

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö

**ILMALÄMPÖPUMPUN HYÖDYNTÄMISEN
KANNATTAVUUS KAUKOLÄMPÖÖN KYTKETYSSÄ
PIENTALOSSA – CASE ESIMERKKI**

**Profitability of utilizing air heat pump in a small house with
district heating – case example**

Työn tarkastaja: Tutkijaopettaja, TkT Mika Luoranen

Työn ohjaaja: Tutkijatohtori, TkT Sanni Väisänen

Lappeenrannassa 20.5.2018

Milla Lehikoinen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Milla Lehikoinen

Ilmalämpöpumpun hyödyntämisen kannattavuus kaukolämpöön kytketyssä pientalossa – CASE esimerkki

Kandidaatintyö

2018

35 sivua, 9 kuvaa, 1 taulukko

Työn tarkastaja: Tutkijaopettaja, TkT Mika Luoranen

Työn ohjaaja: Tutkijatohtori, TkT Sanni Väisänen

Hakusanat: pientalo, ilmalämpöpumppu, kaukolämmitys, lämmityskustannukset, kannattavuus

Keywords: small residential building, air heat pump, district heating, heating costs, profitability

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tutkia ilmalämpöpumpun hyödyntämisen taloudellista kannattavuutta kaukolämpöön kytketyssä pientalossa. Kannattavuutta tutkitaan teoreettisesti ja kannattavuuden tarkastelu tehdään Lappeenrannassa sijaitsevalle pientalolle. Laskennan pohjana käytetään pientalon omistajan antamia vuorokausikohtaisia energiankulutustietoja sekä kaukolämmön- ja sähkön hintatietoja vuodelta 2017.

Ilmalämpöpumpun hankinnan kannattavuuteen vaikuttavat merkittävimmin ilmalämpöpumpun hankintakustannukset, sen lämpökerroin, energiankulutus sekä sähkön- ja kaukolämmön hinnat. Pientalon omistajan antamien tietojen pohjalta huomattiin ilmalämpöpumpun olevan epätaloudellinen investointi tähän pientaloon. Ilmalämpöpumpun lämmityskustannukset olivat vuonna 2017 hetkittäin kaukolämmityksen kustannuksia alhaisemmat, mutta koko vuotta tarkasteltaessa ilmalämpöpumpun kustannukset nousivat lopulta kokonaisuudessaan suuremmiksi. Nämä tulokset ovat päteviä vain tälle tapaukselle, mutta kyseistä laskentaperiaatetta voidaan hyödyntää soveltuvien osien muille kohteille.

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO	4
1 JOHDANTO.....	6
2 ENERGIANKULUTUS PIENTALOSSA	8
2.1 Pientalojen energiatase.....	9
2.2 Pientalojen lämmitys.....	9
3 KAUKOLÄMPÖ PIENTALOSSA.....	11
3.1 Kaukolämmön tuotanto.....	11
4 ILMALÄMPÖPUMPPU PIENTALOSSA.....	13
4.1 Ilmalämpöpumpun pääkomponentit ja toimintaperiaate.....	13
4.1.1 Kiertoaineet.....	15
4.1.2 Lämpökerroin.....	15
5 ILMALÄMPÖPUMPUN HANKINNAN JA KÄYTÖN KANNATTAVUUS ESIMERKKIKOHTTEESSA	17
5.1 Kannattavuuteen vaikuttavat tekijät.....	17
5.2 Kaukolämmön kustannukset	18
5.3 Ilmalämpöpumpun kustannukset	20
5.4 Kannattavuuden laskennan tulokset.....	23
5.4.1 Herkkyysanalyysi.....	28
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	30
7 YHTEENVETO	31
LÄHTEET	32

SYMBOLILUETTELO

Roomalaiset

A	annuiteetti	[€]
$c_{n,i}$	annuiteettitekijä	[-]
c_p	ominaislämpökapasiteetti	[J/kgK]
E	sähköenergia	[kWh]
I	investointi	[€]
i	laskentakorko	[-]
K	kustannukset	[€]
n	pitoaika	[a]
Q	lämmitysenergia	[kWh]
T	lämpötila	[K],[°C]
V	tilavuus	[m ³]

Kreikkalaiset

ρ	tiheys	[kg/m ³]
ϕ	lämpövirta	[W]

Alaindeksit

H	höyrystin
ILP	ilmalämpöpumppu
k	kiinteät kustannukset

kkv	kylmä käyttövesi
lkv	lämmin käyttövesi
m	muuttuvat kustannukset
L	lauhdutin
t	tila
tot	kokonais-

Lyhenteet

COP	Coefficient Of Performance
RakMk	Suomen rakentamismääräyskokoelma

1 JOHDANTO

Energiatehokkuuden huomioiminen on tärkeää ja jokainen meistä voi omilla toimillaan ja ratkaisuillaan säästää energiaa. Energiankulutukseen olisi suotavaa kiinnittää huomiota, sillä energian säästäminen hillitsee ilmastonmuutosta, turvaa energian saatavuuden, vähentää tuontienergian tarvetta sekä alentaa energiakustannuksia. Energian säästäminen on kannattavaa niin talouden- kuin ympäristön kannalta. (Energiavirasto 2018.)

Suomen energiankulutus oli vuonna 2016 Tilastokeskuksen mukaan 1348 PJ eli 374 TWh (Statistics Finland 2017, 4). Merkittävin energiankuluttaja vuonna 2016 oli teollisuus, joka käytti kaikesta tuotetusta energiasta 46 %, eli lähes puolet. Liikenne kulutti tuotetusta energiasta myös huomattavan 17 %:n osuuden. Rakennuksen lämmityksen energiankulutus ei ollut aivan teollisuuden energiankulutuksen luokkaa, mutta lämmityksen osuus oli kuitenkin merkittävä 26 %. (Tilastokeskus 2018a.)

Rakennusten lämmitykseen kulunut energia oli vuonna 2016 Tilastokeskuksen mukaan 97 TWh. Koska rakennusten lämmityksen energiankulutus on näin merkittävä, täytyy rakennuksen lämmitystavan valintaan kiinnittää erityistä huomiota, sillä oikeilla valinnoilla voidaan säästää luonnonvaroja sekä ympäristöä. Oikeilla valinnoilla voidaan saavuttaa myös merkittäviä säästöjä rakennuksen lämmityskustannuksissa. Yhtä ja ainoaa oikeaa lämmitystapaa ei ole, vaan sopivimman lämmitystavan valitseminen on riippuvainen muun muassa talon sekä perheen koosta, asumistottumuksista sekä rakennuspaikasta. (Motiva 2009d, 4.) Pientalon lämmitystavaksi voidaan valita puu- ja pellettilämmitys, kaukolämmitys, öljylämmitys, maakaasu tai sähkölämmitys. Sähkölämmitys jaetaan vielä edelleen suoraan sähkölämmitykseen, varaavaan sähkölämmitykseen sekä lämpöpumppuihin. (Perälä & Perälä 2013, 11–15.)

Lämpöpumput voidaan jakaa lämmön keräys- ja luovutustavan mukaan ilmalämpöpumppuihin, maalämpöpumppuihin, ilma-vesilämpöpumppuihin sekä poistoilmalämpöpumppuihin (Perälä & Perälä 2013, 32). Lämpöpumppu on energiatehokas ratkaisu, sillä se kerää tehokkaasti lisäenergiaa lämmitykseen rakennuksen ulkopuolelta, kuten maasta, vedestä tai ulkoilmasta, jolloin lämmitysenergian kulutus vähenee (Perälä & Perälä 2013, 27). Lämpöpumpputyypeistä parhaiten rakennuksen päälämmitysjärjestelmäksi soveltuvat maalämpöpumppu, ilma-vesilämpöpumppu sekä poistoilmalämpöpumppu (Motiva 2009d, 16–18).

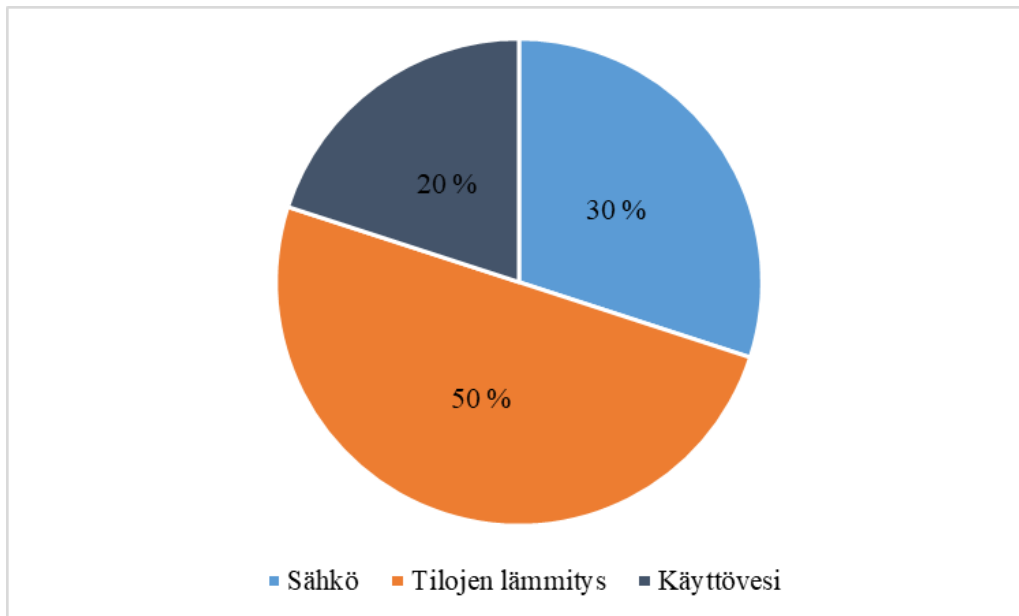
Toisin kuin edellä mainitut lämpöpumput, ilmalämpöpumput soveltuvat pääasiassa rakennuksen tukilämmitysjärjestelmäksi. Ilmalämpöpumppu vaatii rinnalleen toisen päälämmitysjärjestelmän, sillä sen teho on rajallinen. Ilmalämpöpumppu on kuitenkin erinomainen ratkaisu täydentämään rakennuksen muuta lämmitysjärjestelmää, esimerkiksi sähkölämmitystä tai kaukolämmitystä. (Perälä & Perälä 2013, 39.)

Tämän työn tavoitteena on selvittää, onko kaukolämpöön kytketyn pientalon lämmityksessä kannattavaa käyttää ilmalämpöpumppua kaukolämmityksen tukena. Ilmalämpöpumpun kannattavuutta tarkastellaan taloudellisesta näkökulmasta eli ilmalämpöpumpun ja kaukolämmön rinnakkaisen käytön ympäristölliset vaikutukset jätetään tarkastelun ulkopuolelle.

Tässä työssä perehdytään aluksi yleisesti pientalon energiankulutukseen. Sen jälkeen käydään läpi yleisesti kaukolämmön tuotantoa sekä ilmalämpöpumpun toimintaperiaatetta. Tämän jälkeen pohditaan näiden eri lämmitysmenetelmien kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä määritetään kannattavuus esimerkkitapauksen avulla. Kannattavuuden laskennassa käytetään paikallisen energiayhtiön ilmoittamia hintoja sekä esimerkkinä olevan pientalon energiankulutustietoja.

2 ENERGIANKULUTUS PIENTALOSSA

Pientaloja ovat erilliset talot eli 1–2 asunnon asuintalot, paritalot sekä pientaloihin verrattavat erilliset asuinrakennukset (Tilastokeskus b). Pientalossa asuinhuoneistoihin kuuluvia tiloja ei yleensä ole päällekkäin (RakMk G1 2005, 4). Pientaloissa energiaa kuluu tilojen lämmitykseen, käyttöveden lämmittämiseen sekä kotitaloussähkөөn (Energiehokas koti 2016b). Pientalojen energiankulutuksen keskimääräinen jakautuminen eri käyttötarkoituksiin on esitetty kuvassa 1.

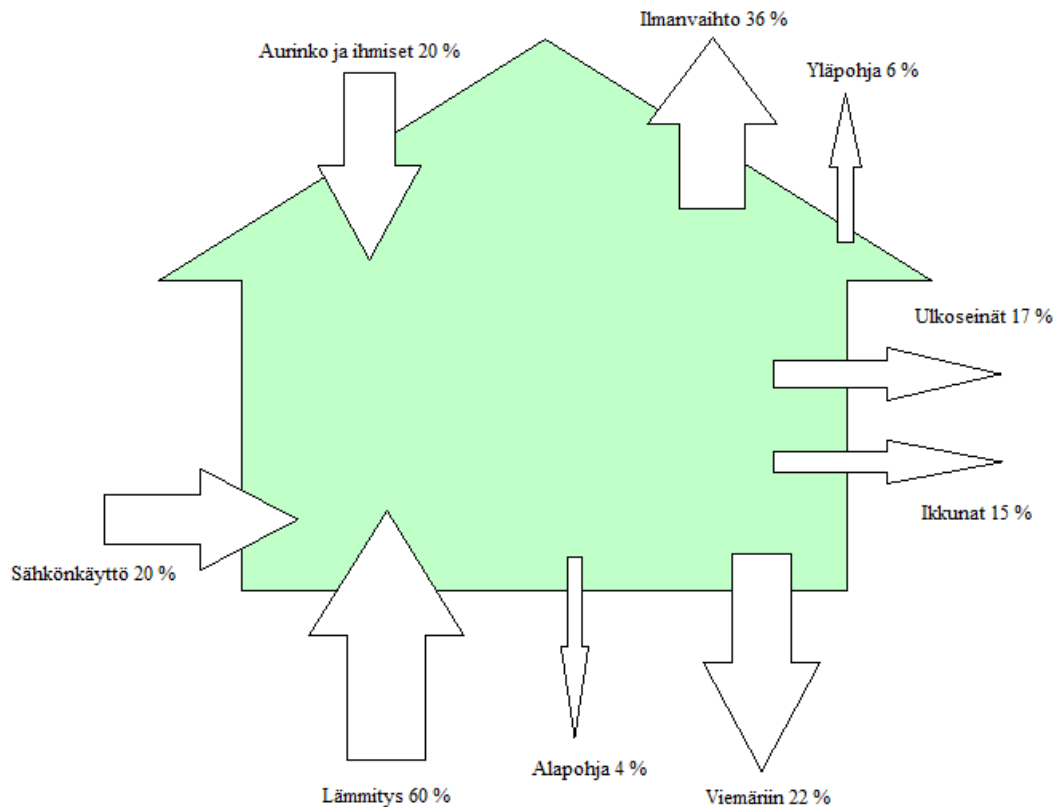


Kuva 1. Pientalojen energiankulutuksen keskimääräinen jakautuminen eri käyttötarkoituksiin (Energiehokas koti 2016b).

Kuvassa 1 esitetty pientalojen keskimääräinen energiankulutus on kuitenkin vain suuntaa antava, eikä tämä jakauma päde kaikkiin kohteisiin. Pientalon lämmitysenergian tarpeeseen vaikuttavat rakenteiden-, ikkunoiden- sekä ovien U-arvot, ilmanvaihdon tehokkuus, kodinkoneiden ja -laitteiden energiankulutus, valittu lämmitysjärjestelmä sekä asumistottumukset. (Energiehokas koti 2016c; Energiavirasto 2018.)

2.1 Pientalojen energiatase

Pientalon lämpökuormat koostuvat lämmitysenergiasta, sähköenergiasta, auringon säteilystä sekä ihmisistä vapautuvasta lämpöenergiasta. Lämpöhäviöitä taas aiheutuu ilmanvaihdosta, viemäriin menevästä lämpimästä käyttövedestä sekä rakennuksen eri rakenteista. Seuraavassa kuvassa 2 on pientalon energiatase, joka havainnollistaa tarkemmin taloon tulevia- sekä sieltä poistuvia lämpövirtoja. (Seppänen & Seppänen 1997, 257.)

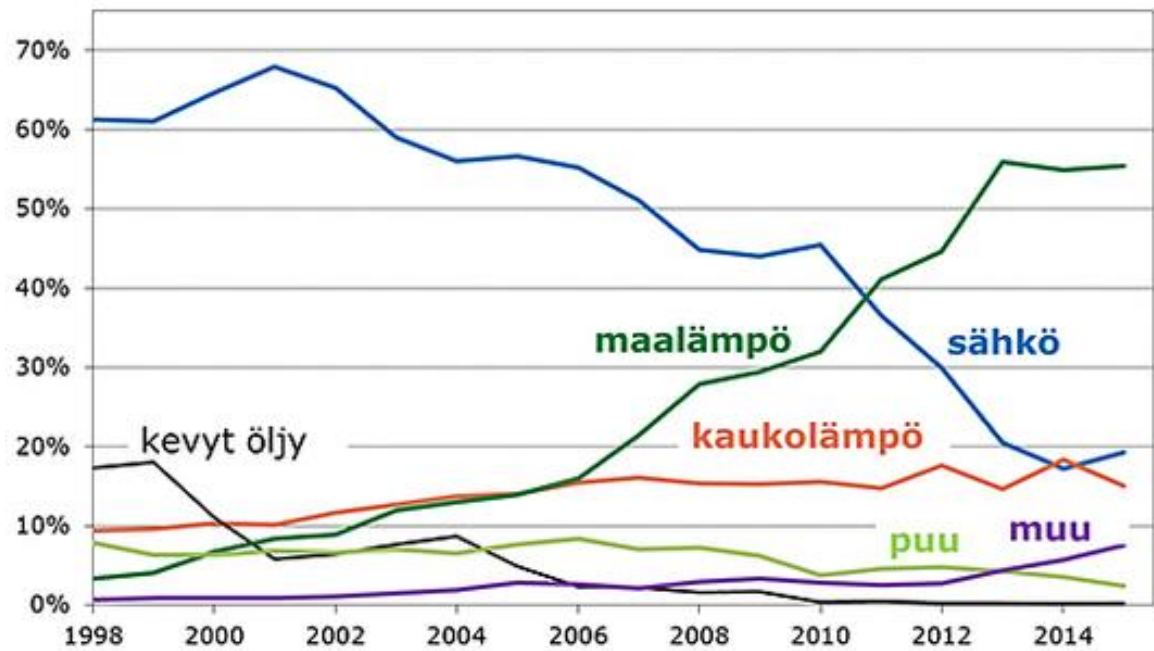


Kuva 2. Pientalon energiatase (Seppänen & Seppänen 1997, 257).

2.2 Pientalojen lämmitys

Lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttavat monet tekijät, eikä yhtä oikeaa ratkaisua ole. Pientaloihin soveltuvia päälämmitysjärjestelmiä ovat puu- ja pellettilämmitys, erilaiset lämpöpumput, maalämpö, kaukolämpö, sähkölämmitys, öljylämmitys sekä kaasulämmitys.

(Motiva 2009d, 2–4.) Pientalojen lämmitysjärjestelmän valinta on kokenut merkittäviä muutoksia 2000-luvun aikana. Alla olevassa kuvassa 3 on esitetty uusiin pientaloihin valittujen lämmitysjärjestelmien keskinäiset suhteet. Kuvasta 3 voidaan huomata sähkölämmityksen osuuden tippuneen huomattavasti viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana. Maalämmitys taas on nostanut suosiotaan merkittävästi ja nykyään se valitaankin useimmiten lämmitysjärjestelmäksi uuteen pientaloon. Kaukolämmitys valitaan lämmitysmuodoksi lähes yhtä usein nykyään, kuin vuosituhatteen vaihteessa. (Energiatehokas koti 2017d.) Maalämmöllä on merkittävä etu kaukolämpöön verrattuna, sillä maalämpö voidaan valita talon lämmitystavaksi sen sijainnista riippumatta, toisin kuin kaukolämpö, joka on käytännössä taajamissa sijaitsevien talojen lämmitystapa (Motiva 2009d, 20).



Kuva 3. Uusiin pientaloihin valitut päälämmitysjärjestelmät.. (Energiatehokas koti 2017d alkuperäinen lähde: tilastokeskus)

3 KAUKOLÄMPÖ PIENTALOSSA

Kaukolämmitys on rakennuksen ja käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan lämmön keskitettyä tuotantoa ja jakelua, jossa useita rakennuksia, kaupunginosia tai jopa kaupunkeja lämmitetään samasta lämmityskeskuksesta (Seppänen & Seppänen 1997, 95). Kaukolämmityksellä on useita etuja verrattuna muihin lämmitysjärjestelmiin. Keskitetty kaukolämmöntuotanto on energiatehokasta, ympäristöystävällistä, kokonaistaloudellista sekä toimintavarmaa. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 12.)

3.1 Kaukolämmön tuotanto

Kaukolämpö tuotetaan keskitetysti laitoksessa, josta se siirtyy rakennuksiin kaukolämpöverkossa kiertävän kuumen veden avulla. Kaukolämpöä voidaan tuottaa useilla eri polttoaineilla, sillä lämmönlähteiksi kelpaavat vielä niin kivihiili, maakaasu, turve, hake kuin jätekin (Mäkelä & Tuunanen 2015, 22). Uusiutuvan energian osuutta halutaan lisätä lämmöntuotannossa ja fossiilisten polttoaineiden käytöstä pyritään luopumaan kokonaan. Ensimmäisenä halutaan luopua kivihiilen käytöstä, se pyritään korvaamaan lämmöntuotannossa muilla energianlähteillä. Tavoitteena on, ettei kivihiiltä käytetä lämmöntuotannossa enää ollenkaan vuonna 2030. (Kangas et al. 2013, 19, 23.) Lämpöä voidaan tuottaa erillisissä lämpökeskuksissa, mutta tämä on kannattavaa vain pienissä kaukolämpöverkoissa. Pääsääntöisesti kaukolämpö tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa, joissa lämpöä saadaan sähköntuotannon sivutuotteena. Sivutuotteena saatua lämpöä hyödynnetään kaukolämpöveden lämmityksessä. (Motiva 2012c, 6.) Tällaista laitosta, jossa sähköä ja lämpöä tuotetaan samassa prosessissa, kutsutaan CHP-laitokseksi (Combined Heat and Power). CHP-laitoksissa polttoaineen käyttö on tehokasta, jolloin siitä saadaan kaikki mahdollinen hyöty irti. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 24.)

Kun kaukolämpövesi on lämmitetty CHP-laitoksessa tai lämpökeskuksessa vuodenajasta riippuen lämpötilavälille 70–120 °C, pumpataan se kaukolämpöverkoston. Kaukolämmön menoputkea pitkin kuuma kaukolämpövesi siirtyy lämmitettävän rakennuksen lämmönjakokeskukseen, jossa kaukolämpövesi luovuttaa lämpöenergiaa kiinteistön lämmitysjärjestel-

män kiertoveteen tai käyttöveden lämmitykseen. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 17–18.) Kaukolämpövesi ei sekoitu missään vaiheessa rakennuksen omiin järjestelmiin, sillä kaukolämpöveden lämpöenergia luovutetaan lämmönjakokeskuksen lämmönsiirtimissä kiinteistön omaan kiertoveteen (Motiva 2012c, 5). Kun rakennuksen- sekä käyttöveden lämmittämiseen vaadittu lämpöenergia on luovutettu kiinteistön kiertoveteen, on kaukolämmön paluueden lämpötila enää noin 25–45 °C. Tarvittavan lämpöenergian luovuttamisen jälkeen kaukolämpövesi johdetaan kiinteistöstä kaukolämmön paluuputkessa takaisin tuotantolaitokselle sen uudelleen lämmittämistä varten. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 18.)

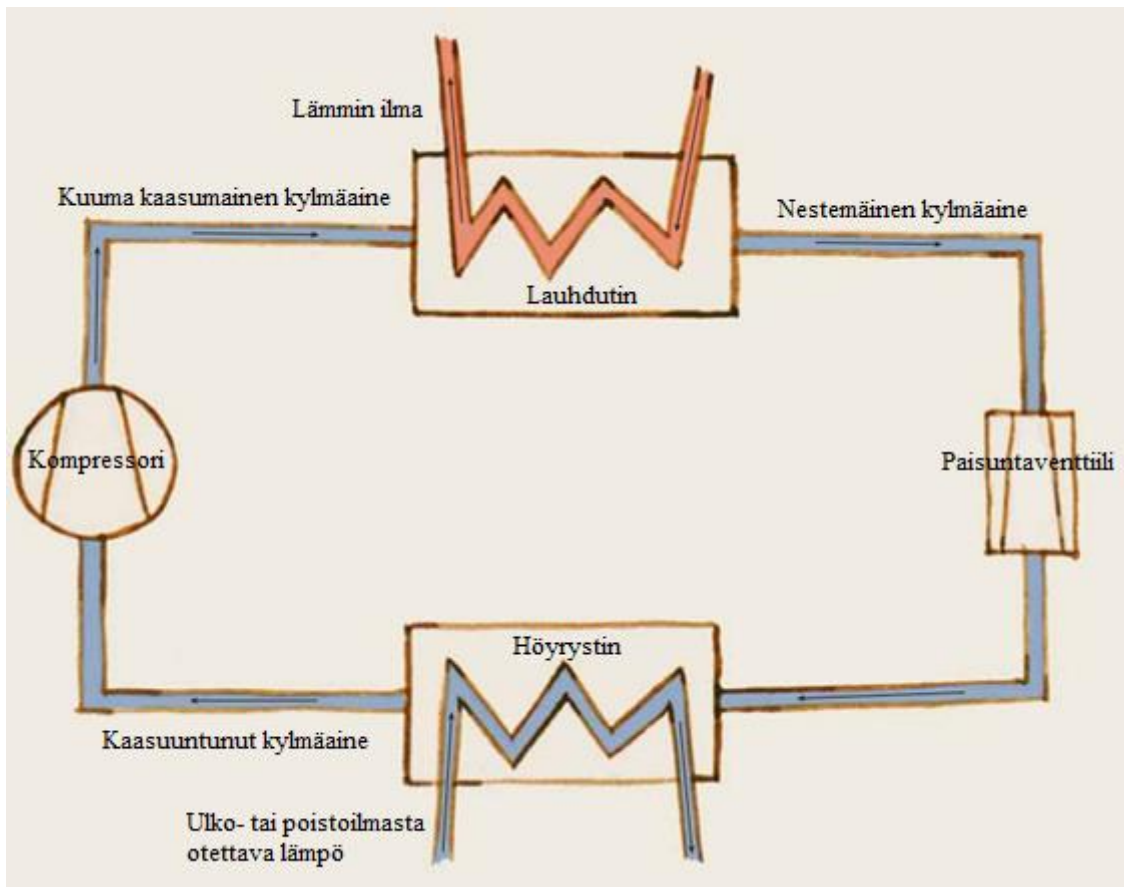
4 ILMALÄMPÖPUMPPU PIENTALOSSA

Ilmalämpöpumppu on rakennuksen lämmitykseen ja jäähdytykseen tarkoitettu laite, jonka tarkoituksena on vähentää lämmitysenergian kulutusta keräämällä lämmitykseen tarvittavaa lisäenergiaa ulkoilmasta. Lämmitysenergian kulutuksen vähentyessä pienenevät myös lämmityskustannukset. (Perälä & Perälä 2013, 27.) Ilmalämpöpumppu vaatii sähköä lämpöenergian keräämiseen ja siirtämiseen. (Perälä & Perälä 2013, 16). Vaikka lämpöpumppu tarvitsee toimiakseen sähköä, se tuottaa käyttöolosuhteissa enemmän energiaa kuin kuluttaa, jonka seurauksena ilmalämpöpumppu on energiataloudellisempi vaihtoehto kuin suora sähkölämmitys. Tätä tuoton ja kulutuksen suhdetta kuvaa ilmalämpöpumpun lämpökerroin COP (Coefficient Of Performance). (Perälä & Perälä 2013, 30.)

Ilmalämpöpumpun koostuessa sisä- ja ulkoyksiköistä sen suorituskyky on voimakkaasti riippuvainen ulkoilman lämpötilasta. Ulkoilman lämpötilan laskiessa ilmalämpöpumpun lämpökerroin heikkenee, joten Suomen viileässä ilmastossa se soveltuu erinomaisesti päälämmitysjärjestelmän rinnalle lisälämmityslaitteeksi tai kesäisin pientalon viilentämiseen. (Motiva 2012b, 6.) Ilmalämpöpumppu on siis pääasiassa lisälämmityslaitte, mutta laitteita löytyy myös päälämmittäjiksi (Motiva 2012b, 2).

4.1 Ilmalämpöpumpun pääkomponentit ja toimintaperiaate

Ilmalämpöpumpun pääkomponentit ovat sisäyksikössä sijaitseva lauhdutin, ulkoyksikössä sijaitseva höyrystin, kompressorin sekä paisuntaventtiili. Edellä mainitut komponentit ovat yhdistetty toisiinsa putkilla, joissa kiertää kylmäainetta. Ilmalämpöpumpun toiminta perustuu juuri tähän kylmäaineen kiertoon. (Perälä & Perälä 2013, 28.) Ilmalämpöpumpun komponentit ja sen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Ilmalämpöpumpun komponentit ja sen toimintaperiaate (Motiva 2012b, 4).

Ilmalämpöpumpun lämmitysprosessi alkaa siitä, kun kylmäaine tulee ulkoyksikössä sijaitsevaan höyrystimeen nestemäisessä muodossa. Ulkoilmayksikön höyrystimeen ulkoilmaa otetaan puhaltimen avustuksella, jolloin ulkoilmasta saatu lämpö aikaansaa kiertävän kylmäaineen faasimuutoksen nesteestä höyryksi. Höyrystimessä on alhainen paine, jotta kiertoine höyrstyisi alhaisemmassa lämpötilassa. Faasimuutoksessa kiertoineen lämpötila ei muutu, mutta siihen sitoutuu voimakkaasti lämpöenergiaa. Höyrystimen jälkeen höyrystynyt kiertoine puristetaan kompressorissa korkeaan paineeseen, jolloin kiertoineen lämpötila kasvaa jopa 100 °C:seen. Kompressorin jälkeen kiertoine on kuumaa höyryä, joka johdetaan sisäyksikössä sijaitsevaan lauhduttimeen. Huoneilma jäädyttää kylmäainehöyryä, jolloin tapahtuu jälleen faasimuutos, tällä kertaa höyrystä nesteeksi. Höyryn lauhtuessa vapautuu lämpöä, joka siirtyy huoneilmaan. Kun kylmäaine on muuttunut lauhduttimessa nesteeksi, alennetaan kiertoineen painetta paisuntaventtiilillä. (Motiva 2012b, 4.) Paisuntaventtiili aikaansaa kylmäaineen paineen alenemisen lisäksi myös sen lämpötilan jäähtymisen

alle -20 °C:een. Paisuntaventtiilin jälkeen kylmäaine purkautuu höyrystimeen, jolloin sen kierto alkaa uudelleen. (Perälä & Perälä 2013, 28–29.)

4.1.1 Kiertoaineet

Kiertoaineena toimivat kylmäaineet ovat kaasuja, jotka ovat usein voimakkaita kasvihuonekaasuja, joilla on yläilmakehän otsonia tuhoava vaikutus. Kylmäaineita kehitetään kuitenkin koko ajan ympäristölle vähemmän haitalliseen suuntaan. Nykyään ilmalämpöpumpuissa käytetään kylmäaineena yleisesti synteettisiä fluorihilivetyjä, eli HFC-yhdisteitä. Nämä ovat tunnetummin kauppanimeltään muun muassa R404A ja R410A. Kylmäaineena voidaan käyttää myös luonnollisia kylmäaineita, kuten hiilidioksidia, hiilivetyjä tai propaania. (Perälä & Perälä 2013, 46.)

4.1.2 Lämpökerroin

Ilmalämpöpumpun lämpökerroin määritetään lauhduttimen luovuttaman lämpövirran ja kompressorin vaatiman tehon suhteena. Kompressorin vaatima teho on lauhduttimen ja höyrystimen lämpövirtojen erotus. Lämpökerroin lämpövirtojen avulla määritettynä on esitetty yhtälössä (1).

$$COP = \frac{\phi_L}{\phi_L - \phi_H} \quad (1)$$

missä COP = lämpökerroin [-]

ϕ_L = lauhduttimen luovuttama lämpövirta [W]

ϕ_H = höyrystimen vastaanottama lämpövirta [W]

Lämpökerroin voidaan ilmaista lämpövirtojen lisäksi myös absoluuttisten lauhtumis- ja höyrystymislämpötilojen avulla. Lämpökerroin absoluuttisten lämpötilojen avulla voidaan määrittää yhtälöllä (2). (Seppänen & Seppänen 1997, 140–141.)

$$COP = \frac{T_L}{T_L - T_H} \quad (2)$$

missä T_L = lauhtumislämpötila [K]

T_H = höyrystymislämpötila [K]

Edellä mainituilla yhtälöillä saadaan määritettyä vain lämpökertoimen teoreettinen arvo, sillä yhtälöissä oletetaan lämpöpumpun laitteiden toimivan täydellä sataprosenttisella hyötysuhteella. Todellisuudessa lämpöpumppujen lämpökertoimet ovat huomattavasti teoreettisia arvoja alhaisempia. (Perälä & Perälä 2013, 30–31.)

Lämpökerroin on riippuvainen lämpötiloista, lämpötilaeron kasvaessa lämmönlähteen ja käyttökohteen välillä lämpökertoimen arvo pienenee. Mitä alhaisempi on ulkoilman lämpötila, sitä pienempi on lämpökertoimen arvo ja sitä epäedullisempää ilmalämpöpumpun käyttö on. (Perälä & Perälä 2013, 31.)

Valmistajat ilmoittavat lämpökertoimen arvon yleensä standardin EN14511 mukaisesti +7 °C ulkolämpötilassa, mutta se ei kuvaa kovinkaan hyvin laitteen tehokkuutta Suomen olosuhteissa. Suomessa rakennuksen lämmitys alkaa ulkolämpötila ollessa alhaisempi kuin +15 °C ja laitteen tulisi lämmittää vielä ulkolämpötilan ollessa -30 °C. (Scanoffice.) Valmistajien ilmoittamia lämpökertoimien arvoja on huonosti löydettävissä eri lämpötiloille. Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT on kuitenkin testannut eri valmistajien ilmalämpöpumppuja todellisissa käyttöolosuhteissa. Jälleenmyyjäliike Scanoffice ilmoittaa nettisivuillaan VTT:n testaamien lämpöpumppujen tehon- sekä lämpökertoimen ulkoilman lämpötilan funktiona. Tässä työssä myöhemmin käsiteltävän esimerkkitapauksen tulokset perustuvat näihin VTT:n raporttoimiin testituloksiin.

5 ILMALÄMPÖPUMPUN HANKINNAN JA KÄYTÖN KANNATTAVUUS ESIMERKKIKOHOEESAA

Tarkastellaan ilmalämpöpumpun hankinnan ja käytön kannattavuutta todellisen esimerkkitapauksen avulla. Kannattavuuden määrittämisessä tarkastellaan Lappeenrannassa sijaitsevaa 1,5-kerroksista, puurunkoista ja puuverhoiltua omakotitaloa, jossa asuu nelihenkinen perhe. Omakotitalo on kooltaan 126 m² ja se on rakennettu vuonna 2003. Omakotitalon lämmittämiseen käytetään kaukolämpöä, talossa on myös tulisija, mutta sen käyttö on erittäin vähäistä. Talossa on koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla. Talon kaukolämpö sekä sähkö ostetaan Lappeenrannan energialta.

Omakotitalon lämmityksen energiankulutus on selvillä vuodelta 2017. Tarkastellaan seuraavaksi kaukolämmön kulutuksesta aiheutuneita muuttuvia kustannuksia vuodelta 2017. Tämän jälkeen tutkitaan ilmalämpöpumpun hankinnasta ja käytöstä aiheutuvia kustannuksia, ja verrataan niitä kaukolämmityksestä aiheutuviin kustannuksiin. Kun kummankin lämmitysjärjestelmän kustannukset ovat tiedossa, saadaan selville ilmalämpöpumpun hankinnan ja käytön taloudellinen kannattavuus kyseisessä esimerkkitapauksessa. Kannattavuuden määrittämisessä ei huomioida ilmalämpöpumpun ja kaukolämmityksen mahdollista yhtäaikaista käyttöä.

5.1 Kannattavuuteen vaikuttavat tekijät

Ilmalämpöpumpun hankinnan kannattavuuteen vaikuttaa valitun ilmalämpöpumpun hankinta- ja asennuskustannukset sekä sen lämpökerroin. Lämpökertoimen ollessa lämpötilasta riippuvainen, vaikuttaa kannattavuuteen siten myös ulkoilman lämpötila. Kannattavuuteen vaikuttaa myös kaukolämmön hinta, mutta tätä merkittävämpi vaikutus on sähkön hinnalla, joka vaihtelee kaukolämmön hintaa enemmän.

5.2 Kaukolämmön kustannukset

Kaukolämmön kiinteät kustannuksen koostuvat liittymismaksusta sekä tehomaksusta. Muuttuvat kustannukset koostuvat energiamaksusta, jonka suuruus riippuu suoraan käytetyn energian määrästä (Motiva 2017a). Kun tutkitaan tilannetta, jossa ilmalämpöpumppu hankitaan lisälämmityslaitteeksi jo valmiiksi kaukolämpöön kytkettyyn pientaloon, kannattavuuden laskennassa ei huomioida kaukolämmön kiinteitä kustannuksia, sillä ne on maksettava joka tapauksessa riippumatta siitä, hankitaanko pientaloon ilmalämpöpumppu vai ei. Kaukolämmön vuosittaisia kustannuksia määritettäessä tarkastellaan tästä johtuen siis vain muuttuvia kustannuksia, eli energian myynti- sekä siirtokustannuksia.

Tarkastelussa olevan pientalon kaukolämmön energiankulutus vuodelta 2017 on tilastoitu vuorokausikohtaisesti. Tämä kaukolämmön energiankulutus pitää sisällään tilojen- sekä käyttöveden lämmitykseen kuluneen energian. Rajataan käyttöveden lämmitykseen kulunut energiamäärä tarkastelun ulkopuolelle ja selvitetään kuinka paljon energiaa kuluu pelkästään tilojen lämmittämiseen. Tämä rajaus tehdään, jotta saataisiin kaukolämmön- sekä ilmalämpöpumpun kustannuksista vertailukelpoiset, sillä ilmalämpöpumppu ei sovellu käyttöveden lämmittämiseen.

Aloitetaan laskenta määrittämällä käyttöveden lämmitykseen kulunut energia. Jotta tämä saadaan määritettyä, täytyy ensin tietää lämpimän käyttöveden kulutus. Tarkkoja arvoja esimerkiksi kohteen lämpimän käyttöveden kulutukselle ei ole tiedossa, mutta kohteen vesilaskussa on ilmoitettu veden vuosikulutusarvio, joka perustuu edellisen vuoden mitattuun kulutukseen. Käyttöveden vuosikulutusarviosta täytyy vielä määrittää lämpimän käyttöveden osuus, jonka voidaan asuinrakennuksissa olettaa olevan 40 % käyttöveden kokonaiskulutuksesta (RakMk D5 2007, 27).

Käyttöveden lämmitykseen kulunut energia saadaan määritettyä lämpimän käyttöveden kulutuksen, lämpimän käyttöveden lämpötilan sekä kylmän käyttöveden lämpötilan avulla yhtälön (3) mukaisesti (RakMk D5 2007, 26).

$$Q_{1kv} = \frac{\rho \cdot c_p \cdot V_{1kv} \cdot (T_{1kv} - T_{kkv})}{3600} \quad (3)$$

missä	$Q_{\text{lkv}} =$ käyttöveden lämmittämiseen kulunut energia	[kWh]
	$\rho =$ tiheys	[kg/m ³]
	$c_p =$ ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kgK]
	$V_{\text{lkv}} =$ lämpimän käyttöveden kulutus	[m ³]
	$T_{\text{lkv}} =$ lämpimän käyttöveden lämpötila	[°C]
	$T_{\text{kkv}} =$ kylmän käyttöveden lämpötila	[°C]

Yhtälön (3) nimittäjässä oleva arvo on yksikkömuunnoskerroin, jolla muutetaan kilojoulet kilowattitunneiksi. Ellei perustelluista syistä ole tarvetta käyttää muita arvoja, käytetään lämpimän ja kylmän käyttöveden lämpötilaerona arvoa 50 °C. (RakMk D5 2007, 26.) Tilojen lämmittämiseen kulunut energia saadaan energian kokonaiskulutuksen ja käyttöveden lämmitykseen kuluneen energian erotuksena yhtälön (4) mukaisesti.

$$Q_t = Q_{\text{tot}} - Q_{\text{lkv}} \quad (4)$$

missä	$Q_t =$ tilojen lämmittämiseen kulunut energia	[kWh]
	$Q_{\text{tot}} =$ energian kokonaiskulutus	[kWh]

Kun tiedetään tilojen lämmittämiseen kulunut energia sekä kaukolämmön siirron- ja kaukolämmön myynnin energiamaksu, saadaan määritettyä tilojen lämmityksestä aiheutuneet kaukolämmön muuttuvat kustannukset. Lappeenrannan energian kaukolämmön siirron energiamaksu vuonna 2017 oli 13,50 €/MWh ja kaukolämmön myynnin energiamaksu oli 55,00 €/MWh (Lappeenrannan energia a).

5.3 Ilmalämpöpumpun kustannukset

Ilmalämpöpumpusta aiheutuvat kustannukset jaetaan kiinteisiin sekä muuttuviin kustannuksiin. Kiinteät kustannukset koostuvat ilmalämpöpumpun hankinta- sekä asennuskustannuksista. Koska ilmalämpöpumppu tarvitsee toimiakseen sähköä, koostuvat muuttuvat kustannukset ilmalämpöpumpun käyttämän sähkön myynti- ja siirtokustannuksista. Yhtälössä (5) on esitetty ilmalämpöpumpun kokonaiskustannusten koostuminen.

$$K_{\text{tot}} = K_{\text{k}} + K_{\text{m}} \quad (5)$$

missä K_{tot} = kokonaiskustannukset [€]

K_{k} = kiinteät kustannukset [€]

K_{m} = muuttuvat kustannukset [€]

Ilmalämpöpumpun vuosittaiset kiinteät kustannukset saadaan määritettyä annuiteettimenetelmän avulla. Annuiteettimenetelmällä investoinnin hankintameno jaetaan pitoaikaa vastaaville vuosille yhtä suuriksi pääomakustannuksiksi, vuosieriksi eli annuiteeteiksi. Annuiteetti saadaan määritettyä yhtälöllä (6), sitä laskettaessa täytyy tietää annuiteettitekijä sekä investoinnin suuruus.

$$A = c_{n,i} \cdot I \quad (6)$$

missä A = annuiteetti [€/a]

$c_{n,i}$ = annuiteettitekijä [-]

I = investointi [€]

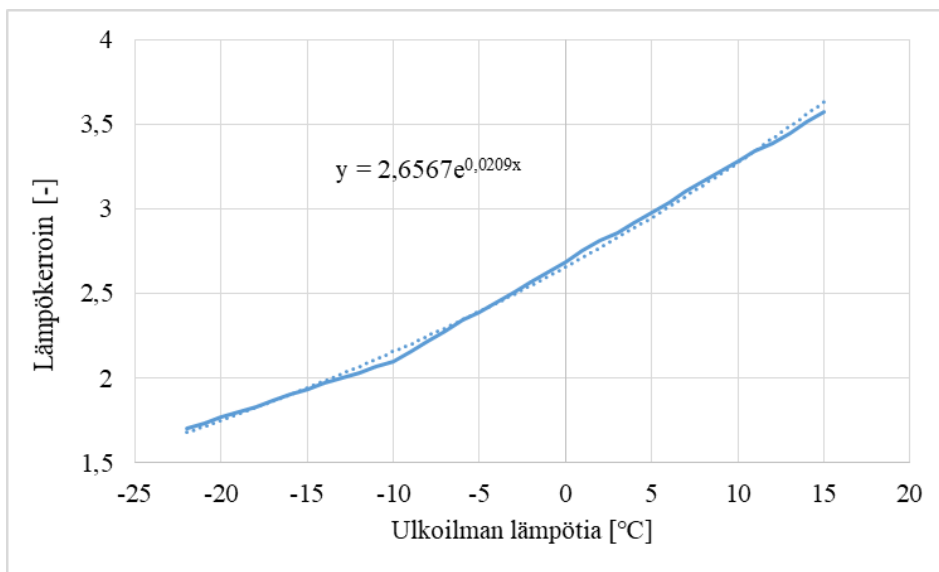
Annuiteettitekijä riippuu investoinnin pitoajasta sekä korkokannasta yhtälön (7) mukaisesti. (Neilimo & Uusi-Rauva 2010, 220–221.)

$$c_{n,i} = \frac{i(i+1)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (7)$$

missä i = laskentakorko [-]
 n = pitoaika [a]

Ilmalämpöpumpun muuttuvien kustannusten määrittämistä varten täytyy tietää rakennuksen lämmitystarve, jotta lämpökertoimen avulla voidaan laskea kuinka paljon ilmalämpöpumppu kuluttaa sähköä. Tämän avulla saadaan laskettua ilmalämpöpumpun muuttuvat kustannukset kun tiedetään sähkön myynti- ja siirtohinnot.

Tässä työssä mainittiin aiemmin Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n testanneen ilmalämpöpumppuja valvotuissa olosuhteissa, jolloin lämpökertoimien arvoja on määritetty useammalle ulkolämpötilalle. Seuraavassa kuvassa 5 on esitettyä ilmalämpöpumpun lämpökerroin ulkolämpötilan funktiona. Kuva on tehty VTT:n tutkimustulosten taulukoitujen arvojen perusteella.



Kuva 5. Ilmalämpöpumpun lämpökerroin ulkoilman lämpötilan funktiona (Laitinen 2016, G3).

Kun lämpökertoimet ulkolämpötilan funktiona ovat tiedossa, saadaan vuoden 2017 jokaiselle vuorokaudelle määritettyä sen vuorokauden keskilämpötilaa vastaava lämpökerroin. Tämä onnistuu kuvasta 5 saatavan sovitteen avulla, joka on esitettyä yhtälössä (8).

$$COP = 2,6567e^{0,0209 \cdot T} \quad (8)$$

missä $T =$ ulkoilman lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]

Kun tilojen lämmittämiseen tarvittava energia on tiedossa, saadaan ilmalämpöpumpun tarvitsema sähköenergia ratkaistua lämpökertoimen avulla yhtälöllä (9).

$$E_{ILP} = \frac{Q_t}{COP} \quad (9)$$

missä $E_{ILP} =$ ilmalämpöpumpun vaatima sähköenergia [kWh]

Kun tiedetään ilmalämpöpumpun vaatima sähköenergia, sähkön myyntihinta, sähkön siirtohintaa ja verojen suuruus, saadaan määritettyä tilojen lämmityksestä aiheutuneet muuttuvat kustannukset. Kun nämä summataan yhteen ilmalämpöpumpun kiinteiden kustannusten kanssa, saadaan ilmalämpöpumpun hankinnasta ja käytöstä aiheutuvat kokonaiskustannukset, joita voidaan seuraavaksi vertailla kaukolämmön muuttuvien kustannusten kanssa.

Ilmalämpöpumpun tyypillisenä pitoaikana voidaan pitää 10–20 vuotta (Energiatehokas koti 2016a). Tarkasteltavassa tapauksessa oletetaan ilmalämpöpumpun pitoajaksi 15 vuotta. Ilmalämpöpumpun hankintakustannukset riippuvat sen ominaisuuksista sekä lämmitystehosta. Lämmitysteholtaan oikean kokoisen ilmalämpöpumpun valitseminen on tärkeää, jotta ilmalämpöpumppu saadaan hyödynnettyä parhaalla mahdollisella tavalla. Ilmalämpöpumpun riittävänä lämmitystehona voidaan pitää 1 kW/ 30 m² (Välimäki Oy 2018). Esimerkki-tapauksen pientalo on kooltaan 126 m², joten sopiva lämmitysteho olisi 4, 2 kW.

Kun vertaillaan eri valmistajien ilmalämpöpumppuja sekä ilmalämpöpumppujen eri malleja, huomataan niiden hintojen vaihtelevan huomattavasti, keskimäärin välillä 600–2500 €. Esimerkkikohteeseen lämmitysteholtaan sopivat ilmalämpöpumput kustantavat hintaoppaan hintavertailun mukaan noin 1 100–2 000 €. (Hintaopas.) Kun hintoja tutkittiin jälleenmyyjien nettisivuilta, todettiin tämän hinta-arvion olevan paikkansa pitävä. Tämän kokoluokan ilmalämpöpumppu kustantaa keskimäärin 1 500 €.

Itse ilmalämpöpumpun lisäksi kiinteitä kustannuksia syntyy asennuskustannuksista, sillä ammattilaisen on suoritettava asennus siihen liittyvien luvanvaraisuuksien takia (Scanvarm). Ilmalämpöpumpun asennuskustannukset ovat monin paikoin alkaen 600 €. Ilmalämpöpumpun hankinnan kiinteiden kustannusten voidaan edellä esitettyjen tietojen perusteella arvioida olevan keskimäärin 2100 €. Oletetaan nyt ilmalämpöpumpun laskentakoroksi 5 %, laskentakorko on huomioitava vaikka investointi maksettaisiin ilman lainaa, sillä rahan arvo muuttuu.

Sähkön hinta vaihtelee sähkösopimuksesta riippuen. Tarkasteltavassa pientalossa on Varma-sähkösopimus, jossa hinta päivittyy kolmen kuukauden välein (Lappeenrannan energia b). Vuonna 2017 sähkön siirron energiamaksu oli 4,80 snt/kWh ja energiavero oli 2,79 snt/kWh. Sähkön myynnin energiamaksu oli vuoden 2017 ensimmäisellä neljänneksellä 6,20 snt/kWh, toisella neljänneksellä 4,85 snt/kWh, kolmannella neljänneksellä 4,70 snt/kWh ja viimeisellä neljänneksellä 5,20 snt/kWh.

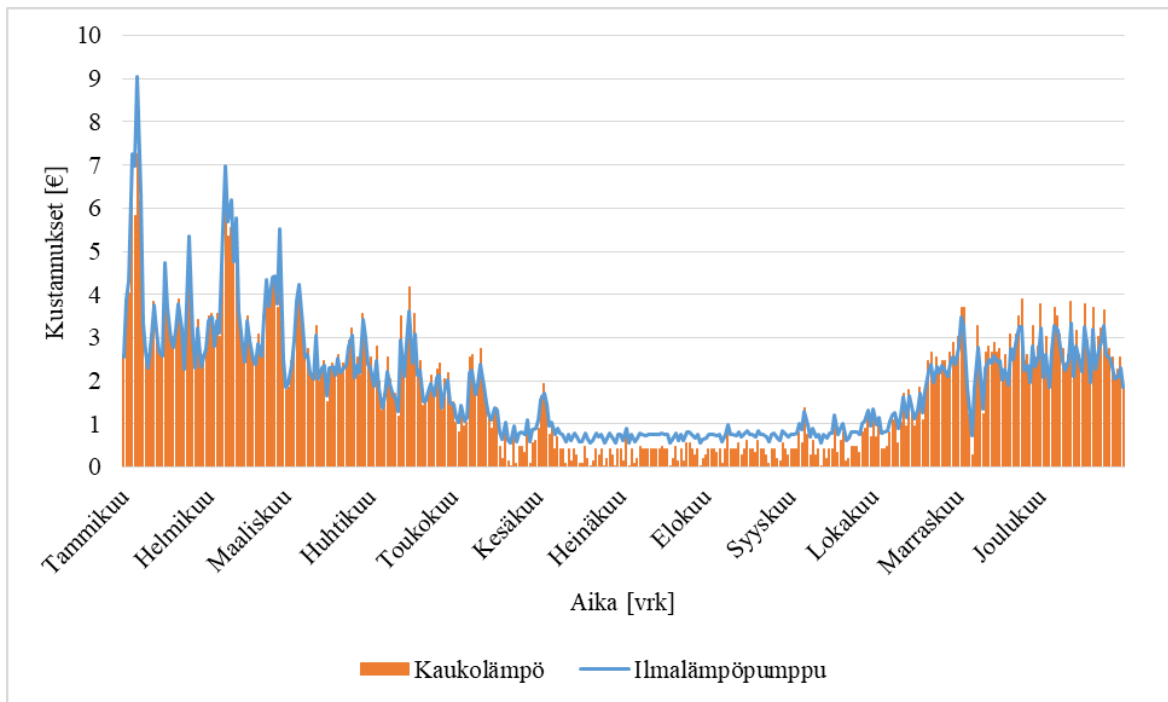
5.4 Kannattavuuden laskennan tulokset

Taloudellista kannattavuutta määritettäessä tarkasteltiin ilmalämpöpumpun käyttämän sähkön muuttuvia kustannuksia sekä ilmalämpöpumpun hankinnasta aiheutuvia kiinteitä kustannuksia. Kaukolämmön kustannuksiin huomioitiin vain tilojen lämmityksestä aiheutuvat muuttuvat kustannukset. Alla olevassa taulukossa 1 on koottuna pientalon lämmityksestä aiheutuvat kustannukset kuukausikohtaisesti.

Taulukko 1. Kuukausittaiset pientalon lämmityksestä aiheutuvat kustannukset. Kaukolämmityksen kustannuksissa on huomioita vain siitä aiheutuvat muuttuvat kustannukset, ilmalämpöpumpun kustannukset on eritelty siitä aiheutuviin muuttuviin- sekä kiinteisiin kustannuksiin.

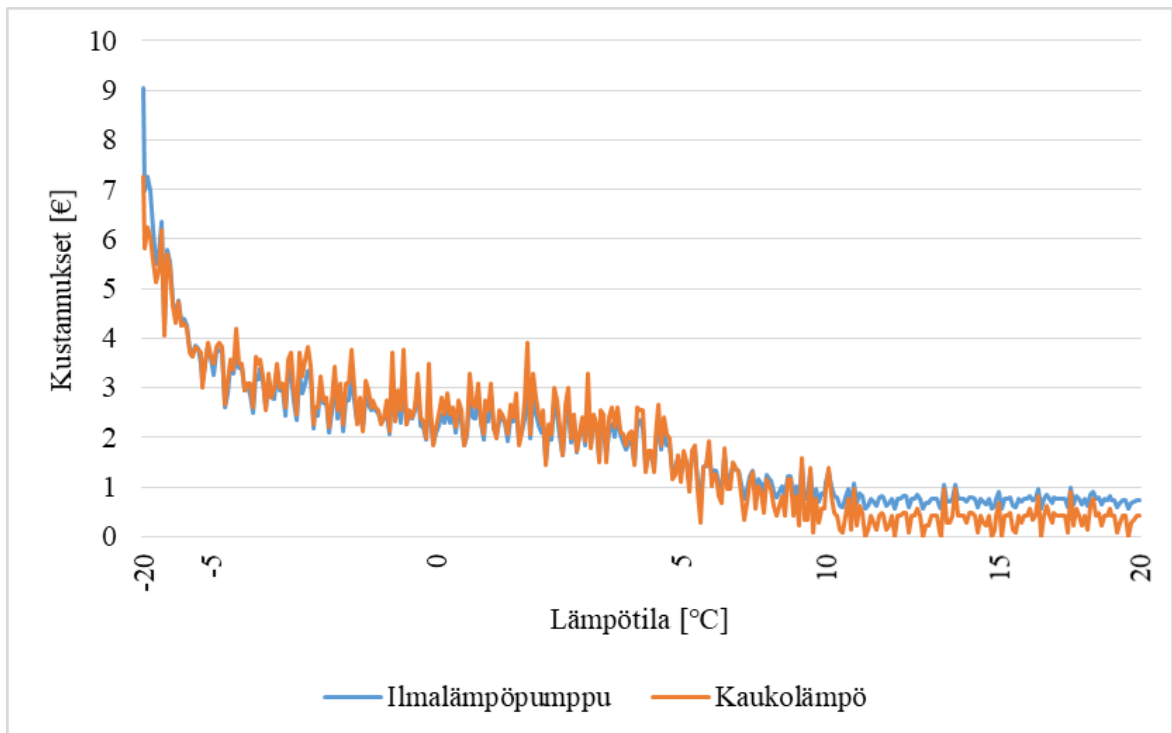
	Kaukolämmön kustannukset [€]	ILP muuttuvat kustannukset [€]	ILP kiinteät kustannukset [€]	ILP kokonais- kustannukset [€]
Tammikuu	113	99	17	116
Helmikuu	107	93	16	109
Maaliskuu	80	61	17	79
Huhtikuu	66	44	17	61
Toukokuu	33	20	17	37
Kesäkuu	14	8	17	25
Heinäkuu	10	5	17	22
Elokuu	12	6	17	23
Syyskuu	17	9	17	26
Lokakuu	49	32	17	50
Marraskuu	78	55	17	71
Joulukuu	87	62	17	80
	667	495	202	697

Taulukosta 1 nähdään kaukolämmityksen olevan kokonaisuudessaan ilmalämpöpumpua edullisempi vaihtoehto tässä esimerkkitapauksessa ja näillä edellä oletetuilla arvoilla. Tämä pätee siinä tapauksessa, kun laskennassa käytetty ilmalämpöpumpun teoreettinen pitoaika ei ole vielä ylittynyt, eli kun ilmalämpöpumpun kiinteitä kustannuksia on vielä teoreettisesti maksamatta. Jos ilmalämpöpumpulla on käyttöikä vielä tässä tapauksessa oletetun 15 vuoden jälkeen, muuttuvat ilmalämpöpumpun kustannukset kaukolämmityksen kustannuksia huomattavasti alhaisemmiksi, jolloin säästö voisi olla vuositasolla jopa 200 €. Tässä työssä käsitellään jatkossa kuitenkin tilannetta, jossa ilmalämpöpumpun teoreettinen pitoaika ei ole ylittynyt, eli ilmalämpöpumpun kiinteät kustannukset on otettu kaikessa laskennassa huomioon. Seuraavassa kuvassa 6 on esitettyä tarkemmin tilojen lämmityksestä aiheutuvat kustannukset ajan funktiona. Kuvassa kustannuksia on tarkasteltu vuorokausikohtaisesti ja ovat siten voimakkaasti riippuvaisia vuorokauden keskilämpötilasta.



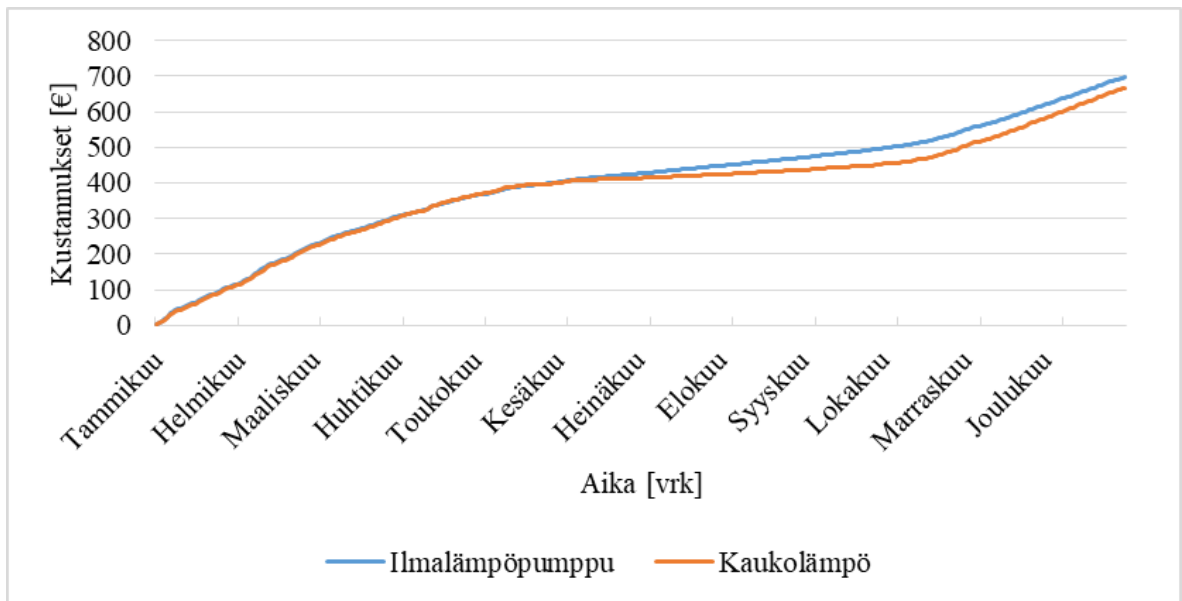
Kuva 6. Tilojen lämmityksestä aiheutuvat vuorokausikohtaiset kokonaiskustannukset ajan funktiona. Kaukolämmön kustannuksissa on huomioitu vain siitä aiheutuvat muuttuvat kustannukset, ilmalämpöpumpun kustannuksissa on huomioitu siitä aiheutuvat muuttuvat- sekä kiinteät kustannukset.

Kuvasta 6 huomataan kaukolämmityksen ja ilmalämpöpumpun kustannusten olevan lähes samat vuodenajasta riippumatta. Merkittävimmät eroavaisuudet kaukolämmityksen eduksi tapahtuvat kesäaikaan. Kuvan 6 mukaan voidaan todeta kaukolämmityksen olevan ilmalämpöpumpun hankintaa kannattavampi kesäkuusta syyskuuhun. Tämä selittyy lämmitystarpeen vähenemisellä, kesällä pientalon kosteita tiloja lämmitetään vain ylläpitävästi peruslämmöllä. Tällöin lämmityksestä ei aiheudu suuria muuttuvia kustannuksia, mutta ilmalämpöpumpun hankinnan kiinteitä kustannuksia on maksettava myös silloin. Seuraavassa kuvassa 7 on esitettyä lämmitystapojen vuorokausikohtaiset kustannukset ulkolämpötilan funktiona.



Kuva 7. Tilojen lämmityksestä aiheutuvat vuorokausikohtaiset kustannukset ulkolämpötilan funktiona. Kaukolämmön kustannuksissa on huomioitu vain siitä aiheutuvat muuttuvat kustannukset, ilmalämpöpumpun kustannuksissa on huomioitu siitä aiheutuvat muuttuvat- sekä kiinteät kustannukset.

Kuvasta 7 huomataan ilmalämpöpumpun käytön olevan keskimäärin kannattavampaa kun ulkolämpötila laskee alle viiden asteen. Ilmalämpöpumpun käyttö muuttuu jälleen epätaloudelliseksi kun ulkoilman lämpötila laskee riittävän alas. Ulkoilman lämpötilan ollessa alhaisempi kuin $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, nousevat ilmalämpöpumpun lämmityskustannukset huomattavasti. Seuraavassa kuvassa 8 on esitettyä tilojen lämmityksestä aiheutuneiden kokonaiskustannusten kertymä ajan funktiona.



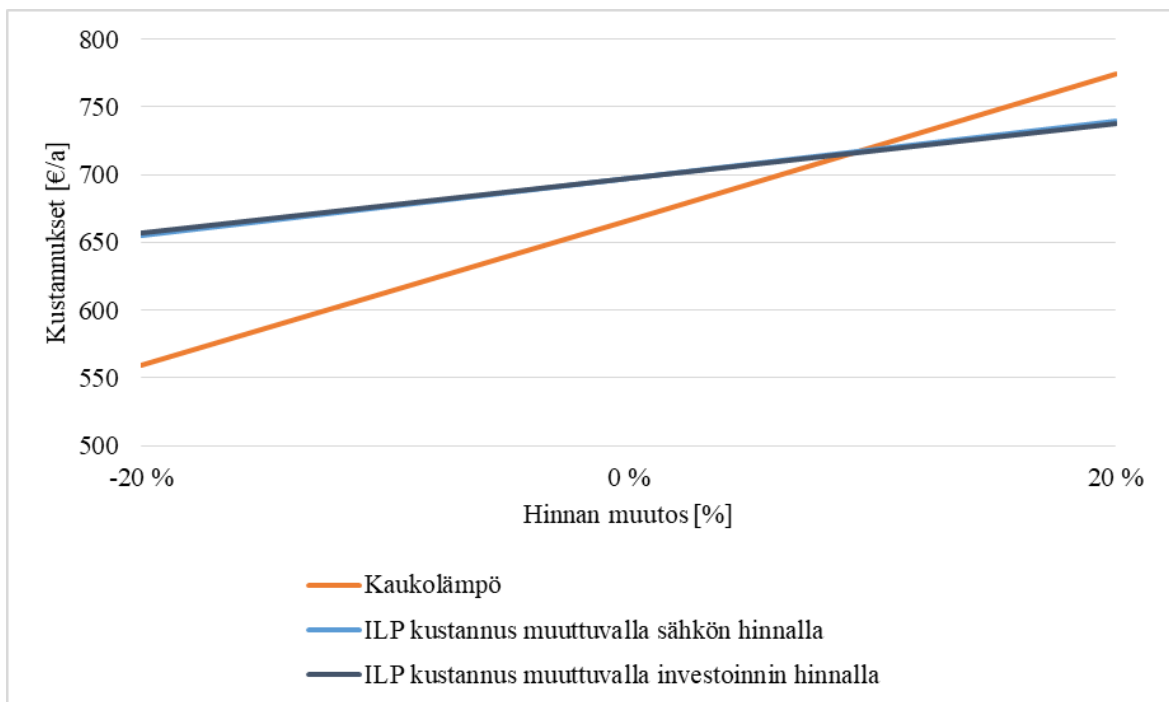
Kuva 8. Lämmitysjärjestelmien kertyvät kokonaiskustannukset ajan funktiona. Kaukolämmön kustannuksissa on huomioitu vain siitä aiheutuvat muuttuvat kustannukset, ilmalämpöpumpun kustannuksissa on huomioitu siitä aiheutuvat muuttuvat- sekä kiinteät kustannukset.

Aiemmistä kuvista ja taulukosta nähdään ilmalämpöpumpun hankinnan ja käytön olevan ajoittain kannattavaa, mutta kokonaisuudessaan ilmalämpöpumpun kustannukset nousivat vuoden 2017 aikana korkeammiksi kuin kaukolämmön kustannukset.

Täytyy kuitenkin huomioida edellä laskettujen tulosten sopivan vain kyseiseen esimerkkitapaukseen. Tämän esimerkkitapauksen tuloksiin vaikutti merkittävästi se, että tarkasteltava kohde oli jo valmiiksi kytketty kaukolämpöön. Tästä johtuen kaukolämmityksestä aiheutuneita tilojen lämmityskustannuksia määritettäessä huomioitiin vain kaukolämmön muuttuvat kustannukset, kun taas ilmalämpöpumpun kustannuksissa huomioitiin sen kiinteät- sekä muuttuvat kustannukset. Edellä esitettyä laskentaperiaatetta voidaan kuitenkin hyödyntää soveltuvin osin eri tapauksiin, jolloin ilmalämpöpumpun kannattavuus voidaan määrittää tapauskohtaisesti.

5.4.1 Herkkyysanalyysi

Tarkastellaan seuraavaksi vielä edellä esitettyjen tulosten herkkyyttä, eli miten tulokset muuttuisivat, jos jokin kannattavuuden kannalta kriittinen arvo muuttuu. Tehdään seuraavaksi herkkyysanalyysi sähkön hinnan muutokselle, ilmalämpöpumpun hinnan muutokselle sekä kaukolämmön hinnan muutokselle. Tarkastellaan ilmalämpöpumpun hankinnan kannattavuutta tilanteissa, jossa edellä mainitut hinnat muuttuvat kaksikymmentä prosenttia molempiin suuntiin. Seuraavassa kuvassa 9 on esitettyä ilmalämpöpumpun investoinnin herkkyysanalyysi.



Kuva 9. Ilmalämpöpumpun investoinnin herkkyysanalyysi, jossa investoinnin kannattavuuden kannalta kriittiset arvot muuttuvat.

Kuvassa 9 sähkön-, ilmalämpöpumpun sekä kaukolämmön hinnat muuttuvat. Kuvasta 9 huomataan ilmalämpöpumpun kustannusten pysyvän melko samana riippumatta siitä, muuttuuko sähkön hinta vai ilmalämpöpumpun hinta. Kuvasta nähdään ilmalämpöpumpun investoinnin muuttuva kannattavaksi, jos kaukolämmön- sekä sähkön hinnat nousevat molemmat

yli kymmenen prosenttiyksikköä. Jos kaukolämmön- sekä sähkön hinnat laskevat, pienenevät kaukolämmön kustannukset nopeammin suhteessa ilmalämpöpumpun kokonaiskustannuksiin.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ilmalämpöpumpun hankinnan ei voida todeta olevan taloudellisesti kannattavaa tässä esimerkkitapauksessa, jossa ilmalämpöpumppua käytettäisiin tilojen lämmittämiseen ja kaukolämmityksellä lämmitettäisiin vain käyttövävettä. Vuoden 2017 aikana on ajoittain hetkiä, jolloin ilmalämpöpumpun käyttö olisi kannattavaa, mutta kokonaisuudessaan vuoden aikana kertyvät ilmalämpöpumpun kokonaiskustannukset nousevat kaukolämmön kustannuksia suuremmiksi. Ilmalämpöpumpun käyttö on kannattavinta silloin, kun ulkolämpötila on $-15\dots+5$ °C. Kuukausikohtaisesti tarkasteltaessa, ilmalämpöpumpun käyttö olisi ollut kannattavampaa maaliskuussa, huhtikuussa, marraskuussa sekä joulukuussa. Hintaerot olivat kuitenkin näidenkin kuukausien aikana pieniä.

Ilmalämpöpumpun hankinnan kannattavuuteen merkittävimmin vaikuttavat sen kiinteät hankintakustannukset sekä sähkön- ja kaukolämmön hinnat. Sähkön hinnan ja ilmalämpöpumpun hinnan herkkyys on keskenään suunnilleen samaa luokkaa. Kaukolämmön hinnan muutoksella on edellä mainittujen hintojen muutosta suurempi vaikutus investoinnin kannattavuuteen. Ilmalämpöpumpun hankinta tähän kohteeseen muuttuu kannattavaksi siinä vaiheessa, kun kaukolämmön hinta sekä ilmalämpöpumpun hankintakustannukset tai sähkön hinta nousevat laskennassa käytetyistä hinnoista yli kymmenen prosenttiyksikköä. Pelkän lämmityksen takia ilmalämpöpumpun hankinta tähän kohteeseen ei ole kannattavaa, sillä parhaimmassakin tapauksessa voidaan saavuttaa vain minimaalinen säästö, jossa puhutaan vain kymmenistä euroista vuoden aikana. Jos ilmalämpöpumppua halutaan kuitenkin käyttää myös jäädytystarkoituksessa, on sen hankinta hyödyllisempää, vaikka sillä ei saataisikaan merkittävää säästöä lämmityskustannuksissa.

7 YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin, onko taloudellisesti kannattavaa hankkia ilmalämpöpumppu kaukolämmitettyyn pientaloon. Työn alussa käytiin läpi pientalojen energiankulutus, kaukolämmön ja ilmalämpöpumpun toimintaperiaatteet sekä ilmalämpöpumpun hankinnan taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat tekijät. Kannattavuutta tutkittiin oikean esimerkkitapauksen pohjalta ja sen laskennassa käytettiin pientalon omistajan antamia sähkön- ja kaukolämmön hintatietoja sekä tietoja ulkolämpötiloista ja lämmitysenergian tarpeesta. Laskenta perustui vuoden 2017 vuorokausikohtaisiin tietoihin.

Laskennan alussa selvitettiin lähtötietojen pohjalta tilojen lämmittämiseen kulunut energia, jonka jälkeen saatiin tilojen lämmityksestä aiheutuneet kustannukset, kun tiloja lämmitettiin kaukolämmöllä. Tämän jälkeen selvitettiin ilmalämpöpumpun lämpökertoimen vuorokausikohtaisesti, kun vuorokauden keskilämpötila sekä sovitte lämpökertoimen laskemiseen olivat tiedossa. Lämpökertoimen avulla saatiin määritettyä ilmalämpöpumpun vaatima sähköteho kun tilojen lämmittämiseen vaadittu energia oli jo tiedossa. Tarvittavan sähkötehon ja sähkön hinnan avulla saatiin määritettyä ilmalämpöpumpun muuttuvat kustannukset. Ilmalämpöpumpun kiinteitä kustannuksia selvitettiin vertailemalla eri valmistajien ilmalämpöpumppuja.

Lopullisessa laskennassa tutkittiin investoinnin kuukausikohtaista kannattavuutta sekä kuinka ilmalämpöpumpun hankinnan ja käytön kannattavuus muuttuu ulkoilman lämpötilan funktiona. Lisäksi määritettiin investoinnin herkkyyys, jos kaukolämmön-, sähkön- tai ilmalämpöpumpun hinnat muuttuvat kaksikymmentä prosenttia suuntaan tai toiseen.

LÄHTEET

Ari Laitinen. 2016. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Ilma-ilmalämpöpumppujen energiankulutusvaikutukset pientaloissa [verkkajulkaisu]. [Viitattu 5.3.2018]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/t262.pdf>.

Energiatehokas koti. 2016a. Lämmitysjärjestelmien elinkaari [verkkajulkaisu]. [Viitattu 9.2.2018]. Saatavissa: http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/lammitysjarjestelmien_elinkaari.

Energiatehokas koti. 2016b. Mihin energiaa kuluu? [verkkajulkaisu]. [Viitattu 7.3.2018]. Saatavissa: http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/hyva_tietaa/mihin_energiaa_kuluu.

Energiatehokas koti. 2016c. Miten tehdään energiatehokas koti? [verkkajulkaisu]. [Viitattu 15.3.2018]. Saatavissa: http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/miten_tehdaan_energiatehokas_koti.

Energiatehokas koti. 2017d. Talotekniikan suunnittelu. Lämmitys [verkkajulkaisu]. [Viitattu 15.3.2018]. Saatavissa: http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys.

Energiavirasto. 2018. Energiatehokkuus. Energian säästäminen [verkkajulkaisu]. [Viitattu 15.3.2018]. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/energian-saastaminen>.

Hintaopas. Lämpöpumput [verkkajulkaisu]. [Viitattu 10.2.2018]. Saatavissa: https://hintaopas.fi/category.php?b=s321114814&o=produkt_pris_inkmoms.

Hanna-Liisa Kangas et al. 2013. WWF:n kaupunkienergiaraportti. Eroon fossiilisista. Uusiutuvan energian tulevaisuus suomalaisessa kaupungissa [verkkojulkaisu]. [Viitattu 4.5.2018]. Saatavissa: <https://wwf.fi/mediabank/4476.pdf>

Lappeenrannan energia a. Kaukolämpöhinnasto [verkkojulkaisu]. [Viitattu 9.2.2018]. Saatavissa: <https://www.lappeenrannanenergia.fi/palvelut/LRE%20tiedostot/Hinnastot/2016-LRE-A4-Kaukolampohinnasto-web.pdf>.

Lappeenrannan energia b. Sähkönmyynti. Varma – vuosineljänneksittäin markkinahinnan mukaan päivittyvä hinta [verkkojulkaisu]. [Viitattu 5.3.2018]. Saatavissa: <https://www.lappeenrannanenergia.fi/tuotteet/sahkonmyynti/varma/Sivut/default.aspx>.

Motiva. 2017a. Kaukolämmön hinta [verkkojulkaisu]. [Viitattu 9.2.2018]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon_hinta.

Motiva. 2012b. Lämmitysjärjestelmät ilmalämpöpumput. Lämpöä ilmassa [verkkojulkaisu]. [Viitattu 29.1.2018]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/7964/Lampoa_ilmassa_Ilmalampopumput.pdf.

Motiva. 2012c. Lämmitysjärjestelmät kaukolämpö. Lämpöä kotiin keskitetysti [verkkojulkaisu]. [Viitattu 30.1.2018]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa_kotiin_keskitetysti_Kaukolampo.pdf.

Motiva. 2009d. Pientalon lämmitysjärjestelmät [verkkojulkaisu]. [Viitattu 21.1.2018]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon_lammitysjarjestelmat.pdf.

Mäkelä Veli-Malli & Tuunanen Jarmo. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Tammerprint Oy. 159s. ISBN 978-951-588-507-1.

Neilimo Kari & Uusi-Rauva Erkki. 2010. Johdon laskentatoimi. 6.-10. painos. Helsinki: Edita Prima Oy. 366 s. ISBN 978-951-37-4109-9.

Perälä Osmo & Perälä Rae. 2013. Lämpöpumput. 3. painos. Tallinna: Alfamer/Karisto Oy. 136 s. ISBN 978-952-472-192-9.

Scanoffice. VTT:n testiraportit – Ilmalämpöpumppuvertailu [verkkojulkaisu]. [Viitattu 1.2.2018]. Saatavissa: <https://www.scanoffice.fi/fi/tuotteet/tuoteryhmat/ilmalampopumput/raportit-ja-sertifikaatit/vtt-testiraportit>.

Scanvarm. Ilmalämpöpumput [verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.2.2018]. Saatavissa: https://www.scanvarm.fi/tuotteet/tuoteryhmat/ilmalampopumput/usein-kysytyt-ja-kysymyksiä?gclid=Cj0KCQiAzfrTBRC_ARIsAJ5ps0v5N0kiyyXzvt3jgkam3-iG8qZYPR13XGO84MFdoScDSgSLxnb5wx0aAgUfEALw_wcB.

Seppänen Matti & Seppänen Olli. 1997. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. 2. painos. Helsinki: Sisäilmayhdistys ry. 279 s. ISBN 951-97186-5-6.

Statistics Finland. 2017. Energy in Finland [verkkojulkaisu]. [Viitattu 21.1.2018]. Saatavissa: http://www.stat.fi/tup/julkaisut/tiedostot/julkaisuluetteloyene_efp_201700_2017_16860_net.pdf.

RakMk D5. 2007. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta [verkkajulkaisu]. [Viitattu 5.3.2018]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/data/normit/29520/D5-190607-suomi.pdf>.

RakMk G1. 2005. Asuntosuunnittelu [verkkajulkaisu]. [Viitattu 1.3.2018]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/data/normit/28204/G1su2005.pdf>.

Tilastokeskus 2018a. Energian hankinta ja kulutus [verkkajulkaisu]. [Viitattu 21.1.2018]. Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/ehk/tau.html>.

Tilastokeskus b. Rakennus- ja asuntotuotanto [verkkajulkaisu]. [Viitattu 7.3.2018]. Saatavissa: <https://www.stat.fi/til/ras/kas.html>.

Vattenfall. Ilmalämpöpumppu. Pumppu ABC [verkkajulkaisu]. [Viitattu 15.3.2018]. Saatavissa: <https://www.vattenfall.fi/ilmalampopumppu/ilmalampopumppu-abc/>.

Välimäki Oy. 2018. Lämpö- ja kylmäasennus. Ilmalämpöpumpun ostajan opas [verkkajulkaisu]. [Viitattu 15.3.2018]. Saatavissa: <https://lampojakylmaasennus.fi/ilmalampopumppu-oulu>.