

Teemu Leinonen

HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄ RIVITALOSSA

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Talotekniikka (LVI)

2023



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Teemu Leinonen
Työn nimi	Hybridilämmitysjärjestelmä rivitalossa
Toimeksiantaja	As. Oy Mikkelin Marsalkanranta
Vuosi	2023
Sivut	71 sivua, liitteitä 0 sivua
Työn ohjaaja(t)	Mika Kuusela (Xamk)

TIIVISTELMÄ

Ilmastonmuutos on nostanut fossiilisten polttoaineiden ja päästöoikeuksien hintoja merkittävästi. Tästä syystä energiayhtiöt ovat nostaneet kaukolämmön hintaa viime aikoina. Tällä on ollut huomattava vaikutus lämpöpumppujärjestelmien suosion kasvuun taloyhtiöissä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia uusiutuvaa energiaa hyödyntävän lämpöpumpun ja kaukolämmön hybridijärjestelmän soveltuvuutta rivitaloyhtiön lämmitysmuodoksi. Tutkittavat hybridijärjestelmät olivat maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmä sekä ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridijärjestelmä. Tavoitteena oli selvittää, millaisia säästöjä kyseisillä hybridijärjestelmillä voidaan saavuttaa sekä taloyhtiön vuotuisessa ostoenergiankulutuksessa että vuotuisissa käyttökustannuksissa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää molempien hybridijärjestelmäinvestointien takaisinmaksuaika.

Tutkittavan kohteen IFC-malli rakennettiin MagiCAD Room -ohjelmistolla. Eri lämmitysmuotojen simulointiin käytettiin dynaamista IDA ICE -ohjelmistoa. Saavutettujen tuloksien vertailuun sekä käyttökustannusten ja takaisinmaksuaikojen laskentaan käytettiin Microsoft Excel -ohjelmistoa.

Tutkimuksen tuloksena selvisi, että molemmilla tutkituilla hybridijärjestelmillä saatiin vähennettyä taloyhtiön ostoenergiankulutuksen määrää merkittävästi. Myös molempien hybridijärjestelmien vuotuiset käyttökustannukset olivat pienemmät verrattuna taloyhtiön tämänhetkiseen lämmitysmuotoon kaukolämpöön. Eri lämmitysmuotojen 20 vuoden elinkaarikustannuksia tarkastellessa havaittiin, että molempien hybridijärjestelmien elinkaarikustannukset olivat huomattavasti kaukolämpöä edullisemmat. Hybridijärjestelmien takaisinmaksuaikojen osalta havaittiin, että ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridijärjestelmän takaisinmaksuaika oli huomattavasti lyhyempi kuin maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmän. Lisäksi todettiin, että energian viimeaikaisella hinnan nousulla on ollut lyhentävä vaikutus hybridijärjestelmien takaisinmaksuaikoihin.

Tutkimuksessa saavutettujen tuloksien perusteella uusiutuvaa energiaa hyödyntävien hybridilämmitysjärjestelmien käyttäminen lämmitysmuotona on taloyhtiölle taloudellisesti kannattava vaihtoehto. Tutkimuksessa saavutettuja tuloksia taloyhtiö voi tulevaisuudessa hyödyntää tehdessään investointipäätöksiä lämmitysmuodon muuttamisesta hybridilämmitykseksi.

Asiasanat: lämmitys, lämpöpumput, kaukolämmitys, uusiutuva energia

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Teemu Leinonen
Thesis title	Hybrid heating system in a terraced house
Commissioned by	As. Oy Mikkelin Marsalkanranta
Time	2023
Pages	71 pages, 0 pages of appendices
Supervisor	Mika Kuusela (Xamk)

ABSTRACT

Prices of fossil fuels and emission allowances have risen due to climate change. Due to this, energy companies have recently increased the price of district heat. As a result, the popularity of heat pump systems in housing companies has increased considerably.

The purpose of this thesis was to study if it is profitable to use a heat pump that utilizes renewable energy and a district heat hybrid system as a form of heating in a terraced house company. The hybrid systems that were studied were ground source heat and district heat and air-water heat pump and district heat. The aim was to find out the magnitude of the savings achieved with these hybrid systems in both the housing company's annual purchased energy consumption and annual operating costs. The goal was also to calculate the payback time for both hybrid system investments.

Magicad Room software was used to build an IFC-model of the object under study. The simulation of different heating forms was carried out using the dynamic IDA ICE simulation program. Microsoft Excel software was used to compare the results achieved and to perform calculations of operating costs and payback time.

As a result of the study, it was found that both hybrid systems were able to significantly reduce the amount of purchased energy consumption of the housing company. The annual operating costs of both hybrid systems were also lower compared to the housing company's current form of heating, district heating. When looking at the 20-year life cycle costs of different forms of heating, it was found that the life cycle costs of both hybrid systems were significantly lower than those of district heating. As to the payback times of the hybrid systems, it was found that the payback time of the air-to-water heat pump and the district heating hybrid system was significantly shorter than that of the geothermal and district heating hybrid system. It was also found that the recent increase in the price of energy has had a shortening effect on the payback times of hybrid systems.

Based on the results of the study, it is economically profitable for a housing company to use a hybrid heating system as a form of heating. The housing company can use the results of the study in the future when they make investment decisions to convert heating to hybrid heating.

Keywords: heating, heat pumps, district heating, renewable energy

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	RAKENNUKSEN LÄMMITYSENERGIAN KULUTUS	7
2.1	Tilojen lämmitysenergian kulutus.....	8
2.2	Käyttöveden lämmitysenergian kulutus.....	9
2.3	Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus	10
3	KAUKOLÄMPÖ	11
3.1	Kaukolämmön toimintaperiaate	12
3.2	Kaukolämmönjakokeskus.....	13
3.3	Kaukolämmön hinnoittelu	14
3.4	Kaukolämmön tulevaisuus.....	15
4	LÄMPÖPUMPPU	16
4.1	Lämpöpumpun lämpökerroin	16
4.2	Maalämpö	17
4.2.1	Maalämpöpumpun toimintaperiaate.....	18
4.2.2	Maalämpöpumpun lämmönkeruu.....	20
4.2.3	Maalämpöpumpun mitoitus.....	22
4.3	Ilma-vesilämpöpumppu	23
4.3.1	Ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaate.....	24
4.3.2	Ilma-vesilämpöpumpun mitoitus	25
5	HYBRIDILÄMMITYS	26
5.1	Kaukolämmön yhdistäminen muihin lämmönlähteisiin	28
5.1.1	Kaukolämmön rinnakkaiskytkentä tilojen lämmityksessä	28
5.1.2	Kaukolämmön rinnakkaiskytkentä käyttöveden lämmityksessä	30
6	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	31
7	TUTKITTAVA KOHDE AS. OY MIKKELIN MARSALKANRANTA.....	31
8	KOHTEEN SIMULOINTI.....	32
8.1	Tutkittavan kohteen 3D-malli	32

8.2	Projektin perustaminen IDA-ICE -ohjelmaan	33
8.3	Kohteen lämmitystehontarve	36
8.4	Lämmitysmuotona kaukolämpö	36
8.5	Lämmitysmuotona maalämpö ja kaukolämpö	37
8.6	Lämmitysmuotona ilma-vesilämpöpumppu ja kaukolämpö	38
9	TULOKSET	39
9.1	Lämmitystehontarve	39
9.2	Kaukolämpö	40
9.3	Maalämpö-kaukolämpöhybridi	40
9.4	Ilma-vesilämpöpumppu-kaukolämpöhybridi	42
9.5	Ostoenergiankulutuksen vertailu	43
10	INVESTOINTI- JA KÄYTTÖKUSTANNUKSET	44
10.1	Investointikustannukset maalämpöjärjestelmä	44
10.2	Investointikustannukset ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä	45
10.3	Käyttökustannukset kaukolämpö	45
10.4	Käyttökustannukset maalämpö-kaukolämpöhybridi	47
10.5	Käyttökustannukset ilma-vesilämpöpumppu-kaukolämpöhybridi	49
10.6	Vuotuiset säästöt	51
11	INVESTOINNIN KANNATTAVUUS JA TAKAISINMAKSUAIKA	52
11.1	Koroton takaisinmaksuajan menetelmä	52
11.2	Korollinen takaisinmaksuajan menetelmä	53
11.3	Herkkyysanalyysi	56
12	TULOSTEN YHTEENVETO	57
13	JOHTOPÄÄTÖKSET	63
	LÄHTEET	67

1 JOHDANTO

Monia vuosia kaukolämpö on ollut yleisin rakennuksien lämmitysenergian lähde Suomessa. Asuin- ja palvelurakennuksien lämpöenergian kulutuksesta 46 % tuotettiin kaukolämmön avulla vuonna 2018. [1.] Nyt tähän tilanteeseen on kuitenkin tulossa muutos, ja tulevaisuudessa yhä useampi taloyhtiö valitsee lämmitysmuodoksi uusiutuvaa energiaa hyödyntävän lämpöpumppujärjestelmän. Merkittävä syy tähän on kaukolämmön viime vuosien raju hinnan nousu. [2.] Hinnan nousuun vaikuttaa muun muassa se, että ilmastonmuutoksen etenemisen ehkäisemiseksi energiantuottajien täytyy etsiä ympäristöystävällisempiä polttoainevaihtoehtoja fossiilisten polttoaineiden tilalle. Myös päästöoikeuksien hinnan nousulla on kaukolämmön hintaa nostava vaikutus.

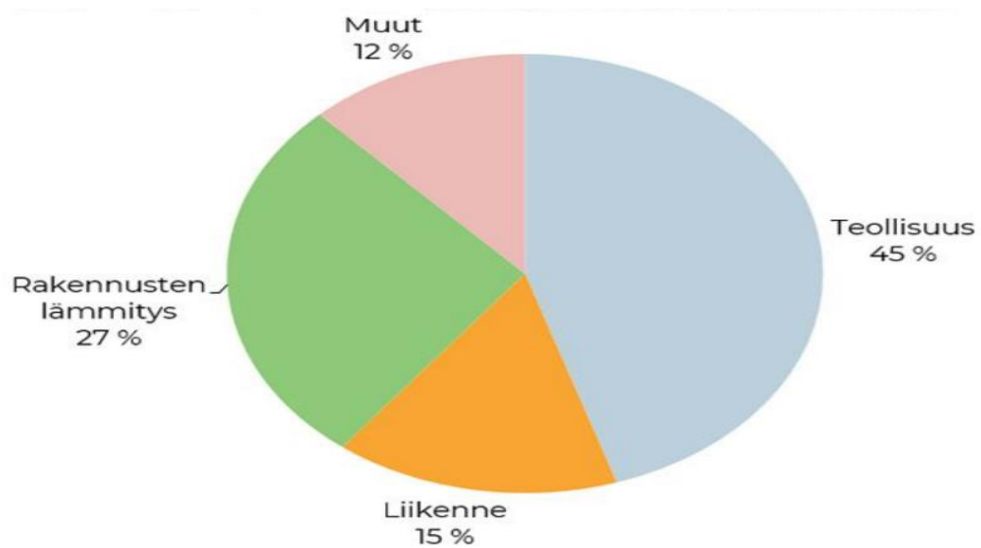
Opinnäytetyön aiheena on tutkia Mikkeliissä sijaitsevan rivitaloyhtiön lämmitysjärjestelmän muutosta kaukolämmöstä hybridilämmitysjärjestelmäksi. As. Oy Mikkelin Marsalkanranta koostuu kahdesta rivitalosta, joissa on yhteensä 15 asuntoa. Rivitalon lämmönlähteenä toimii tällä hetkellä kaukolämpö ja lämmönjakojärjestelmänä vesikiertoinen patterilämmitys.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia taloyhtiön ostoenergian kulutuksen muutosta eri hybridilämmitysratkaisuilla hyödyntäen laskennassa IDA ICE -simulointiohjelmia. Tutkittavat hybridilämmitysjärjestelmät ovat kaukolämmön ja maalämmön yhdistelmä sekä kaukolämmön ja ilmavesilämpöpumpun yhdistelmä. Lisäksi opinnäytetyön tavoitteena on selvittää näiden hybridilämmitysjärjestelmien investointikustannukset sekä laskea investointien takaisinmaksuaika.

Tätä opinnäytetyötä rivitaloyhtiöt voivat tulevaisuudessa hyödyntää tehdesään investointipäätöksiä mahdollisesta lämmitysjärjestelmän muutoksesta hybridilämmitysjärjestelmäksi.

2 RAKENNUKSEN LÄMMITYSENERGIAN KULUTUS

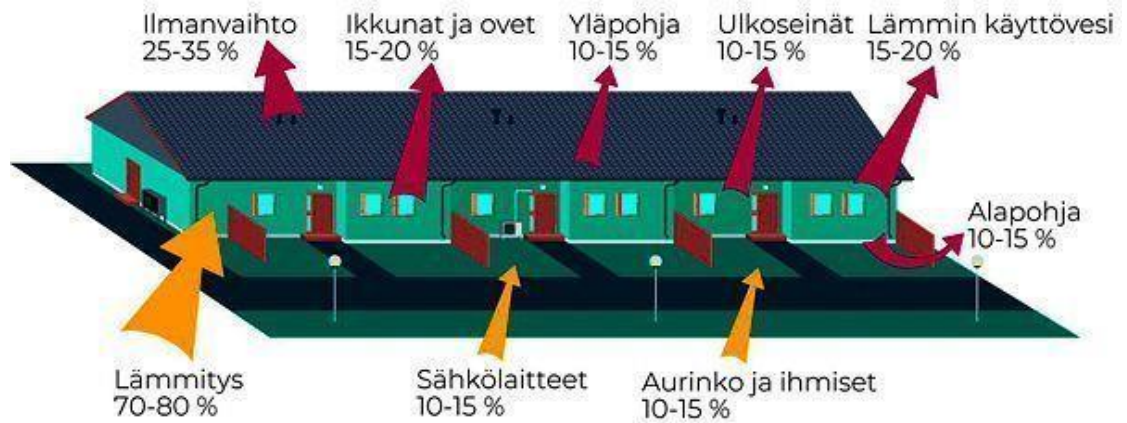
Rakennuksia lämmitetään, koska sen avulla pyritään rakennuksen sisätiloihin saamaan terveelliset ja samalla viihtyisät lämpöolosuhteet. Niillä on merkittävä vaikutus työn tuottavuuteen sekä kansanterveyteen. [3, s. 1.] Rakennusten lämmitykseen kuluvan energian osuus on todella merkittävä osa koko Suomen energiankulutuksesta. Kuvasta 1 voidaan nähdä, että rakennusten lämmitykseen kuluvan energian osuus Suomen energian loppukäytöstä oli vuonna 2021 jopa 27 %. [4.]



Kuva 1. Suomessa käytetyn energian loppukäytön jakauma vuonna 2021

Lämmityksen osuus rakennuksen energiankulutuksesta on merkittävä. Rakennuksen lämmitysjärjestelmän avulla lämmitetään rakennuksen tilat, lämmin käyttövesi sekä ilmanvaihtoilma. [3, s. 1.] Mitoitettaessa rakennuksen lämmitysjärjestelmää tulee se aina mitoittaa rakennuksen lämmitystarpeen mukaan. Lämmitystarpeeseen vaikuttavia tekijöitä ovat rakentamisessa käytetyt teknikat, rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmät, sää sekä tavoitellut lämpöolosuhteet. Rakennuksen lämmitysjärjestelmä koostuu lämmöntuotantojärjestelmästä, lämmönjakelujärjestelmästä sekä lämmönluovuttimista. [3, s. 3.]

Lämpöenergiataseen avulla voidaan osoittaa rakennukseen tuotettujen lämpöenergioiden ja rakennuksesta poistuvien lämpöhäviöiden välistä suhdetta. [5, s. 18]. Kuvassa 2 on esitetty 1970–1990-luvun rivitalon lämpötase.



Kuva 2. Rivitalon lämpöenergiatase [6]

Yllä olevasta kuvasta 2 voidaan huomata, että suurin osa rivitalon energian kulutuksesta kohdistuu rakennuksen lämmitykseen. Lämpöhäviöiden osalta suurin yksittäinen lämpöhäviöiden aiheuttaja on rakennuksen ilmanvaihto. Rakenteiden osalta ikkunoiden ja ovien aiheuttamat lämpöhäviöt ovat 15–20 %, yläpohjan 10–15 %, ulkoseinien 10–15 % sekä alapohjan 10–15 %. Lämpimän käyttöveden osuus rivitalon lämpöhäviöistä on 15–20 %.

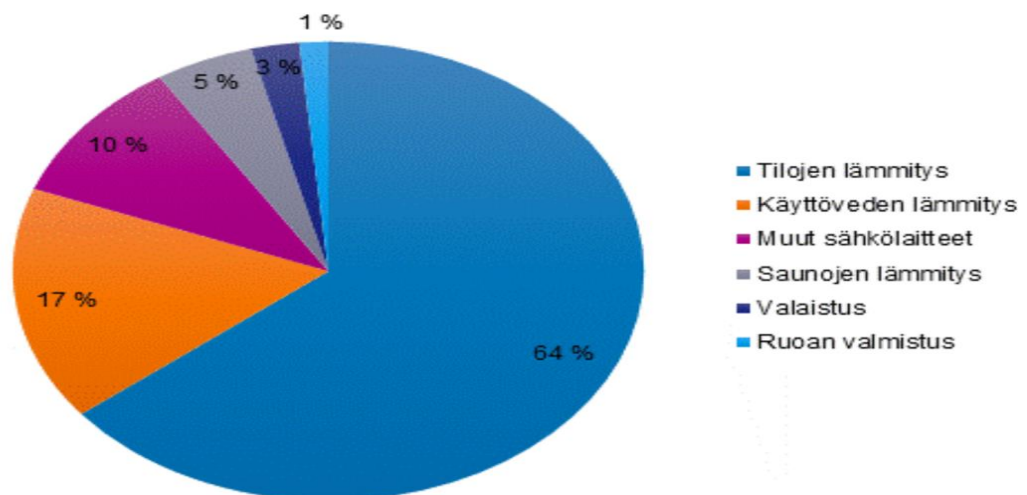
2.1 Tilojen lämmitysenergian kulutus

Rakennuksessa tilojen lämmitystarpeen aiheuttavat johtumislämpöhäviöt rakennuksen vaipan kautta, rakenteiden ja liitoksien kautta rakennukseen vuotavan ilman aiheuttamat lämpöhäviöt sekä tulo- ja korvausilman lämmittäminen sisäilman lämpötilaan. Rakennuksen tilojen lämmitystarvetta vähentää sisäiset lämpökuormat sekä auringon tuottama lämpöenergia. [7, s. 4.]

Johtumislämpöhäviöillä tarkoitetaan rakennuksen vaipan kautta rakennuksesta poistuvia lämpöhäviöitä. Lämpöhäviöitä aiheuttavia osia rakennusvai-passa ovat ulkoseinät, ovet ja ikkunat, rakennuksen ylä- ja alapohja sekä viivamaiset kylmäsilat. [8, s. 10.] Vuotoilman lämpöhäviöt aiheutuvat rakennuksen rakenteiden sekä liitoksien kautta rakennukseen vuotavan ilman vaikutuksesta, ja se vaikuttaa huomattavasti rakennuksen energiankulutukseen [9]. Korvausilman lämmittämiseen kuluu lämmitysenergiaa, koska ulkoilman lämpötilasta rakennukseen sisään tuleva korvausilma täytyy lämmittää rakennuksen lämmitysjärjestelmällä sisäilman lämpötilaan [10, s. 12].

Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla toteutetussa järjestelmässä tuloilman lämpötila on suositeltavaa pitää hieman huoneilman lämpötilaa viileämpänä, tällä voidaan varmistaa sisään puhallusilman ja huoneilman kunnollinen sekoittuminen. Tuloilman lämpötilan suositusarvo on 15–17 °C lämmityskauden aikana, kesä aikana ei tuloilmaa kannata lämmittää lainkaan. Tilojen lämmityslaitteilla lämmitetään sisään puhallusilman lämpötila huoneilman lämpötilaan. [11.]

Vuonna 2020 oli tilojen lämmitykseen kuluvan energian määrä noin 39 TWh. Yksittäisen rakennuksen energian kulutuksesta tilojen lämmitykseen kului noin 64 %. Kuvassa 3 on esitetty asumisen energiakulutuksen jakautuminen asuinrakennuksessa vuonna 2021. [12.]



Kuva 3. Asumisen energiakulutuksen jakautuminen vuonna 2021

2.2 Käyttöveden lämmitysenergian kulutus

Kuten kuvasta 3 voidaan huomata, vuonna 2021 lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kului energiaa 17 % rakennuksen kokonaisenergiakulutuksesta. Rakennuksen lämpimän käyttöveden energiakulutukseen vaikuttavia tekijöitä ovat lämpimän käyttöveden lämpötila, kuinka paljon vettä käytetään sekä millainen on käyttövesiverkoston eristyksen taso. [13.]

Käyttöveden lämpötilalla on merkittävä vaikutus käyttöveden lämmityksen aiheuttamaan energiakulutukseen. Kylmän käyttöveden lämpötila putkistossa

saa suurimmillaan olla 20 °C, sillä vältetään mikrobikasvuston syntyminen putkistoon. Lämpimän käyttöveden lämpötilaan taas voidaan vaikuttaa heikosti, sillä sen vähimmäislämpötila ei saa alittaa 55°C, tällä ehkäistään legionellabakteerien syntymistä. [14.]

Käyttöveden kulutuksella on myös merkittävä vaikutus lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluvan lämmitysenergian määrään rakennuksessa. Veden kulutuksen määrä asuinkerrostalossa asukasta kohden on keskimäärin 155 litraa vuorokaudessa, mutta se voi myös vaihdella 90–270 litran välillä. Keskimäärin lämpimän käyttöveden osuus veden kulutuksesta on noin 40 %. Keinoja vähentää käyttöveden kulutusta ovat muun muassa huoneistokohtainen vedenmittaus, vesikalusteiden virtaamien säätäminen tarpeenmukaisiksi, vuotavien vesikalusteiden huoltaminen sekä paineenalennusventtiilin käyttäminen kiinteistön vesiliittymässä. [15.]

2.3 Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus

Ympäristöministeriön laatiman Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeen Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018 mukaan ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve on se lämmitysenergian määrä, joka tarvitaan lämmittämään tuloilma lämmöntalteenoton jälkeisestä lämpötilasta sisään puhallusilman lämpötilaan, sekä myös mahdollisesti lämmittämään ilmaa ennen lämmöntalteenottoa, jotta vältetään mahdollinen jäätyminen [7, s. 4].

Rakennuksen ilmanvaihdon tehtävä on raittiin ilman tuominen rakennukseen sekä sisäilman pitäminen raikkaana ja terveellisenä. Laadukkaan sisäilman lisäksi valitulla ilmanvaihtoratkaisulla on merkittävä vaikutus rakennuksen lämpöenergian kulutukseen. On olemassa useita eri tapoja toteuttaa rakennuksen ilmanvaihto, ja se voidaan toteuttaa joko koneellisena tai painovoimaisena. Koneellisia ilmanvaihtojärjestelmiä ovat koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto tai koneellinen poistoilmanvaihto. [10, s. 66–72.]

Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate perustuu lämpötilaeroihin sekä tuulen ja hormivaikutukseen. Painovoimaisen ilmanvaihdon heikkous on siinä, että sitä on mahdoton säätää tai tehostaa ja siitä on myös mahdotonta kerätä

lämpöä talteen lämmöntalteenoton avulla. Korvausilmaventtiilien aiheuttama mahdollinen vedon tunne voi myös aiheuttaa mahdollisen sisäilman lämpötilan noston, mikä nostaa lämmitysenergian kulutusta. [10, s. 67–68.]

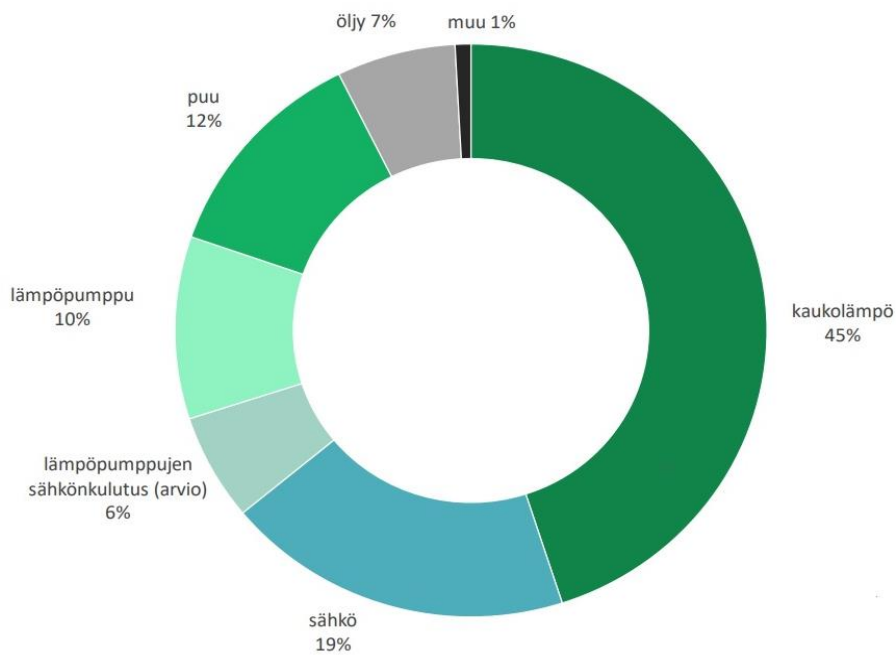
Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate on se, että raitista ulkoilmaa johdetaan rakennukseen korvausilmaventtiilien avulla suoraan ulkoilmasta. Poistoilma, eli niin sanottu likainen ilma, poistetaan poistoilmaventtiilien kautta poistoilmakanavaan ja siitä poistopuhaltimen tuottaman alipaineen avulla ulos. Poistoilmaventtiilit sijoitetaan rakennuksessa keittiöön, kylpyhuoneeseen, vessaan sekä mahdolliseen vaatehuoneeseen. Koneellisen poistoilmanvaihdon heikkous on siinä, että lämmin poistoilma puhalletaan suoraan ulos ilman lämmöntalteenottoa. 1960–1990-lukujen rakennuksissa koneellinen poistoilmanvaihto on hyvin yleinen ilmanvaihdon toteutustapa. Koneellisen poistoilmanvaihdon osuus rakennuksen lämmitysenergian kulutuksesta voi olla merkittävä, sillä sen osuus voi olla jopa 36 %. [10, s. 68–70.]

Koneellisessa tulo-poistoilmanvaihdossa eli niin sanotussa lämmöntalteenottojärjestelmässä on ilmanvaihtokoneessa sekä tuloilmapuhallin että poistoilmapuhallin. LTO-järjestelmässä tuloilmaa puhalletaan rakennuksen oleskelutiloihin, joita ovat makuuhuoneet ja olohuone. Niin sanotuista likaisista tiloista, joita ovat esimerkiksi keittiö, wc, sauna, pesuhuone sekä kodinhoituhuone, ilmaa poistetaan. Koneellinen tulo-poistoilmanvaihto toteutetaan joko keskitetynä ratkaisuna tai hajautettuna. Keskitetyssä ratkaisussa yksi ilmanvaihtokone palvelee koko rakennusta, kun taas hajautetussa ratkaisussa kaikilla huoneistoilla on omat ilmanvaihtokoneet. Koneellisen tulo-poistoilmanvaihto ratkaisun hyöty on siinä, että siinä poistettavasta ilmasta voidaan ottaa lämpöä talteen ja käyttää se kylmän tuloilman esilämmittämiseen. [16.] Ilmanvaihdolla on merkittävä vaikutus rakennuksen energiankulutukseen. Asuinrakennuksissa keskimäärin 20–40 % lämmitysenergiasta käytetään ilmanvaihdon lämmittämiseen. [17.]

3 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämpö on yleisin rakennuksissa käytettävä lämmitysmuoto Suomessa. Vuonna 2021 kaukolämpöasiakkaita oli Suomessa 155 000 ja kaukolämmöllä lämpenevissä asuinrakennuksissa asui n. 3 miljoonaa ihmistä. Kaukolämmön

osuus lämmitysmarkkinoista oli 46 %. Kuvassa 4 on esitetty lämmityksen markkinaosuudet vuonna 2020. [18.]

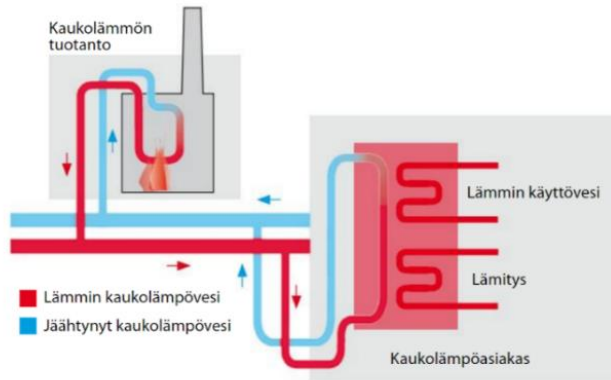


Kuva 4. Lämmityksen markkinaosuudet vuonna 2020

Kaukolämmön vahvuus lämmitysmuotona on siinä, että sillä voidaan itsessään kattaa koko rakennuksen lämmitystehontarve. Toimituskatkokset ovat kaukolämmön tuotannossa harvinaisia, joten lämmöntoimitus on hyvin tasaista ja varmaa. Tilapäisiä ja lyhyitä toimituskatkoksia pystytään rengasmaisten jakeluverkkojen ansiosta paikkaamaan nopeasti. Kaukolämpöä tuotetaan Suomessa sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa, eli niin sanotuissa CHP-laitoksissa, sekä erillisissä lämpölaitoksissa. [10, s. 22.]

3.1 Kaukolämmön toimintaperiaate

Kaukolämmöllä lämmitetään keskitetysti laajempia alueita, kuten kokonaisia kaupunkeja tai kaupungin osia. Kaukolämmityksen lämpöenergian tuottamiseen käytetään lämmitysvoimalaitoksia tai erillisiä lämpökeskuksia. [19, s. 11]. Kuvassa 5 on esitetty kaukolämmön toimintaperiaate.



Kuva 5. Kaukolämmön toimintaperiaate [5, s. 112]

Kaukolämpöverkossa kiertävä vesi lämmitetään lämmitysvoimalaitoksien lämmönsiirtimillä tai lämpökeskusten kattiloilla. Tarvittavaan lämpötilaan kuumentettu vesi kuljetetaan tämän jälkeen kaukolämpöverkosta pitkin kaukolämmön kuluttajille. Rakennuksen lämmönjakokeskuksen avulla kaukolämpöyhtiön tuottama lämpöenergia siirretään rakennuksen lämmitysjärjestelmiin, joissa sitä käytetään kiinteistön lämmittämiseen sekä lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Tämän jälkeen lämpöenergiaa luovuttanut jäähtynyt kaukolämpövesi palautuu kaukolämpöverkosta pitkin takaisin tuotantolaitokselle, jossa se lämmitetään uudelleen, ja sama prosessi alkaa alusta. Eri puolille kaukolämpöverkosta on usein sijoitettu huippu- ja varalämpökeskuksia. Usein lämmitysvoimalaitos on pienemmissä kaukolämpöjärjestelmissä korvattu yhdellä tai useammalla lämpökeskuksella. [19, s. 11–12.]

3.2 Kaukolämmönjakokeskus

Lämmönjakokeskuksen (kuva 6) tehtävä kaukolämmityksessä on liittää kaukolämpöasiakas lämmöntuottajan kaukolämpöverkoston. Lämmönjakokeskuksen kuuluvat pääosat ovat lämmönsiirtimet, kiertopumput, säätölaitteet sekä muut tarvittavat varusteet, joita tarvitaan lämpöenergian siirtämiseen rakennuksen eri lämmitysjärjestelmiin. Näitä eri lämmityskohteita ovat tilojen, käyttöveden sekä ilmanvaihdon lämmitys. Kaukolämmönjakokeskukseen kuuluu yleensä vähintään kaksi lämmönsiirintä, toinen tilojen lämmitykseen ja toinen lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Mikäli rakennuksessa on tarvetta tuloilman lämmittämiseen, tulee sille asentaa oma lämmönsiirrin sekä tarvittavat säätölaitteet. Nykyiset rakennuksissa käytettävät kaukolämmönjakokeskukset ovat pääsääntöisesti tehdasvalmisteisia. Lämmönjakokeskukset suunnitellaan

ja mitoitetaan aina rakennuskohtaisesti riippuen kyseisen rakennuksen lämmitystarpeesta. Lämmönjakokeskuksen mitoituksessa tulee lämmönmyyjältä selvittää kaukolämpöverkon mitoituslämpötilat sekä kaukolämpöverkon käytävissä oleva paine-ero. Lisäksi on selvitettävä rakennuksen lämmönluovutusjärjestelmien tarvitsema lämmöntarve järjestelmäkohtaisesti noudattaen annettuja määräyksiä ja ohjeita. Mitoituslämpötilojen ja lämmöntarpeen perusteella saadaan selvitettyä ensiö- ja toisiopuolen virtaamat. Lämmönsiirtiminen sekä muiden lämmönjakokeskukseen kuuluvien laitteiden valintaan vaikuttaa vaadittu lämpöteho, virtaamat sekä lämmönjakokeskuksen suurin sallittu painehäviö. [19, s. 65–66.]



Kuva 6. Kaukolämmönjakokeskus [19, s.19]

3.3 Kaukolämmön hinnoittelu

Vaikka rakennuksen kaukolämpöjärjestelmä käyttää pääasiassa kaukolämpöyhtiön tuottamaa lämpöenergiaa lämmöntuottamiseen, käyttää kaukolämmönjakokeskukseen kuuluvat pumput ja kiinteistöautomaatiikka myös pienissä määrin sähköä. [10, s. 16].

Kaukolämmön hinnoittelu on kaukolämpöyhtiökohtaista. Koska kaukolämpöyhtiöt toimivat alueellisesti ja niiden tuotantotavat vaihtelevat, ei kaukolämmön hinta ole kaikissa kaukolämpöyhtiöissä sama. Kaukolämmön hinta muodostuu liittymismaksusta, perusmaksusta (tehomaksu tai vesivirtamaksu) sekä energiamaksusta. [10, s. 16.]

Kaukolämmön liittymismaksu perustuu siihen, että sen on tarkoitus kattaa sekä itse kaukolämpöjohtojen asentaminen että myös kaukolämpöjärjestelmään kuuluvien mittalaitteiden asentaminen. Liittymismaksuun sisältyy myös tarvittavien maansiirto- ja kaivuutöiden aiheuttamat kustannukset. [10, s. 16.]

Perusmaksun suuruuteen vaikuttaa kaukolämmön liittymisteho tai sopimusvesivirta. Teho- tai vesivirtamaksun suuruus perustuu mitoituslämpötilaan, sen avulla katetaan lämmityksen- ja käyttöveden lämpöenergian tarve. Kaukolämpöyhtiö on velvollinen huolehtimaan, että lämpö riittää mitoituslämpötilaan, jonka on oletettu olevan matalin ulkolämpötila lämmityskaudella. [10, s. 17.]

Energiamaksun suuruus perustuu kaukolämpöenergian kulutukseen. Energian hinnassa on eroja kaukolämpöyhtiöiden välillä. Hyvin usein käytetään hinnoittelua, joka vaihtelee eri vuodenaikojen mukaan ja jossa lämpöenergian hinta päivittyy 3–4 kertaa vuoden aikana. [10, s. 18.]

3.4 Kaukolämmön tulevaisuus

Kaukolämpöyhtiöt ovat tällä hetkellä voimakkaassa murroksessa, koska fossiilista polttoaineista pyritään pääsemään eroon ilmastonmuutoksen hidastamiseksi. Lisäksi rakennuksien energiatehokkuuden parantuessa rakennuksien lämmitystehontarve pienenee ja jäähdytystehontarve kasvaa. Tämän vuoksi kaukolämpöyhtiöiden on täytynyt kehittää uusia keinoja pärjätä muuttuvassa markkinatilanteessa. Tällaisia keinoja ovat muun muassa kevytkaukolämpöverkosto sekä kaukokylmäjärjestelmä. [20.]

Tulevaisuudessa kaukolämmönmitoituslämpötilat tulevat myös laskemaan nykyisestä 115 °C lämpötilasta 90 °C lämpötilaan. Tällä vähennetään kaukolämpöverkoston lämpöhäviöitä sekä mahdollistetaan uusiutuvaa energiaa hyödyntävien lämpöpumppujen tehokkaampi hyödyntäminen kaukolämmön tuotannossa. [21.] Lämpöpumppujen avulla on mahdollista hyödyntää muun muassa jätevesistä, rakennuksien jäähdytysjärjestelmien lauhdelämmöstä sekä teollisuudesta syntyvää hukkalämpöä [20].

4 LÄMPÖPUMPPU

Lämpöpumppujen suosio rakennusten lämmittämisessä on viime vuosina kasvanut merkittävästi. Lämpöpumppuja voidaan käyttää sekä rakennusten lämmittämiseen että jäähdyttämiseen. Vuoteen 2022 mennessä oli Suomessa asennettu jo 1,2 miljoonaa lämpöpumppua ja niiden tuottama osuus lämmityksestä oli noin 20 %. Vuonna 2021 asennettiin Suomessa 130 000 uutta lämpöpumppua. [22.]

Eri lämpöpumpputyyppejä on useita, ja ne eroavat toisistaan lämmön keräystavan sekä lämmönluovutustavan perusteella. Erilaisia lämpöpumpputyyppejä ovat ilmalämpöpumppu, maalämpöpumppu, ilma-vesilämpöpumppu sekä poistoilmalämpöpumppu. Niin sanottua ilmaista energiaa on lämpöpumpulla mahdollista kerätä maasta, ulko- ja sisäilmasta sekä vedestä. Lämpöpumpun asentaminen onnistuu sekä uudiskohteeseen että myös saneerauskohteeseen. [23, s. 27.]

Lämpöpumppujen avulla on mahdollista saavuttaa huomattavia säästöjä taloudellisesti, mutta samalla niillä on mahdollista saada aikaan merkittäviä ympäristöhyötyjä. Lämpöpumppuinvestointien määrä taloyhtiöihin on viime vuosina yleistynyt huomattavasti. Tämä johtuu siitä, että lämpöpumppujen avulla voidaan merkittävästi vähentää taloyhtiön energiankulutusta, mutta samalla kiinteistön jälleenmyyntiarvo myös nousee. Saneerauskohteissa lämpöpumpun hankintaan on myös mahdollisuus hyödyntää kotitalousvähennystä. [24.]

4.1 Lämpöpumpun lämpökerroin

Lämpökertoimella tarkoitetaan lämpöpumpun hyötysuhdetta. Hyötysuhdetta arvioidaan COP- ja SCOP-arvoilla. COP-arvo on lämpöpumpun lämpökerroin. COP-arvo kuvaa lämpöpumpusta saatavan lämpötehon suhdetta sekä kompressorin että kiertopumpun kuluttamaan sähkötehoon. Sen avulla nähdään, kuinka paljon lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa suhteessa siihen, kuinka paljon se käyttää sähköenergiaa. Esimerkiksi jos lämpöpumpun COP-arvo on 3, tuottaa se silloin kolme kertaa enemmän lämpöenergiaa kuin mitä se käyttää sähköä lämmöntuottamiseen. COP-arvosta ei kuitenkaan voi päätellä lämpöpumpun hyötysuhdetta realistisissa olosuhteissa. Lämpökertoimeen vaikut-

tavia tekijöitä on useita, muun muassa rakennuksen lämmönjakotapa, maaperän tai kallion ominaisuudet, lämpökuorman määrä sekä käytettävän lämmön-siirtonesteen lämpötila vaikuttavat lämpökertoimeen. [10, s. 40.] COP-arvo voidaan laskea alla olevalla kaavalla 1 [54, s. 17].

$$\text{Lämpökerroin COP} = \frac{Q_{out}}{W_{in}} \quad (1)$$

Jossa

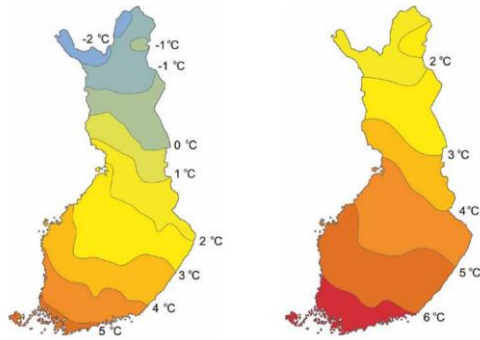
Q_{out} Lämpöpumpun tuottama lämpöenergia

W_{in} Lämpöpumpun käyttämä sähköenergia

Puhuttaessa SCOP-arvosta tarkoitetaan sillä lämpöpumpun kausilämpökerrointa tai vuosihyötysuhdetta. SCOP-arvo on lämpöpumpun lämpökerroin, mutta se ilmoittaa sen koko lämmityskauden ajalle. SCOP-arvo ei ota huomioon lämpimän käyttöveden energiantarvetta vaan ainoastaan rakennuksen lämmityksen tarpeen. Laskettaessa SCOP-arvoa lasketaan se neljälle eri lämmityskauden ajanjaksolle. SCOP-arvon laskennassa tulee ottaa huomioon maantieteelliset ilmastovyöhykkeet. Lämpöpumpun energiamerkinnässä, joka on pakollinen, ilmoitetaan ainoastaan vertailupaikkakunta, joka sijaitsee Keski-Euroopassa Saksan Strasbourgissa. Mikäli käytetään pohjoisempaa vertailupaikkakuntaa, esimerkiksi Helsinkiä, on sillä heikentävä vaikutus lämpöpumpun SCOP-arvoon. [10, s. 41.]

4.2 Maalämpö

Maalämpö on suurimmaksi osin auringosta lähtöisin olevaa lämpöenergiaa, jota on varastoitunut maa- ja kallioperään. Mentäessä syvemmälle kallioperään lämpöenergia on geotermistä energiaa, jota syntyy, kun radioaktiiviset aiheet hajoavat. Maa- ja kallioperän vuotuinen keskilämpötila vaihtelee riippuen maantieteellisestä sijainnista. Lämpötila voi myös vaihdella paikallisesti, esimerkiksi rakennetun alueen maan lämpötila voi olla merkittävästi korkeampi kuin sellaisen, johon ei ole ikinä mitään rakennettu. Alla olevassa kuvassa 8 on esitetty ilmanlämpötilan ja maanlämpötilan vuotuiset keskiarvot Suomessa. Vertailukautena on käytetty vuosia 1971–2000. [25, s. 7.]

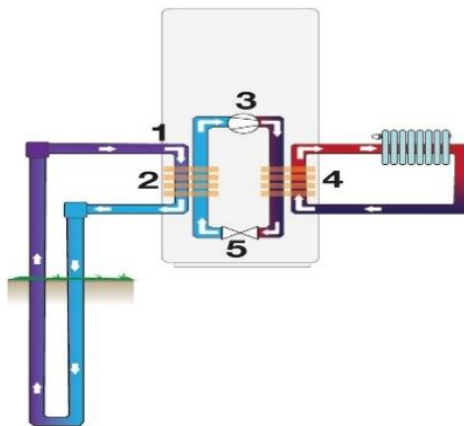


Kuva 8. Ilmalämpötilan ja maanpinnan lämpötilan vuotuinen keskilämpötila

Kuten kuvasta 8 voidaan huomata, ilman vuotuisen keskilämpötilaan verrattuna on maa- ja kallioperän pintaosien vuotuinen keskilämpötila Suomessa keskimäärin kaksi astetta korkeampi. Etelä-Suomessa maanpinnan keskilämpötila on keskimäärin 14–15 metrin syvyydessä noin 5–6 astetta, ja se vaihtelee riippuen vuotuisesta ilmalämpötilasta. Mentäessä syvemmälle kallioperään nousee keskilämpötila keskimäärin 0,5–1 astetta sataa metriä kohden geotermisen energian vaikutuksesta. Etelä-Suomessa kallioperän lämpötila on 6,5–9 °C välillä oltaessa 300 m syvyydessä. [25, s. 7.]

4.2.1 Maalämpöpumpun toimintaperiaate

Maalämpöpumpun toiminta perustuu siihen, että sähköenergian avulla sillä voidaan kerätä lämpöenergiaa maasta, kallioperästä tai vedestä [25, s. 10]. Kuvassa 9 on havainnekuva maalämpöpumpun toimintaperiaatteesta.



Kuva 9. Maalämpöpumpun toimintaperiaate [26]

Keruupiirissä kiertävään lämmönkeruunesteeseen varastoituu lämpöenergiaa (2->1), joka verkoston pumppua apuna käyttäen viedään maalämpöpumpun höyrystimelle. Höyrystimen avulla lämpöenergia siirretään maalämpöpumpun

kylmäainepiiriin. Maalämpöpumpun kompressorilla (3) kylmäaineen painetta ja lämpötilaa nostetaan, ja se siirretään lauhtuttimeen (4), jonka avulla kylmäaineeseen sitoutunut lämpöenergia luovutetaan rakennuksen lämmitysverkostoon. [25, s. 10.]

Maalämpöpumpun hyödyntäminen lämmönlähteenä kannattaa erityisesti matalaa lämpötilaa käyttävissä lämmönjakojärjestelmissä. Tällaisia ovat esimerkiksi ilmalämmitys ja lattialämmitys. [25, s. 10.] Menoveden lämpötilan ollessa 35–40 °C maalämpöpumpun hyötysuhde on yleisesti 4 tai jopa ylikin. Maalämpöpumpua voidaan myös käyttää patterilämmitysjärjestelmässä. Patterilämmitysjärjestelmässä maalämpöpumpun hyötysuhde on heikompi, ollen yleensä kuitenkin 3 tai enemmän. Tämä johtuu siitä, että patteriverkoston lämpötila on huomattavasti korkeampi kuin mitä esimerkiksi lattialämmitysverkoston. [27.]

Mikäli rakennuksen lämmitysmuotoa muutetaan, tulee varmistaa lämmityspattereiden riittävä lämmitysteho. Pattereiden määrää tai niiden kokoa voidaan joutua kasvattamaan johtuen matalamman lämpötilan aiheuttamasta lämmönluovutuspinna-alan kasvun tarpeesta. Lämpöpumpun avulla voidaan myös lämmittää lämmin käyttövesi, sekä kesäaikaan sillä voidaan jäähdyttää rakennusta. Lämpöpumpun jäähdyttämällä voidaan myös energiakaivoa ladata kesäaikaan siirtämällä lämpöpumpulla sisäilmasta talteen otettua lämpöä kallioperään. [25, s. 10.] Alla olevassa kuvassa 10 on maalämpöpumppu ja lämminvesivaraaja.

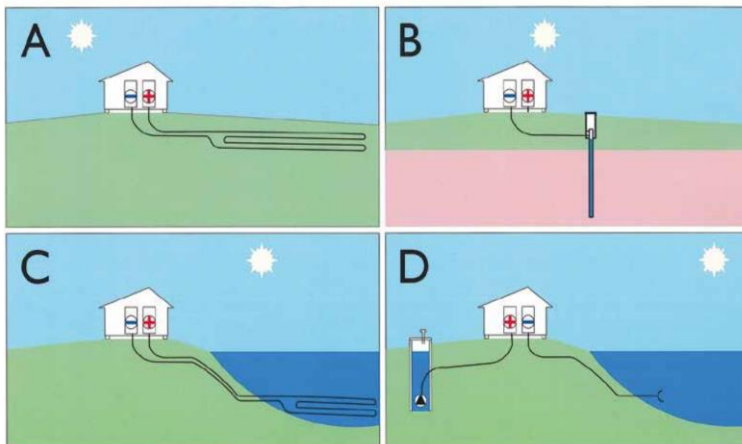


Kuva 10. Maalämpöpumppu ja lämminvesivaraaja [28]

Maalämpöpumpun sijoituksessa tulee huomioida tarvittavat tilat sen ylläpitoa ja huoltoa varten. Lämmönjakohuoneen mitoituksessa tulee maalämpöpumpulle varata riittävästi tilaa, mutta täytyy myös huomioida mahdollisen lämmitysvaraajan tarvitsema tila. Maalämpöpumppu ei myöskään ole täysin äänettöm, joten sitä kannata sijoittaa sellaiseen huonetilaan, jonka halutaan olevan hiljainen. [25, s. 10.]

4.2.2 Maalämpöpumpun lämmönkeruu

Maalämpöjärjestelmän pääosat ovat itse maalämpöpumppu, siirtoputkisto sekä lämmönkeruupiiri. Lämmönkeruupiiri on mahdollista sijoittaa joko maahan, vesistöön tai kallioon sitä varten porattuun reikään eli niin sanottuun energiakaivoon. [25, s. 8.] Kuvassa 11 on havainnollistettu maalämpöpumpun energialähteet.



Kuva 11. Maalämpöpumpun energialähteet [25, s. 9]

Kuvan 11 kohdassa A lämpöenergiaa kerätään maaperästä, jolloin asennetaan maaperään noin metrin syvyyteen keruuputkisto, jota kutsutaan niin sanotuksi maapiiriksi. Tämä ratkaisu on hyvä, mikäli käytössä on pinta-alaltaan suuri tontti. Keruuputkiston mitoituksessa tärkeimpiä asioita ottaa huomioon ovat maaperän lämmönjohtavuus sekä kosteuspitoisuus. Niiden vaihtelu voi olla pienelläkin alueella merkittävä, ja tästä syystä niiden selvittäminen tulee tehdä jo suunnittelun alkuvaiheessa. Mikäli tontin koko sallii, kannattaa putkiston mitoituksessa suosia ylimitoitusta mieluummin kuin alimitoitusta. Vaikka investointikustannukset kasvavat ja pumppaukseen kuluvan sähköenergian määrä kasvaa, voi alimitoitus vaikuttaa lämmönlähteen heikkenemiseen ja sitä

kautta heikompaan lämpökertoimeen. Suuntaa antavana mitoituksena voidaan käyttää ohjearvoa 1–2 putkimetriä yhtä rakennuskuutiota kohden. [29.] Kuvassa 12 on esitetty maaperästä saatavia lämpöenergian määriä.

Sijainti	Lämpöenergia kWh/putkimetri	
	Savi	Hiekka
Etelä-Suomi	50...60	30...40
Keski-Suomi	40...45	15...20
Pohjois-Suomi	30...35	0...10

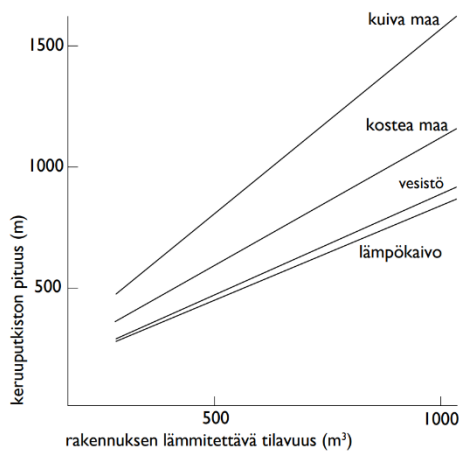
Kuva 12. Maaperästä saatavia lämpöenergian määriä [29]

Kuvan 11 kohdassa B kerätään lämpöenergiaa kallioperästä, jolloin asennetaan kallioon porattuun reikään keruuputkisto. Porareikä ja keruuputkisto yhdessä muodostavat energiakaivon, toiselta kutsumanimeltään lämpökaivon. Energiakaivojen enimmäissyvyys on yleensä korkeintaan 300 metriä. Riippuen rakennuksen lämpöenergian tarpeesta voi energiakaivoja olla myös useita. Useiden energiakaivojen muodostamaa aluetta kutsutaan energiakentäksi. [25, s. 8.] Maaperään asennettavaan keruuputkistoon verrattuna energiakaivon hankintakustannukset ovat suuremmat, mutta energiaa saadaan yhtä putkimetriä kohden lähes kaksinkertainen määrä kuten kuvasta 12 nähdään. Lisäksi tarvittavat kaivuutyöt ovat huomattavasti vähäisemmät. Mahdollisen routimisen riskiä ei ole sekä järjestelmän ilmaus on helposti toteutettavissa. Energiakaivon teholliseksi syvyydeksi lasketaan ainoastaan se osa kaivon syvyydestä, joka on täytynyt vedellä. [29.]

Kuvan 11 kohdassa C kerätään lämpöenergiaa vesistöistä. Asennettaessa keruuputkisto vesistöön on se vesitalousuhanke, joka täytyy vesilain (587/2011) perusteella toteuttaa niin, että yleistä tai yksityistä etua ei loukata, mikäli tämä on mahdollista välttää. Sijoitettaessa keruuputkisto vesialueelle tulee vesialueen omistajalta, lähinaapureilta tai aluehallintovirastolta olla sille suostumus. Pelkällä toimenpideluvalla ei voida korvata vesilain mukaista lupaa, mikäli tällainen vaaditaan keruuputkiston sijoittamiseksi vesistöön. Vesilain valvontaviranomaisena toimii joko kunnan ympäristönsuojeluviranomainen tai ELY-keskus. Tarvittaessa on heiltä tiedusteltava luvan tarpeesta. [25, s. 9]. Asennettaessa keruupiiri vesistöön tulee vesistön syvyyden olla jo rannan lähetyvillä vähintäänkin kaksi metriä, tällöin keruuputkiston kuljettaminen veteen routarajan

alapuolelta on mahdollista. Jäiden aiheuttamien vaurioiden ehkäisemiseksi tulisi vesistöillä olla syvyyttä vähintään kolme metriä. Energian määrä, joka vesistöistä saadaan vuodessa on noin 70–80 kWh putkimetriä kohden. Lämmönkeruupiiriin putket asennetaan vaakasuoraan, ja niiden ankkuroimiseen käytetään 6–30 kg painoisia betonipainoja, jotka asennetaan 1–2 metrin välein. [29.]

Kuvan 11 kohdassa D on niin kutsuttu avoin keruupiiri. Avoimessa keruupiirissä ei käytetä erillistä lämmönkeruunestettä, vaan lämmönkeruuseen hyödynnetään pohjavettä. Järjestelmä toimii siten, että pohjavesi pumpataan putkea pitkin maanpinnalle, josta sen sisältämä lämpöenergia otetaan talteen lämpöpumpulla. Tämän jälkeen vesi palautetaan joko pohjavedeksi tai pintavedeksi. [25, s. 9.] Alla olevassa kuvassa 13 on esitetty tarvittavia lämmönlähteen putkistopituuksia maalämpöpumpulle suhteessa rakennuksen lämmitettävään tilavuuteen.



Kuva 13. Lämmönlähteen putkistopituudet [25, s.8]

4.2.3 Maalämpöpumpun mitoitus

Mitoitettaessa maalämpöpumpun keruupiiriä täytyy tietää rakennuksen lämmitysenergian tarve. Siihen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa rakennuksen rakenteet, kulutetun lämpimän käyttöveden määrä, ilmanvaihdon tarvitseman lämpöenergian määrä, lämpöenergian mahdolliset muut lämmönlähteet sekä rakennuksen sijainti paikkakunta. Huomattava vaikutus lämmönkeruuputkiston mitoituksessa on myös maa- ja kallioperän koostumuksella, rakenteella sekä pohjavesiolosuhteilla. [25, s. 30.]

Rakennuksen lämmönjakojärjestelmän osalta menoveden lämpötilalla on merkittävä vaikutus maalämpöjärjestelmän hyötysuhteeseen ja sitä kautta lämmönkeruupiirin pituuteen. Rakennuksen sähköjärjestelmän osalta mitoitukseseen vaikuttava tekijä on pääsulakkeiden koko ja niiden riittävyys. [25, s. 30.]

Rakennuksen lämmitys- sekä jäähdytystarpeiden ollessa tiedossa, voidaan valita oikean kokoinen maalämpöpumppu sekä mitoittaa muut järjestelmään kuuluvat osat. Mitoituksen kannalta osat, jotka tulee ottaa huomioon, ovat lämmönkeruuputkiston pituus, energiakaivolle poratun reiän syvyys sekä energiakaivojen lukumäärä. Porattujen reikien etäisyyden toisistaan tulee olla riittävän pitkä. Mikäli energiakaivoja hyödynnetään myös käyttöveden lämmitykseen tai tilojen jäähdytykseen, tulee se ottaa huomioon mitoituksessa. Kun mitoitetaan keruuputkistoa, tulee sen pituudessa ottaa huomioon poratun reiän kokonaisuus, eli niin sanottu tehollinen syvyys sekä porareian ja lämpöpumpun välinen etäisyys. Mikäli porataan niin sanottuja vinoreikiä, lasketaan energiakaivojen teholliseksi syvyydeksi ainoastaan se osuus, kun energiakaivojen etäisyys toisistaan on 15 metriä tai enemmän. Pienempi etäisyys aiheuttaa sen, että energiakaivot varastavat toisiltaan lämpöenergiaa, jolloin niiden syvyyttä joudutaan kasvattamaan halutun mitoituksen aikaan saamiseksi. [25, s. 31.]

Maalämpöpumpun tehomitoituksella voidaan vaikuttaa käyttö- ja investointikustannuksiin. Täystehomitoitettu lämpöpumppu kattaa koko kiinteistön lämmitysenergian tarpeen, myös kovimpien pakkasten aikaan. Osateho mitoitettu lämpöpumppu kattaa normaali tilanteessa 60–85 % lämmitystehon tarpeesta, jolloin sen osuus vuosienergiasta on 90–98 %. Kovimpien pakkasten aikaan tarvitaan siis lisälämmön lähde, vaihtoehtoina voi olla esimerkiksi puu, sähkö, öljy tai kaukolämpö. [25, s. 31.]

4.3 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumpulla (IVLP) toiselta nimeltään ulkoilma-vesilämpöpumppulla (UVLP) voidaan ulkoilman lämpöä hyödyntäen lämmittää sekä itse rakennusta että lämmintä käyttövettä. Ilma-vesilämpöpumppuja (kuva 14) hyödynnetään usein sellaisissa kohteissa, joihin ei ole maalämpöjärjestelmän vaatimien lämmönkeruuputkistojen asentaminen mahdollista tai se ei ole ta-

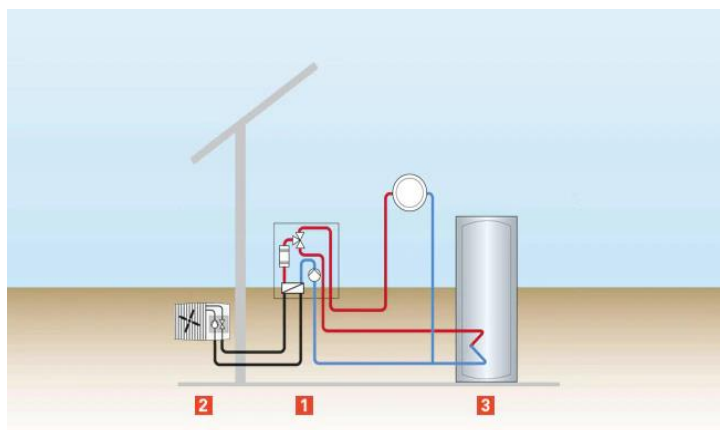
loudellisesti kannattavaa. Ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmä on investointikustannuksiltaan halvempi vaihtoehto verrattuna maalämpöpumpputjärjestelmään. Saatavan ilmaisenergian määrä on ilma-vesilämpöpumpulla kuitenkin pienempi verrattuna maalämpöpumpputtuun. [30.] Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan parhaimmassa tilanteessa saavuttaa jopa yli 50 % säästöt rakennuksen lämmitysenergian kulutuksessa [23, s. 73].



Kuva 14. Ilmavesilämpöpumpputtu [31]

4.3.1 Ilma-vesilämpöpumpputun toimintaperiaate

Ilma-vesilämpöpumpputtu on toimintaperiaatteeltaan samankaltainen kuin muutkin lämpöpumpputtu. Kun verrataan esimerkiksi maalämpöpumpputtua ja ilma-vesilämpöpumpputtua on niiden ero siinä, että ilma-vesilämpöpumpputtu saa tarvitsemansa lämpöenergian ilmasta, kun taas maalämpöpumpputtu hyödyntää maahan varastoitunutta lämpöenergiaa. [10, s. 57.] Kuvassa 15 on esitetty ilma-vesilämpöpumpputun toimintaperiaate



Kuva 15. Ilma-vesilämpöpumpputun toimintaperiaate [32]

Ilma-vesilämpöpumpun ulkoyksikössä (2) sijaitsevan puhaltimen tehtävä on puhaltaa ilmaa höyrystimelle, jossa ulkoilmassa olevaa lämpöenergiaa sitoutuu höyrystyvään kylmäaineeseen. Tämän jälkeen ulkoyksikössä sijaitseva kompressori nostaa kaasuuntuneen kylmäaineen paineen kovemmaksi, jolloin kaasun lämpötila nousee vieläkin korkeammaksi. Ilmavesilämpöpumpun sisäyksikössä (1) sijaitsevassa lauhduttimessa kuuma kaasu lauhtuu takaisin nesteeksi ja luovuttaa siihen varastoituneen lämpöenergian käytettäväksi rakennuksen vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä sekä käyttöveden lämmittämässä (3). [33.]

Nykyisissä inverter-mallin ilma-vesilämpöpumpuissa kompressorin pyörimisnopeuden ohjauksella voidaan säädellä lämpöpumpun tuottamaa lämpötehoa. Tasavirtaohjauksen ansiosta lämpöpumpun hyötysuhde paranee ja kompressorin elinikä kasvaa. [30.]

On olemassa kaksi eri ilma-vesilämpöpumpputyyppeä, split sekä monoblock. Split-ilma-vesilämpöpumppu koostuu kahdesta osasta, sisä- sekä ulkoyksiköstä. Näiden osien välillä lämmönsiirto tapahtuu kylmäaineen avulla. Monoblock-ilma-vesilämpöpumppu sisältää ainoastaan ulkoyksikön, jossa on kaikki lämpöpumpun tarvitsema tekniikka. Monoblock-laitteen ja rakennuksen lämmitysjärjestelmän välisenä lämmönsiirtoaineena käytetään vettä. [30.]

4.3.2 Ilma-vesilämpöpumpun mitoitus

Ilma-vesilämpöpumppu soveltuu parhaiten sellaisiin lämmönjakojärjestelmiin, joissa on matala verkoston menolämpötila. Tällainen järjestelmä on esimerkiksi vesikiertoinen lattialämmitys. Lämpöpumpulla voidaan myös lämmittää vesikiertoista patterilämmitysjärjestelmää, mutta sen teho ja hyötysuhde heikenevät, mitä kuumempaa menovettä se joutuu lämmittämään. Käyttöveden lämmittäminen tuottaa ongelmia ilma-vesilämpöpumpulle silloin, jos on myös tarvetta muulle lämmittämälle, koska lämpimän käyttöveden lämpötila pitää nostaa vähintään 55°C lämpötilaan. Tällaisessa tilanteessa tarvittava loppulämpö katetaan jollakin lisälämmönlähteellä, esimerkiksi sähkövastuksen avulla. [30.]

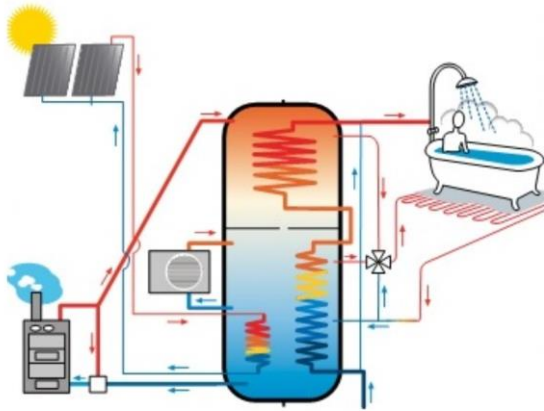
Ilma-vesilämpöpumppu voidaan mitoittaa rakennuksen päälämmönlähteeksi, mutta kovien pakkasten aikaan pumpusta saatava teho heikkenee ja hyötysuhde kärsii. Lisäksi kovimpien pakkasten aikaan on riski, että ilma-vesilämpöpumppu sammuttaa itsensä. Tämän takia ilma-vesilämpöpumpun rinnalla pitää olla toinen lämmöntuottojärjestelmä, jolla voidaan tilanteen niin vaatiessa kattaa koko rakennuksen ja käyttöveden huipputehoa vastaava lämmitystehontarve. Usein varalämmitysjärjestelmänä on lämpöpumpun tai varaajan sähkövastukset, mutta on mahdollista käyttää myös esimerkiksi puuta, öljyä tai kaukolämpöä. [30.]

Ilma-vesilämpöpumpun mitoittamisessa olennaiset tekijät ovat lämmityksen ja käyttöveden tarvitsema huipputeho sekä rakennuksen vuotuinen energiankulutus. Mitoituksessa tulee ottaa huomioon, että -20°C pakkasella ilma-vesilämpöpumppu ei välttämättä tuota kuin puolet siitä lämmitystehosta, mitä se tuottaa $+7^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. Ilma-vesilämpöpumppuja on myös sellaisia, jotka on nimennyt suunniteltu toimimaan kylmemmässä ulkolämpötilassa. Ilma-vesilämpöpumpun alimitoituksesta voi seurata se, että lämpöpumpun sähkövastuksen käyttö kasvaa suureksi, mikä taas nostaa ostettavan energian määrää. [30.]

5 HYBRIDILÄMMITYS

Puhuttaessa hybridilämmitysjärjestelmästä tarkoitetaan sillä kahden tai useamman energialähteen käyttämistä rakennuksen lämmöntuotannossa ja käyttöveden lämmittämässä. Hybridilämmitysjärjestelmissä uusiutuvan energian hyödyntäminen on merkittävässä roolissa. Hybridilämmitysjärjestelmän lämmönlähteet vaihtelevat riippuen saatavilla olevasta lämpöenergiasta. Hybridilämmitysjärjestelmä soveltuu sekä pienten että suurien rakennuksien lämmittämiseen. Hybridilämmitysjärjestelmä koostuu lämmönlähteestä sekä varalämmönlähteestä. Lämmönlähteenä käytetään usein uusiutuvaa energiaa hyödyntävää lämmönlähdettä. Varalämmönlähteen tehtävä on kattaa rakennuksen lämmityksen ja käyttöveden lämmityksen huipputehontarve kovimpien pakkasten aikaan, kun uusiutuvaa energiaa hyödyntävän lämmönlähteen käyttäminen ei ole mahdollista tai se ei ole taloudellisesti kannattavaa. Hybridilämmitysjärjestelmässä lämmönlähteenä on mahdollista käyttää esimerkiksi lämpöpumppujärjestelmiä tai aurinkolämpöä. Varalämmönlähteeksi soveltuu

esimerkiksi, kaukolämpö, öljy- tai puukattila, sähkö tai kaasu. [34, s. 65.] Kuvassa 16 on yksi esimerkki hybridilämmitysjärjestelmästä.



Kuva 16. Hybridilämmitysjärjestelmä [35]

Yllä olevassa hybridilämmitysjärjestelmässä tuotetaan lämpöä auringolla, lämpökattilalla sekä lämpöpumpulla. Kaikki lämpö kerätään hybridivaraajaan, josta se jaetaan rakennuksen ja käyttöveden lämmitykseen.

Hybridilämmitysjärjestelmissä hyvin usein hyödynnetään energiavaraajaa, toiselta nimeltään hybridivaraajaa, jossa eri lämmönlähteillä tuotettua lämpöä säilötään myöhempää käyttöä varten. Energiavaraajan avulla lämpöä saadaan kerättyä talteen silloin, kun sitä on tarjolla, ja käytettyä silloin, kun lämmitykselle on tarvetta. Energiavaraajat suunnitellaan ja mitoitetaan aina kyseiseen hybridilämmitysjärjestelmään sopivaksi. [34, s. 65.]

Automatiikka on hybridilämmitysjärjestelmissä myös todella merkittävässä roolissa. Automatiikan tehtävä hybridilämmitysjärjestelmässä on varmistaa, että lämmitysjärjestelmä käyttää lämmöntuottamiseen sen hetken halvinta energianlähdettä, se ylläpitää sisätiloissa halutun lämpötilan sekä varmistaa, että lämmintä käyttövettä on aina saatavilla. Useiden lämmönlähteiden yhdistäminen vaatii automatiikalta paljon, kaikkien laitteiden automatiikoiden tulee pystyä toimimaan keskenään. Hybridilämmitysjärjestelmien hankinnassa ovat kunnollinen suunnittelu ja toteutus erittäin merkittävässä roolissa. [34, s. 65.]

Tässä opinnäytetyössä syvennytään tarkemmin kaukolämmön ja maalämpöpumpun sekä kaukolämmön ja ilma-vesilämpöpumpun hybridilämmitysjärjestelmiin.

5.1 Kaukolämmön yhdistäminen muihin lämmönlähteisiin

Mitoitettaessa lämpöpumppujärjestelmiä voidaan ne mitoittaa myös osatehoisiksi. Tällä ratkaisulla saadaan aikaan matalammat investointikustannukset kuin täystehomitoitetulla lämpöpumppujärjestelmällä. Kaukolämmön toimiessa lisälämmönlähteenä on etenkin suuremmissa kohteissa mahdollisuus saavuttaa tehtyjen investointien kannalta edullinen lopputulos. Suunniteltaessa kaukolämmön ja lämpöpumpun yhdistävää lämmitysjärjestelmää tulee suunnittelun tavoitteena olevan ratkaisun olla kaukolämmön kannalta toimiva sekä taloudellisesti kannattava. Kaukolämmön ja lämpöpumpun yhdistelmän toiminnassa tulee ottaa huomioon se, että sen tulee parantaa kaukolämmön paluuveden jäähtymää sekä kaukolämmön käytön tulee olla niin tasaista kuin mahdollista. [36, s. 27.]

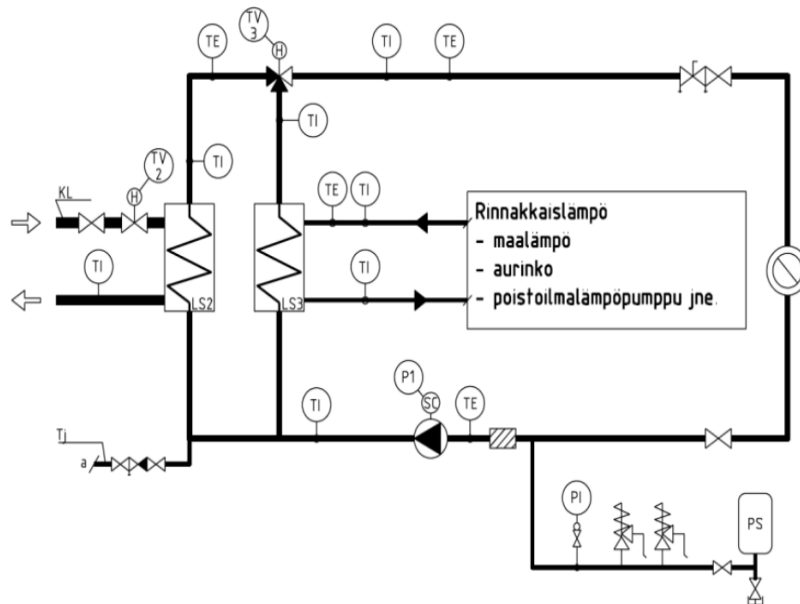
Yhdistelemällä eri lämmitysmuotoja toisiinsa saavutetaan helposti järjestelmän säädön kannalta monimutkaisesti toimivia järjestelmiä, joissa on runsaasti eri komponentteja. Tällä on järjestelmän investointikustannuksiin nostava vaikutus sekä myös tulevaisuuden huoltokustannuksiin lisääntyvän huollontarpeen takia. [36, s. 24.]

Kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän hyötyjä ovat muun muassa se, että rakennuksen lämmittämiseen on mahdollista käyttää useita eri energiamuotoja sekä niiden yhdistelmiä. Hyödyntämällä hukkalämpöä voidaan ostettavan energian määrää pienentää, mutta tarvittaessa voidaan koko rakennuksen lämmitystarve kattaa kaukolämmöllä. Tämä lisää varmuutta rakennuksen lämmittämiseen mahdollisten laiterikkojen aikana. [37.]

5.1.1 Kaukolämmön rinnakkaiskytkentä tilojen lämmityksessä

Mitoitettaessa kaukolämmönjakokeskuksen lämmitysverkoston lämmönsiirrintä tulee se mitoittaa rakennuksen täyden lämmitystehontarpeen mukaan. Ympäristöministeriön asetuksen 4/13 mukaan rakennuksen päälämmitysmuoto on se lämmitysmuoto, jonka avulla katetaan rakennuksen lämmöntarve

täysin. Toimintavarmuuden takaamiseksi tulee kaukolämpö mitoittaa riippuen rakennuksen sijainnista mitoittavan ulkolämpötilan mukaan täydelle mitoitus-
 holle. Mitoittavat ulkolämpötilat on määritelty ympäristöministeriön asetuk-
 sessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Kytettäessä rinnakkais-
 lämmönlähde kaukolämpöjärjestelmän rinnalle lämmitysverkossa tulee kyt-
 kennässä käyttää rinnankytkentää. Rinnankytkennässä lämmitysverkosta pa-
 laavaa vettä ei lämmitetä, ennen kuin se on palannut kaukolämpösiirtimelle.
 Lämmitysverkoston säädössä on mahdollista käyttää esimerkiksi 3-tiesäätö-
 venttiiliä. Kaukolämmönsiirtimessä saattaa olla suuriakin tehon heilahteluita,
 tästä syystä tulee siinä käyttää kahta säätöventtiiliä. [38.] Kuvassa 17 on esi-
 tetty Energiategollisuus ry:n K1/2021-ohjeessa esittämä kytkentä rinnakkais-
 lämmönlähteelle tilojen lämmityksessä.

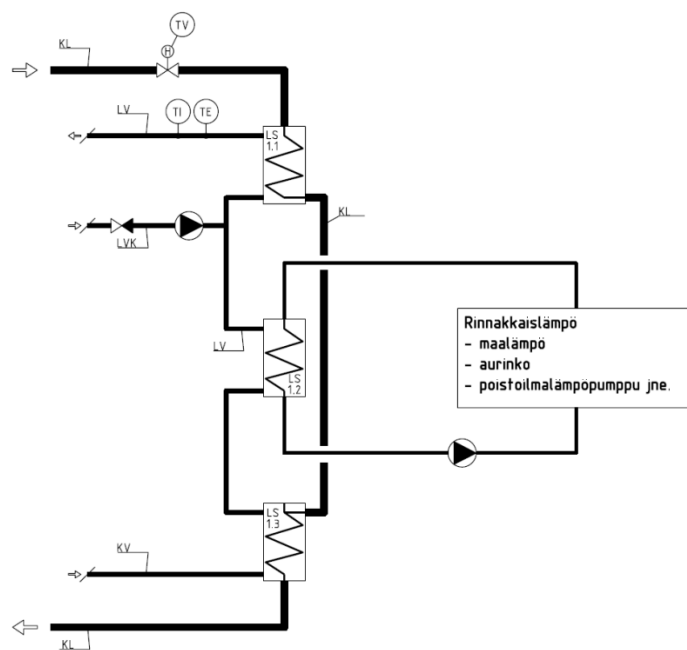


Kuva 17. Rinnakkaislämmönlähteen kytkentä tilojen lämmityksessä [39, s.92]

Ensisijaisesti lämmityksentarve pyritään kattamaan rinnakkaislämmönlähteen
 lämmönsiirtimellä LS3. Mikäli haluttua menovedenlämpötilaa ei saavuteta,
 tuotetaan tarvittava lisälämmitys kaukolämmön lämmönsiirtimen LS2 avulla.
 Mitoitettaessa kaukolämmönsiirtintä LS2 tulee huomioida, että sen tulee kyetä
 tuottamaan kuumempaa vettä, kuin mitä on verkoston menoveden lämpötila.
 [39, s. 92.]

5.1.2 Kaukolämmön rinnakkaiskytkentä käyttöveden lämmityksessä

Kaukolämmön rinnakkaislämmönlähdettä kytkettäessä käyttöveden lämmitykseen, tulee varmistua siitä, että eri lainsäädännöissä määrätyt lämpötila vaatimukset täyttyvät. Lämpötilat on määritetty ympäristöministeriön asetuksessa 1047/2017 sekä sosiaali- ja terveysministeriön oppaassa 2003:1. Mitoituksessa tulee huomioida, että molemmat lämmönsiirtimet LS1.1 ja LS1.3 mitoitetaan täyстeholle mitoitusvirtaaman mukaan. Molemmat lämmönsiirtimet mitoitetaan 50 % teholle. Siirtimen LS 1.3 välisyöttöön saapuvan kaukolämpöveden hyödyntämistä käyttöveden esilämmitykseen tulee ottaa huomioon mitoitettaessa järjestelmää. Siirtimet tulee varustaa kahdella säätöventtiilillä kuormituksen huippujen tasaamiseksi. Rinnakkaislämmönlähteen käyttäminen käyttöveden kiertojohdon esilämmittämiseen on kiellettyä. [38.] Kuvassa 18 on esitetty Energiateollisuus ry:n K1/2021-ohjeessa esittämä kytkentä rinnakkaislämmönlähteelle käyttöveden lämmityksessä.



Kuva 18. Rinnakkaislämmönlähteen kytkentä käyttöveden lämmityksessä [39, s.92]

Ensisijaisesti käyttöveden lämmitystarve pyritään kattamaan rinnakkaislämmönlähteen lämmönsiirtimellä LS1.2. Lämpötilan säätöä ohjataan lämpötilanturilta TE saatavan mittaustuloksen mukaan. Mikäli tavoiteltua käyttöveden lämpötilaa ei saavuteta, ohjaa säätökeskus TV-säätöventtiiliä lämpötilanturilla TE mittaustuloksen mukaan, jotta käyttöveden lämpötilan asetusarvo saavutetaan. [39, s. 92.]

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

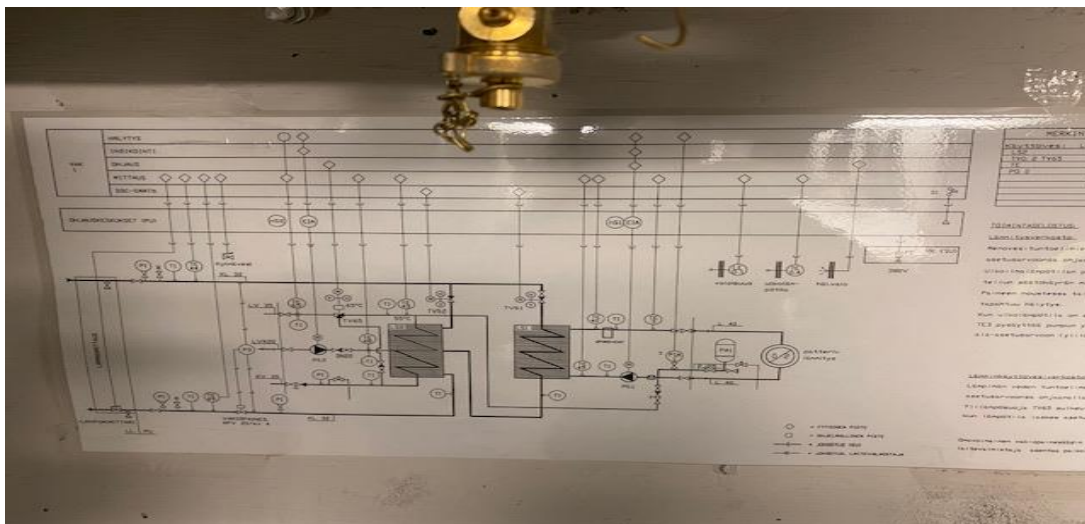
Tässä opinnäytetyössä käytettävät tutkimusmenetelmät ovat kvantitatiivisia. Tutkimuksen aluksi perehdytään aiheeseen käyttämällä hyväksi kirjallisia sekä sähköisiä lähteitä. Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia, millainen vaikutus kahdella eri hybridilämmitysjärjestelmällä on taloyhtiön lämmitysjärjestelmän ostoenergiankulutukseen.

Lisäksi on tarkoitus tutkia, ovatko hybridilämmitysjärjestelmä investoinnit taloyhtiölle kannattavia ja mikä niiden takaisinmaksuaika olisi. Tutkimuksessa käytettävät ohjelmistot ovat Magicad Room sekä IDA ICE. Magicad Room -ohjelman avulla rakennuksista tehdään 3D-malli, jota hyödyntäen dynaamisella IDA ICE -ohjelmistolla simuloidaan rakennuksien vuotuinen energiankulutus eri lämmitysjärjestelmä vaihtoehdoilla.

Lisäksi selvitetään hybridilämmitysjärjestelmien investointikustannukset kysymällä valmistajilta tarjoukset kyseisistä järjestelmistä. Vuotuisten rahallisten säästöjen ja investointikustannusten avulla lasketaan investointien takaisinmaksuaika.

7 TUTKITTAVA KOHDE AS. OY MIKKELIN MARSALKANRANTA

Opinnäytetyön tutkittava kohde on kahdesta rivitalosta koostuva taloyhtiö Mikkelissä. Taloyhtiössä on 15 asuntoa, joiden yhteen laskettu pinta-ala on 1394 m². Taloyhtiön molemmat talot on rakennettu vuonna 2004. Taloyhtiön lämmitysmuoto on tällä hetkellä kaukolämpö ja lämmönjakojärjestelmä on vesikiertoinen patterilämmitys. Kylpyhuoneissa lämmitys tapahtuu sähköisellä lattialämmityksellä. Ilmanvaihtojärjestelmänä molemmissa taloissa on koneellinen poistoilmanvaihto. Kuvassa 19 on esitetty taloyhtiön nykyisen kaukolämmönjakokeskuksen kytkentäkaavio.



Kuva 19. Nykyisen lämmönjakokeskuksen kytkentäkaavio

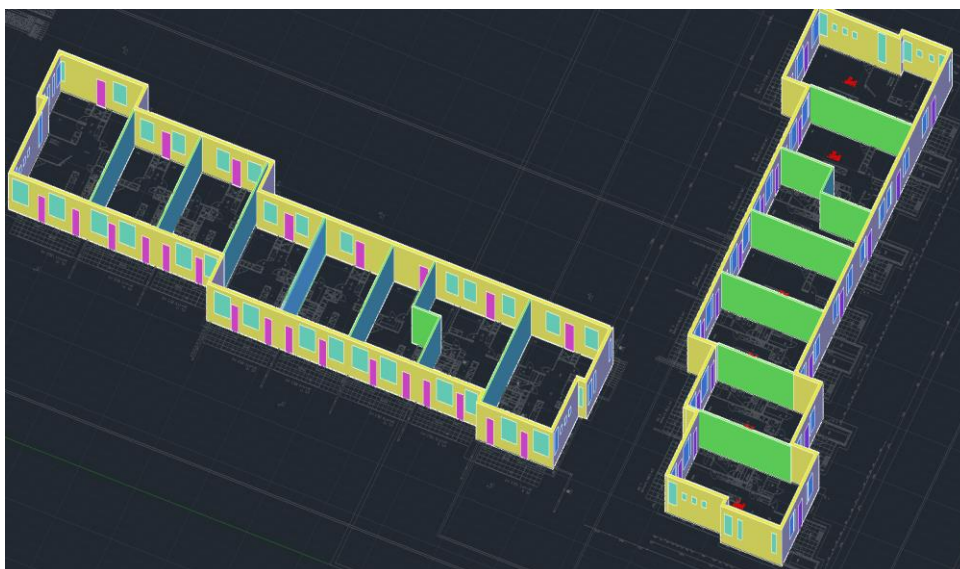
Nykyinen käyttövedenlämmönsiirrin on teholtaan 180 kW ja lämmitysjärjestelmän lämmönsiirrin 80 kW. Patteriverkoston mitoituslämpötilat ovat 70/40 °C. Kaukolämpölaitteiston tekninen käyttöikä on 20–25 vuotta. Taloyhtiön nykyinen kaukolämpövaihdin on alkuperäinen vuodelta 2004, joten se on tällä hetkellä 19 vuotta vanha ja alkaa olla teknisen käyttöikänsä loppupuolella.

8 KOHTEEN SIMULOINTI

Tässä tutkimuksessa eri lämmöntuottojärjestelmien simulointiin käytettiin dynaamisesta IDA Indoor Climate and Energy -ohjelmaa. Kyseisen ohjelman on kehittänyt EQUA Simulation AB. Ohjelman avulla voidaan mallintaa tutkittava rakennus sekä siihen kuuluvat eri järjestelmät. Ohjelmaa hyödyntämällä voidaan tarkastella sitä, miten rakennus kuluttaa energiaa sekä millainen on sen lämpötase. Ohjelmasta saatujen tulosten on todettu olevan paikkansa pitäviä verrattuna mitattuihin tuloksiin. [40.]

8.1 Tutkittavan kohteen 3D-malli

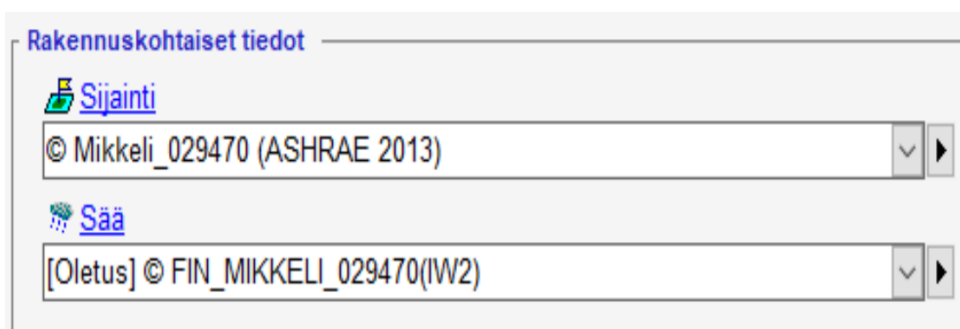
Ennen tutkimuskohteen simuloimista rakennettiin kohteesta 3D-malli (kuva 20). Käytössä oli ainoastaan arkkitehdiltä saadut 2D-pohjakuvat. 3D-mallin luomiseen käytettiin Magicad Room -ohjelmaa. Sen avulla mallinnettiin rakennuksen rakenteet, ikkunat sekä ovet. Tämän jälkeen, jotta rakennuksen 3D-mallin sai vietyä IDA ICE -ohjelmaan, täytyi se tallentaa IFC-muodossa. IFC-tiedoston avulla voidaan rakennuksesta luotua tietomallia hyödyntää myös muissa ohjelmistoissa. [41.]



Kuva 20. Magicad Room -ohjelmalla luotu 3D-malli tutkittavasta kohteesta

8.2 Projektin perustaminen IDA-ICE -ohjelmaan

Tutkittava kohde on rivitaloyhtiö, joten IDA ICE Finland -lokalisaatiosta valittiin käyttötarkoituusluokka 1d. Tutkittava kohde sijaitsee Mikkelissä, joten rakennuksen sijainniksi asetettiin IDA ICE -ohjelmaan Mikkelin (kuva 21). Mikkelin kaupunki sijaitsee säävyöhykkeellä 2, jolloin mitoittava ulkolämpötila on -29°C . IDA ICE -ohjelman käyttämäksi säätiedostoksi asetettiin myös Mikkelin säätiedosto.



Kuva 21. Tutkittavan kohteen sijainti ja valittu säävyöhyke

Rakennuksen rakenteiden osalta saatiin leikkauskuvista määritettyä ulkoseinien sekä ylä- ja alapohjan rakenteet. Nämä materiaalit ja niiden paksuudet syötettiin IDA ICE -ohjelmaan, joka laski rakenteille U-arvot. Taulukossa 1 on esitetty tutkimuksessa käytetyt rakenteiden U-arvot.

Taulukko 1. Rakenteiden U-arvot

Rakenne	U-arvo	
Ulkoseinä	0,2	W/m ² K
Yläpohja	0,12	W/m ² K
Alapohja	0,19	W/m ² K
Ikkuna	1,4	W/m ² K
Ovi	1,4	W/m ² K

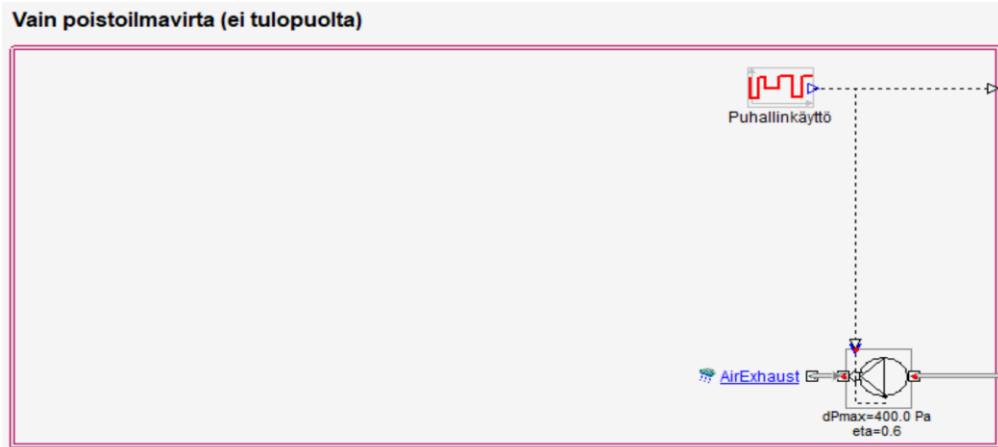
Viivamaisten kylmäsiltojen lisäkonduktanssit määritettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman Energiatehokkuus Rakennuksen energiankulutus ja lämmitystehontarpeenlaskenta -ohjeesta luvusta 3 taulukosta 3.1 [7, s. 19]. Huonelämpötila, valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkönkulutus sekä ihmisten aiheuttamat lämpökuormat ovat ympäristöministeriön asetuksen 1010/2017 käyttötarkoitusluokka 1:n mukaiset [42, s. 6–7]. Rakennuksen vaipan ilmatii-veyttä ei ole mitattu, joten tässä tutkimuksessa rakennuksen vaipan ilmanvuo-
tolukuna q_{50} käytettiin arvoa 4 m³/ (h m²) [42, s. 9].

Lämpimän käyttöveden kiertojohton, varastoinnin ja jakojohdon lämpöhäviöt laskettiin siihen suunnitellulla Excel-laskurilla (kuva 22).

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve vuodessa	35 kWh/m ² a	Asetuksesta 1010/2017
Lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve	$Q_{kv,netto}$ 50365 kWh a	HUOM! Mikäli huoneisto, niin 4200 kWh on maksimi
Jakojohton lämpöhäviö vuodessa	2014,6 kWh/a	
Jakojohton lämpöhäviö pinta-alaa kohti	0,16 W/m ²	
Kiertojohton, varastoinnin ja jakojohdon häviöt yhteensä	1,16 W/m ²	Jakojohton häviön osuus 13,8 %
0 % to zones	0,0 W/m ²	(kierto+varastointi)
25 % to zones	0,3 W/m ²	(kierto+varastointi)
50 % to zones	0,6 W/m ²	(kierto+varastointi)
	0,9 W/m ²	(kierto+varastointi)
	73 %	To zones

Kuva 22. Lämpimän käyttöveden kiertojohton, varastoinnin ja jakojohdon lämpöhäviöt

Ilmanvaihdon poistoilmavirta määritettiin ympäristöministeriön asetuksen 1010/2017 mukaisesti; poistoilmavirta on käyttötarkoitusluokassa 1 0,4 dm³/ (s m²) [42, s. 6]. Ilmanvaihtojärjestelmä on IDA ICE -ohjelmassa oletuksena koneellinen tulo- ja poistoilmavaihto, joten se piti muuttaa koneelliseksi poistoilmavaihdoksi. Kuvassa 23 on havainnollistettu koneellinen poistoilmavaihtojärjestelmä IDA ICE -ohjelmassa.



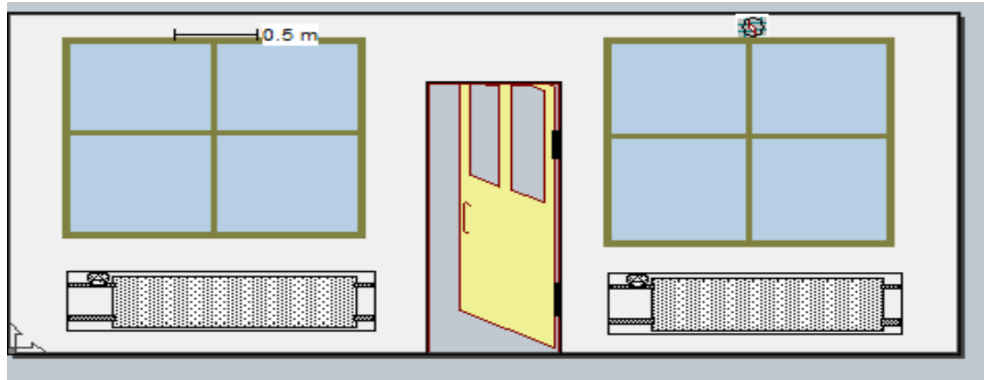
Kuva 23. Koneellinen poistoilmavaihtojärjestelmä IDA ICE-ohjelmassa

Projektin asetusten määrittämisen jälkeen, tuotiin luotu IFC-malli IDA ICE -ohjelmaan, jonka jälkeen sille määritettiin vyöhykkeet. Tässä tutkimuksessa jokainen asunto ja kylpyhuone ovat omia vyöhykkeitä. Tämä siitä syystä, että asunnoissa lämmönluovutustapa on vesikiertoinen patterilämmitys ja kylpyhuoneissa sähköinen lattialämmitys. Kuvassa 24 on esitetty, miltä Magicad-Room-ohjelmalla luotu 3-D malli näyttää IDA ICE -ohjelmassa.



Kuva 24. Tutkittavasta kohteesta luotu 3-D malli IDA ICE -ohjelmassa

Seuraava vaihe tutkimuksessa oli käydä lisäämässä jokaiseen määritettyyn vyöhykkeeseen vyöhykekohtaiset lämmityslaitteet eli tässä tapauksessa kaikkiin muihin vyöhykkeisiin vesikiertoiset lämmityspatterit paitsi kylpyhuoneisiin. Koska tutkittavassa kohteessa on koneellinen poistoilmavaihto, täytyi ulkoseiniin lisätä myös korvausilmareitit. Kuvassa 25 on havainnollistettu, miltä lämmityslaitteet ja korvausilmareitit näyttävät IDA ICE -ohjelmassa.



Kuva 25. Vyöhykekohtaiset lämmityslaitteet ja korvausilmareitti

8.3 Kohteen lämmitystehontarve

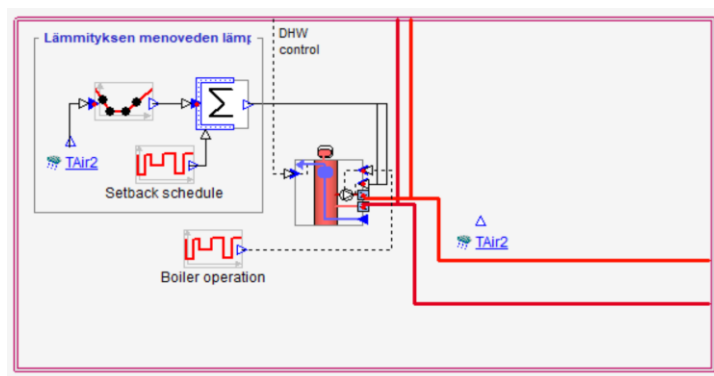
Kohteen mallintamisen ja asetusten määrittämisen jälkeen tutkimuksen seuraava vaihe oli selvittää tutkittavan kohteen lämmitystehontarve. Tämä saatiin selville IDA ICE -ohjelman lämmitystarve simulaation (kuva 26) avulla.



Kuva 26. Lämmitystehontarve

8.4 Lämmitysmuotona kaukolämpö

Ensimmäinen tutkittava lämmitysenergianlähde oli taloyhtiössä tällä hetkellä lämmönlähteenä toimiva kaukolämpö. Jotta simulointi saatiin suoritettua, täytyi IDA ICE -ohjelman Primäärijärjestelmä-valikosta vaihtaa lämmitysmuodoksi kaukolämpö. Lämmitysverkoston lämpötilana käytettiin kohteeseen alun perin suunniteltua 70/40°C. Kuvassa 27 on havainnekuva tutkittavan kohteen kaukolämpöjärjestelmästä IDA ICE -ohjelmassa.



Kuva 27. Lämmitysmuotona kaukolämpö

8.5 Lämmitysmuotona maalämpö ja kaukolämpö

Toisena tässä opinnäytetyössä tutkittavana lämmitysenergian lähteenä oli maalämmön ja kaukolämmön yhdistävä hybridijärjestelmä. Opinnäytetyön tilaajan toiveesta käsiteltiin tässä opinnäytetyössä osatehomitoitettua maalämpöjärjestelmää. Sopivan maalämpöpumpun ja energiakaivojen mitoituksessa hyödynnettiin laitevalmistaja Thermia Oy:n mitoitusohjelmaa. Maalämpöpumpuksi valittiin Thermia Mega M, jonka tuottama lämmitysteho on mitoittavassa ulkolämpötilassa -29°C 39.9 kW (kuva 28). Vuotuinen hyötysuhde (SPF) on 3.48.

Vuotuinen hyötysuhde (SPF)	3.48	
Tehontarve MUT	65.3	kW
Tarvittava lisälämpöteho	25.4	kW
Lisälämpöteho saatavilla	0	kW
Lämpöpumpun teho MUT:lla	39.9	kW

Kuva 28. Valitun maalämpöpumpun mitoitustiedot mitoitusohjelmassa

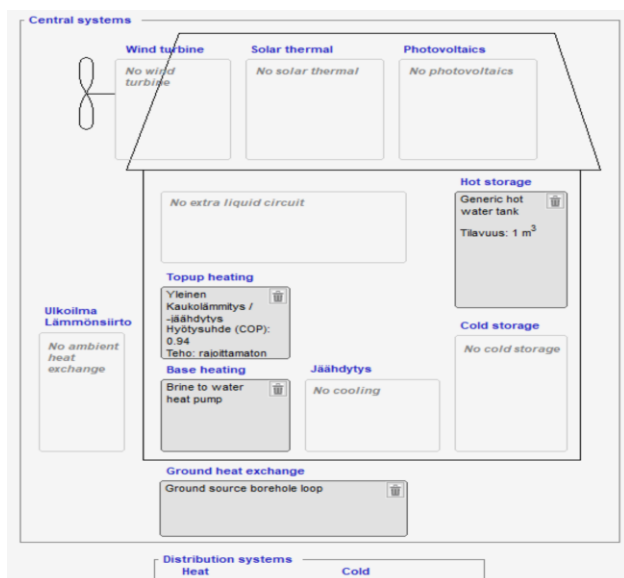
Energiakaivojen tarvittava syvyys on 1323 metriä. Energiakaivokenttä koostuu 7 energiakaivosta, jotka ovat 189 metriä syviä. Keruuliuksen maksimilämpötila on 5 °C ja minimilämpötila -1,9°C. Energiakaivoista saatava teho on laskettu 24 W/m:iin. Energiaa energiakaivoista saadaan 107 kWh/m. Kuvassa 29 on kuvakaappaus energiakaivojen mitoitusohjelmasta.

Keruuliuos Max (°C)	5	°C
Keruuliuos Min (°C)	-1.9	°C
Aktiivinen energiakaivon syvyys	189	m
Energiakaivojen lukumäärä	7	
Asetettu teho MUT:lla	24	W/m
Asetettu energia	107	kWh/m

Kuva 29. Energiakaivojen mitoitus

Jotta maalämmön ja kaukolämmön yhdistävän hybridijärjestelmän simulointi oli mahdollista, täytyi lämmitysjärjestelmä muuttaa IDA ICE -ohjelmassa. Tämä tapahtui valitsemalla Primäärijärjestelmä-valikosta ESBO-PLANT, joka mahdollistaa erilaisten lämmitysmuotojen yhdistämisen toisiinsa. Tämän jälkeen syötettiin mitoitusohjelmasta saadut tiedot IDA ICE -ohjelmaan, joka

laski taloyhtiön vuotuisen ostoenergiankulutuksen käyttäessä kyseistä hybridilämmitysjärjestelmää. Kuvassa 30 on esitetty, miltä maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmä näyttää IDA ICE -ohjelmassa.



Kuva 30. Maalämpö-kaukolämpö hybridilämmitysjärjestelmä

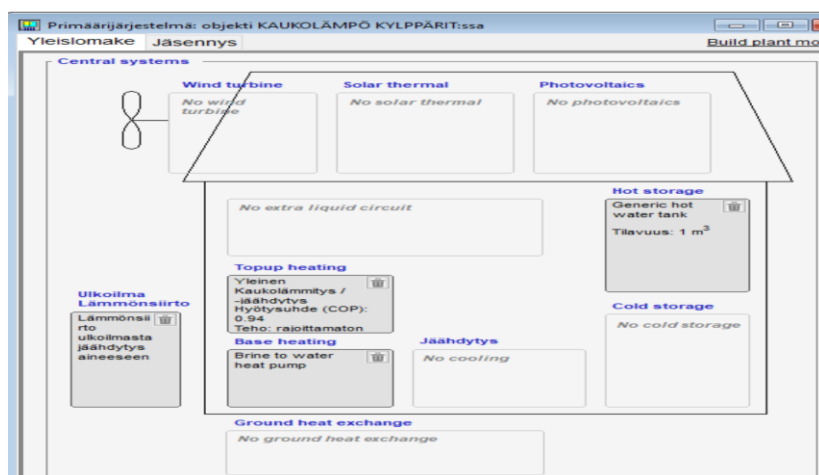
8.6 Lämmitysmuotona ilma-vesilämpöpumppu ja kaukolämpö

Kolmas tutkittava lämmitysenergianlähde oli ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön yhdistävä hybridijärjestelmä. Tilaajan toiveesta myös ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä mitoitettiin osatehoisena. Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmäksi valittiin Jäspi Basic Split 48 kW -ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä, joka koostuu 3 x 16 kW ulkoyksiköstä ja yhdestä ohjausyksiköstä. Alla olevassa kuvassa 31 nähdään kyseisen ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän tekniset tiedot.

Tekniset tiedot Jäspi Basic Split		32	36	48	64	80
Ulkoyksiköt / kpl x teho		2 x 16 kW	3 x 12 kW	3 x 16 kW	4 x 16 kW	5 x 16 kW
Tuotenumero		T000856	T000860	T000857	T000877	
Mitat K x L x S / kpl	mm	1300 x 970 x 370	845 x 970 x 370	1300 x 970 x 370	1300 x 970 x 370	1300 x 970 x 370
Ulkoyksiköiden välinen asennusetäisyys	mm	300				
Paino / kpl	kg	105	74	105	105	105
Teho -7/35 °C / kpl *	kW	12,1	9	12,1	12,1	12,1
SCOP lattia/patterilämmitys **		3,68/2,90	3,63/2,85	3,68/2,90	3,68/2,90	3,68/2,90
Kylmäainemäärä (R410A) / kpl	kg	4,0	2,9	4,0	4,0	4,0
Kylmäaineputken koko		3/8", 5/8"				
Kylmäaineputken max. pituus	m	15				
Alin toimintalämpötila	°C	-20				
Max. veden lämpötila	°C	58				
Energialuokka, järjestelmä 35/55 °C		A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++
Sulakekoko	A	2x25	3x25	3x25	3x25 + 1x25	3x25 + 2x25
Varusteet toimituksen mukana		2/3/4/5 kpl Splitbox kuumakaasuvaihdin, 2(3) kpl Latauspumppu, 2/3/4/5 kpl Eristetty kondenssivedenpoistoputki 3m sis. jälkilämmityskaapeli, 2/3/4/5 kpl Maateline kuumasinkitty säätöjaloilla, 1 kpl MCU 40 ohjausautomaatiikka				

Kuva 31. Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän tekniset tiedot

Kyseisestä kuvasta huomataan, että yhden ilma-vesilämpöpumpun ulkoyksikön lämmitysteho on 16 kW ja vuotuinen hyötysuhde SCOP patterilämmityksellä 2,90. Kolmen ulkoyksikön yhteenlaskettu lämmitysteho on siis 48 kW. Jotta ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridijärjestelmä saatiin simuloitua IDA ICE -ohjelmalla, täytyi lämmitysjärjestelmä muokata Primäärijärjestelmä-valikosta ESBO PLANT -toiminnolla. Tämän jälkeen syötettiin ohjelmaan lämpöpumpun teho ja hyötysuhde. Kuvassa 32 on havainnollistettu, miltä kaukolämmön ja ilma-vesilämpöpumpun hybridijärjestelmä näyttää IDA ICE -ohjelmassa.



Kuva 32. Ilma-vesilämpöpumppu-kaukolämpö-hybridijärjestelmä

9 TULOKSET

9.1 Lämmitystehontarve

Ensimmäinen vaihe tutkimuksessa oli selvittää taloyhtiön lämmitysjärjestelmän huipputehontarve. Alla olevassa kuvassa 33 on esitetty simulaation tulokset.

Ostoenergia	
Meter	Tarve, kW
■ Valaistus, kiin...	0.0
■ Jäähdytys	0.0
■ LVI sähkö	1.251
■ Sähkölämmity...	6.268
■ Lämmitys, ka...	61.08
■ LKV, kaukolä...	6.922
■ Laitteet, asukas	0.0

Kuva 33. Lämmitystehontarve

Kuvasta 33 nähdään, että vesikiertoisella lämmitysjärjestelmällä katettavan tilojen lämmityksen huipputehontarve oli tammikuussa kovimpien pakkasten aikaan 61,08 kW ja käyttöveden lämmittämisen huipputehontarve 6,92 kW. Yhteensä tutkittavan kohteen vesikiertoisella lämmitysjärjestelmällä katettava huipputehontarve oli 68 kW. Sähköisen lattialämmityksen tehontarve oli 6,27 kW.

9.2 Kaukolämpö

Ensimmäinen simuloitu lämmitysjärjestelmä oli taloyhtiössä tällä hetkellä lämmitysmuotona toimiva kaukolämpö. Alla olevassa kuvassa 34 nähdään taloyhtiön vuosittainen ostoenergiankulutus lämmitysmuodon ollessa kaukolämpö.

Meter	Yhteensä, kWh	m2 kohti, kWh/m2	Tarve, kW	Kustannus	CO2-päästöt, kg	Kokor energ kW
■ Valaistus, kiin...	7419.8	5.203	0.847			8903.
■ Jäähdytys	0.0	0.0	0.0			0.0
■ LVI sähkö	10814.9	7.584	1.248			1297.
■ Sähkölämmity...	20988.2	14.72	6.268			2518.
■ Lämmitys, ka...	14404...	101.0	56.22			7202.
■ LKV, kaukolä...	60638.0	42.52	6.922			3031.
■ Laitteet, asukas	22254.0	15.61	2.541			2670.
Yhteensä	26615...	186.6	74.05	0.0	0.0	1761.

Kuva 34. Taloyhtiön ostoenergiankulutus lämmitysmuotona kaukolämpö

Taloyhtiön tilojen lämmityksen osuus kaukolämmönkulutuksesta oli 144 040 kWh ja käyttöveden lämmityksen osuus 60 638 kWh vuodessa. Yhteenlaskettu kaukolämmönkulutus oli vuodessa 204 678 kWh.

9.3 Maalämpö-kaukolämpöhybridi

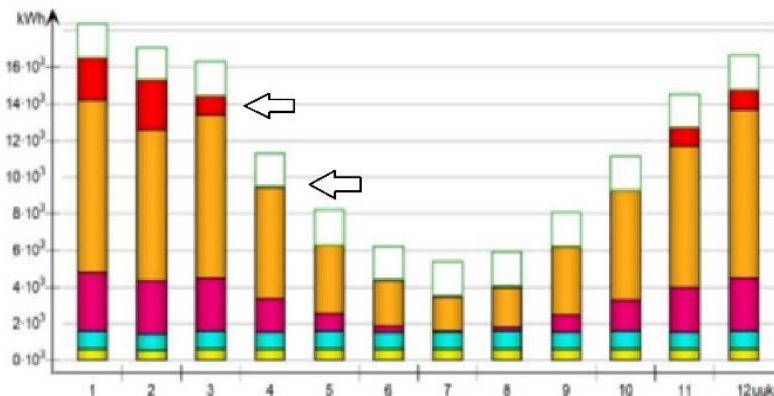
Ensimmäinen simuloitu hybridijärjestelmä oli maalämmön ja kaukolämmön yhdistelmä. Alla olevassa kuvassa 35 nähdään taloyhtiön vuosittainen ostoenergiankulutus lämmitysmuodon ollessa maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmä.

Meter	Yhteensä, kWh	m2 kohti, kWh/m2	Tarve, kW	Kustannus	CO2-päästöt, kg	Kokor energ kW
Valaistus, kiin...	7419.8	5.203	0.847			8903.
LVI sähkö	10811.3	7.581	1.266			1297.
Sähkölämmity...	20745.9	14.55	6.268			2489.
MLP-sähkö	68772.0	48.23	14.51			
Lämmitys, ka...	6567.9	4.606	20.57			3284.
Laitteet, asukas	22254.0	15.61	2.541			2670.
CHP tuotto	0.0	0.0	0.0			0.0
Yhteensä	13657...	95.78	46.0	0.0	0.0	7676.

Kuva 35. Vuotuinen ostoenergiankulutus maalämpö-kaukolämpöhybridijärjestelmä

Kuvasta 35 nähdään, että maalämpöpumpun käyttämän sähköenergian määrä oli 68772 kWh vuodessa ja kaukolämmöllä katettavan lisälämmityksen osuus oli 6567,9 kWh vuodessa. Tuloksista voidaan huomata, että lisälämmitystehon tuottamiseen käytetyn kaukolämpöenergian määrä oli todella vähäinen maalämmön ja kaukolämmönhybridijärjestelmässä. Alla olevassa kuvassa 36 on maalämmön ja kaukolämmönhybridijärjestelmän kuukausittainen ostoenergiankulutus.

Kuukausittainen ostoenergiankulutus



Kuva 36. Maalämpö-kaukolämpöhybridin kuukausittainen ostoenergiankulutus

Punaiset palkit kuvaavat kaukolämmön osuutta ostoenergiankulutuksesta. Tumman keltainen palkki taas kuvaa maalämpöpumpun sähköenergiankulutusta. Kuvasta voidaan huomata, että maalämpöpumpulla voidaan kattaa taloyhtiön lämmitystehontarve seitsemän kuukauden ajalla vuodessa, ja kaukolämpöä joudutaan käyttämään lisälämmitystehon tuottamiseen viitenä kuukautena vuodesta.

9.4 Ilma-vesilämpöpumppu-kaukolämpöhybridi

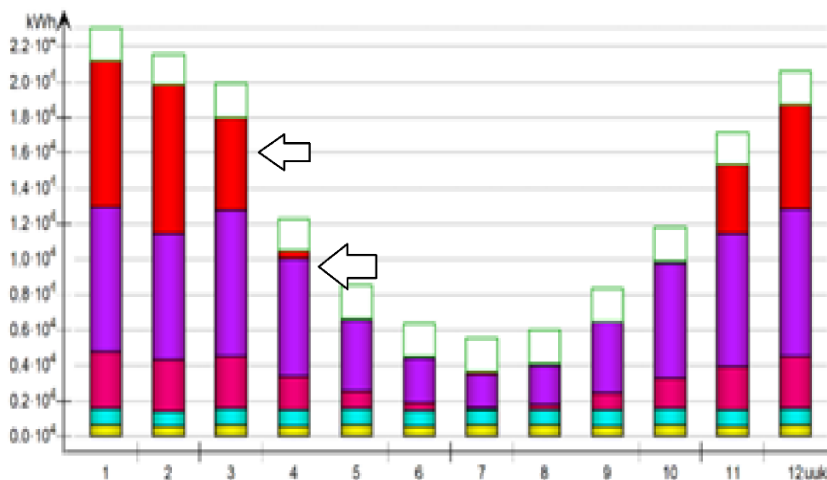
Toinen simuloitu hybridijärjestelmä oli ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön yhdistelmä. Alla olevassa kuvassa 37 nähdään taloyhtiön vuosittainen ostoenergiankulutus lämmitysmuodon ollessa ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridijärjestelmä.

Meter	Yhteensä, kWh	m2 kohti, kWh/m2	Tarve, kW	Kustannus	CO2-päästöt, kg	Kokor energ kW
Valaistus, kiin...	7419.8	5.203	0.847			8903.
LVI sähkö	10848.8	7.608	1.331			13018
Sähkölämmity...	20726.8	14.53	6.268			24872
Vilp sähkö	52406.0	36.75	10.36			
Lämmitys, ka...	53219.8	37.32	47.58			26609
Laitteet, asukas	22254.0	15.61	2.541			26704
CHP tuotto	0.0	0.0	0.0			0.0
Yhteensä	16687...	117.0	68.93	0.0	0.0	10010

Kuva 37. Vuotuinen ostoenergiankulutus ilma-vesilämpöpumppu kaukolämpöhybridi

Kuvasta 37 nähdään, että ilma-vesilämpöpumpun käyttämä sähköenergian määrä oli 52406 kWh vuodessa ja lisälämmitystehon tuottamiseen käytettävän kaukolämpöenergian määrä 53219,8 kWh vuodessa. Kuvassa 38 on ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmönhybridijärjestelmän kuukausittainen ostoenergiankulutus.

Kuukausittainen ostoenergiankulutus



Kuva 38. Ilma-vesilämpöpumppu-kaukolämpöhybridin kuukausittainen ostoenergiankulutus

Punaiset palkit kuvaavat kaukolämmön osuutta vuotuisesta ostoenergiankulutuksesta. Violetit palkit taas kuvaavat ilma-vesilämpöpumpun kuluttaman sähköenergian osuutta vuotuisesta ostoenergiankulutuksesta. Kuvasta 38 voidaan huomata, että ilma-vesilämpöpumpulla voitiin kattaa taloyhtiön lämmitystehon tarve kuuden kuukauden ajalla vuodessa, ja kaukolämpöä jouduttiin käyttämään lisälämmitystehon tuottamiseen kuutena kuukautena vuodesta. Kuvasta voidaan myös huomata, että tarvittavan kaukolämpöenergian määrä oli ilma-vesilämpöpumpujärjestelmällä huomattavasti suurempi kuin mitä maalämpöjärjestelmällä. Tämä johtuu siitä, että ilma-vesilämpöpumpun hyötysuhde heikkenee merkittävästi kovemmillä pakkasilla ja pakkasen ollessa niin kova, että ulkoilman ja kylmäaineen lämpötilaeroa ei ole, ilma-vesilämpöpumppu sammuttaa itsensä.

9.5 Ostoenergiankulutuksen vertailu

Simuloinnin jälkeen voidaan verrata eri lämmitysjärjestelmillä taloyhtiön ostoenergiankulutusta. Taulukossa 2 on eritelty jokaisen eri lämmitysmuodon vuosittainen ostoenergiankulutus.

Taulukko 2. Vuosittainen ostoenergiankulutus eri lämmitysjärjestelmillä

Kulutus MWh/a	KL	MLP+KL	VILP+KL
Valaistus	7,5	7,5	7,5
LVI-sähkö	11	11	11
Sähkölämmitys, lattia	21	21	21
Asukaslaitteet	22	22	22
Kaukolämpö	205	7	54
MLP-sähkö	0	69	0
VILP-sähkö	0	0	53
Yhteensä	266,5	137,5	168,5

Yllä olevasta taulukosta 2 voidaan huomata, että valaistuksen, LVI-sähkön, lattialämmityksen sekä asukaslaitteiden ostoenergiankulutus oli kaikissa järjestelmissä sama. Suurin säästö ostoenergiankulutuksessa saavutettiin maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysratkaisussa, jossa ostoenergiankulutuksen määrä oli 129 MWh pienempi kuin pelkällä kaukolämmöllä lämmittäessä. Myös ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridilämmitysratkaisulla saavutettiin merkittäviä säästöjä ostoenergiankulutukseen, ero pelkkään

kaukolämpöön lämmöntuottojärjestelmänä oli 98 MWh/a. Tästä voidaan todeta, että uusiutuvaa energiaa hyödyntävillä hybridilämmitysratkaisuilla pystytään vähentämään merkittävästi rakennuksen ostoenergiankulutusta.

10 INVESTOINTI- JA KÄYTTÖKUSTANNUKSET

Seuraava vaihe tutkimuksessa oli selvittää lämpöpumppujärjestelmien investointikustannukset sekä laskea vuotuiset käyttökustannukset IDA ICE -simulointiohjelmasta saatujen vuotuisten ostoenergiankulutusten perusteella. Lämpöpumppuvalmistajilta pyydettiin tarjoukset kyseisistä lämpöpumppujärjestelmistä. Käyttökustannusten laskennassa käytettiin kaukolämmön ja sähköenergian hintana tämänhetkisiä markkinahintoja.

10.1 Investointikustannukset maalämpöjärjestelmä

Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset muodostuvat itse maalämpöpumpusta, energiakaivojen poraamisesta ja putkittamisesta, LVI-tarvikkeista, LVI-asennustyöstä, sähkötarvikkeista, sähkötöistä, automaatiotarvikkeista sekä automaatiotöistä. Thermia Mega M -maalämpöpumpusta ja lämmitys- ja käyttövesivaraajista saatiin tarjous Thermia Oy:ltä, joka on 36 000 € alv 24 % [52]. Energiakaivojen poraamisen ja putkittamisen hinnan arviointiin käytettiin Innoair Oy:n verkkosivuilta löytyvää hintaa, joka on 44,50 €/m [43]. Tämä hinta pitää sisällään porauksesta aiheutuvat kustannukset sekä tarvittavat materiaalikustannukset. Muiden tarvittavien töiden ja tarvikkeiden kustannukset arvioitiin yhdessä LVI- ja sähköurakoitsijan kanssa. Kaikki hinnat ovat alv 24 % hintoja. Taulukossa 3 on eritelty maalämpöjärjestelmän investointikustannukset. Maalämpöjärjestelmän investointikustannuksiksi taloyhtiöön arvioitiin 122873 €.

Taulukko 3. Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset

Maalämpöjärjestelmä	Yhteensä/€
Maalämpöpumppu ja varaajat	36000
Energiakaivojen poraus	58873
LVI-tarvikkeet	10000
Sähkötarvikkeet	3000
Automaatiotarvikkeet	3000
LVI-työt	8000
Sähkötyöt	2500
Automaatiotyöt	1500
Yhteensä	122873

10.2 Investointikustannukset ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä

Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmässä investointikustannukset muodostuvat hyvin pitkälti samoista tekijöistä, kuin maalämpöjärjestelmässä. Ero on siinä, että ilma-vesilämpöpumppujärjestelmässä ei tarvitse porata energiakaivoja, jolloin merkittävä kustannuserä jää pois. Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä on investointikustannuksiltaan huomattavasti halvempi vaihtoehto verrattuna maalämpöjärjestelmään. Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän osalta saatiin Kaukora Oy:ltä tarjous Jäspi Basic Split 48 kW -ilma-vesilämpöpumppujärjestelmästä, johon sisältyy asennustelineet, ulkoyksiköt, splitboxit, pumput, sulatusohjaimet sekä lämpöpumpun ohjain. Tarjoukseen sisältyy myös lämmityksen 270 litran puskurivaraaja sekä 750 litran käyttövesivaraaja. Tarjouksen hinta on 33 480 € alv 24 %. [53.] Muiden tarvittavien töiden ja tarvikkeiden kustannukset arvioitiin yhdessä paikallisen LVI- ja sähköurakoitsijan kanssa. Alla olevassa taulukossa 4 on eritelty ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän investointikustannukset. Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän investointikustannuksiksi taloyhtiöön arvioitiin 61480 €.

Taulukko 4. Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän investointikustannukset

Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä	Yhteensä/€
Ilma-vesilämpöpumppu	33480
LVI-tarvikkeet	10000
Sähkötarvikkeet	3000
Automaatiotarvikkeet	3000
LVI-työt	8000
Sähkötyöt	2500
Automaatiotyöt	1500
Yhteensä	61480

10.3 Käyttökustannukset kaukolämpö

Kaukolämmön käyttökustannukset Etelä-Savon Energia Oy:n kaukolämpöverkossa muodostuvat tilatun kaukolämpötehon mukaisesta tehomaksusta sekä kulutettuun lämpöenergiaan perustuvasta energiamaksusta. Kaukolämpöjärjestelmän vuosittaisiksi huoltokustannuksiksi arvioitiin 200 €. Laskentaan tarvittava sopimusteho 68 kW saatiin selville IDA ICE -lämmitystarvesimulaation

avulla (kuva 33). Kaukolämpöenergian hintana käytettiin Etelä-Savon Energian kaukolämmön kausihinnaston 1.1.2023 mukaista hintaa, joka oli 77,36 €/MWh. Tehomaksu saatiin laskettua kaavalla 2 [44].

$$\text{€}_{\text{Tehomaksu}} = K_1 \times (6 + 850 \times V) \quad (2)$$

jossa

K_1	tehomaksun kerroin 3,90	
V	tilausvesivirta	[m ³ /h]

Tilausvesivirta saatiin laskettua kaavalla 3 [45, s. 5].

$$V = \frac{\emptyset}{C_p \times \rho \times (t_{\text{et}} - t_{\text{ep}})} \quad (3)$$

jossa

V	tehoa vastaava kaukolämmön tilausvesivirta [dm ³ /s]	
\emptyset	sopimusteho	[kW]
C_p	veden ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg °C]
ρ	veden tiheys	[kg/dm ³]
t_{et}	kaukolämpöveden tulolämpötila	[°C]
t_{ep}	kaukolämpöveden paluulämpötila	[°C]

Kaukolämmön energiamaksu perustuu kulutetun kaukolämpöenergian määrään. Energiamaksu laskettiin kaavalla 4. Kaukolämmön kokonaishinta saadaan kaavojen 2 ja 4 summasta [44].

$$\text{€}_{\text{KL}} = Q_{\text{KL}} \times \text{€}_{\text{Energia}} \quad (4)$$

jossa

€_{KL}	Käytetyn kaukolämpöenergian hinta [€/v]	
Q_{KL}	Käytetty kaukolämpöenergia	[MWh/v]
$\text{€}_{\text{Energia}}$	Energian hinta	[€/MWh]

Alla olevaan taulukkoon 5 on laskettu taloyhtiön vuotuiset käyttökustannukset lämmitysmuodon ollessa kaukolämpö. Kaukolämmön kokonaiskustannukset ovat vuodessa 18734 €.

Taulukko 5. Lämmityskustannukset kaukolämmöllä vuodessa

Tilausvesivirta m ³ /h	0,83	m ³ /h
Vuosittaiset huoltokustannukset €/v	200	€/v
Kaukolämmön tehomaksu €/v	2774	€/v
Käytetyn kaukolämpöenergian hinta €/v	15760	€/v
Kaukolämmön kokonaishinta €/v	18734	€/v

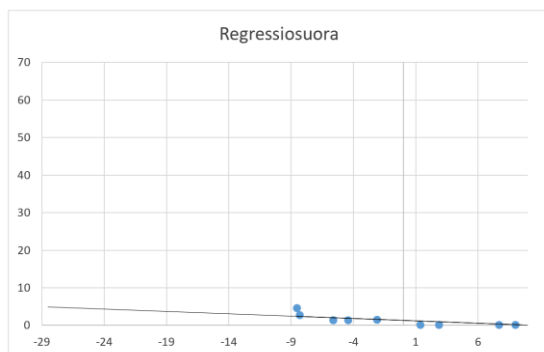
10.4 Käyttökustannukset maalämpö-kaukolämpöhybridi

Maalämpöpumpun ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmässä käyttökustannukset syntyvät maalämpöpumpun käyttämästä sähköenergiasta ja lisälämmitykseen käytettävästä kaukolämmön tehomaksusta ja energiamaksusta. Maalämpö- ja kaukolämpölaitteiston vuosihuollon hinnaksi arvioitiin 400 €. Etelä-Savon Energia on kehittänyt uuden Hybridi-kaukolämpötuotteen taloyhtiöille, jossa tehomaksu muodostuu niiltä kuukausilta, jolloin lisälämpötehoa tarvitaan. Tämä kyseinen tehomaksu jakautuu koko vuoden ajalle ja käytetty kaukolämpöenergia maksetaan kulutuksen perusteella. [46.] Tarvittava laskutuksen tilausteho saatiin määritettyä IDA ICE -ohjelman laskemien kaukolämmön kuukausienergiamäärien perusteella (kuva 36). Kuukauden keskiteho voitiin laskea kuukausienergiasta jakamalla se kuukaudessa olevilla tunneilla [45, s. 16–17]. Taulukossa 6 on laskettu taloyhtiön kuukausittaiset kaukolämmön keskitehot maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmällä.

Taulukko 6. Kaukolämmön kuukausittainen keskiteho

	Mitattu kulutus Keskilämpötilat		Tuntinen teho kW/h
	2022 KK:ssa MWh	°C	
2022 tammi	2	-8,3	2,688172
2022 helmi	3	-8,5	4,464286
2022 maaliskuu	1	-4,4	1,344086
2022 huhti		1,4	0
2022 touko		7,7	0
2022 kesä		13	0
2022 heinä		16	0
2022 elokuu		14	0
2022 syys		9	0
2022 loka		2,9	0
2022 marraskuu	1	-2,1	1,388889
2022 joulukuu	1	-5,6	1,344086

Tämän jälkeen piirrettiin regressiosuora (kuva 39) kuukauden keskitehoista ja keskilämpötiloista paikkakunnan mitoitus ulkolämpötilaan, joka on säävyöhykkeellä 2 (-29) °C [45, s. 16–17].



Kuva 39. Kaukolämmön tilausteho maalämpöhybridijärjestelmässä

Kuvan 39 regressiosuorasta saatiin selville, että tarvittava kaukolämmön tilausteho oli maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmässä 6 kW. Koska tarvittava kaukolämmön tilausteho oli todella pieni ja Etelä-Savon Energian tehomaksun pienin laskutusteho on 9 kW, käytettiin tehomaksun suuruutena 9 kW mukaista hintaa, joka oli 547 € vuodessa [44].

Kuvan 36 mukaan maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmässä käytetty vuotuinen kaukolämpöenergian määrä oli 6567,9 kWh vuodessa eli 6,57 MWh vuodessa. Kaukolämpöenergian hintana käytettiin samaa 77,36 €/MWh hintaa kuin mitä käytettiin laskiessa lämmityskustannuksia pelkällä kaukolämmöllä. Kaavan 4 avulla laskettiin energiamaksun suuruus.

Sähkön hinta koostuu käytetystä sähköenergiasta, sähkönsiirrosta sekä veroista [46]. Taloyhtiön pääsulakkeiden koko oli 3x63A, jolloin Etelä-Savon Energian verkkopalvelumaksu hinnaston mukaan sähkönsiirron perusmaksu on 18 € kuukaudessa ja siirtomaksu 3,40 snt/kWh [48]. Sähköenergian hintana tässä tutkimuksessa käytettiin Lumme energian Vuosisähkö 24kk -sopimuksen mukaista hintaa, joka oli 11,61 snt/kWh. Kuukausimaksu oli 3,54 € kuukaudessa. [49.] Kuvan 35 mukaan maalämpöpumpun sähköenergiankulutus oli kyseisellä hybridijärjestelmällä 68 772 kWh vuodessa. Alla olevassa taulukossa 7 on laskettu taloyhtiön vuotuiset käyttökustannukset käytettäessä maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmää. Kustannukset ovat 12035 € vuodessa.

Taulukko 7. Vuotuiset käyttökustannukset maalämpö-kaukolämpöhybridi

Tilausvesivirta	0,18 m ³ /h	€/kk	€/v
Kaukolämmön tehomaksu		45,6	547
Käytetyn kaukolämpöenergian hinta	77,36 €/MWh	42,3	508
Kaukolämmön kokonaishinta		87,9	1055
Sähkösiiirron perusmaksu		18	216
Sähkön siirtomaksu	3,40 snt/kWh	194,8	2338
Käytetyn sähköenergian hinta	11,61 snt/kWh	665,3	7984
Sähkösopimuksen kuukausimaksu		3,54	42
Vuotuiset huoltokustannukset		33,3	400
Vuosittaiset kokonaiskustannukset		1090,9	12035

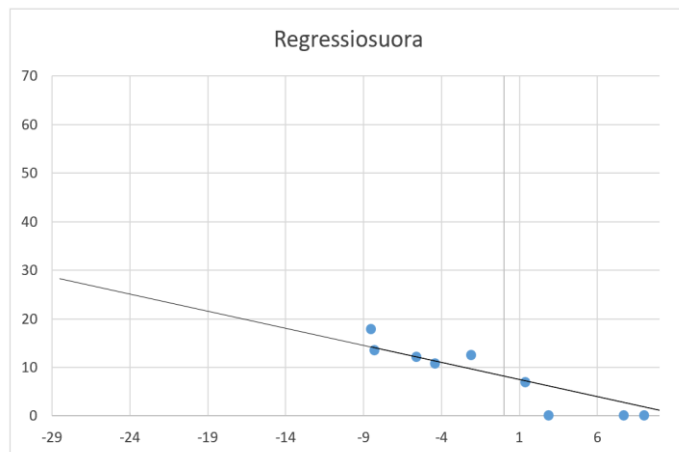
10.5 Käyttökustannukset ilma-vesilämpöpumppu-kaukolämpöhybridi

Ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridijärjestelmässä käyttökustannukset muodostuvat samoista tekijöistä kuin maalämpöhybridijärjestelmässä. Ilma-vesilämpöpumppu käyttää sähköenergiaa ja tarvittava lisälämmitysteho otetaan kaukolämmöstä, jonka vuosittaiset kustannukset muodostuivat tehomaksusta ja käytetyn lämpöenergian määrään perustuvasta energiamaksusta. Kaukolämmön ja ilma-vesilämpöpumpun vuotuisiksi huoltokustannuksiksi arviointiin 400 €. Kuvasta 38 saatiin selville kuukausittainen kaukolämpöenergiankulutus, jonka perusteella laskettiin kuukausittainen keskiteho jakamalla käytetty kaukolämpöenergia kyseisen kuukauden tunneilla [45, s. 16–17]. Taulukossa 8 on laskettu taloyhtiön kuukausittainen kaukolämmön keskiteho ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridijärjestelmällä.

Taulukko 8. Kaukolämmön kuukausittainen keskiteho

	Mittattu kulutus Keskilämpötilat		Tuntinen teho kW/h
	2022 KK:ssa MWh	2022 KK:ssa °C	
2022 tammi	10	-8,3	13,44086
2022 helmi	12	-8,5	17,85714
2022 maaliskuu	8	-4,4	10,75269
2022 huhti	5	1,4	6,944444
2022 touko		7,7	0
2022 kesä		13	0
2022 heinä		16	0
2022 elokuu		14	0
2022 syyskuu		9	0
2022 loka		2,9	0
2022 marraskuu	9	-2,1	12,5
2022 joulukuu	9	-5,6	12,09677

Tämän jälkeen piirrettiin regressiosuora (kuva 39) kuukauden keskitehoista ja keskilämpötiloista paikkakunnan mitoitus ulkolämpötilaan, joka on säävyöhykkeellä 2 (-29) °C [45, s.16–17].



Kuva 39. Kaukolämmön tilausteho ilma-vesilämpöpumppu hybridijärjestelmässä

Kuvan 39 regressiosuoran mukaan tarvittava kaukolämmön tilausteho oli ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridijärjestelmässä 28 kW. Tämän jälkeen laskettiin kaavan 3 avulla tilausvesivirran suuruus. Tehomaksu laskettiin kaavalla 5 [44].

$$\text{€}_{\text{Tehomaksu}} = K_1 \times (-18 + 880 \times V) \quad (5)$$

jossa

K_1	tehomaksun kerroin 3,90	
V	tilausvesivirta	$[\text{m}^3/\text{h}]$

Kuvan 37 mukaan kaukolämpöenergiaa oli tällä hybridijärjestelmällä kulunut 53 219,8 kWh eli 53,22 MWh vuodessa. Kaukolämpöenergian hintana käytettiin samaa 77,36 €/MWh hintaa kuin aikaisemmissakin laskelmissa. Kaavan 4 avulla laskettiin käytetyn kaukolämmönenergiamaksun suuruus.

Sähkönsiirron perusmaksuna ja siirtomaksuna käytettiin samoja hintoja kuin maalämpöjärjestelmän laskennassa, perusmaksu oli 18 € kuukaudessa ja siirtomaksu 3,40 snt/kWh. Sähköenergian hintana käytettiin samaa Lumme energian Vuosisähkö 24kk -sopimuksen mukaista hintaa, joka oli 11,61 snt/kWh. Kuukausimaksu oli 3,54 € kuukaudessa. Kuvan 37 mukaan ilma-vesilämpö-

pumpun kuluttama sähköenergian määrä oli 52 406 kWh vuodessa. Taulukossa 9 on laskettu taloyhtiön vuotuiset käyttökustannukset lämmitysmuodon ollessa ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridijärjestelmä. Vuotuiset käyttökustannukset ovat 13 739 €.

Taulukko 9. Vuotuiset käyttökustannukset ilma-vesilämpöpumppu-kaukolämpöhybridi

Tilausvesivirta	0,34 m ³ /h	€/kk	€/v
Kaukolämmön tehomaksu		91,4	1097
Käytetyn kaukolämpöenergian hinta	77,36 €/MWh	343,1	4117
Kaukolämmön kokonaishinta		434,5	5214
Sähkönsiirron perusmaksu		18	216
Sähkön siirtomaksu	3,40 snt/kWh	148,5	1782
Käytetyn sähköenergian hinta	11,61 snt/kWh	507,1	6085
Sähkönsopimuksen kuukausimaksu		3,54	42
Vuotuiset huoltokustannukset		33,3	400
Vuosittaiset kokonaiskustannukset		1579,5	13739

10.6 Vuotuiset säästöt

Vuotuisten käyttökustannusten laskemisen jälkeen voidaan vertailla eri hybridijärjestelmillä saavutettuja vuotuisia rahallisia säästöjä. Taulukossa 10 on esitetty eri lämmitysjärjestelmävaihtoehtojen vuotuiset käyttökustannukset ja niillä saavutetut rahalliset säästöt taloyhtiön lämmityskustannuksissa verrattuna nykyisen lämmitysmuodon kaukolämmön lämmityskustannuksiin.

Taulukko 10. Vuotuiset säästöt lämmityskustannuksissa

Lämmitysmuoto	Lämmityskustannukset €/v	Vuotuiset säästöt €/v
Kaukolämpö	18734	
Maalämpö- ja kaukolämpö	12035	6699
Ilma-vesilämpöpumppu ja kaukolämpö	13739	4995

Taulukosta 10 nähdään että maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmällä saavutettiin 6699 € vuotuiset säästöt verrattuna siihen, että lämmitysmuotona oli pelkkä kaukolämpö. Ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridijärjestelmällä taas saavutettiin 4995 € vuotuiset säästöt taloyhtiön lämmityskustannuksissa.

11 INVESTOINNIN KANNATTAVUUS JA TAKAISINMAKSUAIKA

Hybridijärjestelmien investointikustannuksien ja niiden tuottamien vuotuisten säästöjen perusteella voitiin laskea investoinneille takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuaikojen laskentaan käytettiin sekä korotonta että korollista takaisinmaksuajan menetelmää. Lisäksi suoritettiin herkkyyksianalyysi energian hinnan nousulle.

11.1 Koroton takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmällä lasketaan, missä ajassa investoinnista saavat nettotuotot ylittävät sen rahasumman, joka on käytetty investoinnin hankintakustannuksiin. Käytettäessä korotonta takaisinmaksuajan menetelmää, ei siinä huomioida ollenkaan rahan aika-arvoa eli niin sanottua laskentakorkokantaa. Vuotuisten nettotuottojen ollessa yhtä suuria saadaan takaisinmaksuaika laskettua jakamalla hankintakustannus vuotuisella nettotuotolla. Koroton takaisinmaksuaika saadaan laskettua kaavalla 6. [50, s. 327–328.]

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{Hankintakustannus}}{\text{Vuotuinen nettotuotto}} \quad (6)$$

Maalämpöjärjestelmän hankintakustannukset olivat taulukon 3 mukaan 122 873 €. Vuotuiset nettotuotot taas ovat vuotuiset säästöt lämmityskustannuksissa. Taulukon 10 mukaan maalämpökaukolämpö hybridijärjestelmällä säästettiin 6699 € vuotuisissa lämmityskustannuksissa. Kaavalla 6 saatiin maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuajaksi 18,3 vuotta.

$$\frac{122873 \text{ €}}{6699 \text{ €}} = 18,3 \text{ vuotta} \quad (6)$$

Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän hankintakustannukset olivat taulukon 4 mukaan 61 480 €. Vuotuiset nettotuotot taas ovat vuotuiset säästöt lämmityskustannuksissa. Taulukon 10 mukaan ilma-vesilämpöpumppukaukolämpö hybridijärjestelmällä säästettiin 4995 € vuotuisissa lämmityskustannuksissa. Kaavalla 6 saatiin ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän takaisinmaksuajaksi 12,3 vuotta.

$$\frac{61480 \text{ €}}{4995 \text{ €}} = 12,3 \text{ vuotta} \quad (6)$$

Edellä laskettiin investointien takaisinmaksuaika korottomalla takaisinmaksuajan menetelmällä. Kyseinen menetelmä on yksinkertaisuutensa takia hyvin suosittu, mutta se ei kerro täysin realistisesti todellista takaisinmaksuaikaa. Kyseisen menetelmän heikkous on siinä, että se ei ota huomioon niitä tuottoja ja kustannuksia, jotka syntyvät takaisinmaksuajan jälkeen. Se ei myöskään huomioi investoinnin jäännösarvoa. Korottoman takaisinmaksuajan menetelmän suosimat investoinnit ovat sellaisia, joiden tuotot voidaan saavuttaa lyhyellä aikavälillä. [50, s. 327–328.]

11.2 Korollinen takaisinmaksuajan menetelmä

Korollinen takaisinmaksuajan menetelmä eroaa korottomasta takaisinmaksuajan menetelmästä siten, että se huomioi myös rahan aika-arvon eli niin sanotun laskentakorkokannan. Energiansäästö investointien kannattavuutta arvioidessa tulisi laskentakorkokantana käyttää vähintäänkin sitä korkotasoa, jolla investointiin tarvittava pääoma saadaan rahoitusmarkkinoilta hankittua. Kun arvioidaan kiinteistöjen energiaa säästävien investointien kannattavuutta, voidaan laskentakorkokantana käyttää arvoa 3–5 % väliltä. [51.] Laskettaessa korollisella takaisinmaksuajan menetelmällä diskontataan siinä vuotuiset nettotuotot nykyhetkeen, jonka jälkeen niitä lasketaan yhteen siihen asti, että saavutetaan hankintakustannusta vastaava rahasumma. Tähän kulunut aika kertoo investoinnin korollisen takaisinmaksuajan pituuden. Vuotuiset nettotuotot voidaan diskontata nykyhetkeen kaavalla 7. [50, s. 329–332.]

$$PV = \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n * i} * PMT \quad (7)$$

jossa

n	suoritusten lukumäärä
i	laskentakorkokanta desimaalisena
PMT	jaksollinen suoritus

Alla olevaan taulukkoon 11 on laskettu maalämpöjärjestelmän takaisinmaksu-aika käyttäen laskentakorkokantana 3 %.

Taulukko 11. Maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika

Maalämpöjärjestelmä				
Hankintameno	122873	€		
Säästöt vuodessa	6699	€		
Laskentakorkokanta	3 %			
Vuotuiset kustannukset	12035	€		
	Kassavirta	Diskontatut nettotuotot	Kumulatiivinen	
	-122873			
1	6 699 €	6 503,88 €	6 503,88 €	
2	6 699 €	6 314,45 €	12 818,33 €	
3	6 699 €	6 130,53 €	18 948,87 €	
4	6 699 €	5 951,97 €	24 900,84 €	
5	6 699 €	5 778,62 €	30 679,46 €	
6	6 699 €	5 610,31 €	36 289,77 €	
7	6 699 €	5 446,90 €	41 736,67 €	
8	6 699 €	5 288,25 €	47 024,92 €	
9	6 699 €	5 134,23 €	52 159,14 €	
10	6 699 €	4 984,69 €	57 143,83 €	
11	6 699 €	4 839,50 €	61 983,33 €	
12	6 699 €	4 698,54 €	66 681,87 €	
13	6 699 €	4 561,69 €	71 243,57 €	
14	6 699 €	4 428,83 €	75 672,39 €	
15	6 699 €	4 299,83 €	79 972,23 €	
16	6 699 €	4 174,60 €	84 146,82 €	
17	6 699 €	4 053,01 €	88 199,83 €	
18	6 699 €	3 934,96 €	92 134,78 €	
19	6 699 €	3 820,35 €	95 955,13 €	
20	6 699 €	3 709,07 €	99 664,20 €	
21	6 699 €	3 601,04 €	103 265,25 €	
22	6 699 €	3 496,16 €	106 761,40 €	
23	6 699 €	3 394,33 €	110 155,73 €	
24	6 699 €	3 295,46 €	113 451,20 €	
25	6 699 €	3 199,48 €	116 650,68 €	
26	6 699 €	3 106,29 €	119 756,97 €	27,03374
27	6 699 €	3 015,82 €	122 772,78 €	
28	6 699 €	2 927,98 €	125 700,76 €	
29	6 699 €	2 842,70 €	128 543,46 €	
30	6 699 €	2 759,90 €	131 303,36 €	

Taulukosta 11 nähdään, että 3 % laskentakorkokannalla maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika on 27 vuotta. Ero korottomaan takaisinmaksuaikaan on 8,7 vuotta. Alla olevaan taulukkoon 12 on laskettu ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän takaisinmaksuaika käyttämällä laskentakorkokantana 3 % korkokantaa.

Taulukko 12. Ilma-vesilämpöpumpputalouden takaisinmaksuaika

Ilma-vesilämpöpumpputalouden takaisinmaksuaika				
Hankintameno	61480	€		
Säästöt vuodessa	4995	€		
Laskentakorkokanta	3 %			
Vuotuiset kustannukset	13739	€		
	Kassavirta	Diskontatut nettotuotot	Kumulatiivinen	
	-61480			
1	4995	4 849,51 €	4 849,51 €	
2	4995	4 708,27 €	9 557,78 €	
3	4995	4 571,13 €	14 128,91 €	
4	4995	4 437,99 €	18 566,91 €	
5	4995	4 308,73 €	22 875,64 €	
6	4995	4 183,23 €	27 058,87 €	
7	4995	4 061,39 €	31 120,26 €	
8	4995	3 943,10 €	35 063,36 €	
9	4995	3 828,25 €	38 891,61 €	
10	4995	3 716,75 €	42 608,36 €	
11	4995	3 608,49 €	46 216,86 €	
12	4995	3 503,39 €	49 720,25 €	
13	4995	3 401,35 €	53 121,60 €	
14	4995	3 302,28 €	56 423,89 €	
15	4995	3 206,10 €	59 629,99 €	15,59077
16	4995	3 112,72 €	62 742,70 €	
17	4995	3 022,06 €	65 764,76 €	
18	4995	2 934,04 €	68 698,80 €	
19	4995	2 848,58 €	71 547,38 €	
20	4995	2 765,61 €	74 312,99 €	
21	4995	2 685,06 €	76 998,05 €	
22	4995	2 606,85 €	79 604,90 €	
23	4995	2 530,93 €	82 135,82 €	
24	4995	2 457,21 €	84 593,03 €	
25	4995	2 385,64 €	86 978,67 €	
26	4995	2 316,16 €	89 294,83 €	
27	4995	2 248,69 €	91 543,52 €	
28	4995	2 183,20 €	93 726,72 €	
29	4995	2 119,61 €	95 846,33 €	
30	4995	2 057,87 €	97 904,20 €	

Taulukosta 12 nähdään, että 3 % laskentakorkokannalla ilma-vesilämpöpumpputalouden takaisinmaksuaika on 15,6 vuotta. Ero korottamaan takaisinmaksuaikaan on 3,3 vuotta. Yllä olevista takaisinmaksuaikojen laskelmista voidaan huomata, että ottamalla laskentakorkokanta huomioon on molempien lämmitysjärjestelmien takaisinmaksuaika huomattavasti pidempi.

11.3 Herkkyysanalyysi

Aikaisemmin lasketut hybridilämmitysjärjestelmien takaisinmaksuajat laskettiin sillä olettamuksella, että kaukolämmön ja sähkön hinta eivät tule tulevaisuudessa muuttumaan. Tämä on kuitenkin hyvin epätodennäköistä. Sen takia suoritetaan herkkyysanalyysi. Herkkyysanalyysin avulla voidaan tarkastella tehdyn investoinnin kannattavuutta ja takaisinmaksuaikaa, mikäli jonkin laskennassa käytetyn tekijän arvo muuttuu [55, s. 224–225]. Tilastokeskuksen mukaan kaukolämpöenergian hinnan nousun keskiarvo on ollut pienkerrostoaloissa ja rivitaloissa vuosittain viimeisen kymmenen vuoden aikana noin 3 % [56]. Sähköenergian hinnan nousun keskiarvo on tilastokeskuksen mukaan ollut kotitalousasiakkailla vuosittain viimeisen kymmenen vuoden aikana noin 4 % [57]. Sähkön ja kaukolämmön hinta on viimeisen vuoden aikana noussut kuitenkin huomattavasti enemmän, mutta saadaksemme realistisen kuvan energian hintojen nousun vaikutuksesta, käytetään laskennassa viimeisen kymmenen vuoden keskiarvoja. Alla olevaan taulukkoon 13 on laskettu maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmän koroton ja korollinen takaisinmaksuaika kaukolämpöenergian 3 % ja sähköenergian 4 % vuotuisella hinnan nousulla.

Taulukko 13. Maalämmön ja kaukolämmönhybridijärjestelmän takaisinmaksuaika

Sähköenergian hinnan nousu	4 %									
Kaukolämpöenergianhinnan nousu	3 %									
Laskentakorkokanta	3 %									
	Lämmitysmuoto									
Kaudet (Vuosi)	KL €/v	MLP+KL €/v	Säästö €/v	Koroton takaisinmaksuaika	Diskontatut nettotuotot	Kumulatiivinen				
1	18734	12035	6699	6 699 €	6 504 €	6 504 €				
2	19207	12380	6827	13 526 €	6 435 €	12 939 €				
3	19694	12728	6966	20 492 €	6 375 €	19 314 €				
4	20195	13090	7106	27 598 €	6 313 €	25 627 €				
5	20712	13466	7246	34 844 €	6 250 €	31 877 €				
6	21244	13857	7387	42 231 €	6 187 €	38 064 €				
7	21792	14264	7529	49 759 €	6 121 €	44 185 €				
8	22357	14686	7671	57 430 €	6 055 €	50 241 €				
9	22938	15126	7813	65 242 €	5 988 €	56 228 €				
10	23537	15582	7955	73 197 €	5 919 €	62 147 €				
11	24154	16057	8097	81 294 €	5 849 €	67 997 €				
12	24790	16551	8239	89 533 €	5 778 €	73 775 €				
13	25444	17064	8380	97 913 €	5 706 €	79 482 €				
14	26118	17597	8521	106 433 €	5 633 €	85 115 €				
15	26812	18152	8660	115 094 €	5 559 €	90 674 €				
16	27528	18729	8799	123 893 €	5 483 €	96 157 €				
17	28264	19328	8936	132 829 €	5 407 €	101 563 €				
18	29023	19951	9072	141 901 €	5 329 €	106 892 €				
19	29804	20599	9206	151 106 €	5 250 €	112 142 €				
20	30609	21272	9337	160 444 €	5 170 €	117 312 €				
21	31438	21972	9466	169 910 €	5 088 €	122 400 €				
22	32292	22700	9592	179 502 €	5 006 €	127 406 €				
Yhteensä	546688	367186	179502							

Taulukosta 13 voidaan huomata, että kaukolämpöenergian hinnan vuotuinen 3 % nousu ja sähköenergian hinnan 4 % vuotuinen nousu vaikuttavat maalämpöjärjestelmän korottomaan takaisinmaksuaikaan, joka on noin 16 vuotta. Korollisella takaisinmaksuajan menetelmällä laskettaessa maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika on noin 21 vuotta. Alla olevaan taulukkoon 14 on suoritettu sama laskenta ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridijärjestelmälle.

Taulukko 14. Ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmönhybridijärjestelmän takaisinmaksuaika

Sähköenergian hinnan nousu	4 %								
Kaukolämpöenergian hinnan nousu	3 %								
Laskentakorkokanta	3 %								
	Lämmitysmuoto								
Kaudet (Vuosi)	KL €/v	VILP+KL €/v	Säästö €/v	Koroton takaisinmaksuaika	Diskontatut nettotuotot	Kumulatiivinen			
1	18734	13739	4995	4 995 €	4 850 €	4 850 €			
2	19207	14106	5101	10 096 €	4 808 €	9 658 €			
3	19694	14486	5208	15 303 €	4 766 €	14 423 €			
4	20195	14881	5315	20 618 €	4 722 €	19 145 €			
5	20712	15289	5423	26 041 €	4 678 €	23 823 €			
6	21244	15713	5531	31 572 €	4 632 €	28 455 €			
7	21792	16152	5640	37 212 €	4 586 €	33 041 €			
8	22357	16608	5749	42 961 €	4 538 €	37 579 €			
9	22938	17080	5858	48 819 €	4 490 €	42 069 €			
10	23537	17570	5968	54 787 €	4 440 €	46 510 €			
11	24154	18077	6077	60 864 €	4 390 €	50 900 €			
12	24790	18603	6186	67 050 €	4 339 €	55 239 €			
13	25444	19149	6295	73 345 €	4 286 €	59 525 €			
14	26118	19715	6403	79 748 €	4 233 €	63 758 €			
15	26812	20302	6511	86 259 €	4 179 €	67 937 €			
16	27528	20910	6618	92 876 €	4 124 €	72 061 €			
17	28264	21541	6724	99 600 €	4 068 €	76 129 €			
18	29023	22195	6828	106 428 €	4 011 €	80 140 €			
19	29804	22873	6931	113 359 €	3 953 €	84 093 €			
20	30609	23576	7033	120 392 €	3 894 €	87 987 €			
21	31438	24306	7133	127 525 €	3 834 €	91 821 €			
22	32292	25062	7230	134 755 €	3 773 €	95 594 €			
Yhteensä	546688	411933	134755						

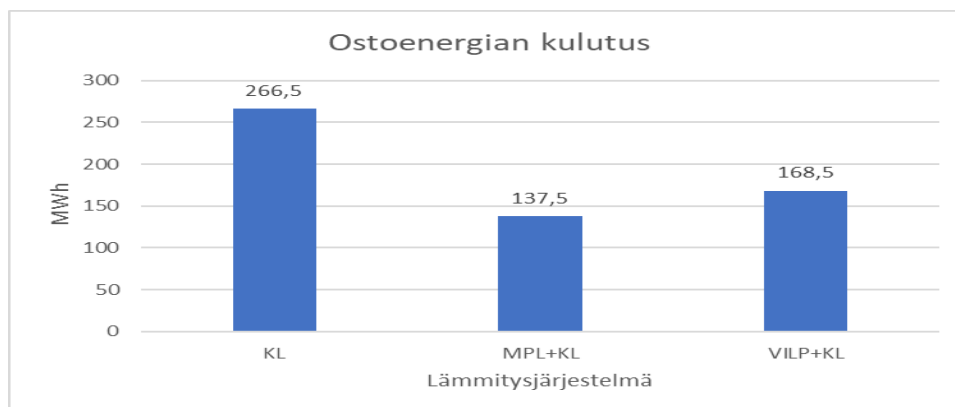
Taulukosta 14 voidaan huomata, että kaukolämpöenergian 3 % vuotuinen hinnan nousu ja sähköenergian 4 % vuotuinen hinnan nousu vaikuttavat myös ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmän korottomaan takaisinmaksuaikaan, joka on noin 11 vuotta. Korollisella takaisinmaksuajan menetelmällä laskettaessa ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmän takaisinmaksuaika on noin 13,5 vuotta.

12 TULOSTEN YHTEENVETO

Tutkimuksessa saavutetuista tuloksista voidaan todeta, että molemmilla hybridilämmitysjärjestelmillä voidaan vähentää taloyhtiön ostoenergiankulutuksen

määrää merkittävästi. Alla olevassa taulukossa 15 on esitetty taloyhtiön ostoenergiankulutuksen muutos eri lämmitysmuodoilla.

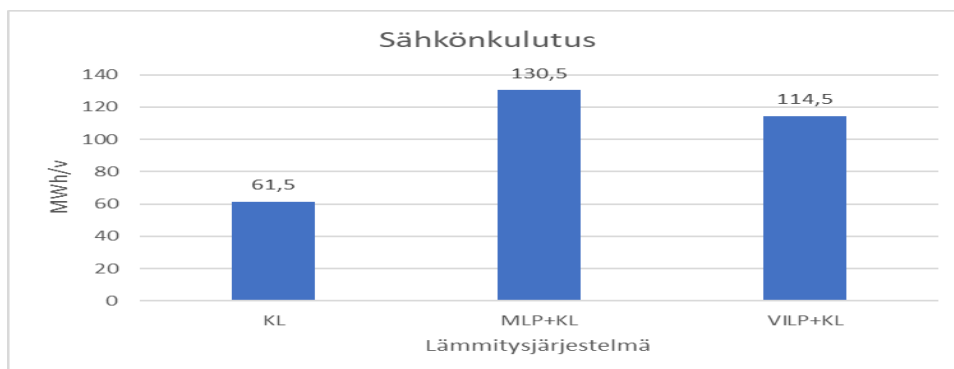
Taulukko 15. Taloyhtiön vuotuinen ostoenergiankulutus



Yllä olevasta taulukosta voimme huomata, että lämmitysmuodon ollessa kaukolämpö, oli taloyhtiön vuotuinen ostoenergiankulutus 266,5 MWh. Maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmällä vuotuinen ostoenergiankulutus oli 137,5 MWh. Ero kaukolämpöön lämmitysmuotona oli 129 MWh eli maalämpöjärjestelmällä saatiin ostoenergiankulutusta vähennettyä 48 %. Ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridijärjestelmällä vuotuinen ostoenergiankulutus oli 168,5 MWh, ero kaukolämpöön lämmitysmuotona oli 98 MWh. Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmällä saatiin taloyhtiön vuotuista ostoenergiankulutusta vähennettyä 37 %.

Taloyhtiön vuotuista sähkönkulutusta tarkasteltaessa huomataan, että molemmilla lämpöpumppujärjestelmillä taloyhtiön vuotuinen sähkönkulutus oli suurempi kuin mitä se oli lämmitysmuodon ollessa kaukolämpö. Alla olevassa taulukossa 16 on esitetty taloyhtiön vuotuinen sähkönkulutus eri lämmitysmuodoilla.

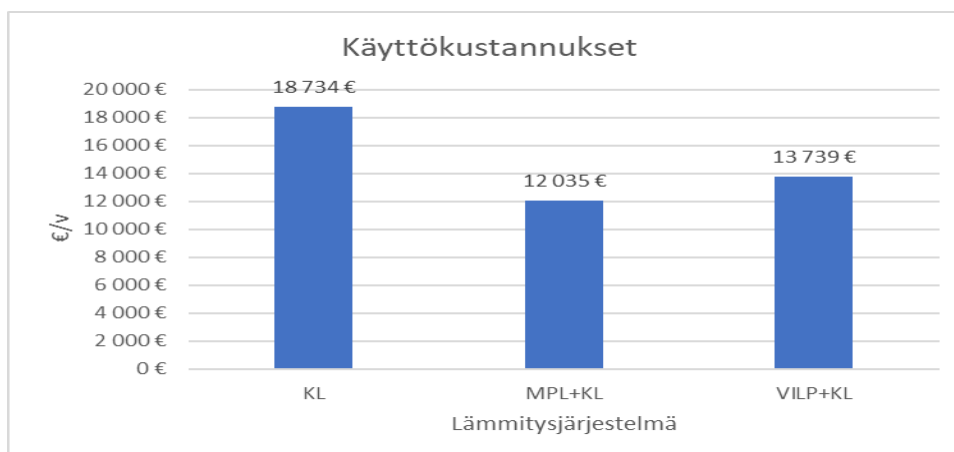
Taulukko 16. Taloyhtiön vuotuinen sähkönkulutus



Yllä olevasta taulukosta voidaan nähdä, että lämmitysmuodon ollessa kaukolämpö oli taloyhtiön vuotuinen sähkönkulutus 61,5 MWh. Maalämpöjärjestelmällä taloyhtiön vuotuinen sähkönkulutus oli 130,5 MWh eli 69 MWh suurempi. Näin ollen maalämpöjärjestelmä kasvatti taloyhtiön vuotuista sähkönkulutusta 112 %. Ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmällä taloyhtiön vuotuinen sähkönkulutus oli 114,5 MWh, ero kaukolämpöön oli 53 MWh. Ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmä näin ollen kasvatti taloyhtiön vuotuista sähkönkulutusta 86 %.

Eri lämmitysmuotojen vuotuisia käyttökustannuksia vertailtaessa nähdään selvästi, että molemmilla hybridilämmitysjärjestelmillä vuotuiset käyttökustannukset olivat kaukolämpöä alhaisemmat. Taulukossa 17 on esitetty eri lämmitysmuotojen vuotuiset käyttökustannukset.

Taulukko 17. Eri lämmitysmuotojen vuotuiset käyttökustannukset



Kaukolämmön vuotuiset käyttökustannukset olivat 18 734 €. Maalämpöjärjestelmän käyttökustannukset taas olivat 12 035 €, jolloin rahallista säästöä taloyhtiölle syntyi vuodessa 6699 € eli vuotuisia käyttökustannuksia pystyttiin maalämpöjärjestelmän avulla vähentämään 36 %. Ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmän vuotuiset käyttökustannukset taas olivat 13 739 €, jolloin kyseisellä järjestelmällä säästettiin 4995 € eli 27 % vuodessa taloyhtiön lämmityskustannuksissa.

Maalämpöpumpun ja ilma-vesilämpöpumpun teknisen käyttöiän ollessa noin 20 vuotta voidaan tarkastella niiden 20 vuoden elinkaaren aikana niillä saavu-

tettuja säästöjä käyttökustannuksissa [58; 59]. Taulukossa 18 on laskettu kaikkien kolmen vertailtavan lämmitysmuodon 20 vuoden aikaiset elinkaarikustannukset. Laskennassa on otettu huomioon myös kaukolämpöenergian ja sähköenergian hinnan nousu.

Taulukko 18. Eri lämmitysmuotojen 20 vuoden elinkaarikustannukset

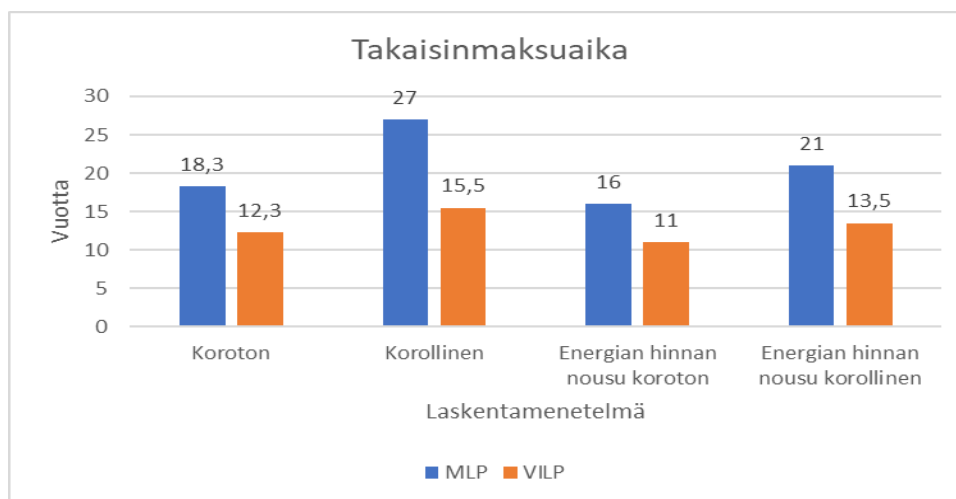
Vuosi	Ei energian hinnan nousua			Energian hinnan nousu		
	KL €/v	MLP+KL €/v	VILP+KL €/v	KL €/v	MLP+KL €/v	VILP+KL €/v
1	18734	12035	13739	18734	12035	13739
2	18734	12035	13739	19207	12380	14106
3	18734	12035	13739	19694	12728	14486
4	18734	12035	13739	20195	13090	14881
5	18734	12035	13739	20712	13466	15289
6	18734	12035	13739	21244	13857	15713
7	18734	12035	13739	21792	14264	16152
8	18734	12035	13739	22357	14686	16608
9	18734	12035	13739	22938	15126	17080
10	18734	12035	13739	23537	15582	17570
11	18734	12035	13739	24154	16057	18077
12	18734	12035	13739	24790	16551	18603
13	18734	12035	13739	25444	17064	19149
14	18734	12035	13739	26118	17597	19715
15	18734	12035	13739	26812	18152	20302
16	18734	12035	13739	27528	18729	20910
17	18734	12035	13739	28264	19328	21541
18	18734	12035	13739	29023	19951	22195
19	18734	12035	13739	29804	20599	22873
20	18734	12035	13739	30609	21272	23576
Yhteensä	374680	240700	274780	482956	322514	362565
Säästöt		133980	99900		160442	120391

Mikäli ei oteta huomioon energian hinnan nousua, on kaukolämmön 20 vuoden elinkaaren käyttökustannukset taloyhtiössä 374 680 €. Maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän 20 vuoden elinkaaren käyttökustannukset taas ovat 240 700 €. Kyseisen hybridilämmitysjärjestelmän 20 vuoden käyttökustannukset ovat siis 133 980 € eli 36 % pienemmät. Ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän 20 vuoden elinkaaren käyttökustannukset ovat 274 780 €, kaukolämpöön verrattuna ovat ne 99 900 € eli 27 % pienemmät.

Kun otetaan huomioon energian hinnan nousu, on kaukolämmön 20 vuoden elinkaaren käyttökustannukset taloyhtiölle 482 956 €. Maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän 20 vuoden elinkaaren käyttökustannusten ollessa 322 514 € huomataan, että rahallista säästöä kertyy taloyhtiölle 20 vuodessa 160 442 €. Ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän 20 vuoden elinkaaren käyttökustannusten ollessa 362 565 € kertyy taloyhtiölle 20 vuodessa säästöä 120 391 €.

Molempien hybridilämmitysjärjestelmien takaisinmaksuaika laskettiin sekä korottomalla että korollisella takaisinmaksuajan menetelmällä. Lisäksi suoritettiin herkkyyssanalyysi kaukolämpöenergian ja sähköenergian hintojen nousulle. Alla olevaan taulukkoon 19 on koottu takaisinmaksuaikojen laskelmista saadut tulokset.

Taulukko 19. Hybridilämmitysjärjestelmien takaisinmaksuaika



Taulukossa 19 esitetyistä tuloksista voidaan huomata, että kaikilla tutkimuksessa käytetyillä takaisinmaksuajan laskentamenetelmillä ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän takaisinmaksuaika oli huomattavasti lyhyempi verrattuna maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmään. Tämä johtuu ilma-vesilämpöpumpujärjestelmän huomattavasti pienemmistä investointikustannuksista.

Ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän takaisinmaksuaika oli laskentamenetelmästä riippuen 11–15,5 vuotta. Korottomalla takaisinmaksuajan menetelmällä laskettuna takaisinmaksuaika oli lyhyin ollen 12,3 vuotta. Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että taloyhtiön ottaessa pankista lainaa lämmitysjärjestelmä investointiin on lainassa korko. Korollisessa takaisinmaksuajan menetelmässä on mukana laskentakorkokanta, joka ottaa tämän koron huomioon. Korollisella takaisinmaksuajan menetelmällä ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön hybridijärjestelmän takaisinmaksuaika oli pidempi ollen 15,5 vuotta.

Taulukosta 19 voidaan myös huomata kaukolämpöenergian ja sähköenergian hinnan nousun vaikutus takaisinmaksuaikoihin. Sekä korollinen että koroton

takaisinmaksuaika oli lyhyempi kuin mitä tämän hetken energioiden hinnalla. Koroton takaisinmaksuaika oli 11 vuotta ja korollinen takaisinmaksuaika 13,5 vuotta. Ilma-vesilämpöpumpun teknisen käyttöiän ollessa noin 20 vuotta voidaan todeta, että kaikilla tässä tutkimuksessa käytetyillä laskentamenetelmillä investointi on taloyhtiölle kannattava.

Maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän osalta voidaan huomata, että kaikilla tutkimuksessa käytetyillä laskentamenetelmillä takaisinmaksuaika oli huomattavan pitkä. Tämä johtuu maalämpöjärjestelmän suurista investointikustannuksista. Maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän takaisinmaksuaika oli laskentamenetelmästä riippuen 16–27 vuotta. Korottomalla takaisinmaksuajan menetelmällä laskettaessa myös maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmän takaisinmaksuaika oli lyhyin ollen 18,3 vuotta, mutta myös tässä investoinnissa taloyhtiö tulee todennäköisesti ottamaan lainaa järjestelmän investointikustannuksiin. Siitä syystä takaisinmaksuaikaa tulee tarkastella myös korollisella takaisinmaksuajan menetelmällä. Korollisella takaisinmaksuajan menetelmällä järjestelmän takaisinmaksuaika oli 27 vuotta eli merkittävästi pidempi. Kaukolämpöenergian ja sähköenergian hinnan nousulla on myös tässä tapauksessa merkittävä lyhentävä vaikutus takaisinmaksuaikoihin. Koroton takaisinmaksuaika oli energioiden hinnan nousulla 16 vuotta ja korollinen takaisinmaksuaika 21 vuotta.

Maalämpöpumpun teknisen käyttöiän ollessa myös noin 20 vuotta tulee huomioida, että kun hybridilämmitysjärjestelmä investointi on maksanut itsensä takaisin, alkaa maalämpöpumpun uusiminen olla pikkuhiljaa ajankohtaista. Toisaalta energiakaivojen käyttöikä on yleensä yli 50 vuotta, jolloin niitä voidaan hyödyntää myös uudella maalämpöpumpulla [60]. Saaduista tuloksista voidaan kuitenkin todeta, että maalämmön ja kaukolämmön hybridilämmitysjärjestelmä investointi oli taloyhtiölle kannattava ainoastaan korottomalla takaisinmaksuajan menetelmällä laskettaessa.

Hybridilämmitysjärjestelmien takaisinmaksuaikoja arvioidessa tulee myös ottaa huomioon, että tässä tutkimuksessa ei otettu huomioon kummankaan lämpöpumpun kompressorin uusimista, joka tulee yleensä ajankohtaiseksi 10–15 käyttövuoden kohdalla. Tällä on pidentävä vaikutus investoinnin takaisinmaksu-aikaan.

13 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia lämpöpumpun ja kaukolämmön yhdistävän hybridilämmitysjärjestelmän soveltuvuutta rivitaloyhtiön lämmitysmuodoksi. Tavoitteena oli dynaamista IDA ICE -simulointi ohjelmaa hyödyntäen vertailla eri hybridilämmitysjärjestelmillä saavutettuja säästöjä sekä ostoenergiankulutuksen määrässä että vuotuisissa käyttökustannuksissa. Lisäksi tavoitteena oli tarkastella maalämpöpumpun ja kaukolämmön sekä ilma-vesilämpöpumpun ja kaukolämmön yhdistävien hybridilämmitysjärjestelmä investointien taloudellista kannattavuutta takaisinmaksuaikojen avulla.

Tutkimuksessa saavutettujen tuloksien luotettavuutta arvioidessa tulee ottaa huomioon, että tutkimuksen tekijällä on vähäinen kokemus IDA ICE -simulointiohjelman käytöstä. Tällä on voinut olla vaikutusta tutkimuksessa saavutettujen tulosten luotettavuuteen. On myös tärkeä huomioida, että tässä tutkimuksessa tarkasteltiin hybridilämmitysjärjestelmien soveltuvuutta ainoastaan yhteen rivitaloyhtiöön. Siitä syystä tutkimuksessa saavutettuja tuloksia ei voi yleistää koskemaan myös muita taloyhtiöitä.

Tutkimuksessa saavutettujen tuloksien perusteella voidaan todeta, että tutkimuksessa käytetty IDA ICE -simulointi ohjelma soveltuu hyvin eri hybridilämmitysjärjestelmien tarkasteluun. Verrattaessa IDA ICE -ohjelmasta saatuja tuloksia lämpöpumppuvalmistajien mitoitusohjelmista saatuihin tuloksiin ei tuloksissa ollut suurta eroavaisuutta. Tämän perusteella voidaan tutkimuksessa saavutettuja tuloksia ostoenergiankulutuksen muutoksesta eri lämmitysmuodoilla pitää luotettavana.

Tulosten perusteella voidaan molemmilla uusiutuvaa energiaa hyödyntävillä lämpöpumppuhybridijärjestelmillä vähentää taloyhtiön ostoenergiankulutuksen määrää merkittävästi. Osatehomitoitettulla maalämpöjärjestelmällä vuotuinen ostoenergian säästö oli kaikista suurin, mutta myös osatehomitoitettulla ilma-vesilämpöpumppujärjestelmällä saatiin vähennettyä taloyhtiön vuotuista ostoenergiankulutusta merkittävästi. Opinnäytetyön tilaajan toiveesta mitoitettiin molemmat opinnäytetyössä tutkitut lämpöpumppujärjestelmät osatehoisina. Tällä tavoin saatiin pienennettyä järjestelmien investointikustannuksia. Jättä-

mällä kaukolämpö lämpöpumpun rinnalle kattamaan lämmityksen huipputehontarve välttyään myös taloyhtiön kaukolämpöliittymän purkamisesta aiheutuvilta kustannuksilta.

Vaikka tulosten perusteella molemmat lämpöpumppujärjestelmät kasvattivat taloyhtiön sähkönkulutusta, voidaan niiden tuottamia hyötyjä taloyhtiön kokonaisostoenergiankulutuksen vähentämisessä silti pitää merkittävämpinä. Tehokas keino kattaa taloyhtiön lisääntynyttä sähkönkulutusta olisi hankkia taloyhtiölle aurinkosähköjärjestelmä. Sen avulla voitaisiin tuottaa varsinkin kesäaikaan osa lämpöpumpun käyttämästä sähköenergiasta, jolloin ostettavan sähköenergian määrä olisi merkittävästi vähäisempi. Jatkotutkimuksena tulisikin selvittää aurinkosähkön hyödyntämisen mahdollisuutta taloyhtiössä.

Tutkimuksessa mukana olleiden eri lämmitysmuotojen vuotuisista käyttökustannuksista voidaan tutkimustulosten perusteella todeta, että kallein lämmitysmuoto taloyhtiölle on tämänhetkinen kaukolämpö. Sekä maalämpöhybridijärjestelmällä että ilma-vesilämpöpumppuhybridijärjestelmällä oli vuotuiset käyttökustannukset huomattavasti kaukolämpöä alhaisemmat. Tarkasteltaessa kaikkien kolmen lämmitysmuodon 20 vuoden elinkaaren käyttökustannuksia voidaan todeta molempien hybridijärjestelmien käyttökustannusten olevan selkeästi kaukolämpöä alhaisemmat.

Vuotuisten käyttökustannusten ja saavutettujen säästöjen arvioinnissa tulee ottaa huomioon, että niiden laskennassa käytettiin tämän hetken kaukolämpöenergian ja sähköenergian markkinahintoja. Tutkittavan taloyhtiön tämänhetkisen sähkösopimuksen sähköenergian hinta on 4,72 snt/kWh. Mikäli laskennassa olisi esimerkiksi käytetty sähköenergian hintana kyseistä hintaa, olisi hybridilämmitysjärjestelmien vuotuiset käyttökustannukset vielä huomattavasti alhaisemmat ja sitä kautta myös niillä saavutettavat vuotuiset säästöt huomattavasti suuremmat. Toisaalta mikäli sähköenergian hinta tulee tulevaisuudessa nousemaan vielä korkeammalle, voi tulos olla myös päinvastainen eli hybridilämmitysjärjestelmien vuotuiset käyttökustannukset kasvavat ja sitä kautta niillä saavutetut vuotuiset säästöt lämmityskustannuksissa pienenevät.

Hybridilämmitysjärjestelmien takaisinmaksuaikoihin vaikuttaa merkittävästi järjestelmien investointikustannukset. Tutkimuksessa molemmista lämpöpumpuista ja varaajista saatiin valmistajilta tarjoukset. Töiden ja muiden tarvikkeiden hinnat olivat hinta-arvioita, jolloin todelliset järjestelmien investointikustannukset voivat erota tässä tutkimuksessa käytetyistä. Tällä voi olla vaikutusta hybridijärjestelmien takaisinmaksuaikoihin. Jatkotutkimuksena tulisikin selvittää molempien hybridijärjestelmien todelliset investointikustannukset kilpailuttamalla ne alan urakoitsijoilla.

Tutkimuksessa saavutetuista hybridijärjestelmien takaisinmaksuajoista on selkeästi nähtävissä viimeaikaisesta maailman tilanteesta johtuva sähköenergian hinnan nousun vaikutus. Etenkin maalämpöhybridijärjestelmän takaisinmaksuaika on tämän hetken sähköenergian hinnalla laskettuna huomattavan pitkä. Tutkimuksessa maalämpöhybridijärjestelmän lämmönkeruuputkisto sijoitettiin energiakaivoihin. Tutkittava taloyhtiö kuitenkin sijaitsee vesistön äärellä, joten jatkotutkimuksena tulisikin selvittää mahdollisuutta kerätä maalämpöpumpun tarvitsema lämpöenergia vesistöön asennettavalla keruuputkistolla. Tämä on energiakaivojen poraamiseen verrattuna yleensä huomattavasti halvempi vaihtoehto, joten sillä voi myös olla merkittävä lyhentävä vaikutus maalämpöhybridijärjestelmän takaisinmaksuaikaan.

Lisäksi molempien hybridijärjestelmien takaisinmaksuajoissa tulee ottaa huomioon, että niiden laskennassa käytettiin ympäristöministeriön asetuksen 1010/2017 uuden rakennuksen energiatehokkuudesta mukaisia standardikäytön arvoja. Todellisuudessa nämä arvot voivat poiketa laskennassa käytetyistä arvoista ja sillä voi olla merkittävä vaikutus takaisinmaksuaikoihin.

Jatkotutkimuksena tulee myös selvittää mahdollisten energia-avustusten saavuus. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA:n kautta on taloyhtiön mahdollista saada energia-avustusta sellaisiin korjaushankkeisiin, joilla taloyhtiön energiatehokkuutta voidaan parantaa. Tämän mahdollisen energia-avustuksen avulla saadaan hybridijärjestelmän investointikustannuksia pienennettyä ja sitä kautta myös järjestelmän takaisinmaksuaikaa lyhennettyä.

Tulevaisuudessa rakennusten elinkaaren hiilijalanjälki tulee olemaan merkittävässä roolissa sekä uudis- että korjausrakentamisessa. Rakennusten energiatehokkuudella on merkittävä vaikutus rakennusten hiilijalanjälkeen. Jatkotutkimuksena tulisikin selvittää, minkälainen vaikutus molemmilla hybridilämmitysjärjestelmillä on As. Oy Mikkelin Marsalkanrannan hiilidioksidipäästöihin ja sitä kautta sen hiilijalanjälkeen.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa As. Oy Mikkelin Marsalkanrannan hallituksen käytettäväksi raportti, jota he voivat tulevaisuudessa käyttää apuna tehdessään investointipäätöksiä mahdollisesta lämmitysmuodon muutoksesta kaukolämmöstä hybridilämmitykseksi. Mielestäni opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin. Opinnäytetyöstä taloyhtiön hallitus saa suuntaa antavaa tietoa hybridijärjestelmien investointikustannuksista, sekä niillä saavutettavista säästöistä sekä vuotuisessa ostoenergiankulutuksessa että vuotuisissa lämmitysjärjestelmän käyttökustannuksissa. Lisäksi hybridijärjestelmien takaisinmaksuaikaa tarkasteltiin useilla eri menetelmillä, tällä tavoin saatiin huomiotua monia takaisinmaksuaikaan vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksen tekijälle tämä opinnäytetyö on antanut huomattavasti laajemman näkökulman sekä rakennusten lämmityksestä että eritoten hybridilämmityksestä.

LÄHTEET

1. Motiva. Kaukolämpö. WWW-dokumentti. Päivitetty 13.04.2022. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitys-jarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo [viitattu 19.01.2023].
2. Rakennusmaailma. Kaukolämmön hinnannousu ajaa taloyhtiötä omaan energiantuotantoon. WWW-dokumentti. Päivitetty 09.09.2021. Saatavissa: <https://rakennusmaailma.fi/kaukolammon-hinnannousu-ajaa-taloyhtioita-omaan-energiantuotantoon/> [viitattu 19.01.2023].
3. Seppänen, O. Rakennusten lämmitys. 2. painos. Suomen LVI-liitto Ry. Helsinki. 2001
4. Motiva. Energian loppukäyttö. WWW-dokumentti. Päivitetty 03.05.2022. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto-suomessa/energian_loppukaytto [viitattu 19.01.2023].
5. Virta, J.& Pylsy, P. Taloyhtiön energiakirja. 1. painos. Kiinteistöalan Kustannus Oy. Helsinki. 2011
6. Motiva. Lämmitys. WWW-dokumentti. Päivitetty 17.01.2023. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot_yhdessa_energiatehokkaasti/lammitys [viitattu 26.01.2023].
7. Energiatehokkuus, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmityshontarpeen laskenta. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. 2018. Saatavissa: <https://ym.fi/rakentamismaaraykset> [viitattu 19.01.2023].
8. Energiatodistuksen laadintaesimerkki: Erillinen moottoriajoneuvosuoja. Energiatodistusoppaan 2018 liite. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. 2018. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/16490/Energiatodistuksen_laadintaesimerkki_-_Erillinen_moottoriajoneuvosuoja.pdf [viitattu 19.01.2023].
9. Energiatehokaskoti. Ilmanpitävyys. WWW-dokumentti. Päivitetty 21.07.2020. Saatavissa: https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/ilmanpitavyys [viitattu 19.01.2023].
10. Kempainen, A. Taloyhtiön energiaterkkäat lämmitysratkaisut. 1. painos. Kiinteistömedia Oy. Helsinki. 2022
11. Motiva. Energiaterkkäas ilmanvaihto. PDF-dokumentti. 2012. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/6147/Energiaterkkäas_ilmanvaihto2012.pdf [viitattu 19.01.2023].
12. Asumisen energiankulutus. Tilastokeskus. WWW-dokumentti. 2020. Saatavissa: https://www.stat.fi/til/asen/2020/asen_2020_2021-12-16_tie_001_fi.html [viitattu 19.01.2023].

13. Kuinka energiankulutus jakautuu. Ympäristöhallinto. WWW-dokumentti. Päivitetty 1.11.2018. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/korjaustieto/taloyhtiot/energiatehokkuus/energiankulutus/kulutusjakauma> [viitattu 19.01.2023].
14. Talotekniikkainfo. Veden lämpötila. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://talotekniikkainfo.fi/vesi-ja-viemarilaitteistot-opas/6-veden-lampotila> [viitattu 19.01.2022].
15. Käyttövesi ja energiatehokkuus. Ympäristöhallinto. WWW-dokumentti. Päivitetty 26.10.2015. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/korjaustieto/taloyhtiot/energiatehokkuus/energiankulutus/Kayttovesi> [viitattu 19.01.2023].
16. Motiva. Ilmanvaihdon eri toteutustavat. WWW-dokumentti. Päivitetty 17.1.2023. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/taloyhtiot_ -_ yhdessa_ energiatehokkaasti/ilmanvaihto/ilmanvaihdon_ eri_ toteutustavat [viitattu 19.01.2023].
17. Asuntokohtainen koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Ympäristöhallinto. WWW-dokumentti. Päivitetty 2.11.2018. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/korjaustieto/taloyhtiot/energiatehokkuus/Energiahukan_vahentaminen/Ilmanvaihdon_tarkastus_ ja_ saato/Asuntokohtainen_koneellinen_tulo_ ja_ poistoilmanvaihto [viitattu 19.01.2023].
18. Kaukolämpö 2021. Energiateollisuus. PDF-dokumentti. 2022. Saatavissa: https://energia.fi/files/5650/Kaukolampo_2021_v2.pdf [viitattu 19.01.2023].
19. Mäkelä, V-M. & Tuunanen, J. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkelin ammattikorkeakoulu. 2015
20. Motiva. Kaukolämmön tuotanto uudistuu. WWW-dokumentti. Päivitetty 23.03.2022. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon_tuotanto_uudistuu [viitattu 22.01.2023].
21. Högforsgst. Kaukolämpömitoitus. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <https://hogforsgst.com/fi/ajankohtaista/kaukolampo-mitoitus> [viitattu 28.02.2023].
22. Sulpu ry. Lämmitys sähköistyy. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <https://www.sulpu.fi/lammitys-sahkoistyy-lampopumppujen-myynti-kasvoi-25-prosenttia/> [viitattu 28.02.2023].
23. Perälä, O.& Perälä, R. Lämpöpumput. 3. painos. Alfamer/Karisto Oy. Helsinki. 2013
24. Motiva. Lämpöpumput. WWW-dokumentti. Päivitetty 21.12.2022. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput [viitattu 28.02.2023].

25. Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas 2013. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y [viitattu 22.01.2023].
26. Suomela. Lämpöpumpun toimintaperiaate. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.suomela.fi/lampopumpun-toimintaperiaate-tutustu/> [viitattu 26.01.2023].
27. Tom Allen Senera. Maalämpöpumput. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.tomallensenera.fi/maalampopumput> [viitattu 25.03.2023]
28. Rakentaja.fi. Matalaenergiatalo viilennetään maaviilennyksellä. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.rakentaja.fi/artikkelit/13441/matalaenergiatalo_viilennetaan_maaviilennyksella_nibe.htm [viitattu 26.01.2023].
29. Rakennustietosäätiö. Lämpöpumput LVI-ohjekortti. PDF-dokumentti. Päivitetty 03/2002.
30. Motiva. Ilma-vesilämpöpumppu. WWW-dokumentti. Päivitetty 21.12.2022. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilma-vesilampopumppu [viitattu 22.01.2023].
31. Innoair. Nibe Split 2- ilma-vesilämpöpumppu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.innoair.fi/Nibe-Split-2-ilmavesilampopumppu> [viitattu 26.01.2023].
32. Viessmann. Ilma-vesilämpöpumput. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.viessmann.fi/fi/asuinrakennukset/lampopumput/ilmavesilampopumput.html> [viitattu 23.03.2023].
33. Scanoffice. Miten ilmavesilämpöpumppu toimii. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.scanoffice.fi/tuoteryhma/ilma-vesilampopumput/#toiminta> [viitattu 22.01.2023].
34. Pirttinen, V. Selvitys ilmaisenergian hyödyntämisteknologioista. Sarja B. Raportit ja selvitykset 27/2014. Lapin ammattikorkeakoulu. 2014. Saatavissa: <https://www.lapinamk.fi/loader.aspx?id=4bedf672-c022-4b41-bc16-9f19ef7090f3> [viitattu 23.01.2023].
35. Profil. Hybridilämmitys. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://profil.fi/hybridilammitys> [viitattu 28.02.23].
36. Pöyry Management Consulting Oy. Kaukolämmön lämmönjakokeskusten kytkennät ja lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat. PDF-dokumentti. 2011. Saatavissa: <https://docplayer.fi/15739893-Selvitys-energiateollisuus-ry-kaukolampo-mirja-tiitinen-energia-fi-jari-kostama-energia-fi.html> [viitattu 24.01.2023].

37. Mäkelä, V-M. & Mäkiöllitervo, J. Kaukolämmityksen uudet tuulet- kohti älykkäitä hybridilämmitysjärjestelmiä. Oulun ammattikorkeakoulu. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <https://oamk.fi/oamkjournal/2022/kaukolammityksen-uudet-tuulet-kohti-alykkaita-hybridilammitysjarjestelmia/> [viitattu 24.01.2023].
38. Helen. Ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle. WWW-dokumentti. 2021. Saatavissa: https://www.helen.fi/globalassets/lampo/ammattilaiset/kaukolampo/helen_kaukolammon_hybridikytkenta_kaukolampolaitteiston_rinnalle.pdf [viitattu 24.01.2023].
39. Energiateollisuus ry. Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet K1/2021. PDF-dokumentti. 2021. Saatavissa: https://energia.fi/files/6412/Julkaisu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_%28pdf%29.pdf [viitattu 24.01.2023].
40. EQUA Simulation AB. IDA Indoor Climate and Energy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.equa.se/fi/ida-ice#> [viitattu 31.01.2023].
41. Magicad. Tilamallin IFC-vienti. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.magicad.com/fi/feature/tilamallin-ifc-vienti/> [viitattu 21.01.2023].
42. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017
43. Innoair Oy. Maalämpö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.innoair.fi/Porakaivo-poraus-maalampo-metrihinta> [viitattu 25.02.2023].
44. Etelä-Savon Energia. Kaukolämmön kausihinnasto 1.1.2023. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ese.fi/shared/files/Kaukol%C3%A4mp%C3%B6%20kausihinnasto%201.1.2023.pdf> [viitattu 20.02.2023].
45. Energiateollisuus ry. Teho ja vesivirta kaukolämmönmaksuperusteina K15/2014. PDF-dokumentti. 2014. Saatavissa: https://energia.fi/files/586/Teho_ja_vesivirta_SuositusK15_2014.pdf [viitattu 20.02.2023].
46. Etelä-Savon Energia. Hybridi-kaukolämpötuote taloyhtiöille. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ese.fi/lampo/hybrid/> [viitattu 22.02.2023].
47. Energiateollisuus ry. Sähkön hinta. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_hinta [viitattu 25.02.2023].
48. Etelä-Savon Energia. Verkkopalvelumaksut. 2023. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://ese.fi/files/ese/verkkopalvelumaksut%201.3.2021%20alkaen.pdf> [viitattu 25.02.2023].
49. Lumme-energia. Sähkö sopimus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lumme-energia.fi/sahkosopimus> [viitattu 04.03.2023].

50. Saarinen, P., Koltola, E. & Pösö, J. Liike-elämän Matematiikka. 11. uudistettu painos. Otavan Kirjapaino Oy. Keuruu. 2016
51. Tampereen Teknillinen yliopisto. Evako- Lähiökorttelikorjaamisen taloudellisen päätöksenteon kriteeristö. PDF-dokumentti. 2011. Saatavissa: [Ideapankki kannattavuusmalli final 2011 05 03.pdf](#) [viitattu 05.03.2023].
52. Rytönen, I. Myyntipäällikkö. Sähköpostiviesti 09.02.2023. Thermia Oy.
53. Rauhala, M. Projektimyyntipäällikkö. Sähköpostiviesti 16.02.2023. Kaukora Oy.
54. Motiva. Ylijäämälämmön hyödyntäminen. PDF-dokumentti. 2014. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/13513/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu- ja_ORC-sovellukset.pdf [viitattu 12.03.2023].
55. Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. Johdon laskentatoimi. 6.–13. painos. Otavan Kirjapaino Oy. Keuruu. 2017
56. Tilastokeskus. Kaukolämmön hinta kuluttajatyypeittäin, 1996M01–2023M01. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ ehi/stat-fin_ ehi_ pxt_ 12gd.px [viitattu 12.03.2023].
57. Tilastokeskus. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, 2008M01-2023M01. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ ehi/stat-fin_ ehi_ pxt_ 13rb.px [viitattu 12.03.2023].
58. Talotekniikkainfo. Maalämpöpumput. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/maalampopumput> [viitattu 16.03.2023].
59. Talotekniikkainfo. Lämmitys ilma-vesilämpöpumpulla. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/lammitys-ilmavesilampopumpulla> [viitattu 16.03.2023].
60. Techeat. Maalämpö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.techeat.fi/maalampo/> [viitattu 16.03.2023].