

# **Kaukolämmön erillisverkon kehittämismahdollisuudet**

Joonas Kopra

OPINNÄYTETYÖ  
Kesäkuu 2020

Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

KOPRA, JOONAS:  
Kaukolämmön erillisverkon kehittämismahdollisuudet

Opinnäytetyö 42 sivua  
Kesäkuu 2020

---

Opinnäytetyön toimeksianto saatiin Tampereen Sähkölaitokselta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia tietyn alueen erilliskaukolämpöverkon investointi- ja kehittämismahdollisuuksia. Tavoitteena oli vertailla lämmitysjärjestelmien ominaisuuksia, investoinnin kannattavuutta ja ratkaisujen vaikutuksia asiakastyytyväisyyteen Tampereen Sähkölaitoksen asiakkaiden keskuudessa. Kustannusarviot muodostettiin käyttämällä Motivan lämmitystapojen vertailulaskuria, josta hyödynnettiin lämmitysjärjestelmien investointihinta-arviot, hyötysuhteet, sähkön ja kaukolämmön hinnat ja vuotuiset energiakustannukset. Näiden avulla laskettiin kustannusarviot, energiatehokkuudet ja takaisinmaksuajat hypoteettisella voittoprosentilla lämmitysjärjestelmille.

Tutkitut investointi- ja kehittämiskäytännöt olivat: sähkölämmitys, ilmalämpöpumpun ja sähkölämmityksen yhdistelmä, ilma-vesilämpöpumpun ja sähkölämmityksen yhdistelmä, maalämpö ja kaukolämpö. Lämmitysratkaisuja arvioitiin energiakustannusten, energiatehokkuuden, takaisinmaksuajan ja asiakastyytyväisyyden perusteella. Sähkölämmitys ei sisällynyt suositeltuihin ratkaisuihin korkeiden energiakustannustensa takia. Ilma-vesilämpöpumpun ja sähkölämmityksen yhdistelmä ja maalämpö olivat takaisinmaksuajaltaan liian pitkiä, minkä vuoksi ne eivät soveltuneet suositeltaviksi. Ilmalämpöpumpun ja sähkölämmityksen yhdistelmä ja kaukolämpö olivat kokonaisuuksina soveltuvimmat ratkaisut, koska niiden takaisinmaksuajat alittivat tavoitellun 20 vuotta ja energiakustannuksiltaan ne olivat kilpailukykyisiä. Asiakastyytyväisyyttä ajatellen kaukolämpö on näistä kahdesta riskittömämpi ratkaisu.

Kokonaisuutena suositeltavin investointiratkaisu näiden tietojen perusteella on kaukolämpöverkon uusiminen. Näin taataan alueen asiakastyytyväisyys ilman asiakkaiden energiakustannusten nousua. Siihen investoimalla varmistetaan lämmitysjärjestelmän toimivuus vuosiksi eteenpäin.

---

Asiasanat: kaukolämpö, lämmitysjärjestelmä, kustannusvertailu, asiakastyytyväisyys, energiatehokkuus

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

KOPRA, JOONAS:  
Development and Investment Possibilities for a Detached District Heating Grid

Bachelor's thesis 42 pages  
June 2020

---

This thesis was commissioned by Tampereen Sähkölaitos Oy. The purpose of this study was to determine suitable investment and development possibilities for a detached district heating grid of a certain area. To achieve this the properties and profitabilities of the heating systems and their effects on Tampereen Sähkölaitos Oy's customer satisfaction were compared. Investment price estimates, energy pricing, and annual energy expenses for the heating systems were acquired from Motiva's heating system comparison calculator. These values were utilized in calculating the total investment estimations, energy efficiencies, and the payback periods for the heating systems.

The heating systems that were being studied were: electric heating, air-to-air heat pump with electric heating, air-to-water heat pump with electric heating, geothermal heat pump, and district heating. The most prominent heating systems regarding payback period, energy efficiency, customer satisfaction and annual energy expenses were district heating and air-to-air heat pump with electric heating.

Investing in district heating was determined as the most advisable option out of the two. This is due to its operational reliability and risk-free customer satisfaction without increase in energy expenses for the customers.

---

Key words: district heating, heating system, customer satisfaction, cost comparison, energy efficiency

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	TOIMEKSIANTAJA JA CASE .....	6
3	LÄMMITYSMUODOT JA ENERGIATEHOKKUUS .....	9
	3.1 Lämpöpumpun toiminta.....	9
	3.2 Maalämpö .....	11
	3.3 Ilmalämpöpumppu.....	13
	3.4 Ilma-vesilämpöpumppu .....	14
	3.5 Sähkölämmitys.....	15
	3.6 Kaukolämpö .....	15
	3.7 Energiatehokkuus .....	16
	3.7.1 Lämpökerroin ja vuosilämpökerroin .....	17
	3.7.2 Eristys.....	18
	3.7.3 Lämmitysjärjestelmän säätö .....	18
4	TUET JA KUSTANNUSLASKENTA.....	20
	4.1 Energiatuki .....	20
	4.2 Kustannuslaskenta ja energiaterhokkuus .....	20
5	ASIAKASNÄKÖKULMA JA ASIAKASTYYTYVÄISYYS .....	28
	5.1 Asiakasnäkökulma .....	28
	5.2 Asiakastyytyväisyys .....	30
6	POHDINTA .....	33
7	YHTEENVETO.....	37
	LÄHTEET .....	39

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia tietyn alueen erilliskaukolämpöverkon investointi- ja kehittämismahdollisuuksia. Opinnäytetyö on tehty Tampereen Sähkölaitos Oy:n toimeksiannosta. Investointimahdollisuuksien kartoittamisen syynä on tavoite kehittää alueen lämmitysjärjestelmää, ja tarve tutkia mahdollisuuksia kaukolämpöverkon kehittämiseksi alueella. Opinnäytetyön toisena tavoitteena on arvioida eri vaihtoehtojen vaikutusta Tampereen Sähkölaitoksen asiakkaiden asiakastyytyväisyyteen.

Lähtökohtaisesti potentiaalisimpina vaihtoehtoina pidettiin ilmalämpöpumppuja, ilma-vesilämpöpumppuja, maalämpöä, kaukolämpöä ja suoraa sähkölämmitystä, joiden kannattavuutta selvitetään kyseisessä kohteessa. Lämmitysjärjestelmien hinta-arviot tehdään Motivan lämmitystapojen vertailulaskurin avulla. Hintaravioiden pohjalta järjestelmille lasketaan kustannusarviot sekä takaisinmaksuajat. Opinnäytetyötä aloittaessa tiedettiin Business Finland Oy:ltä mahdollisesti saatavasta energiatuesta, joka vaikuttaisi Tampereen Sähkölaitoksen investoinnin suuruuteen merkittävästi. Business Finland myöntää rahoitusta energiatuen muodossa uusiutuvan energian tuotannon ja käytön edistämiseksi. Energiatuen mahdollista suuruutta ja saatavuutta selvitettiin.

Lämmitysjärjestelmiä vertaillessa otetaan huomioon myös niiden energiatehokkuudet, koska prosessien energiatehokkuuden parantaminen on osa Tampereen Sähkölaitos Oy:n strategiaa pienentää hiilijalanjälkeään (Tampereen Sähkölaitos 2020b).

## 2 TOIMEKSIANTAJA JA CASE

Toimeksiantajana tälle opinnäytetyölle toimi kotimainen energiakonserni Tampereen Sähkölaitos Oy. Se tuottaa, jakaa ja myy uusiutuvaa energiaa sekä kehittää tulevaisuuden energiaratkaisuja. Tampereen Sähkölaitos on Suomen vanhin kunnallinen sähkölaitos. Se on perustettu vuonna 1888. Yrityksen toiminta ulottuu myös Tampereen ulkopuolelle sähkö- ja valaistusverkkojen rakentamisen, toimivuuden ja uudistamisen muodossa. (Tampereen Sähkölaitos 2019b.)

Tampereen kaupunki omistaa Tampereen Sähkölaitos -konsernin. Siihen kuuluu Tampereen Sähkölaitos Oy, Tampereen Sähköverkko Oy ja Tampereen Vera Oy. Tampereen Sähkölaitos Oy on konsernin emoyhtiö. Tammervoima Oy on konsernin tytäryhtiö, jonka toinen omistaja on Pirkanmaan Jätehuolto Oy. Kuviossa 1 on esitelty konsernin rakenne. (Tampereen Sähkölaitos Oy 2020b.)



KUVIO 1. Tampereen Sähkölaitos -konsernin rakenne (Tampereen Sähkölaitos Oy 2020b)

Tampereen Sähkölaitos tuotti vuonna 2019 kaukolämpöenergiaa 2251 GWh ja sähköä 660 GWh. Kaukolämpöenergiasta 45 prosenttia ja sähköstä 33 prosenttia tuotettiin uusiutuvilla polttoaineilla. Sähkölaitos tuottaa myös lähijäähdytystä, joka

tuotetaan päästöttömästi Näsijärven viileästä vedestä. Jäähdytysverkon hukkalämpöä käytetään Kalevan maauimalan veden lämmittämiseen, joka lisää huomattavasti verkoston tehokkuutta. (Tampereen Sähkölaitos Oy 2020b.)

Tampereen Sähkölaitos pyrkii yhdessä asiakkaiden kanssa kehittämään palveluitaan ja tuotteitaan heille sopiviksi. Asiakastyytyväisyys ja ympäristönäkökulma ovat ohjaavina tekijöinä Tampereen Sähkölaitoksen toiminnassa. Se kehittää toimintaansa ympäristöystävällisemmäksi investoimalla uusiin tuotantolaitoksiin ja teknologioihin. Tavoitteena Sähkölaitoksella on pienentää hiilidioksidipäästöjään vuodesta 2010 90 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. (Tampereen Sähkölaitos Oy 2020b.)

Opinnäytetyön tutkimuskohteena oli alue, jonka erillisen alueverkon Tampereen Sähkölaitos Oy rakennutti 1980-luvulla. Alueen verkostoa ei ole liitetty Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämmön kantaverkon piiriin. Alueella on 106 omakotitaloa. Osa taloista on liitetty siirrinasemaan suoraan, eivätkä he tarvitse omaa lämmönsiirintä. Suurin osa asiakkaista on hankkinut uudet omakustanteiset lämmönsiirtimekset parantamaan lämmityksen toimivuutta. Alueverkoston korvaaminen on ajankohtaista sen iän ja kunnan takia. Parhaat vuodenaajat verkoston korvaamiseen ovat kevät ja kesä, jolloin maa on sula ja sen kaivaminen helppoa. Alueverkostossa ensimmäiset 15 vuotta käytettiin talousvettä käyttövetenä normaalisti käytettävän kaukolämpöveden sijaan. Talousvettä ei yleensä käytetä kaukolämpöverkostossa, koska siinä on happea, mikä aiheuttaa korroosiota putkistossa. Kaukolämpövedestä on poistettu happea ja epäpuhtauksia korroosion vähentämiseksi putken sisällä (Energiateollisuus ry n.d.). Talousveden käytön lisäksi korroosiota on edistänyt se, että osa putkistosta on toteutettu muoviputkella, jonka läpi on diffusoitunut happea myös talousveden käytön lopettamisen jälkeen (Salmi 2019, 3).

Tampereen Sähkölaitos Oy on teettänyt opinnäytetyötä kaukolämpöverkostoista ja niiden korvaamisesta joko osittain tai kokonaan uudella teräs- tai muoviputkistolla, ja liittämistä Sähkölaitoksen kaukolämpöverkon kantapiiriin. Kahden opinnäytetyön tutkimustuloksia käytetään tämän opinnäytetyön pohjana. Toisessa opinnäytetyössä laskettiin uusien putkien kustannusarviot asennettuina, joihin tämän opinnäytetyön tuloksia verrataan. Toisessa tutkittiin

asiakkaiden lämmönjakokeskusten kuntoa, ja sitä onko niihin hankittu omakustanteisia laitteita muuttamaan lämmönjaon epäsuoraksi.



### 3 LÄMMITYSMUODOT JA ENERGIATEHOKKUUS

Lämmitysjärjestelmiä vertaillessa on tärkeää ymmärtää, miten ne toimivat, jotta voidaan ymmärtää, mitkä niiden hyvät ja huonot puolet ovat. Erityisesti lämmitysjärjestelmien erinäiset energianlähteet vaikuttavat paljon niiden toimintaan ja ympäristöystävällisyyteen. Järjestelmän toimivuudelle tärkeää on suunnitelmien toteuttaminen ammattilaisten kanssa. (Energiatehokaskoti 2020a.)

#### 3.1 Lämpöpumpun toiminta

Lämpöpumppuja käytetään monissa lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä. Lämmitysjärjestelmistä, joita tässä opinnäytetyössä vertaillaan, käytetään lämpöpumppua muissa paitsi sähkölämmityksessä ja kaukolämmössä.

Lämpöpumpuilla siirretään lämpöenergiaa. Niiden avulla pystytään energiatehokkaasti keräämään lämpöenergiaa jopa alhaisista lämpötiloista ulkoa lämpimämpään sisätilaan. Lämpöpumppuja on monissa erilaisissa laitteissa, kuten jääkaapeissa, ilmastointilaitteissa ja pakastimissa. Kotitalouksissa käytettävissä lämpöpumpuissa lämmönlähteinä käytetään yleensä vettä, maaperää tai ulkoilmaa. Lämpöenergia siirretään sisätiloihin sähkökäyttöisen kompressorin avulla. (Happonen 2010, 41.)

Lämpöpumppu koostuu neljästä perusosasta: kompressorista, paisuntaventtiilistä ja kahdesta lämmönvaihtimesta; lauhduttimesta ja höyrystimestä. Niiden lisäksi lämpöpumpuissa käytetään kylmäainetta, johon lämpöenergia varastoituu. Osa lämpöpumpuista on tarkoitettu myös jäähdytyskäyttöön, jolloin kylmäaineen kierto toimii päinvastaisesti verrattuna lämmitykseen. (Happonen 2010, 42.) Seuraavissa kappaleissa kuvataan lämpöpumpun toimintaa lämmitystarkoituksessa.

Lämpöpumppuja voidaan käyttää lähes ympäri vuoden, mutta -20 – -30 celsiusasteessa (laitteesta riippuen) niiden teho ja hyötysuhde heikentyvät

selvästi, jolloin niiden käyttö ei välttämättä enää ole järkevää sähkön kulutuksen kannalta. Tällöin on tärkeää, että lämpöpumpun rinnalle on asennettu varalämmitysjärjestelmä, jonka tehokkuuteen ulkoilman lämpötila ei vaikuta, ja jonka teho on tarpeeksi suuri kattamaan talouden lämmityksen ja käyttöveden tarpeet. (Motiva 2019a.)

Lämpöpumpun kompressori kierrättää kylmäainetta, ja madaltaa höyrystimen painetta imien höyrystimessä muodostuvaa höyryä, pitäen samalla paineen alhaisena, jotta kylmäaineen höyrystyminen höyrystimessä jatkuu. Kylmäaineen kulkiessa kompressorin läpi se puristuu korkeaan paineeseen samalla lämmeten lähes 100 asteeseen. Kylmäaine kulkeutuu kompressorista lauhduttimeen. (Happonen 2010, 39, 42.)

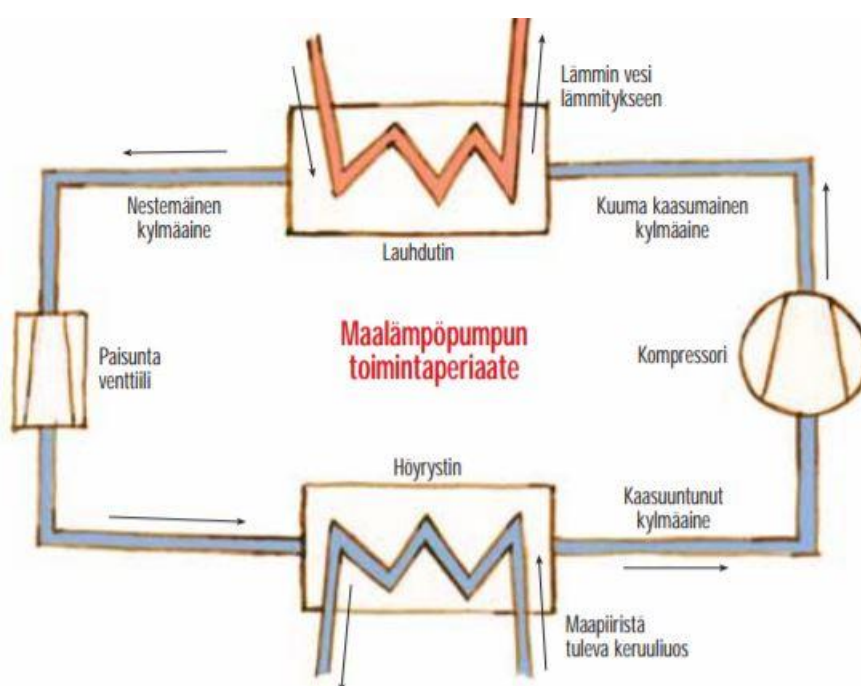
Paisuntaventtiili erottaa lauhduttimen ja höyrystimen toisistaan. Se säännöstelee kylmäaineen virtausta tarpeen mukaan säilyttäen lauhduttimen ja höyrystimen paine-eron. Paisuntaventtiileitä on mekaanisia ja elektronisia. Uusimmissa lämpöpumpuissa käytetään elektronisia paisuntaventtiileitä niiden nopeuden ja tarkkuuden vuoksi. (Happonen 2010, 39.)

Höyrystimessä kylmäaine sitoo lämpöenergiaa ulkoisesta lähteestä (yleensä maa, ilma tai vesi) itseensä metallipinnan kautta, jonka sisällä kylmäaine kulkee. Kylmäaine höyrystyy höyrystimen matalassa lämpötilassa matalan paineen ansiosta. Höyrystynyt kylmäaine kulkeutuu kompressorin imun avulla kompressoriin ja sen kautta lauhduttimeen, jossa kylmäaine jäähtyy lauhtumislämpötilaansa vapauttaen lämpöenergiansa samalla, kun se muuttuu nestemäiseksi lauhduttimen korkeassa paineessa. Lauhduttimessa vapautunut lämpöenergia johtuu talon sisätiloihin. Kylmäaine kulkeutuu jäähdyttyään paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimeen. (Happonen 2010, 38–39.)

Lämpöpumpuissa käytettävät kylmäaineet ovat nesteytettyjä kaasuja, jotka muuttuvat nesteestä kaasuksi lämpötilan noustessa höyrystymispisteeseen. Tärkeimmät ominaisuudet kylmäaineille ovat lämpökapasiteetti, höyrystymispiste ja lauhtumispiste. Kylmäaineen tarkoitus on kuljettaa mahdollisimman iso määrä energiaa mahdollisimman pienellä massavirralla kylmäainepiirissä, jotta lämpöpumppu toimii tehokkaasti. (Happonen 2010, 22.)

### 3.2 Maalämpö

Maalämpöä kerätään maalämpöpumpulla, jonka avulla maahan poratusta tai kaivetusta alueesta otetaan käyttöön siihen varastoitunut aurinkoenergia. Lämpöenergia kerätään maaperästä, kalliosta tai vedestä. Maalämpöpumppu toimii sähköllä ja siirtää maaperään varastoituneen lämmön kylmäaineen avulla lämmönkeruuputkiston kautta lämpöpumppuun kytkettyyn lämmönjakojärjestelmään. Lämmönkeruuputkisto toimii lämpöpumpun tavoin. (Motiva 2012.) Kuvassa 1 on esitelty maalämpöpumpun toiminta ja kylmäainekierto sen sisällä.



KUVA 1. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Motiva 2012)

Ennen porakaivon rakentamista on selvítettävä alueen mahdolliset rakennusjärjestelyt, ympäristönsuojelumääräykset ja rajoitukset. Sijoitukseen vaikuttaa myös maan alla sijaitsevien putkien ja johtojen sijainnit, joiden vaurioita pyritään välttämään. On myös syytä selvittää alueen maaperän tila, jottei mahdollinen pilaantunut maaperä ole esteenä porakaivon rakentamiselle. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 23–24.)

Kallioon porattava maalämpökaivo on yleisin lämmönlähde maalämmössä, koska se sopii hyvin pienille tonteille. Lämmönkeräys käytännössä toimii

porakaivon täyttävästä vedestä, johon lämmönkeruuputki upotetaan. Jos porakaivo ei täyty itsestään, se yleensä täytetään vedellä. Porakaivon vedenpinnan korkeus määrittää lämmönkeruun tehokkuuden, koska vesi johtaa lämpöä paremmin kuin ilma. Porakaivon porauksen hintaan vaikuttaa erityisesti porattavan kaivon ja kallion syvyys. Poraaminen peruskallioon on halvempaa ja helpompaa kuin maa-ainekseen. Poratessa maaperään, porakaivo pitää suojata suojaputkella, jotta pintavesi ei pääse sekoittumaan pohjaveteen. Riippuen porausalueesta ja lämmöntarpeesta yksi porakaivo ei välttämättä riitä, sillä Suomessa sallittu poraussyvyys on 200-250 metriä. (Motiva 2012.)

Putkisto on mahdollista asentaa myös vaakasuuntaisesti, mutta se vaatii 1-2 metriä putkea rakennuskuutiota kohden ja putkimetriä kohden noin 1,5 metriä maata, josta lämpöä kerätään. Vaakaputkiston asentaminen on halvempaa, mutta sen lämmönkeruukyky vaihtelee enemmän eri vuodenaikoina, koska putkisto asennetaan vain noin puolentoista metrin syvyyteen ja maanpinnan lämpötila vaihtelee sään mukaan. Kiviseen maaperään vaakaputkistoa ei kannata asentaa, mutta kosteassa savimaassa se on mahdollinen ratkaisu. (Motiva 2012.) Tässä opinnäytetyössä käsiteltävälle alueelle vaakaputkisto ei luultavasti sovellu tilanpuutteen vuoksi.

Tutkittu asuinalue on tiiviisti rakennettua. Lämpökaivot ovat teoriassa mahdollista asentaa talojen edustalle, mutta vanhat johdot ja putket saattavat aiheuttaa haasteita työn suorittamiselle. Porauskaluston tuominen haluttuun paikkaan saattaa tuottaa ongelmia, ja kaivojen poraus vaatii oletettavasti monien asuntojen edestä pihakasvien siirtoa. Autotien suoja-alue voi myös olla esteenä maalämpöjärjestelmän rakennuttamiselle. Tampereen kaupungin rakennusvalvonnan mukaan lämpökaivon tulee olla vähintään 7,5 metriä tontin rajoista, mutta naapurin luvalla sen voi porauttaa lähemmäs tonttien rajaa (Tampereen kaupunki 2019). Asuinalue ei sijaitse pohjavesialueella, eikä alueella ole tiettävästi pilaantunutta maata (Suomen ympäristökeskus n.d.). Nämä tekijät vähentävät porauksen riskitekijöitä ja mahdollisesti myös sen hintaa (Juvonen & Lapinlampi 2013, 26).

Suosittelut minimietäisyydet erilaisiin kohteisiin on esitetty kuvassa 2. Näillä suosituksilla on merkittävä vaikutus porakaivon sijoitukseen. Sijoituksen määrittämiseen kannattaa käyttää asiantuntijan apua.

Kohde	Suosittelu minimietäisyys
Energiakaivo	15 m*
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m**
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m*
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m, Harmaat vedet 20 m <sup>[14]</sup>
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat putket)-5 m (muiden putket)**
Tunnelit ja luolat	25 m, etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

\* porareian ollessa pystysuora

\*\* etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivussyvyydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

KUVA 2. Suositellut etäisyydet lämpökaivosta (Juvonen & Lapinlampi 2013, 25)

### 3.3 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu toimii muiden lämpöpumppujen tavoin sähköllä, mutta se hyödyntää ulkoilmasta saatavaa lämpöenergiaa, jota se kerää ja siirtää sisäilmaan. Ilmalämpöpumppu koostuu ulkoyksiköstä, joka kerää lämpöenergiaa ulkoilmasta ja sisäyksiköstä, josta lämpöenergia vapautuu sisäilmaan. Tarvittaessa ilmalämpöpumppuja voidaan käyttää jäähdytykseen, jolloin lämpöä siirretään sisältä ulos. (Happonen 2010, 41.)

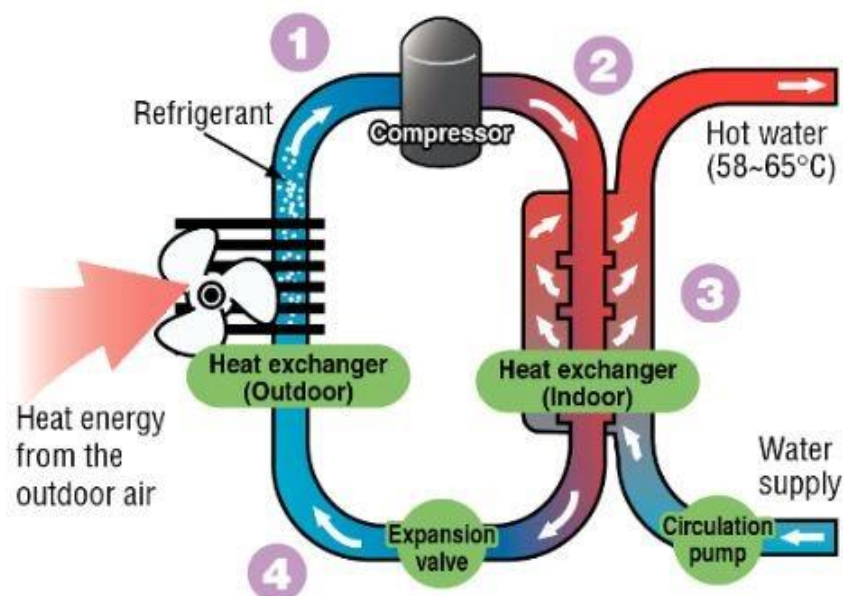
Ilmalämpöpumpulla voidaan säästää 30-50 prosenttia talon lämmitysenergian tarpeesta suoraan sähkölämmitykseen verrattuna. Se sopii parhaiten suoran sähkölämmityksen rinnalle asennettuna, koska nämä lämmitysjärjestelmät täydentävät toisiaan hyvin. Näiden järjestelmien säädöt on myös helppo tehdä niin, että ilmalämpöpumppu hoitaa lämmittämisen suurimman osan ajasta. Sähkölämmitystä tarvitaan vain pahimmilla pakkasilla tai muissa tapauksissa, kun lämpöä tarvitaan nopeasti. (Ympäristöhallinto 2016.)

Ilmalämpöpumpun mitoitus riippuu pitkälti asuinpinta-alasta, koska se määrittää tarvittavan tehon määrän. Happonen (2010) mukaan 30 m<sup>2</sup> pinta-alan

lämmittämiseen ilmalämpöpumppu tarvitsee noin 1 kW tehon. Jäähdytys on hieman energiatehokkaampaa, 1 kW teho riittää noin 40 m<sup>2</sup> pinta-alan jäähdyttämiseen. Nämä ovat karkeita arvioita, joihin vaikuttavat monet eri asiat, kuten huoneiden korkeus ja mahdolliset energiavuodot. Lämmitys on ilmalämpöpumpun pääasiallinen tehtävä tässä yhteydessä, joten mitoitus olisi tehtävä sen mukaisesti. (Happonen 2010, 47.)

### 3.4 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumput toimivat samalla periaatteella kuin ilmalämpöpumput, mutta siirtävät lämpönsä sisäilman sijasta rakennuksen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Ilma-vesilämpöpumput ovat joko split-laitteita, jotka koostuvat ulko- ja sisäyksiköistä, tai monoblock-laitteita, joissa kaikki tekniikka on yhdessä paketissa ulkoyksikössä tai sisäyksikössä. Sisälle asennettavaa monoblock-laitetta asentaessa rakennuksen seinään tai kattoon tehdään ilmanotto- ja poistoaukot, jotta se pystyy hyödyntämään ulkoilman lämpöenergiaa. (Motiva 2019a.) Kuva 3 esittää ilma-vesilämpöpumpun toiminnan ja kylmäainekierron.



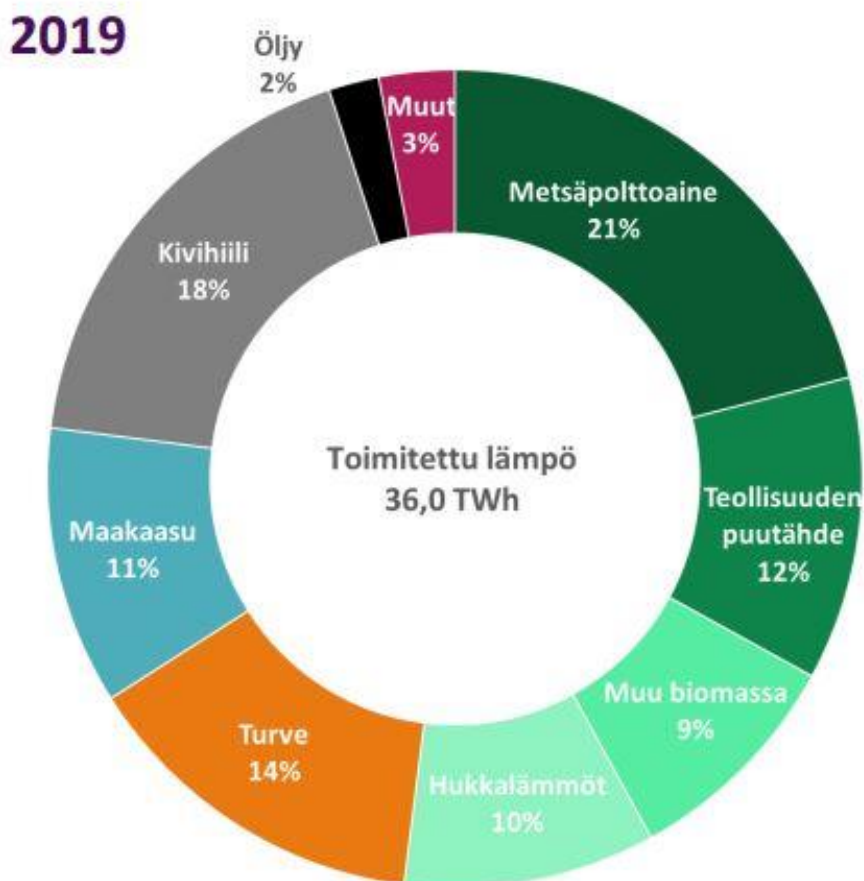
KUVA 3. Ilma-vesilämpöpumpun toiminta vesikiertoiseen lämmitykseen kytkettynä (Pumpputek Oy n.d.)

### 3.5 Sähkölämmitys

Sähkölämmitys voidaan toteuttaa monella eri tavalla, mutta energianlähteenä siinä on aina sähkö. Yleisiä vaihtoehtoja sähkölämmityksen ratkaisuksi ovat vesikiertoinen sähkölämmitys, ilmalämmitys ja huonekohtainen sähkölämmitys. Lämpö syntyy sähköenergian virratessa sähkölämmityslaitteiden vastuksiin, jotka vastustavat sähkövirran kulkua muuntaen sen energian lämpöenergiaksi. Lämmityksen tarvetta mitataan useimmiten termostaateilla, joilla saadaan säädettyä lämmitys haluttuun lämpötilaan. Lämpöpumppujen toiminnassa käytetään sähköä, kun lämpöenergiaa siirretään aineesta toiseen, mutta niitä ei lueta sähkölämmityksen määritelmän piiriin. Sähkölämmitystä käytetään nykyään usein lisä- tai varalämmityksenä muiden lämmitysmuotojen ohella, koska sähkölämmityksen hyötysuhde ei ole yhtä korkea kuin muilla lämmitysmuodoilla. (Energiatehokaskoti 2020b.)

### 3.6 Kaukolämpö

Kaukolämpö tarkoittaa kuuman veden toimitusta asiakkaille suljetun maanalaisen putkiston avulla. Putkistossa kiertävä kuuma vesi vapauttaa energiaansa asiakkaan lämmönsiirtimelle ja kiertää takaisin voimalaitokselle. Asiakkaan lämmönsiirtimestä lämpö siirtyy rakennuksen lämmitysjärjestelmään. Kaukolämpöä tuotetaan yleisimmin lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksissa eli CHP-laitoksissa (Combined Heat and Power), lämpökonteissa tai erillisissä lämpölaitoksissa. Polttoaineina voidaan käyttää fossiilisia polttoaineita (kivihiiltä, öljyä ja maakaasua) tai biopolttoaineita (biomassaa, puuta ja turvetta). (Motiva 2019b.) Polttoaineiden käyttöosuudet Suomessa vuodelta 2019 on esitelty kuviossa 2.



### Energiäteollisuus

KUVIO 2. Vuoden 2019 polttoaineosuudet kaukolämmöntuotannossa (Energiäteollisuus ry 2020)

Suomessa kaukolämmön tuotanto on yleisesti ottaen ympäristöystävällistä, koska se hyväksikäyttää polttoprosessissa syntyvää hukkalämpöä, jolla lämmitetään asiakkaille johdettavaa vettä. Hukkalämpöä hyväksikäyttämällä kaukolämmön tuotannon tehokkuus nousee huomattavasti. (Motiva 2019b.)

### 3.7 Energiätehokkuus

Energiätehokkuus on tärkeä osa lämmitysjärjestelmien kehitystä nykypäivänä. On tärkeää kiinnittää huomiota asioihin, jotka vaikuttavat merkittävästi lämmitysenergian kulutukseen. Lämmitysjärjestelmistä puhuttaessa energiätehokkuudella tarkoitetaan sen hyötysuhdetta, jota kuvaa lämpökerroin (Sulpu ry 2012).



Tampereen Sähkölaitos Oy:n strategiaan kuuluu ympäristön hyvinvoinnin kehittäminen, johon olennaisesti liittyy prosessien energiatehokkuuden parantaminen (Tampereen Sähkölaitos 2020a). Tämän vuoksi lämmitysjärjestelmiä vertaillaessa otetaan huomioon energiatehokkuuden näkökulma. Kuvassa 4 on esitetty oheishyötyjä, joita energiatehokkuuden parantamisella saavutetaan, ja joiden takia se on kannattavaa yhteiskunnan kaikille osapuolille. Esimerkiksi kasvihuonepäästöt pienenevät energiatehokkuuden parantumisen myötä (Motiva 2018).



KUVA 4. Energiatehokkuuden oheishyödyt yhteiskunnalle (Motiva 2018)

### 3.7.1 Lämpökerroin ja vuosilämpökerroin

Lämpökerroin eli COP (Coefficient Of Performance) ja vuosilämpökerroin eli SCOP tai SPF (Seasonal Coefficient Of Performance tai Seasonal Performance Factor) kuvaavat lämmitysjärjestelmän kykyä tuottaa lämpö- tai

jäähdytysenergiaa. Ne kertovat kuinka paljon lämpö- tai jäähdytysenergiaa voidaan tuottaa kulutukseen verrattuna. Jos lämpöpumpulla voidaan tuottaa 2 kWh:n edestä lämpöä käyttämällä 1 kWh:n verran sähköä sen lämpökerroin olisi 2. Lämpökertoimen ja vuosilämpökertoimen ero on se, että lämpökerroin kuvaa lämmitysjärjestelmän mahdollisuutta tuottaa energiaa tietyissä olosuhteissa, kun taas vuosilämpökerroin pyrkii kuvaamaan sen ympärivuotista hyötysuhdetta. Näitä arvoja lukiessa tulee kuitenkin olla varovainen, koska arvot on hankittu testiolosuhteissa, eivätkä ne välttämättä kuvaa todellisuutta tarkasti tulevassa käyttökohteessa. (Sulpu ry 2012.)

### **3.7.2 Eristys**

Suuri osa rakennusten hukkaenergiasta johtuu usein huonosta eristyksestä. Erityisesti vanhoissa rakennuksissa ikkunoiden ja ovien tiivisteet saattavat olla huonokuntoisia, jos energiaremonttia ei olla tehty. Tiivisteiden uusimisella voi parhaimmillaan pienentää lämmitysenergian kulutusta 5-15 prosenttia. Tiivisteiden uusiminen vähentää vedon tunnetta ja ilmavuotoa, jonka mukana lämpöenergiaa kulkeutuu ulos. Silikonitiivisteet voivat pysyä hyvinä yli 15 vuotta, mutta itseliimautuvat tiivisteet tulisi vaihtaa noin joka toinen vuosi, jotta niiden eristyskyky pysyy hyvänä. (Ympäristöhallinto 2018a.)

Eristystä on myös mahdollista parantaa yläpohjan lisäeristyksellä. Yläpohjan kautta voi hävitä jopa 15 prosenttia lämmitysenergiasta, jonka takia sen eristäminen on tärkeää. Erityisesti vanhoissa taloissa, jotka on rakennettu vanhojen määräysten mukaisesti voi eristyksessä olla paljon parannettavaa. Ennen vuotta 1985 rakennettuihin taloihin lisäeristyksen hankkiminen on erityisen suositeltavaa, koska yläpohjan käyttöikä on noin 20-35 vuotta. (Ympäristöhallinto 2018c.)

### **3.7.3 Lämmitysjärjestelmän säätö**

Koska lämmitys voi muodostaa rakennuksen energiantarpeesta noin 40-60 prosenttia on tärkeää, että se on säädetty toimimaan halutulla tavalla. Pienetkin

muutokset säätöihin voivat saada aikaan suuren muutoksen lämmityskustannuksiin. Laskemalla yhden asteen huonelämpötilaa voidaan laskea lämmitykseen kuluvan energian määrää noin 5 prosenttia, ja täten saada pienellä muutoksella merkittäviä säästöjä. Tähän seikkaan kannattaa kiinnittää huomiota erityisesti, jos asunnossa on usein liian kuuma tai kylmä. (Ympäristöhallinto 2018b.)

## 4 TUET JA KUSTANNUSLASKENTA

Kustannus-, energiatehokkuus-, ja takaisinmaksuaikalaskutoimitukset tehtiin Motivan lämmitystapojen vertailulaskurin hinta-arvioiden perusteella, ja energiatuen mahdollinen saatavuus selvitettiin.

### 4.1 Energiatuki

Business Finland Oy on suomalainen julkinen toimija. Sitä tulosohjaa työ- ja elinkeinoministeriö, joka myös asettaa sille strategiset tavoitteet ja resurssit. (Työ- ja elinkeinoministeriö n.d.) Business Finland myöntää energiatukea kaiken kokoisille yrityksille, kunnille, seurakunnille ja säätiöille. Sen tavoitteena on rahoittaa innovatiivisia uusiutuvan energian ratkaisuja, ja edistää niiden kehittämistä. Energiatukea myönnetään uusien teknologioiden kaupalliseen hyödyntämiseen, uusiutuvan energian selvityshankkeisiin, uusien uusiutuvan energian tuotantolaitoksiin ja korvausinvestointeihin, joiden avulla uusiutuvan energian tuotanto kasvaa huomattavasti. (Business Finland Oy n.d.)

Tampereen Sähkölaitoksen tarve tämän opinnäytetyön osalta vastaa energiatuen kuvausta, koska kyseessä on korvaushanke, jolla pyritään lisäämään uusiutuvan energian tuotantoa. Ongelmana on, että energiatuen myöntämisen rajoituksissa on mainittu, että tukea ei myönnetä kaukolämmön korvaamiseen erillisellä lämmöntuotannolla (Business Finland Oy n.d.). Tämän alueen erillisverkon lämpöenergia johdetaan Tampereen alueen kaukolämmön kantaverkosta, jonka takia tukea ei ole mahdollista saada tähän hankkeeseen, vaikka se lisäisi uusiutuvan energian tuotantoa.

### 4.2 Kustannuslaskenta ja energiatehokkuus

Lämmitysratkaisujen kustannukset haettiin Motivan lämmitysjärjestelmälaskurista, joka antaa hinta-arvion lämmitysjärjestelmien laiteinvestoinneille sekä vuosittaiselle lämmitykselle. Motivan lämmitystapojen

vertailulaskurin ovat tehneet Keski-Suomen Energiatoimisto ja Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Se perustuu VTT:n, Jyväskylän ammattikorkeakoulun ja Jyväskylä Innovation Oy:n kehittämään Heating Tool -laskuriin. (Motiva 2017.) Koska varmaa tietoa asiakkaiden mahdollisista tulisijoista ei ollut saatavilla, tehtiin tietoinen ratkaisu olla ottamatta huomioon tulisijojen vaikutusta lämmityskustannuksiin. Mahdollisia aiemmin tehtyjä energiaremontteja ei myöskään otettu huomioon tutkimuksessa, vaan asiakkaiden energiankulutus laskettiin rakennusten iän perusteella. Laskuriin syötettiin rakennusten pinta-alaaksi 150 m<sup>2</sup>, huonekorkeudeksi 2,7 m, asukasmääräksi 4 henkilöä, rakennusten iäksi 1980-luku ja sijainniksi Etelä-Suomi.

Kuvassa 5 on esitelty Motivan laskurin arvioiman vuotuisen lämmityksen tarpeen olevan 26275 kWh taloutta kohden (Motiva n.d.).

1. Rakennuksen tiedot		Lämmitysenergian tarve vuodessa	
Rakennuksen pinta-ala	<input type="text" value="150"/> m <sup>2</sup>	Käyttöveden lämmitysenergia	<input type="text" value="4000"/> kWh/a
Huonekorkeus (m)	<input type="text" value="2.7"/> m	Lämmitysenergian kokonaistarve vuodessa	<input type="text" value="26275"/> kWh/a
Asukasmäärä	<input type="text" value="4"/>		
Rakennuksen energiatehokkuus tai ikä	<input type="text" value="1980-luku"/>		
Rakennuksen sijainti	<input type="text" value="I ja II Etelä-Suomi"/>		

KUVA 5. Motivan lämmitystapojen vertailulaskuriin syötetyt tiedot, joiden perusteella laskuri pääättelee lämmitysenergian tarpeen vuodessa (Motiva n.d.)

Kuvassa 6 on esitetty Motivan lämmitystapojen vertailulaskurin arvioimat investointikustannukset ja vuosihyötysuhteet, joiden avulla kustannuslaskennat tehtiin.

	Kaukolämpö	Maalämpö	Sähkölämmitys
Vuosihyötysuhde	95 %	2.9 SPF	99 %
Investointikustannus (€)	7500 €	16000 €	5000 €
Avustukset ja tuet	0 €	0 €	0 €
Lopullinen investointikustannus	7500 €	16000 €	5000 €

Ulkoilma-vesilämpöpumppu (UVLP)	Ulkoilma-vesilämpöpumppu ja sähkö
Lämpöpumpun lämpökerroin	2 SPF
Osuus lämmitysenergiasta (%)	80
Investointikustannus (€)	10000 €
Avustukset ja tuet	0 €
Lopullinen investointikustannus	10000 €

Iimalämpöpumppu (ILP)	
Investointikustannus (€)	2000 €
Avustukset ja tuet	0 €
Lopullinen investointikustannus	2000 €

KUVA 6. Lämmitysjärjestelmien arvioidut investointikustannukset, lämmitysenergian osuudet ja vuosihyötysuhteet (Motiva n.d.)

Taulukoissa 1, 2, 3 ja 4 lyhenne ILP tarkoittaa ilmalämpöpumppua, ja UVLP tarkoittaa ilma-vesilämpöpumppua. Näiden kahden lämmitysjärjestelmän hinnat ovat laskettuna yhteen sähkölämmityksen kanssa. Koska Suomen olosuhteissa kovat talvipakkaset saattavat aiheuttaa lämpöpumppujen tehon hiipumista, saadaan niistä paras hyöty yhdessä toisen lämmitysjärjestelmän kanssa.

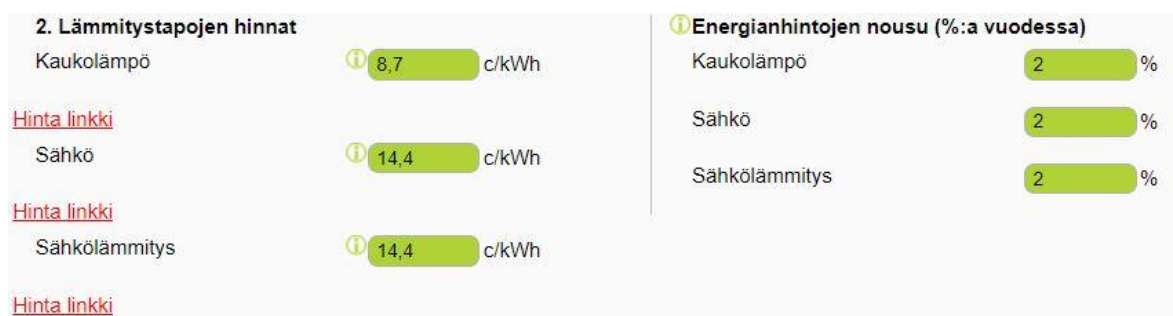
Taulukossa 1 esitellään lämpöjärjestelmien asennuksesta ja hankinnasta koituvat kustannusarviot. Oletettavasti arvioidut kustannukset ovat suuremmat, kuin mitä Tampereen Sähkölaitos joutuisi maksamaan ostaessaan ison erän palveluita ja laitteita. Mahdollista alennusta isosta tilauksesta on vaikea arvioida. Tämän kaltaisissa isoissa projekteissa saattaa ilmetä kuluja, joita ei olla osattu ottaa huomioon sitä suunniteltaessa. Tämän takia kustannuslaskentaa tehdessä käytettiin Motivan laskurista saatuja hintoja. Jos toteutusta ei tehtäisi

kaukolämmöllä, vanhojen kaukolämpöputkien vedenkierto pitäisi silti katkaista. Vedenkierron katkaisusta aiheutuvan lisäkustannuksen hintaa ei ole määritelty, mutta sen voidaan olettaa olevan melko suuri. Kaukolämmön hintaa ei laskettu Motivan laskurin avulla, koska sen rakennuttamisen hinta on selvitetty Tampereen Sähkölaitoksen teettämässä tutkimuksessa. Kaukolämmön rakennuttamisen arvioitu kokonaiskustannus teräspankulla tulisi olemaan noin 925 000 euroa. Tähän hintaan ei sisälly asiakkaiden lämmönjakokeskusten uusiminen. Uusien kaukolämpöputkien asentamisen kustannuksiin on laskettu mukaan vanhojen putkien purku. (Salmi 2019, 32, 34.)

TAULUKKO 1. Lämmitysjärjestelmien arvioidut investointikustannukset Motivan laskurin mukaan (Motiva n.d.; Salmi 2019, 32, 34)

Investointikustannukset		
	Per asiakas	106 asiakasta
IVLP	10 000 €	1 060 000 €
ILP	2 000 €	212 000 €
Maalämpö	16 000 €	1 696 000 €
Sähkö	5 000 €	530 000 €
ILP + sähkö	7 000 €	742 000 €
IVLP + sähkö	15 000 €	1 590 000 €
Kaukolämpö		925 000 €

Kuvassa 6 on esitelty kustannuslaskelmissa käytetyt hinta-arviot ja hintojen korkoprosentit sähkölle ja kaukolämmölle.



KUVA 6. Sähkön ja kaukolämmön hinnat ja niiden korkoprosentit (Motiva n.d.)

Vuotuiset energiakustannukset eri lämmitysjärjestelmille on esitelty kuvassa 7. Hinta-arviot ovat Motivan laskurista.

	Kaukolämpö	Maalämpö	Sähkölämmitys
① Vuotuinen investointikustannus	<input type="text"/> €/a	<input type="text"/> €/a	<input type="text"/> €/a
① Vuotuinen energiakustannus	2406 €/a	1305 €/a	3822 €/a
<b>YHTEENSÄ</b>			
① Vuotuinen kokonaiskustannus (€ vuodessa)	<input type="text"/> €/a	<input type="text"/> €/a	<input type="text"/> €/a
① Vuotuinen kokonaiskustannus (c/kWh)	<input type="text"/> c/kWh	<input type="text"/> c/kWh	<input type="text"/> c/kWh
<b>Iilalämpöpumppu (ILP)</b>			<b>Sähkö ja ILP</b>
① Vuotuinen investointikustannus			<input type="text"/> €/a
① Vuotuinen energiakustannus			2899 €/a
<b>YHTEENSÄ</b>			
① Vuotuinen kokonaiskustannus (€ vuodessa)			NaN €/a
① Vuotuinen kokonaiskustannus (c/kWh)			<input type="text"/> c/kWh
<b>Ulkoilma-vesilämpöpumppu (UVLP)</b>			<b>Ulkoilma-vesilämpöpumppu ja sähkö</b>
① Vuotuinen investointikustannus			<input type="text"/> €/a
① Vuotuinen energiakustannus			2278 €/a

KUVA 7. Lämmitystapojen vertailulaskurin arvioimat vuosittaiset energiakustannukset eri lämmitysjärjestelmille (Motiva n.d.)

Asiakkaiden energiakustannuksia ja Tampereen Sähkölaitoksen tuottoja ja investoinnin takaisinmaksuaikaa laskiessa kannattaa tulkita tuotot niiden nykyarvossa. Tämä voidaan tehdä diskonttaamalla. Rahan nykyarvon laskeminen on tärkeää, koska inflaation takia rahan arvo laskee jatkuvasti. Diskonttauksessa käytettävän ennakkokoron suuruus kertoo investoinnin riskialttiudesta. Mitä riskialttiimpi investointi on, sitä suurempi diskonttauksessa käytettävän ennakkokoron tulee olla. (Investopedia 2020.)

Tampereen Sähkölaitoksen asettama tavoiteltu takaisinmaksuaika investoinnille on 20 vuotta. Energiakustannuslaskutoimituksia varten asiakkaiden energiankulutuksen oletettiin pysyvän muuttumattomana. Nykyarvoa laskiessa



käytettiin hypoteettista 2 prosentin ennakkokorkoa, koska alueen lämmitysjärjestelmiin sijoittaminen ei oletettavasti ole riskialtista. Energiakustannusten laskemiseen käytettiin nykyarvon laskemiseen käytettyä kaavaa. Vuosittaiset kustannuserät on laskettu erikseen vuosittain. Kuvien 6 ja 7 hinta-arvioiden perusteella on laskettu asukkaiden energiakustannusten nykyarvo 20 vuodessa kaikilla eri lämmitysjärjestelmillä kaavaa 1 hyväksikäyttäen, jossa

- $x_{20}$  on 20 vuoden yhteensä laskettu energiakustannusten summa nykyarvossa korkoineen (€)
- $x$  on lämmitysjärjestelmän alkuperäinen vuotuinen energiakustannus (€)
- $r$  on energiankustannusten korkokerroin
- $t$  on diskonttauksen ennakkokorko
- $n$  on investoinnin käyttövuosi. (Aalto yliopisto 2016.)

$$x_{20} = x + \frac{x(1+r)^{n-1}}{(1+t)^{n-1}} + \frac{x(1+r)^{n-1}}{(1+t)^{n-1}} + \dots + \frac{x(1+r)^{n-1}}{(1+t)^{n-1}} \quad (1)$$

Kaavaa 1 käyttäessä diskonttaus ja energiakustannusten hinnan nousu kumoavat toisensa, josta jää alkuperäinen Motivan laskurista saatu vuotuinen energiakustannus. Kaavalla 1 lasketut energiakustannukset on esitelty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Alueen asukkaiden energiakustannukset nykyarvossa 20 vuoden aikana eri lämmitysmuodoilla

Energiakustannukset niiden nykyarvossa 20 vuodessa					
	Vuotuinen energiakustannus	Diskontto	Hinnan korko	20 vuoden kustannukset	106 asiakkaan kustannukset
Sähkölämmitys	3 822 €	2 %	2 %	76 440 €	8 102 640 €
ILP+ sähkö	2 899 €	2 %	2 %	57 980 €	6 145 880 €
IVLP + sähkö	2 278 €	2 %	2 %	45 560 €	4 829 360 €
Maalämpö	1 305 €	2 %	2 %	26 100 €	2 766 600 €
Kaukolämpö	2 406 €	2 %	2 %	48 120 €	5 100 720 €

Tampereen Sähkölaitoksen tuottoosentteja ei ollut mahdollista käyttää opinnäytetyössä, joten takaisinmaksuaikaa laskiessa käytettiin hypoteettista prosenttiosuutta tuotolle. Tuottoosentiksi valittiin 20 prosenttia, jolla laskettiin lämmitysratkaisujen takaisinmaksuajat. Tuotonosuuden avulla laskettiin

takaisinmaksuaika investoinneille jakamalla lämmitysratkaisujen investointikustannukset energianmyynnistä saadulla tuotolla. Kaavalla 2 on laskettu taulukon 2 energiakustannuksista voitonosuus ja lämmitysratkaisun takaisinmaksuaika. Kaava (2) kerrotaan 20 vuodella, koska energiakustannukset on laskettu 20 vuoden ajalta. Kaavassa 2

- PBP on takaisinmaksuaika vuosissa (a)
- $y$  on lämmitysjärjestelmän investointikustannus (€)
- 0,2 on hypoteettinen tuottokerroin
- $x_{20}$  on energiakustannukset nykyarvo 20 vuodessa (€). (Aalto yliopisto 2011, 24.)

$$\text{PBP} = \frac{y}{0,2 * x_{20}} * 20 a \quad (2)$$

Lämmitysjärjestelmien takaisinmaksuaikaan vaikuttaa se, mistä asiakkaat ostavat sähköenergiansa. Tampereen alueella sähkönsiirtomaksut perii Tampereen Sähköverkko, joka on osa Tampereen Sähkölaitos -konsernia, mutta sähköenergian osuus on huomattava osa sähkölaskusta (Tampereen Sähköverkko n.d.). Tuotonosuus siis pienenee merkittävästi, jos sähköenergiaa ei osteta Tampereen Sähkölaitokselta. Kaukolämpöenergiaa ostaessa ainoa palvelun tarjoaja on Tampereen Sähkölaitos, eikä sitä näin ollen voida kilpailuttaa.

Taulukossa 3 on esitetty kaavalla 2 lasketut takaisinmaksuajat kaikille lämmitysjärjestelmävaihtoehdoille. Tavoitellun 20 vuoden takaisinmaksuajan alittivat sähkölämmitys, ilmalämpöpumpun ja sähkölämmityksen yhdistelmä sekä kaukolämpö. Maalämmön takaisinmaksuaika on huomattavasti pidempi kuin muiden, koska sen investointikustannukset ovat korkeimmat, ja energiakustannuksista saatava tuotto on pienin kaikista ratkaisuista.

TAULUKKO 3. Lämmitysratkaisujen takaisinmaksuajat

Lämmitysratkaisu	Voitonosuus 20 vuoden energiakustannuksista nykyarvossa (€)	Lämmitysratkaisun investointikustannukset (€)	Takaisinmaksuaika (a)
Sähkölämmitys	1 620 528 €	530 000 €	6,54
ILP+ sähkö	1 229 176 €	742 000 €	12,07
IVLP + sähkö	965 872 €	1 590 000 €	32,92
Maalämpö	553 320 €	1 696 000 €	61,30
Kaukolämpö	1 020 144 €	925 000 €	18,13

Motivan laskurin kuluarvioiden avulla oli mahdollista laskea myös, kuinka tehokkaasti lämmitysjärjestelmät tuottavat energiaa. Lämmitysjärjestelmien energiatehokkuutta laskettaessa käytettiin kaavaa 3, jossa

- $E$  on energian kokonaiskulutus vuodessa (€)
- $x$  on lämmitysjärjestelmän vuosittainen energiakustannus (€) (kuva 6)
- $z$  on kaukolämmön tai sähkön hinta (€) (kuva 7).

$$E = \frac{x}{z} \quad (3)$$

Kaukolämmön ja sähkön tuotannon ympäristövaikutuksia ei arvioitu opinnäytetyössä. Erityisesti sähkön tuotannossa käytetään monia eri polttoaineita ja menetelmiä, joiden hyötysuhteet ja päästöt vaihtelevat merkittävästi (Energiateollisuus ry 2019). Energiatehokkuuslaskelmien tulokset eivät siis anna kokonaiskuvaa lämmitysjärjestelmien energiatehokkuudesta.

Kaavalla 3 laskettuja arvoja verrattiin Motivan laskurin arvioimaan lämmitysenergian vuotuisen kokonaistarpeeseen (kuva 5). Tulokset on esitetty taulukossa 4. Kuvan 6 vuosihyötysuhteet ja käyttösuudet selittävät taulukon (4) tulokset.

TAULUKKO 4. Lämmitysjärjestelmien kuluttamat energiamäärät ja energiatehokkuus

	Vuodessa ostetun energian määrä	Prosenttiosuus tarvitusta energiasta (26 275 kWh/a)
Sähkö	26 542 kWh/a	101 %
ILP + sähkö	20 132 kWh/a	77 %
IVLP + sähkö	15 819 kWh/a	60 %
Maalämpö	9 063 kWh/a	35 %
Kaukolämpö	27 655 kWh/a	105 %

## 5 ASIAKASNÄKÖKULMA JA ASIAKASTYYTYVÄISYYS

Alueen asukkaat ovat olleet Tampereen Sähkölaitoksen asiakkaita jo noin 40 vuoden ajan, ja jotta asiakkuus jatkuisi, on tärkeää palvella heitä hyvin jatkossakin. Lämmitysjärjestelmiä kehittäessä ja päivittäessä halutaan antaa asukkaille mahdollisuus mielipiteiden ilmaisemiseen ja keskusteluun jo suunnitteluvaiheessa. Dialogi asiakkaiden kanssa on yrityksen tuotekehityksen perusta. (Tampereen Sähkölaitos Oy n.d.)

### 5.1 Asiakasnäkökulma

Asiakkaiden mielipiteitä eri lämmitysjärjestelmistä on vaikea selvittää ilman kyselytutkimusta. Kyselytutkimusta ei tehty tämän opinnäytetyön yhteydessä asian herkkäluonteisuuden takia, mutta asiakasnäkökulmaa pyrittiin arvioimaan muilla tavoin.

Kaikissa vertailuun valituissa investointivaihtoehdoissa joudutaan kaivamaan autoteitä auki asuntojen läheisyydessä. Tästä koituu meluhaittaa, pölyhaittaa ja mahdollisesti haittaa myös liikenteen katkaisemisesta. On siis tärkeää, että asukkaille kerrotaan projektista hyvissä ajoin. Näin pyritään ottamaan huomioon asiakkaan toiveet ja tarpeet, ja luomaan positiivisia asiakaskokemuksia (Tampereen Sähkölaitos Oy n.d.).

Vuonna 2018 alueesta tehdystä selvityksestä ilmeni, että alueen 106 lämmönjakokeskuksesta 30 oli uusimatta. Alueen muut asukkaat olivat uudistaneet lämmönjakokeskuksensa omakustanteisesti. Selvityksen mukaan vuoteen 2023 mennessä kaikki lämmönjakokeskukset pitäisi olla uusittuna, mikäli vuositahhti pysyy samana aiempiin vuosiin verrattuna. (Lepistö 2018.) Kaikki lämmönjakokeskukset tulee olla uusittuna, jotta alue voidaan liittää uuden lämmitysjärjestelmän piiriin ja tarjota asukkaille uusi ja toimiva lämmitysratkaisu.

Palveluiden hinta on luultavasti yksi tärkeimmistä asioista monille asukkaille. On siis tärkeää, että lämmitysjärjestelmien uusiminen ei nostaisi asiakkaiden

lämmityskustannuksia entisestään, koska kaukolämmön hinta koetaan jo nyt melko korkeaksi asiakastyytyväisyyskyselyjen mukaan (Energiateollisuus ry 2018). Taulukko 2 esittää energiakustannukset asiakkaille. Siitä näemme, että kaukolämpöä kalliimmaksi tulisi ilmalämpöpumpun ja sähkölämmityksen yhdistelmä sekä pelkkä sähkölämmitys. Tällä ajatustavalla sähkölämmitys ja ilmalämpöpumpun ja sähkölämmityksen yhdistelmä olisivat poissuljettuja vaihtoehtoja. Ilma-vesilämpöpumpun ja sähkön yhdistelmä olisi hieman halvempi kuin kaukolämmitys. Energiakustannusten hinnan perusteella asiakkaille paras vaihtoehto olisi maalämpö.

Toinen tärkeä asia asiakkaille on oletettavasti palveluiden toimivuus. Jos Tampereen Sähkölaitos ei päädy investoimaan kaukolämpöön, se luultavasti joutuu ulkoistamaan lämmitysjärjestelmien huolto- ja asennustoimenpiteet, koska Sähkölaitoksen henkilökunnan osaaminen painottuu kaukolämpöön. Luotettavien yhteistyökumppaneiden hankkiminen voi olla haasteellista. On siis vaarana, että asiakastyytyväisyys kärsii, jos ei päädytä investoimaan kaukolämpöön. Investoimalla kaukolämpöön taataan palvelun laatu ja toimivuus, tukeutumatta ulkopuolisiin tekijöihin. Tampereen Sähkölaitos on sitoutunut näihin asioihin laatupolitiikassaan. (Tampereen Sähkölaitos 2020a.)

Osalle asiakkaista uskotaan olevan tärkeää heidän ostamansa energian ympäristöystävällisyys sekä lämmityksen energiatehokkuus. Jos uudistettu lämmitysjärjestelmä toimii sähköllä, on jokaisella asiakkaalla mahdollisuus itse valita, mistä he sähkönsä ostavat, ja miten heidän ostamansa sähkö on tuotettu. Myös Tampereen Sähkölaitoksen tuottama kaukolämpö voidaan luokitella ympäristöystävällisesti tuotetuksi energiaksi, koska 45 prosenttia siitä on tuotettu uusiutuvan energian lähteistä (Tampereen Sähkölaitos 2020b). Energiatehokkuudeltaan paras vaihtoehto on maalämpö. Taulukosta 4 nähdään Motivan laskurin arvoista lasketun energiankulutuksen määrä ja energiatehokkuus jokaiselle arvioitavalle investointivaihtoehdolle. Kaukolämpö ja sähkölämmitys ovat energiatehokkuudeltaan huonoimmat vaihtoehdot Motivan laskurin arvioiden mukaan (Motiva n.d.).

## 5.2 Asiakastyytyväisyys

Asiakastyytyväisyys on mielentila, jonka asiakas saavuttaa yrityksen täyttäessä tai ylittäessä odotukset palveluillaan tai tuotteillaan. Parhaimmillaan asiakastyytyväisyys johtaa asiakkaan uskollisuuteen yritystä kohtaan, tai tuotteiden ja palveluiden uudelleen ostamiseen. Asiakastyytyväisyys on subjektiivinen asia, joten sen tutkiminen ei ole koskaan tarkkaa. Näistä tutkimuksista hyödyn saaminen vaatii systemaattista analysointia, koska niiden tulokset eivät useimmiten ole yksiselitteisiä. Asiakastyytyväisyyden tutkiminen pienellä aikavälillä saattaa olla jopa turhaa, jos vertailukohteita ei ole. (NBRII n.d.)

Monet tekijät vaikuttavat asiakastyytyväisyyteen, ja ne vaihtelevat aloittain. Esimerkiksi asiakkaan tilatessa internetistä tuotteen, täyttääkseen asiakkaan odotukset, toimittajan tulee kiinnittää erityisesti huomiota toimituksen nopeuteen, turvallisuuteen ja luotettavuuteen. Tuotteen valmistajalle asiakkaan odotusten täyttämiseksi tärkeitä asioita ovat muun muassa tuotteen laatu, hinta ja toimivuus. Nykypäivänä lähes alasta riippumatta tärkeää on myös verkkosivujen ja yhteystietojen löytyminen internetistä nopeasti ja helposti. Nopeus ja helppous ovat nykypäivänä yritysten valttikortteja. Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi asiakastyytyväisyyteen voi vaikuttaa asiakaspalvelu sekä yrityksen kyky hoitaa tuotteidensa ja palveluidensa huollot vaivattomasti. (Management Study Guide n.d.; NBRII n.d.)

Asiakastyytyväisyyden määrittelemisen ja ymmärtämisen voivat auttaa yrityksiä löytämään uusia näkökulmia tuote- ja palvelukehitykseen. Näiden tietojen avulla voidaan myös pyrkiä suunnittelemaan tuotteet ja palvelut asiakkaita paremmin palveleviksi. (NBRII n.d.)

Sähkönmyynnin asiakastyytyväisyys on ollut laskussa viimeisten vuosien aikana. Sähkön vähittäismyynnin asiakastyytyväisyyttä tutkivan EPSI Rating Finland Oy:n (2019) mukaan luottamus tällä alalla on matalalla. Tampereen Sähkölaitoksen tarkkaa tyytyväisyyttä ei kerrota heidän raportissaan, mutta toimiala kokonaisuudessaan on lähellä pistettä, missä asiakkaita on vaikeaa motivoida pysymään tietyn yrityksen asiakkaina. Pirkanmaalla on Suomen

viidenneksi alhaisin asiakastyytyväisyys sähkönostajien keskuudessa. (EPSI Rating Finland Oy 2019.)

Asiakastyytyväisyyskyselyn mukaan sähköyhtiötä valitessa asiakkaille tärkein kriteeri on hinta (kuvio 3). Riippuen Tampereen Sähkölaitoksen sähkön hinnasta asiakastyytyväisyyden kärsiminen ei välttämättä olisi erityisen suuri ongelma, jos Sähkölaitoksen sähkön hinta olisi markkinoiden halvin. Hypoteettisessa tilanteessa, jossa Tampereen Sähkölaitos ei olisi markkinoiden halvin sähköyhtiö asiakastyytyväisyyden laskeminen voisi aiheuttaa asiakaskatoa. Tutkimuksen mukaan lähes 15 prosentille asiakkaista sähköyhtiön paikallisuus on tärkein tekijä sähköyhtiötä valitessa. Jos kyseinen paikallinen sähköyhtiö saa huonon maineen alueella, tämä luku voi pienentyä. Voidaan siis päätellä, että pahimmillaan investointipäätöksen takia Tampereen Sähkölaitos voisi menettää jopa yli 10 prosenttia sähköä ostavista asiakkaistaan. Sähköyhtiön paikallisuus toisena prioriteettina on myös huomattava kyselyn tuloksen mukaan (kuvio 4). (EPSI Rating Finland Oy 2019.)



KUVIO 3. Tärkeimmät tekijät sähköyhtiötä valitessa asiakkaiden mielestä (EPSI Rating Finland Oy 2019)



KUVIO 4. Toiseksi tärkeimmät seikat asiakkaille sähköyhtiötä päätettäessä, jos edullisin hinta oli tärkein (EPSI Rating Finland Oy 2019)

Tampereen Sähkölaitoksella on markkinaetu EPSI Rating Finland Oy:n kyselyn mukaan, koska Sähkölaitos hoitaa sähkönsiirron Tampereen seudulla, jolloin sähkön ja sähkönsiirron voi tilata samalta toimittajalta (EPSI Rating Finland Oy 2019). Tämä ei kuitenkaan takaa asiakasuskollisuutta.



## 6 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia tietyn alueen erilliskaukolämpöverkon investointi- ja kehittämismahdollisuuksia vertailemalla lämmitysjärjestelmien ominaisuuksia, kuten energiatehokkuutta ja investoinnin kannattavuutta Tampereen Sähkölaitoksen tilauksesta. Toisena tavoitteena oli pohtia eri lämmitysmuotojen vaikutusta asiakastytyväisyyteen.

Investointipäätöstä tehdessä tämän opinnäytetyön perusteella on tärkeää huomioida, että työssä käytetyt lämmitysjärjestelmien hinnat ovat Motivan lämmitystapojen vertailulaskurin arvioimia. Työssä ei otettu huomioon mahdollisia alennuksia, joita olisi mahdollista saada näin isoa investointia tehdessä muihin ratkaisuihin paitsi kaukolämpöön. On myös mahdollista, että kaikkien lämmitysjärjestelmien yhdistäminen suoraan asiakkaiden lämmönsiirtimiin ei olisi ongelmaton, ja tästä saattaisi koitua ylimääräisiä kuluja.

Ympäristöystävällisyyden näkökulmasta kaukolämmön vertailu muihin lämmitysratkaisuihin on haastavaa. Erityisesti sähköä tuotetaan monilla eri tavoilla ja monista eri energianlähteistä, joiden hyötysuhteet ja päästöt vaihtelevat huomattavasti. Opinnäytetyössä ei selvitetty energiantuotannon eri muotojen hyötysuhteita eikä ympäristövaikutuksia. Tämän takia energiatehokkuuslaskelmat tulee ottaa arvioina vain lämmitysjärjestelmien hyötysuhteista, koska energiantuotannon osuutta asiaan ei olla arvioitu.

Energiatukea ei ollut mahdollista saada tälle projektille, koska Business Finland Oy ei pyri tukemaan kaukolämmön vaihtamista erilaisiin uusiutuvan energian lämmitysjärjestelmiin (Business Finland Oy n.d.).

Lämmitysjärjestelmiä vertaillaessa oli selvää, että kaikissa ratkaisuissa on hyvät ja huonot puolet. Järjestelmien takaisinmaksuaikoja laskiessa ei ollut mahdollista käyttää Tampereen Sähkölaitoksen oikeata tuottoa, joten lasketut takaisinmaksuajat tulee ottaa suuntaa antavina suhdearvoina oikeille takaisinmaksuajoille. Takaisinmaksuaikoja ajatellaessa on tärkeää kiinnittää huomiota siihen, että sähköä on mahdollista ostaa muiltakin sähköyhtiöiltä kuin

Tampereen Sähkölaitokselta. Tällöin tuottoa Tampereen Sähkölaitos Oy -konserni saisi ainoastaan sähkönsiirrosta, mikä laskisi oletettavasti tuoton määrää huomattavasti. Tätä ei ollut mahdollista ottaa huomioon kululaskelmia tehtäessä, koska todellisia arvoja tuotolle ei tiedetty.

Sähkölämmityksen investointikustannukset olivat pienimmät. Energiakustannuksiltaan sähköllä lämmittäminen olisi kallein vaihtoehtoista, ja sillä olisi lyhyin takaisinmaksuaika. Jos projektissa tavoiteltaisiin ainoastaan voittoa Tampereen Sähkölaitokselle, sähkölämmitys voisi olla kannattavin vaihtoehto. Riskinä tässä päätöksessä on, että asiakastyytyväisyys voisi kärsiä, koska asiakkaiden lämmityskustannukset kasvaisivat huomattavasti. Sähkölämmitys ei myöskään ole energiatehokas keino lämmittää taloa, minkä takia se ei ole ympäristöystävällinen ratkaisu verrattuna muihin tarjolla oleviin vaihtoehtoihin. Positiivista sähkölämmityksessä on sen luotettavuus ja helppokäyttöisyys.

Ilmalämpöpumpun ja sähkölämmityksen yhdistelmä oli lämmitysratkaisuista toiseksi halvin investointikustannuksiltaan. Noin 20 prosentin tuotolla sähkömyynnistä investointi maksaa itsensä takaisin noin 12 vuodessa, joka on huomattavasti tavoiteltua takaisinmaksuaikaa parempi. Tämän yhdistelmän energiatehokkuus on merkittävästi parempi kuin sähkölämmityksen, mutta uusiutuvan energian tuottomäärä on melko vähäistä verrattuna maalämpöön. Investointivaihtoehtona ilmalämpöpumppu ja sähkölämmitys yhdessä on varteenotettavampi kuin pelkkä sähkölämmitys. Tämä vaihtoehto silti nostaisi asiakkaiden vuotuisia energiakustannuksia merkittävästi kaukolämmön hinnoista, mikä saattaisi laskea asiakastyytyvääsyyttä. Laitteiden optimaalisella säätämällä olisi myös huomattava vaikutus siihen, että lämmitys ei hiipuisi kovimmilla pakkasilla. Positiivisina puolina tälle vaihtoehdolle ovat helppokäyttöisyys, luotettavuus ja mahdollisuus jäähdytykseen ilmalämpöpumpun avulla kesällä ilman erillistä jäähdytyslaitetta.

Ilma-vesilämpöpumpun ja sähkölämmityksen yhdistelmä oli toiseksi kallein investointikustannuksiltaan, mutta myös toiseksi halvin vuotuisilta energiakustannuksiltaan asiakkaille. Tämän vaihtoehdon energiatehokkuus on selvästi ilmalämpöpumppuvaihtoehtoa parempi, mutta ei silti yllä maalämmön

tehokkuuteen. Ilma-vesilämpöpumppuun investoidessa ongelmaksi muodostuu erittäin pitkä takaisinmaksuaika. Halpojen energiakustannusten takia tämä ratkaisu olisi oletettavasti asiakastyytyväisyyden kannalta positiivinen asia. Tampereen Sähkölaitoksen tulisi tuottaa noin 50 prosenttia enemmän voittoa sähkönmyynnistä, jotta tämän yhdistelmän takaisinmaksuaika olisi noin 20 vuotta.

Maalämpö oli kallein investointikustannuksiltaan, mutta asiakkaiden energiakustannukset tulisivat olemaan pienimmät, jonka takia sen takaisinmaksuaika olisi pisin. Takaisinmaksuaika tässä vaihtoehdossa olisi kolminkertainen verrattuna tavoiteltuun 20 vuoden aikamäärään, joten toteutus on melko epätodennäköinen. Energiatehokkuudeltaan maalämpö olisi paras vaihtoehto. Asiakastyytyväisyyden kannalta maalämpö olisi luultavasti yksi parhaista vaihtoehdoista halvimpien energiakustannusten takia. Tämän ratkaisun toteuttamiseksi olisi syytä kysyä asiantuntijan mielipide siitä, voidaanko lämpökaivoja porauttaa alueelle järkevästi niin, että kaikkien asiakkaiden lämmitys- ja jäähdytystarpeet täyttyvät. Ongelmia saattaisi tulla myös rakennuslupien ja -lakien kanssa, koska talojen edustalta löytyy melko vähän tilaa lämpökaivojen porauttamiselle. Talojen taakse pääseminen ei myöskään vaikuttanut mahdolliselta vaihtoehdolta olemattomien kulkureittien takia.

Kaukolämpö olisi kolmanneksi halvin investointikustannuksiltaan ja kolmanneksi nopein takaisinmaksuajaltaan. Takaisinmaksuaika 20 prosentin hypoteettisella tuotolla alittaisi tavoiteltuun 20 vuoden takaisinmaksuajan hieman yli vuodella. Energiakustannuksiltaan se olisi kolmanneksi halvin vaihtoehto, mutta energiategokkuudeltaan kaukolämpö on huonoin vaihtoehto. Tämä johtuu hukkaenergian määrästä, joka on suurempi kaukolämmössä kuin muissa lämmitysjärjestelmissä (taulukko 4). Asiakastyytyväisyyden kannalta kaukolämpöön investoiminen olisi luultavasti neutraalein vaihtoehto. Tällöin lämmitysmuoto pysyisi ennallaan, ja asiakkaat voisivat luottaa lämmityksen toimivuuteen ja helppokäyttöisyyteen kuten aiemminkin. Ympäristöystävällisyydeltään kaukolämpö on mahdollisesti verrattavissa ilmalämpöpumppuun, koska Tampereen Sähkölaitoksen tuottamasta kaukolämmöstä 45 prosenttia on tuotettu uusiutuvista energianlähteistä (Tampereen Sähkölaitos 2020b).

Viimeisenä vaihtoehtona oli asiakkaiden jättäminen ilman lämmitysratkaisua. Sitä ei voida suositella tässä tilanteessa, koska se ei ole Tampereen Sähkölaitos Oy:n laatu- ja politiikan mukainen päätös (Tampereen Sähkölaitos Oy 2020a). Vaikka mitään varmaa ei voida sanoa tämän vaihtoehdon vaikutuksista, sillä on silti mahdollisuus vaikuttaa negatiivisesti Tampereen Sähkölaitoksen liikevaihtoon ja asiakastyytyvyyteen. Jos tähän vaihtoehtoon kuitenkin päädytään, on suositeltavaa kiinnittää erityistä huomiota asiakkaiden kanssa kommunikointiin, jotta ylimääräiseltä huonolta julkisuudelta vältyttäisiin.

Vaihtoehtoisena ratkaisuna Tampereen Sähkölaitos voisi kehittää lämmitysratkaisun, jossa investoitaisiin esimerkiksi maalämpöön, mutta otettaisiin käyttöön uusi kilpailukykyinen hinnoittelujärjestelmä. Ratkaisu voisi sisältää sähkömyynnin sekä -siirron Sähkölaitokselta. Sähköenergian lisäksi hinnoitteluun voitaisiin lisätä liittymähinta, joka toisi vuotuiset energiakustannukset lähemmäs kaukolämmön hintaa. Näin investoitaisiin energiatehokkaampaan lämmitysjärjestelmään, ja sen takaisinmaksuaika lyhenisi merkittävästi. Tarjoamalla lämmitysratkaisua kilpailukykyisempään hintaan parannetaan sen houkuttelevuutta asiakkaille.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Tampereen Sähkölaitoksen toimeksiannosta tietyn alueen investointi- ja kehitysmahdollisuuksia erilliskaukolämpöverkolle. Tavoitteena oli selvittää investoinnin kannattavuutta eri lämmitysjärjestelmien kesken. Työn yhtenä tavoitteena oli myös vertailla lämmitysjärjestelmien ominaisuuksia ja niiden vaikutusta asiakastytyväisyyteen.

Suosittelavimmat vaihtoehdot korvausinvestoinnille ovat kaukolämpö ja ilmalämpöpumpun ja sähkölämmityksen yhdistelmä. Niiden takaisinmaksuajat ovat lyhyet, eikä asiakkaiden vuotuiset energiakustannukset kasvaisi, mikä on oletettavasti heille tärkeää.

Maalämpöä eikä ilma-vesilämpöpumpun ja sähkölämmityksen yhdistelmää voitu pitää suositeltavina investointivaihtoehtoina, niiden pitkien takaisinmaksuajojen vuoksi. Ne ylittivät reilusti tavoitellun 20 vuoden takaisinmaksuajan. Sähkölämmitys puolestaan oli takaisinmaksuajaltaan paras vaihtoehto, mutta sen energiakustannukset asiakkaille olivat kalleimmat. Tämän takia se ei ollut suositeltava vaihtoehto.

Investoidessa kaukolämpöön positiivisia puolia ovat helppokäyttöisyys, toimintavarmuus, oletettu asiakastytyväisyyden ennallaan pysyminen ja työllistävä vaikutus omaan henkilöstöön. Tampereen Sähkölaitokselta löytyy tarvittava asiantuntijuus projektin toteuttamiseen, minkä pitäisi helpottaa sen suorittamista. Putkiston rakennuttaminen on myös jo suunniteltu, ja sen hinta on laskettu valmiiksi, mikä nopeuttaa ja helpottaa huomattavasti projektin etenemistä.

Ilmalämpöpumpun ja sähkölämmityksen yhdistelmässä positiivista on hieman halvempi investointihinta kaukolämpöön verrattuna. Asiakasnäkökulmasta positiivisena voidaan pitää mahdollisuutta huoneiston jäähdytykseen ilmalämpöpumpun avulla. Asiakkaiden energiakustannukset oletettavasti tulisivat olemaan hieman korkeammat kuin kaukolämmössä. Lämmitysjärjestelmän suunnittelu ja mitoitus saattavat lisätä investoinnin hintaa. Ilmalämpöpumpun ja

sähkölämmityksen yhteensopimattomuus asiakkaiden tämänhetkisten lämmönjakokeskusten kanssa saattaisi myös aiheuttaa lisäkuluja.

Oletettavasti varmin ratkaisu olisi kaukolämpöverkon uudistaminen teräsputkella. Tällöin välttyttäisiin mahdollisilta asiakastyytyväisyysriskeiltä, ja työllistettäisiin yrityksen omia työntekijöitä. Siihen investoimalla myös varmistettaisiin, että käytetystä lämmitysenergiasta saatava tuotto tulisi Tampereen Sähkölaitokselle.

Opinnäytetyössä käytetyt arvot olivat arvioita tai hypoteettisia arvoja. Tämän vuoksi tulosten luotettavuus on kyseenalainen, ja aihe vaatii lisäselvitystä. Oikeat luvut on mahdollista saada vasta valitun lämmitysjärjestelmän todellisen mitoituksen yhteydessä.

## LÄHTEET

Aalto yliopisto. 2011. Teollisuuden energiatekniikka. Peruskaavat ja -käsitteet. Pdf. Luettu 20.5.2020. [https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/188122/mod\\_resource/content/1/Ene-59\\_4101\\_peruskaavat\\_ja\\_-kasitteet.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/188122/mod_resource/content/1/Ene-59_4101_peruskaavat_ja_-kasitteet.pdf)

Aalto yliopisto. 2016. Rahavirtojen diskonttaamisen periaate. Luettu 6.6.2020. [https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/184093/mod\\_resource/content/2/Lii%201401%202016.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/184093/mod_resource/content/2/Lii%201401%202016.pdf)

Business Finland Oy. n.d. Energiatuki. Luettu 18.4.2020. <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>

Energiatehokaskoti. 2020a. Lämmitys. Päivitetty 17.3.2020. Luettu 20.5.2020. [https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan\\_suunnittelu/lammitys](https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys)

Energiatehokaskoti. 2020b. Sähkölämmitys. Päivitetty 17.3.2020. Luettu 20.5.2020. [https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan\\_suunnittelu/lammitys/sahkolammitys](https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/sahkolammitys)

Energiateollisuus ry. 2018. Kaukolämpöverkkojen avaamisen mahdollisuuksia ja haasteita – Miten lämpiyttä tulevaisuuden koti? Julkaistu 15.5.2018. Päivitetty 15.5.2018. Luettu 19.4.2020. [https://energia.fi/files/2633/ET\\_kaukolampo\\_keskustelupaperi\\_090518\\_web\\_%28002%29.pdf](https://energia.fi/files/2633/ET_kaukolampo_keskustelupaperi_090518_web_%28002%29.pdf)

Energiateollisuus ry. 2019. Sähköntuotanto. Julkaistu 18.1.2019. Luettu 9.6.2020. <https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/sahkontuotanto>

Energiateollisuus ry. 2020. Kaukolämpötilastot. Julkaistu 20.1.2020. Luettu 19.4.2020. Esityksen kuva 5. <https://energia.fi/julkaisut/tilastot/kaukolampotilastot>

Energiateollisuus ry. n.d. Kaukolämpöverkkoja yli 15 000 km. Luettu 9.6.2020. <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot>

EPSI Finland Oy. 2019. Sähkön vähittäismyynti 2019. Julkaistu 25.11.2019. Luettu 15.5.2020. <http://www.epsi-finland.org/report/sahkon-vahittaismyynti-2019/>

Happonen, T. 2010. Ilmalämpöpumpun toiminta ja asennus. Kylmätekniikan perusteista ilmalämpöpumppujen toiminnan ymmärtämiseen ja asennuksen toteutukseen. Kuopio: Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate, Itä-Suomen yliopisto.

Investopedia. 2020. Discounting. Päivitetty 25.3.2020. Luettu 20.5.2020. <https://www.investopedia.com/terms/d/discounting.asp>

Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Lepistö, S. 2018. Matalalämpöverkoston asiakaslaitteiden kuntokartoitus – Case Haukiluoma. Talotekniikan koulutus. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Management Study Guide. n.d. Factors affecting Customer Satisfaction. Luettu 28.5.2020. <https://www.managementstudyguide.com/factors-affecting-customer-satisfaction.htm>

Motiva Oy. 2012. Lämpöä omasta maasta. Pdf. Luettu 10.4.2020. [https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa\\_omasta\\_maasta\\_Maalampopumput.pdf](https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf)

Motiva Oy. 2017. Pientalon lämmitystapojen vertailulaskuri. Päivitetty 20.9.2017. Luettu 4.4.2020. [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/vertaile\\_lammitysjarjestelmia/pientalon\\_lammitystapojen\\_vertailulaskuri](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/vertaile_lammitysjarjestelmia/pientalon_lammitystapojen_vertailulaskuri)

Motiva Oy. 2018. Energiatehokkuuden oheishyödyt yrityksissä. Pdf. Luettu 25.5.2020. [https://www.motiva.fi/files/15389/Energiatehokkuuden\\_oheishyodyt\\_yrityksissa.pdf](https://www.motiva.fi/files/15389/Energiatehokkuuden_oheishyodyt_yrityksissa.pdf)

Motiva Oy. 2019a. Ilma-vesilämpöpumppu. Päivitetty 5.12.2019. Luettu 10.5.2020. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumppu\\_teknologiat/ilma-vesilampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumppu_teknologiat/ilma-vesilampopumppu)

Motiva Oy. 2019b. Kaukolämpö. Päivitetty 26.3.2019. Luettu 10.5.2020. [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo)

Motiva Oy. n.d. Lämmitystapojen vertailulaskuri. Luettu 4.4.2020. <http://lammitysvertailu.eneuvonta.fi/>

National Business Research Institute. n.d. Measuring and Managing Customer Satisfaction. Luettu 28.5.2020. <https://www.nbrii.com/customer-survey-white-papers/measuring-and-managing-customer-satisfaction/>

Pumpputek Oy. n.d. Lämmitysjärjestelmät. Luettu 5.4.2020 <https://pumpputek.fi/fi/laemmitysjaerjestelmaet>

Salmi, P. 2019. Haukiluoman matalalämpötilakaukolämpöverkon saneeraus. Julkaisematon. Energiatekniikan koulutusohjelma. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

Sulpu ry. 2012. COP COP – tosi on? Julkaistu 9.2012. Luettu 13.5.2020. [https://www.sulpu.fi/uutiset/-/asset\\_publisher/WD1ExS3CMra3/content/cop-cop-tosi-o-1](https://www.sulpu.fi/uutiset/-/asset_publisher/WD1ExS3CMra3/content/cop-cop-tosi-o-1)



Suomen ympäristökeskus. n.d. KARPALO-karttapalvelu. Pilaantuneen maan ja pohjavesien tiedot haettu palvelusta. Luettu 3.4.2020.  
<https://www.ymparisto.fi/karpaloHtml5/html5viewer/?configBase=https%3a%2f%2fwww.ymparisto.fi%2fkarpaloHtml5%2fH5cfg%2f5jv2bT6Mv6a223nUT>

Tampereen kaupunki. 2019a. Maalämpölupa. Päivitetty 27.11.2019. Luettu 10.5.2020. <https://www.tampere.fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen/rakennusvalvonta/rakentamiseen-tarvittavat-luvat/maalampolupa.html>

Tampereen Sähkölaitos Oy. 2019b. Vuosikertomus 2018. Pdf. Luettu 25.3.2020. [https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahkolaitos/vuosiraportit-ja-tilinpaatokset/sahkolaitos\\_vuosikertomus-2018.pdf](https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahkolaitos/vuosiraportit-ja-tilinpaatokset/sahkolaitos_vuosikertomus-2018.pdf)

Tampereen Sähkölaitos Oy. 2020a. Laatupolitiikka. Pdf. Päivitetty 10.1.2020. Luettu 3.5.2020. [https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tekstit/laatupolitiikka\\_paivitetty-10-1-2020-konsernijoryssa.pdf](https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tekstit/laatupolitiikka_paivitetty-10-1-2020-konsernijoryssa.pdf)

Tampereen Sähkölaitos Oy. 2020b. Vuosikertomus 2019. Pdf. Luettu 25.5.2020. [https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahkolaitos/vuosiraportit-ja-tilinpaatokset/sahkolaitos\\_vk2019\\_final.pdf](https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahkolaitos/vuosiraportit-ja-tilinpaatokset/sahkolaitos_vk2019_final.pdf)

Tampereen Sähkölaitos Oy. n.d. Tulevaisuuden ja asiakkaiden kanssa yhteensopiva jo 130 vuoden ajan. Luettu 6.6.2020. <https://www.sahkolaitos.fi/footer-sivut/meista/>

Tampereen Sähköverkko Oy. n.d. Tampereen Sähköverkko Oy. Luettu 28.5.2020. <https://www.sahkolaitos.fi/tampereen-sahkoverkko/sahkokatkot/meista/>

Työ- ja elinkeinoministeriö. n.d. Kysymyksiä ja vastauksia ja Business Finlandista. Luettu 6.6.2020. <https://tem.fi/kysymyksiä-ja-vastauksia-business-finlandista>

Ympäristöhallinto. 2016. Ilmalämpöpumppu säästää energiaa – tietyin ehdoin. Julkaistu 30.6.2016. Luettu 6.5.2020. <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Pientalot/Energiatehokkuus/Energialahteet/Ilmalämpöpumppu>

Ympäristöhallinto. 2018a. Ikkunoiden ja ovien tiivistys. Julkaistu 9.3.2018. Päivitetty 2.11.2018. Luettu 13.5.2020. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiöt/Energiatehokkuus/Energiahukan\\_vahentaminen/Ikkunoiden\\_ja\\_ovien\\_tiivistys](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiöt/Energiatehokkuus/Energiahukan_vahentaminen/Ikkunoiden_ja_ovien_tiivistys)

Ympäristöhallinto. 2018b. Lämmitysjärjestelmän säätö. Julkaistu 9.3.2018. Päivitetty 13.3.2018. Luettu 14.5.2020. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiöt/Energiatehokkuus/Energiahukan\\_vahentaminen/Lämmitysjärjestelmän\\_energiatehokas\\_toiminta](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiöt/Energiatehokkuus/Energiahukan_vahentaminen/Lämmitysjärjestelmän_energiatehokas_toiminta)

Ympäristöhallinto. 2018c. Yläpohjan lisälämmöneristäminen pari- tai rivitalossa. Julkaistu 9.3.2018. Päivitetty 13.3.2018. Luettu 14.5.2020.

<https://www.ymparisto.fi/fi->

[FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiot/Energiatehokkuus/Energiahukan vaehentaminen/Ylapohjan\\_lisalammoneristaminen](https://www.ymparisto.fi/fi-Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiot/Energiatehokkuus/Energiahukan_vaehentaminen/Ylapohjan_lisalammoneristaminen)