** Patteriverkoston meno- ja paluuveden lämpötilaohjautuvuus ulkolämpötilan mukaisesti ja lämpöpumpulla tuotettu lämpötilataso. (Koskelainen et al. 2006, s. 88, muokattu)

Lämpöpumpun rajoittuneen lämpötilatason vuoksi täydentävän lämmitysmuodon lämmitystehontarve korostuu kylminä ajanjaksoina, kun lämmönjakojärjestelmän lämpötilataso on 70/40 jota periaatteellisessa kuvassa 6.5 on havainnollistettu. Nykyisiä kaupallisia lämpöpumppuja, joiden lämpötilataso rajoittuu 55–65 °C:seen, ei ole kannattavaa tai edes mahdollista mitoittaa täysitehoiseksi lämmönjakojärjestelmälle, jonka lämpötilataso on 70/40.



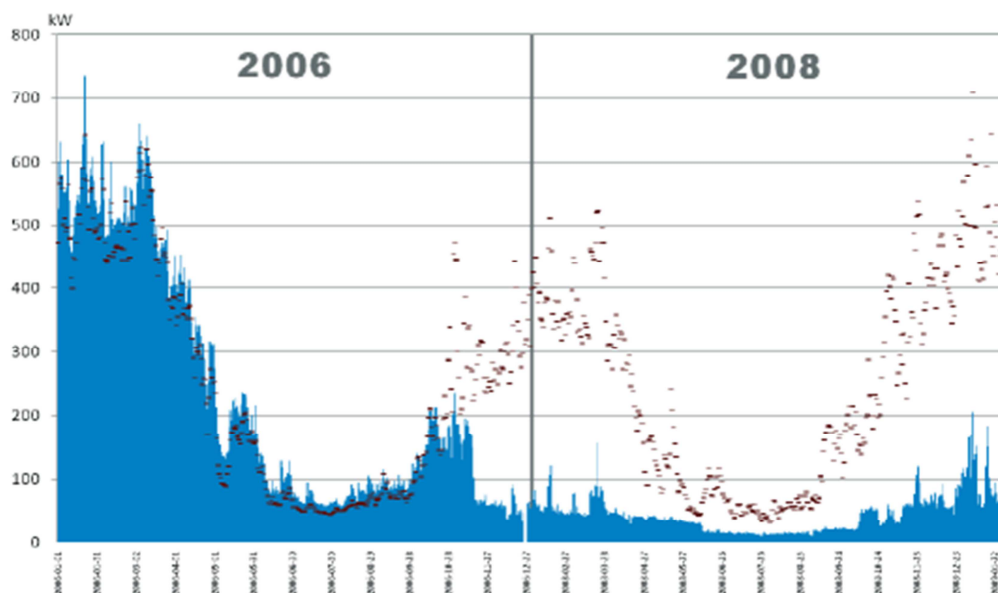


**Kuva 6.5:** Lämpöpumpulla tuotettu teho ulkolämpötilan suhteen, kun lämpöpumpulta saatava suurin lämpötila patteriverkoston on 53 °C ja 63 °C sekä lämmönjakoverkoston lämpötilataso 70/40.

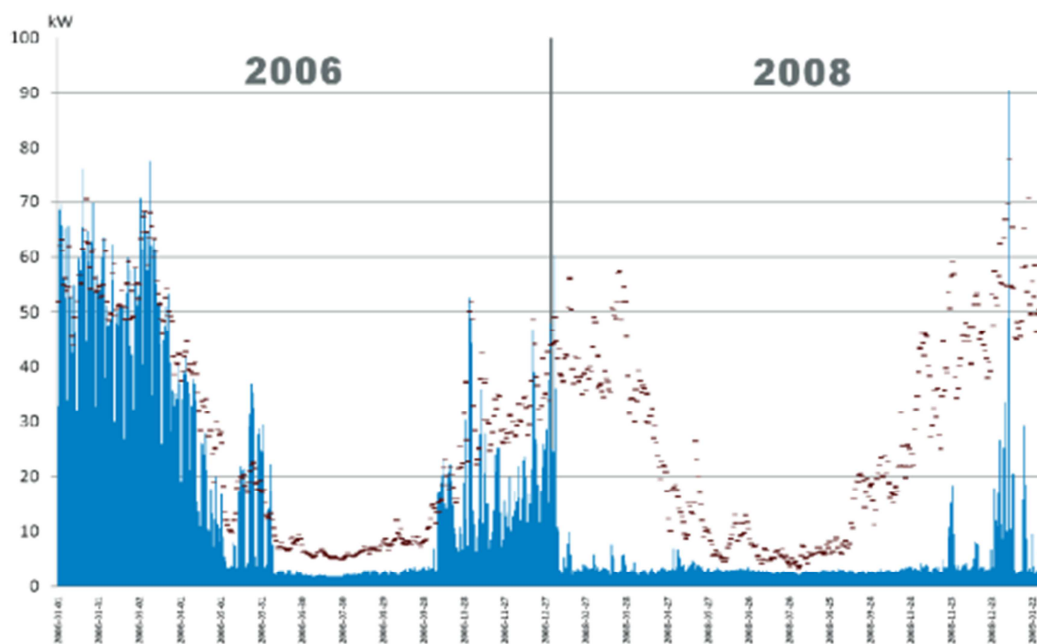
Lämpöpumpulta saatavaa lämpötehoa voidaan nostaa patteriverkoston virtausta kasvattamalla tai laskemalla paluuveden lämpötilaa. Paluuveden lämpötilaa voidaan laskea tehostamalla patteriverkoston lämmönsiirtoa huoneilmaan. Lämmönsiirron tehostamiskeinoja ovat lämmönsiirtimen pinta-alan kasvattaminen tai konvektiivisen lämmönsiirron tehostaminen. Lattialämmityksen teräslevypattereita suurempi lämmönsiirtopinta-ala mahdollistaa yhtä suuren lämpötehon alhaisemmalla lämpötilatasolla. Tämän vuoksi lattialämmitys on teräslevypattereita parempi lämmönjakojärjestelmä lämpöpumpulle.

### 6.3.4 Lämpöpumppuratkaisun vaikutus rakennuksen rinnakkaiseen lämmitysjärjestelmään

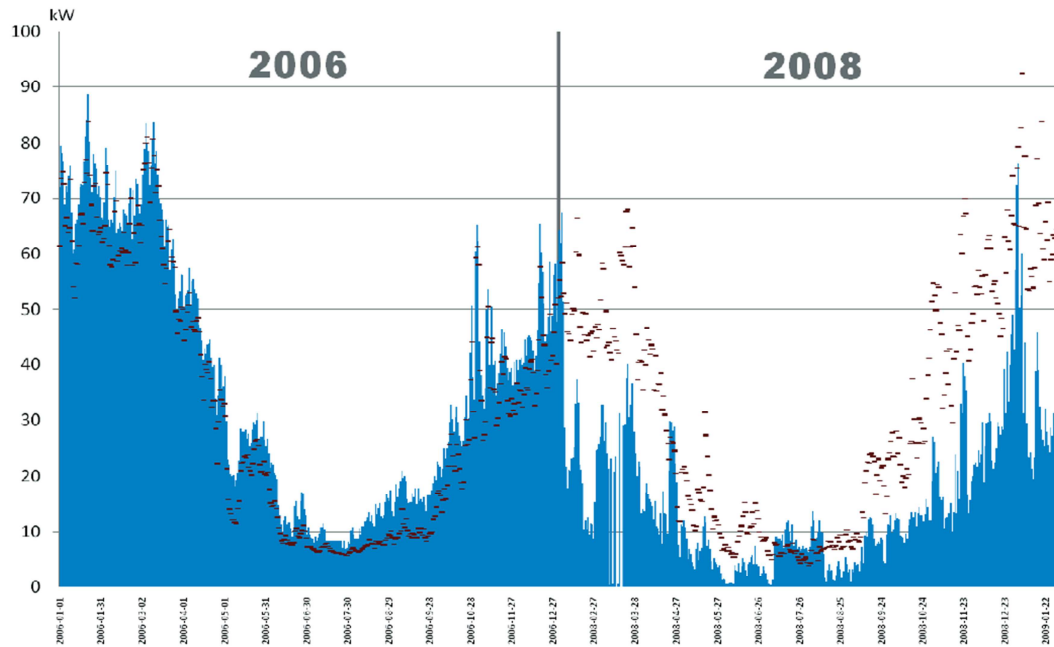
Osatehomyötetty lämpöpumppu vaatii rinnakkaisen lämmitystavan. Kaukolämmityksen rinnalla lämpöpumput vähentävät rakennuksen kaukolämmön kulutusta ja kasvattavat sähkön kulutusta. Hetkellisen kaukolämpötehon muutoksia eri lämpöpumppu-kaukolämpöhybridikohteissa on esitetty kuvissa 6.6, 6.7 ja 6.8. Sininen alue kuvaa kaukolämpöenergian vuotuista päiväkeskiarvoa ja mustat pisteet vastaavanlaisien kaukolämpökohteiden tehontarvetta samalla ajanjaksolla. (Boss 2012)



**Kuva 6.6:** Kaukolämpökohteen vuosittaisen kaukolämpötehtarpeen päiväkeskiarvon muutos ennen ja jälkeen maalämpöpumpun asentamista kaukolämmön rinnalle. Kaukolämmöllä tuotetaan kiinteistön lämpimän käyttöveden tarve ja osa lämmityksestä kylmällä säällä, kun lämpöpumpun teho ei riitä. (Boss 2012)



**Kuva 6.7:** Kaukolämpökohteen vuosittaisen kaukolämpötehtarpeen päiväkeskiarvon muutos ennen ja jälkeen ilma-vesilämpöpumpun asentamista kaukolämmön rinnalle. Kaukolämmöllä tuotetaan lämpimän käyttöveden lämmöntarve ja huippupakkasten aikaan kiinteistön lämmöntarve kokonaan. Huipputehtarve pakkasjaksojen aikaan säilyy entisellään. (Boss 2012)



**Kuva 6.8:** Kaukolämpökohteen vuosittaisen kaukolämpötehon päiväkeskiarvon muutos ennen ja jälkeen poistoilmalämpöpumpun asentamista kaukolämmön rinnalle. Poistoilmalämpöpumppu laskee vuotuista energiantarvetta, mutta tehon tarpeet pysyvät lähes vastaavina kuin ennen lämpöpumppua. (Boss 2012)

Kaikissa esimerkkikohteissa lämpöpumppuasennuksen jälkeen kaukolämpöenergiankulutus vähenee suhteessa vertailukiinteistöihin kaukolämpötehon pysyessä lähes ennallaan. Mittausten perusteella maalämpöpumppu laskee kaukolämpötehon tarvetta myös pakkasjaksoilla, kun taas IVLP ja PILP kohteissa hetkelliset kaukolämpötehon tarpeet pysyivät entisellään.

Ari Matilaisen insinööriyössä (2013) on tutkittu vanhaan kerrostaloon asennettua poistoilmalämpöpumppua kaukolämmön rinnalle. Kohteesta on tehomittauksia yhden vuoden ajalta PILP:n asennuksen jälkeen ja tänä aikana kaukolämmön hetkellinen vuoden 2012 huipputeho oli 230 kW, kun se ennen PILP:a oli vuosien 2007–2011 välillä vaihdellut 230–300 kW:n välillä. Kaukolämpöveden jäähtymä oli heikentynyt PILP:n asennuksen jälkeen noin 60 °C:sta 46 °C:een.

## 6.4 Lämpöpumppuinvestoinnin kannattavuus

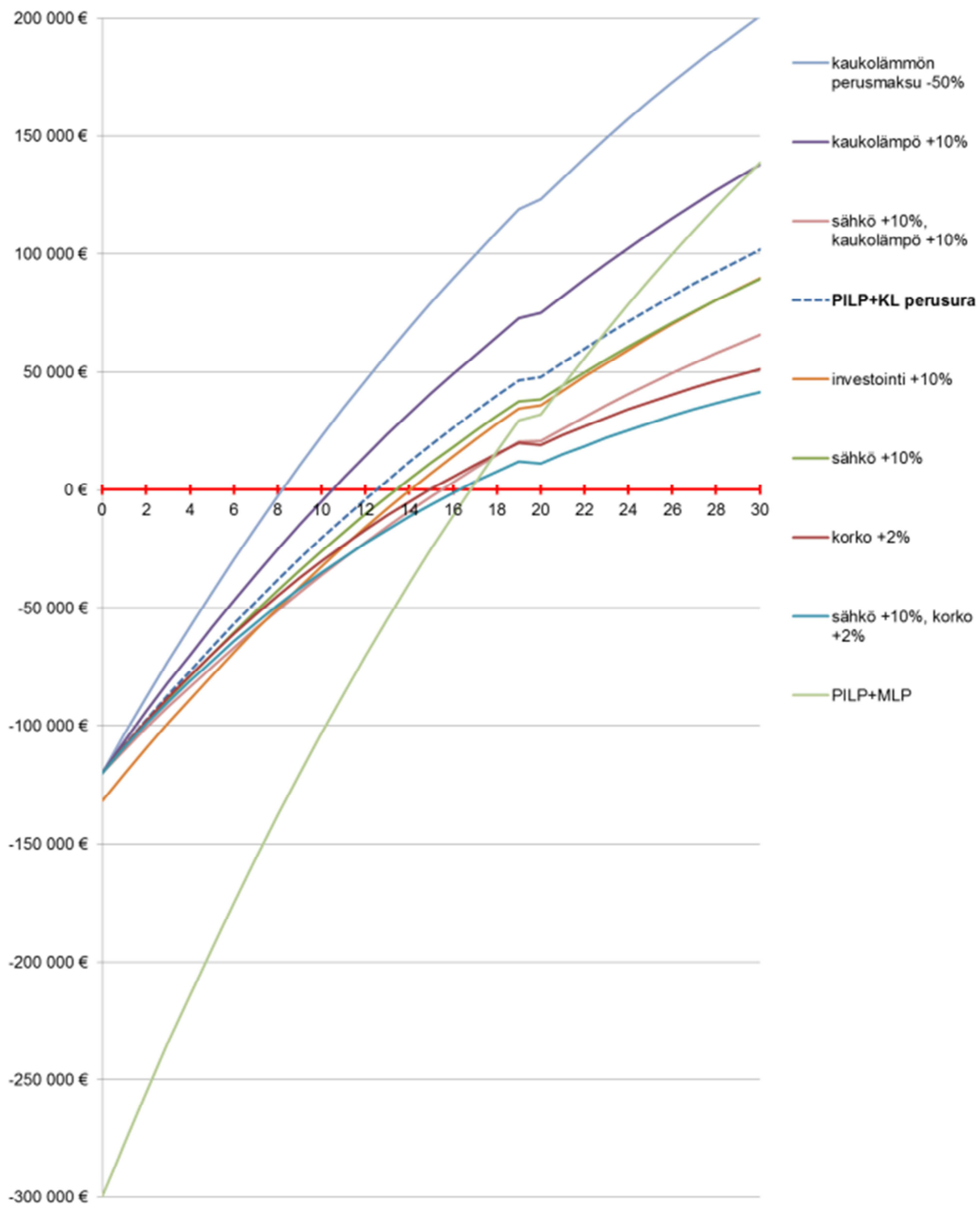
Lämpöpumppuinvestoinnin toteutus päätös perustuu hyvin suunnitellun hankkeen teknistaloudelliseen optimointiin ja mahdollisen investoinnin kannattavuustarkasteluun suhteessa vaihtoehtoihin lämmitysratkaisuihin. Lämpöpumppuinvestoinnin kannattavuus ja tuotetun energian hinta on aina selvitettävä kohdekohtaisesti. Lämpöpumppuinvestoinnin kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012):

- rakennuksen vuosittainen lämmöntarve
- rakennuksen ikä: uudisrakennus vai saneerauskohde
- lämpimän käyttöveden tarve
- rakennuksen maantieteellinen sijainti (vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen ja ilmasta lämpöä siirtävien lämpöpumppujen energiantuotantoon)
- lämpöpumpun mitoitus (osa- tai täysteho)
- lämpöpumpun sähkön kulutus ja sähkön hinta
- investoinnin suuruus
- hankkeen rahoitustapa ja rahoituksen hinta
- investoinnin tekninen käyttöikä
- korjaus- ja huoltokustannukset
- lämpöpumpun tyyppi
- lämmitysjärjestelmän lämpötilatasot
- vaihtoehtoisen tai korvattavan lämmitysmuodon energianhinta
- lämpöpumpun käyttö jäähdytyksessä ja
- lämpöpumpun hyötysuhde.

Poistoilmalämpöpumpun takaisinmaksuaikaa kaukolämmitteisessä asuinkerrostalossa tarkastellaan muuttuvien kustannuksien As Oy Vuorikilven kaltaisilla kulutustiedoilla ja liitteen 7 taulukon L7.2 lähtötiedoilla. Kuvassa 6.9 on taulukon 6.1 muuttuvilla kustannuksilla laskettu investoinnin takaisinmaksuaika nykyhinnoin ja reaalikorolla nettonykyarvomenetelmällä. Investointi on maksettu takaisin nettonykyarvon ollessa nolla. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 6.

**Taulukko 6.1:** Poistoilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika kaukolämmitteisessä asuinkerrostalossa muuttuvien kustannuksien.

	sähkö	kauko- lämpö	korko	investointi	kaukolämmön perusmaksu	säästö lämmityskustan- nuksissa	takaisin- maksuaika
	[€/MWh]	[€/MWh]	[%]	[€]	[€/a]	[€/a]	[a]
PILP+KL perusura	100	60	3 %	120000	10106	11957	12,5
korko +2%	100	60	5 %	120000	10106	11957	14,9
sähkö +10%	110	60	3 %	120000	10106	11321	13,4
kaukolämpö +10%	100	66	3 %	120000	10106	13789	10,4
sähkö +10%, korko +2%	110	60	5 %	120000	10106	11321	16,3
investointi +10%	100	60	3 %	132000	10106	11957	14,1
kaukolämmön perusmaksu -50%	100	60	3 %	120000	5053	17010	8,2
sähkö +10%, kaukolämpö +10%	110	66	3 %	120000	10106	13153	15,5
PILP+MLP	110	60	3 %	300000	0	23659	16,8



**Kuva 6.9:** Poistoilmalämpöpumpun nettonykyarvo kaukolämmitteisessä asuinkerrostalossa As Oy Vuorikilven kaltaisilla toteumatiedoilla.

Kaukolämmön perusmaksun laskeminen tuo merkittävän lisäsäästön ja tällöin PILP-investoinnin takaisinmaksuajaksi saatiin hiukan yli kahdeksan vuotta. Sähkön hinnan ja korkotason nousu ovat suurimmat takaisinmaksuaikaa nostavat tekijät. Jokainen lämpöpumppuhanke on yksilöllinen ja siten kannattavuuslaskelmat edellyttävät kyseisen kohteen laskennan lähtötietojen riittävää tarkkuutta. Tulokset ovat siten suuntaa antavia. Kaukolämmöstä irtaantuminen ja maalämpö- sekä poistoilmalämpöpumpun yhdistelmän takaisinmaksuajaksi muodostui lähes 17 vuotta. Lämpöpumpun käyttö jäädytykseen saattaa parantaa investoinnin kannattavuutta.

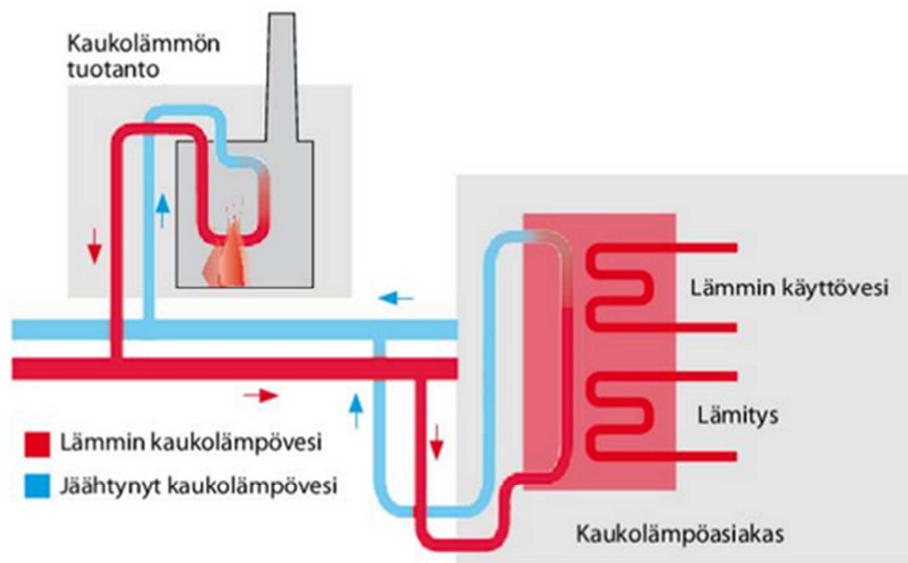
## 6.5 Lämpöpumppujen hyödyt, ongelmat, mahdollisuudet ja uhat

*Taulukko 6.2: Lämpöpumppujen hyödyt, ongelmat, mahdollisuudet ja uhat.*

Hyödyt	Ongelmat
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia- ja kustannussäästö</li> <li>• Koeteltua ja toimivaa tekniikkaa</li> <li>• Vähän huoltoa vaativa ja etäkäyttö mahdollisuus</li> <li>• Sekundääristen matalalämpöisten lämmönlähteiden hyödyntäminen</li> <li>• Jäähdytysmahdollisuus</li> <li>• Monikäyttöisyys. Soveltuu tapauskohtaisesti uudis- ja saneerauskohteisiin</li> <li>• Käyttövoiman saatavuus</li> <li>• Kuluttajalla valittavissa useasta eri tekniikasta ja toimittajasta sopivin vaihtoehto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarvitsee toimiakseen parempi laatuista primäärienergiaa kuin kaukolämmitys</li> <li>• Olemassa olevat rakenteet, lämmitysjärjestelmä, maaperä tai viranomaisluvut eivät mahdollista lämpöpumppuja kaikkiin kiinteistöihin</li> <li>• Osatehmitoitettu järjestelmä tarvitsee varalämmönlähteen</li> <li>• Jäähdytyskäytössä lisää sähkönkulutusta</li> <li>• Mahdollinen lisätilan tarve kiinteistöistä</li> <li>• Kohteesta riippuen suuret alkuinvestoinnit</li> <li>• Voi vaatia muutoksia kiinteistön sähköliittymään tai pääsulakekokoon</li> <li>• Rajoitettu lämpötilatason tuotto (nykyisellä laitekannalla max. 65 °C)</li> <li>• Kylmäaineet</li> <li>• Heikentynyt hyötysuhde alhaisilla ulkolämpötiloilla</li> </ul>
Mahdollisuudet	Uhkatekijät
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energian säästötavoitteet kansallisella ja EU:n tasolla</li> <li>• Vähentää kasvihuonekaasupäästöjä jos sähkö tuotettu vähäpäästöisillä tuotantomuodoilla</li> <li>• Maaperä Suomessa pääosin hyvin soveltuvaa maalämmön lämpökaivolle</li> <li>• Ilmaston lämpenemisen seurauksena lämpöpumpuilla voidaan kattaa suurempi osa vuotuisesta energiantarpeesta</li> <li>• Kiristyneet rakennusmääräykset</li> <li>• Huoltovarmuuden parantaminen (energiänsäästö vähentää riippuvuutta tuotinpolttoaineista ja sähköä saatavilla useasta eri energialähteestä)</li> <li>• Kiinteistöjen kasvava jäähdytystarve</li> <li>• Yli 65 °C lämpötilataso uusilla kylmäaineilla ja tekniikan kehitymisellä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investoinnin kannattavuus riippuvainen sähkön ja kilpailevan lämmitysmuodon hinnasta sekä lämpöpumpun hyötysuhteesta</li> <li>• Puutteelliset viranomaisten määräykset</li> <li>• F-kaasuasetus rajoittaa nykyisten kylmäaineiden käyttöä</li> <li>• Alalla epätervettä kilpailua</li> <li>• Lisää sähkönkulutusta huippukäytön aikaan</li> <li>• Kuluttajilla ei maksukykyä investoida ja yleisesti heikko taloudellinen tilanne</li> <li>• Korkojen nousu ja lainarahan vaikea saatavuus</li> <li>• Huono suunnittelu ja/tai asennus</li> </ul>

## 7 KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄ

Kaukolämpöjärjestelmä muodostuu lämpöenergian tuotantolaitoksista, jakeluverkosta, kaukolämpöasiakkaan kuluttajalaitteista ja lämmitettävien tilojen lämmönjakojärjestelmästä. Kaukolämmön tuotantolaitokselta lämmin kaukolämpövesi virtaa verkostoa pitkin asiakkaalle, jossa kaukolämpövesi jäähtyy ja palaa verkostoa pitkin takaisin tuotantolaitokselle, kuva 7.1.



**Kuva 7.1:** Kaukolämpöjärjestelmän toimintaperiaate. Kaukolämmön tuotantolaitokselta lämmin kaukolämpövesi virtaa jakeluverkostoa pitkin kuluttajan kaukolämpölaitteisiin ja palaa jäähtyneen takaisin tuotantolaitokselle. (Virta & Pylsy 2011)

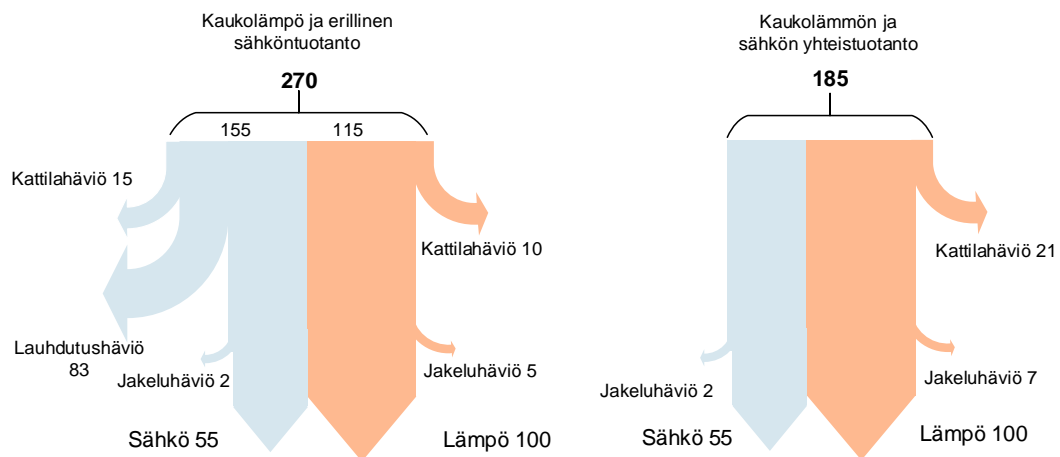
Kaukolämpöverkot ovat paikallisia ja kaukolämmön hinta on aina verkostokohmainen. (Kaukolämpöalan strategia 2013) Kaukolämmön etuja ovat muun muassa toimitusvarmuus, vaivattomuus ja skaalautuvuus erikokoisille kuluttajille.



## 7.1 Kaukolämmön tuotantotavat

Vuonna 2013 Suomessa tuotettiin kaukolämpöä noin 32 TWh. Yli puolet tuotetusta kaukolämmöstä käytettiin asuntojen lämmitykseen. (Energiavuosi 2013) Valtaosa kaukolämmöstä tuotettiin sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa, joissa energiantuotanto perustuu pääosin maakaasuun, kivihiileen, turpeeseen ja puupolttoaineisiin (Kaukolämpöalan strategia 2013).

Kuvassa 7.2 esitetään primäärienergia käytön jakaantuminen erillis- ja yhteistuotannossa. Yhteistuotannossa sama lämpö- ja sähkömäärä tuotetaan pienemmällä primäärienergiamäärällä. Lämmön erillistuotannossa energiantuotannon kokonaishyötysuhde on hyvä ja käytetystä primäärienergiasta noin 85–90 % saadaan hyötykäyttöön. Kaukolämmöllä on siten merkittävä rooli Suomen energiatehokkuus- ja ympäristötavoitteiden toteutuksessa. Yhteistuotannon osuus kaukolämmön tuotannosta on noin 70 % (Kaukolämpöalan strategia 2013; Energiavuosi 2013)



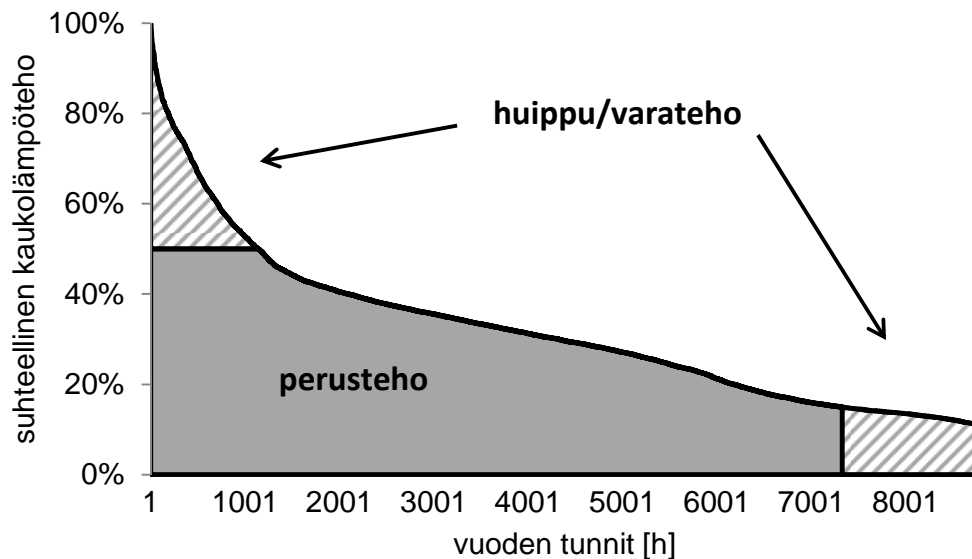
**Kuva 7.2:** Yhteistuotannon ja erillistuotannon sankey-diagrammit, josta huomataan kokonaishyötysuhteiden välinen ero, kun molemmilla tuotantomuodoilla tuotetaan yhtä suuret määrät sähköä ja lämpöä. (Raiko 2010)

Erilliset lämpölaitokset voidaan jakaa kiinteisiin kattilalaitoksiin, joita ovat tulitorvi- ja tuliputkikattilat sekä vesiputkikattila, siirrettäviin kattilalaitoksiin ja kiinteään polttoaineen kattiloihin. Lämmöntuotannon hyötysuhde riippuu polttoaineesta, poltto- tekniikasta, kattilan mitoituksesta ja ajotavasta. Lukumääräisesti suurin osa kaukolämpökattiloista on kuumavesikattiloita, joista lähtevän veden lämpötila on alle 120 °C. Kuumavesikattiloiden tehot ovat noin 15–30 MW ja yleisesti polttoaineena käytetään polttoöljyä, maa-, neste- tai biokaasua. (Koskelainen et al. 2006)

## 7.2 Kaukolämmön tuotantorakenne

Kaukolämmön tarve vaihtelee vuoden- ja vuorokaudenaikojen mukaan. Kuvassa 7.3 esitetään tyypillinen kaukolämpöverkon tehon pysyvyyskäyrä ja esimerkki tuotetun kaukolämpöenergian jaosta eri tuotantolaitosten kesken.

Perustehoa pyritään tuottamaan mahdollisimman edullisesti ja se mitoitetaan noin puoleen kaukolämpöverkon huipputehosta jolloin perusteholaitokset tuottavat suurimman osan kaukolämpöenergiasta. (Koskelainen et al. 2006, s. 24). Kuvassa 7.3 tummennettu alue kuvaa perusteholaitoksella tuotettua energiaa, joka kattaa tyypillisesti noin 60–90 % tuotetusta energiasta.



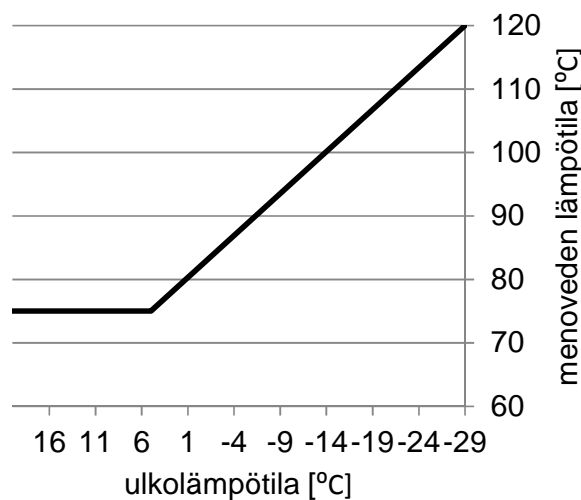
**Kuva 7.3:** Kaukolämpötehon pysyvyyskäyrä ja eri tuotantomuodot (Leppäkosken Sähkö Oy 2014)

Vastaavasti huippu- ja varakattilat mitoitetaan noin 200–1500 tunnin huipun käyttöajalle. Huippu- ja varakattiloilla vastataan lyhtyaikaiseen huipputehon kysyntään ja tuotetaan perusteholaitoksen minimikuormaa alhaisempi kesäkuorma. Useamman tuotantolaitoksen käyttö vähentää tuotantohäiriöistä johtuvia lämmönjakelun keskeytyksiä ja lisää luotettavuutta (Koskelainen et al. 2006, s. 322).

### 7.3 Kaukolämmön jakeluverkko

Tuotantolaitoksilta kuluttajille lähtevän kaukolämpöverkon kiertoveden menolämpötilaa ohjataan ulkolämpötilan mukaan kuvassa 7.4 esitetyn menoveden säätökäyrästäön mukaisesti. Kaukolämpövesi palaa takaisin tuotantolaitokselle vuodenajasta riippuen noin 40–60 °C lämpötilassa. (Koskelainen et al. 2006)

Kaukolämpöverkoston suurin rakennepaine on 16 bar ja lämmön myyjän on aina taattava kuluttajan lämmönvaihtimelle vähintään 0,6 bar paine-eron riittävän virtaaman takaamiseksi. Kaukolämpöverkosta siirtyy lämpöä ympäristöön ja lämpöhäviöt ovat keskimäärin kahdeksan prosenttia ja pumppausenergia puoli prosenttia siirretystä energiasta (Rinne & Syri, 2013). (Koskelainen et al. 2006)



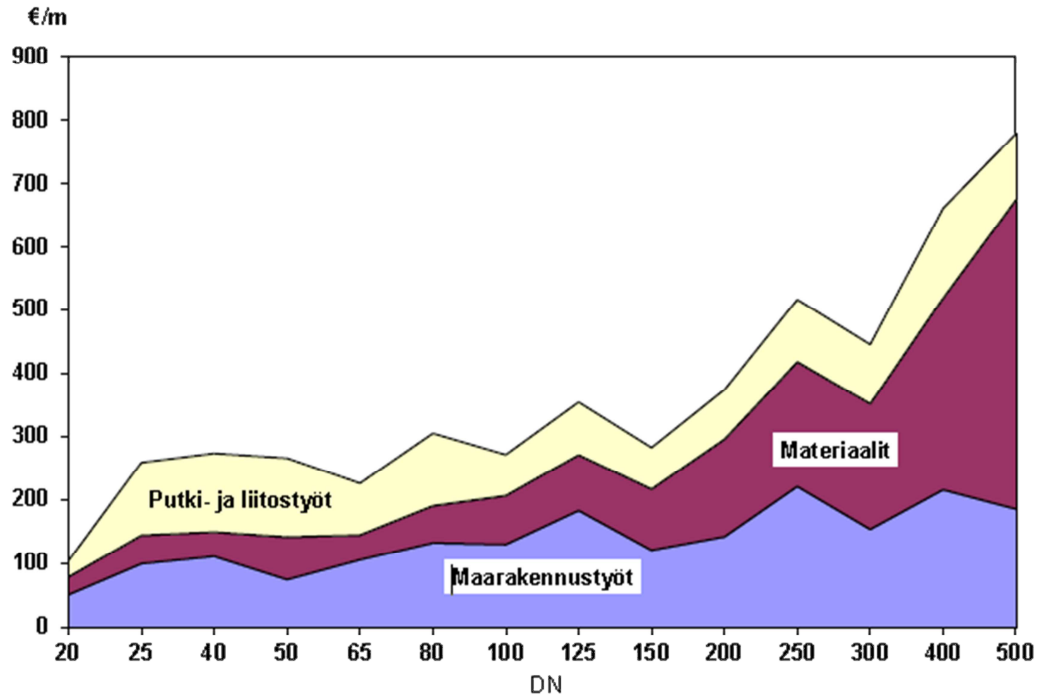
**Kuva 7.4:** Kaukolämmön menoveden lämpötilaohjautuvuus ulkolämpötilan mukaisesti (Koskelainen et al. 2006, s. 336, muokattu)

Lähes kaikki maahan asennetut kaukolämpöjohdot ovat rakenteeltaan niin sanottuja kiinnivaahdotettuja. Kiinnivaahdotetuissa kaukolämpöjohdoissa on polyuretaanisuojakuori, joka on kiinteästi yhteydessä teräksiseen virtausputkeen polyuretaanieristeellä, kuva 7.5. Putkijärjestelmänä voidaan käyttää yksiputkijohtoa, jolloin meno- ja paluujohto ovat erillään toisistaan (2MPUK) tai kaksiputkijohtoa (MPUK), jolloin sekä meno- että paluupuolen virtausputket ovat liitetty polyuretaanieristeellä kiinteästi yhteen. (Koskelainen et al. 2006)



**Kuva 7.5:** Muovikuorella suojattu ja polyuretaanilla eristetty kaukolämpöputkijohto, jossa meno- ja paluuputki ovat saman suojakuoren sisällä (MPUK).

Kaukolämpöverkon suunnitteluperiaatteena on siirrettävä lämpöteho lämmöntuotantolaitokselta kuluttajille. Lämmöntuotantolaitoksilta lähtevät siirtojohdot, joiden mitoitus vastaa lämmöntuotantolaitoksiin liittyneiden kuluttajien kokonaistehoa. Siirtojohdoista kaukolämpövesi jakaantuu runkojohdoille, joiden mitoitus vastaa runkoon liittyvien asiakkaiden tehoa. Runkojohdosta kaukolämpövesi virtaa edelleen liittymisjohtoa pitkin kuluttajalle ja liittymisjohto mitoitetaan kuluttajan tehontarpeelle. Kiinnivaahdotettujen kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannukset kasvavat siirryttäessä suurempaan putkihalkaisijaan kuvan 7.6 mukaisesti. (Koskelainen et al. 2006 s. 138)

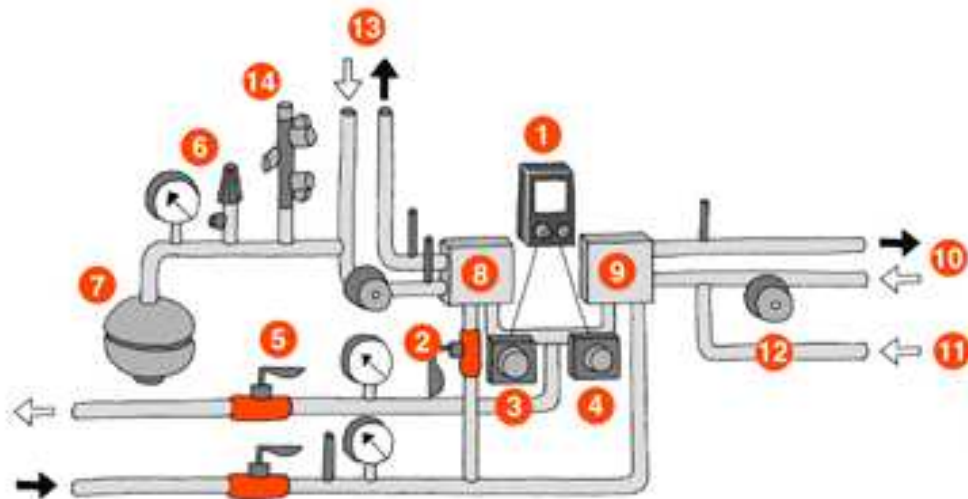


**Kuva 7.6:** 2MPUK kaukolämpöjohdon rakentamiskustannuksen riippuvuus [€/johtometri] putkihalkaisijasta [mm] vuonna 2012. (Maanalaisten kiinnivaahdotettujen 2013)

Kaukolämpöä jakelevalle yhtiölle on edullisinta, että jokaista kaukolämpöjohtometriä kohden saataisiin mahdollisimman paljon kulutusta. Suuri energiankulutus johtometriä kohden merkitsee alhaisempia verkon rakentamis-, rahoitus- ja ylläpitokustannuksia, lämpöhäviötä ja pumppausenergiaa sekä vuotoriskien vähenemistä. Suuremman rakennustiheyden vuoksi taajamien kaukolämpöverkot ovat haja-asutusalueita kannattavampia. Kaukolämpöverkon tehokkuutta kuvaava taloudellinen tunnusluku on myydyin energian suhde johtopituuteen, jota kutsutaan myös verkon lämpötiheydeksi. Keskimäärin Suomessa vuonna 2012 verkon lämpötiheys oli 2,63 MWh/m (Kaukolämmön käyttötaloudelliset tunnusluvut 2013). (Koskelainen et al. 2006)

#### 7.4 Kuluttajan kaukolämpölaitteet

Kuluttajat liitetään kaukolämpöverkkoon epäsuoralla kytkennällä. Epäsuorassa kytkennässä kaukolämpö liittyy lämmönsiirtimien välityksellä rakennuksen sisäiseen lämmitysjärjestelmään. Kuluttaja omistamaan ja huoltamaan lämmönjakokeskukseen kuuluvat kuvassa 7.7 esitetyt komponentit. (Koskelainen et al. 2006)



**Kuva 7.7:** Periaatekuva asiakkaan kaukolämmönjakokeskuksesta. 1 säätökeskus, 2 kesäsulku, 3 lämmityksen säätöventtiili, 4 käyttöveden säätöventtiili, 5 asiakkaan pääsulkuventtiili, 6 varoventtiili, 7 paisunta-astia, 8 lämmityksen lämmönsiirrin, 9 käyttöveden lämmönsiirrin, 10 lämmin käyttövesi, 11 kylmä vesi, 12 pumppu, 13 lämmitysverkko, 14 täyttöventtiili. (Käytä kaukolämpöä oikein 2007)

Kuvassa ei näy kaukolämmön myyjän laitteita, jotka ovat ennen asiakkaan pääsulkuventtiilejä. Niitä ovat virtaus- ja lämpötila-anturit, lämmön myyjän pääsulkuventtiilit, lianerotin ja mittauskeskus. Perinteinen lämmön myyjän ja asiakkaan välinen vastuu- ja omistusraja on lämmönmyyjän mittausantureiden jälkeen ennen asiakkaan pääsulkuventtiilejä. (Käytä kaukolämpöä oikein 2007)

## 7.5 Kaukolämpöveden jäähtymä

Kaukolämpöveden jäähtymällä tarkoitetaan kaukolämmön menoveden ja paluueden lämpötilojen erotusta. Kuluttajalla kaukolämpövesi jäähtyy, kun kaukolämpöverkosta siirretään lämpöä rakennusten lämmitykseen ja lämpimään käyttöveteen. Suomessa tehtyjen selvitysten perusteella keskimääräiset meno- ja paluulämpötilat ovat 88 °C ja 51 °C, jolloin jäähtymä on 37 °C (Kaukolämmön käyttötaloudelliset tunnusluvut 2013).

Kaukolämmön jäähtymä on määritelty kuluttajan ja kaukolämpöyhtiön välisessä kaukolämpösopimuksessa. Yleinen sopimuksessa määritelty jäähtymä on 25 °C. Kaukolämpöverkkoon palaavan veden lämpötila saa olla korkeintaan 65 °C (Kaukolämmön sopimusehdot 2010). Etäluettavat mittarit mahdollistavat jäähtymän seurannan kulutuspaikassa. Kaukolämmön hyvän jäähtymän etuja ovat (Kaukolämpöjärjestelmän paluueden hyväksikäyttö 2010; Anttonen 2011):

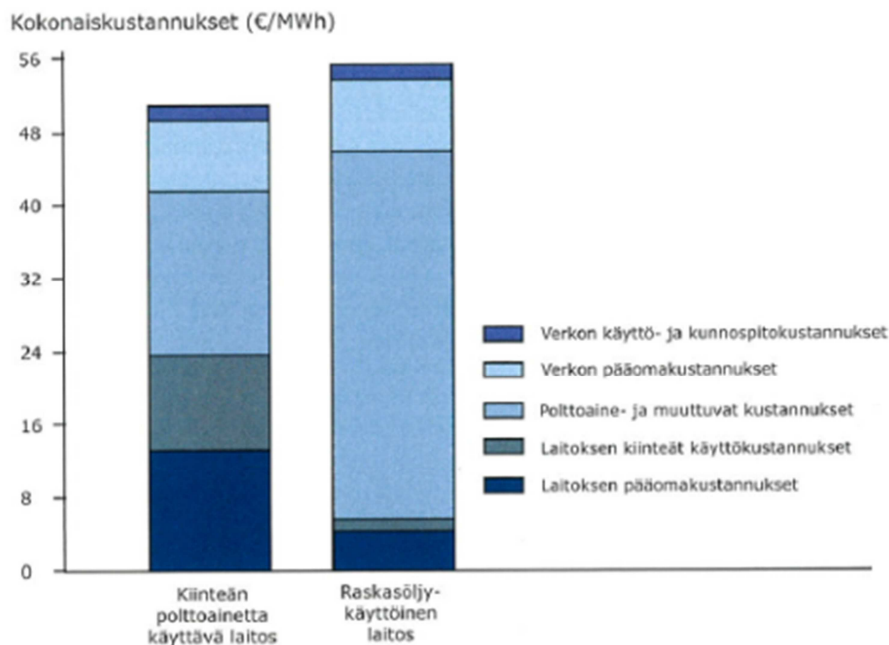
- Pienempi kaukolämpövesivirta mahdollistaa kevyemmän mitoituksen.
- Pumpausskustannusten ja lämpöhäviöiden pienentyminen.

- Lämmöntuotantolaitoksella käytettävästä savukaasupesurista saadaan savukaasuista siirrettyä enemmän lämpöenergiaa kaukolämpöveteen erityisesti, jos polttoaineella on suuri kosteuspitoisuus.
- Yhteistuotantolaitoksella jäähtymällä saadaan lisättyä sähkön tuotantoa noin 0,1 % lämpötila-astetta kohden.

Kaukolämmön paluuveden alentaminen normaalista tasosta tuo lisäjäähtymän, jonka arvo on noin 1 €/MWh. Tästä seuraa, että suuemmilla kaukolämpöverkoilla jäähtymän parantaminen tuo pieniä verkkoja suuremmat säästöt. Huonolla jäähtymällä on vastaavasti kustannuksia nostava vaikutus. Yleinen syy huonoon jäähtymään on kuluttajalaitteiden säätöventtiilien huono toimivuus. Säätöventtiili ei sulkeudu tarvittaessa, jolloin kaukolämpövesi virtaa vaihtimen läpi nostaen paluuveden lämpötilaa (Pyykkö 2014). (Kaukolämpöjärjestelmän paluuveden hyväksikäyttö 2010)

## 7.6 Kaukolämmön tuotantokustannukset

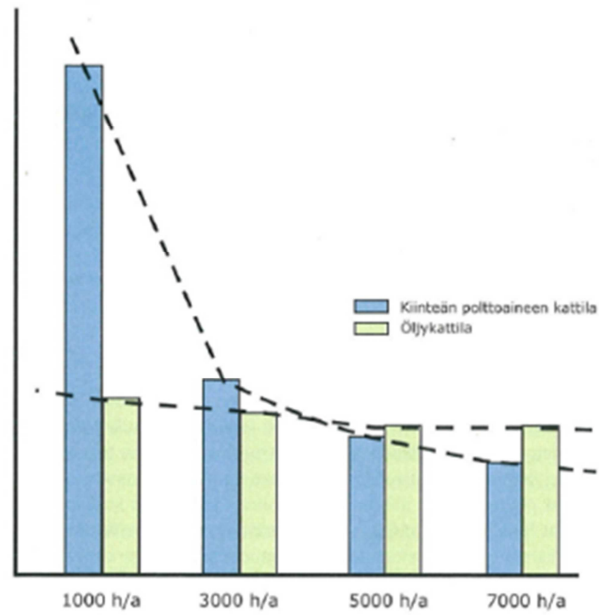
Kaukolämmön tuotantokustannukset muodostuvat lämmöntuotannon ja -jakelun kustannuksista sekä toimintaan liittyvistä välillisistä veroista. Kustannukset voidaan edelleen jakaa kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Kiinteät kustannukset eivät ole sidoksissa energiantuotantomäärään ja niitä ovat muun muassa palkat, poistot, korot, kunnosapito ja vakuutukset. Muuttuvat kustannukset ovat sidoksissa tuotettuun energiamäärään ja näistä merkittävimpiä ovat polttoainekustannukset, energiaverot ja päästömaksut. Lämmönjakelun kustannukset muodostuvat pääosin kaukolämpöverkon pääomakustannuksista sekä verkon käyttö- ja huoltokustannuksista. Loppukuluttajan maksalla kaukolämpölaskulla katetaan energiayhtiön lämmöntuotannon ja -jakelun kiinteät ja muuttuvat kustannukset, kate sekä arvonlisävero. Kuvassa 7.8 esitetään periaatekuva kahden erilaiseen lämmöntuotantomuotoon perustuvan kaukolämpöjärjestelmän kokonaiskustannuksista. (Koskelainen et al. 2006, s. 466)



**Kuva 7.8:** Kiinteää polttoainetta ja raskasta polttoöljyä lämmönlähteenä käyttävien kaukolämpöverkkojen kustannusrakenteet. (Koskelainen et al. 2006, s. 467)

Kaukolämpöverkko, jossa lämpö tuotetaan kiinteää polttoainetta käyttävällä tuotantolaitoksella, polttoaineen alhainen hinta kompensoi tuotantolaitoksen korkeita pääoma- ja käyttökustannuksia. Kaukolämpöverkossa, jossa lämpö tuotetaan raskaalla polttoöljyllä, kiinteät pääoma- ja käyttökustannukset ovat kiinteän polttoaineen tuotantolaitosta edullisemmat, mutta korkea polttoaineen hinta nostaa kokonaistuotantokustannuksia. Polttoainekustannusten osuus voi olla jopa 70 % kokonaiskustannuksista kaukolämpöverkossa, jossa lämpö tuotetaan raskaalla polttoöljyllä. Kaukolämpöverkon kustannukset ovat molemmissa verkoissa noin 15–20 % kokonaiskustannuksista. Lämmön- tuotantokustannukset kiinteän polttoaineen laitoksessa ovat öljyä polttoaineena käyttäviä laitoksia edullisempia, kun huipunkäyttöaika on yli 5000 tuntia vuodessa, mutta nousevat nopeasti huipunkäyttöajan laskiessa kuvan 7.9 mukaisesti. (Koskelainen et al. 2006, s. 467)





**Kuva 7.9:** Huipunkäyttöajan vaikutus kiinteän polttoaineen ja raskaspolttoöljykäyttöisen laitoksen lämmöntuotantokustannuksiin. (Koskelainen et al. 2006, s. 46)

Kiinteää polttoainetta käyttävien lämpölaitosten tuoma taloudellinen etu voidaan hyödyntää maksimoimalla lämpölaitoksen huipunkäyttöaika. Lämmöntuotantolaitosten poikkeavien tuotantokustannusten johdosta kaukolämpöverkosta riippuen voi olla kannattavaa jakaa lämmöntuotanto useamman eri polttoainetta käyttävän laitoksen kesken.

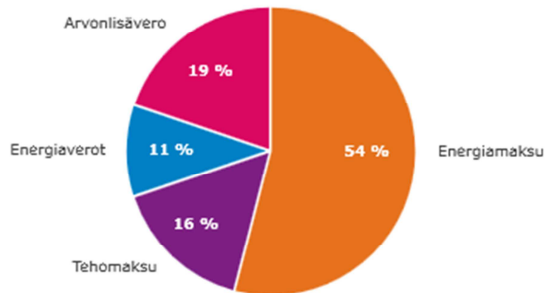
## 7.7 Kaukolämpötariffit

Kaukolämpöasiakkaan kaukolämpölasku muodostuu yleisesti kiinteistä ja muuttuvista maksuista sekä veroista. Maksut perustuvat lämmön myyjän kaukolämmön hinnoittelujärjestelmään eli niin sanottuun kaukolämpötariffiin. Uudet kaukolämpöasiakkaat maksavat kaukolämpöön liittyessään liittymismaksun, jolla katetaan uuden liittymän asentamiskustannukset. Liittymismaksu määräytyy asiakkaan tehontarpeesta ja etäisyydestä kaukolämpölinjasta.

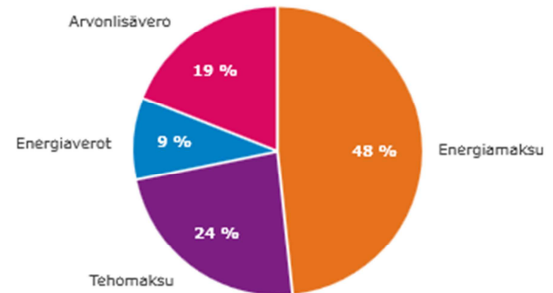
Kiinteistä maksuista käytetään usein nimitystä perus- tai tehomaksu, joka määräytyy asiakkaan tarvitseman huipputehon perusteella. Lämmönmyyjä on velvollinen mitoittamaan ja ylläpitämään kaukolämpöjärjestelmänsä siten, että asiakas saa aina sopimuksessa määritellyn huipputehon käyttöönsä. Sopimustehona voidaan käyttää uuden kuluttajan laskennallista tehontarvetta tai olemassa olevan kuluttajan mitattua kaukolämmön tuntitehoa. Sopimusteho tai tilausteho voidaan myös ilmoittaa tilausvesivirtana.

Kuluttajien kiinteillä maksuilla lämmön myyjä kattaa oman toimintansa aiheuttamia kiinteitä kustannuksia. Energiamaksut kattavat toiminnan muuttuvat kustannukset ja ovat sidoksissa kuluttajan käyttämään energiamäärään. Kuvassa 7.10 esitetään kuluttajan kaukolämpölaskun muodostuminen, joka Suomessa painottuu keskimäärin enemmän energiamaksuun. (Nuorkivi 2009)

### Kerrostalon kaukolämmön hinnan muodostuminen

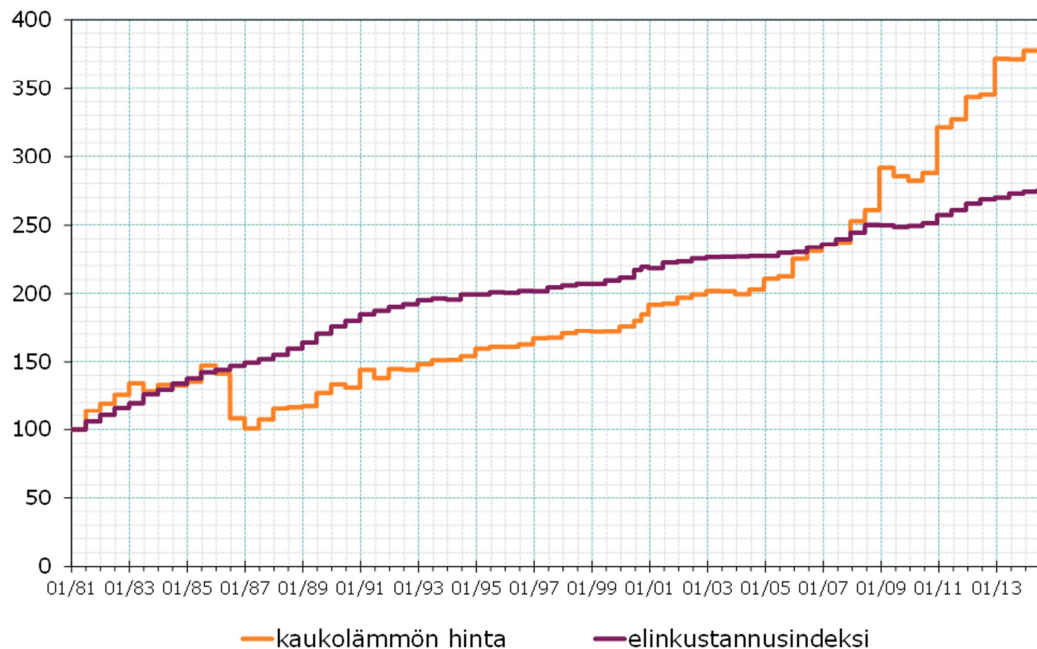


### Omakotitalon kaukolämmön hinnan muodostuminen



**Kuva 7.10:** Kuluttajan kaukolämpölaskun hinnan muodostuminen. (Kaukolämmön hinta pähkinänkuoressa)

Kaukolämmön hinnoittelussa tulee ottaa huomioon kilpailulainsäädäntö, jolloin tariffien tulisi pääosin vastata lämmön myyjän kustannusrakennetta. Kilpailulain mukaisesti samankaltaisia asiakkaita on kohdeltava yhdenmukaisesti. Energia-ala seuraa ja valvoo lämmön myyjien hinnoittelua ja julkaisee vuosittain tilasto- ja seurantatietoja eri toimijoiden toiminnasta. Kaukolämmön hinnoitteluun liittyvät kuluttajien reklamaatiot ja selvityspyynnot ovat lisääntyneet. (Oksanen 2014) Kuvassa 7.11 esitetään kaukolämmön keskihinnan kehitys vuosina 1981–2013.



**Kuva 7.11:** Kaukolämmön keskihinnankehitys vuodesta 1981. (Kaukolämmön hinnan kehitys 2014)

Kaukolämmön keskihinta on noussut muita elinkustannuksia merkittävästi enemmän vuoden 2007 jälkeen. Kaukolämmön keskihintaa on nostanut muun muassa polttoaineiden hinnannousu ja verotus. Vuonna 2014 polttoaineiden valmisteveron ja arvonlisäveron osuus kaukolämmön keskihinnasta oli 28,8 %. Vuonna 2013 kaukolämmön keskihinta Suomessa nousi 7,2 % edellisvuodesta. (Energiavuosi 2013, 2014)

Energiatuotteiden myyntitariffeissa on huomioitava useita kustannus- ja kilpailutekijöitä (Nuorkivi 2009):

- Lainsäädäntö ja alan yleiset toimintatavat.
- Kilpailukyky muihin energiamuotoihin ja alan toisiin toimijoiden nähden.
- Mahdollisimman hyvä kustannusvastaavuus.
- Energiayhtiön liiketoiminnan kannattavuus: omistajien tuotto-odotukset, tulevat investoinnit ja niiden rahoitus.
- Tariffien selkeys ja tasapuolisuus: eri asiakasryhmien tasapuolinen kohtelu ja myyntihinnan muodostumisen periaatteet.
- Energian tehokkaaseen käyttöön, säästöön ja tuotantoon liittyvät näkökohdat.
- Energiaverotus ja päästökauppa.

Pääomavaltaisen kaukolämpöliiketoiminnan kannalta merkittävä osuus syntyvistä kustannuksista on kiinteäluontoista, joiden kertyminen ei ole sidoksissa tuotettuun tai myytyyn energiamäärään. Käytännössä energiankulutus voi vaihdella vuosittain jopa useita kymmeniä prosentteja, jolloin kiinteiden kustannusten kattaminen voi vaikeutua myynnin vähentyessä.

Kuluttajan kaukolämpölaskun muuttuvan osan eli energiamaksun nykyistä voimakkaampi painottaminen johtaisi todennäköisesti talviajan energiahintojen nousuun ja laskutusrytmin nopeuttamiseen, kun kulutusmaksuilla joudutaan kattamaan toiminnan kiinteitä kuluja. Asiakkaiden kannalta puhdas energiahinnoittelu ja nopeutuva laskutusrytmi nostaisivat talvikuukausien energialaskujen suuruutta ja mahdollisesti lisäisivät asiakkaiden maksuvaikeuksia. Tulevaisuudessa lämpöpumppujen ja muiden vaihtoehtoisten tai olemassa olevaa lämmitysmuotoa tai sen käyttöä täydentävien energiaratkaisujen yleistyminen tulee edelleen lisäämään kaukolämmön kulutukseen liittyvää epävarmuutta. (Nuorkivi 2009)

Lähtökohtaisesti kaukolämmön myyjien hinnoittelujärjestelmät perustuvat kaiken kuluttajan tarvitseman lämmitysenergian toimittamiseen. Kuluttajista, jotka tuottavat osan tarvitsemastaan lämmöstä muulla kuin kaukolämmöllä, jää kaukolämmön myyjälle täydentävän lämpöenergian toimitusvastuu. Rinnakkaisen lämmitysjärjestelmän ollessa rakennuksen ensisijainen lämmitysmuoto, kaukolämmön energiamäärä vähenee suhteellisesti enemmän kuin tehontarve. Kaukolämmön myyjän energiantoimitus vähenee painottuen huippukuormituskaudelle, jolloin energian tuottaminen huippukapasiteetilla on todennäköisintä. (Nuorkivi 2009; Kauppila 2014)

Hybridilämmityksen yleistyessä lämmön myyjien kaukolämpötehon pysyvyysskäyrä tulee pitkällä aikavälillä muuttumaan siten, että huipputehon osuus korostuu. Energiantuottajan kannalta asialla on vaikutusta sekä tuotantokapasiteetin rakenteeseen

että toiminnan kulujen kattamiseen. Pitkällä aikavälillä muutos heijastuu kaukolämmön hinnoittelujärjestelmään. Eräs keino kaukolämpöhinnoittelun kustannusvastaavuuden parantamiseksi, muillekin kuin hybridilämmittäjille, on niin sanottu kausihinnoittelu, jossa kaukolämpö on kesällä keskihintaa halvempaa ja talvella kalliimpaa. (Nuorkivi 2009)

## 8 KAUKOLÄMPÖLIIKETOIMINNAN MUUTTU- VAT TOIMINTAOLOSUHTEET

Energiayhtiöiden ja kaukolämpöalan liiketoimintaympäristö on jatkuvassa dynaamisessa ja vaikeasti ennakoitavassa muutostilassa. Poliittisilla ohjauskeinoilla kuten EU:n ilmastopolitiikalla, kilpailulainsäädännöllä ja energiaverotuksella on ollut ja on tulevaisuudessa suuri vaikutus suomalaisten energiayhtiöiden liiketoimintaympäristöön. Kuvassa 8.1 esitetään eräitä keskeisiä energiasektorin muutostekijöitä.



**Kuva 8.1:** Kaukolämpöön vaikuttavia sisäisiä ja ulkoisia muutostekijöitä. (Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä 2011 s. 11)

Nykyisen kehityksen valossa voidaan arvioida, että tulevaisuudessa ilmastopolitiikan painoarvo on edelleen suurin energiasektoriin vaikuttava globaali ja paikallinen epävarmuustekijä. Fiskaalisten vaikutusten lisäksi myös muut ilmaston muutokseen liittyvät tekijät tulisi ottaa huomioon.

## 8.1 Energian kulutusmuutokset

### 8.1.1 Ilmastonmuutos

Mahdollinen ilmaston lämpiäminen vähentää Suomessa kiinteistöjen lämmitysenergian tarvetta ja näin myös energian kulutusta. Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (IPCC) ja Ilmatieteenlaitos ovat arvioinneissaan todenneet, että ilmastonmuutoksen seurauksena lämmitystarve vähenee Suomessa vuodesta 2007 noin 12 % vuoteen 2030 mennessä. (Jylhä et al. 2011; Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä 2011, s. 48)

### 8.1.2 Energiatehokkuus ja rakentamismääräykset

Joulukuussa 2012 voimaan tulleella energiatehokkuusdirektiivillä (2012/27/EU) pyritään vuoteen 2020 mennessä vähentämään viidennes EU:n kokonaisenergiankulutuksesta ja sillä edistetään EU:n energia- ja ilmastostrategian tavoitteiden täyttymistä. Energiatehokkuusdirektiiviin sisältyy energiatehokkuusvelvoitejärjestelmä, jolla varmistetaan, että energian jakelijat ja/tai energian vähittäismyöntiyritykset saavuttavat vuoden 2020 loppuun mennessä kumulatiivisen energianloppukäytönsäästötavoitteen, joka vastaa 1,5 % vuotuista energian säästöä. (Energiatehokkuusdirektiivin toimeenpano 2014)

Energiatehokkuusdirektiivin mahdollisia säästötoimenpiteitä on listattu Suomen kolmannessa kansallisessa energiatehokkuuden toimintasuunnitelmassa. Energiatehokkuuden kokonaistavoite vuodelle 2020 on noin 44 TWh, joista rakennuksiin 21 TWh, teollisuuteen 11 TWh. Lämpöpumppujen arvellaan tuovan noin 7,7 TWh energiansäästön ja ne ovat elinkeinoelämän energiatehokkuussopimuksien ohella suurin energiatehokkuustoimenpide. (NEEAP-3 2014)

Rakentamisen energiatehokkuusdirektiivissä (2010/31/EU) on määritelty, että vuoden 2018 jälkeen käyttöön otettujen rakennusten, jotka ovat viranomaisten käytössä ja omistuksessa, on oltava lähes nollaenergiarakennuksia ja vuoden 2020 loppuun mennessä kaikkien uusien rakennuksien on oltava lähes nollaenergiarakennuksia. Rakennusten energiatehokkuus on parantunut jatkuvasti uudis- ja korjausrakentamisen myötä ja rakennuskannan ominaislämmönkulutus pienenee noin yhden prosentin vuosivauhdilla (Klobut et al. 2009). (Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä 2011, s. 16)

## 8.2 Ilmastonpäästöjen vähentäminen

### 8.2.1 Päästökauppa

Päästökauppadirektiivin (2003/87/EU) tarkoituksena on vähentää kasvihuonekaasuja siellä, missä se on kustannustehokkainta. Päästökauppajärjestelmä käynnistyi EU:ssa vuonna 2005 ja siinä käydään kauppaa kasvihuonekaasujen päästöoikeuksilla. Yksi päästöoikeus vastaa yhtä hiilidioksiditonnia. (Työ- ja elinkeinoministeriö, päästökauppa)

Vuonna 2013 noin 80 % kaukolämmön päästöoikeuksista jaettiin ilmaiseksi, mutta määrää tulee laskemaan 30 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Sähkön tuotannolle ei myönnetä ilmaisia päästöoikeuksia lainkaan vuoden 2013 alusta. Pöyry ennakoii selvityksessään päästöoikeuksien hinnan nousevan nykyisestä noin 6 €/t<sub>CO2</sub>:sta (European Energy Exchange, 2014) 20€/ t<sub>CO2</sub>:iin vuoteen 2020 mennessä. Päästökauppa tulee ohjaamaan kaukolämmöntuotantoa enemmän alhaisten päästöjen ja uusiutuvien polttoainneiden suuntaan. (Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä 2011, s. 13;22)

### 8.2.2 IE-direktiivi

Vuoden 2011 alussa Eurooppaan tuli voimaan direktiivi teollisuuden päästöistä (2010/75/EU), jolla pyritään vähentämään erityisesti teollisuuden typpi- ja hiukkaspäästöjä. Uudet päästöraajat astuvat voimaan olemassa oleville energiantuotantolaitoksille vuoden 2016 alusta. Sovellettavat päästöraajat määräytyvät parhaan käytössä olevan tekniikan perusteella eli niin sanotulla BAT-periaatteella (BAT, Best Available Technology).

Direktiivi lisää energiayhtiöiden investointitarpeita muun muassa typen, rikin ja hiukkasten poistoon ja vaikuttaa eri primäärienergiamuotojen kilpailuasetelmaan energiantuotannossa. Direktiivi lisää hiiltä, turvetta ja maakaasua käyttävien energiayhtiöiden kustannuksia ja toisaalta parantaa uusiutuvien ja muiden päästöttömien energiamuotojen kilpailukykyä. Pienten ja keskisuurten kaukolämpölaitosten kohdalla sovelletaan siirtymäaikaa, mutta se ei poista investointitarpeita ellei laitosta suljeta siirtymäajan umpeuduttua. Investoinnit nostavat energiantuotannon kustannuksia ja näin ollen heijastuvat asiakkaiden energiahintoihin. (Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä 2011)

## 8.3 Kahdensuuntainen lämpökauppa

Kahden suuntaisessa lämpökaupassa kaukolämpöverkkoon liittyvä kuluttaja tai muu toimija tuottaa lämpöä energiayhtiön hallinnoimaan kaukolämpöverkkoon. Tyypillisesti energiayhtiöt ostavat lämpöä prosessiteollisuudelta niin sanottuna ylijäämä- tai sekundäärilämpönä.

Poiketen sähköverkkoliiketoiminnasta kaukolämpöverkkoja ei ole avattu kilpailulle siten, että kuka tahansa toimija voisi syöttää tuottamaansa lämpöä yksittäiseen lämpöverkkoon. Kaukolämpöverkon omistajaa ja lämmönjakelusta vastaavaa tahoja ei ole veloitettu ottamaan lämpöä vastaan.

Kaukolämpöverkkojen avaaminen kilpailulle on ollut ajoittain esillä energia-alaa valvovien viranomaisten sekä muiden energia-alan sidosryhmien toimesta ja usein esimerkkinä käytetään Tukholmaa, jossa Fortum on avannut kaukolämpöverkon kilpailulle. (Lämpöinfo 2013) Esimerkkejä löytyy myös pääkaupunkisedulta, jossa Helsingin, Vantaan ja Espoon kaukolämpöverkkojen välillä käydään kaukolämpökauppaa. Kahdensuuntainen lämpökauppa voi parhaimmillaan hyödyttää kaupan molempia osapuolia:

- Energiayhtiö voi korvata omaa kalliimpaa lämmöntuotantoa ostamalla lämpöä.

- Ostolämpö voi korvata omaa huippu- ja varakapasiteettituotantoa.
- Energiayhtiö voi välttää tai siirtää oman tuotantokapasiteetin rakentamista.
- Energiayhtiön jakeluverkon laajennus- tai vahvistamistarpeet siirtyvät.
- Lämmön myyjällä on mahdollisuus lisätuloihin.
- Lämmön myyjän oman kapasiteetin käyttöaste ja mahdollisesti hyötysuhde nousevat.

Muiden kaukolämpöverkon kuluttajien kannalta asialla ei ole lyhyellä aikajänteellä suurta merkitystä, mutta pidemmällä aikavälillä merkittävät ostolämmön määrät voivat vähentää energiayhtiön investointitarpeita kaukolämpöverkkoon tai omaan energian tuotantoon ja heijastuvat siten kaukolämmön hintaan. (Pesola et al. 2011)

Lämmön ostomahdollisuuksia heikentää kulutuksen vuoden- ja vuorokaudenaikojen välinen vaihtelu. Kesäaikaan energiayhtiöllä ei välttämättä ole tarvetta lämmönostoon, jolloin verkkoon syötetty lämpö voi vaikeuttaa energiayhtiön peruskuormalaitosten käyttöä tai lisälämmöllä on muu kaukolämpöjärjestelmän käyttöön liittyvä negatiivinen vaikutus kuten kaukolämpöveden paluulämpötilan nousu. (Nuorkivi 2009)

#### **8.4 Älykäs kaukolämpö ja lämmön varastointi**

Ohjaus- ja automaatio- sekä tiedonsiirtoteknologian nopea kehitys ja teknologian halventuneet hinnat ovat johtaneet siihen, että myös kaukolämpöjärjestelmän eri osaluokkien (tuotantolaitokset, verkosto, varastot ja siirtimet, käytönvalvontajärjestelmä) prosesseja voidaan automatisoida ja ohjata yhä edullisemmin ja tehokkaammin. Kaukolämpöjärjestelmän älykkyyttä voidaan lisätä muun muassa energian kulutuksen etämittausten tai paikallisen pientuotannon avulla tai niin kutsuttujen energiavaihdosten avulla, jossa lämmön tuotannon primäärienergiälähde vaihdetaan markkinoilta saatavan hintasignaalin perusteella. Älykkyyttä lisäämällä voidaan muun muassa:

- sovittaa eri tuotantomuodot tukemaan toisiaan,
- varastoida lämpöenergiaa tasaamaan kulutusvaihteluita,
- ohjata ja optimoida kulutusta tarkentuneen mittauksen yhteydessä ja
- ohjata kulutusta kaukolämpötuotteilla sekä hinnoittelumalleilla.

Lämpöpumput ja lämpövarastot voivat olla osa älykästä kaukolämpöjärjestelmää, jossa minimoidaan energian tuotannon ympäristövaikutuksia ja kustannuksia. Riippuen sähkön lyhyen ja pitkän aikavälin hinnasta ja hintavaihteluista lämpöpumpuille voi muodostua uusia käyttötapoja osana energiayhtiöiden energialiiketoimintoja.

Kaukolämmön jakeluverkossa käytettävän suuren vesimäärän vuoksi jakeluverkko toimii lyhytaikaisena lämpövarastona. Pidempiaikaista lämmönvarastointia voidaan tehostaa erillisillä lämpövaraajilla. Lämpövaraajilla tasoitetaan tunti- tai vuorokausitason kulutushuippuja ja ne toimivat myös puskurina laitevioille sekä apuna kalliimpien tuotantokustannusten käytön minimoinnissa. Lämpöä tulisi varastoida silloin, kun sen tuotantokustannukset ovat kaikkein edullisimmat ja vastaavasti kalliiden tuotanto-



kustannusten aikaan lämpöä puretaan varastosta. Tällöin lämmönvaraajan kannattavuus muodostuu varastoidun ja puretun lämmön hintaerotuksella.

Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa syntyy tilanteita, jolloin markkinasähkön hinnan ollessa korkea kannattaa sähkö tuottaa, vaikka lämmölle ei olisi kysyntää. Ylimääräinen lämpö on kannattavaa tällöin varastoida. Vastaavanlaisesti, uusiutuvien energialähteiden kuten tuulivoiman lisääntyessä saattaa syntyä tilanteita, jolloin sähkön hinta on hyvin alhainen. Tällöin saattaisi olla kannattavaa varastoida energiaa lataamalla lämpövaraajia sähkövastuksilla tai lämpöpumpuilla.

Lämpövaraajaa voidaan ladata kaukolämmön meno- tai paluupuolelta. Paluupuolelta ladattaessa lämpötilataso jää menopuolta alhaisemmaksi ja lämpövaraajia purettaessa lämpötilan nostotarve korostuu. Lämpövaraajan käyttöä voidaan optimoida lämpöpumpuilla, joiden avulla lämpövaraston lämpötilaa voidaan nostaa verkoston vaatimalle tasolle. (Pesola et al. 2011)

## 8.5 Kaukolämpömarkkinoiden sääntely

Kaukolämpöverkon paikallisuuden vuoksi kaukolämpöyhtiölle tulee kaukolämmön tuotannon ja jakelun luonnollinen monopoliasema, minkä vuoksi liiketoimintaa säädellään ja valvotaan kilpailuviranomaisen toimesta. Määrävässä markkina-asetuksessa oleva kaukolämpötoimija ei saa estää asiakkaita hyödyntämästä vaihtoehtoisia lämmitysmuotoja ja lämmön hinnoittelussa samankaltaisia asiakkaita pitää kohdella ja hinnoitella yhdenvertaisesti. Huolimatta kaukolämmön hyvästä kilpailuasemasta kaupunkien ja taajamien lämmitysratkaisuna, lämmitysmarkkinat toimivat kuitenkin markkinaehtoisesti ja kuluttajalla on viimekädessä vapaus valita lämmitysmuotonsa. (Kaukolämpöalan strategia 2013)

Maankäyttö- ja rakennuslaissa on säädetty, että kunta voi velvoittaa uudisrakennuksen liittymään asemakaavassa kaukolämpöön. Kunnat ovat kuitenkin harvoin lisänneet velvoitetta asemakaavaan. (Kansallinen energia- ja ilmastostrategia 2013)

Kilpailuviraston selvityksessä vuodelta 2011 todetaan, että kaukolämpösektorin tuottotaso on korkeahko verrattuna muihin toimialoihin. Kilpailuviraston selvityksen ja uuden maankäyttölain perusteella voidaan arvioida, että tulevaisuudessa kaukolämpöyhtiöiden toimintaa tullaan sääntelemään nykyistä enemmän. (Ahonen 2011)

## 8.6 Kilpailun lisääntyminen lämmitysmarkkinoilla

Lämmitysmuotojen välinen kilpailu on lisääntynyt ja kaukolämpö on viime vuosina menettänyt kilpailukykyään sekä kiinnostavuuttaan muun muassa lämpöpumppuratkaisujen yleistyessä. Eräissä kaupungeissa on yksittäisiä esimerkkejä, joissa kaukolämpöasiakas on irtaantunut kaukolämpöverkosta tai kaukolämpöverkon läheisyydessä uuden kohteen lämmitysratkaisuksi on valittu maalämpöpumppu.

Vaihtoehtoisia lämmitysratkaisuja valinneet kohteet ovat saaneet näkyvää julkisuutta. Kaukolämmön nouseva hinta on lisännyt uusien lämmitysratkaisujen kiinnosta-

vuotta olemassa olevien ja uusien kaukolämpöasiakkaiden keskuudessa. Monia näistä hybridilämmitysjärjestelmistä halutaan kuitenkin tarpeen tullessa täydentää kaukolämmöllä. (Kaukolämpöalan strategia 2013; Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä 2011 s.11)

## 8.7 Kaukojäähdytys

Rakennusten parantunut lämmöneristys, asuntojen varustelutason muutokset ja hellejaksojen yleistyminen ovat lisänneet jäähdytyksen kysyntää. Rakennuksia voidaan jäähdyttää rakennuskohtaisilla jäähdytyslaitteilla tai keskitetyllä kaukojäähdytyksellä. Kaukojäähdytyksessä keskitettyjen tuotantolaitosten jäähdytetty vesi virtaa jakeluputkistossa rakennuksien ilmastoinnin jäähdytykseen. Toimintaperiaate on verrattavissa kaukolämpöön, sillä erolla, että asiakkaan ylimääräinen lämpö siirtyy kaukojäähdytysveteen. Kaukojäähdytysveden lämpötila menoputkessa on noin 8 °C ja paluuputkessa 8–10 °C korkeampi. Kaukojäähdytyksessä suositellaan käytettävän epäsuoraa kytkentää, jossa kaukojäähdytysputkisto muodostaa oman piirin ja se on erotettu rakennuksen jäähdytysjärjestelmästä lämmönsiirtimellä. (Koskelainen et al. 2006)

Kaukojäähdytys on melko uusi tuote energiayhtiöllä ja sen toimitus aloitettiin Helsingissä vuonna 1998 ja Tampereella vuonna 2012. (Kaukojäähdytys 2014) Ilmatieteen laitoksen raportissa vuodelta 2011 on tutkittu ilmastonmuutoksen vaikutuksia rakennusten energiankulutukseen ja siinä on todettu, että vuoteen 2030 mennessä pientalojen jäähdytystarve kasvaa noin 14 % ja toimistotalojen 18 %. (Jylhä et al. 2011).

## 9 LÄMPÖPUMPPUJÄRJESTELMIEN VAIKUTUS ENERGIAYHTIÖN LIIKETOIMINTAAN

Energiayhtiöiden liiketoiminta-alueita ovat sähkön ja lämmön myynti, jakelu ja energian hankinta. Lämpöpumput vaikuttavat joko suoraan tai välillisesti kaikkiin energiayhtiön liiketoiminta-alueisiin. Kaukolämmityksen yhteydessä lämpöpumppujen merkitys korostuu ja siksi tässä työssä kaukolämpöverkon hybridilämmitysjärjestelmille annetaan erityinen painoarvo.

### 9.1 Lämpöpumpun ja kaukolämmön kytkentä lämmitysjärjestelmään asuinkiinteistössä

Kytkenällä tarkoitetaan tapaa, jolla yksi tai useampi lämmöntuotantotapa liittyvät lämmönjakojärjestelmään teknisesti ja toiminnallisesti. Lämpöpumpun ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän lähtökohtana voidaan pitää kytkentää, jossa molemmat lämmitysmuodot toimivat parhaalla mahdollisella tavalla. Käytännössä lämpöpumppu-toimittajan ja kaukolämpöyhtiön kytkennät voivat johtaa toisen lämmitysmuodon kannalta epäedulliseen lopputulokseen. Lämpöpumpun ja kaukolämmön kytkentätapoja on useita ja siinä tulisi ottaa huomioon (Boss 2012):

- kaukolämmön jäähtymä
- lämpöpumpun hyötysuhde
- rakennuksen lämmöntarve ja kulutusvaihtelu
- lämminvesivaraajan tilavuus ja sen riittävyys
- riittävä lämpötila (yli 55 °C) bakteerikasvun estämiseksi
- lämpimän käyttövedentarve
- sähkön ja kaukolämmön hinta
- järjestelmän säädettävyys ja
- kustannukset.

Lämpöpumppujen yhteydessä asennetaan usein uutta varaajakapasiteettia, jolla tasataan lämmönkysynnän hetkellisiä kulutuspiikkejä ja lämpöpumpun kompressorin käyntiä. Tämän diplomityön esimerkkikohteessa (liite 7, kuva L7.6) esitetään PILP:n ja varaajien kytkentä kaukolämpöverkkoon.

Lämpöpumpun mitoituslämpötilataso voi vaikuttaa käytettävään kytkentään. Edullisin tilanne on se, jossa sekä kaukolämpö että lämpöpumppujärjestelmä siirtävät lämpöä mahdollisimman alhaiseen lämpötilaan. Energiategollisuus ry:n suosittelema ja yleisesti käytetty kytkentäesimerkki esitetään liitteen 4 kuvassa L4.1 lämmitykseen ja

kuvassa L4.2 lämpimän käyttöveden valmistukseen. Energiateollisuuden esittämää kytkentää on kritisoitu lämpöpumpputoimittajien taholta, koska lämmin käyttövesi esilämmitetään kaukolämmönvaihtimella, joka voi heikentää lämpöpumpun hyötysuhdetta käyttöveden lämmityksessä (Pylsy 2014). Voidaan perustellusti arvioida, että hybridi-ratkaisujen edelleen yleistyessä erilaisten vaihtoehtoisten kytkentätapojen vaikutuksia tullaan alan toimijoiden kesken vakioimaan ja ohjeistamaan. (Boss 2012)

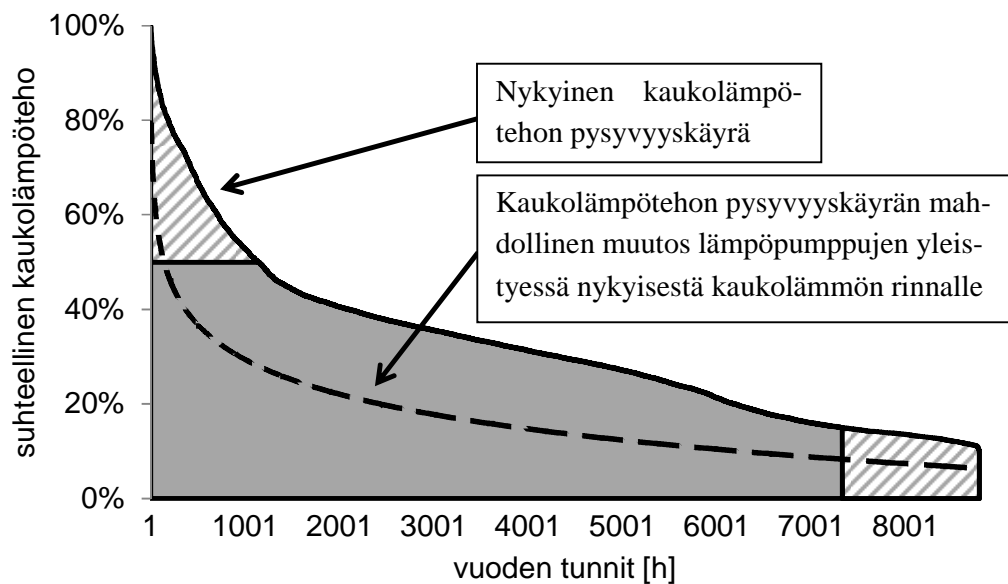
Hybridilämmitysjärjestelmän kytkennällä voidaan vaikuttaa suhteeseen, jolla lämpöpumpun lämpö jaetaan lämpimän käyttöveden ja lämmityksen kesken. Lämpimän käyttöveden nopeiden kulutusvaihteluiden ja tarvittavan korkeamman lämpötilan vuoksi käyttöveden lämmityksessä kaukolämmön käyttö on usein perusteltua. Kaukolämpöjärjestelmän teknisen mitoituksen kannalta pelkkä käyttöveden lämmitys johtaa toisaalta olemassa olevan kaukolämpöjärjestelmän vajaakäyttöön. (Pyykkö 2014)

## **9.2 Lämpöpumppujen yleistymisen aiheuttama kaukolämmön tuotantorakenteen muutos**

Osatehoisella lämpöpumpulla voidaan kattaa merkittävä osa rakennuksen energiankulutuksesta. Osatehoisen lämpöpumpun yhteydessä huippukuormituskaudella täydentävän lämmitysenergian hankinta joudutaan järjestämään toisella ratkaisulla kuten kaukolämmöllä tai sähköllä.

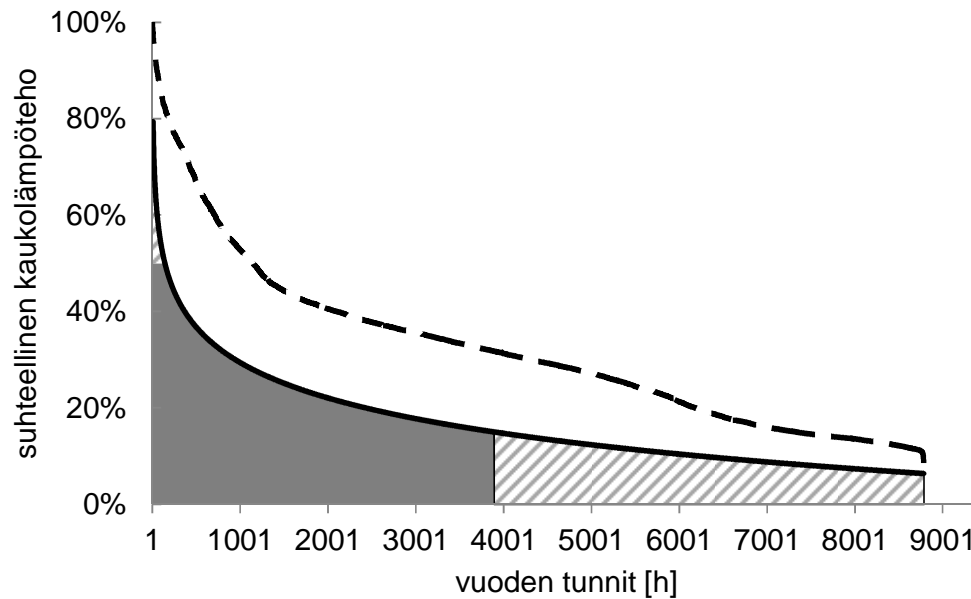
Kuvassa 9.1 esitetään periaatteellinen kuva kaukolämpökuluttajien osatehoisten rinnakkaisten lämpöpumppulämmitysjärjestelmien, tai niin sanottujen hybridilämmitysjärjestelmien, vaikutuksesta kaukolämpöverkon tehon pysyvyyssäyrään. Voidaan arvioida, että hybridilämmittäjien kaukolämpöenergian kulutus vähenee tehontarvetta nopeammin. Kaukolämmön myyjän kannalta vuotuisen energiamäärän ja varakapasiteetin ylläpitovelvoite johtaa pitkällä aikavälillä tilanteeseen, jossa kaukolämmön hinnoittelujärjestelmän kustannusvastaavuus katoaa.

Pitkällä aikavälillä kaukolämmön pysyvyyssäyrän muutos nykyisestä on mahdollinen, jos merkittävä osa nykyisistä kaukolämpöasiakkaista siirtyy hybridilämmitykseen. Lämpiminä ajanjaksoina kaukolämmön kulutus kohdistuu pääosin lämpimän käyttöveden valmistukseen. Energiayhtiöiden kaukolämpöliiketoiminnan kannalta liiketoimintaympäristön muutos on tältä osin merkittävä.



**Kuva 9.1:** Lämpöpumppu-kaukolämpöhybridilämmityksen yleistymisen periaatteelliset vaikutukset kaukolämpötehon pysyvyyskäyrään.

Pitkällä aikavälillä kaukolämpötehon pysyvyyskäyrän muutoksella on vaikutusta lämmön hankinnan tuotantorakenteeseen ja siten myös energiayhtiön kustannuksiin. Kaukolämmön kulutusmuutoksen vaikutus tulisi heijastumaan erityisesti pitkän vuotuisen käyttöajan peruskuormalaitoksiin, jolloin perusteholaitoksen energiantuotanto laskee ja huipputehotuotannon osuus kasvaa. Kuvassa 9.2 on hybridilämmityksen yleistymisen aiheuttama periaatteellinen muutos kaukolämmön pysyvyyskäyrään.



**Kuva 9.2:** Kaukolämpötehon pysyvyyskäyrän periaatteellisen muutoksen vaikutukset nykyiseen tuotantorakenteeseen.

Pitkällä aikavälillä hybridilämmityksen yleistymisellä voisi olla seuraavia vaikutuksia:

- Perustehoa tuottavan laitoksen huippukäyttöaika laskee merkittävästi
- Perustehon huippukäyttöajan laskusta johtuen energiantuotannon yksikkökustannukset nousevat
- Perinteisen käytännön mukaan yli 50 % huipputeholla mitoitettun peruskuormalaitoksen minimiteho rajoittaa peruskuormalaitoksen käyttöä
- Perustehoa korvaavan kapasiteetin käyttö kasvaa ja edullisimman primäärienergian käyttö korvataan maakaasulla tai öljyllä, jolloin energian tuotannon yksikkökustannus nousee

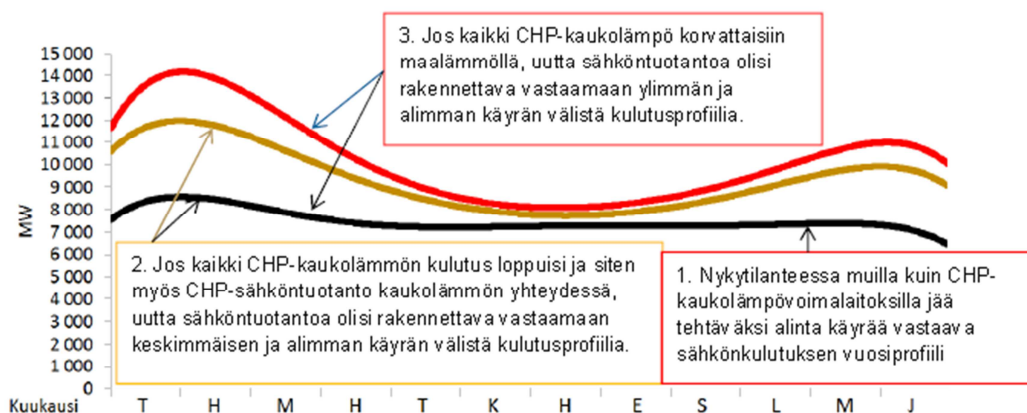
Muutoksella on kaksitahoiset vaikutukset: uusien peruskuormalaitosten mitoituskriteerit tulevat muuttumaan sekä kapasiteetin että minimiteho-ominaisuuksien osalta, vara- ja huippukapasiteetin käytön kasvu johtaa öljyä ja maakaasua korvaavien joustavien ja kilpailukykyisempien tuotantomuotojen, kuten pellettilämmön yleistymiseen kaukolämmön tuotannossa.

Muutos heijastuu myös kaukolämpöverkon mitoitukseen. Olemassa olevan kaukolämmön jakeluverkoston tehokkuus heikkenee, koska kaukolämmön myynnin lasku johtometriä kohden nostaa kaukolämmön jakeluverkoston kiinteiden kustannuksien osuutta. Toisaalta vähentynyt energiankulutus mahdollistaa kaukolämmön lisämyynnin ilman merkittäviä kapasiteettimuutoksia. Tulevaisuudessa uusien verkko-osien mitoituksessa tulee ottaa huomioon kaukolämmön kulutusmuutokset.

### 9.3 Maalämpöpumppujen vaikutus sähkön ja lämmön yhteistuotantoon

Sähkön ja lämmön yhteistuotannon kannalta kaukolämmön korvaaminen lämpöpumpuilla vähentää kaukolämmön tuotannon yhteydessä tuotettavan sähkön määrää ja lisää vastaavasti muulla tavoin tuotetun sähkön kulutusta. Energiayhtiön kannalta oman kaukolämmön kulutuksen ja sähkön tuotannon väheneminen pienentää sähkönmyynti- ja kaukolämpöliiketoiminnan volyymia, mutta samalla lisää sähkön siirtoliiketoiminnan volyymia.

Valtakunnallisesti kyse on merkittävästä asiasta, jos suurten kaupunkien kaukolämpökuorma vähenee lämpöpumppuinvestointien yleistyessä. Toisaalta lämpöpumppujen yleistyminen on energiatehokkuustoimenpide, joka vähentää absoluuttisesti energian kulutusta. Kuvassa 9.3 esitetään periaatetasolla lämpöpumppujen mahdollinen vaikutus yhteistuotannolla tuotettuun sähköön lämmön kulutuksen pienentyessä. (Rinne & Syri 2013)



**Kuva 9.3:** CHP:n ja lämpöpumppujen teoreettinen vaikutus Suomen sähkön tuotantoon. (Rinne & Syri 2013)

Lämmityksensä yhteistuotannolla tuotetusta kaukolämmöstä maalämpöpumpuihin vaihtavat rakennukset kasvattavat kylmien ajanjaksojen sähkötehontarvetta samalla, kun yhteistuotannolla tuotetun sähkön määrä vähenee. Yhteistuotannolla tuotetun lämmönkulutuksen laskiessa joudutaan saman sähkömäärän tuottamiseksi käyttämään lisäjähdytystä, jolloin yhteistuotannossa saatavien hyötyjen merkitys laskee. Sähkön tarpeen lisäys on käytännössä tuotettava huonommalla hyötysuhteella toimivilla konventionaalisilla voimalaitoksilla, kuten ydinvoimalla, hiililauhteella tai tuomalla sähköä ulkomailta. (Rinne & Syri 2013; Kaukolämmön asema Suomen energijärjestelmässä 2011)

## 9.4 Lämpöpumppujen vaikutus energiayhtiön sähkön myynti- ja verkkoliiketoimintaan

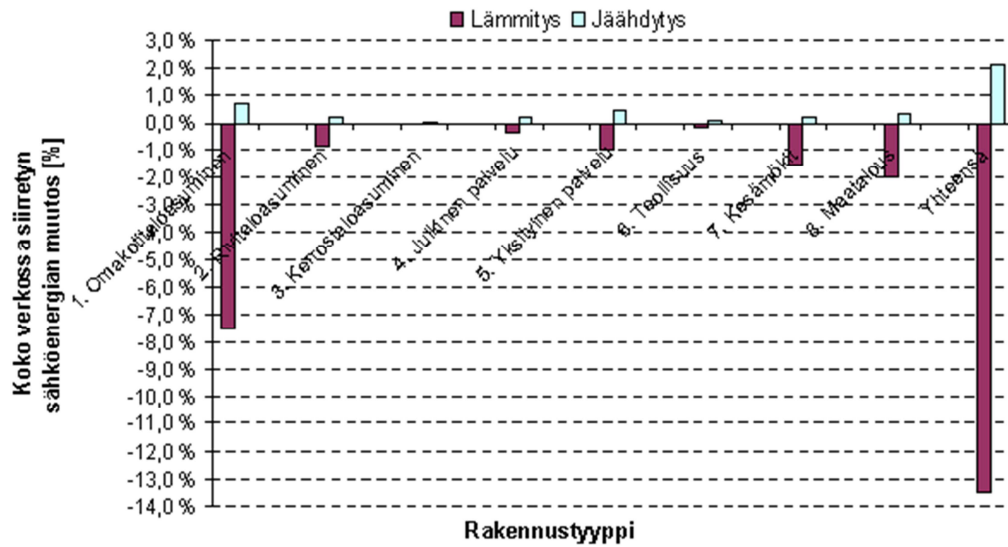
Lämpöpumput vaativat toimiakseen sähköenergiaa, kuten muutkin pitkällä automatisoidut energiantuotantomuodot. Lämpöpumppuratkaisut ovat tyypillisesti muita tuotantomuotoja täydentäviä ratkaisuja. Osatehomitoitetut lämpöpumppuratkaisut tarvitsevat tuekseen lisälämmityksen huippukuormituskausille. Tyypillisesti lisälämpö tuotetaan sähköllä, jolloin lämpöpumppuratkaisu vastaa suoraa sähkölämmitystä. Erityisesti IVLP:n kohdalla kovien pakkasjaksojen aikaan lämmitys vastaa suoraa sähkölämmitystä.

Työ- ja elinkeinoministeriön kansallisessa energia- ja ilmastostrategian taustareportissa (2014) öljylämmityksestä luopuneita arvioidaan olevan vuosittain noin 6000 kappaletta, jolloin öljylämmitys poistuisi markkinoilta vuoteen 2040 mennessä. Vastavasti voidaan arvioida, että öljylämmityksen poistuessa 20 vuoden kuluttua lämmityskapasiteettia olisi lisättävä seuraavasti:

- 350 MW lisää kaukolämpötehoa
- 700 MW lisää sähkötehoa, jos lämpöpumput mitoitetaan täysitehoisiksi
- 1 000 MW lisää sähkötehoa, jos lämpöpumput mitoitetaan puoleen täydestä tehosta
- sähköenergian käyttö ja huippuenergian tarve kasvaisivat huomattavasti etenkin pakkasjaksoina.

Jussi Tuunasan diplomityössä vuodelta 2009 tutkittiin lämpöpumppujen vaikutusta sähköverkkoliiketoimintaan. Työssä huomioitiin lämpöpumppujen määrän sen hetkiset kasvuennusteet Suomessa vuodelle 2020, mikä oli noin miljoona asennettua lämpöpumppua. Lämpöpumppujen kasvuennuste on tämän jälkeen laskenut hiukan. Lämpöpumppujen oletettiin syrjäyttävän pääasiassa suoraa sähkö- ja öljylämmitystä ja mahdollinen jäähdityskäyttö oli huomioitu sähkön käyttöä lisäävänä vaikutuksena. Kuvassa 9.4 on esitetty lämpöpumppujen yleistymisen aiheuttama sähköenergian muutosvaikutus eri rakennustyypeittäin.





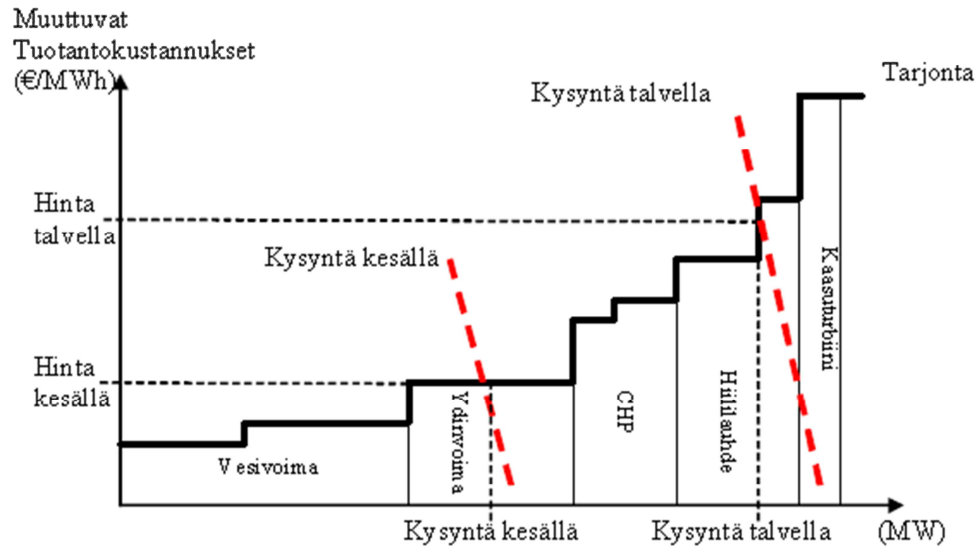
**Kuva 9.4:** Lämpöpumppujen vaikutukset eri rakennustyyppien sähköenergiankulutukseen lämmityksen ja jäähdytyksen kannalta. (Tuunanen 2009, s. 93)

Sähköverkkoesimerkkinä käytettiin Parikkalaa, jonka rakennuskannasta merkittävä osa on öljy- ja sähkölämmitteisiä pientaloja ja kesämökkejä, jotka vaikuttavat positiivisesti lämpöpumppujen asentamiseen. Laskennan perusolettamuksena oli, että lämpöpumppuja olisi alussa noin 7 %:ssa rakennuksista ja lopussa yli puolessa rakennuksista. Lämpöpumput laskevat kokonaissähköenergiaa noin 11 % ja vastaavasti, sähköhinnoittelusta riippuen, verkkoliiketoiminnan lasku olisi noin 5 %. (Tuunanen 2009, s. 117)

Energiayhtiön sähkön myynti- ja verkkoliiketoiminnan kannalta lämpöpumpuilla on kaksijakoinen vaikutus. Kovilla pakkasilla lämpöpumppuratkaisut yleensä lisäävät jossain määrin sähkön myyntiä ja volyyymiä. Lämpöpumppujen käyttö jäähdytyksessä lisää sähkön kulutusta juuri pienen kuorman aikaan ja tuo energiayhtiölle liiketoimintojen kannalta kannattavaa lisämyyntiä.

## 9.5 Lämpöpumppujen vaikutus sähkön hintaan

Yhteisillä pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla sähkön hinta määräytyy sähköpörssissä. Sähkön hinta määräytyy kysyntä- ja tarjontakäyrien kohtauspisteessä periaatekuvan 9.5 mukaisesti, jossa eri tuotantomuodot on esitetty niiden muuttuvien tuotantokustannuksien mukaisessa hintajärjestyksessä. Edullisinta sähköä tuotetaan vesi- ja ydinvoimalla. Tuuli- ja aurinkovoiman marginaalisten muuttuvien tuotantokustannusten johdosta tulevat ne markkinoille aina huolimatta muiden tuotantomuotojen tarjonnasta. Tuuli- ja aurinkovoiman kasvava tuotantokapasiteetti vaikuttaa yhä voimakkaammin markkinoiden hinnanmuodostukseen. Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla sähkön hinta on ollut poikkeuksellisen matala jo useita vuosia ja sähkön hintaa indikoivat johdannaismarkkinat olettavat tilanteen jatkuvan vielä pitkään.



**Kuva 9.5:** Sähköenergian markkinahinnan muodostuminen. (Partanen et al. 2013)

Yhteistuotantolaitosten etuna on, että lämmön ja sähkön kysyntä kasvavat normaalisti samassa suhteessa ulkolämpötilan muuttuessa. Yhteistuotantolaitoksen lämpökuorman vähentyessä, myös niiden tuottaman sähkön tarjonta markkinoilla vähenee. Sähkön kulutuksen kasvaessa sähkön markkinahinta määräytyy niin sanotun sähkön rajahinnan perusteella, jolloin markkinahinta vastaa kulloinkin kalleinta markkinoilla tarvittavaa tuotantomuotoa. Lämmitys- ja teollisuuden vastapainevoimalaitosten tuottaman sähkön rajahinnan jälkeen kasvavaa sähkön kulutusta katetaan konventionaalisella lauhdevoimalla. Sähkön kulutuksen vähentyessä sähkön markkinahinta siirtyy edullisempien tuotantomuotojen suuntaan.

Sähkön kulutuksen vähentyminen sekä aurinko- ja tuulivoiman voimakas kasvu ja tuotantomuutokset ovat johtaneet tilanteeseen, jossa jopa ydinvoimalaitosten käyttöä joudutaan rajoittamaan. Ydinvoimalaitokset reagoivat heikosti muuttuvaan kuormituslanteeseen, joten sähkön kuormitusvaihteluiden kysyntään olisi vastattava säädöltään joustavimmilla tuotantomuodoilla tai sähkön kulutukseen vaikuttamalla.

Tulevaisuudessa lämpöpumppuratkaisujen voimakas yleistyminen tulee vaikuttamaan myös suomalaisten energiayhtiöiden sähkön hankintaan ja sähkökaupan tasehallintaan. Edullisen sähkön hinnan aikaan lämpöpumpuilla tuotettu lämpö on erittäin kilpailukykyistä vaihtoehtoisiin lämmitysmuotoihin verrattuna. Vastaavasti kesällä matalan sähkönkulutuksen aikaan mahdollinen jäädytyskäyttö lisää sähkön kulutusta, mikä puolestaan kompensoi suoran sähkölämmityksen kulutuksen vähentymistä muuna aikana. Lämpöpumpuilla tuotettu lämpö korvaa kaukolämpöä ja vähentää sähkön peruskuormaa ajavan yhteistuotannon volyymia erityisesti huippukuormituskauden ulkopuolella. Sähkön ja lämmön kulutuksen ja tuotannon nopeat volyymi- ja hintavaihtelut heijastuvat suoraan ja välillisesti energiayhtiöiden kaikkiin liiketoimintoihin. (Partanen et al. 2013)

## 9.6 Lämpöpumppujärjestelmien hyödyt, ongelmat, mahdollisuudet ja uhat energiayhtiön näkökulmasta

*Taulukko 9.1: Lämpöpumppujen hyödyt, ongelmat, mahdollisuudet ja uhat kaukolämpöä toimittavan yrityksen näkökulmasta.*

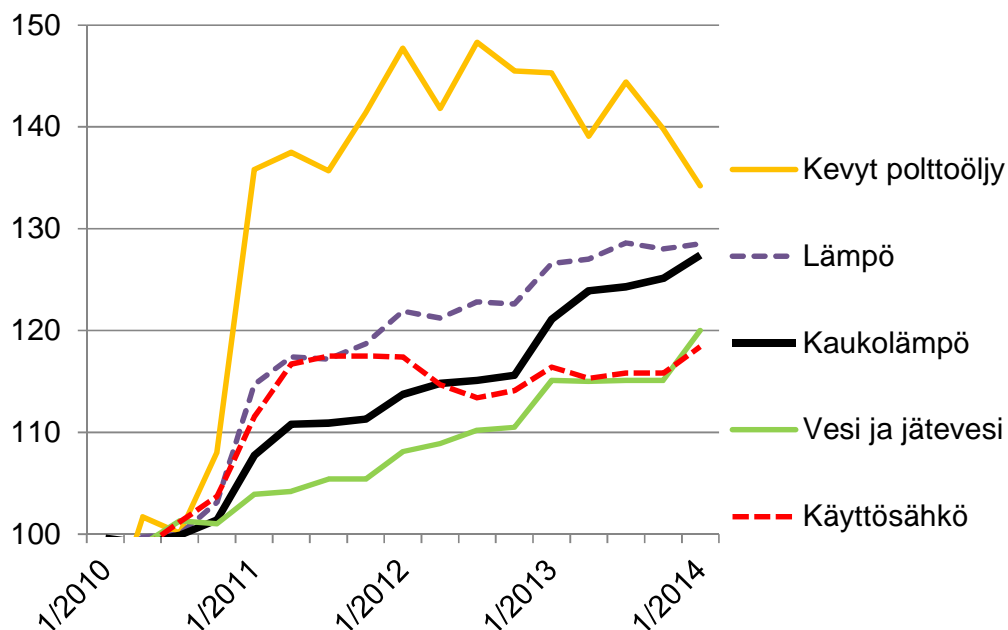
<b>Höydyt</b>	<b>Ongelmat</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maalämpö- ja poistoilmalämpöpumppu vähentävät kaukolämmön tehontarvetta ja vapauttavat kaukolämpökapasiteettia muualle</li> <li>• Kuluttajan rahoittama energiatehokkuustoimi</li> <li>• Voi vähentää investointitarvetta energiantuotannossa ja kaukolämpöverkoissa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaatii kaukolämpölaitteistoa enemmän tilaa rakennuksessa</li> <li>• Voi heikentää kaukolämpöverkon jäähtymää</li> <li>• Vähentää kaukolämmön kokonaisenergianmyyntiä</li> <li>• Ei aina laske tehontarvetta</li> <li>• Voi edellyttää kaukolämmön hinnoittelujärjestelmän muutoksia</li> <li>• Energiayhtiöiden henkilökunnan osamisen päivittäminen</li> </ul>
<b>Mahdollisuudet</b>	<b>Uhkatekijät</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lisää sähkönmyynnin ja verkkoliiketoiminnan volyyymiä</li> <li>• Mahdollisuus tasata sähkö- ja lämmön hinnan vaihteluita ja kulutushuippuja</li> <li>• Kahdensuuntainen lämpökauppa</li> <li>• Lämpöpumppujen yhteydessä asennettua lämmönvaraajaa voitaisiin käyttää kiinteistökohtaisena lämpövarastona ja näin tasata kulutusvaihteluita</li> <li>• Kaukolämmön paluuedellä voitaisiin lämmittää MLP:n lämpökaivoa tai nostaa PILP:n kiertoaineen lämpötilaa huippukuormituskauden ulkopuolella, jolloin kaukolämmön jäähtymä paranee ja lämpöpumpun hyötysuhde kasvaa.</li> <li>• Voi pienentää energian tuotannon ja verkoston investointeja</li> <li>• Lisää energiajärjestelmän joustoa</li> <li>• Uudet tuotteet ja kokonaispalvelut lämpöpumppukohteisiin</li> <li>• Tarjotaan kuluttajille monipuolisempia lämmitysvaihtoehtoja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaukolämpöenergian myynti laskee tuotantokapasiteetin tehontarvetta voimakkaammin</li> <li>• Huonot kytkennät saattavat heikentää jäähtymää ja lisätä energiantuotannon kustannuksia</li> <li>• Liiketoiminnan kannattavuus heikkenee</li> <li>• Muuttaa lämmöntuotantorakenteita, siten että huippu- ja varatehontarve korostuu. Edellyttää energiajärjestelmän parempaa joustavuutta</li> <li>• Edullinen sähkö edistää lämpöpumpuinvestointeja, mikä johtaa epäterveen hintakilpailuun</li> <li>• Kaukolämpöön kohdistuva energia- ja haittaverotus vääristää kaukolämmön kilpailuasemaa suhteessa vaihtoehtoihin lämmitysmuotoihin</li> <li>• Edistää alan ulkopuolisten toimijoiden markkinoille pääsyä</li> </ul>

## 10 LÄMPÖPUMPPURATKAISUJEN VAIKUTUS ENERGIAMARKKINOIDEN MUIHIN SIDOSRYHMIIN

Energiamarkkinoiden sidos- ja interssiryhmiin kuuluvat energiayhtiöiden lisäksi suuri joukko erilaisia toimijoita, joihin lämmitysmarkkinoiden muutokset heijastuvat joko suoraan tai välillisesti. Tarkastelunäkökulmasta riippuen useimmilla sidosryhmillä on toisistaan poikkeavat intressit lämpöpumppuratkaisujen edistämisessä tai rajoittamisessa.

### 10.1 Taloyhtiöt

Tilastokeskuksen julkaisemassa vuoden 2012 kiinteistöjen ylläpidon kustannusindeksin perusteella vuosina 1960–1999 rakennetuissa asuinkerrostaloissa yhtiövastikkeesta yli neljännes kului kiinteistöjen lämmitykseen. Tilastojen perusteella käy ilmi, että kaukolämmön indeksiin sidottu hintakehitys on ollut esimerkiksi sähköä nousujohteisempi, kuten kuvassa 10.1 on esitetty. (SVT, Asunto-osakeyhtiöiden talous)

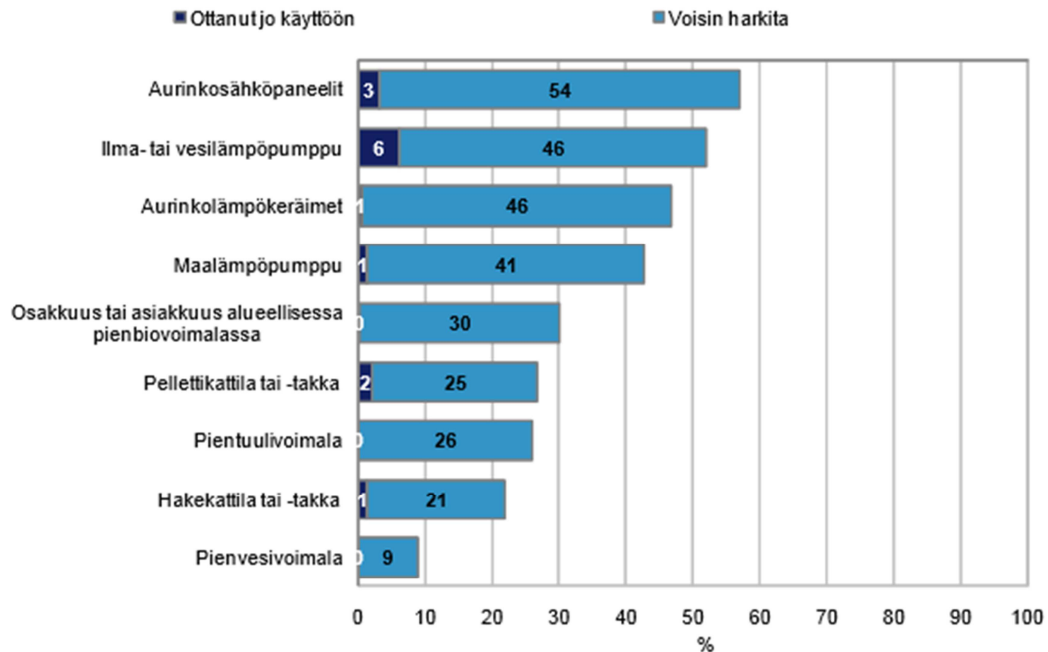


**Kuva 10.1:** Kiinteistön ylläpidon kustannusindeksi. Vuosi 2010 on vertailuvuosi (2010=100). (SVT, Asunto-osakeyhtiöiden talous)

Taloyhtiöiden kannalta lämmitys, sähkö, kiinteistövero ja vesi ovat merkittävimpiä asumiskustannuksia nostaneita tekijöitä. Vuosina 1960–1980 valmistuneille taloyhtiöille on kumuloitunut korjausvelkaa, joka asettaa ne taloudellisesti haastavaan tilanteeseen. Vuonna 2014 kaukolämmön keskihinta asuinkerrostalolle oli noin 72,7 €/MWh (Kaukolämmön hinnan kehitys 2014) ja sähkön keskimääräinen kokonaishinta (sisältäen verot, energia- ja siirtomaksun) maaliskuussa 2014 noin 109 €/MWh (SVT, energian hinnat). Lämpöpumpun vuosihyötökertoimen ollessa kolme lämpöpumpulla tuotetun lämmön energiakustannus on noin 36 €/MWh.

Onnistuneet MLP- ja PILP-investoinnit ovat lisänneet taloyhtiöiden kiinnostusta lämpöpumppujen hankintaan. Erityisesti vanhojen kerrostalojen PILP investointien määrän voidaan arvioida kasvavan nykyisestä. Poikkeuksellisen matala korkotaso, investointikustannusten lasku sekä sähkön myynti- ja siirtohintojen lasku ovat parantaneet lämpöpumppujen kilpailukykyä huolimatta sähkö- ja arvonlisäverotuksen kiristymisestä. Näkökulmasta riippuen taloyhtiöiden lämpöpumppuinvestointi voi olla säästöinvestointi tai sille voidaan laskea tietty investoinnin tuotto-odotus.

Sitran selvityksessä vuodelta 2011 (Syvänen & Mikkonen 2011) tutkittiin taloyhtiöiden asukkaiden tarpeita energiaratkaisuihin ja lähienergiapalveluihin. Valtaosa kyselyyn vastanneista oli valmis harkitsemaan aurinkoenergiaa, lämpöpumppuja ja energiatehokkuusratkaisuja, kuva 10.2. Ajankohtaisena pidettiin erityisesti rinnakkaisen lämmitystavan hankintaa.



**Kuva 10.2:** Asuinkerrostaloasukkaiden mahdolliset sähkön ja lämmityksen tuotantotavat. (Syvänen & Mikkonen 2011)

Selvityksen perusteella asukkaiden uuden tai rinnakkaisen lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttavat (Syvänen & Mikkonen 2011):

- epävarmuus tekniikasta ja sen toimivuudesta,
- todelliset kustannushyödyt,
- toimintavarmuus ja luotettavuus,
- hankinnan tulisi olla vaivatonta ja hankintahinnan kohtuullinen,
- huolto ja ylläpito ammattilaisille
- epävarmuutta lisää investointihetken valinta tekniikan edistyessä jatkuvasti,
- hyödyntävätkö laitetoimittajat asiakkaan tietämättömyyttä,
- puolueetonta ja luotettavaa tietoa vaikea löytää,
- taloyhtiöiden päätöksenteko ja
- kaukolämmitteiset taloyhtiöt kokivat mahdollisuuksiensa rajoittuvan energiatehokkuutta parantaviin laitteisiin.

Nykyisen kehityksen perusteella voidaan arvioida, että aktiivisten taloyhtiöiden kiinnostus energiatehokkuusinvestointeihin tulee kasvamaan. Lämpöpumppuinvestointi vaikuttaa taloyhtiön kiinteistön energialuokitukseen. Kaukolämpöä korvaavan tai täydentävän energiatehokkuusratkaisun avulla taloyhtiöt vähentävät riippuvuutta yhdestä lämmönlähteestä ja suojautuvat jossain määrin kaukolämmön tai välillisen verotuksen nousua vastaan. (Pylsy 2014)

Lämpöpumppuinvestoinnit eivät ole ainoa tapa rakennusten lämmityskustannusten alentamiseksi. Huonelämpötilojen asianmukainen taso, patteriventtiilien vaihto, lämmön- ja ilmanvaihdon säätöjen tarkistus sekä muut asuinkiinteistön oman lämmitysverkon energiatehokkuustoimenpiteet ovat olennainen osa asumisen lämmitysenergian käytön vähennystoimia. Näillä toimenpiteillä voidaan saada aikaan jopa 15 % energiakustannussäästö ilman merkittäviä investointeja. (Uotila 2012)

Taloyhtiöissä on usein isännöitsijä, jonka tehtävänä on vastata kiinteistöhallintoon ja kiinteistön ylläpitoon liittyvistä toiminnoista ja palveluista. Isännöitsijä tarjoaa taloyhtiölle asiantuntijapalvelua, apua päätöksenteossa ja taloudessa sekä järjestää taloyhtiön hankintoja ja palveluita. Lämmitysjärjestelmää valittaessa isännöitsijä auttaa usein taloyhtiötä päätöksenteossa tuomalla teknistä ja taloudellista asiantuntemusta. Isännöitsijä raportoi taloyhtiön hallitukselle lämmityskustannuksista ja voi ehdottaa säästö- tai muutostoimenpiteitä. (Isännöintiliitto)

## 10.2 Laitetoimittajat ja alan urakoitsijat

Suomessa lämpöpumppumarkkinoiden vuotuinen verollinen myynti oli vuonna 2013 noin 400 miljoonaa euroa. Ala työllistää arvioiden mukaan noin 2500 suomalaista. (Hirvonen 2014)

Lämpöpumppujen nopeasti kasvaneen kysynnän vuoksi alalle on tullut useita uusia toimijoita. Laitetoimittajien välinen kilpailu on kiristynyt ja yritykset yrittävät

erottua kilpailijoistaan muun muassa lisä- ja kokonaispalveluilla. Yhä useampi laitetoimittaja tarjoaa lämpöpumpun yhteydessä lisäpalveluja kuten huoltoa, etähallintaa ja kulutusseurantaa. Kehittyneimmissä ratkaisuisa lämpöpumpun toimintaa voidaan etävalvoa.

Laitetoimittajien lisäksi lämpöpumppuhankkeet työllistävät muun muassa LVIS-suunnittelijoita ja -urakoitsijoita. Suuremmat lämpöpumppuratkaisut vaativat sähkö-, automaatio- ja taloteknistä tuntemusta. Yhä useammin laitetoimittajat tai urakoitsijat voivat toimittaa asiakkaiden lämpöpumppuhankkeet kokonaisratkaisuna tai niin sanotulla avaimet käteen -periaatteella, jolloin asiakas on tekemisissä ainoastaan yhden osapuolen kanssa. Asiakkaalle jää lämpöpumppuhankkeessa edelleen rahoituksen hankinta, mahdollinen sähkön kilpailutus, rakennustekniset työt ja urakoitsijoiden kilpailutus.

Esimerkiksi Pirkanmaan alueella lämpöpumppujen markkinointi on tapahtunut pääosin jo tehtyjen lämpöpumppukohteiden synnyttämän kiinnostuksen perusteella. Pienempien lämpöpumppuratkaisujen osalta laitevalmistajat, putki- ja rakennustarvike-liikkeet sekä alan urakoitsijat ovat aktiivisesti markkinoineet erityisesti pientalojen kokoluokassa. Asuinkerrostalojen kokoluokassa lämpöpumpputoimittajien ei tarvitse aktiivisesti markkinoida, sillä yleisesti aktiivinen osapuoli on tarjouspyynnön tekevä taloyhtiö. (Hirvonen 2014; Heinonen Marko, 2014)

## **10.3 Yhteiskunta**

### **10.3.1 Vaihtotase ja omavaraisuus**

Lämpöpumput vähentävät lämmitykseen tarkoitettua primäärienergian käyttöä. Lämpöpumppujen merkitys korostuu erityisesti pientalojen öljylämmityksen saneerausinvestoinneissa. Rakennuskannassa on edelleen noin 200 000 öljykattilalla ja noin 150 000 vesikiertoisella sähkölämmityksellä lämpiävää rakennusta, joiden lämmitysjärjestelmä voitaisiin korvata muun muassa maalämpöpumpuilla (Tekniikan Maaailma 18/2012).

Energiahuollon omavaraisuuden ja toimitusvarmuuden näkökulmasta lämpöpumpuilla, kuten muillakin energiatehokkuusinvestoinneilla, on myönteinen vaikutus silloin, kun niillä korvataan tuontipolttoaineita, kuten maakaasua, kivihiiltä tai öljyä. Lämpöpumpuilla on mahdollisuus säästää primäärienergian kulutuksessa ja vähentää päästöjä, varsinkin jos niillä korvataan suoraa sähkö- ja öljylämmitystä. Primäärienergia tuodaan pääosin Suomeen ulkomailta, jolloin vähentyneellä primäärienergian käytöllä on valtion kauppatasetta parantava vaikutus etenkin, jos lämpöpumpulla korvataan täysin tuonnin varassa olevaa energialähdettä kuten polttoöljyä ja lämpöpumpun käyttöenergian tuotetaan kotimaisilla energialähteillä. Työ- ja elinkeinoministeriössä lämpöpumput nähdään olennaisena osana vuoden 2020 energiatehokkuustavoitteita ja säästöpotentiaalın arvellaan olevan noin 7,7 TWh. (NEEAP-3 2014)

### 10.3.2 Verokertymä

Lämpöpumppujen kerrannaisvaikutukset valtion verokertymään ovat monitahoisia ja samanaikaisesti kasvattavia ja pienentäviä. Investoinnit työllistävät ja lisäävät valtion kertaluonteista verokertymää arvonlisäveron, työntekijöiden ansiotuloveron ja voitollisten yritysten lähdeverokertymän kautta. Lämpöpumppujen kuluttamasta sähköstä valtiolle kertyy arvonlisä- ja sähköverotuloja. Toisaalta lämpöpumput korvaavat kaukolämpöä, öljyä ja sähköä, jolloin valtio menettää pysyvästi arvonlisäveroja, sähköveroa, polttoaineiden valmisteveroja ja myyntiä menettävien energiayritysten mahdollisia lähdeverotuloja. Tämän lisäksi valtio tukee joissain tapauksissa suoraan verovaroista energiatehokkuushankkeita kuten lämmöntalteenottohankkeita.

Tämän diplomityön esimerkkikohteen perusteella kaukolämmitteisen asuinkerrostalon sähkön kulutuksen kasvu lisää ja kaukolämmönkulutuksen lasku vähentää verotuloja. Taloyhtiön investoinnista valtiolle kertyi kertaluontoisesti arvonlisäveroa, mutta samalla valtio tuki hanketta 15 % energia-avustuksella. Näiden perusteella valtion kertaluonteinen nettoverokertymä oli noin 11 000 €. Vuositasolla, investoinnin jälkeen, valtion välillisten verojen nettoverokertymä vähenee noin 3 400 €. Tässä suuntaantavassa laskelmassa ei ole huomioitu urakoitsijan työntekijöiden palkkaveroja, energiayhtiön maksamia valmisteveroja tai urakoitsijan yrityksen tuloksesta maksamaa lähdeveroa. Kotitalouksien kohdalla lämpöpumppuhankkeet kuuluvat kotitalousvähennyksen piiriin, millä on vaikutusta sekä valtion että kunnan verotuloihin.

### 10.3.3 Kunnat

Kunnan viranomaiset huolehtivat lämpöpumppuja koskevasta viranomaisvalvonnasta ja luvituksesta sekä myöntävät valtion rahoittamat energiatehokkuus avustukset. Valtion ja EU:n tasolla viranomaiset pyrkivät ohjeistamaan lämpöpumppuja koskevaa viranomaiskäytäntöä ja lainsäädäntöä.

## 10.4 Ympäristövaikutukset

Lämpöpumpuilla tuotetaan Suomessa energiaa nykyisin noin yhden Loviisan ydinvoimalaitosyksikön verran eli noin 4 TWh, johon kuluu sähköä noin 1,4 TWh. Lämpöpumppujen aiheuttamat ympäristövaikutukset riippuvat lähes täysin käytettävän sähkön päästöistä (Leskinen et al. 2014 s. 21). Lämpöpumput mitoitetaan usein kattamaan noin 60 % rakennuksen huipputehon tarpeesta, jolloin lisä- ja varateho tuotetaan sähkövastuksella tai kaukolämmöllä. Täystehomitettu lämpöpumppu olisi kokonaisuutta ajatellen kannattavampi ratkaisu, koska se pienentäisi päästöjä noin 15 % osatehoiseen (suorasähkö varalla) verrattuna. Suomen nykyisellä keskimääräisellä yhteistuotannolla tuotetun kaukolämmön päästöt ovat tuntipohjaisella markkinatarkastelulla noin 60 gCO<sub>2</sub>/kWh ja vastaavasti maalämpöpumpulla 200 gCO<sub>2</sub>/kWh. (Rinne & Syri 2013)

Lämpöpumppujen päästökehityksen kannalta on olennaista, kuinka marginaalisähkön päästöt kehittyvät ja kuinka lämpöpumppujen tarvitsemaa sähköenergiaa voi-



daan vähentää. Lämpöpumput kuluttavat sitä vähemmän sähköä, mitä pienempi on lämmönlähteen ja lämmönluovutuksen välinen lämpötilaero. Lämpöpumppujen käytön ilmastoystävällisyyttä voidaan parantaa tekemällä lämmönjakojärjestelmä siten, että se toimii mahdollisimman pienellä lämpötilaerolla huonelämpötilaan nähden. (Rinne & Syri 2013)

## 11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Lämpöpumput ovat kasvattaneet suosiotaan asuinrakennusten ensisijaisena ja täydentävä lämmitysmuotona. Lämpöpumppuja on asennettu vuoteen 2013 mennessä noin 600 000 kappaletta ja määrän ennustetaan nousevan 900 000 kappaleeseen vuoteen 2020 mennessä. Lämpöpumpuista yleisimpiä ovat pientalojen ilma-ilma- ja maalämpöpumput. Vuonna 2013 lämpöpumppumarkkinoiden koko Suomessa oli 400 miljoonaa euroa ja työllisyysvaikutus noin 2 500 henkilötyövuotta.

Lämpöpumpuilla on tärkeä rooli energiatehokkuuden parantamisessa Suomessa ja myös EU:n tasolla. Erilaisten lämpöpumppusovellusten kokonaisenergiansäästöpotentiaalin arvioidaan olevan Suomessa noin 7-9 TWh. Suomessa valtio tukee lämpöpumppuhankkeita joka suoraan tai välillisesti tukien tai verotuksen muodossa. Kansantalouden kannalta lämpöpumppujen merkitys korostuu silloin, kun niillä korvataan tuontienergiaa kuten öljyn ja maakaasun lämmityskäyttöä.

Asuinkerrostalojen kaukolämmön hinta on noussut tasolle, jossa kaukolämmön kilpailukyky muihin lämmitysratkaisuihin verrattuna on huonontunut. Kiinteistöjen lämmitys muodostaa yhä suuremman osan taloyhtiöiden vuosikustannuksista. Vuosina 1960–2002 rakennetuissa asuinkerrostaloissa on suuri hyödyntämätön energiansäästöpotentiaali yksikanavaisen koneellisen poistoilmanvaihdon ansiosta. Poistoilman mukana hukataan jopa yli 35 % asuinkerrostalon lämmitysenergiasta.

Tämän diplomityön esimerkkikohde As Oy Vuorikilpi on esimerkki poistoilmalämpöpumpun hyödyntämisestä kaukolämmitteisessä asuinkerrostalossa. Taloyhtiön näkökulmasta poistoilmalämpöpumppu on energiatehokkuusinvestointi, jolla taloyhtiö voi kohtuullisen riskittömästi vastata nouseviin energiakustannuksiin. Esimerkkikohteen ja muiden vastaavien toteutuneiden investointien tietojen perusteella poistoilmalämpöpumpulla arvioidaan olevan merkittävä valtakunnallinen terawattisuuruusluokan energiansäästöpotentiaali vanhoissa kaukolämmitteisissä asuinkerrostaloissa.

Lämpöpumppujen yleistymisen energiayhtiöiden sähkö- ja kaukolämpöverkoissa on energiayhtiölle uusi teknistaloudellinen kilpailutilanne. Erityisesti kaukolämmön osalta maalämmön ja vanhojen asuinkerrostalojen poistoilmalämpöpumppujen yleistymisellä on pitkällä aikavälillä merkittävä energian kulutuksen volyyminvaikutus, koska lämpöenergian myynti vähenee suhteessa enemmän kuin kuluttajien tehontarve.

Nykyinen energiayhtiöiden kaukolämmön tuotantorakenne on mitoitettu kattamaan kokonaan asiakkaiden vuotuinen energiantarve. Muutos, jossa energianmyynti laskee tehontarvetta voimakkaammin, johtaa nykyisen kaukolämpöjärjestelmän käyttöasteen laskuun ja vähitellen hinnoittelujärjestelmien kustannusvastaavuuden heikkene- miseen.

Lämpöpumppujen yleistymisen rinnalla ei saisi huonontaa kaukolämpöverkon jäähtymää. Kaukolämmön jäähtymän huonontuminen kasvattaa kaukolämmön kustannuksia muun muassa lisääntyneen pumppausenergian ja lämpöhäviöiden johdosta. Jäähtymään voidaan vaikuttaa lämpöpumpun ja kaukolämmön kytkentätavalla tai huomioimalla jäähtymä asiakkaan kaukolämmön hinnoittelussa. Energiayhtiöiden tulisi nykyistä aktiivisemmin ohjeistaa lämpöpumppujen kytkentöjä ja valvoa kaukolämpösopimuksen ehtojen toteutumista omissa verkoissaan.

Lämpöpumput eivät ole ainoa muutos energiayhtiöiden liiketoimintaympäristössä. Kiristyvät energiatehokkuus- ja rakentamismääräykset, ilmastopolitiikka ja päästökauppa asettavat uudentyyppisiä kustannus- ja investointipaineita.

Lämpöpumpuilla on käyttöenergiansa kautta vaikutusta sähkön myyntiin ja verkkoliiketoimintaan. Lämpöpumput lisäävät sähkön käyttöä, kun niillä korvataan öljylämmitys tai niitä käytetään jäähdytykseen. Toisaalta sähkön kysyntä laskee, kun lämpöpumpuilla täydennetään suoraa sähkölämmitystä. Kokonaisuuden kannalta lämpöpumppujen voidaan arvioida vaikuttavan sähkönmyynti- ja verkkoliiketoimintojen volyymiin ja kulutusprofiiliin eri vuodenaikoina.

Taulukossa 11.1 esitetään eräitä vaihtoehtoisia lähestymistapoja, joilla energiayhtiö voi vastata kaukolämpöliiketoiminnassaan lämpöpumppujen yleistymiseen. Lähestymistavat on eroteltu seuraajaan, mukautajaan ja laajentajaan.

**Taulukko 11.1:** Energiayhtiön vaihtoehtoiset lähestymistavat lämpöpumppujen yleistymiseen.

	Kuvaus	Toimenpiteet	Vaikutukset
Seuraaja	Energiayhtiö huolehtii ainoastaan kaukolämmön teknisestä toimivuudesta ja seuraa lämpöpumppujen yleistymistä	<ul style="list-style-type: none"> <li>• varmistetaan kaukolämmön riittävä jäähtymä kytkennällä</li> <li>• varmistetaan tarvittaessa tehorojoittimella kaukolämpökapasiteetin vapautuminen muihin kulutuskohteisiin, kun kaukolämpökulutaja hankkii lämpöpumpun kaukolämmön rinnalle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ ei sido lisää henkilöstöresursseja</li> <li>+ vapauttaa tehokapasiteettia</li> <li>+ kaukolämmön tekninen toimivuus ei heikkene</li> <li>– kaukolämmön myynnin lasku</li> <li>– tehomaksun lasku</li> <li>– kaukolämpöhinnoittelun kustannusvastaavuuden heikkeneminen</li> </ul>

<b>Mukautuja</b>	Energia-yhtiö mukautuu lämpöpumppujen yleistymiseen kaukolämmön rinnalla tuotantorakenteessa ja hinnoittelussa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• muutetaan kaukolämpöhinnointilua hybridilämmittäjälle kustannusvastaavammaksi</li> <li>• tarjotaan vaihtoehtoisia palveluita lämpöpumppujen rinnalle, kuten energiasäästöpalvelua</li> <li>• tarjotaan lämpöpumppuja täydentäviä palveluita, kuten etähallinta-, huolto- ja vuokrasopimuksia</li> <li>• varaudutaan muuttuvaan kysyntään tuotantorakenteessa ja lisätään tuotantojoustoa</li> <li>• kasvatetaan kaukolämmön kilpailukykyä tarjoamalla liittymismaksulle edullista maksutapaa määrääikäisellä perusmaksun korotuksella</li> <li>• luodaan uusia kaukolämpötuotteita, jotka palvelevat paremmin eri asiakasryhmiä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ vastataan muuttuvaan kysyntään</li> <li>+ kaukolämpöhinnointelu kustannusvastaavaksi</li> <li>+ liikevaihdon kasvu palvelujen kautta</li> <li>+ kaukolämmön kilpailukyvyn kasvu</li> <li>+ mennään lähemmäs asiakasta</li> <li>+ lämmön ja sähkön kulutuksen tasaaminen</li> <li>- yhteistyökontaktien luominen</li> <li>- sitoo henkilöstöresursseja</li> <li>- kasvavat rahoituskustannukset</li> <li>- kaukolämmön myynnin mahdollinen lasku</li> </ul>
<b>Laajentaja</b>	Energia-yhtiö laajentaa toimialuettaan lämpöpumppumarkkinoille ja tarjoaa asiakkaille kokonaisvaltaisia energia- ja lämpöpumppuratkaisuja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tarjotaan lämpöpumppuratkaisuja asiakkaille</li> <li>• hyödynnetään asiakkaiden lämmönvaraajia</li> <li>• kaukolämmön paluueden hyödyntäminen lämpöpumpun ohelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ liikevaihdon kasvattaminen</li> <li>+ mahdollisuus palvella asiakkaita kokonaisvaltaisemmin</li> <li>+ kulutusvaihteluiden tasaaminen</li> <li>- luotettavien myynti ja alihankkija verkostojen luominen</li> <li>- kaukolämpöverkolla laskee kaukolämmön myyntiä</li> <li>- teknisten edellytysten selvittäminen</li> </ul>

Lämpöpumpuilla on vaikutusta kaikkiin energia-yhtiöiden liiketoimintoihin. Energia-yhtiöiden kaukolämpöliiketoiminnoissa on tulevaisuudessa varauduttava asiakasrajapinnan takana tapahtuvaan muutokseen. Asiakaskunnan paremmalla segmentoinnilla ja uusilla tuotteilla voidaan tulevaisuudessa ennakoida ja identifioida asiakasrajapinnassa tapahtuvia muutoksia nykyistä paremmin. Kaukolämpöliiketoiminnassaan energia-yhtiön tulisi nykyistä aktiivisemmin osallistua asiakasrajapinnan takana käytävään energiatehokkuus- ja energianhankintakeskusteluun. Kaukolämpöä toimittavalle energia-yhtiölle kaukolämmön hinta on edelleen keskeinen osa kaukolämmön kilpailukykyä.

Lämpöpumput ja muut kuluttajien energiatehokkuustoimet tulevat yhä enemmän muokkaamaan perinteistä energia-yhtiöiden asiakasrajapintaa. Voidaan perustellusti ar-

vioida, että talotekniikan kehitys, kahdenvälinen energiakauppa ja erilaisten teknisten järjestelmien lisääntyvä älykkyys tulevat korostumaan osana energiayhtiöiden tulevia energia- ja palveluratkaisuja. Muutos tulee edellyttämään energiayhtiöiltä uudenlaisia teknistä- ja asiakaspalveluosaamista.

Tämän diplomityön perusteella tunnistettiin osa-alueita, joissa energiayhtiöiden tulisi uudelleen arvioida tai kehittää eri liiketoimintojen prosesseja suhteessa vaihtoehtoihin tai olemassa olevaa energiamuotoa täydentäviin energiaratkaisuihin. Jatkossa on tärkeää saada nykyistä kattavampia mittaustietoja esimerkiksi hybridilämmityskohteiden energiankulutuksen muutoksista. Kaukolämmön, lämpöpumppujen ja lämpövarastojen erilaisia kytkentä- ja sovellusvaihtoehtoja on perusteltua selvittää nykyistä tarkemmin. Energiayhtiöiden kannalta asiakasrajapinnassa tapahtuvat muutokset avaavat uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

## LÄHTEET

A 452/2009. Valtioneuvoston asetus otsonikerrosta heikentäviä aineita ja eräitä fluorat-  
tuja kasvihuonekaasuja sisältävien laitteiden huollosta. [WWW] [Viitattu: 11.9.2014]  
Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090452>

Ahonen A. 2011. Kilpailukatsaus 2: Viisas sääntely - toimivat markkinat. Kilpailuvi-  
rasto. ISBN 978-952-5289-08-4. s. 186 [WWW]. [Viitattu 18.6.2014] Saatavis-  
sa:<http://www.kilpailuvirasto.fi/tiedostot/Kilpailukatsaus-2.pdf>

Aittomäki A. 2008. Kylmäteknikka. 3. painos. Helsinki. 406 s. ISBN 978-951-96449-  
6-7

Anttonen K. 2011. Kaukolämpöverkon paluueden hyödyntäminen lämmityksessä.  
Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 116 s. [WWW]. [Viitattu 8.5.2014]  
Saatavissa: <http://www.doria.fi/handle/10024/73946>

Beurskens L. W. M., Hekkenberg M. 2011. Renewable Energy Projections as Published  
in the National Renewable Energy Action Plans of the European Member States. Euro-  
pean Environment Agency. [WWW] [Viitattu 23.9.2014] Saatavilla:  
<http://www.ecn.nl/docs/library/report/2010/e10069.pdf>

Boss A. 2012. Fjärrvärmecentral och frånluftsvärmepump i kombination. Svensk fjärr-  
värme AB. 38 s. ISBN 978-91-7381-092-0. [WWW]. [Viitattu: 5.6.2014] Saatavissa:  
[http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/FJ%C3%84RRSYN/Rapporter%20och%20resu%20it%20at%20blad/Rapporter%20teknik/2012/2012\\_11%20Fr%C3%A5nluftv%C3%A4rmepump%20och%20fj%C3%A4rrv%C3%A4rmecentral%20i%20kombination/Fj%C3%A4rrv%C3%A4rmecentral%20och%20fr%C3%A5nluftsv%C3%A4rmepump.pdf](http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/FJ%C3%84RRSYN/Rapporter%20och%20resu%20it%20at%20blad/Rapporter%20teknik/2012/2012_11%20Fr%C3%A5nluftv%C3%A4rmepump%20och%20fj%C3%A4rrv%C3%A4rmecentral%20i%20kombination/Fj%C3%A4rrv%C3%A4rmecentral%20och%20fr%C3%A5nluftsv%C3%A4rmepump.pdf)

Cengel Y. A., Boles M. A. 2011. Thermodynamics an engineering approach. Seventh  
Edition. ISBN 987-0-07-352932-5. 1040 pp.

Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. 2014. Ilmatieteenlaitos [WWW] Saatavil-  
la: <http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>

Energiatohokkuusdirektiivin toimeenpano, EED-työryhmän loppuraportti. 2014. Työ- ja  
elinkeinoministeriö. Energia ja ilmasto 4/2014. ISBN 978-952-227-826-5 [WWW].  
[viitattu: 20.7.2014] Saatavilla:  
[http://www.tem.fi/files/38617/Energiatohokkuusdirektiivin\\_toimeenpano\\_EED-tyoryhman\\_loppuraportti\\_2014.pdf](http://www.tem.fi/files/38617/Energiatohokkuusdirektiivin_toimeenpano_EED-tyoryhman_loppuraportti_2014.pdf)

- Energiaverotus. 2014. Tulli. [WWW] [Viitattu 18.9.2014] Saatavilla:  
[http://www.tulli.fi/fi/suomen\\_tulli/julkaisut\\_ja\\_esitteet/asiakasohjeet/valmisteverotus/tiedostot/021.pdf](http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/julkaisut_ja_esitteet/asiakasohjeet/valmisteverotus/tiedostot/021.pdf)
- Energiavuosi 2013 - Kaukolämpö. 2014. Energiateollisuus ry kalvosarja. [WWW] [Viitattu 4.10.2014] Saatavissa: <http://energia.fi/kalvosarjat/energiavuosi-2013-kaukolampo>
- EU 87/2003. Päästökauppadirektiivi. [WWW] Saatavilla:  
[eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32003L0087&from=FI](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32003L0087&from=FI)
- EU 31/2010. Rakennusten energiatehokkuus. [WWW] Saatavilla:  
[eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF)
- EU 75/2010. Direktiivi teollisuuden päästöistä. [WWW] Saatavilla:  
[eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:fi:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:fi:PDF)
- EU 27/2012. Energiatehokkuusdirektiivi. [WWW] Saatavilla:  
[eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF)
- EU 811/2013. [WWW] [Viitattu: 20.9.2014] Saatavilla:  
[eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=OJ:L:2013:239:FULL&from=FI](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=OJ:L:2013:239:FULL&from=FI)
- EU 517/2014. Euroopan parlamentin asetus fluoratuista kasvihuonekaasuista. [WWW] [Viitattu: 3.7.2014] Saatavilla:  
[eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R0517&from=EN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R0517&from=EN)
- European Energy Exchange. 2014. [WWW] [Viitattu 14.19.2014] Saatavilla:  
<http://www.eex.com/en#/en>
- Honkatukia J., Koljonen T., Lehtilä A. 2013. 30 prosentin vähentämistavoitteen siirtymisen energia- ja kansantaloudelliset vaikutukset. Helsinki, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus. ISBN 978-952-274-059-5. [WWW]. [Viitattu 27.5.2014] Saatavissa:  
[http://www.vatt.fi/file/vatt\\_publication\\_pdf/t170.pdf](http://www.vatt.fi/file/vatt_publication_pdf/t170.pdf)
- Isännöintiliitto. [WWW] [Viitattu: 6.10.12014] Saatavilla: <http://www.isannointiliitto.fi/>
- Juvonen J., Lapinniemi T. 2013. Energiakaivo - maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöministeriö. 64 s. ISBN 978-952-11-4211-6. Saatavilla:  
[http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Ymparistoopas\\_YO/YO\\_2013\\_Energiakaivo%2824946%29](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Ymparistoopas_YO/YO_2013_Energiakaivo%2824946%29)

Jylhä K., Kalamees T., Tietäväinen H., Ruosteenoja K., Jokisalo J., Hyvönen R., Ilomets S., Saku S., Hutila A. 2011. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastomuutoksen vaikutuksista. Ilmatieteen laitos. Helsinki, 2011. ISBN 978-951-697-756-3. [WWW] [Viitattu 21.9.2014] Saatavilla:

[http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=827685fa-942d-4727-abb3-ae2877e55a99&groupId=30106](http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=827685fa-942d-4727-abb3-ae2877e55a99&groupId=30106)

Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. 2013. Työ- ja elinkeinoministeriö. Energia ja ilmasto 8/2013. ISBN 978-952-227-749-7. 55 s. [WWW] [viitattu 8.8.2014] Saatavilla: [http://www.tem.fi/files/36221/TEMjul\\_8\\_2013\\_web\\_20032013.pdf](http://www.tem.fi/files/36221/TEMjul_8_2013_web_20032013.pdf)

Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. 2013. Taustaraportti. Työ- ja elinkeinoministeriö. 179 s. [WWW] [viitattu: 20.6.2014] Saatavilla:

[http://www.tem.fi/files/36279/Kansallinen\\_energia\\_ja\\_ilmastostrategia\\_taustraraportti.pdf](http://www.tem.fi/files/36279/Kansallinen_energia_ja_ilmastostrategia_taustraraportti.pdf)

Kaukojäähdytys. 2014 Energiateollisuus. [WWW] Saatavilla: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/kaukojaahdytys>

Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä tulevaisuudessa. 2011. Pöyry. Työ- ja elinkeinoministeriö, energiategollisuus ry. 61 s. [WWW][viitattu 17.4.2014] Saatavilla:

[http://energia.fi/sites/default/files/kaukolammon\\_asema\\_suomen\\_energiajarjestelmassa\\_tuleivaisuudessa\\_poyrypdf.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/kaukolammon_asema_suomen_energiajarjestelmassa_tuleivaisuudessa_poyrypdf.pdf)

Kaukolämmön hinnan kehitys. 2014. Energiategollisuus. Diaesitys. [WWW] [Viitattu 4.10.2014] Saatavilla: <http://energia.fi/tilastot/kaukolammon-hinnat-tyyppitaloissa-eripaikkakunnilla>

Kaukolämmön hinta pähkinänkuoressa. Energiategollisuus ry. [WWW] [Viitattu 30.8.2014] Saatavilla:

[http://energia.fi/sites/default/files/et\\_kaukol\\_hinta\\_esite\\_160911.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/et_kaukol_hinta_esite_160911.pdf)

Kaukolämmön käyttötaloudelliset tunnusluvut 2012. 2013. Energiategollisuus ry. 26 s. [WWW] [viitattu 29.7.2014] Saatavilla:

[http://energia.fi/sites/default/files/images/kayttotaloudelliset\\_tunnusluvut\\_2012.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/images/kayttotaloudelliset_tunnusluvut_2012.pdf)

Kaukolämmön sopimusehdot. 2012. Leppäkosken Lämpö Oy. [WWW] [Viitattu: 25.9.2014] Saatavilla:

<http://leppakoski.fi/tuotteetjapalvelut/kaukolampo/getfile.php?file=35>



Kaukolämpöalan strategia. 2013. Energiateollisuus ry. 16 s. [WWW] [Viitattu 20.8.2014] Saatavilla: [http://energia.fi/sites/default/files/kaukolampoalan\\_strategia\\_8-2013.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/kaukolampoalan_strategia_8-2013.pdf)

Kaukolämpöjärjestelmän paluueden hyväksikäyttö kiinteistöjen lämmityksessä. 2010. Pöyry, Energiateollisuus ry. [WWW] [viitattu 4.8.2014] Saatavilla: [http://energia.fi/sites/default/files/paluuvesilammitys\\_loppuraportti\\_20100224.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/paluuvesilammitys_loppuraportti_20100224.pdf)

Kauppila K. 2014. Suuret maalämpöpumput: tekniikka, soveltaminen ja hankinta. Luentoaineisto 7.5.2014. Adato koulutusmateriaali. 86 s.

Keski-Suomen kiinteistöviesti. 3/2013. ISSN 1798-0763 [verkkolehti] saatavilla: <http://www.kiinteistoliitto.fi/attachements/2013-09-16T09-38-0813412.pdf>

Klobut K., Heikkinen J., Shemeikka J., Laitinen A., Rämä M., Sipilä K. 2009. Huippuenergiatehokkaan asuintalon kaukolämpöratkaisut. VTT tiedotteita 2513. 75 s. ISBN 978-651-38-7541-1. [WWW] [viitattu 7.8.2014] Saatavilla: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2513.pdf>

Koskelainen L., Saarela R., Sipilä K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki, Energiateollisuus ry. 566 s. ISBN 952-5615-08-1

Käytä kaukolämpöä oikein. 2007. Energiateollisuus ry. 16 s. ISBN 978-952-5615-12-8. [WWW] [Viitattu 2.10.2014] Saatavilla: [http://energia.fi/sites/default/files/kayta\\_kaukolampoa\\_oikein\\_suomi.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/kayta_kaukolampoa_oikein_suomi.pdf)

Laitinen A., Tuominen P., Holopainen R., Tuomaala P., Jokisalo J., Eskola L., Siren K. 2014. Renewable Energy Production of Finnish Heat Pumps. Final Report of the SPF-project. 128 s. VTT. ISBN 978-951-38

Leskinen P., Holma A., Manninen K., Sinkko T., Pasanen K., Rantala M., Sokka L. 2014. Uusiutuvan energian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset ja -riskit. Ympäristöministeriö, Helsinki. 48 s. ISBN 978-952-11-4294-9 [WWW] [viitattu: 9.9.2014] Saatavilla: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/44838/YMra\\_9\\_2014.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/44838/YMra_9_2014.pdf?sequence=1)

Lukkari E. 2014. Ilmalämpöpumput ovat japanilaisjuhlaa. Kauppalehti. [verkkoleh-ti][Viitattu 15.9.2014] Saatavilla: <http://www.kauppalehti.fi/etusivu/ilmalampopumput+ovat+japanilaisjuhlaa/201409698515>

Lämpöinfo. 2013. Fortum tiedotuslehti. [WWW] [Viitattu 14.9.2014] Saatavilla: [http://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionImages/Kaukolampo/L%C3%A4mp%C3%B6info/WEB\\_Fortum\\_Lampoinfo\\_148x210\\_syksy\\_2013.pdf](http://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionImages/Kaukolampo/L%C3%A4mp%C3%B6info/WEB_Fortum_Lampoinfo_148x210_syksy_2013.pdf)

Lämpöpumppujen energialaskentaopas. 2012. Ympäristöministeriö. 55 s. [WWW] [viitattu 25.5.2014] Saatavilla: [http://www.ymp.fi/fi-fi/maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/rakentamismaarayskokoelma](http://www.ymp.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/rakentamismaarayskokoelma)

Lämpöä ilmassa – Ilmalämpöpumput. 2012. Motiva. 16 s. [WWW] [Viitattu 4.5.2014] Saatavilla: [http://www.motiva.fi/julkaisut/lammitysjarjestelmat/lampoa\\_ilmassa\\_ilmalampopumput.3808.shtml](http://www.motiva.fi/julkaisut/lammitysjarjestelmat/lampoa_ilmassa_ilmalampopumput.3808.shtml)

Lämpöä omasta maasta – Maalämpöpumput. 2012. Motiva. 16 s. [WWW] [Viitattu: 5.6.2014] Saatavilla: [http://www.motiva.fi/julkaisut/lammitysjarjestelmat/lampoa\\_omasta\\_maasta\\_maalampopumput.3808.shtml](http://www.motiva.fi/julkaisut/lammitysjarjestelmat/lampoa_omasta_maasta_maalampopumput.3808.shtml)

Maanalaisten kiinnivaahdotettujen kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannukset 2012. 2013. Energiateollisuus ry. 18 s. [WWW] [Viitattu: 20.6.2014] Saatavilla: [http://energia.fi/sites/default/files/images/johtorakennuskustannukset\\_2012.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/images/johtorakennuskustannukset_2012.pdf)

Matilainen A. 2013. Poistoilmalämpöpumpun hyödyntäminen vanhassa kerrostalossa. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu. 104 s. [WWW] [Viitattu: 22.7.2014] Saatavilla: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58858/Matilainen\\_Ari.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58858/Matilainen_Ari.pdf?sequence=1)

Murto R. 2014. Ilmalämpöpumput tulevat kerrostaloihin. Helsingin Sanomat. 14.8.2014 [WWW] [Viitattu 25.8.2014] Saatavilla: <http://www.hs.fi/kaupunki/a1407929606447>

Napari I. 2007. Termofysiikan Perusteet. Helsingin yliopisto. 156 s. [WWW] [Viitattu: 7.6.2014] Saatavilla: [https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/tfy-0.3131/materiaali/Tfy-0\\_3131\\_ismo\\_napari\\_\\_termofysiikan\\_perusteet\\_2.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/tfy-0.3131/materiaali/Tfy-0_3131_ismo_napari__termofysiikan_perusteet_2.pdf)

NEEAP-3. Suomen kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma. 2014. Energiatehokkuusdirektiivin (2012/27/EU) artiklan 24 (2) mukainen raportointi Euroopan komissiolle. 214 s. 1094/832/2013. [WWW] [viitattu: 20.6.2014]. Saatavilla: [http://www.tem.fi/files/40778/Suomen\\_NEEAP-3\\_29\\_04\\_2014.pdf](http://www.tem.fi/files/40778/Suomen_NEEAP-3_29_04_2014.pdf)

Neuvonen P. 2006. Kerrostalot 1880-2000: arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. Helsinki, Rakennustieto.

Nordman R. Heat pumps for heating and cooling in Sweden market experiences and lessons learned. Luentomoniste. [WWW] [viitattu: 25.7.2014] Saatavilla: [http://www.proheatpump.eu/Events/Varna\\_Conference/HP%20Sweden%20Nordman.pdf](http://www.proheatpump.eu/Events/Varna_Conference/HP%20Sweden%20Nordman.pdf)

Novak T., Jaganjacova S. 2013. European Heat Pump Market and Statistics Report 2013. European Heat Pump Association. 197 pp.

Nuorkivi A. 2009. Kaukolämmön hinnoittelumallit. Energy-An Consulting. 44 s. [WWW] [viitattu: 9.7.2014] Saatavilla: [http://energia.fi/sites/default/files/kaukolammon\\_hinnoittelumallit\\_2009.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/kaukolammon_hinnoittelumallit_2009.pdf)

Nurmi E., Finel N. 2014. Uudistuva F-kaasuasetus. Ympäristöministeriö. Kylmäteknikan koulutuspäivät 23.1.2014.

Partanen J., Viljainen S., Lassila J., Honkapuro S., Tahvanainen K., Karjalainen R., Annala S., Makkonen M. 2013. Sähkömarkkinat - opetusmoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 90 s.

Perälä R. 2009. Lämpöpumput - Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. Alfamer Oy. ISBN 978-952-472-084-7

Pesola A., Bröckl M., Vanhanen J. 2011. Älykäs kaukolämpö ja sen mahdollisuudet. Gaia Consulting Oy. 38 s. [WWW] [viitattu 30.5.2014] Saatavilla: [http://energia.fi/sites/default/files/alykas\\_kaukolampojarjestelma\\_gaia\\_2011.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/alykas_kaukolampojarjestelma_gaia_2011.pdf)

Raiko R. 2010. Energiatalous. Tampereen teknillinen yliopisto. Luentomoniste. 209 s.

Rakennusten kaukolämmitys. 2014. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013. Energiatollisuus ry. ISBN 978-952-5615-52-5 [WWW] [Viitattu: 14.9.2014] Saatavilla: [http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1\\_2013\\_20140509.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1_2013_20140509.pdf)

Rakentamismääräyskokoelma D2. 2008. Rakennusten sisäilmasto ja ilman vaihto. Ympäristöministeriö. 37 s. [WWW] [Viitattu 2.6.2014] Saatavilla: [http://www.finlex.fi/data/normit/34164-D2-2010\\_suomi\\_22-12-2008.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/34164-D2-2010_suomi_22-12-2008.pdf)

Rakentamismääräyskokoelma D5. 2013. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystekohontarpeen laskenta. Ympäristöministeriö. 74 s. [WWW] [Viitattu 8.7.2014] Saatavilla: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468>

Rinne S., Syri S. 2013 Lämpöpumput ja kaukolämpö energijärjestelmässä. Ilmastopaneeli. Raportti 3/2013. 28 s. Aalto yliopisto. [WWW] [viitattu: 30.4.2014] Saatavilla: [http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset\\_lausunnot/L%C3%A4mp%C3%B6pumput%20ja%20kaukol%C3%A4mp%C3%B6%20energij%C3%A4rjestelm%C3%A4s%C3%A4\\_29-1-2013.pdf](http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/L%C3%A4mp%C3%B6pumput%20ja%20kaukol%C3%A4mp%C3%B6%20energij%C3%A4rjestelm%C3%A4s%C3%A4_29-1-2013.pdf)

Suomen virallinen tilasto (SVT): Asunto-osakeyhtiöiden talous [WWW]. ISSN=1799-2990. Helsinki: Tilastokeskus [WWW] [viitattu: 20.8.2014]. Saatavilla: <http://www.stat.fi/til/asyta/tau.html>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hinnat. ISSN=1799-7984. Liitetaulukko 2. Energian hintoja lämmöntuotannossa maaliskuussa 2014. Helsinki: Tilastokeskus [WWW] [viitattu: 31.7.2014]. Saatavilla: [http://www.tilastokeskus.fi/til/ehi/2014/01/ehi\\_2014\\_01\\_2014-06-19\\_tau\\_002\\_fi.html](http://www.tilastokeskus.fi/til/ehi/2014/01/ehi_2014_01_2014-06-19_tau_002_fi.html)

Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus ISSN=1799-795X. Helsinki: Tilastokeskus [WWW]. [Viitattu 30.6.2014]. Saatavilla: <http://tilastokeskus.fi/til/ehk/tau.html>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Rakennukset ja kesämökit. ISSN=1798-677X. Helsinki: Tilastokeskus [WWW]. [Viitattu 24.7.2014]. Saatavilla: <http://tilastokeskus.fi/til/rakke/meta.html>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut. [WWW]. ISSN=1797-6049. Helsinki: Tilastokeskus. [WWW]. [Viitattu: 10.9.2014]. Saatavilla: <http://www.stat.fi/til/khki/tau.html>

Syvänen T., Mikkonen K. 2011. Saisiko olla lähienergiapalveluja? Kyselytutkimus. ISBN 978-951-563-787-1 [WWW] [Viitattu: 10.9.2014] Saatavilla: <http://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksi%C3%A4-sarja/Selvityksia60.pdf>

Säätövoima. Energiateollisuus ry. [WWW] [Viitattu 5.8.2014] Saatavilla: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/sahkontuotanto/saatoivoima>

Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. 2013. Lämpöpumppujen kokonaismäärän kehitys 1996–2013 kappaleina. Diaesitys.

Tekniikan Maailma. 6/2011. ISSN 1459-1839. s. 32-45

Tekniikan Maailma. 11/2011. ISSN 1459-1839 s. 12-23

Tekniikan Maailma 18/2012. Valtakunnan ensimmäinen maalämpöpumppuverailu. ISSN 1459-1839.

Tutkittua energiansäätöä ilmalämpöpumpulla. Elvari. Motiva julkaisu. [WWW] [Viitattu 15.7.2014]. Saatavilla:  
[http://www.motiva.fi/files/5427/Tutkittua\\_energiansaastoa\\_ilmalampopumpulla.pdf](http://www.motiva.fi/files/5427/Tutkittua_energiansaastoa_ilmalampopumpulla.pdf)

Tutkittua säästöä ilma-vesilämpöpumpulla. Elvari. Motiva. [WWW] [Viitattu 16.7.2014] Saatavilla:  
[http://motiva.fi/files/5919/Tutkittua\\_saastoa\\_ilmavesilampopumpulla.pdf](http://motiva.fi/files/5919/Tutkittua_saastoa_ilmavesilampopumpulla.pdf)

Tuunanen J. 2009. Lämpöpumppujen vaikutukset sähköverkkoliiketoiminnan kannalta. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 122 s. [WWW]. [Viitattu: 5.10.2014]. Saatavilla: <http://www.doria.fi/handle/10024/50559>

Työ- ja elinkeinoministeriö. Päästökauppadirektiivi. [WWW] Saatavilla:  
<https://www.tem.fi/energia/paastokauppa/paastokauppadirektiivi>

Uotila U. 2012. Korjaustoimien vaikutukset lähiökerrostalon todelliseen energiankulutukseen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 107 s. [WWW] [Viitattu: 30.9.2014] Saatavilla: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/21141>

Virta J., Pylsy P. 2011. Taloyhtiön energiakirja. Kiinteistöalan kustannus Oy. 196 s. ISBN 978-981-563-819-9. [WWW] [Viitattu 16.5.2014] Saatavilla:  
[http://issuu.com/mediat/docs/taloyhtion\\_energiakirja](http://issuu.com/mediat/docs/taloyhtion_energiakirja)

Välj rätt värmepump. Energimyndigheten. [WWW] [Viitattu 14.9.2014] Saatavilla:  
[www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se)

Brunnila Juha. 2014. LVI-tarkastaja. Tampereen kaupungin rakennusvalvontavirasto. Puhelinhaastattelu ja sähköposti. 19.8.2014.

Heinonen Janne. 2014. Toimitusjohtaja. Enermix Oy. Sähköposti ja haastattelu. Tampere 2014.

Heinonen Marko. 2014. Myynti-insinööri. Näsin Vesijohtoliike. Haastattelu. Tampere 4.9.2014.

Hirvonen Jussi. 2014. Toiminnanjohtaja, Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. Haastattelu. Nokia 11.4.2014.

Ingervo Olli. 2014. As Oy Vuorikilven hallituksen puheenjohtaja. Haastattelu ja kohdekäynti. Jyväskylä toukokuu 2014.

Kuulasmaa Ilkka. 2014. Isännöitsijä, As Oy Vuorikilpi. Haastattelu ja kohdekäynti. Jyväskylä toukokuu 2014.

Leppäkosken Sähkö Oy. Sisäinen lähde. Viitattu 5.8.2014.

Oksanen Mauno, 2014. Kehitysjohtaja. Leppäkosken Sähkö Oy. Haastattelu. Nokia 2014.

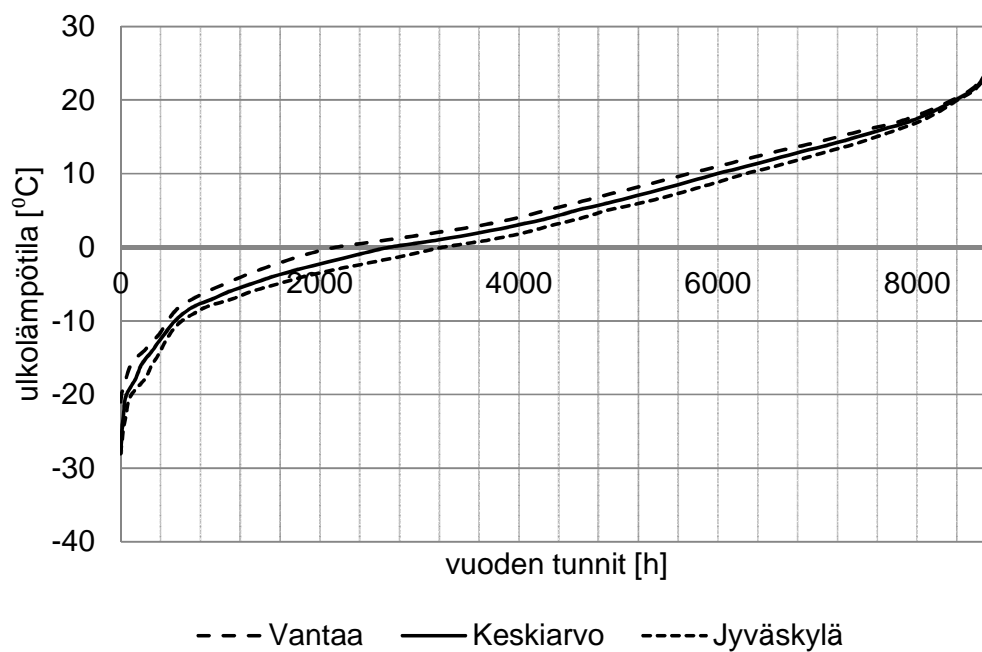
Pylsy Petri. 2014. Energia-asiantuntija. Kiinteistöliitto. Haastattelu. Tampere 6.5.2014

Pyykkö Tero. 2014. Kaukolämpöpäällikkö, Leppäkosken Lämpö Oy. Haastattelu. Nokia 20.5.2014

Tampereen kaupungin rakennusvalvontavirasto. 2014. Tampere 26.8.2014.

Uusitalo Janne. 2014. Korjausneuvoja. Tampereen kaupungin asuntotoimi. Haastattelu. Tampere 26.8.2014.

## LIITE 1: ULKOLÄMPÖTILAN PYSYVYYSKÄYRÄ



**Kuva LI.1:** Ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä. (Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa)

## LIITE 2: SÄÄVYÖHYKKEIDEN ALUEJAKO



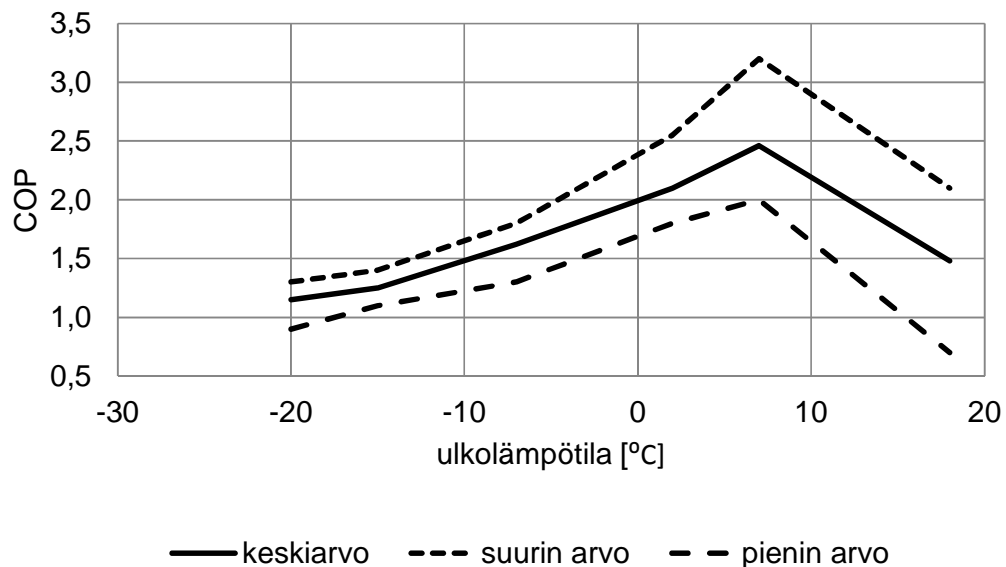
*Kuva L2.1: Säilyöhykkeiden aluejako. (Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa)*



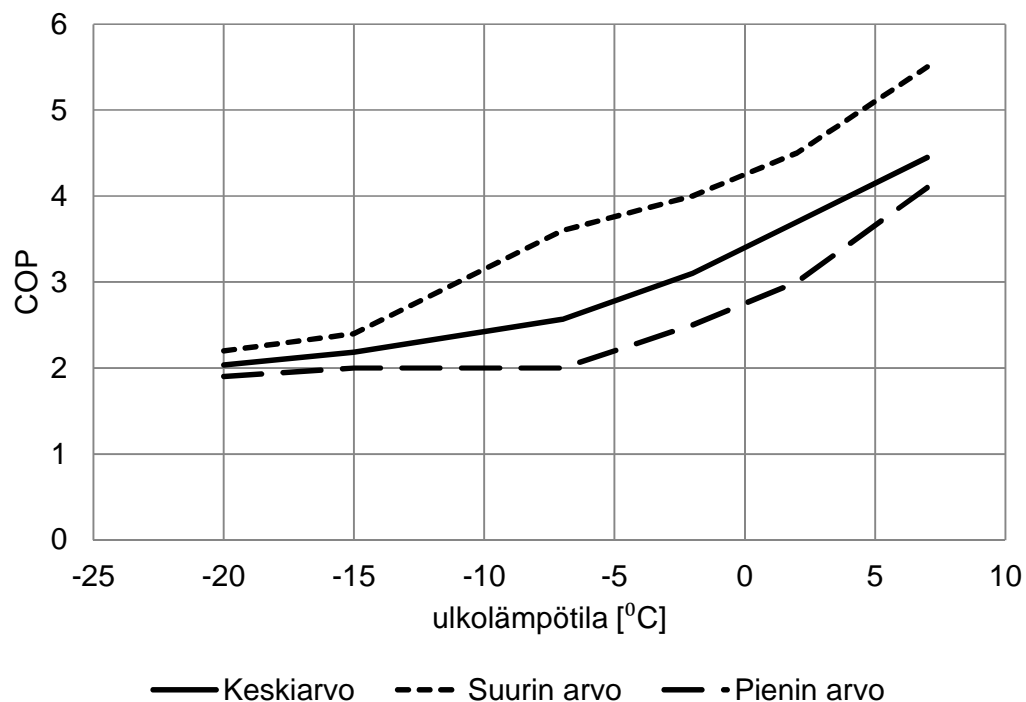
## LIITE 3: LÄMPÖPUMPPUJEN TEHOKERTOIMIA

**Taulukko L3.1:** Ilma-ilma- ja ilma-vesilämpöpumpun vuosihyötysuhde menoveden lämpötilan suhteen (Rakentamismääräyskokoelma D5)

Ulkoilmalämpöpumput	SPF-luku		
	Säävyöhykkeet		
menoveden korkein lämpötila, °C	II	III	IV
Ilma-ilma	2,8	2,8	2,7
Ilma-vesi (tilojen lämmitys)			
30	2,8	2,8	2,7
40	2,5	2,5	2,4
50	2,3	2,3	2,2
60	2,2	2,1	2,0
Ilma-vesi (käyttöveden lämmitys)			
60	1,8	1,6	1,3



**Kuva L3.1:** Ilma-vesilämpöpumpun tehokertoimen riippuvuus ulkolämpötilasta, kun tuotetaan rakennuksen lämmitys ja lämminkäyttövesi. (Tekniikan Maailma 6/2011, muokattu)

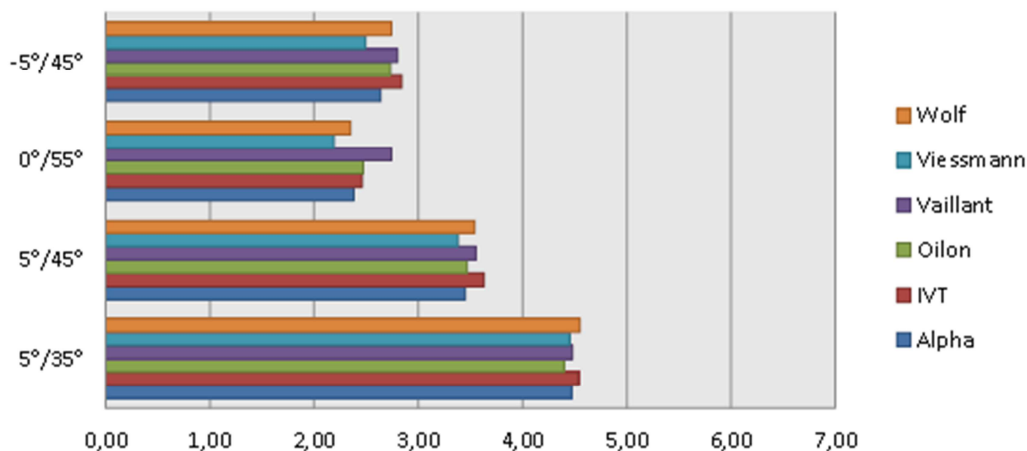


**Kuva L3.2:** Usein eri valmistajan ilma-ilmalämpöpumppujen lämpökertoimen riippuvuus ulkolämpötilasta. ( Tekniikan Maailma. 11/2011, muokattu)

**Taulukko L3.2:** Maalämpöpumppujen SPF-lukuja. (Rakentamismääräyskokoelma D5)

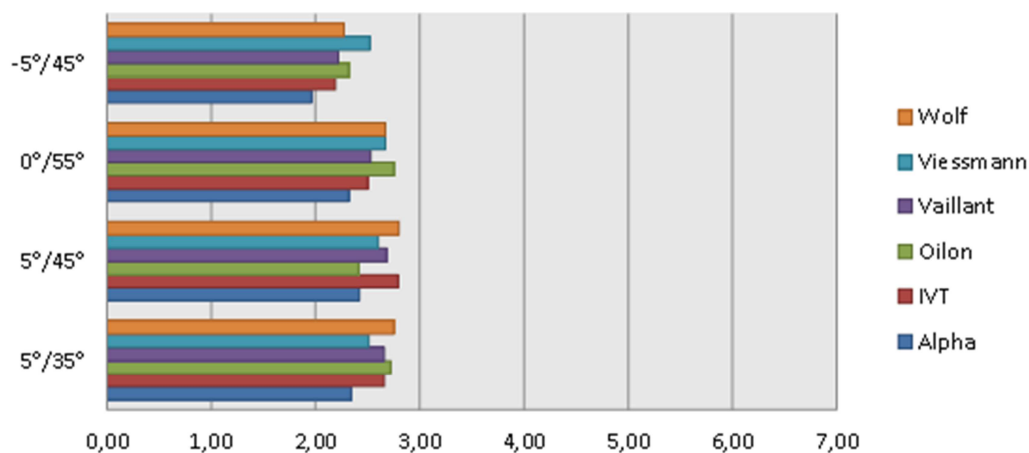
Maalämpöpumppu	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, °C	
menoveden korkein lämpötila, °C	-3	3
Tilojen lämmitys		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	2,7
60	2,5	2,5
Käyttöveden lämmitys		
60	2,3	2,3

### COP-kerroin, lämmitys



**Kuva L3.3:** Usean eri valmistajan maalämpöpumppujen COP-arvojen riippuvuus keuruu- ja luovutuspuolen lämpötilojen suhteena lämmityskäytössä. (Tekniikan Maaailma 18/2012)

### COP-kerroin, käyttövesi



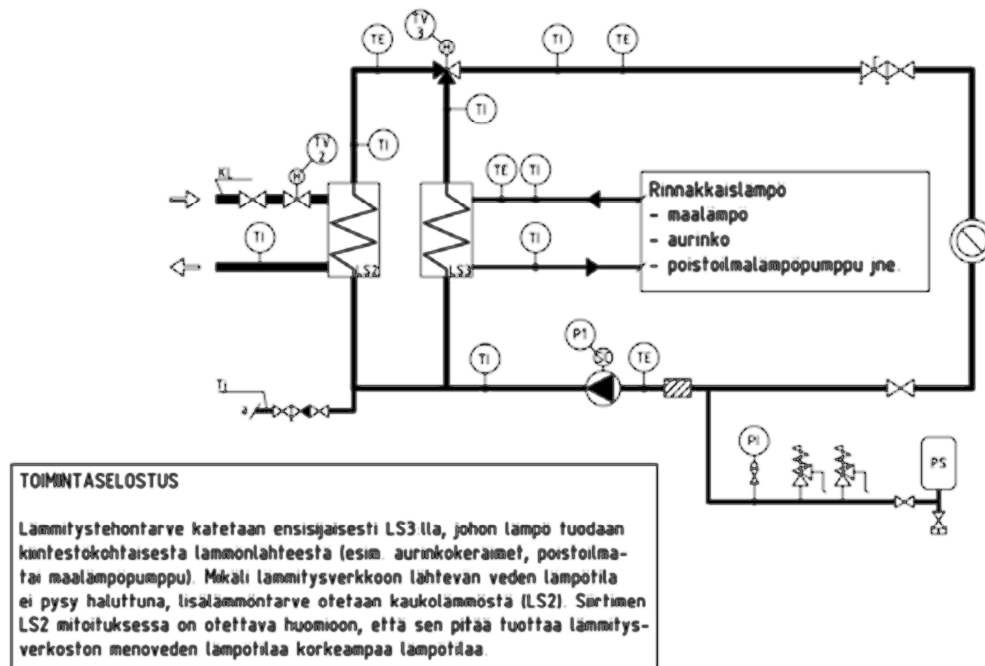
**Kuva L3.4:** Usean eri valmistajan maalämpöpumppujen COP-arvojen riippuvuus keuruu- ja luovutuspuolen lämpötilojen suhteesta käyttöveden valmistuksessa. (Tekniikan Maaailma 18/2012)

**Taulukko L3.3:** Poistoilmalämpöpumpujen tilojen ja käyttöveden lämmityksen yhteisiä SPF-lukuja poistoilman lämpötilan ollessa 21 °C. (Rakentamismääräyskokoelma D5)

Poistoilmalämpöpumppu	SPF-luku
Jäteilman alin lämpötila	
-3	2,4
1	2,1
3	2,0
5	1,9

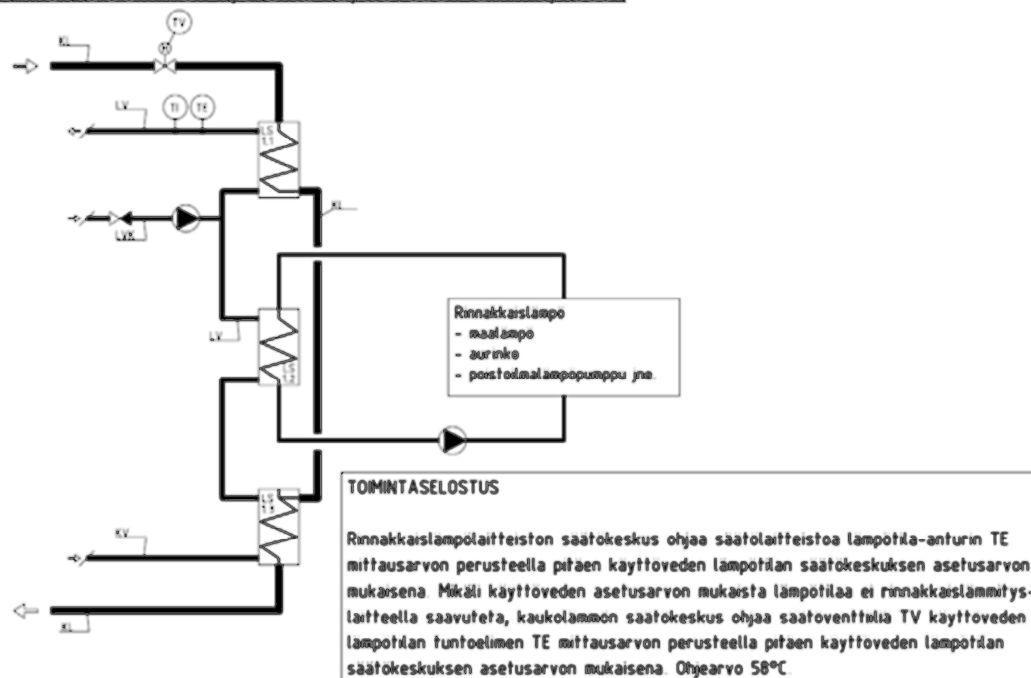
## LIITE 4: HYBRILÄMMITYSJÄRJESTELMÄN ESI-MERKKIKYTKENTÄ

Rinnakkaislämmön (rakennuskohtaisen lämmönlähteen) kytkentä tilojen lämmitykseen



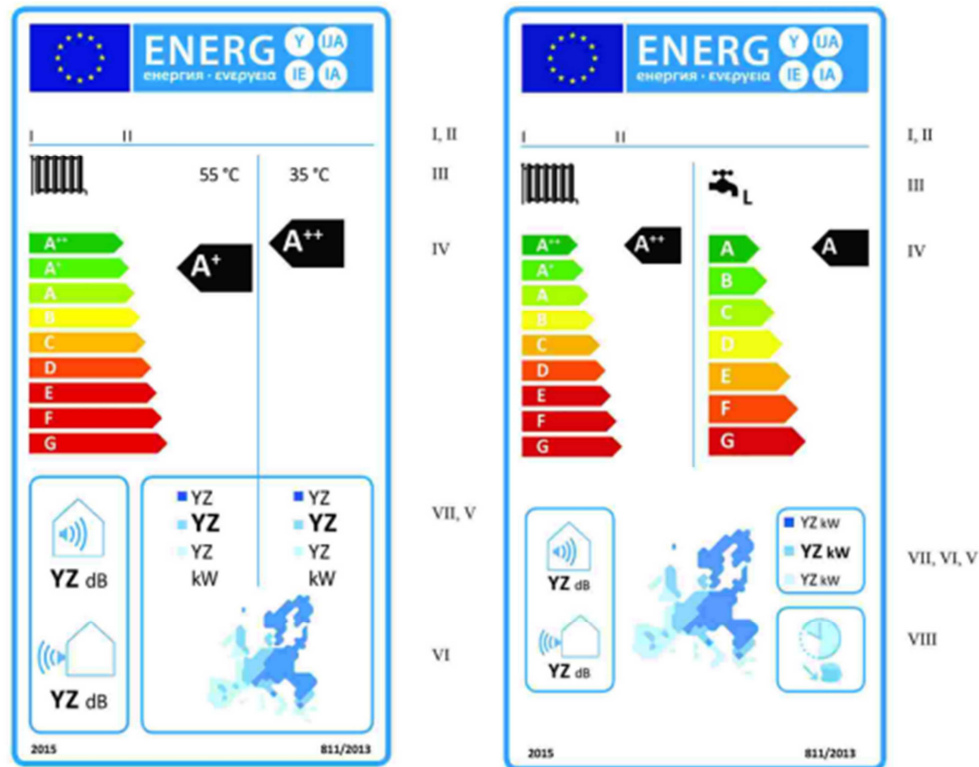
*Kuva L4.1: Energiategollisuus ry:n K1 ohjeistuksen mukainen kaukolämmön ja rinnakkaisen lämmönlähteen kytkentä asuinrakennuksen lämmitykseen. (Rakennusten kaukolämmitys 2014)*

### Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen



**Kuva L4.2 :** Energiateollisuus ry:n K1 ohjeistuksen mukainen kaukolämmön ja rinnakkaisen lämmönlähteen kytkentä lämpimän käyttöveden valmistukseen. (Rakennusten kaukolämmitys 2014)

## LIITE 5: LÄMPÖPUMPPUJEN MERKINTÄ



**Kuva L5.1:** EU säädöksen (811/2013/EU) mukainen lämpöpumppu merkintä kun lämpöpumppua käytetään tilojen lämmitykseen vasemmalla (esim. ilma-ilmalämpöpumppu) ja lämpöpumppuyhdistelmälämmittin (tuotetaan myös lämmintä käyttövetä) oikealla.

- Merkissä on ilmoitettava tavarantoimittajan nimi tai tavaramerkki ja tavarantoimittajan mallitunniste (I,II)
- Tilalämmitystoiminto keskilämpötilan ja matalan lämpötilan sovelluksille (III)
- Tilalämmityksen kausittainen energiatehokkuusluokka keskimääräisissä ilmasto-olosuhteissa keskilämpötilan ja matalan lämpötilan sovelluksille (IV)
- Nimellislämpöteho mukaan lukien mahdollisen lisälämmittimen nimellislämpöteho keskimääräisissä, kylmissä ja lämpimissä ilmasto-olosuhteissa keskilämpötilan ja matalan lämpötilan sovelluksille kilowatteina pyöristettynä lähimpään kokonaislukuun (V)
- Euroopan lämpötilakartta, jossa näytetään kolme ohjeellista lämpötilavyöhykettä (VI)
- Äänitehotaso (LWA) sisällä ja ulkona desibeleinä pyöristettynä lähimpään kokonaislukuun (VII)
- Lämpöpumppulämmittimen merkki niille laitteille, jotka voidaan ajoittaa toimimaan ainoastaan kulutushuippujen ulkopuolella (VIII)





## LIITE 7: AS OY VUORIKILPI, JYVÄSKYLÄ

As Oy Vuorikilpi on vuonna 1971 valmistunut 15 000 rak. kuutiometrin ja 60 huoneiston talo, jossa on koneellinen poistoilmanvaihto ja päälämmitysmuotona kaukolämpö. Poistoilmalämpöpumppu asennettiin As Oy Vuorikilpeen tammikuun 2013 lopussa. Lämpöpumpun harkinta taloyhtiöön lähti aktiivisen asukkaan toimesta. Aluksi taloyhtiöön mietittiin maalämpöä, mutta suunnittelijan kehotuksesta päädyttiin PILP-laitteistoon. Talon rakenteet ja sähköliittymä soveltuivat PILP:n asennukseen hyvin.

PILP toimii kaukolämmön rinnalla. PILP:n asennukseen kului ainoastaan kahdeksan päivää. PILP:ssa on kaksi 20 kW kompressoria, joista vain toinen on käytössä kesäaikaan. Rakennuksen katolle on asennettu kaksi kappaletta poistoilmapuhaltimia ja lämmönsiirtimet. Investoinnin hinnaksi tuli 120 000 € ja hoitolainaa taloyhtiö joutui ottamaan 60 000 €. ARA:n myöntämää investointitukea hankkeelle saatiin 15 % kokonaiskulutusta. Kesäaikaan PILP tuottaa lämpöä yli rakennuksen tarpeen ja suunnitteilla on tulevaisuudessa asentaa maalämpö PILP rinnalle, jolloin ylimääräinen lämpö voitaisiin ladata maaperään. Kesäaikaan rakennusta viilennetään tehostamalla ilmanvaihtoa yöaikaan.

Rakennuksen lämmitysenergian kulutustiedot on esitetty ennen ja jälkeen kaukolämmön asennuksen taulukossa L7.1. Lämpöpumpun asennuksen jälkeen kokonais sähkökulutus lähes kaksinkertaistui ja kaukolämmön kulutus laski noin 40 %. Kokonaisostoenergia väheni 23 % vuodessa. Kiinteistössä saatiin aikaan PILP:n asennuksella merkittävät säästöt energiakustannuksissa, noin 17 000 € ensimmäisen käyttövuoden aikana. Investoinnin kannattavuutta edisti rakennuksen melko korkea kaukolämmönkulutus 750 MWh vuodessa, jolloin ominaisenergiankulutukseksi tulee 50 kWh/rak.m<sup>3</sup>. Kappaleen lopussa olevissa laskelmissa kulutukset on normeerattu Jyväskylään, millä pyritään tasaamaan eri vuosien sään vaihteluiden vaikutusta.

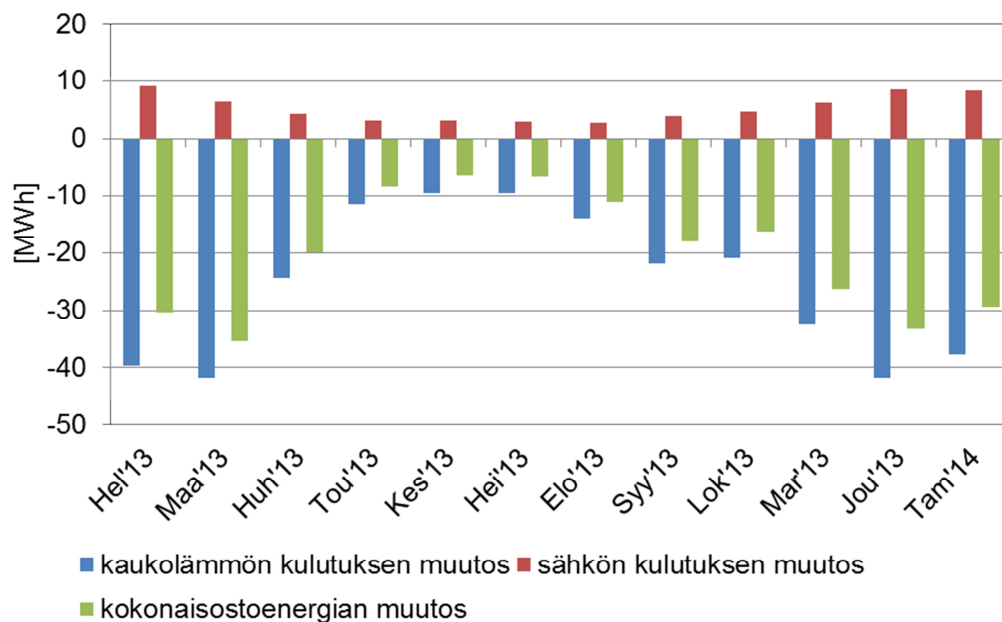
Normeeratuista lämmönkulutuksista laskettu lämmityskustannukset yhtiövästikkeestä olivat ennen poistoilmalämpöpumpun asennusta noin 92 snt/m<sup>2</sup>/kk. Tilastojen perusteella vastaavana ajankohtana rakennuttu asuinkerrostalo maksoi vuonna 2012 keskimäärin lämmityksestä 116 snt/m<sup>2</sup>/kk. As Oy Vuorikilven asukkaiden maksama yhtiövästike pidetään ennallaan, kunnes PILP:n tuomilla lämmityskustannusten säästöillä investointi saadaan maksettua takaisin. Investoinnin maksettua itsensä takaisin lämmityskustannukset pudottavat yhtiövästikettä lämmityksen osalta noin 23 snt/m<sup>2</sup>/kk. Asuinkerrostalossa on noin 60 asuntoa, jolloin asuntoa kohden yhtiövästikkeestä maksettu lämmitys tuo vuodessa 250 € säästön asuntoa kohden. Vuorikilvessä yhtiövästikettä ei ole tarkoitus laskea kun investointi on maksettu takaisin, vaan västike pidetään ennallaan ja lämmityskustannuksien säästöillä katetaan tulevaisuudessa putkiremontti. (Keski-Suomen Kiinteistöviesti 2013; Ingervo 2014; Kuulasmaa 2014)

Laitetoimittajalla on online-palvelu, josta voi seurata reaaliajassa lämpöpumppujen toimintaa ja järjestelmän lämpötiloja. Palveluntarjoaja toimittaa asiakkaalle kulutus-

tietoja kerran kuussa, tai ne ovat asiakkaan saatavilla online-palvelussa. Vikatilanteissa palveluntarjoaja saa hälytyksen ja kutsuu huoltoyhtiön paikalle selvittämään vian. Palveluntarjoaja pystyy myös hallitsemaan laitteistoa etäyhteydellä ja optimoida laitteen toimintaa. Rakennuksen katolla sijaitseva lämmönsiirrin pestään painepesurilla kerran vuodessa. Lämpöpumppuasennuksen yhteydessä ei vaihdettu patteri- tai linjansäätöventtiilejä, säädetty huonelämpötilaa tai muutettu lämmityskäyrää.

**Taulukko L7.1:** Energiankulutuksen vuosimuutokset normeerattuna ennen ja jälkeen poistoilmalämpöpumpun asennusta.

	[MWh]	[%]
kaukolämmön kulutus ennen	750,3	
kaukolämmön kulutus jälkeen	438,5	
kaukolämmön kulutuksen muutos	-305,2	-41,0 %
sähkön kulutus ennen	68,7	
sähkön kulutus jälkeen	132,3	
sähkön kulutuksen muutos	63,6	92,5 %
kokonaisostoenergia jälkeen	570,8	
kokonaisostoenergian muutos	-241,7	-23,3 %
lämpöpumpun vuosi COP	3,8	



**Kuva L7.1:** Energiankulutuksen muutos poistoilmalämpöpumpun asennuksen jälkeen.



**Kuva L7.2:** Poistoilmalämpöpumpun kompressorit (vasemmalla) ja lämminvesivaraajat (oikealla) sijaitsevat talon alakerrassa, jossa on myös kaukolämmönvaihdin.



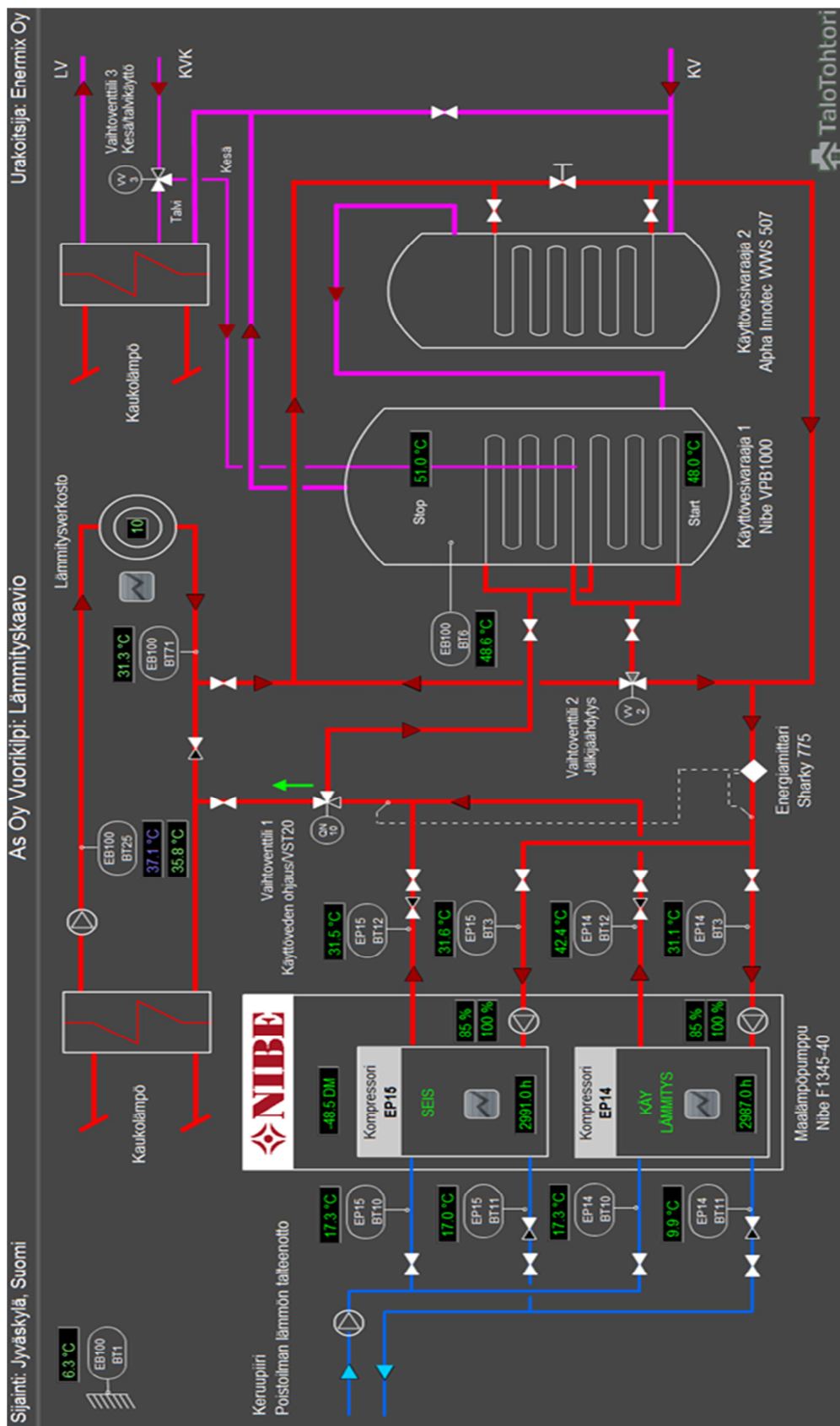
**Kuva L7.3:** Lämmönjakohuoneesta katolle menevät kylmäaineputket on sijoitettu metallikouruun talon ulkoseinälle.



**Kuva L7.4:** Kylmäaineputket kulkevat katolla poistoilmakanaviin, joihin on asennettu poistoilmapuhallin ja lämmönsiirrin.



*Kuva L7.5: Poistoilmapuhallin ja lämmönsiirtimet.*



**Kuva L7.6:** Enermix Oy:n etähallinta järjestelmän näkymä As Oy Vuorikilvestä.

