

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

# **LÄMMITYSRATKAISUIDEN ENERGIANKULUTUS JA KÄYTTÖKUSTANNUKSET PIENTALOISSA**

Matias Kosunen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Sähköinen suuntautumisvaihtoehto  
Tampereen ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Sähköinen talotekniikka

KOSUNEN, MATIAS:

Lämmitysratkaisuiden energiankulutus ja käyttökustannukset pientaloissa

Opinnäytetyö 72 sivua.

Toukokuu 2014

---

Opinnäytetyö on osa laajempaa Vuores-projektia, jossa mukana on Tampereen kaupungin lisäksi Tampereen ammattikorkeakoulu, ECO2-hanke ja Ekokumppanit Oy. Työssä tutkittiin erilaisten lämmitysratkaisuiden energiankulutusta ja käyttökustannuksia. Lämmitysenergian arvioimiseen käytettiin mittalaitteita, joilla mitattiin lämmityslaitteiden kulutusta reaaliajassa. Tutkittavina kohteina oli 15 omakotitaloa Vuoreksen asuntomessualueelta, joista neljään asennettiin mittalaitteet. Ensimmäiset mittalaitteet asennettiin tammikuussa 2014. Kohteiden sähkön- ja kaukolämmön kulutustiedot olivat käytettävissä. Ongelmana oli saada arvioitua vuoden 2013 lämmitysenergian osuus koko rakennuksen energiankulutuksesta.

Tulokset olivat suurimmaksi osaksi odotettuja. Maalämpöpumput olivat käyttökustannuksiltaan halvimmat lämmitysratkaisut, mutta ero sähkölämmitykseen oli odotettua pienempi. Kaukolämmön isot kustannukset olivat suurin yllätys. Ilma-vesilämpöpumpun kustannukset puolestaan asettuivat maalämmön ja sähkön kulutuksen väliin.

Tulosten pohjalta voidaan todeta, että maalämpöpumppu on hyvä lämmitysmuoto suuriin omakotitaloihin ja paljon lämmintä vettä käyttäviin talouksiin. Sähkölämmitys on hyvä ja kohtuullisen edullinen lämmitysratkaisu pieniin ja pienehköihin omakotitaloihin. Ilmalämpöpumppu on hyvä lisä sähkölämmitteiseen taloon. Kaukolämpöä ei voi suositella pientaloihin suurien järjestelmähäviöiden ja kerrostaloihin verrattuna korkeamman hinnoittelun vuoksi. Tulosten luotettavuutta parantaisi tarkastelujakson kanssa yhtenäinen mittausjakso vuoden ympäri.

---

Asiasanat: Energiankulutus, lämmitys, passiivitalot, matalaenergiatalot, pientalot

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Building Services  
Electrical Building Services

KOSUNEN, MATIAS:

Energy Consumption and Operating Costs of Heating Solutions in Single-family Houses

Bachelor's thesis 72 pages.

May 2014

---

This thesis is part of a wider Vuores project involving the city of Tampere, Tampere University of Applied Sciences, ECO2 project and Ekokumppanit Oy. The thesis studied the energy consumption and operating costs of various heating solutions. To calculate the heating energy, the measurement devices were used that measured the real time consumption of heating equipment. The examined target buildings were 15 single-family homes at Vuores housing fair area, four of them were installed the measuring devices. The first measuring devices were installed in January 2014. The consumption data of electricity and district heating in the target buildings was available. The problem was to assess the share of the 2013 heating energy of the total energy consumption in the building.

The results were mainly as expected. The operating costs of geothermal heat pumps were the cheapest, but the difference to electric heating was lower than expected. High costs of district heating were the biggest surprise. The costs of air-to-water heat pump were interposed between the geothermal heat pump and electric heating.

The results indicated that a geothermal heat pump is a good form of heating for large single-family houses and for households using a lot of hot water. Electric heating is a good and reasonably low-cost heating solution for small and smallish single-family houses. Air source heat pump is a great addition in an electrically heated house. District heating cannot be recommended for single-family houses because of large system losses and for apartment buildings because of tougher pricing. The reliability of the results would be improved if the reporting period had an unbroken measurement period throughout the year.

---

Key words: Energy consumption, Heating, passive houses, low-energy houses, single-family houses

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	PROJEKTIN TAUSTATIEDOT .....	6
2.1	Asuntomessut Vuoreksessa 2012 .....	6
2.2	Vuores-projekti.....	8
3	RAKENNUKSEN LÄMMITYSENERGIAN KULUTUS JA KUSTANNUKSET.....	9
3.1	Rakennuksen lämpöenergian tarve.....	9
3.1.1	Ilmanvaihto pientaloissa.....	9
3.1.2	Matalaenergia ja passiivitalot.....	10
3.2	Käytössä olevat lämmitysmuodot .....	10
3.2.1	Lämpöpumput yleensä .....	11
3.2.2	Maalämpöpumppu.....	13
3.2.3	Ilma-vesilämpöpumppu.....	19
3.2.4	Ilmalämpöpumppu .....	22
3.2.5	Sähkölämmitys.....	25
3.2.6	Kaukolämpö .....	25
4	KOhteiden PERUSTIEDOT .....	29
4.1	Kohteen B lämmitysmuotona maalämpöpumppu .....	29
4.2	Kohteessa E käytössä sähkö ja ilmalämpöpumppu .....	30
4.3	Kohteen H lämmitysmuotona maalämpöpumppu .....	31
4.4	Kohteessa K ilma-vesilämpöpumppu ja poistoilmalämpöpumppu.....	32
4.5	Kohteeseen I virtaa kaukolämpöä .....	33
4.6	Rakennusten vertailtavuus.....	34
5	KULUTUKSET JA KUSTANNUKSET.....	35
5.1	Mittalaitteet .....	35
5.2	Tulosten arviointitapa.....	39
5.3	Kohteiden lämmitysenergian kulutukset .....	43
5.4	Kohteiden lämmitysenergian kustannukset.....	53
5.5	Käyttökustannukset 150 m <sup>2</sup> ja kolmihenkisiksi vakioiduissa taloissa .....	57
5.6	Vertailu aikaisempiin tutkimustuloksiin .....	63
6	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	68
	LÄHTEET.....	70

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on käsitellä Vuoreksen asuinalueen pientalojen lämmitysmuotoja, selvittää niiden lämmitysenergiankulutuksia ja käyttökustannuksia. Työssä käsitellään erilaisilla lämmitysmuodoilla varustettujen kohteiden kulutuksia ja vertaillaan niitä keskenään. Työ on osa laajempaa Vuores-projektia, jossa mukana on Tampereen kaupungin lisäksi Tampereen ammattikorkeakoulu, ECO2-hanke ja Ekokumppanit Oy.

Vuores-projektiin on lähtenyt mukaan yhteensä 15 omakotitaloa Vuoreksen-asuntomessualueelta. Tässä opinnäytetyössä käsitellään tarkemmin niistä viittä matalaenergiataloa. Kohteissa käytetyt lämmitysmuodot ovat maalämpöpumppu, ilma-vesilämpöpumppu ja poistoilmalämpöpumppu, sähkölämmitys ja ilmalämpöpumppu, sekä kaukolämpö. Tarkasteluun on otettu mukaan kaikki erilaiset kohteet, joista on saatavilla tarvittavat tiedot lämmitysenergioiden tarpeeksi laajaa vertailua varten. Kohteet on nimetty projektissa kirjaintunnuksilla A:sta alkaen, joten tähän tarkasteluun mukaan otettujen kohteiden nimeäminen voi vaikuttaa epäloogiselta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on käsitellä kohteiden lämmitysenergian kustannuksia. Kohteiden käyttökustannuksia on tarkoitus vertailla mahdollisimman tasapuolisesti ja arvioida niiden perusteella kunkin lämmitysmuodon kannattavuutta.

Lämpöpumppujen tekniikkaa ja asennusvaihtoehtoja on käyty kattavasti läpi, koska ne ovat merkittäviä mitoituksen, käytettävyyden, käyttötarkoituksen ja etenkin järjestelmien hyötysuhteiden kannalta. Pumpun teknillistaloudellinen ja optimaalinen toiminta pyritään turvaamaan oikeilla mitoituksilla.

Käytettävissä oli kohteiden sähköenergian kulutustiedot ja kaukolämpökohteista myös kaukolämmön kulutustiedot. Asukkaiden käyttötottumuksia selvitettiin netissä täytettävän lomakkeen avulla. Lämmitysenergian kulutuksen selvittämiseksi kohteissa on ollut mittalaitteita laitteiden sähköenergian mittaamiseksi ja sisäilmaolosuhteiden selvittämiseksi.

## 2 PROJEKTIN TAUSTATIEDOT

Tampereen Vuorekseen on rakennettu moderni, ekologinen ja uudenlainen pikkukaupunki. Vesistöjen ympäröimälle Vuoreksen alueelle on rakennettu monipuolisesti kerros-, rivi- ja omakotitaloja. Osa asuntomessualueelle rakennetuista taloista on Vuores-hankkeen tutkimuskohteita.

### 2.1 Asuntomessut Vuoreksessa 2012

Asuntomessut järjestettiin Tampereen Vuoreksessa 13.7.- 12.8.2012. Vuores on Suomen suurimpia ja mielenkiintoisimpia kaupunkirakentamisen hankkeita. Messuilla oli esillä modernia arkkitehtuuria ja uusia teknologisia ratkaisuja yhdistettynä ekologisuuteen ja luonnonläheisyyteen. Alueen taloista osa on yksilöllisesti räätälöity rakennuttajaperheen tarpeiden mukaan ja osa on valmistalojen uusimpia malleja. Kohteet koostuivat rivi-, pari- ja kerrostaloista sekä 27 omakotitalosta. Yhteensä kohteita oli 39.

Ekotehokkuus oli yksi keskeisimpiä asioita asuntomessualueen rakentamisessa. Tampereen kaupungin ECO2-ilmasto- ja energiaohjelma oli tiiviisti mukana Vuoreksen toteutuksessa. Tampereen kaupunki on kannustanut rakentajia ekotehokkuuteen alentamalla tontin vuokraa 50 prosentilla viideksi vuodeksi, jos talo on rakennettu vähintään passiivitaloksi. Tämä on kannustanut kymmenen omakotirakentajaa rakentamaan passiivitalon ja kohteista kaksi on jopa nollaenergiataloja. Myös lämmitysratkaisuilla on pyritty vaikuttamaan ekotehokkuuteen. Monissa taloissa on käytetty uusiutuvan energian eri muotoja ja kaukolämpöä. Uusiutuvan energian ratkaisuista on käytössä erilaisia puulämmitysjärjestelmiä, aurinkokeräimiä, maa- ja ilmalämpöpumppuja. Nollaenergiataloissa käytetään myös aurinkopaneeleita tuottamaan sähköä talon tarpeisiin. (Osuuskunta Suomen Asuntomessut, 2012)



Kuva 1. Vuoreksen asuntomessualue (Osuuskunta Suomen Asuntomessut, 2012)

Yksi Vuoreksen alueen perusajatuksista on luonnon ja palveluiden lähellä asuminen. Kuvasta 1 voidaan nähdä, että alueelle on istutettu puita, talojen väliin on jätetty puistoja, alueella on palstaviljely alue ja asuinalueen ympäri kiertää pururata. Viljelypalstalla asukkaat voivat kasvaa marjoja, hedelmiä ja vihanneksia. Messutapahtuman pääteemaksi onkin valittu moderni puutarhakaupunki. Tällainen asuminen yhdistää luonnonläheisyyden, ekologisuuden ja uuden teknologian. Alun perin tällainen idea on syntynyt Englannissa ja sitä on päivitetty nykyaikaan Vuoreksen puutarhakaupunkimallissa. Liikennratkaisuista kaupunginosassa on pyritty tekemään joukkoliikennettä, pyöräilyä ja kävelyä tukevia. Myös palveluita ja harrastuspaikkoja on pyritty sijoittamaan lähelle. (Osuuskunta Suomen Asuntomessut, 2012)

## 2.2 Vuores-projekti

Vuoreksen olosuhde- ja energianseurantahankkeessa pyritään löytämään ratkaisuja energiatehokkaaseen rakentamiseen, taloteknisten laitteiden ja laitteistojen toimintaan sekä niiden huollon tarpeeseen ja käyttöön. Hankkeessa ovat mukana ECO2-hanke, Ekokumppanit Oy, Tampereen ammattikorkeakoulu ja Tampereen kaupungin Vuores-hanke.

Aikaisempina vuosina projekti on Tampereen ammattikorkeakoulun osalta ollut opiskelijavetoista, lähinnä tiedon keruuta ja taustatyötä, jolla on pyritty kartoittamaan kohteiden tekniset tiedot ja asukkaiden halukkuus projektiin. Projektissa on mukana 15 omakotitaloa Vuoreksen asuntomessualueelta. Projekti varsinainen tutkimus- ja selvitystyö polkaistiin käyntiin lokakuussa 2013, jolloin mukaan lähti kuusi oppilasta ja projektiryhmän opettajat. Oppilaat ovat neljännen vuosikurssin talotekniikan opiskelijoita ja tarkoitus on, että jokainen pystyy tekemään opinnäytetyön projektiin liittyen.

Projekti aloitettiin keräämällä asukkailta tiedot kohteiden arkkitehti-, sähkö- ja LVI-kuvien saatavuudesta ja hankittiin ne sähköisenä projektin käyttöön. Maanantaina 28. lokakuuta pidettiin asukasilta Vuoreksessa. Asukasillan tarkoituksena oli kertoa asukkaille tulevasta projektista, mittalaitteiden asennuksesta ja keskustella projektista heidän kanssaan.

Projektin aikana pyritään selvittämään mahdollisimman paljon sähkönkulutukseen liittyviä asioita kohteisiin vietävien mittalaitteiden avulla ja analysoida tuloksia monesta eri näkökulmasta. Projektissa selvitetään myös yleensä energian kulutusta ja muun muassa E-lukuja ja niiden paikkansapitävyyttä.

Vuores-projektin keskeisiä tutkimuskysymyksiä ovat seurantakohteiden energian ja veden kulutus, energian kulutukseen vaikuttavat tekijät, kulutuksen vastaavuus tehtyihin laskelmiin, ratkaisujen kustannukset, laitteiden ja järjestelmien toimivuus, sisäilmaolosuhteet ja asukkaiden kokemukset niistä. Tavoitteena on huomioida ratkaisujen energiatehokkuus, olosuhteet ja toimivuuden parantaminen. Lisäksi pyritään hakemaan ratkaisuja kuinka suunnitellaan sekä toteutetaan toimivia kokonaisuuksia ja kuinka alan ammattilaisten tulisi auttaa rakentajia löytämään tavoitteisiin soveltuvimmat kokonaisratkaisut.



### 3 RAKENNUKSEN LÄMMITYSENERGIAN KULUTUS JA KUSTANNUKSET

Rakennuksen lämpöenergian tarpeella on suuri vaikutus rakennuksen lämmitysmuodon valinnassa. Mitä suurempi lämmitysenergian tarve on, sitä paremmin lämpöpumput soveltuvat rakennuksen lämmittämiseen. Lämmitysmuoto onkin valittava yksilöllisten tarpeiden mukaisesti teknillistaloudelliset seikat huomioon ottaen. Lämmityksen käyttökustannuksiin vaikuttavat lämmitysenergian ja lämpimän käyttöveden tarve.

#### 3.1 Rakennuksen lämpöenergian tarve

Rakennusten lämmitysenergian tarpeeseen ja kustannuksiin vaikuttavat merkittävimmin rakennuksen vaipan johtumislämpöhäviöt, vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve, tuloilman ja korvausilman lämmitysenergian tarve, ilmanvaihdosta talteen otettu energia ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve. Johtumislämpöhäviöihin vaikuttavat rakenteen pinta-ala ja sen lämmönläpäisykerroin ( $W/(m^2K)$ ) eli U-arvo. Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarpeeseen vaikuttaa ilman ominaisuuksien lisäksi, vuotoilmavirta ( $m^3/s$ ), joka saadaan laskemalla mitatusta rakennusvaipan ilmanvuotoluvusta ( $m^3/(h m^2)$ ). Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarpeeseen vaikuttaa merkittävästi lämmöntalteenoton hyötysuhde ja vaihdettavan ilman määrä. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarpeeseen vaikuttavat veden ominaisuuksien lisäksi lämpimän käyttöveden kulutus. Käyttöveden energian kulutukseen vaikuttaa suoraan verrannollisesti asukkaiden määrä. Kaikkein merkittävin tekijä energian kulutuksessa on kuitenkin sisä- ja ulkolämpötilan ero. (Ympäristöministeriö, 2012a)

##### 3.1.1 Ilmanvaihto pientaloissa

Huoneilma voi tuntua tunkkaiselta jo silloin, kun sisäilman hiilidioksidipitoisuus ylittää arvon 1 200 ppm. Sisäilma ei ole terveydensuojalain täyttämää, jos sisäilman hiilidioksidipi-

toisuus ylittää 1 500 ppm arvon. Hiilidioksidin määrä voi kohota asuinhuoneiston makuuhuoneessa yön aikana, jos ilmanvaihto on liian vähäistä. (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2003) Ilmanvaihdon tarve riippuu sen epäpuhtauksista. Vaikuttavia tekijöitä on hiilidioksidin määrä, asumisen kosteuskuorma, pyykkinarukuivaus ja tupakoinnin aiheuttama häkäpitoisuus. Hiilidioksidin määrä saadaan pidettyä sallituissa rajoissa, kun ilmaa vaihdetaan 4 l/s henkilöä kohti. (Säteri, 1998, s. 12)

Ilmanvaihtolaitteiston kautta energiankulutus voi olla suurta, jos ilmanvaihtoa ei käytetä tarpeen mukaisesti. Ilmanvaihto on suositeltavaa laittaa pienemmälle aina, kun asunnossa ei olla paikalla. Pyykin kuivattaminen tai muu kosteuskuorma vaikuttaa ilmanvaihtokoneen käyttöasentoon. Ilmanvaihtokonetta käytetään täydellä teholla vain käryn poistoon, saunomisen aikana tai huomattavasti suuremman ihmismäärän ollessa talossa. (Motiva Oy, 2010)

### 3.1.2 Matalaenergia ja passiivitalot

Matalaenergiarakennuksessa laskennallinen lämpöhäviö tulee olla enintään 85 % rakennuksen vertailulämpöhäviöstä (Ympäristöministeriö, 2012b). Matalaenergiataloissa huonetilojen lämmitysenergian tarve on noin 40–60 kilowattituntia bruttoalaa kohti vuodessa. Suomessa matalaenergiatalojen rakentaminen on yleistä nykyään. (Energiatehokas koti, 2014)

Aikaisemmin passiivitalo määriteltiin taloksi, joka ei tarvitse lämmitys- eikä jäähdytysjärjestelmää. Suomen olosuhteissa tämä on hyvin vaikeaa. Passiivitalolle onkin määritelty kolme kriteeriä; Keski-Suomessa huonetilojen lämmitysenergian tarve täytyy olla pienempi kuin 25 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa, kokonaisprimäärienergian tarve pienempi kuin 135 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa ja ilmavuotoluku n<sub>50</sub> alle 0,6 kertaa tunnissa. (Energiatehokas koti, 2014)

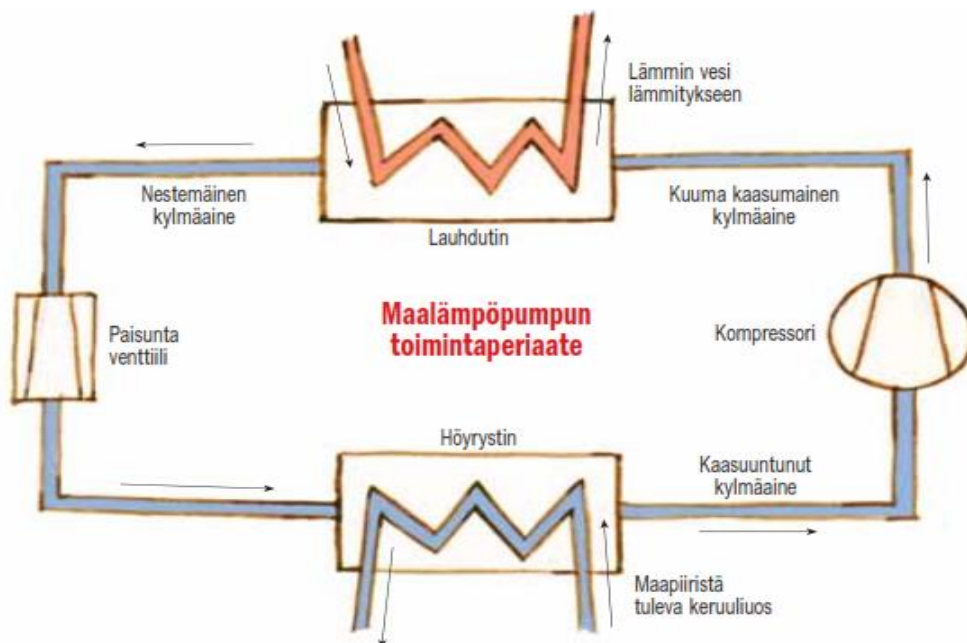
## 3.2 Käytössä olevat lämmitysmuodot

Lämmitysmuodolla ja lämmönjakotavalla on suuri merkitys rakennusten lämmitysenergiankulutukseen ja kustannuksiin. Lämpöpumpuilla pystytään säästämään energiaa rakennusten

ja käyttöveden lämmittämisessä. Lämmönjakotavalla voidaan vaikuttaa järjestelmähäviöihin.

### 3.2.1 Lämpöpumput yleensä

Lämpöpumppujen suosio on kasvanut pientalojen lämmitysmuotona. Lämpöpumpputekniikalla voidaan siirtää lämpöä viileämmästä lämpimämpään. Rakennusten lämmittämiseen tarkoitettujen lämpöpumppujen toimintaperiaate on hyvin samankaltainen kuin kylmälaiteissa oleva lämpöpumppu. Hyvä käytännön sovellus on jääkaappi, jossa lämpöpumppu ottaa lämmön sisäpuolelta ja siirtää sen ulkopuolelle. Riippuen lämpöpumpun tyypistä, lämpöenergiaa voidaan ottaa maasta, kalliosta, vedestä tai ilmasta ja siirtää rakennuksen tai käyttöveden lämmittämiseen. Kun lämpöenergiaa otetaan maasta, kalliosta tai vedestä ja siirretään energiaa veden lämmittämiseen, puhutaan maalämpöpumpuista (MLP). Kun lämpöenergiaa otetaan ulkoilmasta ja siirretään energiaa veden lämmittämiseen, puhutaan ilma-vesilämpöpumpuista (IVLP). Jos energia siirretäänkin suoraan rakennuksen sisäilmaan, puhutaan ilmalämpöpumpuista (ILP). Samoja laitteita voidaan monesti käyttää myös tilojen viilennykseen. (Energiatehokas koti, 2014; Sulpu ry, 2014)



KUVIO 1. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Energiatehokas koti, 2014)

Kuviossa 1 on maalämpöpumpun toimintaperiaatekuva, mutta se on hyvin yleispätevä kaikille pumpputyypeille. Lämpöpumpun pääosat ovat kompressori, paisuntaventtiili, höyrystin ja lauhdutin. Kaikille lämpöpumpuille on tyypillistä, että lämpöenergiaa otetaan talteen lämpöpumpun kylmäainekiertoon lämmönvaihtimen eli höyrystimen avulla. Eri lämpöpumpputyypeillä vaihtelee yksinkertaistettuna vain se, mistä lämpö otetaan talteen. Kylmäaineesta lämpö siirretään lämmönjakojärjestelmään lauhduttimen avulla. (Motiva Oy & Sulpu ry, 2012; Energiatehokas koti, 2014)

Lämpö saadaan pumpun kylmäaineeseen siten, että lämmönkeruupiirin tai ilman lämpö höyrystää höyrystimessä kylmäaineen. Nestemäisen kylmäaineen höyrystyessä, siihen sitoutuu lämpöä. Kompressori puristaa höyryn pienempään tilaan nostaten sen painetta. Kun paine kasvaa, nousee myös lämpö suureksi, jopa sataan asteeseen. Paineistettu kuuma kylmäainehöyry menee lauhduttimeen, jossa se luovuttaa lämpönsä lämmitykseen, samalla jäähtyen ja muuttuen takaisin nesteeksi. Jäähtynyt kylmäaine menee paineenalennusventtiilin kautta, jossa paine laskee jäädyttäen kylmäaineen takaisin höyrystettäväksi. Lämpötila voi tässä vaiheessa olla  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , joten alle  $0$  asteinen keruupiirin neste tai ilma lämmittää sitä hyvin ja höyrystää sen. (Motiva Oy & Sulpu ry, 2012)

Lämpöpumppujen kannattavuuden perusta on se, että ne pystyvät tuottamaan enemmän lämpöenergiaa kuin ottavat sähköenergiaa. Tätä pumppujen hyötysuhdetta kuvaa lämpökerroin. Se kertoo, kuinka paljon pumppu tuottaa lämpöenergiaa kuluttamaansa sähköenergiaan verrattuna. Jos pumpun hyötysuhde on  $300\%$ , sen lämpökerroin on kolme. Eli käytännössä yhdellä kilowatilla sähköä saadaan kolme kilowattia lämpöä. Lämpökerroin ilmoitetaan lämpöpumppujen yhteydessä monesti COP-lukuna (Coefficient Of Performance). COP-lukuja voidaan kuitenkin ilmoittaa moniin eri mittaustapoihin nojautuen, joten ne eivät aina ole vertailukelpoisia keskenään. (Energiatehokas koti, 2014; Sulpu ry, 2014)

Lämpöpumpulla voidaan siirtää lämpöenergiaa viileämmästä lämpimämpään. Lämpöpumppu toimii parhaalla lämpökertoimella, kun lämpötilaero on mahdollisimman pieni lämmönkeruun ja -luovutuksen välillä. Rakennusta lämmitettäessä lämpökerroin on sitä parempi mitä lämpimämmästä paikasta lämpöä kerätään. Talvella maa on huomattavasti lämpimämpi kuin ilma ja kesällä ilma on huomattavasti lämpimämpi kuin maa. Energiaa kannattaa siis

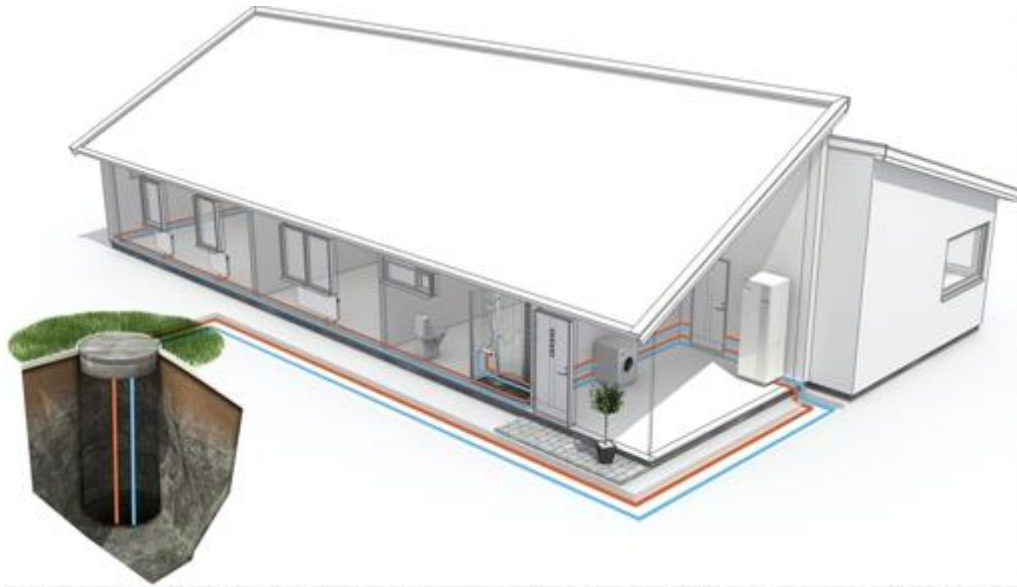
kerätä mahdollisimman lämpimästä ja luovuttaa sitä mahdollisimman viileään. (Energiatehokas koti, 2014)

Patteriverkoston menoveden lämpötila voi olla uudisrakennuksessa  $60\text{ °C} - 70\text{ °C}$  ja vanhemmissa rakennuksissa jopa  $80\text{ °C} - 90\text{ °C}$  (VTT Rakennus- ja yhdyskunta tekniikka, 2003). Vesikiertoisien lattialämmityksen menoveden lämpötila on tyypillisesti noin  $30\text{ °C}$  ja kuumimmillaan noin  $40\text{ °C}$  (Motiva Oy & Sulpu ry, 2012). Parasta lämpökerrointa tavoiteltaessa lämpö kannattaa luovuttaa patteriverkoston sijaan lattialämmitykseen (Energiatehokas koti, 2014).

### 3.2.2 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu on tällä hetkellä yleisin uusien pientalojen lämmitysmuoto. Sellainen asennettiin lähes 50 %:iin uusista taloista vuonna 2011. Maalämpöpumppu on lämpökertoimeltaan paras, mutta kallein lämpöpumpputyyppeistä. Tyypillinen vuosilämpökerroin on noin kolme. Se tarkoittaa sitä, että pumpun tuottamasta lämmöstä on 2/3 maaperästä otettua uusiutuvaa energiaa ja 1/3 on pumpun tarvitsemaa sähköenergiaa. Lämpökerroin on vähän pienempi käyttövettä lämmitettäessä ja suurempi viileämpää lämmitysvettä lämmitettäessä. Maalämpöpumppujen COP-luvut perustuvat yleensä Suomen olosuhteisiin sopiviin standardeihin, mutta niistä voidaan johtaa useita erilaisia COP- arvoja. Tästä syystä täytyy olla tarkkana COP-arvojen suhteen. (Lämpövinkki Oy, 2013; Sulpu ry, 2014)

Maalämpö on hyvä lämmitysmuoto suurille ja keskisuurille taloille. Maalämpöpumppu kerää lämpöä maaperään, kallioon tai veteen varastoituneesta auringon lämpöenergiasta. Lämpökaivoratkaisuissa energiaa saadaan myös maapallon ytimeistä peräisin olevasta fissioenergiasta ja lämpimistä pohjavesivirtauksista. (Motiva Oy, 2014; Energiatehokas koti, 2014)



KUVIO 2. Lämpökaivo ratkaisu (Suomen Ekolämpö Oy, 2014)

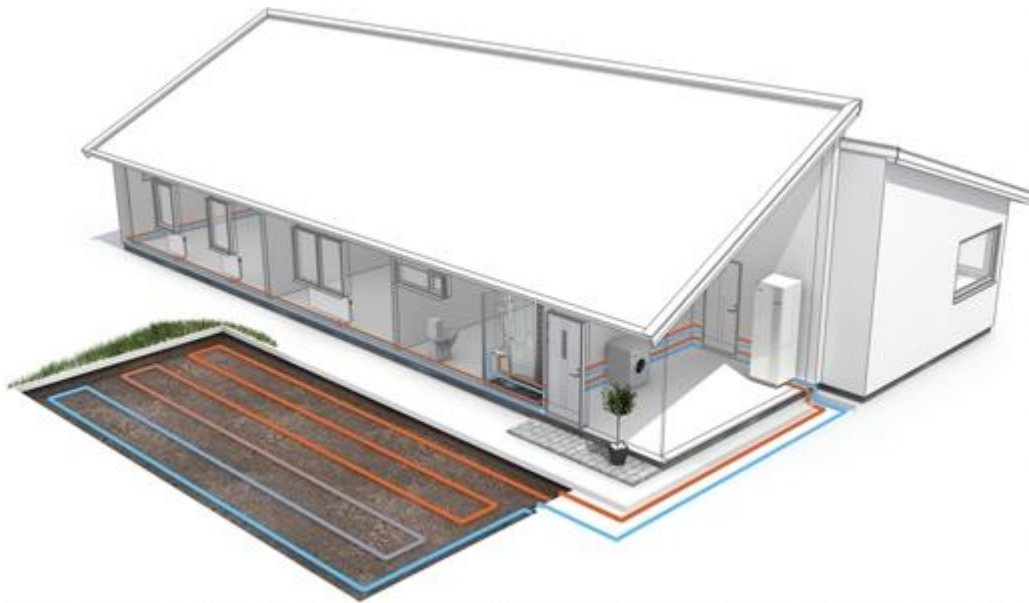
Maalämpökohteista yli 60 % toteutetaan peruskallioon poratulla lämpökaivolla. Etelä-Suomessa lämpökaivoja suositaan (80 %) pohjoista enemmän ahtaamman rakennustekniikan vuoksi. (Energiatehokas koti, 2014) Lämpökaivo on pystysuora reikä peruskalliossa keruupiiriä varten. Kuviossa 2 keruupiiri on sijoitettu lämpökaivoon ja lämpöputket menevät maalämpöpumpulle. Porauksella saadaan sijoitettua keruupiiri maan sisään huomaamattomasti eikä tonttia tarvitse möyhentää laajalta alueelta, mutta se on lämmönkeruuvaihtoehdoista kaikkein kallein. Kallion lämmönjohtokyky on parempi kuin pintamaan ja kalliopiiristä saadaan tasaisesti energiaa ympäri vuoden. (Suomen Ekolämpö Oy, 2014; Motiva Oy, 2014; Teknologikeskus Oy Merinova Ab, 2014)

Kalliopiiriä voidaan käyttää myös viilennykseen. Se on hyvä viilennyksen lähde, koska kalliion lämpötila on suhteellisen tasainen ympäri vuoden. Kun rakennusta viilennetään, keruupiirissä kulkeva neste lämpenee rakennuksessa, jolloin lämmennyt neste lämmittää kalliota. Tätä sanotaan lämpövaraston lataamiseksi. (Teknologikeskus Oy Merinova Ab, 2014)

Suomen Kaivonporausurakoitsijoilla on käytössä kriteeristö normilämpökaivoille, joihin monet alan yrittäjät ovat sitoutuneet. Kriteerit määrittävät minimitasan, joilla kaivo tulee tehdä. Kriteerit ottavat huomioon kaivon sijoituksen, mitoituksen, koon, suojaamisen, lämmönkeruuputkiston, ympäristöasiat ja muut sellaiset. Kriteereillä pyritään takaamaan,

että lämpökaivoista saadaan mitoituksen mukainen teho käyttöön. (Suomen Kaivonporausurakoitsijat ry, 2014)

Yleensä kallioon porattu kaivo täyttyy vedellä pohjavesivirtausten ja kallion ruhjeiden takia. Kaivo ei kuitenkaan aina täyty vedellä. Tällaisissa tapauksissa kaivo on täytettävä vedellä, koska vesi toimii lämmönsiirtonesteinä kallion ja keruuputken välillä. Porareijän syvyys ja määrä määritetään rakennuksen lämmöntarpeen mukaan. Reijän käytännön maksimisyvyys on noin 300 metriä, mutta tavallisesti reijän syvyys on noin 200 metriä. Jos yhdestä kaivosta ei saada tarpeeksi tuottoa, porataan useampia kaivoja. Kaivojen etäisyys toisistaan tulee olla vähintään 15–20 metriä, mutta jos kaivot porataan viistoon voivat ne olla lähempänä toisiaan. Aktiivireikä tarkoittaa sitä osaa, jossa kerääjäputket ovat vedessä vuoden ympäri. Lämpökaivon vettä ei saa käyttää talousvetenä. Mikäli vettä on riittämiin, sitä voi käyttää esimerkiksi kasteluvetenä. On otettava kuitenkin huomioon, että kaivon aktiivisyvyys vaihtelee, jos veden pinta muuttuu käytön johdosta. Jos aktiivisyvyys vaihtelee, vaihtelee myös keruupiiristä saatava teho. (Teknologiakeskus Oy Merinova Ab, 2014; PT Energiaporaus Oy, 2014; Suomen Kaivonporausurakoitsijat ry, 2014)



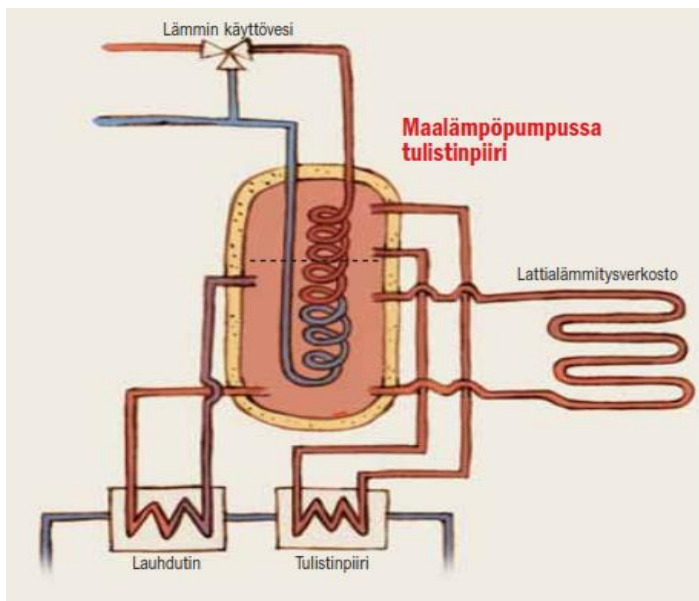
KUVIO 3. Vaakaputkisto (Suomen Ekolämpö Oy, 2014)

Keruupiiri voidaan asentaa myös pintamaahan kuvion 3 mukaisesti, silloin lämmönkeruupiiriä kutsutaan vaakaputkistoksi. Noin 30 % maalämpökohteista käyttää vaakaputkistoa, jolla kerätään maan pintakerrokseen varastoitunutta auringon säteilyenergiaa. Putkistot asennetaan noin metrin syvyyteen ilmastovyöhykkeestä riippuen, Pohjois-Suomessa yleensä syvemmälle. Putkien asennuksessa on huomioitava, että ne asennetaan vähintään puolentoista metrin päähän toisistaan. Maaperän lämmönjohtokyvyllä on suuri merkitys vaakaputkiston toiminnan kannalta, ja kosteudella on suuri merkitys lämmönjohtokykyyn. Siitä syystä savimaa on hiekkamaata parempi lämmönkeruun kannalta ja siinä tarvitaankin noin 30–40 % vähemmän putkea. Vaakaputkisto on yleensä myös edullisin lämmönkeruutavoista, mutta se vaatii paljon tilaa. Ahtaalla tontilla ei ole mahdollista rakentaa vaakaputkistoa. Vaakaputkiston lämpötilan vaihtelu vuodenaikojen mukaan on suurempaa kuin kalliossa, joten se ei sovellu esimerkiksi jäähdytykseen niin hyvin kuin kalliopiiri. (Motiva Oy, 2014; Teknologiakeskus Oy Merinova Ab, 2014; Motiva Oy & Sulpu ry, 2012)

Vesistöön sijoitetut lämmönkeruupiirit ovat harvinaisempia. Vuosittain vesistöihin asennetaan noin 5 % kaikkien maalämpökohteiden keruupiireistä. Tyypillisimmät sijoituspaikat ovat järvessä ja meressä, mutta jokeen asentaminen on myös mahdollista. Koska vedessä on paremmat lämmönsiirto-ominaisuudet, vesistöön sijoitetusta lämmönkeruuputkistosta on mahdollista saada suurempia tehoja ja energiamääriä kuin maahan sijoitetusta. Putkisto asennetaan ankkuroimalla se vesistön pohjaan painoilla 3–5 metrin välein. Veden tulisi talvellakin päästä vapaasti vaihtumaan putken ympäriltä, siksi sitä suositellaankin asennettavaksi yli kahden metrin syvyyteen. Veteen sijoitus ei kuitenkaan ole ihan ongelmaton. Vaarana on jään kertyminen putken pinnalle, mikä heikentää lämmönsiirtokykyä ja voi pahimmassa tapauksessa nostaa putket veden pinnalle. Ongelma on suurin virtaavassa vedessä, koska virtaavan veden lämpötila voi laskea alle veden normaalin jäätymispisteen. Tällaisessa tilanteessa on syytä tarkistaa veden lämpötila etukäteen. Vesistöasennus voi olla hieman lämpökaivoratkaisua halvempi, mutta teknillistaloudellinen mielekkyys on arvioitava jokaisessa tapauksessa erikseen (Motiva Oy, 2014; Motiva Oy & Sulpu ry, 2012)



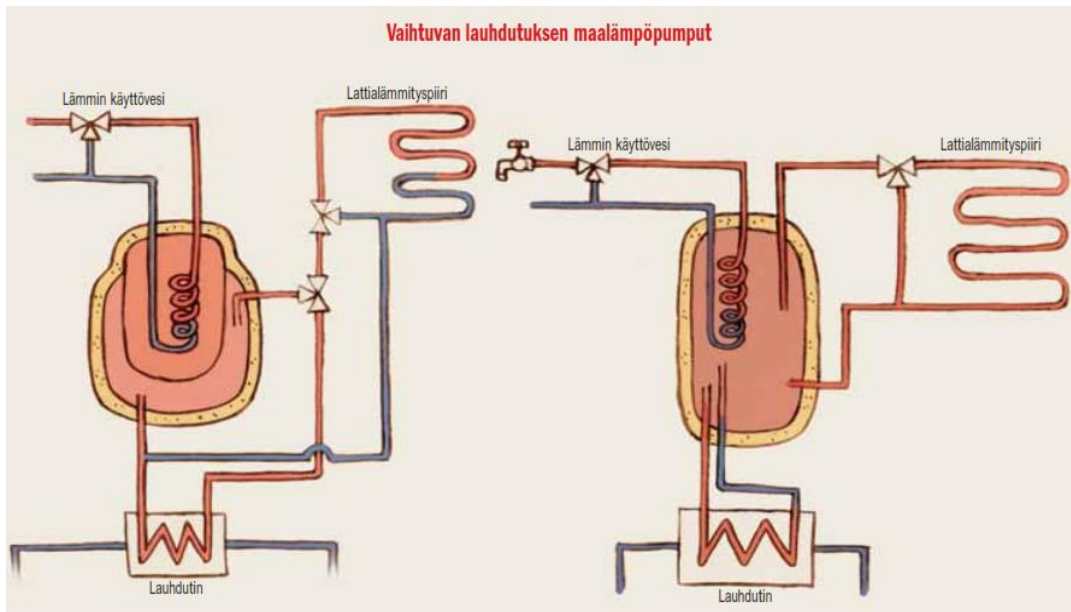
Maalämpöpumput toimivat kuten muutkin lämpöpumput riippumatta keruupiirityypistä. Keruupiirissä neste lämpenee muutamia asteita matkansa aikana. Keruupiiristä energia otetaan talteen höyrystimellä, josta lämpö siirretään lämpöpumpppuprosessilla lauhduttimelle ja siitä eteenpäin lämpimään käyttövedeen ja rakennuksen lämmittämiseen. Maalämpöpumppuja on erilaisia. Suurimmat erot ovat siinä miten lämmin käyttövesi lämmitetään. Lämpimän käyttöveden lämmittämässä eroavaisuuksia on esimerkiksi lauhduttimien määrässä, lämmönjako tai -varastointitavassa. (Sulpu ry, 2014; Energiatehokas koti, 2014; Motiva Oy & Sulpu ry, 2012)



KUVIO 4. Maalämpöpumppu tulistinpiirillä (Motiva Oy & Sulpu ry, 2012)

Tulistinpiirillä varustetussa maalämpöpumpussa on yleensä jaettu varaaja, jossa yläpuolella on lämpimämpi käyttövedeen tarkoitettu osa ja alapuolella viileämpi lämmitysvedeen tarkoitettu osa. Kuviosta 4 voidaan nähdä periaatekuva tulistinpiirillisestä maalämpöpumpusta. Käyttöveden kierukka ulottuu kuitenkin myös varaajan alaosaan, jossa vesi esilämmitetään ja se saavuttaa varsinaisen lämpötilansa varaajan yläosassa. Siinä on myös kaksi lämmönvaihdinta, tulistinpiirin lämmönvaihdin ja lauhdutin lämmitysvedelle. Lämpöpumpppuprosessissa kaikkein kuumin kylmäainehöyry on heti kompressorin jälkeen. Tämän takia tulistinlämmönsiirrin on sijoitettu heti kompressorin jälkeen, jolloin kuuminta kylmäainehöyryä voidaan käyttää kuumimman veden eli varaajan yläosan käyttöveden lämmittämiseen. Kylmäaine jäähtyy tulistimessa hieman, siirtyy varsinaiseen lauhduttimeen ja luovuttaa lopun

lämpöenergiansa varaajan alalaidan lämmitysvedeen. Tulistinmaalämpöpumppu voidaan varustaa integroidulla tai erillisellä varaajalla. Tällaisen lämpöpumpun etu on se, että lämpökertoimeen vaikuttava lauhtumislämpötila pysyy jatkuvasti niin alhaisena kuin lämmitystarve vaatii. Tulistinlämmönvaihtimella saadaan tarpeeksi kuumaa käyttövettä ilman sähkövastuksia. (Motiva Oy & Sulpu ry, 2012)



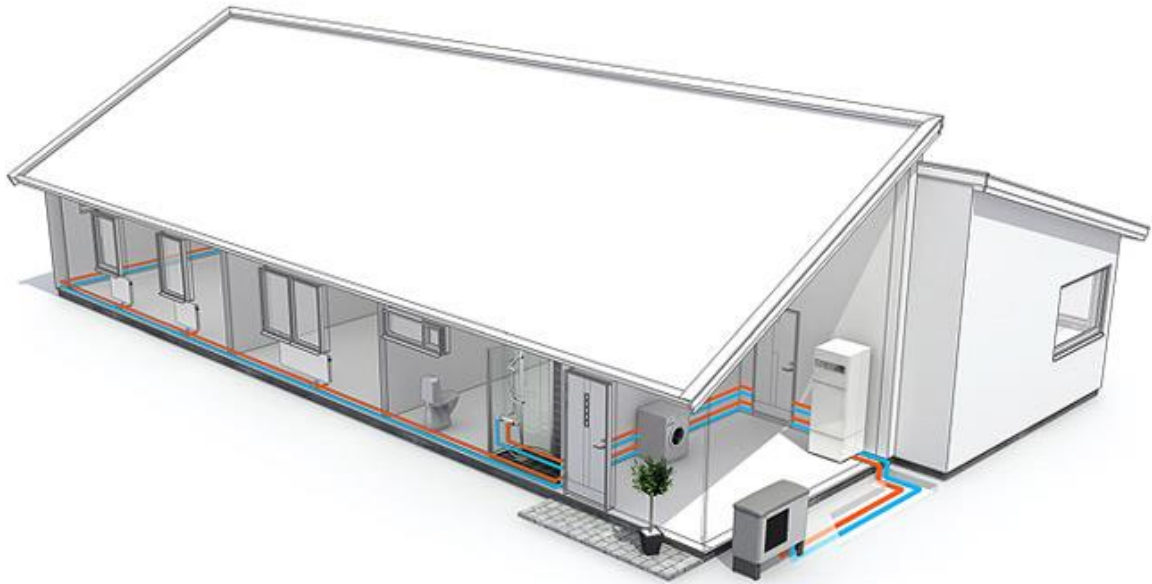
KUVIO 5. Vaihtuvan lauhtuksen maalämpöpumput (Motiva Oy & Sulpu ry, 2012)

Vaihtuvan lauhtuksen maalämpöpumpussa (kuvio 5) käyttövettä ja lämmitysvettä ei lämmitetä samaan aikaan, toisin kuin tulistinpumpussa. Tällainen pumppu voi lämmittää viileämpää lämmitysvettä hyvällä lämpökertoimella ja sitten lämmittää erikseen kuumempaa käyttövettä huonommalla lämpökertoimella. Lämpimän käyttöveden lämmitys on lämmitystä tärkeämpää, joten varaajan lämpötilan laskiessa lämmitetään käyttövettä tarpeeksi kuumaksi, jolloin lämpöä ei mene lainkaan lämmitysverkoston. Huoneiden lämmitys voidaan katkaista hetkeksi ilman, että huoneiden lämpötilat pääsevät merkittävästi laskemaan. Vaihtuvan lauhtuksen maalämpöpumppu on yleensä toteutettu kaksoisvaippavaraajalla tai lämmityskierukalla. Lämmityskierukassa varaajan vettä lämmitetään suoraan ja lämmitys otetaan myös suoraan varaajasta. Kaksoisvaippavaraajassa lämmintä vettä kierrätetään ulkoosan läpi, jolloin sisemmän varaajan käyttövesi lämpenee. Käyttöveden ollessa tarpeeksi lämmintä, otetaan lämmin vesi lauhttimelta suoraan lämmitysverkoston. (Motiva Oy & Sulpu ry, 2012)

### 3.2.3 Ilma-vesilämpöpumppu

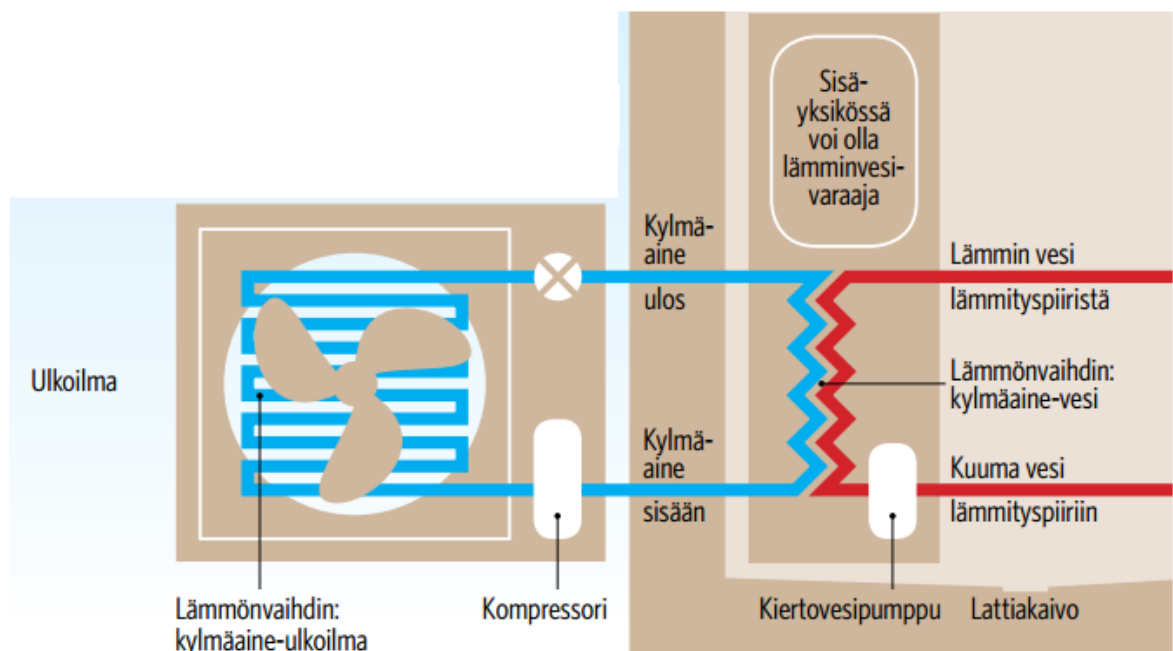
Ilma-vesilämpöpumput ovat uusin lämpöpumpputyyppejä. Ne eivät ole vielä kovin yleisiä, mutta ovat yleistyneet paljon muiden lämpöpumppujen ohella. Lämpöä voidaan ottaa lämpöpumpulla ilmasta. Kun lämpö siirretään ilmasta veden lämmittämiseen, pumppua kutsutaan ilma-vesilämpöpumpuksi tai tarkentavasti ulkoilma-vesilämpöpumpuksi. Niitä käytetään lämmitysveden ja käyttöveden lämmittämiseen. Ilma-vesilämpöpumpun vuosihyötysuhde ei ole niin hyvä kuin esimerkiksi maalämpöpumpulla. Ilma-vesilämpöpumpulla voi säästää 40–60 % lämmitysenergiatarpeesta suoraan sähkölämmitykseen verrattuna. Vuosilämpökerroin on siten tyypillisesti 1,4–2,7, mutta se voi jäädä huonommaksi. Lämpökerrotimeen vaikuttavat olosuhteet ja lämmönjakotapa kuten muissakin lämpöpumpuissa. Mitä pienempi lämpötilaero on, sitä suurempi lämpökerroin on.

Olosuhteisiin vaikuttavat merkittävästi maantieteellinen sijainti, näin ollen Etelä-Suomen sisäosat ovat kaikkein suotuisimmat lämpöpumpuille, jotka ottavat energiansa ilmasta. Kylmällä ilmalla ilma-vesilämpöpumpun suorituskyky on heikko. Jos lämpötila laskee alle  $-20^{\circ}\text{C}$ , niin pumppu antaa 50 % vähemmän tehoa kuin  $+7^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa, jossa pumppujen tehot yleensä ilmoitetaan. Suomen pohjoisosat ovatkin haasteelliset ilma-vesilämpöpumpulle. Kompressorilla voidaan saada veden lämpötila noin  $50\text{--}60^{\circ}\text{C}$  tasolle. Kovalla pakkasella ja suuren veden kulutuksen aikaan tarvitaan sähkövastuksia tai jotain muuta lämmitysmuotoa nostamaan veden lämpötila tarpeeksi korkealle. (Motiva Oy & Sulpu ry, 2008; Motiva Oy, 2014; Tampereen teknillinen yliopisto, 2012; Energiatehokas koti, 2014; Motiva Oy, 2011)



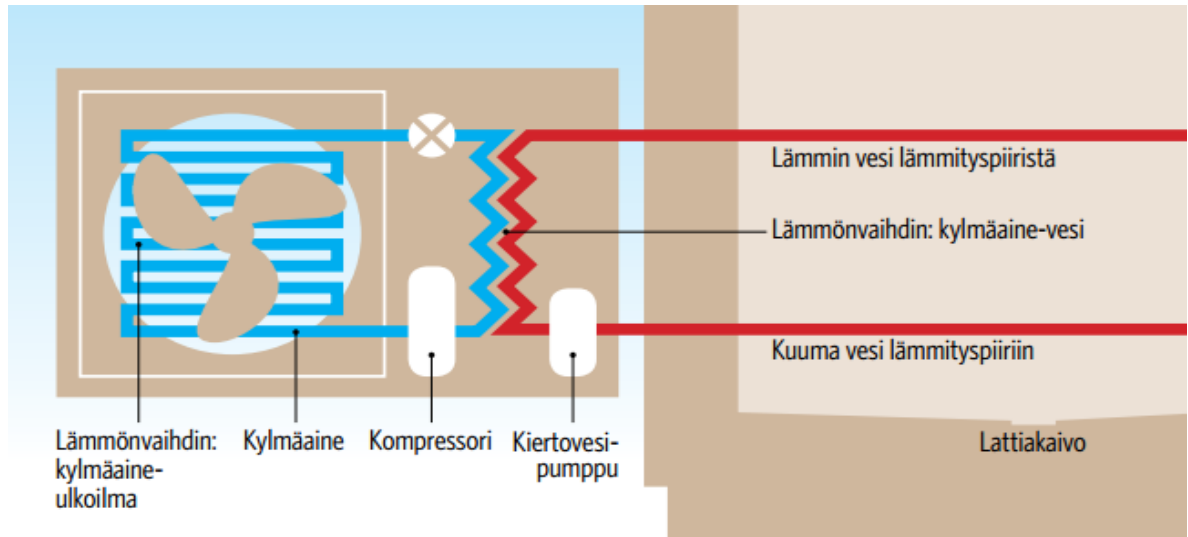
KUVIO 6. Ilma- vesilämpöpumppu lämmitysjärjestelmä (NIBE Energy Systems Oy, 2014)

Lämpöpumppuprosessi on ilma-vesilämpöpumpussa hyvin samanlainen kuin muissakin lämpöpumpuissa ja siinä on samat peruskomponentit. Ilma-vesilämpöpumppuja on kahta tyyppiä, split- ja monoblock-laitteita. Kuviossa 6 on esitelty NIBE:n ilma-vesilämpöpumpun sisäyksikkö, ulkoyksikkö ja lämmönjakotukitot.



KUVIO 7. Split-tyyppinen ilma-vesilämpöpumppu (Motiva Oy, 2011)

Split-laitteissa lämpöpumppprosessi on jaettu ulko- ja sisäyksikköön. Kuviossa 7 on esitetty split-tyyppisen ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaate. Ulkoyksikköön kuuluvat höyrystin, kompressor ja puhallin, joka kierrättää ulkoilmaa höyrystimen läpi ja tehostaa energian siirtymistä ilmasta kylmäaineeseen. Sisäyksikössä puolestaan on lauhdutin. Näiden yksiköiden välillä kiertää kylmäaine, joka siirtää ilmasta otetun lämpöenergian sisäyksikölle. Sisäyksikön lauhduttimella lämmennyt vesi puolestaan siirtyy varaajaan ja lämmitysverkostoon.



KUVIO 8. Monoblock-tyyppinen ilma-vesilämpöpumppu

Monoblock-laitteissa lämpöpumppprosessi tapahtuu kokonaisuudessaan ulkoyksikössä, jossa höyrystin ja lauhdutin sijaitsevat (kuvio 8). Ulkoyksiköstä lämpöenergia siirretään kiertävän veden mukana varaajaan, jolloin kylmäaine putkia ei tarvitse tuoda rakennuksen sisälle. Monoblock-laitteet voidaan integroida helposti olemassa olevan lämmityksen rinnalle vetämällä vesiputket suoraan vanhaan varaajaan. (Energiatehokas koti, 2014; Senera Oy, 2014; Motiva Oy, 2011)

Ongelmana ilma-vesilämpöpumpun toiminnassa on kosteuden tiivistyminen ja huurtuminen ulkoyksikön höyrystimen pinnalle, joka johtuu höyrystimen läpi virtaavan ilman voimakkaasta jäähtymisestä. Ulkoyksikössä voi tiivistyä vettä jopa 10 litraa vuorokaudessa, se on hyvä ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Kaikkein voimakkainta huurtuminen on lämpötilan ollessa nollan seutuvilla. Huurre haittaa lämmön siirtymistä ja ilman virtaamista höy-

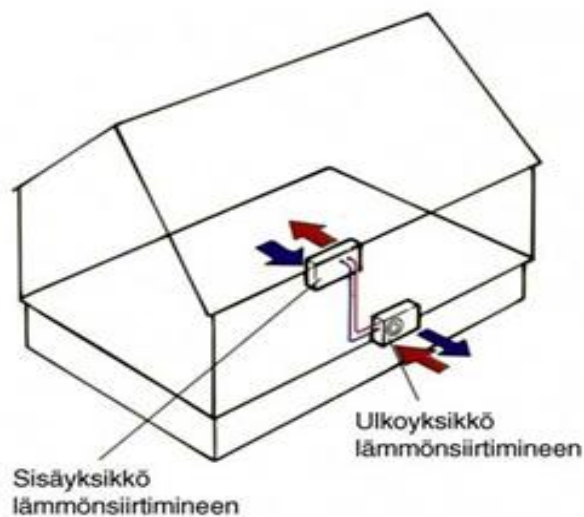
rystimen läpi, siksi ulkoyksikkö on välillä sulatettava. Pohjoismaisiin olosuhteisiin suunnitelluissa lämpöpumpuissa on automaattinen sulatustoiminto, mutta huurteen ja jään sulattaminen vie energiaa ja huonontaa pumpun kokonaislämpökerrointa.

Ilma-vesilämpöpumpulle lattialämmitysverkko on selvästi parempi lämmönjakotapa, kuin patteriverkko, koska korkea menoveden lämpötila heikentää pumpun hyötysuhdetta merkittävästi. Se ei myöskään sovellu yksinään lämmitysmuodoksi, koska ilma-vesilämpöpumppu tuottaa kaikkein vähiten energiaa silloin, kun sen tarve on suurimmillaan. Kovalla pakkasella pumppu sammuttaa itse itsensä. Tästä syystä pumpulla on oltava rinnalla toinen täydelle lämmitystarpeelle mitoitettu lämmitysmuoto. Yleensä käytetään sähköisiä vastuksia, mutta yhtä hyvin se voi olla rakennuksen vanha lämmitysmuoto. Ilma-vesilämpöpumppua ei voi käyttää tilojen jäädytykseen. Sisäyksikön voi sijoittaa kodinhoitohuoneeseen, mutta erillinen tekninen tila on suositellumpi paikka, koska laitteesta voi lähteä pientä meteliä. Tärkeää kuitenkin on, että tilassa on lattiakaivo. (Sulpu ry, 2014; Motiva Oy & Sulpu ry, 2008; Energiategokas koti, 2014)

#### 3.2.4 Ilmalämpöpumppu

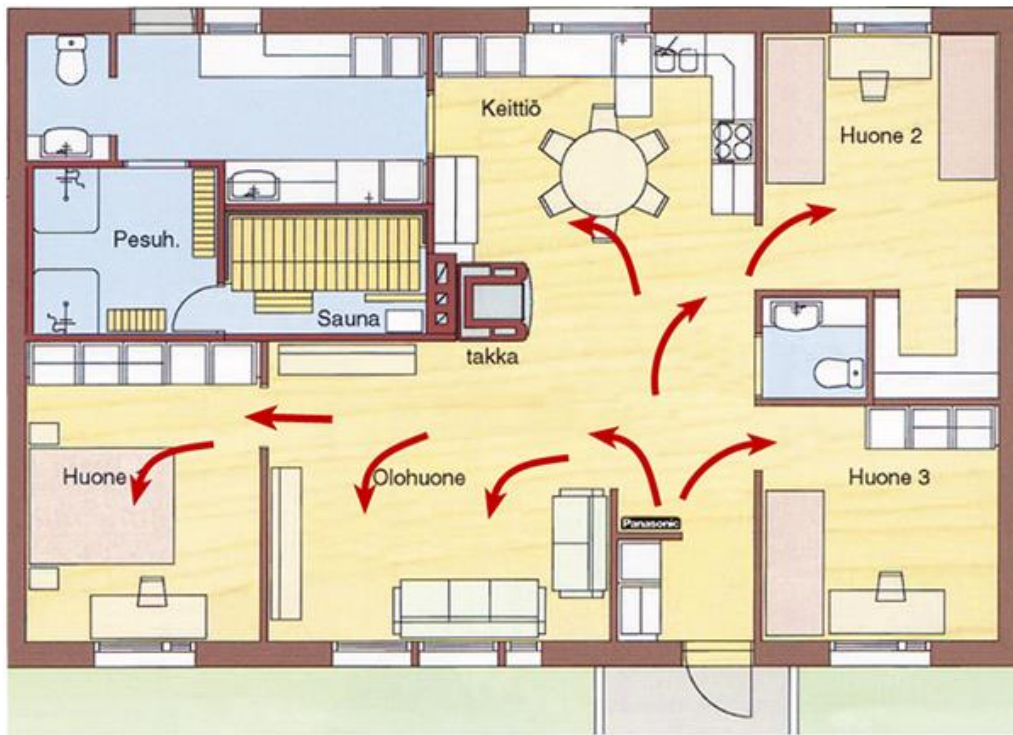
Lämpö voidaan siirtää ulkoilmasta myös suoraan sisäilmaan. Tällaista pumppua kutsutaan ilmalämpöpumpuksi tai joskus myös tarkentavasti ilma-ilmalämpöpumpuksi. Ilmalämpöpumput ovat yleisin lämpöpumppu tyyppi ja niiden määrä on noussut suorastaan räjähdysmäisesti vuoden 2004 jälkeen. Vuonna 2012 ilmalämpöpumppuja oli lähes viisinkertainen määrä maalämpöpumppuihin verrattuna, joka on toiseksi yleisin lämpöpumpputyyppi. Ilmalämpöpumput ovat niin sanottuja tukilämmityslähteitä. Ilmalämpöpumppu toimii myös jäädytyslaitteena kesällä. Ilmalämpöpumput eivät sovellu veden lämmittämiseen. Lämmönjakotapa on sellainen, että tasainen lämmönjako rakennuksen eri tiloihin on vaikeaa. Ilmalämpöpumput ovat kuitenkin energiatehokkaita lisälämmittämiä ja ne voivat kierrättää esimerkiksi takan tuomaa lämpöä. Ilmalämpöpumpun hyötysuhde laskee merkittävästi kovalla pakkasella eikä sillä voida kattaa talven kylmimmän kauden lämmöntarvetta. Ilmalämpöpumput eivät siis sovellu rakennusten päälämmitysmuodoiksi. (Tampereen teknillinen yliopisto, 2012; Motiva Oy & Sulpu ry, 2008; Energiategokas koti, 2014; Sulpu ry, 2014)

Parhaissa ilmalämpöpumppu malleissa ilmoitettu COP-arvo eli lämpökerroin voi olla jopa viisi. Se ei kuitenkaan kerro totuutta Suomen ilmasto-olosuhteissa, koska yleensä COP-arvo ilmoitetaan standardin EN14511 mukaisesti  $+7\text{ °C}$  lämpötilassa. Jos pakkasta on  $-20\text{ °C}$ , niin uudehkossa laadukkaassa ilmalämpöpumpussa lämpökerroin on tyypillisesti 1,5–2,0 ja huonossa pumpussa se voi pudota sähkölämmityksen tasolle. Ilmalämpöpumpuilla voidaan Motivan arvion mukaan säästää noin 30–40 % koko asunnon lämmitysenergian tarpeesta, riippuen lämpöpumpun mitoituksesta, talon koosta ja rakenteiden monimutkaisuudesta. (Motiva Oy & Sulpu ry, 2008; Motiva Oy, 2009)



KUVIO 9. Periaatekuva ilmalämpöpumpun toiminnasta (Humiref Oy, 2014)

Ilmalämpöpumppu on hyvin samankaltainen kuin ilma-vesilämpöpumppu ja siinä on myös ulko- ja sisäyksikkö. Lämpöenergiaa otetaan samalla tavalla ulkoilmasta, mutta energia luovutetaan veden sijasta suoraan sisäilmaan. Kuviossa 9 on periaatekuva, jossa on ulkoyksikkö talon ulkopuolella, sisäyksikkö talon sisäpuolella ja kylmäaine putket niiden välissä. Ulkoyksikön puhallin kierrättää ilmaa höyrystimen läpi, jolloin lämpö siirtyy ilmasta kylmäaineeseen. Kompressori nostaa kylmäaineen painetta, jolloin kylmäaineen lämpötila nousee. Lämennyt kylmäaine virtaa sisäyksikössä olevaan lauhduttimeen. Sisäyksikössä oleva puhallin kierrättää sisäilmaa lauhduttimen läpi, jolloin kylmäaineessa oleva lämpöenergia siirtyy sisäilmaan. (Motiva Oy & Sulpu ry, 2008)



KUVIO 10. Ilmalämpöpumpun sisäyksikön sijoittaminen ja lämmön jako (Kaukomarkkinat Oy, 2014)

Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö tulisi sijoittaa siten, että lämmin ilma pääsee kiertämään mahdollisimman moneen paikkaan. Hyvällä sisäyksikön sijoituksella pumpusta saadaan maksimaalinen hyöty. Ilman kiertämistä voivat haitata esimerkiksi ovet ja rakenteet. Kuviossa 10 on esitetty lämpimän ilman siirtyminen rakennuksen eri tiloihin. Samalla tavalla kuin ilma-vesilämpöpumpussakin, niin ilmalämpöpumpun ulkoyksikköön tiivistyy kosteutta ja se jäätyy kylmällä ilmalla. Jää vaikeuttaa lämmön siirtymistä, joten se täytyy välillä sulattaa. Jäätyminen huonontaa lämpökerrointa. Kovalla pakkasella ulkoyksikön sulattaminen vie merkittävän osan energiansäästöstä. Ilmalämpöpumppu soveltuu kaikenlaisiin talotyyppeihin ja etenkin sähkö- ja öljylämmityksen rinnalle, koska ilmalämpöpumpulla on halvempi lämmittää kuin sähköllä tai öljyllä. (Motiva Oy & Sulpu ry, 2008)



### 3.2.5 Sähkölämmitys

Pientaloissa sähkölämmitys on suosituin lämmitysmuoto Suomessa. Kaikista pientaloista 44 %:lla on sähkölämmitys. Sen suosio uudistuotannossa on kuitenkin laskenut lämpöpumppujen yleistymisen myötä. (Tampereen teknillinen yliopisto, 2012)

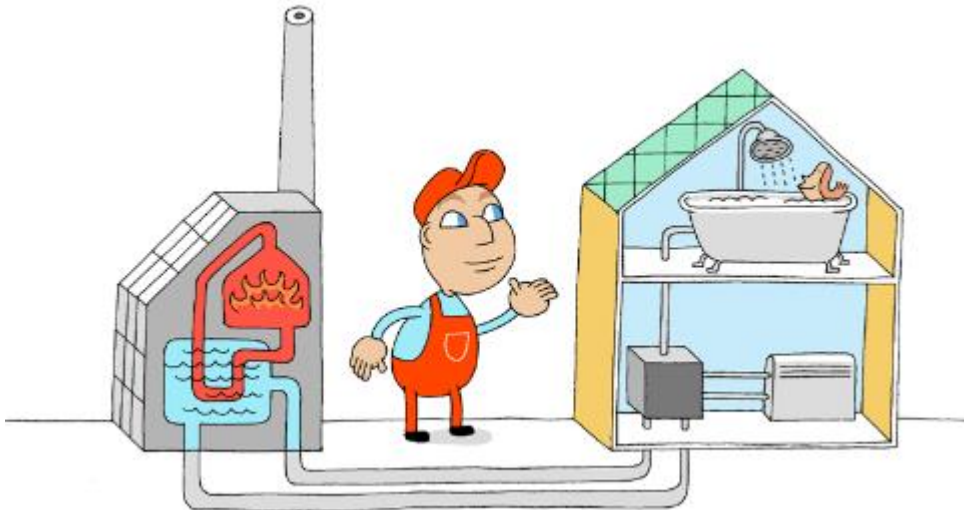
Erilaiset sähkölämmityksen muodot voidaan jakaa monella tapaa eri luokkiin. Sähköllä voidaan lämmittää suoraan sähkölämmittimillä tai vesikiertoisesti keskuslämmityksellä. Sähkölämmitys voi olla varaava, osittain varaava tai suora. Varaavassa järjestelmässä pyritään varaamaan lämpö suureen massaan, kuten betonilaattaan tai vesisäiliöön ja käyttämään halvempaa sähköä esimerkiksi yöaikaan. Suorassa sähkölämmityksessä lämmitetään tarpeen mukaan silloin, kun lämmittämiseksi on tarvetta. Osittain varaavassa on ominaisuuksia varaavasta ja suoraa lämmitystä käytetään, kun varaavuus ei riitä. (Seppänen, 2001)

Yleisin sähkölämmitysmuodoista on nykyisin suora sähkölämmitys. Sähkölämmitys on helpokäyttöinen, sen säätö on vaivatonta ja hyötysuhde on hyvä, varsinkin suorassa sähkölämmityksessä. Sähkölaitteiden investointikustannukset eivät ole kovin suuret, varsinkaan sähköpattereiden ja lattialämmityksen kohdalla. Vesikiertoinen järjestelmä tuo lisäkustannuksia, kuten muissakin lämmitysmuodoissa. Sähkölämmityksessä huoltotoimenpiteitä ei juuri tarvita, joten se on hyvin kustannustehokas ratkaisu. Hyvät nykyaikaiset termostaatit takaavat, että huoneiden lämmitykseen ei kulu ylimääräistä energiaa. Sähkölämmitys sopii erinomaisesti matalaenergiatalorakentamiseen, koska se reagoi nopeasti ulkopuolisiin lämmönlähteisiin, kuten auringon tuomaan lämpöön. (Energieollisuus ry, 2014a)

### 3.2.6 Kaukolämpö

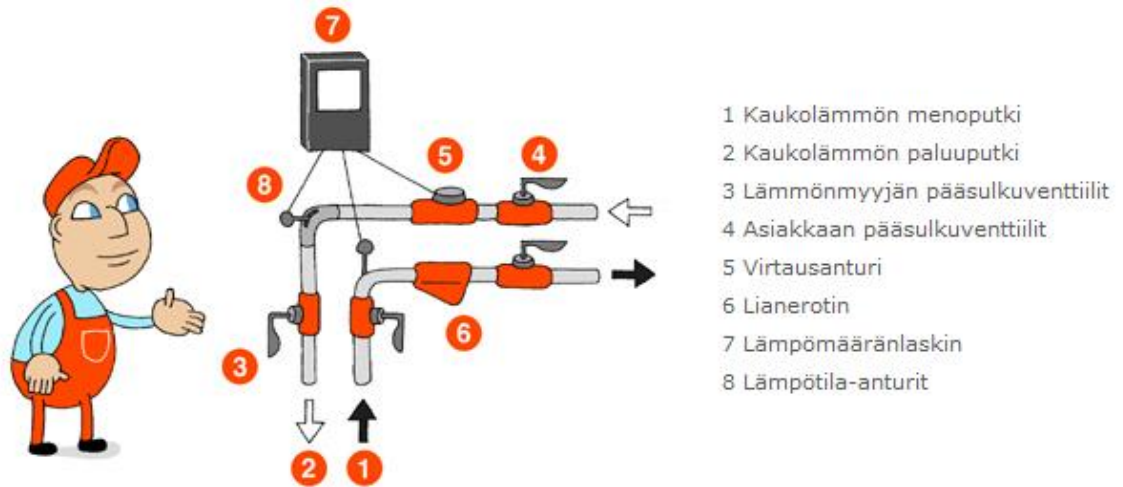
Kaukolämpö on tällä hetkellä Suomen yleisin lämmitysmuoto. Suomen lämmitysenergiasta tuotettiin kaukolämmöllä 46 % vuonna 2012. Asuinkerrostaloista lämpiää kaukolämmöllä lähes 95 %, kuitenkin omakotitaloista kaukolämmitettyjä on vain noin 7 %. Kaukolämpöä käytetään muun muassa pientaloissa, kerrostaloissa, toimisto- ja liikerakennuksissa, opetusrakennuksissa ja teollisuudessa. Se sopii erityyppisten rakennusten lämmitykseen sellaisissa

paikoissa, joissa kaukolämpöverkko on riittävän lähellä. Kaukolämmön tuotannossa käytetään suurimmaksi osaksi teollisuuden prosessien jätelämpöä ja yhteistuotantoa. Yhteistuotanto tarkoittaa voimalaitoksia, joissa tuotetaan sähköä ja lämpöä. Yhteistuotantolaitosten hyötysuhde on erittäin hyvä, joten kaukolämpöä voidaan pitää energiatehokkaana. (Motiva Oy, 2014; Energiateollisuus ry, 2014a)



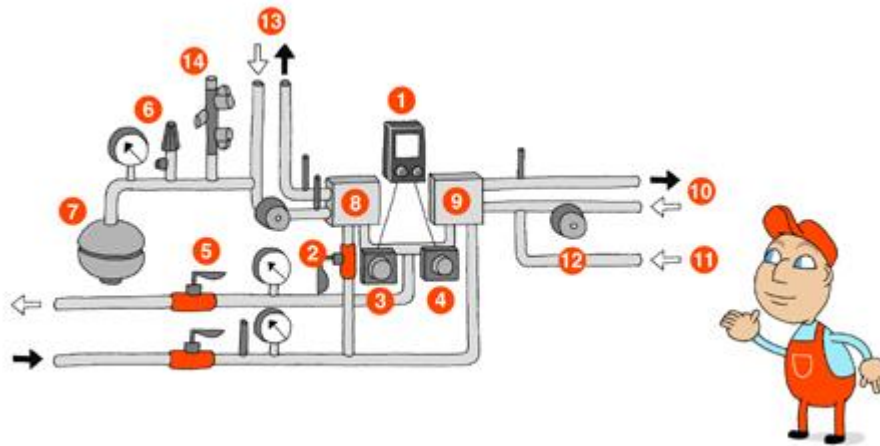
KUVIO 11. Kaukolämmön toimintaperiaate (Energiateollisuus ry, 2014a)

Kaukolämpö tuotetaan yhteistuotantolaitoksissa tai lämpökeskuksissa, joissa lämmitetään vettä tai vesi lämpöä sivutuotteena, kuten kuvio 11 havainnollistaa. Polttoaineena laitoksissa käytetään maakaasua, kivihiiltä, turvetta ja enenevässä määrin puuta, biokaasua ja muita uusiutuvia energianlähteitä. Lämpö siirretään asiakkaille kuumana vetenä kaksiputkisessa kaukolämpöverkossa. Toisessa putkessa tulee kuuma menovesi käytettäväksi ja toisessa putkessa lämpöä luovuttanut viileämpi vesi palaa takaisin laitokselle. Kaukolämpöputkien materiaali on yleensä teräs ja ne on eristetty lämpöhäviöiden pienentämiseksi. Putket upotetaan maahan 0,5–1 metrin syvyyteen. Kaukolämpöverkon vesi on aina puhdistettu ja siitä on poistettu happi korroosion ehkäisemiseksi. Veteen voidaan lisätä myös väriainetta, jotta mahdolliset vuodot havaittaisiin helpommin. (Energiateollisuus ry, 2014a; Motiva Oy, 2014)



KUVIO 12. Kaukolämmön mittaus (Energiateollisuus ry, 2014a)

Kiinteistön käyttämä kaukolämpö voidaan mitata lämpöenergiamittarilla (kuvio 12). Mittaukseen tarvittavat suureet ovat kiertävä kaukolämpöveden määrä, menoveden lämpötila ja paluueden lämpötila. Näitä suureita mittaamaan tarvitaan virtausanturi, menoveden lämpötila-anturi, paluueden lämpötila-anturi ja lämpömääränlaskin. Lämpömääränlaskin laskee kulutetun lämpöenergian lämpötilaeron ja mitatun vesimäärän perusteella. Kaukolämpöyrittäjän tehtävä on asentaa mittalaitteet asiakkaan tekniseen tilaan. Yritys voi lukea mittarin etäluentana tai asiakas toimittaa luvun itse lämpömyyjälle. (Energiateollisuus ry, 2014a)



- |                                |                             |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 Säätokekus                   | 8 Lämmityksen lämmönsiirrin |
| 2 Kesäsulku                    | 9 Käyttöveden lämmönsiirrin |
| 3 Lämmityksen säätöventtiili   | 10 Lämmin käyttövesi        |
| 4 Käyttöveden säätöventtiili   | 11 Kylmä vesi               |
| 5 Asiakkaan pääsulkuventtiilit | 12 Pumppu                   |
| 6 Varoventtiili                | 13 Lämmitysverkko           |
| 7 Paisunta-astia               | 14 Täyttöventtiili          |

KUVIO 13. Asiakkaan kaukolämpölaitteet (Energiateollisuus ry, 2014a)

Asiakkaalla on lämmönjakokeskus, jossa on kuviossa 13 mainitut kaukolämpölaitteet, jolla otetaan vastaan lämpöä kaukolämpöverkosta. Lämmönjakokeskuksessa on omat lämmönsiirtimet lämpimälle käyttövedelle ja tilojen lämmitystä varten. Lämmönsiirtimen tehtävä on siirtää lämpö kaukolämpöverkosta lämmönjakojärjestelmään ja estää niiden vesiä sekoittumasta. Lämmönjakokeskukset ovat yleensä tehdasvalmisteisia kokonaisuuksia, johon kuuluu lämmönsiirtimien lisäksi säätölaitteet, paisunta- ja varolaitteet, sulkuventtiilit ja tarvittavat lämpö- ja painemittarit. Kaukolämpö kannattaa liittää myös tuloilman jälkilämmitykseen ilmanvaihtolaitteistossa. Lämmönjakotapana kaukolämmössä voidaan käyttää ilmalämmitystä tai ilmanvaihtolämmitystä, mutta suositellumpaa on käyttää patteri- tai lattialämmitystä eli vesikeskuslämmitystä. Kaukolämpölaitteiden asennusta suositellaan erilliseen tekniseen tilaan. (Energiateollisuus ry, 2014a; Motiva Oy, 2014)

## 4 KOHTEIDEN PERUSTIEDOT

Vuores-projektissa on mukana 15 kohdetta. Kohteet on nimetty aakkosin A-O. Tämän opin- näytetyön tarkasteluun on otettu kohteet B, E, H, I ja K. Kohteet on valittu sen mukaan, mistä kohteista on saatavilla tarvittavat tiedot. Neljä kohteista on mitattuja kohteita ja yksi on kau- kolämpökohde. Kaukolämmön kulutukset saatiin arvioitua helposti suoraan kaukolämmön kulutustiedoista. Kohteiden perustiedot on kerätty aikaisemmin kerättyjen kohdetietojen ja käyttäjäkyselyn pohjalta. Lisäksi olennaisia tietoja on kysytty suoraan käyttäjiltä.

### 4.1 Kohteen B lämmitysmuotona maalämpöpumppu

Vuoreksen asuinalueella oleva kohde B on yksikerroksinen puurunkoinen talo, jonka lämmi- tysmuotona on maalämpöpumppu ja lämmönjakotapana vesikiertoinen lattialämmitys. Asunnossa on myös takka, mutta sitä ei juurikaan käytetä lämmitystarkoitukseen. Ilmanvaihtokoneen esilämmitys on hoidettu maapiirillä ja Apuwatti-nimisellä rakennuslämmittimellä, joka lämmittää maapiirin nestettä lisää. Esilämmityksen tarkoitus on se, ettei kylmä ilma jää- dytä ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottolaitetta ja sen hyötysuhde pysyy hyvänä. Ilman- vaihtokoneessa on myös yhden kilowatin jälkilämmityspatteri sähkövastuksella. Käyttäjäky- selyn mukaan kohteessa on lämpötilanpudotus, mutta sitä ei juurikaan käytetä teknillistalou- dellisista syistä.

TAULUKKO 1. Kohteen B perustiedot

	Kohteen tiedot	Yksikkö
<b>Lämmitys:</b>		
Lämmitysmuoto	Maalämpöpumppu (Nibe 1245-6)	
Lämmönjako	Vesikiertoinen lattialämmitys	
Ilmanvaihtokone	Vallox 150 (70%)	
Muuta	Takka, Apuwatti (6kW), Jälkilämmitys (1kW)	
Sähköenergia	15455	kWh/a
Lämmityssähkö	8698	kWh/a
Lämmityskustannus	1131	€/a
Vedenkulutus	95	m <sup>3</sup>
<b>Rakennus:</b>		
Pinta-ala	215	m <sup>2</sup>
Henkilömäärä	3	kpl
E-luku	142	kWh/m <sup>2</sup>
Ilmatiiveys	0,36	1/h
<b>U-arvot:</b>		
Ulkoseinät	0,13	W/m <sup>2</sup> K
Yläpohja	0,08	W/m <sup>2</sup> K
Alapohja	0,16	W/m <sup>2</sup> K
Ovet	0,9	W/m <sup>2</sup> K
Ikkunat	0,74	W/m <sup>2</sup> K

#### 4.2 Kohteessa E käytössä sähkö ja ilmalämpöpumppu

Vuoreksen asuinalueella oleva kohde E on kaksikerroksinen puurunkoinen talo, jonka päälämmitysmuoto on lattialämmitteinen suorasähkö. Asunnossa on lattialämmityksen lisäksi ilmalämpöpumppu ja injektiotakka. Ilmanvaihtokoneessa on 400 watin sähköinen esilämmityspatteri. Käyttäjäkyselyn mukaan lämmityksen säädössä ei ole ollut minkäänlaisia ongelmia. Kohteesta löytyy lämpötilanpudotusmahdollisuus. Takkaa lämmitetään keskimäärin kolme kertaa viikossa lämmityskaudella.

TAULUKKO 2. Kohteen E perustiedot

	Kohteen tiedot	Yksikkö
<b>Lämmitys:</b>		
Lämmitysmuoto	Sähkö	
Lämmönjako	Lattialämmitys	
Ilmanvaihtokone	Enervent Pingvin ECO EDE (78%)	
Muuta	Takka, ILP, Esilämmitys (0,4kW), Varaaja (3kW)	
Sähköenergia	13244	kWh/a
Lämmityssähkö	9449	kWh/a
Lämmityskustannus	1228	€/a
Vedenkulutus	60	m <sup>3</sup>
<b>Rakennus:</b>		
Pinta-ala	119	m <sup>2</sup>
Henkilömäärä	2	kpl
E-luku	175	kWh/m <sup>2</sup>
Ilmatiheys	0,6	1/h
<b>U-arvot:</b>		
Ulkoseinät	0,11	W/m <sup>2</sup> K
Yläpohja	0,07	W/m <sup>2</sup> K
Alapohja	0,15	W/m <sup>2</sup> K
Ovet	0,76	W/m <sup>2</sup> K
Ikkunat	0,75	W/m <sup>2</sup> K

#### 4.3 Kohteen H lämmitysmuotona maalämpöpumppu

Asuinalueen kohde H on kolmikerroksinen kivirunkoinen talo, jonka lämmitysmuotona on maalämpöpumppu ja lämmönjakotapana vesikiertoinen lattialämmitys. Kohteessa on aina lämmin ulkoporeamme. Ilmanvaihtokoneeseen on yhdistetty maapiiri jäähdytystä ja esilämmitystä varten. Käyttäjäkyselyn mukaan lämmitysten säädöissä on ollut erittäin paljon sääntöongelmia ja aluksi huoneiden lämpötilat olivat +28 °C. Järjestelmien käyttöön perehdytys on ollut erittäin heikkoa. Kohteesta löytyy lämpötilan pudotustoiminto, mutta sen käyttö on hyvin vähäistä.

TAULUKKO 3. Kohteen H perustiedot

	Kohteen tiedot	Yksikkö
<b>Lämmitys:</b>		
Lämmitysmuoto	Maalämpöpumppu (Jämä, 15 kW)	
Lämmönjako	Vesikiertoinen lattialämmitys	
Ilmanvaihtokone	Enervent (70%)	
Muuta	2 x 170 m Lämpökaivo, maapiiri (jäähd./läm.)	
Sähköenergia	23377	kWh/a
Lämmityssähkö	12053	kWh/a
Lämmityskustannus	1567	€/a
Vedenkulutus	140	m <sup>3</sup>
<b>Rakennus:</b>		
Pinta-ala	390	m <sup>2</sup>
Henkilömäärä	4	Kpl
E-luku	113	kWh/m <sup>2</sup>
Ilmatiiveys	0,8	1/h
<b>U-arvot:</b>		
Ulkoseinät	0,17	W/m <sup>2</sup> K
Yläpohja	0,08	W/m <sup>2</sup> K
Alapohja	0,15	W/m <sup>2</sup> K
Ovet	0,7	W/m <sup>2</sup> K
Ikkunat	0,76	W/m <sup>2</sup> K

#### 4.4 Kohteessa K ilma-vesilämpöpumppu ja poistoilmalämpöpumppu

Vuoreksen asuinalueella oleva kohde K on yksikerroksinen kivirunkoinen talo, jossa lisäksi pieni parvi. Päälämmitysmuoto on ilma-vesilämpöpumppu vesikiertoisella lattialämmityksellä. Lisälämmityksenä on takka ja IV- koneena poistoilmalämpöpumppu. Poistoilmalämpöpumpun kompressorin teho on 980 wattia. Käyttäjäkyselyn mukaan takkaa lämmitetään hyvin harvoin, noin kerran kuussa lämmityskauden aikana. Lämmityksen säädössä on ollut paljon säätöongelmia. Energiankulutus on ollut asukkaiden mielestä erittäin suurta. Lämpötilan pudotusta käytetään noin kerran kuukaudessa lämmityskaudella.



TAULUKKO 4. Kohteen K perustiedot

	Kohteen tiedot	Yksikkö
<b>Lämmitys:</b>		
Lämmitysmuoto	IVLP (Sanyo SHP-TH45GDN ja SHP-C45DEN)	
Lämmönjako	Vesikiertoinen lattialämmitys ja ilmanvaihto	
Ilmanvaihtokone	PILP, Enervent green air hp pelican eco pro (84 %)	
Muuta	IV- lisävastus (2 kW), IVLP- varavastus (9 kW)	
Sähköenergia	17035	kWh/a
Lämmityssähkö	9653	kWh/a
Lämmityskustannus	1255	€/a
Vedenkulutus	66	m <sup>3</sup>
<b>Rakennus:</b>		
Pinta-ala	164	m <sup>2</sup>
Henkilömäärä	2	Kpl
E-luku	134	kWh/m <sup>2</sup>
Ilmatiiveys	0,29	1/h
<b>U-arvot:</b>		
Ulkoseinät	0,13	W/m <sup>2</sup> K
Yläpohja	0,08	W/m <sup>2</sup> K
Alapohja	0,16	W/m <sup>2</sup> K
Ovet	0,9	W/m <sup>2</sup> K
Ikkunat	0,74	W/m <sup>2</sup> K

#### 4.5 Kohteeseen I virtaa kaukolämpöä

Vuoreksen asuntoalueella oleva kohde I on kaksikerroksinen kivirunkoinen talo, jonka lämmitysmuoto on kaukolämpö. Lisälämmityksenä asunnossa on takka. Käyttäjäkyselyn mukaan takkaa lämmitetään 1–2 kertaa viikossa lämmityskaudella. Autotalli on ollut tarpeettoman lämmin säätöyrityksistä huolimatta ja rännilämmitykset ovat ilmeisesti olleet tarpeettomasti päällä. Rännilämmityksiä ei ole huomioitu lämmitysenergiaksi. Kohteessa on lämpötilanpudotustoiminto, mutta sitä käytetään harvoin.

TAULUKKO 5. Kohteen I perustiedot

	Kohteen tiedot	Yksikkö
<b>Lämmitys:</b>		
Lämmitysmuoto	Kaukolämpö	
Lämmönjako	Vesikiertoinen lattialämmitys	
Ilmanvaihtokone	Enervent LTR-3ecoEDE (70 %)	
Muuta	Takka, Jälkilämmitys (0,5kW)	
Sähköenergia	7047	kWh/a
Kaukolämpö	22895	kWh/a
Lämmityskustannus	2290	€/a
Veden kulutus	130	m <sup>3</sup>
<b>Rakennus:</b>		
Pinta-ala	147	m <sup>2</sup>
Henkilömäärä	3	Kpl
E-luku	Tieto puuttuu	kWh/m <sup>2</sup>
Ilmatiiveys	Tieto puuttuu	1/h
<b>U-arvot:</b>		
Ulkoseinät	Tieto puuttuu	W/m <sup>2</sup> K
Yläpohja	Tieto puuttuu	W/m <sup>2</sup> K
Alapohja	Tieto puuttuu	W/m <sup>2</sup> K
Ovet	Tieto puuttuu	W/m <sup>2</sup> K
Ikkunat	Tieto puuttuu	W/m <sup>2</sup> K

#### 4.6 Rakennusten vertailtavuus

Vertailtaessa taulukoissa 1, 2, 3, 4 ja 5 olevia kohdetietoja voidaan päätellä, että kaikki kohteet ovat lähes saman tasoisia eristyksiltään ja lämmöntalteenoton tasoltaan. Vertailussa on huomioitu lämmöntalteenoton hyötysuhde, E-luku painottamattomana, ilmatiiveys ja eri rakenteiden U-arvot. Yksikään kohde ei ollut selkeästi ylitse muiden. Kohteen B ilmapuotoluku on huipputasoa, ovien U-arvo on huono, mutta kokonaisuus hyvä. Kohteen E U-arvot ovat parhaat, mutta ilmapuotoluku ei ole yhtä hyvä kuin muissa, mutta on kokonaisuudessaan todella hyvä. Kohteessa H ilmapuotoluku on hivenen huonompi verrattuna muihin, mutta kohteista paras E-luku osoittaa energiantarpeen olevan pientä. Kohteessa K lämmöntalteenoton hyötysuhde ja ilmapuotoluku ovat huipputasoa ja ainoastaan ovien U-arvot ovat hivenen heikolla tasolla. Kohteesta I suurin osa tiedoista puuttuu, näistä tiedoista ainoana on lämmöntalteenoton hyötysuhde. Tietojen mukaan sen lämmöntarve pitäisi olla samalla tasolla muiden kanssa. Tällä perusteella kohteiden rakenteissa ja teknisissä ratkaisuihin ei ole niin suuria eroja, että ne merkittävästi vaikuttaisivat rakennusten keskinäiseen vertailtavuuteen lämmitysenergian kulutuksen kannalta.

## 5 KULUTUKSET JA KUSTANNUKSET

Vuoreksen kohteisiin asennettiin kolme erilaista mittausympäristöä eri tarkoituksiin. Mitatusta datasta saatiin tietoa kohteiden sisäilmaolosuhteista ja sähköenergian kulutuksesta. Mitatun datan ja saatujen sähkön sekä kaukolämmön kulutusten perusteella on arvioitu lämmityksen ja käyttöveden energiankulutukset kohteissa. Tuloksia on havainnollistettu kuvaajien avulla. Energiankulutuksien pohjalta on arvioitu kohteiden lämmityksen ja käyttöveden kustannuksia lyhyellä ja pitkällä aikavälillä.

### 5.1 Mittalaitteet

Rakennusten lämmitysenergian kulutuksia on pyritty arvioimaan mahdollisimman paljon mitatun datan avulla. Datan saamiseksi käytössä oli kolme erilaista mittausympäristöä eri tarkoituksiin, Current Cost, Efergy ja Netatmo. Current Costin laitteita on käytetty yksittäisten laitteiden kulutusten seurantaan. Sen keskusyksikössä on myös lämpötilan mittaus. Efergyä on käytetty mittaamaan koko kiinteistön sähköenergiankulutusta. Netatmon sääasemaa on käytetty mittaamaan talon lämpötilaa, hiilidioksidipitoisuutta, äänenvoimakkuutta, ilmanpainetta ja kosteutta kahdesta eri pisteestä. Efergy mittaa sähköenergiankulutuksen sähkömittarissa olevan vilkkuvan valon perusteella, joka kertoo kulutetun energian määrän. Valo vilkkuu 1000 kertaa kulutettua kilowattituntia kohti. Voidaan olettaa, että valo näyttää kulutuksen tarkasti, mutta silti Efergyn näyttämä kulutus poikkesi selkeästi sähkölaitokselta saadusta kulutuksesta. Minuuttikohtaisesta datasta on huomattavissa, että laite ei anna arvoa joka minuutille. Mittaustuloksista ei löytynyt yhtään tunnin mittaista yhtäjaksoista pätkää, jossa olisi ollut arvo joka minuutille. Epäluotettavuudesta johtuen Efergyn käyttö mittausdatana on hylätty kokonaan. Tässä opinnäytetyössä sähkölaitoksen tuntikohtainen data on riittävä rakennuksen kokonaiskulutusta mitattaessa.



KUVA 2. Current Costin mittalaitteita. (Älykoti, 2014)

Kuvassa 2 on Current Costin keskusyksikkö, langaton lähetin, langattomaan lähettimeen liitettävä virtapihtianturi ja datakaapeli tietokoneeseen liittämistä varten. Keskusyksikössä on näyttö energiankulutuksen seuraamista varten. Käytössä oli myös pistorasiaan liitettäviä yksivaiheisia langattomia lähettämiä. Kaikkiin mittauskohteisiin oli käytettävissä kolme langatonta lähetintä, joissa kaikissa oli kolme virtapihtianturia ja yksi pistorasiaan liitettävä lähetin. Jokaisessa kohteessa on erikseen mietitty, mitkä ovat tärkeimmät mitattavat kohteet ja mittalaitteet sijoitettiin niihin.

Kuva 3 on otettu kohteen B sähkökeskuksesta mittalaitteiden asennuksen jälkeen. Keskuksset olivat hyvin ahtaita ja isot virtapihdit oli hankala saada mahtumaan keskuksiin. Muuten niiden asennus oli yksinkertaista.



KUVA 3. Kohteen B keskuksen asennettu Current Costin mittalaite (Kuva: Matias Kosunen, 2014)

Seuraavissa taulukoissa 6, 7, 8 ja 9 on talokohtaisesti esitetty mittalaitteiden sijoitukset. Kaukolämpökohteessa I ei ollut mittalaitteita, mutta lämmityskulut saadaan helposti selville kaukolämpöyhtiön toimittamasta kaukolämpödatasta.

TAULUKKO 6. Kohteen B mitatut kohteet

Kanavanumero	Laite
Channel 2	MLP
Channel 3	Kiuas
Channel 4	Apuwatti
Channel 5	IV- kone
Channel 6	Kuivausrumpu

TAULUKKO 7. Kohteen E mitatut kohteet

Kanavanumero	Laite
Channel 2	Läm. Alakerta
Channel 3	Läm. Yläkerta ja varasto
Channel 4	IV- kone
Channel 5	Lämminvesivaraaja
Channel 6	ILP

TAULUKKO 8. Kohteen H mitatut kohteet

Kanavanumero	Laite
Channel 2	MLP
Channel 3	Varaaja varavastus
Channel 4	Poreamme
Channel 5	IV- kone

TAULUKKO 9. Kohteen K mitatut kohteet

Kanavanumero	Laite
Channel 2	VILP
Channel 3	Kiuas
Channel 5	PILP



KUVA 4. Current Costin käyttöliittymän näkymä kohteesta E perjantaina 2.5.2014 (Current Cost Ltd, 2014)

Laitteiden maksimitehot ja energiankulutukset nähdään selkeästi kuvasta 4. Punaisella merkitty alakerran lämmitys on ollut ajoittain päällä, kuten myös vihreällä merkattu yläkerran ja varaston lämmitys. Violetilla merkitty IV-kone on pyörinyt tasaisesti reilun sadan watin teholla. Current Costin näkymässä vaaleanruskealla piirtyvä lämminvesivaraaja on pitänyt yön yli yllä lämpöä ja käytön aikaan se on ottanut vähän enemmän energiaa. Kuvassa vaalean sinisellä näkyvä ilmalämpöpumppu on pyörinyt yön ajan 500 watin teholla ja päivällä vähemmän, tarpeen mukaisesti. Oikeasta reunasta näkee kunkin mittauspisteen koko päivän energiankulutuksen. Ylemmässä käyrässä on nähtävissä päivän lämpötilavaihtelut Current Costin keskusyksikössä. Ylhäällä oikealla oleva lämpötila on kuvan ottamishetkellä keskusyksikön lämpötila. Data Current Costin käyttöliittymästä saadaan ulos viikon ajanjakson kerrallaan csv-muodossa, jonka voi muuttaa helposti Excel-tiedostoksi, jolloin se on analysoitavissa.

## 5.2 Tulosten arviointitapa

Kaukolämpötalossa lämmitysenergian kulutus on suoraan kaukolämmön kulutus. Muiden talojen lämmitysenergiankulutus on täytynyt arvioida. Lämmitysenergiankulutusta on lähdetty arvioimaan arvioimalla perussähkön osuus kuukausikohtaisesti. Perussähkö tarkoittaa tässä opinnäytetyössä kaikkea muuta kuin rakennuksen lämmittämiseen käytettyä sähköä. Perussähkön osuutta on arvioitu kesän kulutuksen perusteella ottaen huomioon kyseisen rakennuksen sähkölaitteistot ja oletettu, että talvella kulutus on hivenen isompaa. Perussähkön osuus on vähennetty kuukauden koko sähkönkulutuksesta. Näin on saatu karkea suuntaa antava lämmitysenergiankulutus aikaiseksi. Suuntaa antavaa arviota on täydennetty Current Costista saaduilla mittaustuloksilla. Seuranta-ajanjakso on vuosi 2013 ja reaaliaikaisia mittaustuloksia on käytettävissä 2014 tammikuusta toukokuuhun. Mittaukset ovat siitakin eteenpäin kohteissa, mutta eivät ehdi enää mukaan tähän tarkasteluun. Vuoden 2014 mitattuja tuloksia on verrattu vuoden 2013 tuloksiin lämmitystarvelukujen avulla. Tällä tavalla on saatu arvioitua mahdollisimman tarkasti lämmitysten kulutukset mitattuun dataan perustuen.

Lämmitystarveluku eli astepäiväluku on luku, jonka avulla voidaan verrata eri kuukausien tai vuosien kulutusta samassa rakennuksessa. Oletuksena on, että sisälämpötila on +17 °C.

Lämmitystarveluku saadaan laskemalla yhteen kaikkien päivien sisä- ja ulkolämpötilojen erotus kuukauden aikana. Laskennassa ei oteta huomioon päiviä, joiden keskilämpötila keväällä on yli +10 °C ja syksyllä yli +12 °C. Lämmitystarvelukujen käyttö perustuu siihen, että rakennuksen energiankulutus on lähelle sama kuin sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. (Ilmatieteen laitos, 2014)

TAULUKKO 10. Lämmitystarveluvut 2013 ja 2014, (°Cvrk) (Ilmatieteen laitos, 2014)

Vuosi	2013	2014
Tammikuu	719	822
Helmikuu	560	489
Maaliskuu	768	495
Huhtikuu	442	368
Toukokuu	71	
Kesäkuu	0	
Heinäkuu	0	
Elokuu	16	
Syyskuu	125	
Lokakuu	361	
Marraskuu	439	
Joulukuu	515	

Taulukosta 10 on nähtävissä, että vuoden 2013 alku on ollut keskimäärin kylmempi, verrattuna vuoden 2014 talveen. Tammikuu 2014 on ollut puolestaan hieman kylmempi kuin tammikuu 2013. Näiden lukujen perusteella vuonna 2014 mitattuja tuloksia on verrattu vuoden 2013 kulutuksiin. Lämpimän käyttöveden energiankulutuksen arvioimiseen olen käyttänyt Current Costista saatuja tuloksia ja Suomen rakentamismääräyskokoelma D5:ta ”Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon laskenta” (Ympäristöministeriö, 2012a).



### 3.7 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve

#### 3.7.1

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavan (3.18) avulla

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 - Q_{lkv,LTO} \quad (3.18)$$

jossa

$Q_{lkv,netto}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh
$\rho_v$	veden tiheys, 1000 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)
$V_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kulutus, m <sup>3</sup>
$T_{lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$T_{kv}$	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h
$Q_{lkv,LTO}$	jäteveden lämmöntalteenotolla talteenotettu ja käyttöveden lämmityksessä hyväksikäytetty energia, kWh

Nettotarve sisältää kulutetun lämpimän käyttöveden lämmittämisen kylmän veden lämpötilasta lämpimän veden lämpötilaan ilman mahdollista lämmityslaitteen, varaajan tai putkiston lämpöhäviö-energiaa.

Ellei perustelluista syistä ole tarvetta käyttää muita arvoja, käytetään lämpimän ja kylmän veden lämpötilaerona ( $T_{lkv} - T_{kv}$ ) arvoa 50 °C.

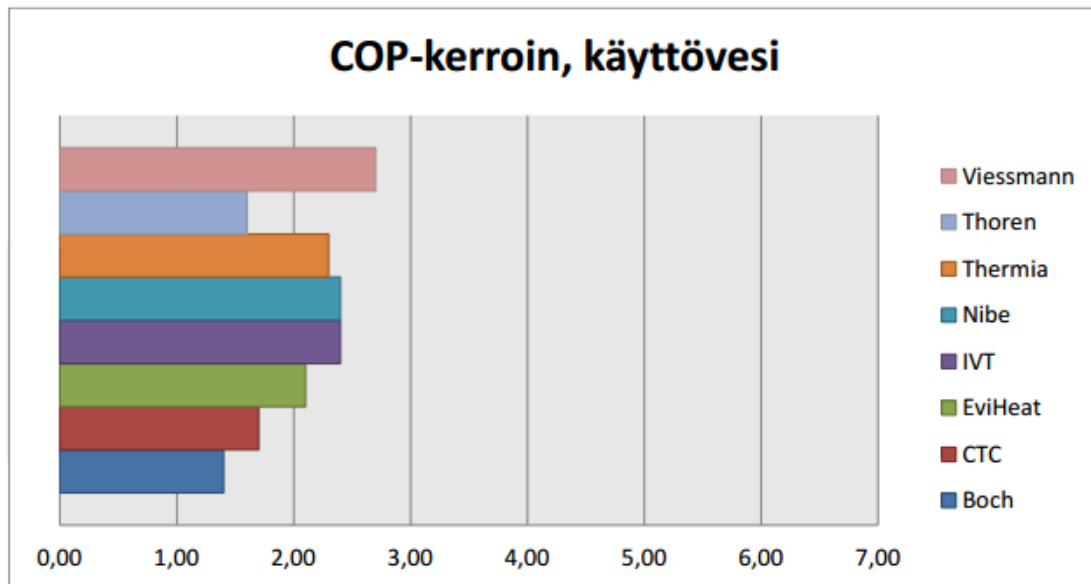
KUVA 5. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve. (Ympäristöministeriö, 2012a)

Jos laskelmien lähtötietona on käyttöveden kokonaiskulutus, niin asuinrakennuksissa lämpimän käyttöveden osuutena voidaan käyttää 40 % kokonaiskulutuksesta.

KUVA 6. Lämpimän käyttöveden määrän arvioiminen. (Ympäristöministeriö, 2012a)

Tiedossa oli asuntojen käyttöveden kokonaiskulutukset, joten kuvassa 6 olevaa 40 %:n sääntöä voidaan käyttää kulutetun lämpimän käyttöveden määrän arvioimiseen. Kun kulutetun lämpimän käyttöveden määrä oli selvillä, voitiin kuvan 5 kaavalla laskea lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan energian nettotarpeet. Sähkölämmityskohteessa on käytetty apuna lämminvesivaraajassa ollutta mittausta. Laskemalla saatu tulos oli selkeästi pienempi kuin lämminvesivaraajan mittauksesta saatu arvio, joten päädyttiin mittausten perusteella saatuun arvoon. Kuvan 5 alalaidassa sanotaan, että kaava ei ota huomioon mahdollista lämmityslaitteen, varaajan tai putkiston lämpöhäviöenergiaa. Tästä syystä saatu arvo sähkölämmityskohteessa oli liian pieni. Myös muissa kohteissa häviöistä johtuva virhe on todennäköisesti samansuuntainen, joten muiden kohteiden arvot on saatu kertomalla ne suhdelu-

vulla, joka on saatu sähkölämmitteisen kohteen lasketusta ja mitatusta arvosta. Kaukolämpökohteessa tämä on suoraan käytetty arvo. Maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumppukohteissa tällä tavalla laskettu arvo on jaettu laitteen lämpökertoimella, jolloin on saatu arvioitu lämpöpumpun sähkönkulutus käyttöveden lämmittämiseen.



KUVIO 14. Maalämpöpumpun COP-kerroin käyttövetä lämmitettäessä (Lämpövinkki Oy, 2013, s. 24)

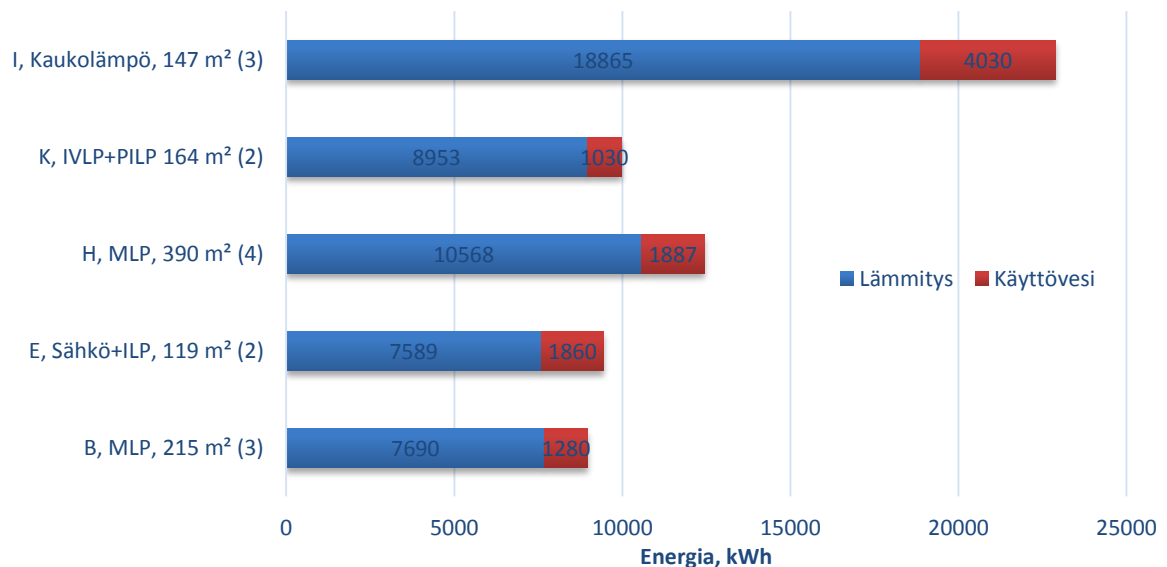
Maalämpöpumpun lämpökerroin eli toisin sanoen COP-kerroin on saatu lämpövinkin opasta maalämpöpumpun ja maalämmön valinta (Lämpövinkki Oy, 2013). Toisessa kohteesta on Niben maalämpöpumppu. Lämpövinkin testissä on myös Niben pumppu ja voidaan olettaa, että kohteen maalämpöpumppu toimii suurin piirtein samalla lämpökertoimella kuin testissä. Kuvioista 14 on arvioitu lämpökertoimen olevan 2,3. Laskennassa on käytetty molempien kohteiden lämpökertoimena samaa arvoa 2,3, koska kulutuksien perusteella voidaan olettaa myös toisessa kohteessa olevan Jämä-maalämpöpumpun toimivan suunnilleen samalla hyötysuhteella. Ilma-vesilämpöpumpulle lämpökerroin on arvioitu keskimääräisen vuotuisen lämpökertoimen perusteella, mikä on vähän yli kaksi. Tämän perusteella on valittu tasan kaksi, koska käyttövetä saadaan tehtyä huonommalla lämpökertoimella kuin lämmitysvettä.

Lämmitysenergiaan on laskettu varsinaisen lämmitystavan lisäksi ilmanvaihtokoneen lisävastuksen kulutus tapauksissa, joissa sen suuruus oli merkittävä. Tällaisessa tapauksessa on katsottu, että se on merkittävä osa lämmitystä, parantaen ilmanvaihtokoneen hyötysuhdetta kovalla pakkasella. Ilmanvaihtokoneen puhaltimen kuluttamaa energiaa ei ole huomioitu lämmitysenergiassa.

Tässä opinnäytetyössä tulokset ovat mitatun datan perusteella tehtyjä hyviä arvioita. Arviot ovat todennäköisesti hyvin lähellä totuutta eikä merkittäviä poikkeamia ole. Tulokset eivät siis ole absoluuttisia totuuksia kyseisten rakennusten lämmitysenergian kulutuksesta.

### 5.3 Kohteiden lämmitysenergian kulutukset

Kuviossa 15 on kohteiden lämmitysenergian ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittavat kokonaisenergiat vuonna 2013. Sinisellä on merkattu lämmitysenergian osuutta ja punaisella käyttöveden osuutta. Kuvaajan vasempaan reunaan on merkattu kohteiden kirjain-tunnukset, lämmitysmuodot, pinta-alat ja asukasmäärät sulkeisiin.



KUVIO 15. Arvio lämmitysenergian ja käyttöveden kokonaiskulutuksesta 2013

Kuviosta 15 voidaan havaita, kaukolämpötalon lämpöenergiankulutus on paljon muita suurempi, vaikka mukana on pinta-alaltaan huomattavasti kaukolämpöalaa suurempia taloja. Kohteella H on toiseksi suurin kulutus. Muiden talojen lämmitysenergioissa ei ole kovin suuria eroja, vaikka ne ovat erikokoisia. Sähkölämmitteisen talon lämmitysenergiankulutus on kaikkein pienin. Koska talot ovat hyvin erikokoisia, niin näistä tiedoista ei kovin hyvin voi niitä vertailla. Niistä sen sijaan voi nähdä paljonko tämän kokoinen talous, tämän kokoinen ja tällaisella lämmitysmuodolla varustettu talo voi kuluttaa lämmitysenergiaa ja käyttöveden lämmittämiseen tarvittavaa energiaa. Käyttöveden lämmittämiseen käytetyissä energioissa on eroja. Erot johtuvat käytetyn veden määrästä ja lämmitysmuodosta. Lämpöpumpulla veden lämmittämiseen menee vähemmän energiaa. Kaukolämpötalon kulutus on huomattavan suuri.

Taulukossa 11 on kaukolämmön ja sähköenergian tuntikohtaiset kulutukset maanantaina 13.5.2014. Vasemmassa sarakkeessa on aika tunnin tarkkuudella ja oikeassa sarakkeessa on kyseisen tunnin keskilämpötila Tampereella. Ylimmällä rivillä on kerrottu kohteiden tiedot.

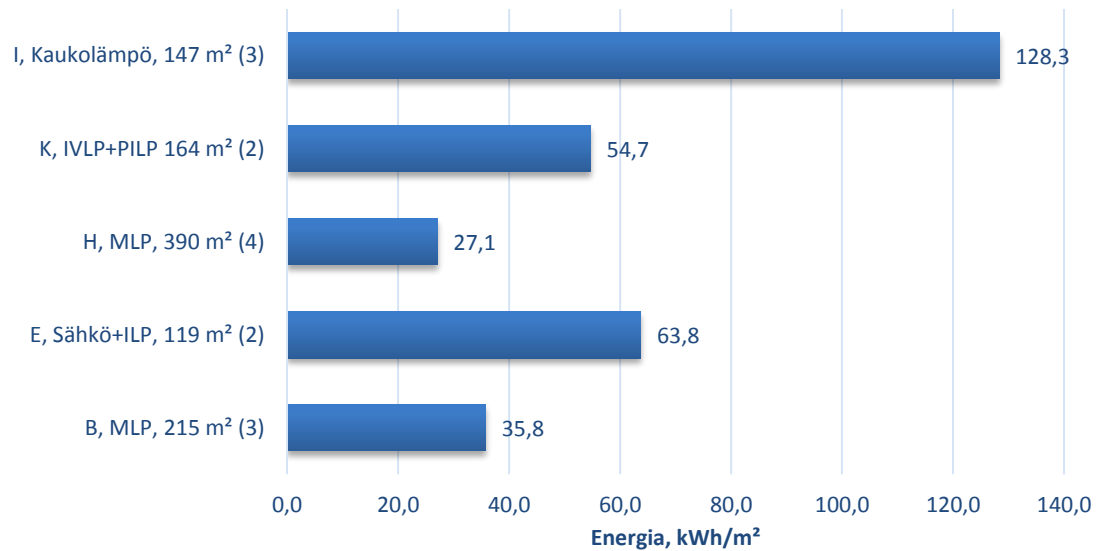
TAULUKKO 11. Sähköenergian ja kaukolämmön kulutuksia maanantaina 13.5.2013 (kWh)

Aika	Kaukolämpö, 147m <sup>2</sup> , I	MLP, 390m <sup>2</sup> , H	MLP, 215m <sup>2</sup> , B	Sähkö, 119m <sup>2</sup> , E	IVLP, 164, <sup>2</sup> , K	Lämpötila
13.5.2013 0:00	2,000	1,590	0,440	0,470	0,700	10,472
13.5.2013 1:00	2,000	2,550	0,370	0,520	1,690	9,672
13.5.2013 2:00	2,000	0,620	0,830	0,580	0,230	8,855
13.5.2013 3:00	1,000	0,630	0,650	0,590	0,270	8,493
13.5.2013 4:00	4,000	0,620	0,730	1,130	0,440	8,063
13.5.2013 5:00	2,000	3,880	1,120	0,580	0,540	7,245
13.5.2013 6:00	2,000	0,930	0,840	0,590	1,260	8,331
13.5.2013 7:00	1,000	0,720	1,620	1,970	0,530	11,578
13.5.2013 8:00	0,000	1,890	0,460	0,620	0,280	14,871
13.5.2013 9:00	1,000	1,950	0,440	0,140	0,230	15,262
13.5.2013 10:00	1,000	0,720	0,450	0,120	0,240	16,380
13.5.2013 11:00	1,000	0,840	0,420	0,130	0,490	17,491
13.5.2013 12:00	1,000	1,930	0,470	0,130	0,680	19,087
13.5.2013 13:00	0,000	0,620	0,430	0,110	0,920	19,520
13.5.2013 14:00	1,000	0,640	0,440	0,130	0,600	19,601
13.5.2013 15:00	1,000	2,090	0,440	0,720	0,690	19,572
13.5.2013 16:00	1,000	0,880	0,470	0,140	0,610	19,308
13.5.2013 17:00	1,000	3,360	0,530	0,300	0,690	19,370
13.5.2013 18:00	2,000	3,900	0,500	0,570	0,920	18,688
13.5.2013 19:00	1,000	3,310	0,590	1,640	0,490	18,078
13.5.2013 20:00	1,000	1,440	1,530	3,250	0,690	17,179
13.5.2013 21:00	1,000	1,710	1,660	0,710	0,370	16,372
13.5.2013 22:00	1,000	2,420	0,990	0,490	0,720	15,347
13.5.2013 23:00	2,000	1,010	0,450	0,250	0,420	14,329
<b>YHT.</b>	<b>32,00</b>	<b>40,25</b>	<b>16,87</b>	<b>15,88</b>	<b>14,70</b>	

Edellä olevasta taulukosta 11 nähdään, että kaukolämpö kuluttaa paljon enemmän lämmitysenergiaa kuin muut lämmitysmuodot. Taulukko on toukokuun 13. päivän kulutuksista vuonna 2013. Kaukolämmön kulutusluvut ovat suoraan kaukolämpölaitokselta saaduista tuntikohtaisista kulutuksista. Kaukolämmön sarakkeessa ei siis ole ollenkaan rakennuksen kulluttamaa sähköenergiaa. Muiden kohteiden kohdalla energialuvut ovat suoraan sähkölaitokselta saaduista tuntikohtaisista kulutuksista. Ne siis sisältävät koko rakennuksen sähkön kulutuksen, johon sisältyy lämmitysenergia. Taulukosta voimme nähdä, että ulkolämpötilat ovat päivällä vajaa +20 °C ja yöllä vajaa +10 °C. Tällaisilla lämpötiloilla matalaenergiatalon ei pitäisi juurikaan tarvita lämmitysenergiaa. Muissa taloissa kovin suuria kulutuksia ei ole, mutta havaittavissa on kuitenkin pientä lämmöntarvetta yöaikaan. Kohteessa H vuorokauden sähköenergian kulutus on suurempi kuin kohteen I kaukolämmön kulutus, mutta suurin kulutus on iltapäivällä, jolloin lämmitysenergiaa ei tarvita. Kohde H on myös kohdetta I yli kaksi kertaa suurempi, mikä ei voi olla näkymättä sähkön kulutuksessa.

Taulukosta 11 voidaan nähdä, että lähes jokaisena vuorokauden tuntina kaukolämpöä kuluu vähintään 1–2 kWh. Kaukolämpötalon koko toukokuun lämmitysenergiankulutus verrattuna sähkölämmitteisen kohteen E kulutukseen on 5,8-kertainen. Kun otetaan myös lämminkäyttövesi huomioon, lämmitysenergiankulutus on silti 3,6-kertainen. Rakennuksen lämmönhukka ei voi olla noin paljoa suurempi. Näyttää siltä, että kaukolämmitysjärjestelmässä tapahtuu todella paljon lämmönhukkaa. Vaikka energiaa ei juurikaan tarvittaisi, pyörii järjestelmässä niin sanottu hullunkierro eli kaukolämpövesi kiertää koko ajan järjestelmän läpi ja mittari raksuttaa. Hukkalämpö todennäköisesti siirtyy suurimmaksi osaksi teknisen tilan lämmitykseen. Hukkalämmön syntymistä voidaan estää sulkemalla lämmityspuolen kesäsulku, jolloin kaukolämpövesi ei kierrä lämmityspuolen lämmönvaihtimen läpi. Hukkalämpöä tapahtuu myös käyttöveden puolelta, ja sen voi havaita kaukolämpötalon kesäajan kulutuksesta. Kesäkuussa kaukolämmön kulutus oli 660 kWh. Kaukolämpötalossa käytetään vettä enemmän kuin sähkölämmitteisessä, mutta vastaavalla veden kulutuksella sähkölämmitteisen vedenkulutus jäisi alle 300 kWh kuukaudessa. Häviöiden osuus on siis yli puolet ja se on todella suuri määrä. Tämä ei ole yksittäistapaus, koska kaikissa kolmessa projektissa mukana olevassa kaukolämpökohteessa kulutukset ovat hyvin samanlaisia.

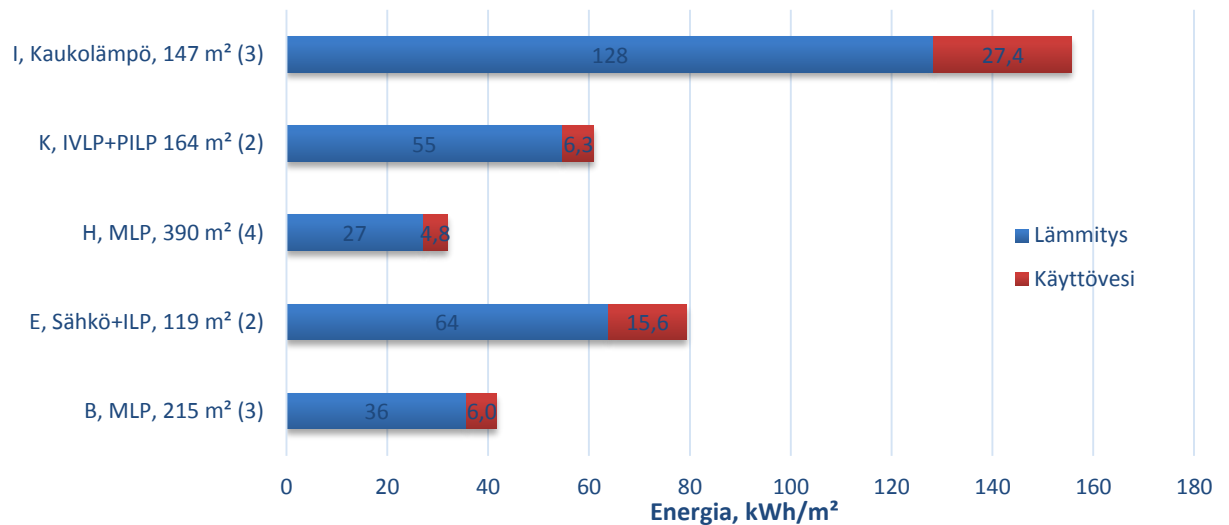
Jotta voidaan paremmin verrata eri lämmitysmuotojen kulutuksia keskenään, on parempi jakaa lämmitysenergian kulutukset rakennuksen neliömetreillä. Kuviossa 16 on esitetty kohteiden vuoden 2013 aikana kuluttamat lämmitysenergiat neliometriä kohti. Nämä eivät siis sisällä käyttöveden lämmittämistä. Kohteiden identifiointi ja tiedot on merkitty samaan tapaan vasempaan laitaan kuin edellisessä kuviossa 15.



KUVIO 16. Arvioidut lämmitysenergian kulutukset neliometriä kohti vuonna 2013

Maalämpöpumpulla lämpiävä kohde H on hyvin suuri ja se näkyy neliökohtaisissa kulutuksissa. Kuvioista 16 näemme, että se kuluttaa selkeästi vähiten neliometriä kohti, vaikka kokonaiskulutus onkin toiseksi suurin kaukolämmön jälkeen. Toinen maalämpötalo on myös pieni kulutukseltaan. Sähkölämmitys kuluttaa toiseksi eniten neliometriä kohti, mutta jää hyvin kauaksi kaukolämmön kulutuksesta. Ilma-vesilämpöpumpulla ja poistoilmalämpöpumpulla varustetun kohteen K lämmitysenergiankulutus on pienempi kuin sähkölämmitteisen kohteen E, mutta selkeästi isompi kuin maalämpökohteiden. Kaukolämpö kuluttaa selkeästi eniten neliometriä kohti.

Kuviossa 17 on esitetty kohteiden lämmitysenergian ja käyttöveden lämmittämiseen käytetyn energian määrät neliometriä kohti vuonna 2013. Kohteiden tiedot on esitetty vasemmalla ja energia kilowattituntia neliometrille alhaalla. Sinisellä on merkattu lämmityksen osuutta ja punaisella käyttöveden osuutta.

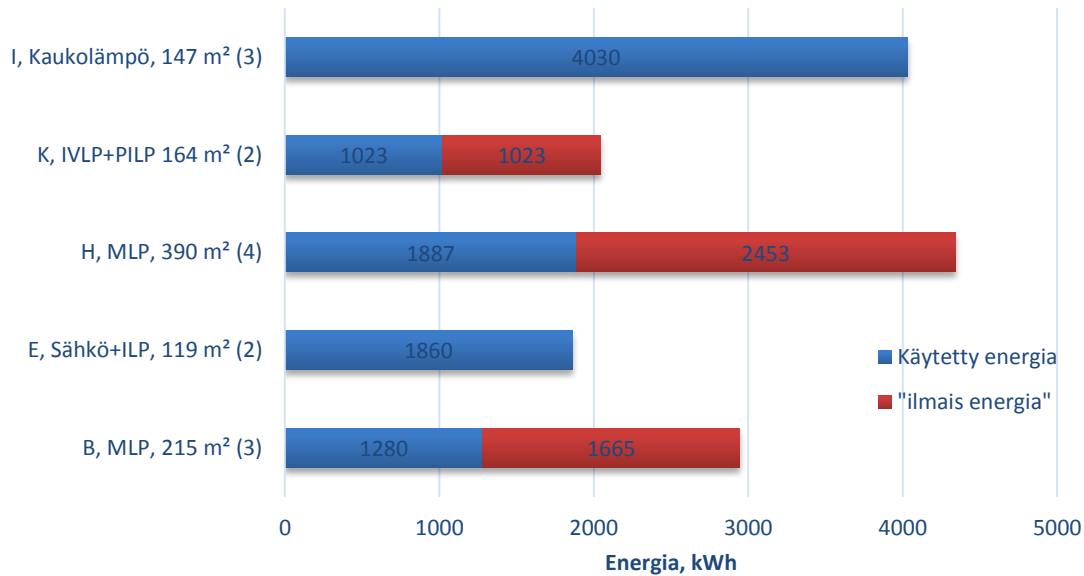


KUVIO 17. Lämmitysenergian ja käyttöveden arvioidut kulutukset neliometriä kohti vuonna 2013

Kuviosta 17 voidaan havaita suoraan kohteiden lämmitysenergian kulutus neliometriä kohti ja käyttöveden kulutus neliometriä kohti. Kohteiden suuruusjärjestys on sama kuin edellisessä taulukossa, mutta käyttöveden kulutus lisää kohteiden eroja. Käyttöveden kulutus näkyy kaikkein selkeimmin pinta-alaltaan pienimmissä kohteissa I ja E. Niissä myös käyttöveden lämmittämiseen käytetyt energiat ovat olleet isoimpia (kuvio 15). Kohteessa H käyttöveden lämmittämiseen käytetty energia on yhtä suuri kuin kohteessa E, mutta neliometrille kulutus on huomattavasti pienempi.

Kuviossa 18 on lämpimänkäyttöveden energiankulutus ja ilmaisenergian osuudet. Lämpöpumpuilla käytetty energia on laitteen ottamaa sähköenergiaa. Lämpöenergian osuus, joka menee yli käytetyn sähköenergian osuudesta, on ilmaisenergiaa. Kohteessa I energia on tietenkin kaukolämpöä. Sininen pylväs tarkoittaa käytettyä energiaa ja punainen ilmaisenergiaa. Molemmat yhteensä tarkoittavat talouden lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittavaa kokonaisenergiaa, joka on suoraan verrannollinen käytetyn veden määrään.

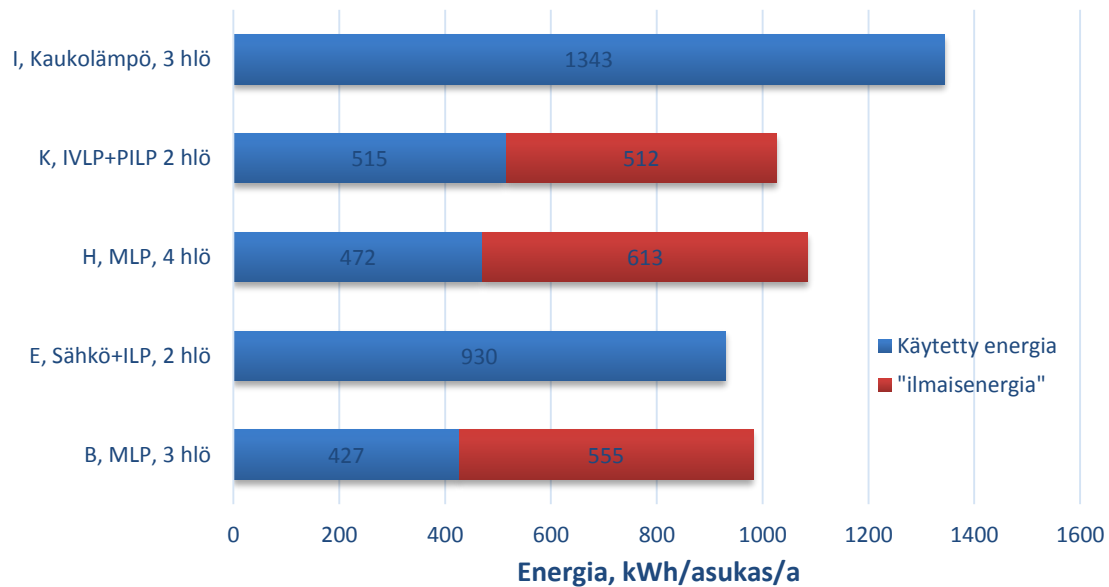




KUVIO 18. Käyttöveden lämmittämiseen käytetyt energiat ja ilmaisenergian osuudet arviolta vuonna 2013

Kuviosta 18 näkee suoraan, paljonko lämpöpumpulla pystyy säästämään vuoden aikana käyttöveden lämmittämässä. Mitä suurempi on kulutus, sitä suurempi on säästöpotentiaali. Jos veden kulutus on pieni, on se aivan sama millä sen lämmittää. Kohteessa H käytetään eniten vettä, mutta siellä on myös eniten asukkaita. Kohteissa E ja K käytetään vähiten vettä, mutta niissä on vain kaksi asukasta. Kaikkein pienin käytetyn energian osuus on kohteella K, vain vähän yli tuhat kilowattituntia vuoden aikana käyttöveden lämmittämiseen. Maalämpöpumppu kohteessa B käytetyn energian osuus on myös vähäinen. Maalämpökohteessa H ja sähkölämmitteisessä kohteessa E käyttöveden lämmittämiseen on käytetty energiaa saman verran.

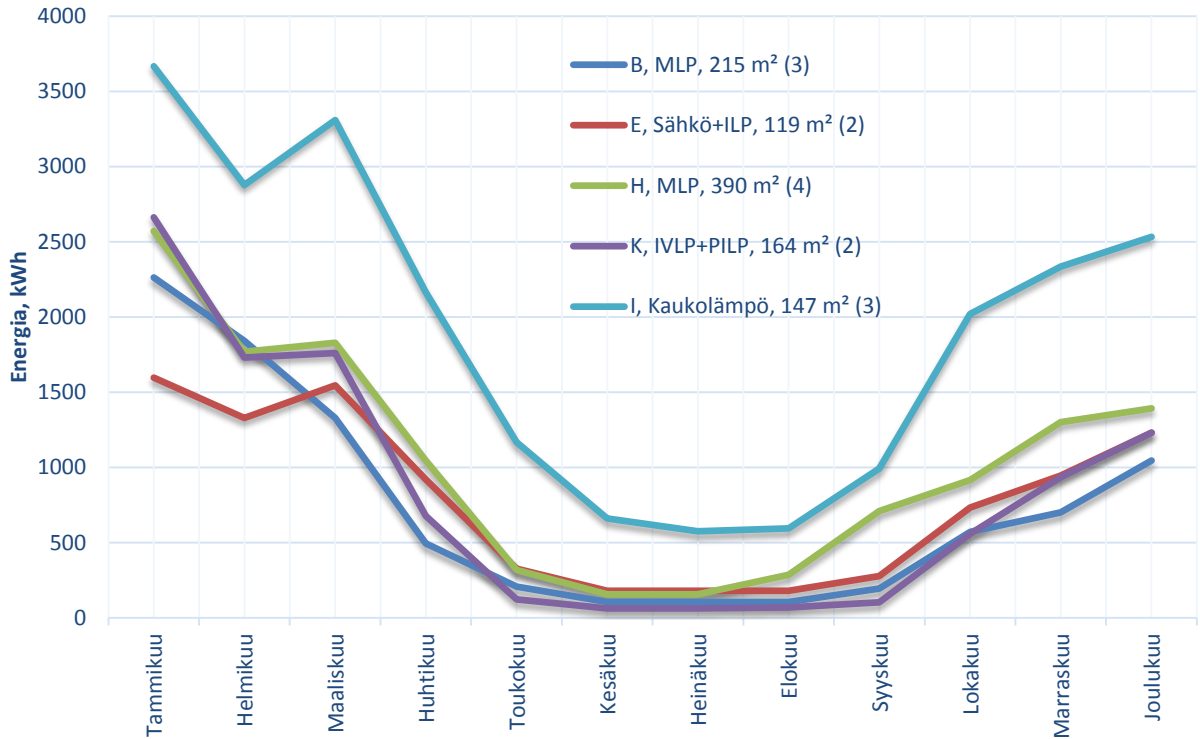
Käyttöveden kulutusta ei ole järkevää jakaa neliömetrille, koska rakennusten pinta-alat eivät vaikuta veden kulutukseen. Kuviossa 19 on esitetty käyttöveden lämmittämiseen käytetty energia asukasta kohti 2013 vuonna. Taulukkoon on eroteltu energia ja ilmaisenergia samaan tapaan kuin kuviossa 18 edellä.



KUVIO 19. Käyttöveden lämmittämiseen käytetty energia asukasta kohti arvioihin perustuen vuonna 2013

Kuviosta 19 havaitaan, että kokonaisenergian osuudet henkilöä kohti ovatkin hyvin samansuuruiset, ellei kaukolämpöä oteta huomioon. Tämä tarkoittaa sitä, että käyttöveden kulutuksen määrä on verrannollinen talouden asukkaiden määrään ja on noin tuhat kilowattituntia asukasta kohden. Kaukolämmön käyttämän energian määrä on reilusti suurin, johtuen todennäköisesti suuresta kulutuksesta ja suurista järjestelmähäviöistä. Toki kulutusta lisää myös käyttötottumukset. Kaukolämmöllä lämmittäjä voi ajatella, että kaukolämpö on halpaa ja ekologista, jolloin lämmintä vettä herkästi käyttää vähän runsaammin. Kohteessa E käytetyn kokonaisenergian osuus on pienin. Tämä johtuukin todennäköisesti käyttötottumuksista. Vähän vettä kuluttava valitsee sähkön lämmitysmenetelmäksi, koska tietää, ettei kovin paljon voi siitä vähästä säästää. Sähkölämmittäjä ajattelee mahdollisesti myös enemmän kulutustansa ja säästää käyttöveden kulutuksesta.

Kuviossa 20 on kohteiden kuukausittaiset lämmitysenergian ja käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan energiankulutukset vuonna 2013. Eri kohteet on merkattu eri väreillä ja kunkin kohteen väri on kerrottu selitteessä. Kuvion alalaitaan on merkitty kuukaudet.



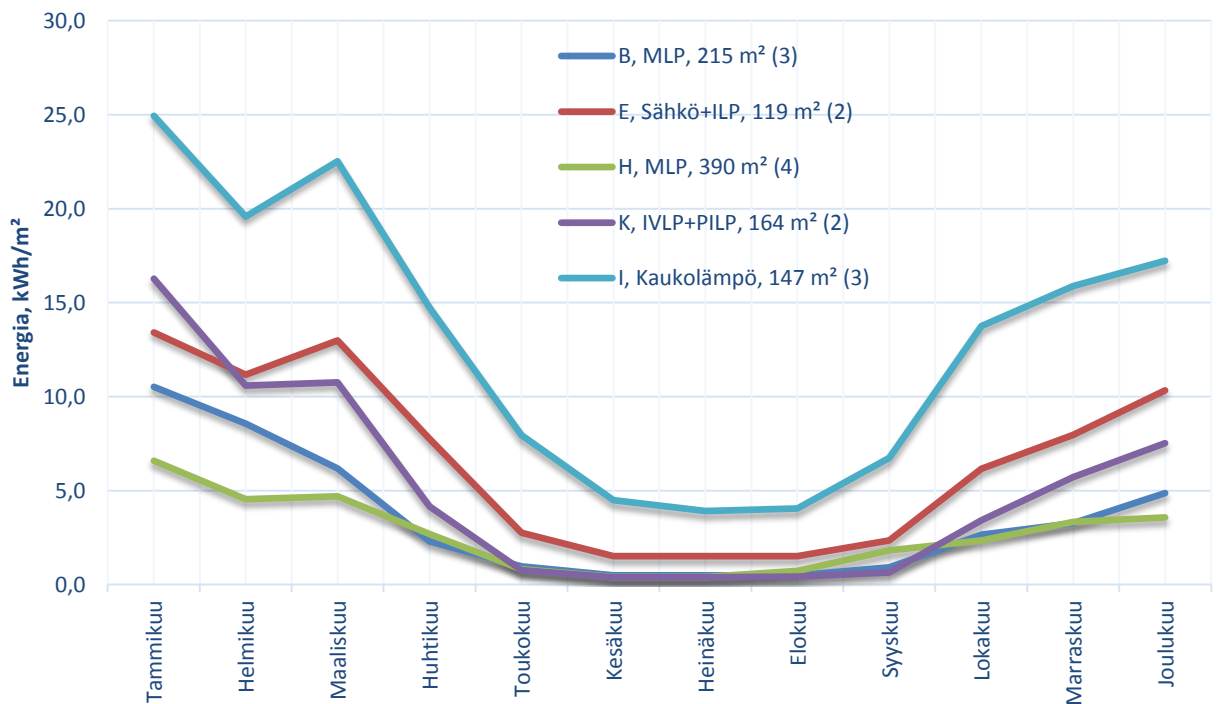
KUVIO 20. Arviot lämmitysenergioiden ja käyttöveden kulutuksesta kuukausittain vuonna 2013

Kuviosta 20 on nähtävissä, että kohteen I kulutus on vuoden 2013 jokaisena kuukautena suurin, vaikka se on toiseksi pienin kohde. Kylminä kuukausina ero muihin on suurimmillaan. Syyt ovat samat, kuin mitä aikaisemmin on kerrottu. Tästä kuviosta näkee kuinka eri lämmitykset käyttäytyvät kesällä ja talvella. Tammikuun pakkasilla kohteen K kulutus on toiseksi suurin, mutta kesää kohti mentäessä kulutus onkin pienin. Tämä johtuu ilmalämpöpumpun ominaisuuksista. Kylmällä säällä sen hyötysuhde on todella huono ja lämpimällä ilmalla todella hyvä. Kohteen E sähkölämmitys näyttää pärjäävän suhteessa parhaiten kovalla pakkasella. Lämmöntarvelukujen mukaan tammikuu ja maaliskuu olivat kylmiä ja helmikuu lämpimämpi. Se näkyy selkeimmin kaukolämmön ja sähkölämmön kulutuksessa.

Kohteen B lämmitysenergian kulutuksessa tapahtuu jotain paljon parempaan suuntaan maaliskuussa 2013. Siinä ei näy piikkiä maaliskuun kohdalla, päinvastoin. Tässä kohteessa kulutus on matalaa myös syksypuolella. Mitattujen datojen perusteella voi sanoa, että 2014 vuoden alussa kohteen B kulutukset olivat myös pieniä. Kohteessa on alettu käyttää apuwatti

nimistä rakennuslämmittintä ilmanvaihtokoneen esilämmityksessä maapiirin lisäksi. Ko-  
neessa oli ollut jäätämisiongelmia ja sen hyötysuhde putosi olemattomiin kovilla pakkasilla,  
jolloin lämpöä menee huomattavasti enemmän hukkaan. Apuwatti toi avun tilanteeseen.  
Apuwatin teho on suuri ja se kuluttaa kohtuullisen paljon energiaa, mutta ilmanvaihtokoneen  
hyötysuhteen pysyminen hyvänä tuo kulutetun energian nopeasti takaisin.

Kuviossa 21 on kohteiden kuukausittaiset lämmitysenergian ja käyttöveden lämmittämiseen  
tarvittavan energian kulutus neliometriä kohti vuonna 2013. Kuviossa on kohteet merkattu  
samaa tapaan kuin edellisessä kuviossa 20. Neliökohtaisista kulutuksista näemme parem-  
min eri lämmitysmuotojen todelliset erot.



KUVIO 21. Lämmitysenergioiden ja käyttöveden kulutus kuukausittain neliötä kohti arvioi-  
hin perustuen vuonna 2013

Maalämpöpumppukohteet ovat neliötehoissa selkeästi parhaita. Ilma-vesilämpöpumppu on  
myös hyvä, paitsi kovalla pakkasella. Sähkölämmitys yllättäen voittaa neliökulutuksissa  
ilma-vesilämpöpumppulämmityksen talven kylmimpänä kuukautena. Tämä tarkoittaa sitä,  
että ilma-vesilämpöpumppuun perustuvan lämmitysjärjestelmän hyötysuhde on mennyt huo-

nommaksi kuin suoran sähkölämmityksen. Itse pumpun lämpökerroin voi vielä olla yli yhden, mutta järjestelmässä tulevat häviöt johtavat tähän tilanteeseen. Jos sähkölämmitys olisi vesikiertoinen, niin tammikuun kulutukset olisivat todennäköisesti samat. Sähkölämmityksessä on kaukolämmön jälkeen toiseksi suurimmat neliökulutukset kaikkina muina kuukausina, paitsi tammikuussa. Kuten todettua, kaukolämmön kulutus on huima.

#### 5.4 Kohteiden lämmitysenergian kustannukset

Kustannuksia laskiessa täytyy olla selvillä energian hinnasta. Sähkön hinta on Tampereen seudulla omakotiasujalle vähän alle 13 senttiä kilowattituntia kohti energiaviraston ylläpitämän sivuston mukaan (Energiavirasto, 2014). Laskuissa on käytetty 13 senttiä kilowattituntia kohti. Kaukolämmön hinta on Tampereen Kaukolämpö Oy:n alueella omakotiasujalle 102,38 euroa megawattituntia kohti Energiateollisuus ry:n ylläpitämän kaukolämmön hintatilaston mukaan (Energiateollisuus ry, 2014b). Laskuissa on käytetty 10 senttiä kilowattituntia kohti, jotta ei anneta liian huonoa kuvaa jo muutenkin huonoja tuloksia saaneelle kaukolämmölle.

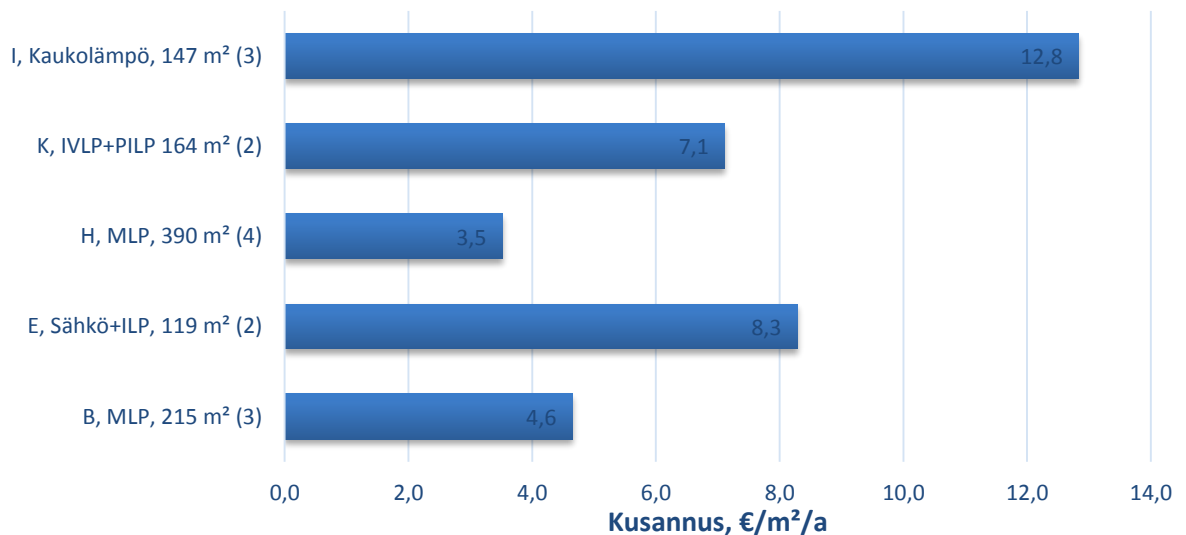
Tämän opinnäytetyön kustannuslaskelmissa ei oteta huomioon energian hinnan nousua eikä investoinnin korkokustannuksia. Hinnan nousu parantaa halvan lämmitysmuodon säästöjä, mutta käyttökustannuksiltaan halpa lämmitysmuoto on yleensä kallis hankkia. Jos investointi on suuri, nostaa se myös korkokustannuksia. Näin ollen voidaan katsoa, että energian hinnan nousu ja korkokustannukset kompensoivat toistensa vaikutusta. Opinnäytetyössä ei oteta huomioon investointikustannuksia, joten ei voida ottaa huomioon korkokustannusiakaan. Kun korkokustannuksia ei oteta huomioon, niin ei oteta myöskään hinnan nousua. Kustannusarviot ovat suuntaa antavia, koska kustannukset perustuvat osittain arvioituihin energian kulutuksiin.

Kuviossa 22 on kohteiden lämmitysenergian ja käyttöveden lämmittämisen kokonaiskustannukset 2013. Kohteiden tiedot ovat vasemmalla, kuten aikaisemmissakin kuvioissa. Alhaalla on kustannukset euroina vuodessa. Sinisellä on merkattu lämmityksen kustannusten osuus ja punaisella käyttöveden osuus.



KUVIO 22. Lämmityksen ja käyttöveden lämmittämisen kokonaiskustannusarvio 2013

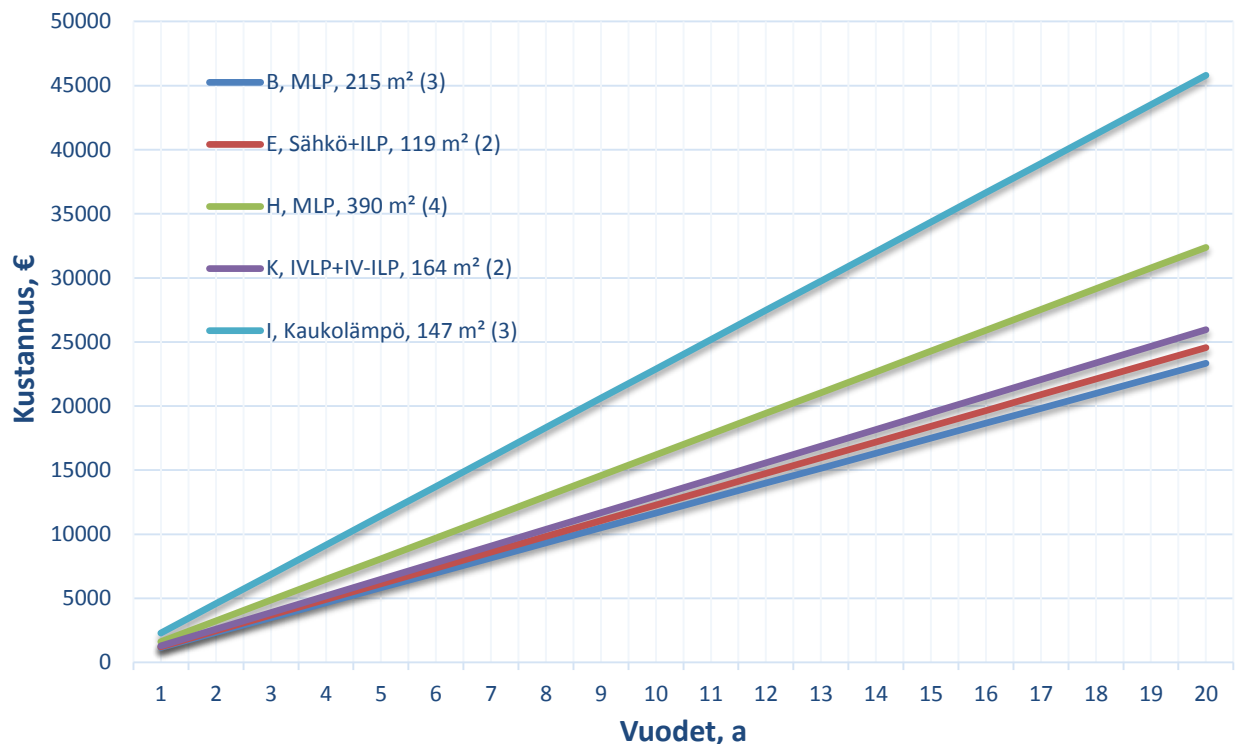
Kuvion 22 arvioissa kaukolämmön halvempi hinta on kaventanut eroa muihin verrattuna energiankulutukseen, mutta kaukolämpötilon kustannukset ovat silti selkeästi suurimmat. Vuonna 2013 kohteen I kokonaislämmityskustannukset ovat olleet vajaa 2400 euroa. Kustannuksiltaan edullisimman kohteen B kokonaislämmityskustannukset vuonna 2013 ovat olleet hiukan alle 1200 euroa. Se on yli puolet vähemmän kuin kohteessa I, vaikka kohde B on huomattavasti isompi. Muissa kohteissa vuosikustannusten ero on alle 500 euroa vuodessa.



KUVIO 23. Arvioidut lämmitysenergian kokonaiskustannukset vuodessa neliometriä kohti vuonna 2013

Kuviossa 23 on kohteiden lämmitysenergian ja käyttöveden lämmittämisen kustannukset neliometriä kohti vuonna 2013. Kuvion alalaidassa on eurot neliometriä kohti vuodessa. Erot ovat suuria kohteiden välillä. Kohteen I neliometriä kohti oleva kustannus on lähes nelinkertainen kohteeseen H verrattuna. Sähkölämmitteisen kohteen E kokonaislämmitysenergian kustannukset ovat noin kaksinkertaiset maalämpökohteisiin verrattuna. Kohteen K kustannukset neliometriä kohti ovat vähän yli euron vähemmän kuin kohteessa E.

Kuviossa 24 on kohteiden lämmityksen ja käyttöveden kustannusarvio kahdenkymmenen vuoden aikana, jos kaikkina vuosina energiankulutus olisi sama kuin vuonna 2013. Kuvion alalaidassa on vuodet ja vasemmassa laidassa kokonaiskustannukset euroina. Selitteessä on kerrottu kohteet ja väritunnukset kohteille.

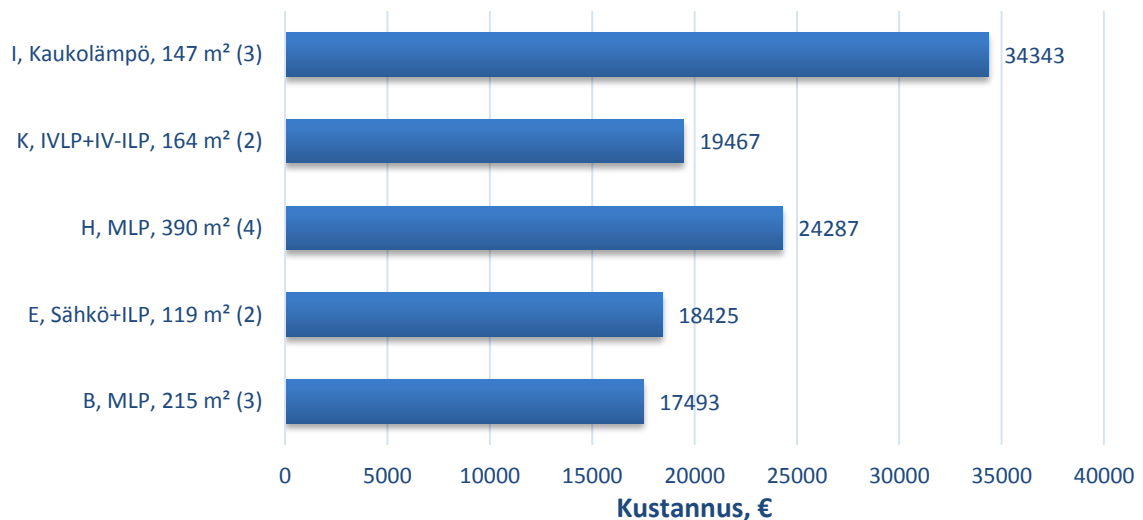


KUVIO 24. Arvioidut lämmitysenergian ja käyttöveden kustannukset 20 vuoden ajalle

Kuviosta 24 näkee kohteiden lämmityksen ja käyttöveden lämmittämisen kustannusarvion seuraavan kahdenkymmenen vuoden ajalle. Kohteiden B, E ja K kustannukset 20 vuoden ajalla ovat suurin piirtein samat kustannusten ollessa 25 000 euron molemmin puolin. Huo-

mattavaa on, että näissä kohteissa on eri lämmitysmuoto ja pinta-ala. Maalämpöpumppukohteen B kustannukset ovat niistä pienimmät eli siinä on näistä kohteista halvimmat lämmityskustannukset. Kaukolämpökohteen I kustannukset 20 vuoden ajalla ovat aivan omalla tasollaan kustannusten ollessa noin 45 000 euroa. Kohteen H kustannukset ovat suuremmat kuin kohteiden B, E ja K, mutta selkeästi pienemmät kuin kohteen I.

Kaksikymmentä vuotta on pitkä aika lämpöpumppujen käyttöikää ajatellen, joten seuraavassa kuviossa 25 on arvioitu kokonaiskustannuksia viidentoista vuoden ajalle. Kuvioon on selvennetty edellisen kuvion 24 kustannukset viidentoista vuoden kohdalta.



KUVIO 25. Lämmitysenergian ja käyttöveden arvioidut kokonaiskustannukset 15 vuoden aikana

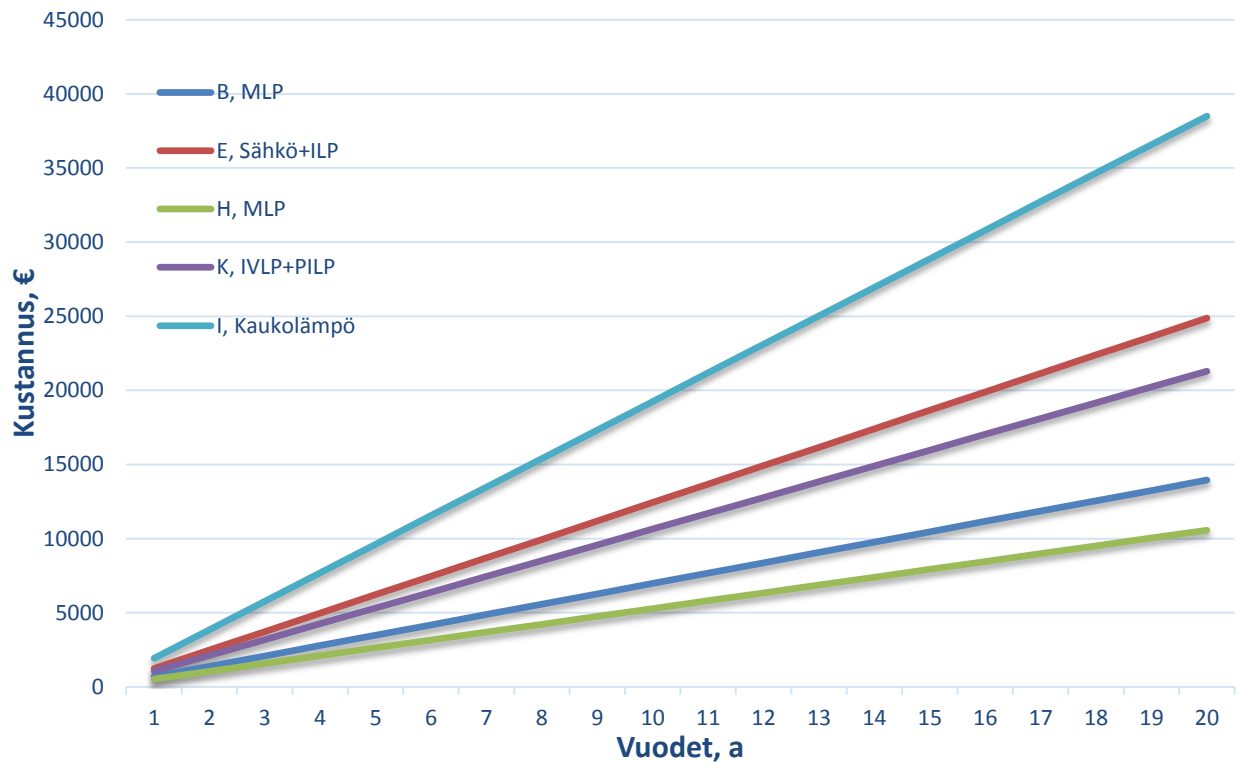
Kuten kuviosta 25 voidaan havaita, halvimman ja kalleimman kohteen 15 vuoden kustannuksien välinen erotus on noin 17 000 euroa. Kaukolämpökohteen kokonaislämmityskustannukset ovat siis lähes kaksinkertaiset maalämpökohteeseen B verrattuna, vaikka kohde B on huomattavasti isompi. Keskimääräiset käyttökustannukset näissä kohteissa ovat noin 20 000 euroa 15 vuoden aikana kohdetta I lukuun ottamatta.



## 5.5 Käyttökustannukset 150 m<sup>2</sup> ja kolmihenkisiksi vakioiduissa taloissa

Erilaisten lämmitysmuotojen käyttökustannusten vertailtavuuden parantamiseksi on jokainen kohde laskennallisesti muutettu 150 m<sup>2</sup> kokoiseksi ja asukasmäärä kolmeen henkilöön. Lämmityskustannukset on vakioitu pinta-alan mukaan 150 m<sup>2</sup> talolle. Pinta-ala vaikuttaa lämmitysenergian tarpeeseen ja siten kustannuksiin. Kohteen lämmityskustannukset on jaettu kohteen todellisella pinta-alalla ja kerrottu 150:llä, jolloin saadaan vastaavan 150 m<sup>2</sup>:n talon lämmityskustannukset. Kustannuksesta ei saa kokonaismielikuvaa, jos kustannus on jaettu neliömetrille, siksi on päädytty tähän ratkaisuun. Henkilömäärä vaikuttaa käyttöveden kulutukseen ja siten kustannuksiin. Käyttöveden lämmityskustannukset on jaettu todellisella henkilömäärällä ja kerrottu kolmella, jolloin saadaan kulutus, joka olisi kolmen henkilön taloudessa. Nämä tulokset eivät ole näiden mitattujen kohteiden todellisia kulutuksia. Tulokset ovat todellisten kohteiden lämmityskustannusten pohjalta tehtyjä arvioita siitä, kuinka paljon maksaisi samalla tavalla eristetyn ja samanlaisilla lämmityslaitteilla varustetun 150 m<sup>2</sup> talon lämmittäminen kolmihenkisessä taloudessa. Arviot ovat realistisimpia kohteissa, jotka ovat jo valmiiksi lähellä 150 m<sup>2</sup> pinta-alaa.

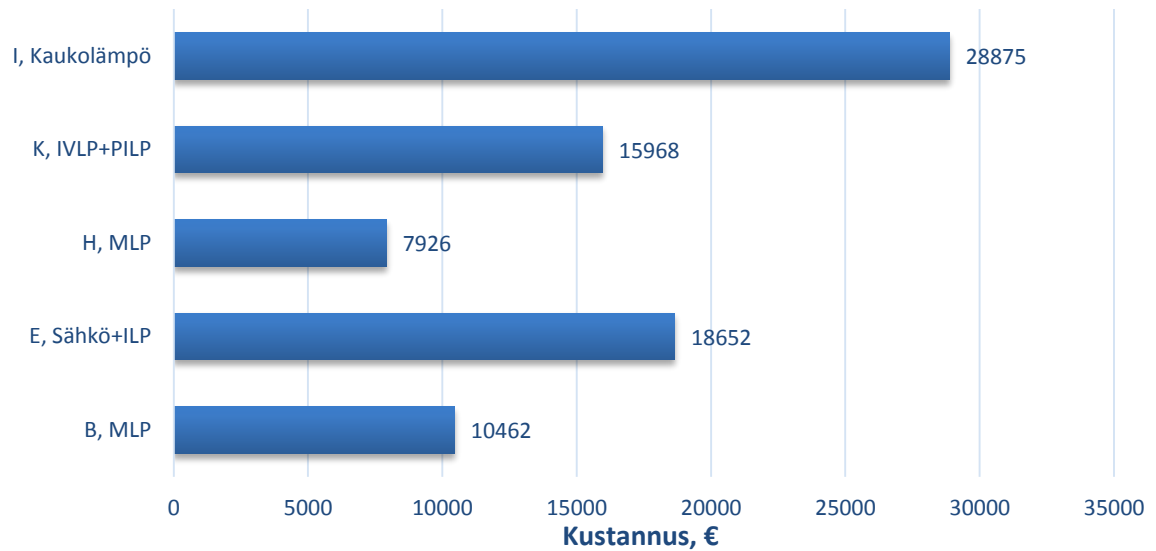
Kuviossa 26 on arvioidut lämmitysenergian käyttökustannukset 150 m<sup>2</sup> taloille 20 vuoden aikana. Kuvion alalaidassa on vuodet numeraalisesti ja vasemmassa laidassa on kustannukset euroina. Selitteessä on kohteet, joiden perusteella nämä tulokset on arvioitu, lämmitysmuoto ja väri, jolla kyseinen kohde on merkattu.



KUVIO 26. Arvioidut lämmitysenergian käyttökustannukset 150 m<sup>2</sup> taloille 20 vuoden aikana

Kuviosta 26 havaitaan maalämpöpumppukohteiden B ja H olevan selkeästi halvimmat lämmitysmuodot. Niissä lämmityskustannukset ovat 10 000–14 000 euroa 20 vuodessa. Ilma-vesilämpöpumppukohteessa K ja sähkölämmityskohteessa E kustannukset ovat 21 000–25 000 euroa 20 vuodessa. Eroa kahdella aikaisemmalla ja kahdella jälkimmäisellä on keskimäärin 10 000 euroa 20 vuoden kustannuksissa. Kaukolämpökohde I on selkeästi kallein lähes 40 000 euron kustannuksilla 20 vuodessa. Sen lämmityskustannukset 20 vuoden aikana ovat lähes nelinkertaiset verrattuna kohteeseen H.

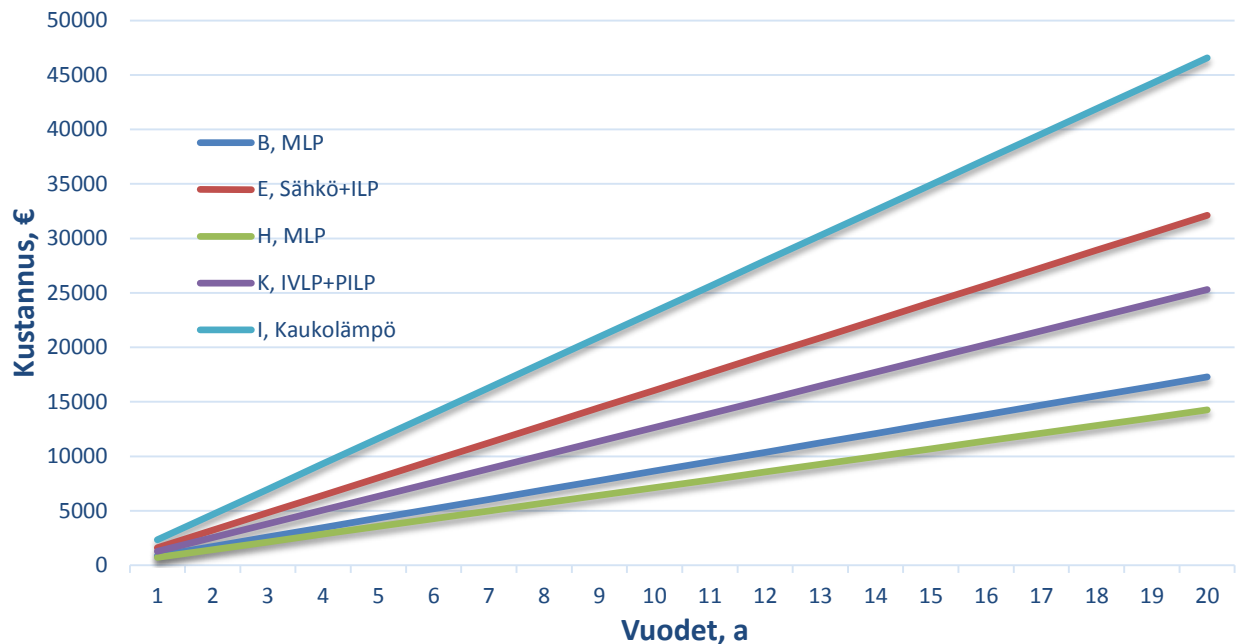
Kuviossa 27 on arvioitu lämmityksen kokonaiskäyttökustannukset viidentoista vuoden ajalle 150 m<sup>2</sup> talossa. Kuvioon on selvennetty edellisen kuvion 26 kustannukset viidentoista vuoden kohdalta. Kuvion alalaidassa on kustannukset euroina ja vasemmassa laidassa on kohteiden tiedot.



KUVIO 27. Arvioidut lämmityksen käyttökustannukset 150 m<sup>2</sup> taloille 15 vuoden aikana

Kuviosta 27 voidaan havaita käyttökustannuksissa olevan suuria eroja. Kaukolämpökohde I on lämmityskustannuksissa sähkölämpökohdetta E noin 10 000 euroa kalliimpi 15 vuoden aikana. Verrattaessa sähkölämpökohdetta E maalämpöpumppukohteisiin B ja H, on sen lämmityskustannukset 8 000–10 000 euroa suuremmat viidentoista vuoden aikana. Ilma-vesilämpöpumppu on sähkölämmitteiseen taloon verrattuna vajaa 3 000 euroa halvempi ja vastaavasti maalämpöpumppuun verrattuna 6 000–8 000 euroa kalliimpi viidentoista vuoden aikana. Riippuen paljon muun muassa lämpöpumppujen investointikustannuksista, sähkölämmitys vaikuttaa varsin kilpailukykyiseltä ratkaisulta lämmitykseen tämänkin kokoisessa (150 m<sup>2</sup>) omakotitalossa. Pienemmässä talossa sähkölämmityksen etu kasvaa ja suuremmat omakotitalot suosivat lämpöpumppuja. Nämä arviot olivat pelkän lämmityksen kustannuksia. Kokonaiskustannuksia mietittäessä on syytä ottaa mukaan myös käyttöveden lämmittämisen kustannukset.

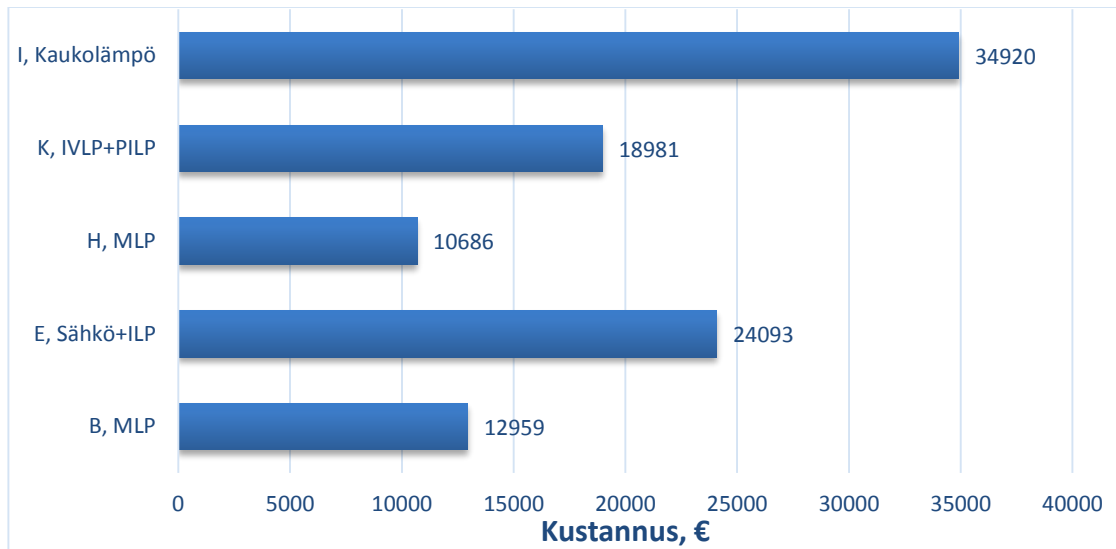
Kuviossa 28 on esitetty arvioidut lämmitysenergian ja käyttöveden käyttökustannukset kolmen asukkaan 150 m<sup>2</sup> taloille 20 vuoden aikana. Kuvion alalaidassa on vuodet ja vasemmassa laidassa on kustannukset euroina.



KUVIO 28. Arvioidut lämmitysenergian ja käyttöveden käyttökustannukset kolmen asukkaan 150 m<sup>2</sup> taloille 20 vuoden aikana

Kuviosta 28 voidaan havaita, että maalämpöpumppukohteiden B ja H lämmityskustannukset ovat noin 14 000–17 000 euroa 20 vuodessa. Ilma-vesilämpöpumppukohteen K ja sähkölämmityskohteen E kustannusten ero on kasvanut otettaessa käyttövesi tarkasteluun mukaan. Eron suureneminen johtuu sähkölämmityksen kalliimmasta käyttöveden lämmittämisestä. Kohteiden K ja E kustannukset ovat noin 25 000–32 000 euroa 20 vuodessa. Kaukolämpökohte I on vielä selkeämmin kallein yli 46 000 euron kustannuksilla 20 vuodessa huomioidaessa käyttöveden lämmityksen kustannukset.

Kuviossa 29 on arvioitu lämmityksen ja käyttöveden kokonaiskäyttökustannukset viidentoista vuoden ajalle kolmen hengen taloudessa 150 m<sup>2</sup> talossa. Kuvioon on selvennetty edellisen kuvion 28 kustannukset viidentoista vuoden kohdalta. Kuvion alalaidassa on kustannukset euroina ja vasemmassa laidassa on kohteiden tiedot.



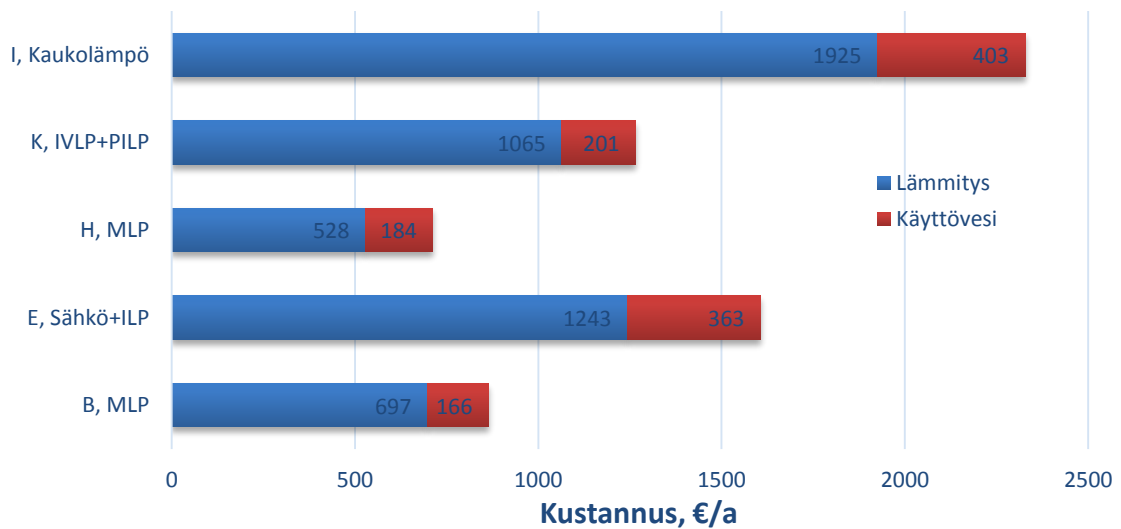
KUVIO 29. Arvioidut lämmityksen ja käyttöveden käyttökustannukset kolmen hengen talouksissa 150 m<sup>2</sup> taloissa 15 vuoden aikana

Kuviosta 29 voidaan päätellä käyttökustannuksissa olevan suuria eroja. Kaukolämpökohde I on kokonaislämmityskustannuksiltaan noin 35 000 euroa ja sähkölämmityskohdetta E noin 11 000 euroa kalliimpi 15 vuoden aikana. Verrattaessa sähkölämmityskohdetta E maalämpöpumppukohteisiin B ja H on sen kokonaislämmityskustannukset 11 000–13 500 euroa suuremmat viidentoista vuoden aikana. Ilma-vesilämpöpumppu on sähkölämmitteiseen taloon verrattuna käyttökustannuksiltaan noin 5 000 euroa halvempi ja vastaavasti maalämpöpumppuun verrattuna 6 000–8 000 euroa kalliimpi viidentoista vuoden aikana. Sähkölämmityksen ja kaukolämmön ero lämpöpumpuilla lämpiäviin rakennuksiin kasvoi otettaessa käyttöveden lämmityskustannukset huomioon. Lämpöpumppujen etu kasvaa käyttöveden kulutuksen suurentuessa.

Isossa 390 m<sup>2</sup> talossa maalämpöpumppu toimii todennäköisesti paremmalla hyötysuhteella kuin huomattavasti pienemmässä. Kohde H on vakioitu 390 m<sup>2</sup> talosta 150 m<sup>2</sup>:ksi, joten oletetaan, että pienemmästä kohteesta B vakioitu kustannus on lähempänä totuutta. Tämän laskentatavan mukaan sähkölämmityksen käyttökustannukset ovat maalämpöön verrattuna keskimäärin 12 000 euroa kalliimmat 15 vuoden aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että maalämpöpumppujärjestelmä asennuksineen voi maksaa 12 000 euroa sähkölämmitysjärjestelmää enemmän, jolloin se maksaa itsensä takaisin 15 vuoden aikana.

Tämän laskentatavan mukaan sähkölämmityksen käyttökustannukset ovat halvempaan ilma-vesilämpöön verrattuna noin 5 000 euroa kalliimmat 15 vuoden aikana. Ilma-vesilämpöpumppu asennuksineen voi siis maksaa 5 000 euroa sähkölämmitysjärjestelmää enemmän maksaen itsensä kuitenkin takaisin vielä 15 vuoden aikana.

Kuviossa 30 on lämmityksen ja käyttöveden arvioidut käyttökustannukset kolmen hengen taloudessa 150 m<sup>2</sup> taloissa yhden vuoden aikana. Alareunassa on kustannukset vuodessa ja vasemmassa reunassa on kohteet, joiden perusteella kustannukset on laskettu. Sinisellä on merkattu lämmityksen ja punaisella käyttöveden käyttökustannuksia.



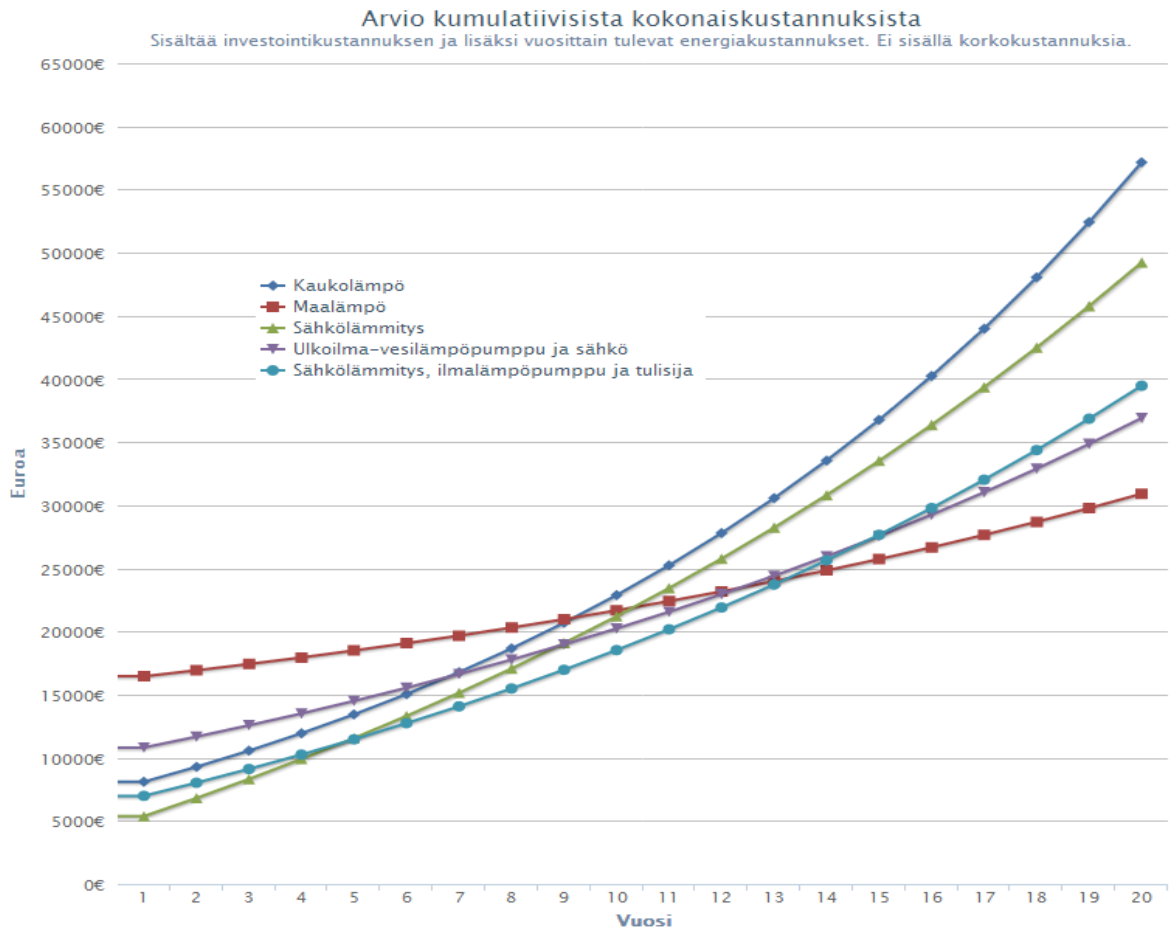
KUVIO 30. Arvioidut lämmityksen ja käyttöveden käyttökustannukset kolmen hengen taloudessa 150 m<sup>2</sup> taloissa yhden vuoden aikana.

Kuviosta 30 nähdään suoraan lämmitysmuotojen kustannukset vuodessa. Kohteen H perusteella arvioidun maalämmön vuosikustannukset ovat vain hiivenen yli 700 euroa, kun kohteen I perusteella arvioidun kaukolämmön vuosikustannukset ovat hiivenen yli 2 300 euroa. Kohteen B perusteella arvioidun maalämmön vuosikustannukset ovat noin 860 euroa. Ilma-vesilämpöpumppulämmityksen vuosikustannukset ovat noin 1 260 euroa. Sähkölämmityksen vuosikustannukset ovat noin 1 600 euroa. Suurimmat erot kustannuksissa syntyvät näissä tapauksissa lämmitysenergiasta. Lämmityskustannuksissa kustannusero pienimmän ja suu-

rimman välillä on 1 400 euroa. Veden lämmittämisen kustannuserot ovat halvimman ja kalleimman välillä vähän yli 200 euroa vuodessa. Halvimmillaan veden lämmitys tapahtuu 166 eurolla kohteen B perusteella arvioidussa kohteessa.

## 5.6 Vertailu aikaisempiin tutkimustuloksiin

Passiivitalojen ensimmäinen kriteeri on, että huonetilojen lämmitysenergiantarve täytyy olla pienempi kuin  $25 \text{ kWh/m}^2$  vuodessa. Taulukosta 16 näemme, että kriteeri ei täyty yhdessäkään vertailukohteessa. Kohde H ei kuitenkaan ole kovin kaukana tämän kriteerin vaatimuksesta. Matalaenergiataloissa huonetilojen lämmitysenergiantarve on noin  $40\text{--}60 \text{ kWh/m}^2$ . Maalämpöpumppukohteet H ja B täyttävät tämän vaatimuksen helposti. Näiden mittausten perusteella kohde K täyttää matalaenergiatalon kriteerit niukasti ja sähkölämmityskohde E jää hieman näiden kriteerien ulkopuolelle. Huomioitava kuitenkin on, että kohteiden tulee täyttää matalaenergiatalon kriteeri, jonka mukaan matalaenergiatalon laskennallinen lämpöhäviö saa olla enintään 85 % rakennuksen vertailulämpöhäviöstä.

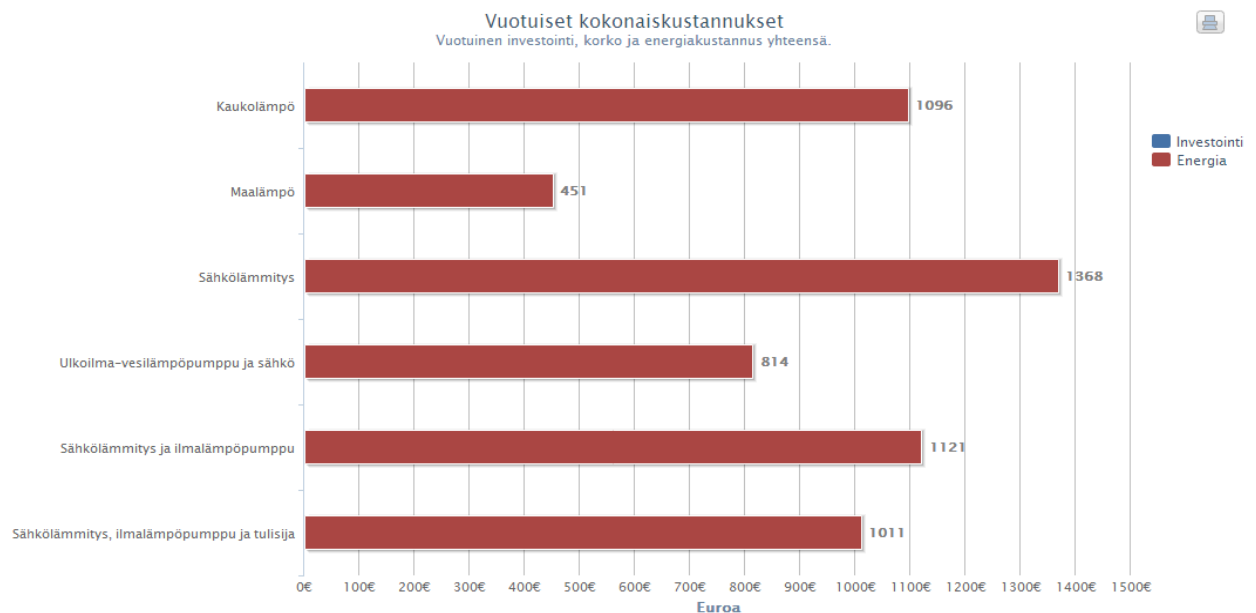


KUVIO 31. Motivan laskurista saatu arvio lämmitysten kumulatiivisista kokonaiskustannuksista 150 m<sup>2</sup> kokoisessa talossa

Kuviossa 31 on Motivan laskurista saatu arvio kumulatiivisista kokonaiskustannuksista erilaisille lämmitysratkaisuille. Kuvio sisältää investointikustannukset ja energian hinnan nousun, mutta ei korkokustannuksia. Rakennuksen pinta-alaksi on valittu 150 m<sup>2</sup> ja henkilömääräksi kolme. Kaukolämmön ja sähkön hinnat on korjattu vastaamaan tässä opinnäytetyössä käytettyjä hintoja. Kaukolämmön, sähkön ja puun hinnan nousuja on pienennetty hieman vastaamaan paremmin todellista hinnan nousua. Kaukolämmölle käytettiin 8 %, sähkölle 5 % ja puulle 6 %. Investointikustannukset olivat kaukolämpöjärjestelmälle 7 000 €, maalämpöjärjestelmälle 16 000 €, sähkölämmitykselle 4 000 €, ilmalämpöpumpulle 2 000 € ja ilma-vesilämpöpumpulle 10 000 €. COP-arvo oli Motivan arvioima, maalämpöpumpulle 3,0 ja ilma-vesilämpöpumpulle 2,0.



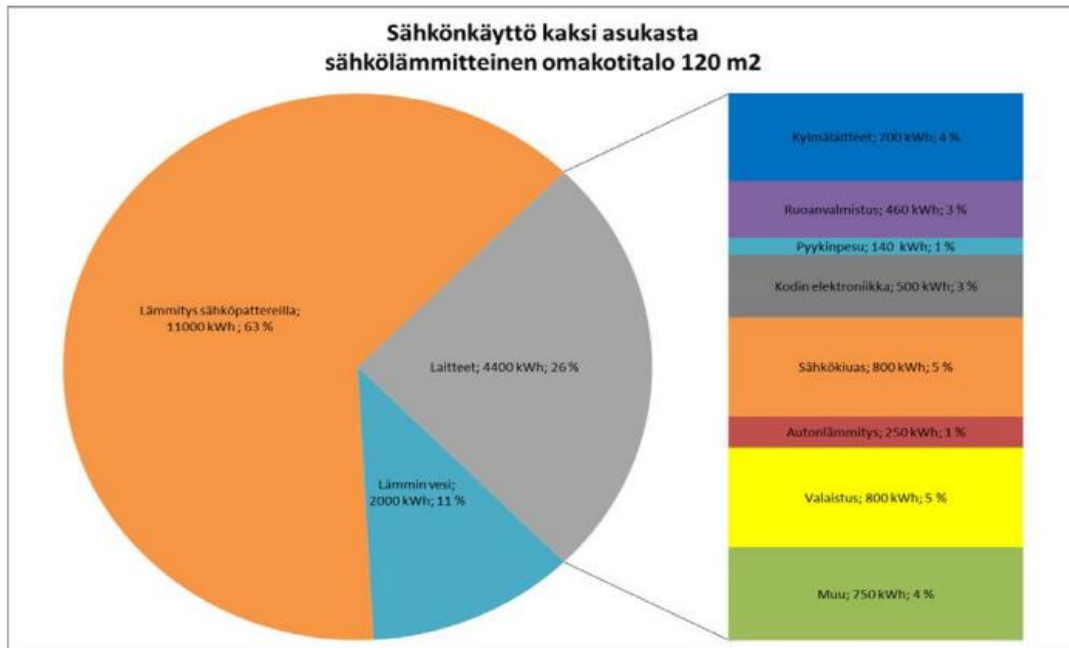
Kaukolämmön kulutus on tässäkin selvästi kallein, mutta ei niin selvästi kuin tämän työn mittaukset osoittavat. Pelkkä sähkö on näistä toiseksi kallein. Maalämpöpumpun, ilma-vesilämpöpumpun ja ilmalämpöpumpulla ja takalla varustetun sähkölämmityksen kustannukset kohtaavat noin 13 vuoden kohdalla. Se tarkoittaa sitä, että tämän arvion mukaan maalämpöpumppu alkaa olla 13 vuoden jälkeen kokonaiskustannuksiltaan halvempi lämmitysmuoto kuin sähkö ja ilma-vesilämpöpumppu. Jos myös korko otettaisiin huomioon hinnan nousun kanssa, takaisinmaksuaika maalämpöpumpulla tämän kokoisessa talossa olisi vielä pitempi. Tämän työn arvioissa päädyttiin samansuuntaiseen arvioon. Kuviosta 31 tulkitut käyttökustannukset ovat hyvin samansuuntaisia, kuin kuviossa 29 on esitetty.



KUVIO 32. Motivan laskurista saadut vuotuiset kokonaiskustannukset

Kuviossa 32 on Motivan laskurista saadut vuotuiset kokonaiskustannukset. Arvioissa käytetyt arvot ovat muuten samat kuin edellisessä kuviossa 31, mutta korko on muutettu 1 %, kaikkien lämmitysmuotojen investointikustannukset ovat 0 € ja hinnan nousut on otettu pois. Tällä tavalla laskurissa käytetyt arvot vastaavat paremmin tässä työssä käytettyjä arvoja. Verrattaessa tuloksia kuvion 30 tuloksiin nähdään, että kaikki tulokset ovat hivenen pienempiä Motivan laskurilla tehdyssä kuviossa 32. Tämän työn kaukolämmön kustannus on noin kaksin-

kertainen Motivan arvion mukaiseen kustannukseen verrattuna. Siinä on muita kohteita suurempi heitto. Opinnäytetyön arvioissa maalämpöpumpun kustannus on keskimäärin 1,7-kertainen, ilma-vesilämpöpumpun kustannus on 1,55-kertainen ja ilmalämpöpumpulla ja takalla varustetun sähkölämmityksen 1,58-kertainen Motivan arvioon verrattuna. Erot ovat lähes yhtä suuret kaukolämpöä lukuun ottamatta. Energian tarve Motivan talossa on todennäköisesti pienempi kuin työn tuloksissa.



KUVIO 33. Sähkölämmitteisen kahden asukkaan omakotitalon sähkön käyttö vuonna 2011 (Adato Energia Oy, 2013, s. 42)

Kuviossa 33 on esitetty keskimääräiset kahden asukkaan omakotitalon sähkön käytöt vuonna 2011. Lämmityssähkön osuus on ollut 11 000 kWh. Kuvioista 15 näemme, että sähkölämmitteisen kohteen E vuoden lämmitysenergian osuus on 7 589 kWh vuonna 2013. Vuonna 2011 lämmitystarveluku oli 3945 ja vuonna 2013 4016, joten niiden perusteella voidaan päätellä vuosien olleen lämmöntarpeen kannalta samanlaiset. Kuviossa 33 oleva kulutus on keskimäärin Suomessa ja kohde E Tampereella. Tampere on keskimääräistä Suomea hiivien lämpimämpi, joten lämmityksen kulutuksen kuuluukin olla vähän pienempi. Tässä tapauksessa noin 3 500 kWh:n ero ei ole selitettävissä vuosien, eikä paikkakuntien välisillä eroilla. Tämän perusteella kohde E on keskimääräistä pienempi kulutukseltaan. Ero johtuu kaikesta päätel-

len ilmalämpöpumpusta ja takan lämmittämisestä. Aiemmin mainitun Elvari-hankkeen mukaan ilmalämpöpumpulla keskimääräinen vuotuinen energiansäästö on noin 3 000 kWh vuodessa. Tässä se on likipitään toteutunut. Luultavasti osa kohteen E lämmitysenergiainsäästöä johtuu myös tavallista paremmasta eristyksestä. Kuviossa 33 lämpimän käyttöveden lämmittämisen energian osuus on 2 000 kWh. Kohteessa E käyttöveden lämmittämiseen on kulunut kuvion 15 mukaan 1860 kWh. Kulutus on hyvin lähellä tutkimuksen kulutusta. Pieni ero selittyy käyttötottumuksilla.

Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011-raportissa on tutkittu toteutetun lämmitysjärjestelmän systeemitehokkuutta, mikä tarkoittaa sitä, paljonko käytetystä sähköenergiasta saatiin tuotettua lämpöä ja lämmintä käyttövettä. Systeemitehokkuus oli tutkimuksessa keskimäärin 2,39. Seuraavassa taulukossa 12 on lämpöpumpun tehokkuusmenetyksiä ja niiden aiheuttajia kerättyinä raportista. (Adato Energia Oy, 2013)

TAULUKKO 12. Lämpöpumppujen tehokkuusmenetykset (Adato Energia Oy, 2013, s. 29; Jokitalo, 2014)

<b>Aiheuttaja</b>	<b>Tehokkuusmenetys</b>
Lämpöpumpun alimitoitus	Jopa 1,5
Lämpökaivon alimitoitus	Jopa 0,7
Varaajan alimitoitus	0,4
Huono eristys	0,3-0,6
Kiertovesipumppujen määrän ylimitoitus	0,1-0,3
Liian korkea menoveden lämpötila	0,2-0,4
Kiertovesipumppujen jatkuva käyttö	0,1-0,3

Kuviosta 17 näemme energiankulutukset neliometriä kohti. Niiden perusteella voimme arvioida systeemitehokkuutta kohteille. Maalämpökohteiden kulutukset neliometrille ovat kohteessa B 42 kWh neliometrille ja kohteessa H 32 kWh neliometrille. Sähkölämmityskohteen E kulutus on 80 kWh neliometrille, mutta ilmalämpöpumpun säästö huomioiden pelkän sähkön kulutus on noin 92 kWh neliometrille. Tästä laskemalla saadaan kohteeseen B systeemitehokkuuden arvoksi 2,2 ja kohteen H arvoksi 2,8. Taulukosta 12 näemme syitä, miksi tämä ei ole luvatus COP-arvon suuruinen.

## 6 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työssä käsiteltiin erilaisilla lämmitysmuodoilla varustettujen kohteiden energiankulutuksia ja vertailtiin niitä keskenään. Energiankulutuksia vertailtiin neliömetrikohtaisten kulutusten perusteella. Lämmitysmuotojen kannattavuutta arvioitiin energiankulutusten perusteella laskettujen kustannusten perusteella. Eri lämmitysratkaisuiden käyttökustannuksia pyrittiin vertailemaan vakioimalla olemassa olevat kohteet ja niiden kulutus pinta-alaltaan ja henkilömäärältään yhtä suuriksi. Tämä toi mielekkyyttä tulosten vertailtavuuteen.

Työssä oli hankalaa saada arvioitua vuoden 2013 lämmitysenergian osuus koko rakennuksen energiankulutuksesta. Hankaluutta aiheutti se, että mittausjakso ja tarkastelujakso ajoittuivat eri vuosille. Mittausten vertailua tarkastelujaksoon helpottivat lämmitystarveluvut.

Mittauksia tehtiin kolmella eri mittausympäristöllä; Efergyllä, Current Costilla ja Netatmolla. Epäluotettavuudesta johtuen Efergyn käyttö mittausdatana on hylätty opinnäytetyössä kokonaan. Netatmolla on saatu seurattua kohteiden sisäilmaolosuhteita. Current Costilla seurattiin lämmittämiseen tarkoitettujen ja muiden tärkeiden laitteiden kulutusta.

Vertailusta saatiin monenlaisia tuloksia. Kaukolämpökohteen erittäin suuri kulutus verrattuna muihin kohteisiin oli yllätys. Maalämpöpumppukohteiden kulutukset olivat kaikista pienimmät, mutta maalämpöpumppujärjestelmä on myös kallein hankkia. Ilmalämpöpumpulla varustetun sähkölämmityskohteen kulutus on hyvin kilpailukykyinen. Poistoilmalämpöpumpulla ja ilma-vesilämpöpumpulla varustetun kohteen kulutus oli pienempi kuin sähkölämmitteisen, mutta selkeästi suurempi kuin maalämpöpumppukohteiden. Tulosten valossa maalämpöpumppulämmityksille annetut lämpökertoimet eli COP-arvot ovat liian suuria. Ne voivat pitää paikkansa pelkän pumpun osalta, mutta kun otetaan huomioon koko järjestelmä, luvut ovat liian isoja. Järkevämpi olisi mitata järjestelmien systeemitehokkuutta, joka kertoo paremmin järjestelmän hyötysuhteesta.

Tulosten perusteella 215 m<sup>2</sup> kokoisen maalämpöpumppu kohteen lämmitysvalinta on hyvä. Kohteessa B on koko joukon pienin kokonaislämmitysenergian kulutus. Pienehkön 119 m<sup>2</sup> sähkölämmityskohteen E lämmitysvalinta on paras mahdollinen ottaen huomioon talon koko

ja asukkaiden käyttötottumukset. Suuressa 390 m<sup>2</sup> maalämpöpumppukohteessa H on kohteista pienin lämmitysenergian kulutus neliometriä kohti. Siinä lämmitysratkaisu on tehokas talon kokoa silmällä pitäen. Ilma-vesilämpöpumppukohteen K lämmitysratkaisu valinta on ihan hyvä, mutta poistoilmalämpöpumppu huomioiden talon kulutusta todennäköisesti voitaisiin pudottaa oikeanlaisella käytöllä. Kaukolämpökohteessa I on todella paljon järjestelmähäviöitä, mikä nostaa energiankulutuksen suuriin lukemiin. Kaukolämmön vähän halvempi hintakaan ei auta kilpailussa muita lämmitysmuotoja vastaan pientalojen lämmityksessä. Näiden tulosten pohjalta kaukolämpöä suositellaan ainoastaan suurten kiinteistöjen lämmitykseen.

Sulpu ry:n sivulla sanotaan lämpöpumpun investointikustannusten tulevan takaisin edullisten käyttökustannusten ansiosta muutamassa vuodessa. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että investointikustannusten takaisin tuleminen isommilla lämpöpumpuilla voi olla jopa alle 10 vuotta, jos lämpöenergian tarve on suurta. Pienikulutusisissa taloissa kallis lämpöpumppu ei välttämättä maksa itseään takaisin koskaan, riippuen tietysti investointikustannuksista. Ilmalämpöpumpulla investointikustannusten takaisinmaksu voi kestää neljä vuotta tai pidempään. Lämpöpumppujen hinnan pitäisi tulla vielä alaspäin, jotta sellainen kannattaisi laittaa jokaiseen pientaloon.

Mittauskohteiden määrä vaikuttaa paljon tulosten yleistettävyyteen. Tässä mittauksessa oli mukana kaksi maalämpöpumppukohdetta, sähkölämmityskohde, ilma-vesilämpöpumppukohde ja kaukolämpökohde. Kaikki näistä ovat 2012 rakennettuja, hyvin eristettyjä, niiden ilmapuotoluvut ovat hyvät ja ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenoton hyötysuhteet ovat hyvät. Talojen rakenteissa on eroja, mutta ne ovat tasoltansa lähelle samanlaisia. Tämä tarkoittaa sitä, että suurimmat erot kulutukseen syntyvät käyttötottumusten ja valitun lämmitysratkaisun yhteisvaikutuksesta.

## LÄHTEET

Adato Energia Oy. 2013. Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011. Luettu 10.5.2014  
[http://www.tem.fi/files/35856/Kotitalouksien\\_sahkonkaytto\\_2011\\_raportti.pdf](http://www.tem.fi/files/35856/Kotitalouksien_sahkonkaytto_2011_raportti.pdf)

Current Cost Ltd. 2014. Current Costin sivusto. Noudettu 20.5.2014  
[my.currentcost.com](http://my.currentcost.com)

Elvari- hanke. 2010. Tutkittua energiansäästöä ilmalämpöpumpulla. Luettu 27.5.2014  
[www.motiva.fi/files/5427/Tutkittua\\_energiansaastoa\\_ilmalampopumpulla.pdf](http://www.motiva.fi/files/5427/Tutkittua_energiansaastoa_ilmalampopumpulla.pdf)

Energiatehokas koti. 2014. Energiatehokas koti- sivusto. Luettu 1.4.2014.  
<http://www.energiatehokaskoti.fi/>

Energiateollisuus ry. 2014a. Energiateollisuus. Luettu 26. 3. 2014.  
[www.energia.fi](http://www.energia.fi)

Energiateollisuus ry. 2014b. Kaukolämmön hinta. Luettu 15.4.2014  
[http://energia.fi/sites/default/files/hinta\\_010114\\_korjattu150414.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/hinta_010114_korjattu150414.pdf)

Energiavirasto. 2014. Sähkön hintavertailu- sivu. Luettu 15.4.2014  
[www.sahkonhinta.fi](http://www.sahkonhinta.fi)

Humiref Oy. 2014. Humiref Luettu. 12.5.2014  
<http://www.humiref.fi/ilmalampopumput.php>

Ilmatieteen laitos. 2014. Lämmitystarveluvut. Luettu 22.5.2014  
[http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut?p\\_auth=k0mOqVFM&p\\_p\\_id=WebProxyPortlet\\_WAR\\_WebProxyPortlet\\_INSTANCE\\_ZZq1&p\\_p\\_lifecycle=1&p\\_p\\_stat](http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut?p_auth=k0mOqVFM&p_p_id=WebProxyPortlet_WAR_WebProxyPortlet_INSTANCE_ZZq1&p_p_lifecycle=1&p_p_stat)

Jokitalo, S.-P. 2014. Energiankulutusten vertailu pientaloissa. Talotekniikan koulutusohjelma. Sähköinen suuntautumisvaihtoehto. Tampereen ammatikorkeakoulu. opinnäytetyö.

Kaukomarkkinat Oy. 2014. Kaukomarkkinat. Luettu 11.5.2014  
[http://www.kaukomarkkinat.com/portal/fi/tuotteet+kuluttajille/ilmalampopumput/ilmalampopumpun\\_asennus/](http://www.kaukomarkkinat.com/portal/fi/tuotteet+kuluttajille/ilmalampopumput/ilmalampopumpun_asennus/)

Lämpövinkki Oy. 2013. Maalämpöpumpun ja maalämmön valinta. Luettu 2.4.2014  
<http://www.lampovinkki.fi/DowebEasyCMS/Sivusto/Dokumentit/ladattavatoppaatjatyokalut/Maal%C3%A4mp%C3%B6pumpun%20ja%20maal%C3%A4mm%C3%B6n%20valinta%20pikaopas.pdf>

Motiva Oy & Sulpu ry. 2008. Lämpöä ilmassa. Luettu 6.5.2014.  
<http://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>

- Motiva Oy & Sulpu ry. 2012. Lämpöä omasta maasta. Luettu 2.4.2014.  
[http://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa\\_omasta\\_maasta\\_Maalampopumput.pdf](http://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf)
- Motiva Oy. 2009. Ilmalämpöpumpun energiataloudellinen käyttö. Luettu 10.5.2014  
[http://www.motiva.fi/files/3472/Ilmalampopumpun\\_energiataloudellinen\\_kaytto.pdf](http://www.motiva.fi/files/3472/Ilmalampopumpun_energiataloudellinen_kaytto.pdf)
- Motiva Oy. 2010. Energiatehoka ilmanvaihto. Luettu 27.5.2014  
[http://www.motiva.fi/files/3180/Energiatehokas\\_ilmanvaihto.pdf](http://www.motiva.fi/files/3180/Energiatehokas_ilmanvaihto.pdf)
- Motiva Oy. 2011. Hanki hallitusti ilma-vesilämpöpumppu. Luettu 20.4.2014  
[http://www.motiva.fi/files/4765/Hanki\\_hallitusti\\_ilma-vesilampopumppu.pdf](http://www.motiva.fi/files/4765/Hanki_hallitusti_ilma-vesilampopumppu.pdf)
- Motiva Oy. 2014. Motiva. Luettu: 23. 4 2014. [www.motiva.fi](http://www.motiva.fi)
- NIBE Energy Systems Oy. 2014. NIBE tietoutta. Luettu 22.4.2014  
[www.nibe.fi](http://www.nibe.fi)
- Osuuskunta Suomen Asuntomessut. 2012. Asuntomessut Tampereella. Luettu: 25.2.2014  
<http://www.asuntomessut.fi/tampere-2012>
- PT Energiaporaus Oy. 2014. Maalämpö on taloudellinen ja ekologinen energiaratkaisu. Luettu 8.4.2014  
<http://www.pt-energiaporaus.fi/>
- Senera Oy. 2014. Energiansäästö- ja lämmitysratkaisut. Luettu 9.5.2014  
[www.senera.fi](http://www.senera.fi)
- Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto ry.
- Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveys. Luettu: 27.5.2014  
[http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje\\_pdf.pdf](http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje_pdf.pdf)
- Sulpu ry. 2014. Suomen lämpöpumppuyhdistys. Luettu: 1.4.2014  
<http://www.sulpu.fi/lampopumput>
- Suomen Ekolämpö Oy. 2014. Ekolämpö omasta pihasta. Luettu: 7.4.2014  
[www.ekolampo.fi](http://www.ekolampo.fi)
- Suomen Kaivonporausurakoitsijat ry. 2014. Poratek. Luettu: 7.4.2014  
[www.poratek.fi](http://www.poratek.fi)
- Säteri, J. 1998. Käytännön ilmanvaihto. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy.
- Tampereen teknillinen yliopisto. 2012. Lämmitystapojen kehitys 2000-2012 -aineistoeselitys: TTY. Luettu 18.4.2014  
[http://webhotel2.tut.fi/ee/Materiaali/Lammitystapojen\\_kehitys\\_2000\\_2012.pdf](http://webhotel2.tut.fi/ee/Materiaali/Lammitystapojen_kehitys_2000_2012.pdf)

Teknologiakeskus Oy Merinova Ab. 2014. Maalämpöosaamista Suomesta. Luettu 7.4.2014  
[www.geoenergia.fi](http://www.geoenergia.fi)

VTT Rakennus- ja yhdyskunta tekniikka. 2003. Webdia. Luettu 2.4.2014  
<http://www.rte.vtt.fi/webdia/oljylampo/opastus/faq.asp?Viite1=OF227>

Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. 2012. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Helsinki: Ympäristöministeriö

Älykoti. 2014. Älykoti.com Luettu 20.5.2014  
<http://www.älykoti.com/?q=Current%20Cost%20EnviR>