



Juho Hietamäki

Kerros- ja rivitalojen vaihtoehtoisten lämmitysmuotojen elinkaarikustan- nukset ja valintaan vaikuttavat teki- jät

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

24.4.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Juho Hietämäki
Otsikko:	Kerros- ja rivitalojen vaihtoehtoisten lämmitysmuotojen elinkaarikustannukset ja valintaan vaikuttavat tekijät
Sivumäärä:	48 sivua
Aika:	24.4.2023
Tutkinto:	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI-tekniikka
Ohjaajat:	lehtori Sergio Rossi LVI-insinööri Saku Korhonen

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Atlas Energia Oy, joka yrityksenä tarjoaa lämpöpumppujärjestelmien konsultointi, suunnittelu ja urakkavalvonta palveluita taloyhtiöiden ja muiden kiinteistöjen tarpeisiin. Opinnäytetyö on tehty toimeksiantajan alaisuudessa. Tämän työn kohdekiinteistöt sijaitsevat kaikki Helsingissä ja niiden olemassa olevana lämmitysmuotona on kaukolämpöjärjestelmä. Kaikille kohteille on teetetty energiamuotoselvitys, joissa tarkastellaan lämpöpumppujärjestelmien teknistä ja taloudellista soveltuvuutta kohteen lämmitysjärjestelmäksi.

Työssä esitellään kohdekiinteistöjen olemassa oleva lämmitysmuoto (kaukolämpö) sekä tutustutaan sen teknisiin ominaisuuksiin. Lisäksi tarkastellaan olemassa olevaa lämmitysmuotoa myös käyttökustannuksien valossa. Oleellisena osana työtä esitellään myös erilaisia lämpöpumppuratkaisuja, joita on mahdollista soveltaa esimerkki-kohteiden lämmitysjärjestelmiksi. Myös näissä variaatioissa tutustutaan järjestelmän teknisiin ominaisuuksiin ja käyttökustannuksiin.

Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää kaikissa kerros/rivitaloyhtiössä, joiden lämmitysmuotona on kaukolämpö. Taloyhtiö tai kiinteistön omistaja voi työn tuloksilla tehdä karkeita johtopäätöksiä oman kiinteistönsä toteutusmahdollisuuksista.

Avainsanat: Energiamuotoselvitys, lämpöpumppujärjestelmä, maalämpö

Abstract

Author: Juho Hietamäki
Title: Life Cycle Costs of Alternative Forms of Heating for Blocks of Flats and Terraced Houses and Factors Affecting the Choice
Number of Pages: 48 pages
Date: 24.April.2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Service Engineering
Professional Major: HVAC- Engineering
Supervisors: Sergio Rossi, Senior Lecturer
HVAC-engineer Saku Korhonen

The impact of the current world situation on energy prices has increased the popularity of various heat pump solutions. This thesis aimed at comparing different alternatives for the production of heating energy to buildings, as well as the technical and economic factors affecting the choice of the method of production of heating energy.

The results of the work were intended to provide a realistic idea of the selection criteria and the cost structure of the various forms of heating during their life cycle. The results primarily responded to the prevailing uncertainty of the subject, as well as to the current debate on rising energy prices and reducing the carbon footprint. Real estate owners, housing companies or real estate companies, can use the results to make rough estimates and conclusions about the alternatives to their own properties.

Keywords: heat pump, heating energy, life cycle

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lämmöntuotantotavat	2
2.1	Kaukolämpö	2
2.1.1	Toiminta ja laitteisto	3
2.1.2	Käyttökustannukset	5
2.2	Maalämpö	7
2.2.1	Toiminta ja laitteisto	8
2.2.2	Käyttökustannukset	13
2.3	Poistoilmalämpöpumppu	14
2.3.1	Toiminta ja laitteisto	14
2.3.2	Käyttökustannukset	15
2.4	Hybridijärjestelmät	16
2.4.1	Toiminta ja laitteisto	16
2.4.2	Käyttökustannukset	17
3	Valintaan vaikuttavat tekijät	18
3.1	Tekniset tekijät	18
3.2	Taloudelliset tekijät	20
3.3	Järjestelmän rakentamisen estävät tekijät	20
4	Investoinnin elinkaarilaskenta	21
4.1	Suoran takaisinmaksuajan menetelmä	21
4.2	Diskonnttaus	22
4.3	Nykyarvomenetelmä	23
4.4	ARA-energia-avustukset	24
5	Kohteiden tarkastelut	25
5.1	Kohde 1	26
5.2	Kohde 2	27
5.3	Kohde 3	29
6	Kohteiden järjestelmävertailu	31

6.1 Kohde 1	31
6.2 Kohde 2	37
6.3 Kohde 3	42
7 Yhteenveto	47
Lähteet	48

Lyhenteet

kWh *kilowattitunti*

MWh *megawattitunti*

LTO *lämmöntalteenotto (poistoilma)*

LVK *lämpimän veden kierto (käyttövesi)*

PILP *poistoilmalämpöpumppu*

1 Johdanto

Vallitsevan maailman tilanteen vaikutus energian hintoihin on kasvattanut erilaisten lämpöpumppuratkaisuiden suosiota. Myös hiilineutraalisuuden tavoitteleminen tulee todennäköisesti kasvattamaan kyseisten järjestelmien suosiota ennisestään tulevaisuudessa.

Tässä opinnäytetyössä vertaillaan olemassa olevien kerrostalokohteiden vaihtoehtoja lämmitysenergian tuotantoon sekä lämmitysenergian tuotantotavan valintaan vaikuttaviin teknisiin- ja taloudellisiin tekijöihin. Investointi-, energia-, huolto- ja kunnossapitokustannusten kokonaisuus muodostavat pitkällä aikavälillä elinkaarikustannuksen, jota tässä opinnäytetyössä havainnollistetaan laskentateoriaa ja esimerkkikohteita avuksi käyttäen. Työn keskeisimpiin asioihin kuuluvat myös erilaisten lämmitysmuotojen tekniset ja toiminnalliset ominaisuudet. Lämmitysmuodot ovat tässä opinnäytetyössä rajattu kaukolämpöön, maalämpöön ja LTO-järjestelmiin sekä niiden välisiin hybridiratkaisuihin.

Opinnäytetyössä käytettyjen esimerkkikohteiden maantieteellinen sijainti on rajattu Helsinkiin. Kohteet on valittu siten, että niiden perusteella voidaan tehdä päätelmiä noin 70–80 % kaikista Helsingin kerros/rivitalokohteista. Työn laajuus on rajattu siten, että kaikkien esimerkkikohteiden käytössä oleva lämmitysmuoto on kaukolämpö.

Työn tuloksilla pyritään tarjoamaan mahdollisimman realistinen käsitys eri lämmitysmuotojen valintaperusteista ja kustannusrakenteesta niiden elinkaaren aikana. Tulokset vastaavat ensisijaisesti aihetta koskevaan vallitsevaan epätietoisuuteen sekä ajankohtaiseen keskusteluun energiahintojen noususta- ja hiilijalanjäljen pienentämisestä. Kiinteistöjen omistajat, asunto- tai kiinteistöosakeyhtiöt voivat tehdä tulosten perusteella karkeita arvioita ja päätelmiä oman kiinteistönsä vaihtoehtoista.

2 Lämmöntuotantotavat

2.1 Kaukolämpö

Suomessa kiinteistöjen yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö. Se on keskitetty lämmitysmuoto, jossa erillisen kaukolämpöverkoston kautta kuljetetaan kuluttajalaitteille kuumaa vettä, jota saadaan valmistettua sähköntuotannon sivutuotteena, niin sanotuissa yhteistuotantolaitoksissa. Kaukolämpöä tuotetaan myös erillisissä lämpölaitoksissa, mutta niiden osuus kaukolämmön tuotannossa on yhteistuotantoa vähäisempi. [1] Kuvassa 1 on esitetty kaukolämmön yhteistuotannon osuus ja hankinnan määrä.



Kuva 1. Kaukolämmön yhteistuotannon osuus ja hankinnan määrä vuosina 2000–2019 [1].

2.1.1 Toiminta ja laitteisto

Yhteistuotantolaitoksessa tai lämpövoimalassa tuotettu kaukolämpöverkoston vesi kuljetetaan erillisellä kaukolämpöverkostolla kiinteistöjen kuluttajalaitteille, eli niin sanotuille kaukolämmön alajakokeskuksille. Alajakokeskuksien koko- ja niihin integroitu laitteisto määräytyvät kiinteistön lämmitettävän pinta-alan-, kiinteistön tilojen lämmitysmuodon sekä käyttöveden lämmitystarpeen mukaan. Kaukolämpöverkoston vesi ei koskaan ole suorassa kontaktissa kiinteistön käyttö- ja lämmitysveden kanssa, vaan lämmitysenergia siirretään epäsuoralla kytkennällä lämmönsiirtimien välityksellä. [2, s. 96.]

Lämmönjakohuoneessa sijaitsevat kaukolämpölaitteistot on eroteltu lämmönmyyjän- ja asiakkaan kesken. Lämmönmyyjälle kuuluvat seuraavat komponentit:

- kaukolämmön meno- ja paluuputki
- pääsulkuventtiilit
- virtausanturi
- lianerotin
- lämpömäärän laskin
- lämpötila-anturit.

Asiakkaalle kuuluvat seuraavat komponentit:

- säätökeskus
- lämmityksen- ja käyttöveden säätöventtiilit
- asiakkaan kaukolämmön pääsulkuventtiilit
- varo- ja paisuntalaitteet
- lämmityksen ja käyttöveden lämmönsiirtimet
- LVK:n ja lämmitysverkoston kiertovesipumput
- paine- ja lämpömittarit
- ulkolämpötila-anturi.

Kaukolämpölaitteisto jaetaan ensiö- ja toisiopuoleen. Ensiöpuolelle kuuluu kaikki järjestelmän komponentit, joissa kiertää kaukolämpövesi ja joihin vaikuttaa kaukolämpöverkostossa vallitseva paine. Toisiopuoli käsittää järjestelmän osat, joissa virtaa kiinteistön lämmitys- ja käyttövesi. [3] Kuvassa 2 on esitetty tavanomainen kaukolämmön alajakokeskus.



Kuva 2. Tavanomaisen kerrostalon alajakokeskus, jossa omat lämmönsiirtimet käyttövedelle ja lämmitykselle. Mikäli kohteessa olisi esimerkiksi koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, olisi alajakokeskus varustettu kolmannella lämmönsiirtimellä, joka palvelisi tuloilman lämmityspiirin patteria. [4]

2.1.2 Käyttökustannukset

Kaukolämmön käyttökustannukset vaihtelevat maakunnan ja kaukolämpöä myyvän yrityksen mukaan. Koska opinnäytetyön esimerkkikohteet sijaitsevat Helsingissä, on kustannuksissa käytetty Helen Oy:n ilmoittamia hintatietoja. Kaukolämmön hinta koostuu kolmesta osa-alueesta:

- liittymismaksusta (mikäli kyseessä on uudiskohde)
- vesivirtamaksusta
- energiamaksusta
- irtisanomismaksu (mikäli kohde luopuu kaukolämmöstä).

Koska opinnäytetyö käsittelee vaihtoehtoisia lämmitysmuotoratkaisuja olemassa olevan kaukolämpöjärjestelmän rinnalle tai tilalle, on uudiskohteisiin sisältyvä liittymismaksu rajattu tämän työn ulkopuolelle.

Vesivirtamaksun perusteena on sopimusvesivirta, joka saadaan laskemalla kutakin sopimustehon osatekijää vastaavat kaukolämpöveden virtaukset yhteen, esimerkiksi lämmityksen, ilmanvaihdon ja käyttöveden tuntista lämmitystehoa vastaavat vesivirrat. Lämmitystehoja vastaavat kaukolämpövesivirrat lasketaan ulkolämpötilassa, jossa on suurin tehon tarve. [5] Helsingissä mitoittava ulkolämpötila on -26 °C . Sopimusvesivirta lasketaan kaavalla 1:

$$V_e = \frac{\Phi}{C_p \times \rho \times (t_{et} - t_{ep})} \quad (1)$$

V_e	tehoa vastaava kaukolämpöveden tilavuusvirtaus, dm^3 / s
Φ	sopimusteho, kW
C_p	veden ominaisuuslämpökapasiteetti $4,2 \text{ KJ} / \text{kg } ^\circ\text{C}$
ρ	veden tiheys $997 \text{ kg} / \text{dm}^3$
t_{et}	kaukolämpöveden tulolämpötila, $^\circ\text{C}$
t_{ep}	kaukolämpöveden paluulämpötila, $^\circ\text{C}$

Helen Oy päivittää energiamaksun tammikuussa, maaliskuussa, toukokuussa ja lokakuussa, koska lämmöntuotantokustannukset vaihtelevat vuoden ajan mukaan. Taulukossa 1 on listattu kausihinnat viimeisimmän tiedon perusteella. [3]

Taulukko 1. Kaukolämmön energiahinnat syksy 2022 – kevät 2023.

Kausi	Hinta (€ / MWh) sis. ALV 24 %
Syksy 2022, 1.10.-31.12.2022	107,45
Talvi 2023, 1.1.-28.2.2023	113,53
Kevät 2023, 1.3.-30.4.2023	119,87
Kesä 2023 1.5.-30.9.2023	49,55

Helen Oy on arvioinut, että kaukolämmön kokonaishinta vuonna 2023 (energia + sopimusvesivirtamaksu) nousee keskimäärin kuluttajilla +16 % ja kerrostaloilla +19 % vuoteen 2022 verrattuna. Hintojen nousuun vaikuttaa tällä hetkellä vallitseva epävakaata markkinatilanne. [3]

Kaukolämpöliittymän irtisanominen tapahtuu erillisellä irtisanomisilmoituksella, jonka irtisanomisaika on 6 kuukautta toistaiseksi voimassa olevilla sopimuksilla. [3] Kun kaukolämpösopimus päättyy, irrotetaan kiinteistö lämmönmyyjän kaukolämpöverkostosta. Tästä koituu kiinteistölle kustannuksia, jotka koostuvat liittymisjohdon ja muiden lämmöntoimitukselle tarpeellisten laitteistojen purkamisesta (asunto-osakeyhtiöillä kokemusperäisesti arvioituna noin 5 000 €).

2.2 Maalämpö

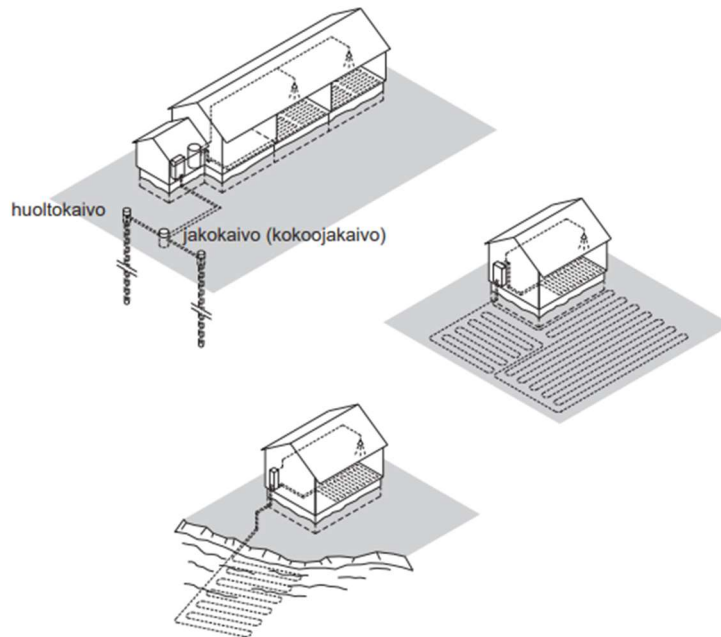
Maalämpöjärjestelmissä hyödynnetään kallio- ja maaperään sekä vesistöihin varastoitunutta aurinkoenergiaa. Jotta varastoitunutta aurinkoenergiaa kyetään jalostamaan kiinteistön lämmitys- ja käyttöveden lämmitykseen, tarvitsee maalämpöjärjestelmä varustaa erillisellä lämmönkeruuputkistolla. Keruuputkiston toteutustapaan sekä kustannuksiin vaikuttavat voimakkaasti kohdekiinteistön maantieteellinen sijainti sekä tontin ja maaperän ominaisuudet. [7, s. 1.]

Maalämpöjärjestelmän yleisin toteutustapa on maahan porattava porakaivo eli lämpökaivo. Lämpökaivojen määrät ja syvyydet määräytyvät kiinteistön vuotuisen lämmitysenergian sekä käyttöveden lämmitystarpeen mukaan. Lisäksi lämpökaivojen mitoitukseen vaikuttaa oleellisesti asennettava lämpöpumpputeho. Mikäli kaivoja on useita, ne yhdistetään erillisellä jakokaivolla yhdeksi lämmönkeruupiiriksi ennen lämpöpumppua. Lämpökaivojen etuja muihin toteutustapoihin verrattuna ovat mm. parempi energiansaanti putkimetriä kohden sekä kesäaikaisen jäähdytysjärjestelmän mahdollistaminen. Lämpökaivoja ei voi porata pohjavesialueelle tai jos tontin alapuolella on maanalaisia tiloja tai varauksia, jotka estävät kaivojen poraamisen suojaetäisyyksistä huolimatta. [7, s. 2.]

Mikäli kohdekiinteistölle ei voida porata lämpökaivoja, mutta kiinteistöllä on tavanomaista suurempi tontti, voidaan kohteelle vaihtoehtoisesti asentaa maakeruuputkisto. Maakeruuputkiston edellytyksenä on oikeanlainen maaperän koostumus sekä tarvittava kosteuspitoisuus. Maakeruuputkistoa ei suositella asennettavaksi soramaahan, koska se on putkiston lämmönkeruun kannalta liian kuivaa. Yleensä suositaan savipitoista maata, johon lämmönkeruuputkisto asennetaan tavanomaisesti metrin syvyyteen. [7, s. 2.]

Lämmönkeruuputkisto voidaan myös vaihtoehtoisesti asentaa vesistöön. Vesistön tulee olla jo rannan läheisyydessä vähintään kaksi metriä syvä, jotta keruuputkisto voidaan asentaa routarajan alapuolelle ja jottei talven tullen jäät pääse vaurioittamaan putkistoa. Vesistöön sijoitettavan keruuputkiston asennukselle

tulee aina saada vesialueen omistajan lupa. [7, s. 2.] Erilaiset lämmönkeruuteutustavat on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Lämmönkeruuputkiston kolme toteutustapaa. [7 s, 1.]

2.2.1 Toiminta ja laitteisto

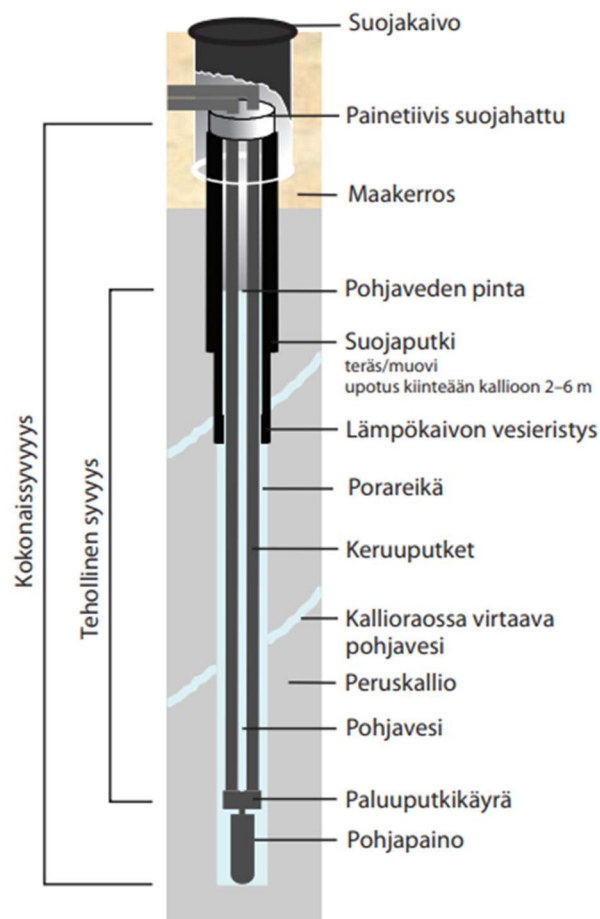
Koska työ keskittyy tavanomaisimpiin lämpöpumppuratkaisuihin Helsingin kerros/rivitalokohteissa, rajataan maa- ja vesikeruuputkistot tämän osa-alueen ulkopuolelle. Tässä osiossa tarkastellaan lämpökaivoihin perustuvaa maalämpöjärjestelmää.

Lämpökaivot

Lämpökaivojen määrät ja syvyydet määräytyvät kiinteistön vuotuisen lämmitysenergian sekä käyttöveden lämmitystarpeen mukaan. Lisäksi lämpökaivojen mitoittamiseen vaikuttaa oleellisesti asennettava lämpöpumpputeho. Tavanomaisen

kerrostalokohteen, yksittäisen lämpökaivon syvyys vaihtelee tyypillisesti 200–350 metrin välillä kohteesta riippuen. Mikäli tontin pinta-ala rajoittaa lämpökaivojen lukumäärää, voidaan porata myös syvempiä kaivoja. Syvemmälle porattaessa lämpökaivon metrihinta kuitenkin kasvaa. Pelkkä kaivon syvyys ei kerro siitä, kuinka paljon kaivosta on mahdollista saada lämmitysenergiaa talteen, oleellinen asia on kaivon tehollinen syvyys, eli syvyys, jossa lämpökaivon keruuputkisto ulottuu kallioperään ja putkisto on kontaktissa kaivossa olevan pohjaveden kanssa. [8 s, 2.]

Kuva 4 havainnollistaa tavanomaisen lämpökaivon rakennetta ja sen sisältämiä elementtejä. Kuvassa on havainnollistettu kokonaisyyden ja tehollisen syvyyden eroa.

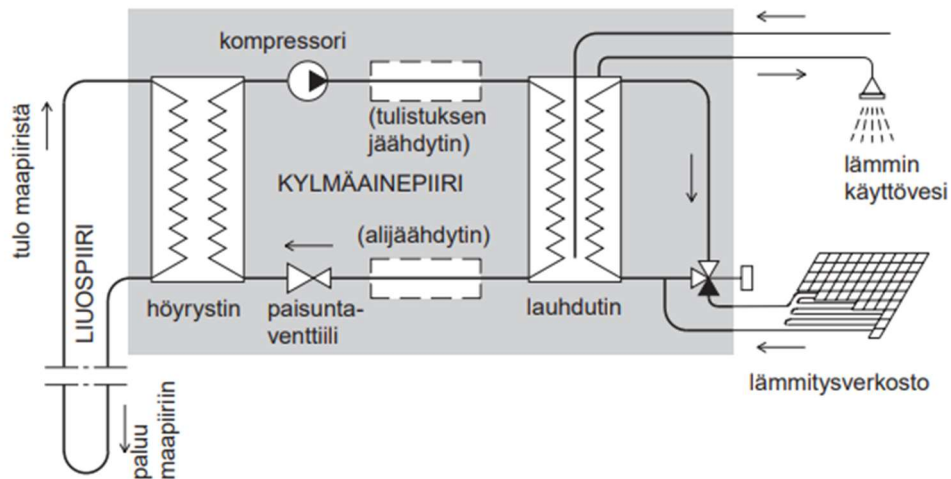


Kuva 4. Leikkauskuva tavanomaisen lämpökaivon elementeistä. [8 s. 7.]

Mikäli lämpökaivoja on useampia, liitetään niistä lähtevät lämmönkeruuputket yhtenäiseksi lämmönkeruu putkistoksi erillisellä jakokaivolla. Jakokaivolta putket viedään mahdollisuuksien mukaan lyhintä mahdollista reittiä maalämpölämpöpumpulle, yleensä kiinteistön lämmönjakohuoneeseen. Lämmönkeruuputkena voidaan käyttää tavallista muovista vesijohtoputkea (PEH/PEM). Lämmönkeruunesteenä maalämpöjärjestelmissä tavanomaisesti käytetään vesi-etanoli-liuosta sen hyvän pakkasen kestävyuden ja ympäristöystävällisyyden vuoksi. Liuoksen sekoitussuhde on tavanomaisimmin 28–30 %:n välillä. [8, s 6.]

Lämpöpumppu

Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen kiertoprosessiin. Lämmönkeruupiirin neste johdetaan lämpöpumpun höyrystimelle, jossa lämmönkeruunesteeseen sitoutunut lämpöenergia johdetaan epäsuoralla kytkennällä (lämmönsiirtimen välityksellä) lämpöpumpun kylmäainepiirissä kiertävään kylmäaineeseen. Nestemäisessä olomuodossa oleva kylmäaine sitoo itseensä lämmönkeruunesteessä olevan lämpöenergian ja höyrystyy. Tämän jälkeen kaasumaisen olomuodon saavuttanut kylmäainekaasu kulkeutuu lämpöpumpun kompressorille, jossa kaasumainen kylmäaine puristetaan korkeaan paineeseen. Kompressorin muodostama paine saa aikaan kylmäaineen lämpötilan nopean nousun. Tulistunut kylmäainekaasu kulkeutuu kylmäainepiiriin lauhduttimelle, jossa se luovuttaa lämpöenergiaa lämmönsiirtimen välityksellä kiinteistön toisiopiirissä kiertävään nesteeseen (yleensä kiinteistön lämmitysverkoston veteen). Luovuttaessaan lämpöenergiaa toisiopiiriin nesteeseen kylmäaineen olomuoto muuttuu jälleen nestemäiseksi, mutta siihen vaikuttaa vielä kompressorin ylläpitämä paine. Nestemäisen kylmäaineen lämpötilaa ja painetta saadaan alennettua kylmäainepiiriin paisuntaventtiilillä, joka on prosessin viimeinen komponentti. Paisuntaventtiilin jälkeen kylmäaineen kiertoprosessi alkaa alusta. [7 s, 3.] Kuvassa 5 on havainnollistettu lämpöpumpun toimintaa.



Kuva 5. Kylmäaineen kiertoprosessi ja lämpöpumpun toimintaperiaate.

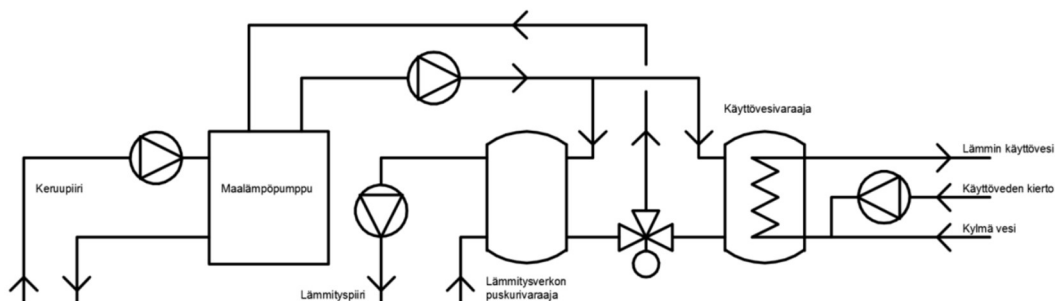
Maalämpöjärjestelmän komponentit

Maalämpöjärjestelmään kuuluu tavanomaisesti lämpöpumpun tai lämpöpumpujen lisäksi seuraavia komponentteja:

- lämmitysverkoston puskurivaraaja
- lämmitysverkoston sähkökattila (lisälämpö)
- lämminvesivaraaja (käyttövesi)
- tulistusvaraaja (riippuen lämpöpumpun ominaisuuksista)
- lämmönkeruupiirin täyttöastia + pumppu
- lämmitys- ja käyttövesiverkoston kiertovesipumput
- lämmönkeruupiirin paisunta- ja varolaitteet
- lämmityspiirin paisunta- ja varolaitteet
- säätöventtiilit ja säätölaitteet
- automaatiojärjestelmä.

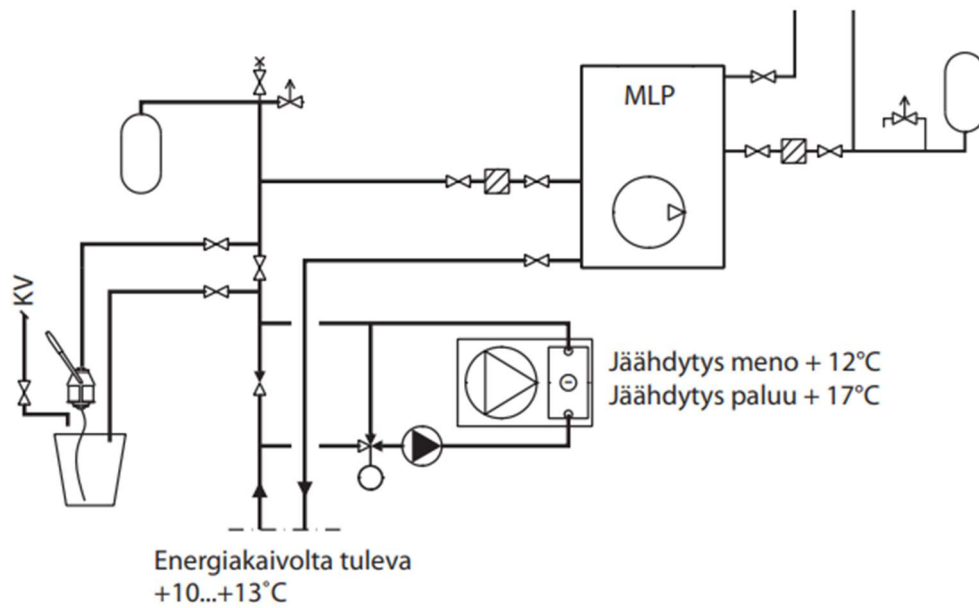
Tulistusvaraajan käyttö vaatii, että lämpöpumpussa on tulistuksenjäähdytin (kuva 5). Tulistusvaraajaa käytetään lämpimän käyttöveden lämmitykseen ja se voidaan laskea osaksi lämmitysveden varaajatilavuutta. Kuvassa 6 olevassa

kytkentäkaaviossa on esitetty tavanomaisen maalämpöjärjestelmän yleisimmät komponentit.



Kuva 6. Maalämpöjärjestelmän yleiset komponentit.

Maalämpöjärjestelmää voidaan hyödyntää myös rakennuksen viilentämiseen. Tällöin lämmönkeruupiiristä haaroitetaan oma erillinen verkostonsa, jossa lämmönkeruupiirin neste kulkee esimerkiksi huoneistoon kytketyn puhallinkonvektorin kautta. Kesäaikaan tällä menetelmällä voidaan viilentää sisätiloja ja saman aikaisesti "ladata" lämpökaivoihin lämpöenergiaa. [8, s 10.] Kuvassa 7 on esitetty jäähdytyksen perusperiaate. Vaihtoehtoisesti lämmönkeruupiirin ja puhallinkonvektoriverkoston välille voidaan asentaa lämmönsiirrin. Tällöin voidaan konvektoriverkostossa käyttää kiertävänä nesteinä vettä.



Kuva 7. Jäähdytyksen hyödyntäminen maalämpöjärjestelmässä [8, s 10].

2.2.2 Käyttökustannukset

Maalämpöjärjestelmän käyttökustannukset koostuvat seuraavista asioista:

- järjestelmän investointikustannukset
- järjestelmän huoltokustannukset
- järjestelmän kuluttama sähköenergia.

Käyttöönottokustannuksiin sisältyvät mm. lämpökaivojen poraus, lämmönkeruu-putkiston asennus, lämpöpumppu ja järjestelmän muu laitteisto, sekä maalämpöjärjestelmän vaatimat muutos- ja asennustyöt. Tavanomaisia muutostöitä ovat yleensä kiinteistön sähköjärjestelmän tehostaminen maalämpöjärjestelmän vaatimalle tasolle, mikäli vanha sähköjärjestelmä ei kykene palvelemaan maalämpölaitteistoa. Lämpökaivojen poraus on yleensä jopa yli 50 % hankkeen

kokonaiskustannuksista. Porauskuksannuksiin vaikuttaa voimakkaasti maaperän koostumus, lämpökaivojen määrä ja kaivojen syvyydet.

Maalämpöjärjestelmän käyttöönoton jälkeen laitteiston asentanut urakoitsija suorittaa laitteistojen vuosihuollot sekä huolehtii laitteiston ylläpidosta ja seurannasta takuuajana. Takuuajan jälkeen huoltosopimusta voidaan jatkaa urakoitsijan tarjoaman hinnaston mukaisesti tai vaihtoehtoisesti eri yrityksen toimesta.

Maalämpöjärjestelmä kuluttaa toimiakseen sähköä. Kustannuksien määrä riippuu kiinteistön hankkiman sähkön hinnasta, lämmitysenergian kulutuksesta sekä lämpöpumpun hyötysuhteesta ja energiapitoasteesta. Maalämpöjärjestelmän kustannuksia on havainnollistettu luvussa 7.

2.3 Poistoilmalämpöpumppu

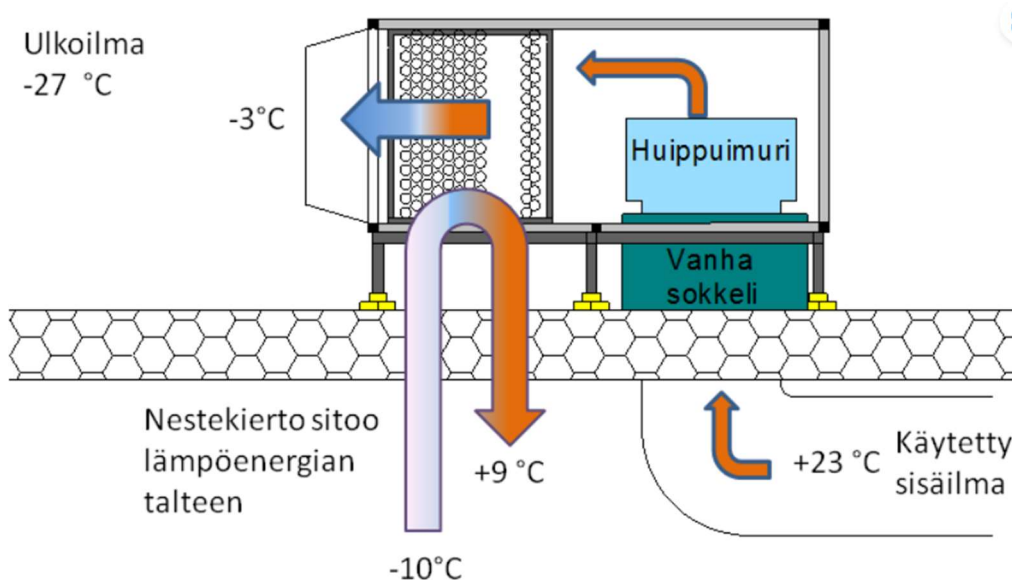
Poistoilmalämpöpumppu eli PILP on lämpöpumppujärjestelmä, jossa lämmitysenergiaa kerätään rakennuksen poistoilmanvaihdon kautta erillisellä LTO-laitteistolla. Tavanomaisemmin järjestelmä asennetaan kohteeseen, jossa ilmanvaihtojärjestelmänä toimii koneellinen poistoilmanvaihto. [10]

2.3.1 Toiminta ja laitteisto

PILP-järjestelmissä käytetään tavanomaisesti samoja lämpöpumppuja, kuin maalämpöjärjestelmissä. Lämpöpumpun toimintaperiaate on esitetty luvussa 2.2.1 Toiminta ja laitteisto "lämpöpumppu".

PILP-järjestelmä vaatii toimiakseen lämmönkeruuputkiston ja erillisen LTO-patterilla varustetun huippuimurin. Lämmönkeruuputkistossa kiertävä vesietanoli-seos kerää poistettavasta sisäilmasta lämpöenergiaa lämpöpumpun käytettäväksi. Poistettava sisäilma on noin +21-asteista, joka mahdollistaa lämpöpumpun toiminnan vakioteholla ympäri vuoden. PILP-järjestelmä ei yksin kykene kattamaan koko rakennuksen lämmitystarvetta ja siksi se tavanomaisesti kytketään kerrostalokohteissa kaukolämpöjärjestelmän rinnalle. [10] Maalämpökohteissa voidaan käyttää PILP-järjestelmälle ominaisia, LTO-patterilla varustettuja

huippuimureita osana lämmönkeruujärjestelmää, millä korvataan suuri osa lämpökaivometrejä. LTO-laitteen käyttöönotto vaatii koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän. Kuvassa 8 on havainnollistettu LTO-huippuimurin toimintaa.



Kuva 8. PILP-järjestelmän yhteyteen asennetun LTO-huippuimurin toimintaperiaate [11].

2.3.2 Käyttökustannukset

PILP-järjestelmän käyttökustannukset koostuvat seuraavista asioista:

- järjestelmän investointikustannukset
- järjestelmän huoltokustannukset
- järjestelmän kuluttama sähköenergia.

Käyttöönottokustannuksiin sisältyvät mm. lämmönkeruuputkiston asennus, lämpöpumppu, järjestelmän muut laitteet sekä PILP-järjestelmän vaatimat muutokset ja asennustyöt. Tavanomaisia muutostöitä ovat yleensä kiinteistön vanhojen huippuimureiden korvaaminen uusilla LTO-pattereilla varustetuilla huippuimureilla.

PILP-järjestelmän käyttöönoton jälkeen laitteiston asentanut urakoitsija suorittaa laitteistojen vuosihuollot sekä huolehtii laitteiston ylläpidosta ja seurannasta takuuajana. Takuuajan jälkeen huoltosopimusta voidaan jatkaa urakoitsijan tarjoaman hinnaston mukaisesti tai vaihtoehtoisesti eri yrityksen toimesta.

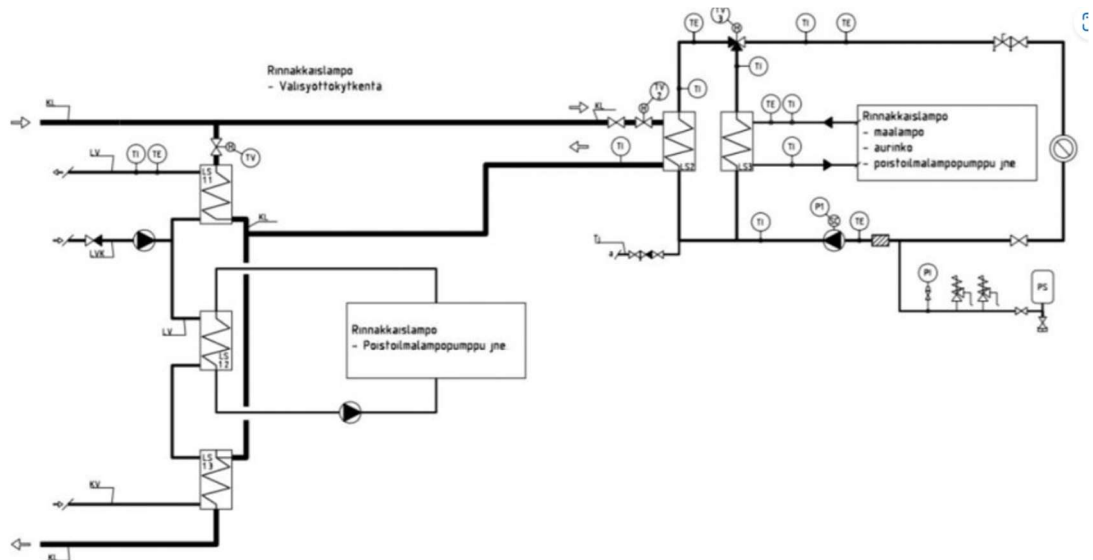
PILP-järjestelmä kuluttaa toimiakseen sähköä ja koska järjestelmä asennetaan yleensä kerrostalokohteissa kaukolämpöjärjestelmän rinnalle, koostuvat käyttökustannukset kulutetun sähkön ja kaukolämmön sopimushintojen mukaisesti.

2.4 Hybridijärjestelmät

Mikäli lämpöpumppujärjestelmä ei kykene palvelemaan koko kiinteistön lämmitystarvetta, kytkekään lämpöpumppujärjestelmä kerrostalokohteissa tavanomaisesti olemassa olevan kaukolämpöjärjestelmän rinnalle. Kyseisiä lämmitysmuotoja kutsutaan hybridijärjestelmiksi. [10]

2.4.1 Toiminta ja laitteisto

PILP-järjestelmät ja toisinaan myös maalämpöjärjestelmät (kun lämpökaivoja ei voida porata riittävästi) tarvitsevat rinnalleen kaukolämpölaitteiston. Mikäli lämpöpumpulla lämmitetään vain patteriverkoston vettä, voidaan lämpöpumppu kytkeä olemassa olevan kaukolämpölaitteiston rinnalle. Tällöin nykyinen kaukolämpölaitteisto jää palvelemaan käyttöveden lämmitystä ja toimii lisälämmönlähteenä kovilla pakkasjaksoilla, kun lämpöpumppu ei kykene itsenäisesti kattamaan koko kiinteistön lämmitystehontarvetta. Mikäli lämpöpumpulla halutaan lämmittää myös käyttövettä, vaatii tämä järjestely yleensä kaukolämpölaitteiston uusimisen. Tällainen kytkentätapa on esitetty kuvassa 9. Olemassa olevan kaukolämpölaitteiston ollessa lähellä elinkaarensa loppua on se järkevää uusita lämpöpumppulaitteiston asennuksen yhteydessä.



Kuva 9. Esimerkki kytkentäkaaviosta, jossa PILP/MLP-järjestelmät on kytketty rinnan kaukolämmön kanssa. [12]

2.4.2 Käyttökustannukset

Hybridijärjestelmän käyttökustannukset koostuvat seuraavista asioista:

- järjestelmän investointikustannukset, joka tavanomaisesti sisältää myös kaukolämmön alajakokeskuksen uusimisen
- järjestelmän huoltokustannukset
- järjestelmän kuluttama sähkö- ja kaukolämpöenergia.

Käyttökustannukset muodostuvat kulutetun sähkön ja kaukolämmön sopimushintojen mukaisesti. Hybridijärjestelmissä kaukolämmön hinta on hieman korkeampi kuin pelkässä kaukolämpöjärjestelmässä, koska tilausvesivirtamaksun suhteellinen osuus on suurempi.

3 Valintaan vaikuttavat tekijät

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Atlas Energia Oy. Yritys on erikoistunut Asunto-osakeyhtiöiden sekä muiden kiinteistöjen lämpöpumppuratkaisuiden suunnitteluun, konsultointiin sekä työmaavalvontaan. Seuraavissa luvuissa tullaan käyttämään toimeksiantajalta saatuja aineistoja sekä laskureita.

Lämmitysmuodon valinta kartoitetaan aina tapauskohtaisesti. Yleensä ensimmäinen työvaihe valintaprosessissa on taloyhtiölle räätälöity energiamuotoselvytys, jossa tarkastellaan potentiaalisia lämpöpumppuratkaisuja teknisestä ja taloudellisesta näkökulmasta.

3.1 Tekniset tekijät

Kartoitus alkaa yleensä kohdekäynnillä, jossa tarkastellaan kiinteistön tontin soveltuvuutta lämpökaivokentän rakentamiselle. Kohdekäynnillä kartoitetaan mahdollisten lämpökaivojen porauspaikkoja sekä lämmönkeruuputkiston reittiä tilaan, jonne lämpöpumppuyksikkö on mahdollista asentaa (yleensä olemassa oleva lämmönjakohuone). Mahdollisien lämpökaivojen määrä ja sijainnit tarkentuvat kohteelle teetetyistä lämpökaivuluonnoksesta, jossa lämpökaivojen sijainnit, niiden vaikutusalueet ja lämmönkeruuputkiston reitit esitetään oikeassa mitakaavassa. Luvussa 7 on teetetty jokaiselle kohteelle yksilöity lämpökaivuluonnos.

Lämmönjakohuoneesta tarkastetaan seuraavia oleellisia asioita:

- olemassa olevan lämmitysjärjestelmän lämpötilatasot eri ulkolämpötiloissa.
- olemassa olevan lämmitysjärjestelmän kytkentäkaavio
- mahdollisen energiamittaroinnin data
- tilan soveltuvuus lämpöpumppujärjestelmän asentamista varten.

Lämpöpumppujärjestelmä vaatii yleensä muutoksia myös kiinteistön sähköjärjestelmään. Sähköpääkeskuksesta tarkastellaan seuraavia oleellisia asioita:

- olemassa olevan sähköjärjestelmän nousujohtokaavio
- nousujohdon koko ja tyyppi
- pääsulakekoko
- pääkeskuksen ominaisuudet (vapaiden lähtöjen määrä jne.)
- lämpöpumppujärjestelmän ryhmäkeskuksen mahdollinen sijainti ja kaapelireitti.

Tarvittaessa sähkön jakelijalta voidaan pyytää kiinteistön tuntitehodata, jonka avulla voidaan arvioida sähköjärjestelmään tehtävien muutostöiden tarvetta. Tuntitehodatan trendistä nähdään kiinteistön kuluttama keskimääräinen sähkövirta ja huiput esimerkiksi vuoden ajalta. Sähkön jakelijalta saadaan tarvittaessa myös tieto kiinteistön sähkökaapelien tyypeistä.

Kiinteistön ilmanvaihtojärjestelmän kartoitus on oleellinen asia lämpöpumppukartoitusta. Mikäli kohteella on koneellinen poistoilmanvaihto, voidaan mahdollisuuksien mukaan tarkastella myös LTO-järjestelmän lisäämistä maalämpöjärjestelmän rinnalle, mikä vähentäisi lämpökaivojen lukumäärää tai syvyyttä. Mikäli on tiedossa, ettei kohteelle voida porata lämpökaivoja, olisi tarkasteltavana lämpöpumppuratkaisuna PILP-järjestelmä. LTO-huippuimureiden asennusta varten kartoitetaan kiinteistön vesikatto, olemassa olevat huippuimurit sekä niiden ilmamäärät mahdollisuuksien mukaan. Oleellinen asia on tarkastella myös lämmönkeruuputkien reitit lämpöpumppuyksikölle, sillä LTO-ratkaisuissa lämmönkeruuputkistot kulkevat yleensä kiinteistön julkisivua pitkin. Linjasaneerauksien yhteydessä rakennetut LTO-putkistot kulkevat yleensä rakennuksen sisällä samaa reittiä uusien käyttövesiputkien kanssa.

3.2 Taloudelliset tekijät

Taloudelliset tekijät ovat tällä hetkellä suurin syy lämpöpumppuratkaisuiden suosion kasvuun, sillä kaukolämmön hinta on ollut nousussa viime vuosina. Oikein suunnitellulla ja mitoitettulla järjestelmällä voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä lämmityskustannuksissa.

Kun kohteesta on saatu kaikki tarvittavat tekniset lähtötiedot, tarkastellaan kohteeseen soveltuvan lämpöpumppuratkaisun kannattavuutta taloudellisesta näkökulmasta. Oleellisia lähtötietoja laskelmiin ovat nykyinen kaukolämmön ja sähkön hinta. Oleellista on myös kaukolämpöenergian ja käyttöveden kokonaiskulutus esimerkiksi 3–5 vuoden ajalta, joihin lämpöpumppujärjestelmien mitoitus perustuu. Edellä mainittujen teknisten ja taloudellisten tekijöiden pohjalta voidaan arvioida mahdollisten lämpöpumppuinvestointien suuruutta ja kannattavuutta kohteille.

3.3 Järjestelmän rakentamisen estävät tekijät

Maalämpöjärjestelmissä lämpökaivoja ei saa porata, mikäli kohde sijaitsee pohjavesialueella tai tontin alapuolella on maanalaisia tiloja tai tilavarauksia, jotka estävät porauksen. Lisäksi on mahdollista, että poraus keskeytyy työn suorittajasta riippumattomista syistä, kuten kallioperän koostumuksen takia. Mikäli lämpökaivometrit jäävät reilusti alle suunniteltujen metrimäärien ja metrimäärät koetaan riittämättömiksi järjestelmän toiminnalle, on tarkasteltava vaihtoehtoisia tapoja kattaa energiavaje (esimerkiksi kaukolämmön jättäminen lisäenergian lähteeksi). Tämän kaltaiset tapaukset ovat kuitenkin hyvin harvinaisia, ja puuttuvat metrimäärät saadaan yleensä kompensoitua poraamalla onnistuneita kaivoja syvemmiksi tai mahdollisuuksien mukaan poraamalla varakaivo, mikäli tontin pinta-ala sen mahdollistaa. Porauskaluston pääsy kiinteistön tontille voi myös olla estävä tekijä maalämpöjärjestelmien asennuksessa. Tapaukset, joissa järjestelmää ei ole voitu tämän vuoksi asentaa, ovat kuitenkin melko harvinaisia, ja ne käyvät ilmi jo kartoitusvaiheessa. Mikäli osa porauskalustosta joudutaan jättämään porauksen ajaksi esimerkiksi kadulle, on "katuvaltauksesta" tehtävä

erillinen hakemus kunnan tai kaupungin liikenneviranomaisille. Tästä koituu yhtiölle yleensä lisäkustannuksia.

PILP-järjestelmää ei voida asentaa kohteeseen, jossa on painovoimainen tai koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.

4 Investoinnin elinkaarilaskenta

Tässä luvussa käsitellään investoinnin elinkaarilaskentaa, jolla voidaan arvioida kohteeseen tehtävän investoinnin kannattavuutta. Tarkastelussa selvitetään valitulla tarkastelujaksolla investoinnin kannattavuus ottaen huomioon tarkastelujakson aikaiset tuotot ja kustannukset. Tavanomaisesti tarkastelujakson pituutena voidaan pitää 15–30 vuotta.

Investoinnin elinkaarikustannuksia ja takaisinmaksuaikaa voidaan arvioida erilaisilla laskumenetelmillä. Tässä opinnäytetyössä esitetään suoran takaisinmaksuajan menetelmä sekä nykyarvomenetelmä.

4.1 Suoran takaisinmaksuajan menetelmä

Kun tiedetään investoinnin suuruus ja investoinnin jälkeen kertyneet tuotot vuodessa, saadaan arvio siitä, milloin investointi laskennallisesti maksaa itsensä takaisin. Suora takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla 2.

$$\text{suora takaisinmaksuaika} = \frac{\text{investointikustannus}}{\text{tuotto vuodessa}} \quad (2)$$

Laskennassa ei oteta huomioon investoinnin rahoitukseen liittyviä korkotekijöitä, joten kyseisellä laskentatavalla voidaan antaa vain suuntaa antava arvio investoinnin takaisinmaksuajasta.

4.2 Diskonttaus

Realististen laskentatulosten mahdollistamiseksi elinkaarikustannuslaskennassa voidaan tuotot ja kulut diskontata. Diskonttaamalla saadaan tulevaisuuden tuotot ja kulut vastaamaan reaaliarvoltaan samansuuruista rahasummaa. Diskonttauksen periaate yksinkertaistettuna tarkoittaa sitä, että rahan arvo nykyhetkessä on arvokkaampi kuin tulevaisuudessa. Diskonttauskerroin laskelmia varten saadaan kaavalla 3.

$$a_y = \frac{1}{(1+r)^n} \quad (3)$$

jossa

a_y	diskonttauskerroin
r	reaalikorko
n	vuosi, johon pääoman erä liittyy

Laskennassa käytettävä korko voi olla nimellinen tai reaalinen. Nimelliskorolla tarkoitetaan korkoa, josta ei ole poistettu inflaation vaikutusta. Nimelliskorko voi olla esimerkiksi asuntolainasopimukseen merkitty korko. Reaalikorko puolestaan tarkoittaa korkoa, jossa inflaation vaikutus on huomioitu. Kun tiedetään lainan nimelliskoro, voidaan siitä selvittää reaalikoron suuruus kaavalla 4.

$$r = \frac{i-f}{(1+f)} \quad (4)$$

jossa

r	reaalikorko
i	nimelliskorko
f	inflaatio

4.3 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä diskontataan vuotuiset kustannukset ja tuotot nykyhetkeen, jolloin tuotoista ja kustannuksista saadaan mahdollisimman vertailukelpoisia investointikustannuksiin nähden. Kaava 5 havainnollistaa mistä investointikustannusten nykyarvo koostuu.

Investoinnin elinkaarikustannukset lasketaan kaavalla 5.

$$K_{NY} = K_i + K_e + K_h + K_{ku} - J_n \quad (5)$$

jossa

K_{NY}	Kokonaiskustannuksien nykyarvo, €
K_i	Investointikustannus, €
K_e	Energiakustannuksien nykyarvo, €
K_h	Huoltokustannuksien nykyarvo, €
K_{ku}	Kunnossapitokustannuksien nykyarvo, €
J_n	mahdollisen jäännösarvon nykyarvo, €

Kaavan 6 diskonttauskaavalla saadaan selville kustannuksien nykyarvo riippumatta siitä, kuinka kauas kustannus sijoittuu.

$$K_{NY} = \sum K_n * a_y = \sum K_n * \frac{1}{(1 + \frac{r}{100})^i} \quad (6)$$

jossa

K_{NY}	kustannuksen nykyarvo, €
a_y	diskonttauskerroin, %
r	reaalikorko, %
K_n	kustannus vuonna, n

4.4 ARA-energia-avustukset

Taloyhtiön lämmitystapamuutosinvestoinneille on mahdollista saada ARA-energia-avustusta seuraavin kriteerein:

- Mikäli taloyhtiö vaihtaa fossiilisilla polttoaineilla toimivasta järjestelmästä lämpöpumppujärjestelmään, on energia-avustuksen määrä 50 % hankkeen kokonaiskustannuksista tai 4 000 €/asunto. Avustuksen suuruus määräytyy sen mukaan kumpi vaihtoehtoista johtaa pienimpään avustusmäärään.
- Energia-avustusta voidaan hakea, mikäli rakennuksen E-lukua voidaan parantaa riittävästi. Kerrostalojen osalta parannuksen tulee olla vähintään 32 % ja rivitalojen osalta vähintään 36 %. Vertailuajankohdina ovat rakennusvuosi ja tilanne suunniteltujen hankkeiden toteutuksen jälkeen. Pelkkä lämmitysjärjestelmän muutos ei kuitenkaan välttämättä ole riittävä vaaditun parannuksen saavuttamiseksi.

Avustuksia on mahdollista saada niin kauan, kun siihen varattuja määrärahoja on jäljellä tai avustuksien myöntämistä jatketaan. Huomioitavaa on, että tässä kapaleessa esitetty energia-avustus on voimassa vuosina 2020–2023 (jatkosta ei toistaiseksi tietoa).

5 Kohteiden tarkastelut

Opinnäytetyössä tarkastellaan erilaisia lämpöpumppuratkaisuja kolmeen kohteeseen, joiden alkuperäinen lämmitysmuoto on kaukolämpö. Kohteet sijaitsevat Helsingissä. Lämpöpumppuratkaisun soveltuvuutta kohteeseen arvioidaan niin teknisestä, kuin taloudellisesta näkökulmasta. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Atlas Energia Oy.

Kohteiden talouslaskelmissa käytetyt lähtötiedot on esitetty taulukossa 2. Lisäksi laskelmissa on huomioitu 15 vuoden laina-ajan vuotuiset korkokustannukset.

Taulukko 2. Kohteiden talouslaskelmissa käytetyt lähtötiedot.

reaalikorko	Nimellis-korko	Inflaatio	Lainan korko	Kaukolämmön kokonaishinta €/MWh	Sähkön kokonaishinta €/MWh
0,5	2	1,5	3	125	180

Jokaiselle kohteelle on teetetty oma lämpökaivoluonnos havainnollistamaan tontille suunnitteilla olevien lämpökaivojen sijainteja ja vaikutusalueita. Lämpökaivojen suunnittelun tukena on käytetty kuvan 10 ohjeita. [9]

Kohde	Suosittelut minimietäisyys
Energiakaivo	15 m*
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m**
Kallioporakaivo	40 m*
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m**
Kiinteistökohtaisen jäteveden puhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m Harmaat vedet 20 m
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat putket) – 5 m (muiden putket)***
Tunnelit ja luolat	25 m, etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

* porareiän ollessa pystysuora
 ** porareiän ollessa pystysuora, voidaan naapurin luvalla porata lähemmäs
 ***etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivuusyvyvyydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

Kuva 10. Lämpökaivojen suunnittelussa käytettyjä etäisyyksiä.

5.1 Kohde 1

Kiinteistöjen perustiedot

Helsingissä sijaitseva kohde koostuu kolmesta erillisestä rivitaloyhtiöstä, joiden lämmitystä ja lämpimän käyttöveden valmistusta palvelee yhteinen kaukolämmön alajakokeskus. Rakennuksia on yhteensä kahdeksan kappaletta ja asuntoja 43 kappaletta. Kohde on valmistunut vuosina 1962–1964. Kohteelle räätälöidään energiamuotoselvitys, jossa tarkastellaan maalämpöjärjestelmän teknistä ja taloudellista soveltuvuutta kohteen lämmitysmuodoksi. Tässä tapauksessa kaukolämmöstä luovuttaisiin kokonaan. Lisäksi tarkastellaan optiota, jossa kaukolämpö jätetään maalämpöjärjestelmän rinnalle lisäenergian lähteeksi. Koska kolmen taloyhtiön lämpö jaetaan erillisen lämpöyhtiön (Oy) toimesta, ei hankkeelle ole saatavilla ARA:n energia-avustusta (avustus suunnattu taloyhtiöille).

Lämpöpumppumitoituksen lähtötiedot

Kaukolämmön kulutus on vuosina 2020–2022 ollut keskimäärin 850 MWh/a ja suurin yksittäinen kulutus on ollut 901 MWh (vuosi 2021). Lämmitysenergian mitoittavana tarpeena on käytetty edellä mainittujen lukemien perusteella arvoa 870 MWh/a. Lämmityksen huipputehontarve on energian- ja vedenkulutustietojen sekä kaukolämpöyhtiöltä saadun tuntidatan perusteella noin 275 kW. Kylmän veden kokonaiskulutus on ollut noin 4 552 m³/a, josta lämpimän veden osuus on ollut arviolta noin 38 % (1 730 m³/a) ja energiamäärä noin 100 MWh/a. Lämmitysverkoston menoveden lämpötila on +65 °C, kun ulkolämpötila on –20 °C. Lämpimän veden lämmitykseen kulunut energiamäärä voidaan laskea kaavalla 7.

$$Q_{LV} = 1,16 * V_{KV} * 0,38 * dT \quad (7)$$

jossa

Q_{LV}	veden lämmitykseen kuluva energia, kWh
1,16	energian määrä, joka tarvitaan kun 1 m ³ vettä lämmitetään 1 °C
V_{KV}	kylmän veden määrä, m ³
0,38	kerroin, jolla voidaan arvioida lämpimän veden osuutta kylmän käyttöveden kokonaiskulutuksesta
dT	kylmän veden ja lämpimän käyttöveden lämpötilaero

Tonttien alueella ei julkisten tietolähteiden perusteella ole tunneleita tai tunnelivarauksia, eivätkä tontit sijaitse pohjavesialueella. Tonttien pinta-ala (noin 18 200 m²) mahdollistaa maalämpöjärjestelmän vaatiman kaivomäärän poraamisen, eli noin 20 kaivoa + 2 varakaivoa (tarvittaessa enemmänkin). Kohteen lämpökaivuluonnos on esitetty luvussa 7.1.

Sähköpääkeskuksen nimellisvirta on 3 x 200 A ja nousujohdon tyyppi AXMK 4x185. Kohteen sähkönkulutuksen tuntidatan perusteella virtapiikit ovat noin 100 A.

5.2 Kohde 2

Kiinteistön perustiedot

Helsingissä sijaitseva kohde on kerrostaloyhtiö, jonka lämmitys ja lämpimän käyttöveden valmistus tuotetaan kaukolämmöllä. Talon ilmanvaihtoa palvelee koneellinen poistoilmanvaihto. Kerrostalon tilavuus on 11 700 m³ ja talossa on 51 asuntoa. Kohde on valmistunut vuonna 1955. Kohteelle räätälöidään energiamuotoselvitys, joissa tarkastellaan maalämpöjärjestelmän, sekä maalämpö-LTO-järjestelmän teknistä ja taloudellista soveltuvuutta kohteen lämmitysmuodoksi. Edellä mainituissa tapauksissa kaukolämmöstä luovuttaisiin kokonaan. Kohteen alkuperäinen lämmitysmuoto on ollut öljylämmitys, joka mahdollistaa

ARA-energia-avustuksen hakemisen, jonka suuruus on noin 25 % investoinnin kustannuksista (parannus E-lukuun 61 % jo tehdyt saneeraukset huomioiden)

Lämpöpumppumitoituksen lähtötiedot

Kaukolämmön kulutus on vuosina 2015–2021 ollut keskimäärin 543 MWh/a ja suurin yksittäinen kulutus on ollut 644 MWh (vuosi 2021). Lämmitysenergian mitoittavana tarpeena on käytetty edellä mainittujen lukemien perusteella arvoa 570 MWh/a. Lämmityksen huipputehontarve on energian- ja vedenkulutustietojen sekä kaukolämpöyhtiöltä saadun tuntidatan perusteella noin 195 kW. Kylmän veden kokonaiskulutus on ollut noin 3 700 m³/a, josta lämpimän veden osuus on ollut arviolta noin 38 % (1 400 m³/a) ja energiamäärä noin 80 MWh/a. Lämmitysverkoston menoveden lämpötila on +69 °C, kun ulkolämpötila on –20-astetta. Lämpimän veden lämmitykseen kulunut energiamäärä voidaan laskea kaavalla 7 (esitetty luvussa 6.1, Kohde 1).

Koneellinen poistoilmanvaihto on jaettu yhdeksälle huippuimurille. Kokonaisilmamäärät normaali-ilmanvaihdolla on noin 1,8 m³/s ja tehostusaikoina 2,4 m³/s.

Tontin alueella ei julkisten tietolähteiden perusteella ole tunneleita tai tunnelivarauksia, eikä tontti sijaitse pohjavesialueella. Tontin pinta-ala (noin 3 534 m²) mahdollistaa noin 11–12 lämpökaivon poraamisen. Kohteen lämpökaivoluonnos on esitetty luvussa 7.2.

Sähköliittymän koko on tällä hetkellä 3 x 200 A ja nousujohdon tyyppi AXMK 4x185. Kohteen liittymäoikeus on nostettavissa kokoon 3 x 250 A ilman pääkeskukseen tehtäviä vahvistuksia. Kohteen sähkönkulutuksen tuntidatan perusteella virtapiikit ovat noin 80 A.

5.3 Kohde 3

Kiinteistön perustiedot

Helsingissä sijaitseva kohde on kerrostaloyhtiö, jonka lämmitys ja lämpimän käyttöveden valmistus tuotetaan kaukolämmöllä. Talon ilmanvaihtoa palvelee koneellinen poistoilmanvaihto. Kerrostalon tilavuus on 10 568 m³ ja talossa on 42 asuntoa. Kohde on valmistunut vuonna 2000. Kohteelle räätälöidään energiamuotoselvitys, joissa tarkastellaan maalämpö-LTO-järjestelmän sekä PILP-kaukolämpö-järjestelmän teknistä ja taloudellista soveltuvuutta kohteen lämmitysmuodoksi. Kohteen alkuperäinen lämmitysmuoto on aina ollut kaukolämpö, joten ARA-energia-avustusta ei ole huomioitu elinkaarilaskelmissa (lämmitysmuodon muutoksella ei saavuteta riittävää parannusta E-lukuun).

Lämpöpumppumitoituksen lähtötiedot

Kaukolämmön kulutus on vuosina 2016–2021 ollut keskimäärin 368 MWh/a ja suurin yksittäinen kulutus on ollut 410 MWh (vuosi 2021). Lämmitysenergian mittaavana tarpeena on käytetty edellä mainittujen lukemien perusteella arvoa 390 MWh/a. Lämmityksen huipputehontarve on energian- ja vedenkulutustietojen sekä kaukolämpöyhtiöltä saadun tuntidatan perusteella noin 140 kW. Kylmän veden kokonaiskulutus on ollut noin 3 160 m³/a, josta lämpimän veden osuus on ollut arviolta noin 38 % (1 200 m³/a) ja energiamäärä noin 70 MWh/a. Lämmitysverkoston menoveden lämpötila on +64 °C, kun ulkolämpötila on –20 astetta. Lämpimän veden lämmitykseen kulunut energiamäärä voidaan laskea kaavalla 7 (esitetty luvussa 6.1, Kohde 1).

Koneellinen poistoilmanvaihto on jaettu kahdelle huippuimurille. Kokonaisilmamäärät ovat olleet kiinteistölle suoritettujen ilmamäärämittausten perusteella noin 2,4 m³/s. Ilmamäärät mitattu ilmanvaihdon tehostus tilanteessa. Normaaliajan ilmanvaihto arvioitu olevan noin 1,6 m³/s.

Tontin alueella ei julkisten tietolähteiden perusteella ole tunneleita tai tunnelivarauksia, eikä tontti sijaitse pohjavesialueella. Tontin pinta-ala (noin 1 430 m²)

mahdollistaa neljän lämpökaivon poraamisen. Kohteen lämpökaivuluonnos on esitetty luvussa 7.3.

Sähköliittymän koko on tällä hetkellä 3 x 320 A. Pääkeskus ja nousujohtot mahdollistavat 3 x 400 A liittymän. Kohteen sähkönkulutuksen tuntidatan perusteella virtapiikit ovat noin 70 A.

6 Kohteiden järjestelmävertailu

6.1 Kohde 1

Maalämpö, lisälämpönä sähkö

Tässä ratkaisussa maalämpöjärjestelmän mitoitus perustuu lämpökaivokenttään, jossa on 20 kappaletta 320 metrin syvyisiä lämpökaivoja + kaksi varakaivoa. Tarvittaessa tonttien pinta-ala mahdollistaa useampien kaivojen porauksen. Varakaivo porataan normaalisti, mikäli yksi tai useampi lämpökaivo jää tavoitesyvyyttä matalammaksi. Tässä kohteessa lämpökaivojen mitoittavana tekijänä on kaivoista otettava vuotuinen energiamäärä. Lämpökaivojen sijoittelun ja keskinäisen etäisyyden perusteella mitoituksesi on valittu 90 kWh/m. Lämpökaivoista otettava ominaisteho (W/m) on melko matala, jonka vuoksi sitä ei ole tarvinnut huomioida mitoituksessa. Lämpökaivokenttälunnon on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. **Puna-oranssit** ympyrät kuvaavat lämpökaivojen porauspaikkoja ja **punaiset** viivat lämpökaivojen vinoporaussuuntia. **Siniset**, **oranssit** ja **vihreät** ympyrät (halkaisija 15 m) kuvaavat lämpökaivojen keskimääräistä vaikutusalueita. **Sinisiä** 12 kpl (maalämpö-kaukolämpö-yhdistelmä), **oransseja** 8 kpl (sinisten lisäksi laajassa maalämpövaihtoehdossa) ja **vihreät** 2 kpl (mahdolliset varakaivot).

Maalämpöjärjestelmä mitoitetaan osatehoiseksi, jolloin lämpöpumput ovat tehollaan noin 80 % huipputehon tarpeesta (275 kW). Lämpöpumpputeho on tällöin 210–220 kW. Osatehomitoitettulla lämpöpumppulaitteistolla voidaan tässä tapauksessa tuottaa noin 99 % kiinteistön lämmitysenergian tarpeesta, joka on vuodessa noin 860 MWh/a. Tämä perustuu siihen, että mitoitus ulkolämpötilan mukaiset sääolosuhteet (etelässä –26 °C) ovat suhteellisen harvinaisia. Tällöin tarvittava lisälämpöenergia tuotetaan sähköllä, jonka osuus tässä tapauksessa on noin 10 MWh/a. Osatehomitoitettulla laitteistolla voidaan siis kattaa suurin osa lämmitysenergiasta, koska mitoitusulkolämpötila toteutuu erittäin harvoin. Täystehomitoitettulla laitteistolla ei yleensä saavuteta merkittäviä hyötyjä, koska tällöin investointikustannukset kasvavat ilman oleellista hyötyä käyttökustannuksissa. Sähkö lisäenergian lähteenä tulee yleensä edullisimmaksi ratkaisuksi. Kohteen lämpöpumppulaitteiston keskimääräinen vuosihyötysuhde (COP) on noin 3,0 ja koko järjestelmän sähkön kulutus noin 287 MWh/a. COP-luku on lämpöpumppujärjestelmän tehokkuuden mitta. Lämpöpumppukerroin on tuoton suhde kulutukseen tietyissä lämpötiloissa [9]. COP voidaan laskea kaavalla 8.

$$COP = \frac{\text{Tuotettu lämpöenergia}}{\text{Kulutettu sähköenergia}} \quad (8)$$

Tarkastellun lämpöpumppulaitteiston virran tarve on noin 170–180 A, jonka vuoksi sähköliittymä on nostettava kokoon 3 x 320 A (nykyinen 3 x 200). Kohteeseen on suunniteltu asennettavan kolme kappaletta invertteriohjattuja lämpöpumppuja, joiden yksikköteho on noin 76 kW. Invertteriohjattu kompressori mahdollistaa tarkan tehon säädön. Tässä tapauksessa laitteen sähkövirran tarvetta voidaan arvioida kaavalla (9).

$$\text{Lämpöpumpun sähkövirta (A)} = \frac{\text{Lämpöpumpun sähköteho (kW)}}{\text{Jännite (3*0,23 kV)}} \quad (9)$$

Jos kyseessä on ON/OFF- tyyppinen kompressori on sähkövirta arvioitava noin 30 % suuremmaksi.

Koko investoinnin kustannusarvio, sisältäen urakoinnin ja muut hankkeeseen liittyvät kustannukset, on noin 780 000 €.

Maalämpö, lisälämpönä kaukolämpö

Tässä vaihtoehdossa lämpökaivokenttä ja lämpöpumppulaitteisto mitoitetaan selkeästi osatehoiseksi, jolloin suuri osa lämmitysenergian tuotannosta katetaan edelleen kaukolämmöllä. Tässä ratkaisussa mitoitus perustuu kahteentoista, 320 metriä syvään lämpökaivoon (kt. kuva 11). Lämpöpumppujärjestelmä palvelee rakennuksien lämmitysverkostoa ja kaukolämmöllä katetaan tarvittava lisälämpöenergia. Kaukolämpölaitteistolla valmistetaan kiinteistön lämmin käyttövesi, jossa lämpimänveden kierto on kytkettynä kaukolämpölaitteistoon. Tässä ratkaisussa kaukolämpöpaketti on uusittava.

Lämpöpumpputeho on kyseisessä hybridiratkaisussa noin 80–85 kW, jolla voidaan tuottaa 56–58 % kiinteistön lämmitysenergian tarpeesta (495 MWh/a). Loput lämmitysenergiasta tuotetaan kaukolämmöllä, noin 375 MWh/a. Lämpöpumpun keskimääräinen vuosihyötysuhde (COP) on noin 3,4 ja järjestelmän sähkönkulutus on yhteensä noin 146 MWh/a. Koko investoinnin kustannusarvio, sisältäen urakoinnin ja muut hankkeeseen liittyvät kustannukset, on noin 390 000 €.

Elinkaarilaskelmat

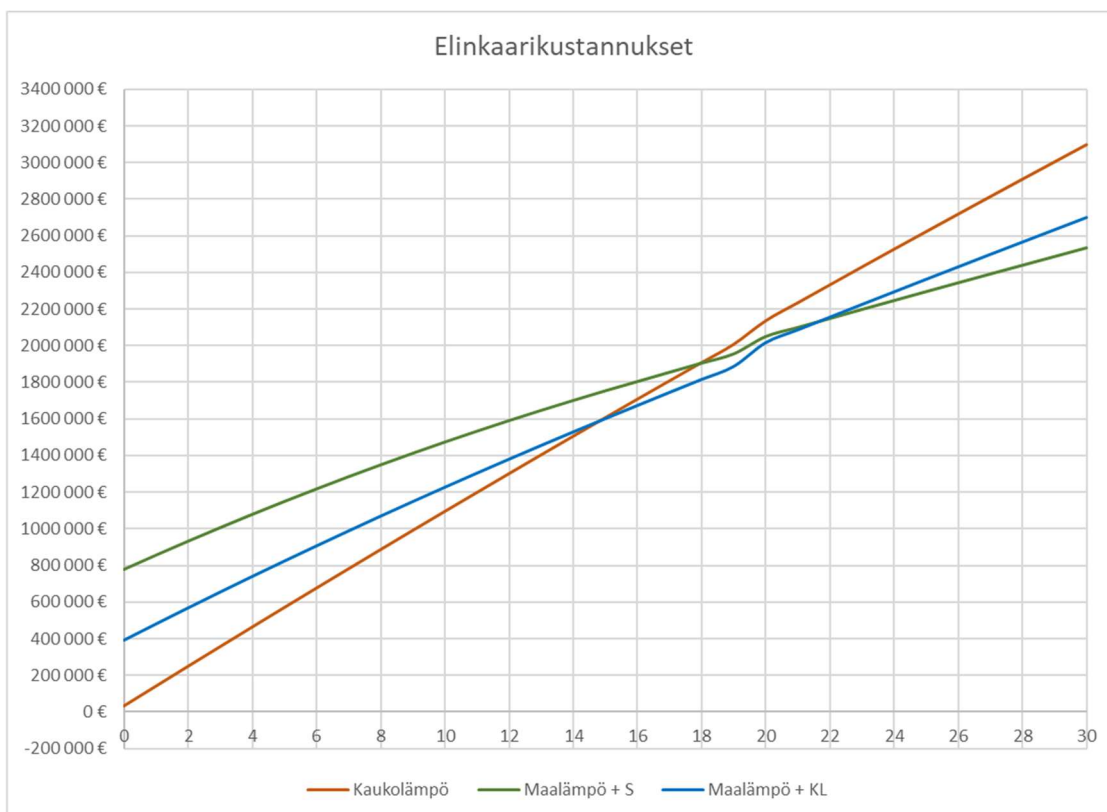
Kohteen laskelmissa on kaukolämmön investointikustannuksessa huomioitu kaukolämpöpaketin uusiminen, joka on uusittava joka tapauksessa, vaikka lämpöpumppu-urakkaa ei toteutettaisi. Kuvassa 12 on esitetty laskennallinen suora takaisinmaksuaika, jossa ei ole huomioitu korkojen vaikutusta. Lisäksi kuvassa on esitetty sijoitetun pääoman tuotto, joka saadaan, kun jaetaan vuotuiset säästöt investointikustannuksilla. ARA-avustusta ei ole otettu mukaan laskelmiin.

$$\text{Sijoitetun pääoman tuotto} = \frac{\text{Vuotuiset säästöt}}{\text{Investointikustannus}} \quad (10)$$

		Kaukolämpö	Maalämpö + S	Maalämpö + KL
Investointikustannus		30 000 €	780 000 €	390 000 €
Käyttökustannus	€/a	109 300 €	54 900 €	77 600 €
josta kaukolämpö	€/a	108 800 €	-	49 900 €
josta sähköenergia	€/a	-	53 400 €	26 200 €
josta huolto ja kunnossapito	€/a	500 €	1 500 €	1 500 €
Säästö	€/a	0	54 400 €	31 700 €
Takaisinmaksuaika	a	-	13,8	11,4
Sijoitetun pääoman tuotto	%	-	7,0 %	8,1 %
LP teho	kW	-	215	85
Kaukolämpöteho	kW	275	-	190
Lisäsähköteho	kW	-	60	-
LP energia	MWh/a	-	860	495
Kaukolämpöenergia	MWh/a	870	-	375
Lisäsähköenergia	MWh/a	-	10	-
Kaukolämmön kokonaishinta	€/MWh	125,0 €	-	133,0 €
Sähkön kokonaishinta	€/MWh	-	180,0 €	180,0 €
LP COP keskimäärin		-	3,00	3,40

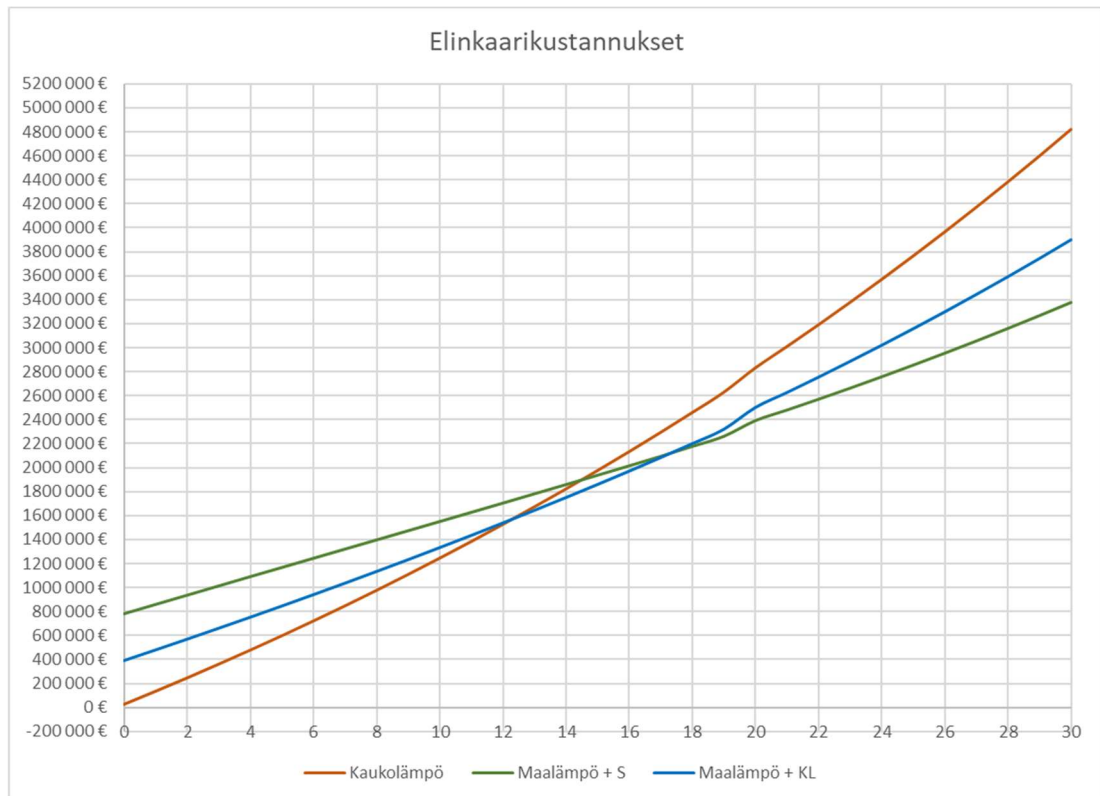
Kuva 12. Kohteen 1 perustiedot ja suora takaisinmaksuaika.

Kuvan 13 diagrammissa on huomioitu laskennassa käytetyt korkotekijät sekä elinkaaren aikana (20 v) tehdyt laiteuusinnat. Tällöin maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika on noin 18 vuotta ja maalämpö-kaukolämpöjärjestelmässä 14–15 vuotta. Käyttökustannuksien on oletettu tässä tapauksessa pysyvän vakiona koko tarkastelujakson ajan.



Kuva 13. Kohteen 1 elinkaarikustannukset ja takaisinmaksuaika. Diagrammissa esiintyvät nousut kuvastavat laiteuusintoja 20 vuoden käytön jälkeen.

Laskelmissa tarkasteltiin myös optiota, jossa oletetaan käyttökustannuksien nousevat 3 % vuodessa, joka vaikuttaisi positiivisesti investoinnin takaisinmaksuaikaan, joka tässä tapauksessa olisi maalämpöjärjestelmässä noin 15–16 vuotta ja maalämpö-kaukolämpö-järjestelmässä 12–13 vuotta.



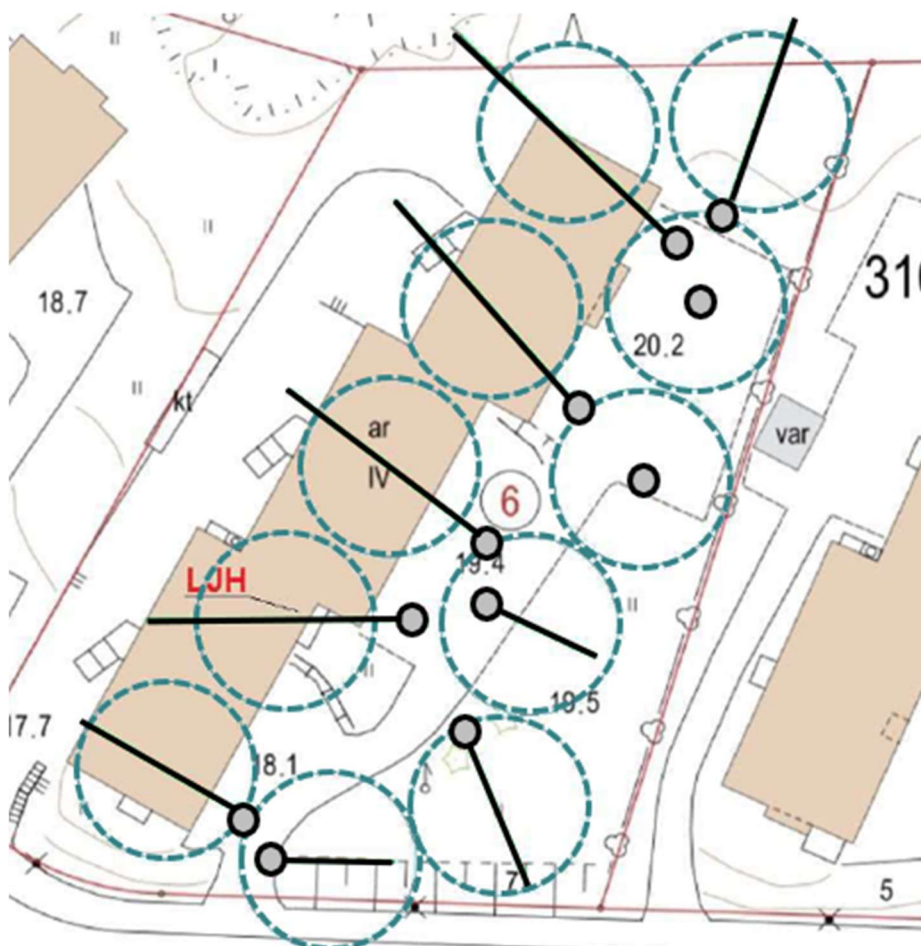
Kuva 14. Kohteen 1 elinkaarikustannukset 3 % vuotuisella korotuksella.

Nojautuen kohteelle teetettyihin laskelmiin, on maalämpöjärjestelmä paras vaihtoehto energiankustannuksien säästämiseksi, sillä investoinnin takaisinmaksuaika on kohtuullinen ja vuotuiset säästöt ovat maalämpö-kaukolämpöjärjestelmää korkeammat. Lisäksi maalämpöjärjestelmän toteuttamiselle ei ole teknisiä esteitä. Mikäli investoinnin kannattavuutta tarkastellaan vain 10–15 vuoden elinkaarella, voidaan myös maalämpö-kaukolämpöjärjestelmää pitää potentiaalisena vaihtoehtona.

6.2 Kohde 2

Maalämpö, lisälämpönä sähkö

Tässä ratkaisussa maalämpöjärjestelmän mitoitus perustuu lämpökaivokenttään, jossa on 11 kappaletta 400 metrin syvyisiä lämpökaivoja. Mahdollisuuksien mukaan tontille jää tilaa vielä yhdelle varakaivolle, joka voidaan porata, mikäli yksi tai useampi kaivo jää tavoitesyvyyttä matalammaksi. Lämpökaivojen sijoittelun ja keskinäisen etäisyyden perusteella mitoituksesi on valittu 90 kWh/m. Lämpökaivoista otettava ominaisteho (W/m) on melko pieni, minkä vuoksi sitä ei ole tarvinnut huomioida mitoituksessa. Kohteen lämpökaivoluonnos on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Katkoviivaympyröiden halkaisija on 15 metriä. Tontin pohjoispuolella sijaitsevien kahden lämpökaivon porausta varten on haettava kaupungilta toimenpidelupa, koska vinoporaus ja kaivon vaikutusalue ylittävät tontin rajan.

Maalämpöjärjestelmä mitoitetaan osatehoiseksi, jolloin lämpöpumput ovat tehoaan noin 80 % huipputehon tarpeesta (195 kW). Lämpöpumpputeho on tällöin 150–160 kW. Osatehomitoidulla lämpöpumppulaitteistolla voidaan tässä tapauksessa tuottaa noin 99 % kiinteistön lämmitysenergian tarpeesta, joka on vuodessa noin 564 MWh/a. Tarvittava lisäsähkön määrä on noin 6 MWh/a. Kohteen lämpöpumppulaitteiston keskimääräinen vuosihyötysuhde (COP) on noin 3,0 ja koko järjestelmän sähkön kulutus noin 194 MWh/a. Koko investoinnin kustannusarvio, sisältäen urakoinnin ja muut hankkeeseen liittyvät kustannukset, on noin 580 000 € ja ARA-energia-avustus huomioiden (25 %) 435 000 €.

Tarkastellun lämpöpumppulaitteiston virrantarve on noin 140–150 A, joten se todennäköisesti edellyttää sähköliittymän nostamisen kokoon 3 x 250 A.

Maalämpö + poistoilman LTO

Edellisessä luvussa kuvatun maalämpöjärjestelmän lisäksi asennetaan poistoilman LTO-järjestelmä, jolla korvataan merkittävä osa lämpökaivometrejä. Kiinteistön vesikatolla sijaitsevat kolme huippuimuria korvataan LTO-pattereilla varustetuilla puhaltimilla. Tässä ratkaisussa porataan 8 kappaletta 300 metrin syvyisiä lämpökaivoja. Lämpökaivojen sijoittelun, keskinäisen etäisyyden ja LTO:n lataavan vaikutuksen perusteella mitoitukseksi on valittu 27 W/m. Lämpökaivoista otettava ominaisenergia (kWh/m) on melko matala, jonka vuoksi sitä ei ole tarvinnut huomioida mitoituksessa.

Lämpöpumpputeho on yhteensä noin 150–160 kW, jolla tuotetaan noin 99 % kiinteistön lämmitysenergian tarpeesta eli noin 564 MWh/a. Keskimääräinen vuosihyötysuhde (COP) on noin 3,25 ja tarvittava lisäsähkön määrä 6 MWh/a. Järjestelmän sähkönkulutus on yhteensä noin 180 MWh/a. Koko investoinnin kustannusarvio, sisältäen urakoinnin ja muut hankkeeseen liittyvät kustannukset, on noin 620 000 € ja ARA-energia-avustus huomioiden (25 %) 465 000 €.

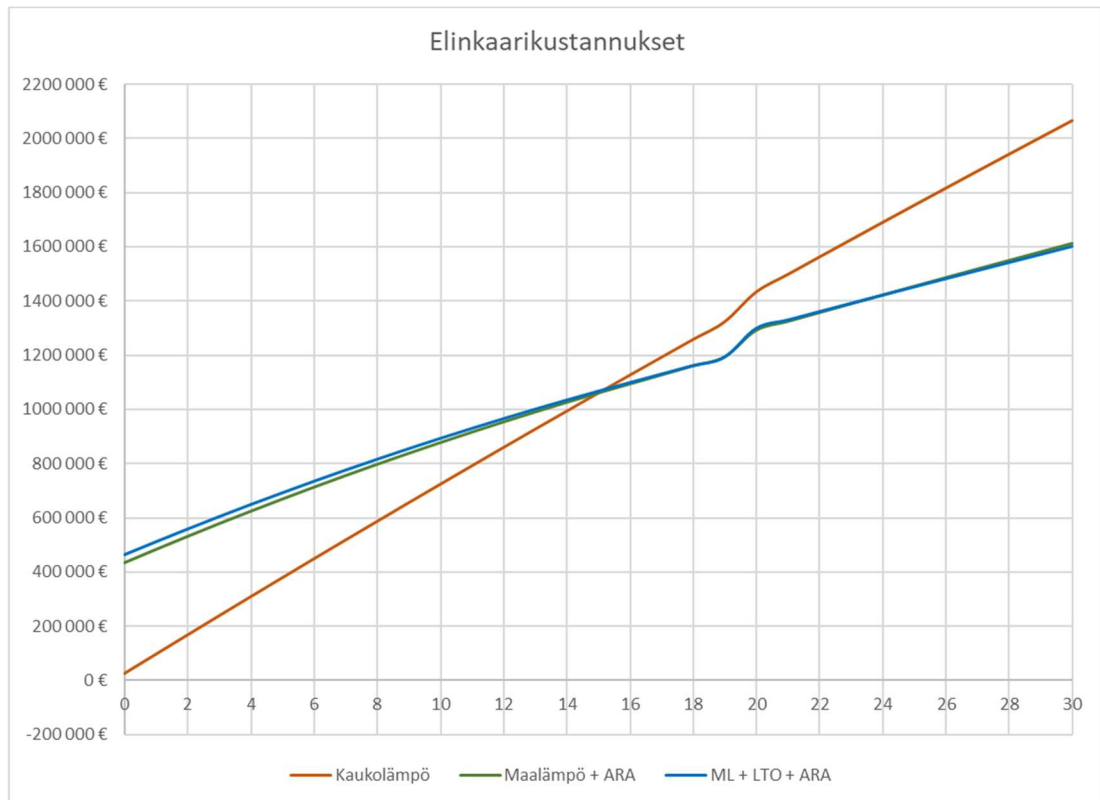
Elinkaarilaskelmat

Kohteen laskelmissa on kaukolämmön investointikustannuksessa huomioitu kaukolämpöpaketin uusiminen, joka on uusittava joka tapauksessa, vaikka lämpöpumppu-urakkaa ei toteutettaisi. Kuvassa 16 on esitetty teoreettinen suora takaisinmaksuaika, jossa ei ole huomioitu korkojen vaikutusta. Lisäksi kuvassa on esitetty sijoitetun pääomantuotto.

		Kaukolämpö	Maalämpö + ARA	ML + LTO + ARA
Investointikustannus		25 000 €	435 000 €	465 000 €
Käyttökustannus	€/a	71 800 €	36 400 €	34 300 €
josta kaukolämpö	€/a	71 300 €	-	-
josta sähköenergia	€/a	-	34 900 €	32 300 €
josta huolto ja kunnossapito	€/a	500 €	1 500 €	2 000 €
Säästö	€/a	0	35 400 €	37 500 €
Takaisinmaksuaika	a	-	11,6	11,7
Sijoitetun pääoman tuotto	%	-	8,1%	8,1%
LP teho	kW	-	155	155
Kaukolämpöteho	kW	195	-	-
Lisäsähköteho	kW	-	40	40
LP energia	MWh/a	-	564	564
Kaukolämpöenergia	MWh/a	570	-	-
Lisäsähköenergia	MWh/a	-	6	6
Kaukolämmön kokonaishinta	€/MWh	125,0 €	-	-
Sähkön kokonaishinta	€/MWh	-	180,0 €	180,0 €
LP COP keskimäärin		-	3,00	3,25

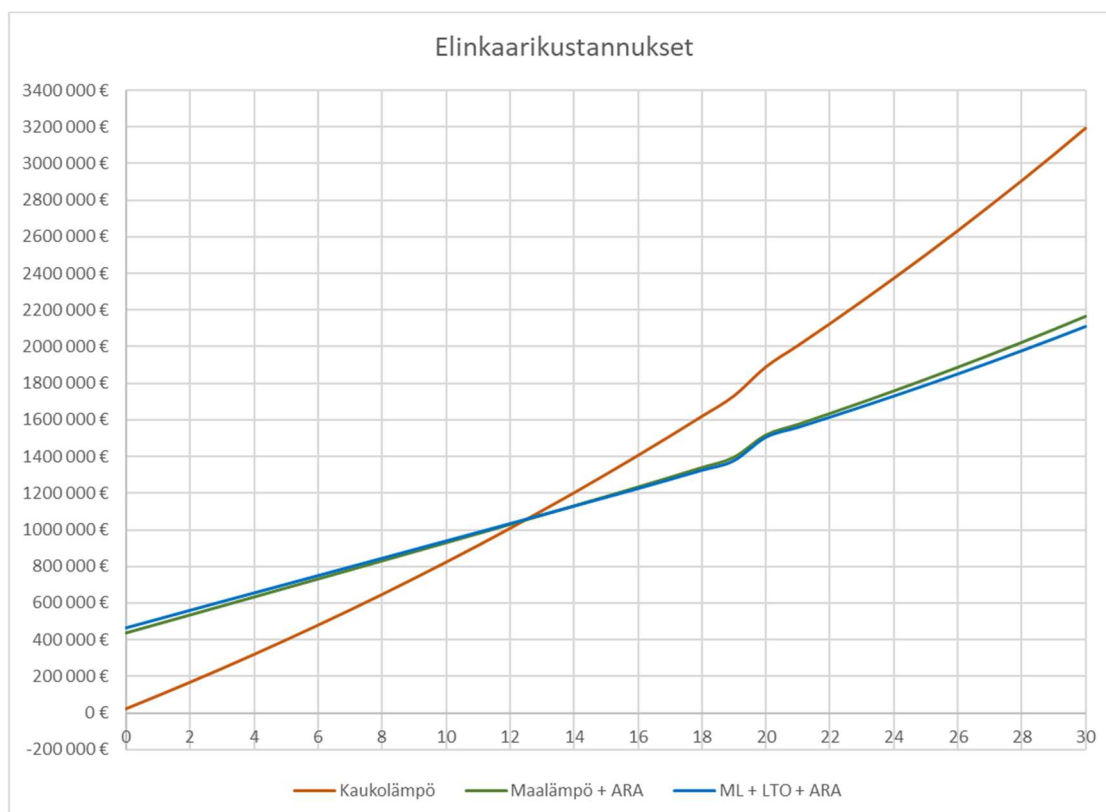
Kuva 16. Kohteen 2 perustiedot ja suora takaisinmaksuaika.

Kuvan 17 diagrammissa on huomioitu laskennassa käytetyt korkotekijät sekä elinkaaren aikana (20 v) tehdyt laiteuusinnat. Tällöin molempien lämpöpumppujärjestelmien takaisinmaksuaika on noin 15–16 vuotta. Käyttökustannuksien on oletettu tässä tapauksessa pysyvän vakiona koko tarkastelujakson ajan.



Kuva 17. Kohteen 2 elinkaarikustannukset ja takaisinmaksuaika. Diagrammissa esiintyvät nousut kuvastavat laiteuusintoja 20 vuoden käytön jälkeen.

Laskelmissa tarkasteltiin myös optiota, jossa oletetaan käyttökustannuksien nousevat 3 % vuodessa, joka vaikuttaisi positiivisesti investoinnin takaisinmaksu-aikaan, joka tässä tapauksessa olisi molempien järjestelmien osalta noin 12–13 vuotta. Kuvassa 18 on esitetty kohteen 2 elinkaarikustannukset.



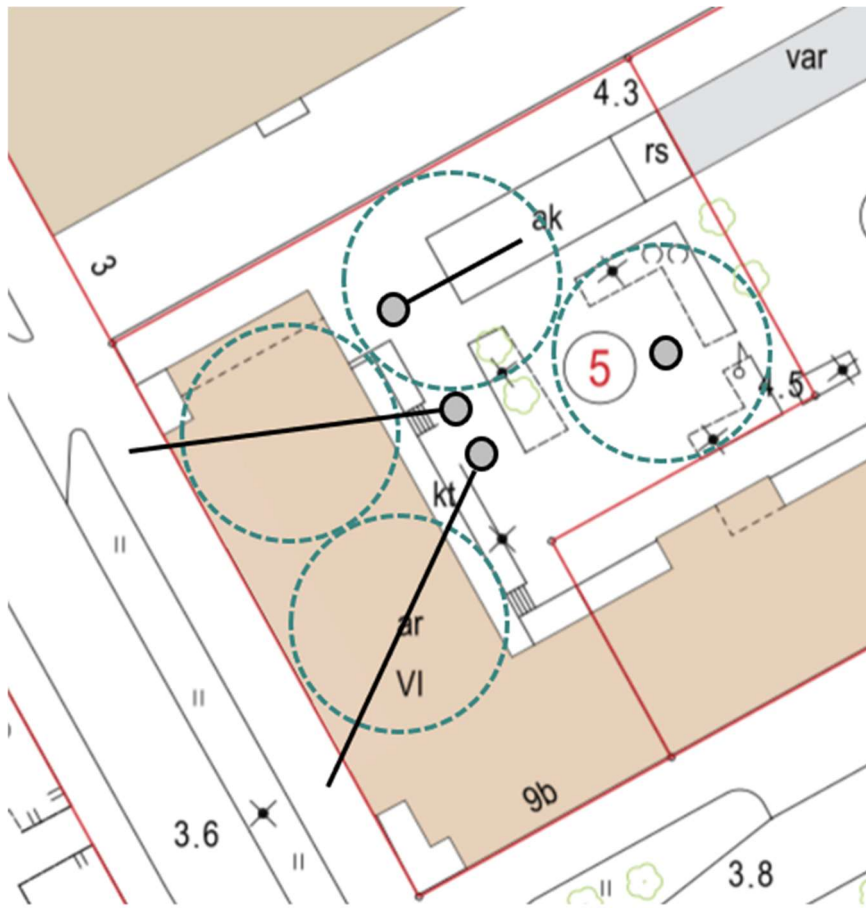
Kuva 18. Kohteen 2 elinkaarikustannukset 3 % vuotuisella korotuksella.

Nojautuen kohteelle teetettyihin laskelmiin ovat maalämpö ja maalämpö-LTO-järjestelmä lähestulkoon yhtä hyviä vaihtoehtoja energiankustannuksien säästämiseksi. Maalämpö-LTO-järjestelmässä huolto ja laiteuusintakustannukset ovat aavistuksen korkeammat, mutta laitteisto toimii paremmalla vuosihyötysuhteella, joka parantaa vuotuisia säästöjä ja tulee olemaan pitkällä aikavälillä maalämpöä kannattavampi.

6.3 Kohde 3

Maalämpö + poistoilman LTO

Tässä ratkaisussa maalämpö-LTO-järjestelmän mitoitus perustuu lämpökaivo-
kenttään, jossa on 4 kappaletta 280 m syvyisiä lämpökaivoja. Kiinteistön tontti
on hyvin ahdas, ja neljän lämpökaivon mahduttaminen tontille voi tuottaa haas-
teita. Kohteen alustava lämpökaivoluonnos on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Kohteen 3 lämpökaivuluonnos.

Kohteelle tarkastellun lämpöpumppujärjestelmän teho on yhteensä noin 100–110 kW, jolla tuotetaan noin 99 % kiinteistön lämmitysenergian tarpeesta eli noin 386 MWh/a. Keskimääräinen vuosihyötysuhde (COP) on noin 3,3 ja tarvittava lisäsähkön määrä 4 MWh/a. Järjestelmän sähkönkulutus on yhteensä noin 121 MWh/a. Koko investoinnin kustannusarvio, sisältäen urakoinnin ja muut hankkeeseen liittyvät kustannukset, on noin 300 000 €.

PILP, lisälämpönä kaukolämpö

Mikäli tarvittavia lämpökaivoja ei saada mahtumaan kiinteistön sisäpihalle on tarkasteltava vaihtoehtoa, jossa kaukolämmöstä ei luovuttaisi ja kaukolämmön rinnalle asennettaisiin PILP-järjestelmä.

Tässä vaihtoehdossa lämpöpumppulaitteisto mitoitetaan selkeästi osatehoiseksi, jolloin suuri osa lämmitysenergian tuotannosta säilyy edelleen kaukolämmöllä. Lämpöpumppujärjestelmä palvelee rakennuksien lämmitysverkostoa ja kaukolämmöllä katetaan tarvittava lisälämpöenergia. Kaukolämpölaitteistolla valmistetaan kiinteistön lämmin käyttövesi ja lämpimän veden kierto on kytkettyä kaukolämpölaitteistoon.

Lämpöpumpputeho on kyseisessä hybridiratkaisussa noin 35–40 kW, jolla voidaan tuottaa noin 57 % kiinteistön lämmitysenergian tarpeesta (222 MWh/a). Loput lämmitysenergiasta tuotetaan kaukolämmöllä, noin 168 MWh/a. Lämpöpumpun keskimääräinen vuosihyötysuhde (COP) on noin 3,4 ja järjestelmän sähkön kulutus on yhteensä noin 65 MWh/a. Koko investoinnin kustannusarvio, sisältäen urakoinnin ja muut hankkeeseen liittyvät kustannukset, on noin 160 000 €.

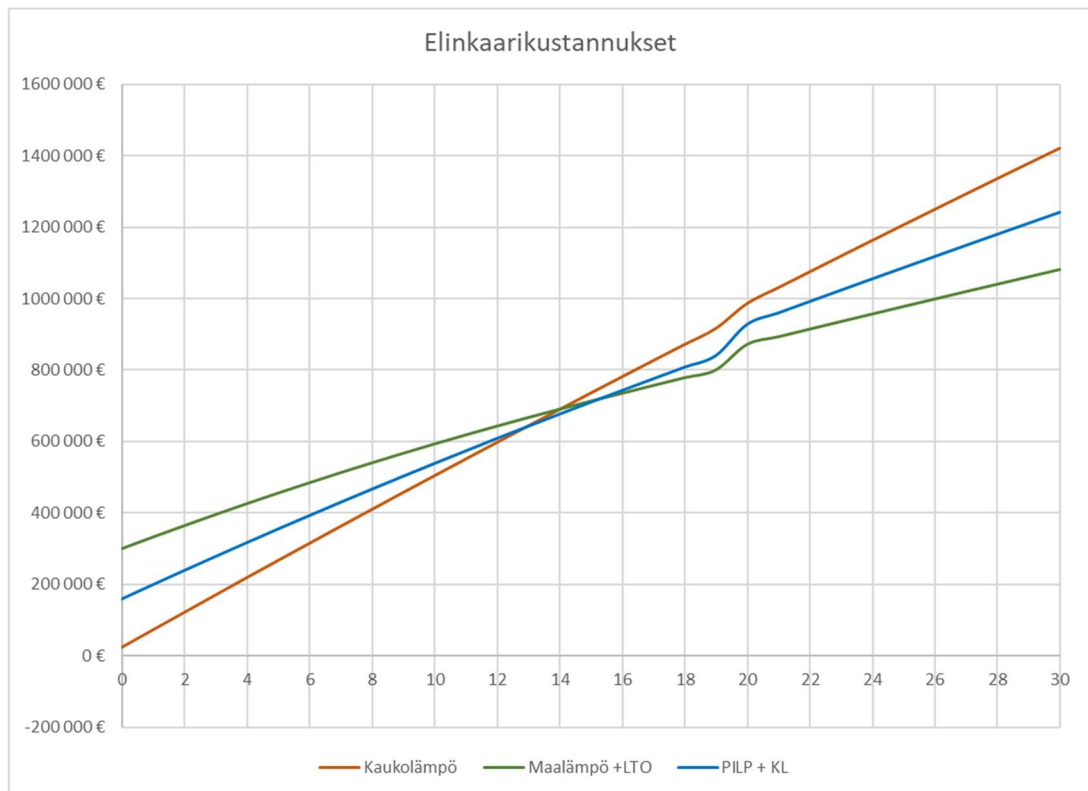
Elinkaarilaskelmat

Kohteen laskelmissa on kaukolämmön investointikustannuksessa huomioitu kaukolämpöpaketin uusiminen, joka on uusittava joka tapauksessa, vaikka lämpöpumppu-urakkaa ei toteutettaisi. Kuvassa 20 on esitetty teoreettinen suora takaisinmaksuaika, jossa ei ole huomioitu korkojen vaikutusta. ARA-avustusta ei ole otettu mukaan laskelmiin koska sen saaminen on lähtökohtaisesti haastavaa, sillä tarkasteltujen järjestelmien asentaminen ei paranna rakennuksen E-lukua riittävästi.

		Kaukolämpö	Maalämpö + LTO	PILP + KL
Investointikustannus		25 000 €	300 000 €	160 000 €
Käyttökustannus	€/a	49 300 €	23 800 €	35 600 €
josta kaukolämpö	€/a	48 800 €	-	22 300 €
josta sähköenergia	€/a	-	21 800 €	11 800 €
josta huolto ja kunnossapito	€/a	500 €	2 000 €	1 500 €
Säästö	€/a	0	25 500 €	13 700 €
Takaisinmaksuaika	a	-	10,8	9,9
Sijoitetun pääoman tuotto	%	-	8,5 %	8,6 %
LP teho	kW	-	110	40
Kaukolämpöteho	kW	140	-	100
Lisäsähköteho	kW	-	30	-
LP energia	MWh/a	-	386	222
Kaukolämpöenergia	MWh/a	390	-	168
Lisäsähköenergia	MWh/a	-	4	-
Kaukolämmön kokonaishinta	€/MWh	125,0 €	-	133,0 €
Sähkön kokonaishinta	€/MWh	-	180,0 €	180,0 €
LP COP keskimäärin		-	3,30	3,40

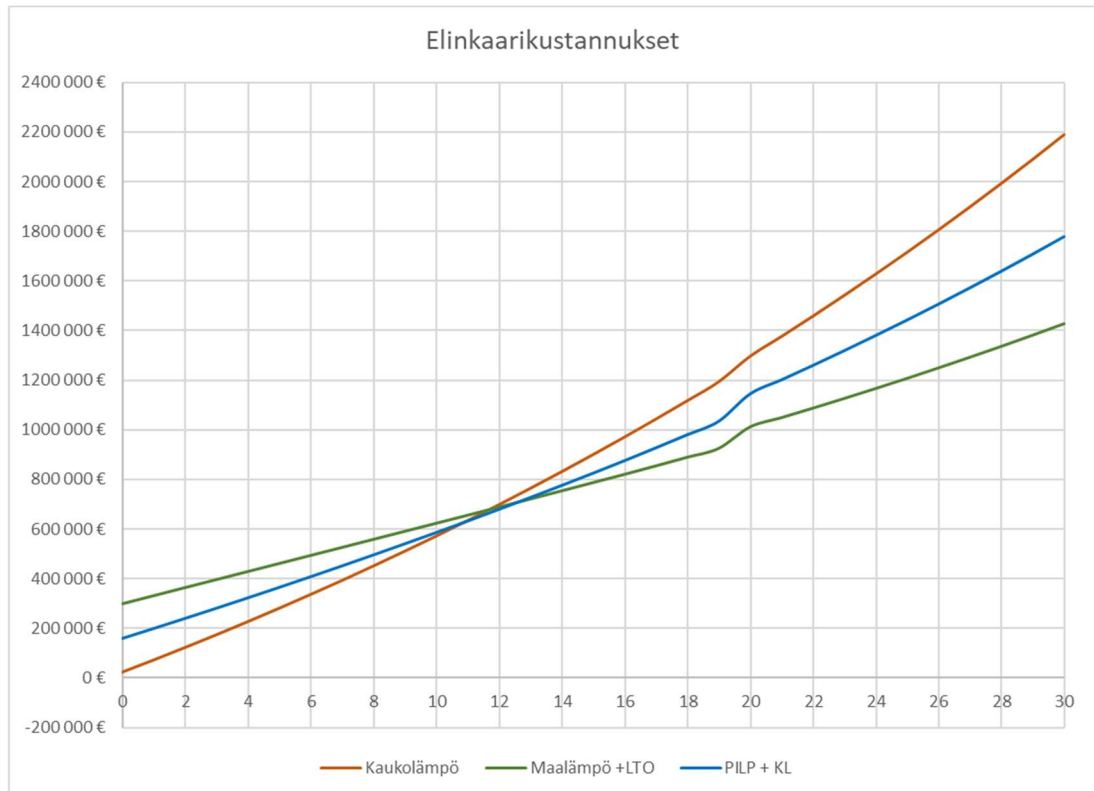
Kuva 20. Kohteen 3 perustiedot ja suora takaisinmaksuaika.

Kuvan 21 diagrammissa on huomioitu laskennassa käytetyt korkotekijät sekä elinkaaren aikana (20 v) tehdyt laiteuusinnat. Tällöin maalämpö-LTO-järjestelmän takaisinmaksuaika on noin 14 vuotta ja PILP-kaukolämpöjärjestelmässä 13–14 vuotta. Käyttökustannuksien on oletettu tässä tapauksessa pysyvän vakiona koko tarkastelujakson ajan.



Kuva 21. Kohteen 3 elinkaarikustannukset ja takaisinmaksuaika. Diagrammissa esiintyvät nousut kuvastavat laiteuusintoja 20 vuoden käytön jälkeen.

Laskelmissa tarkasteltiin myös optiota, jossa oletetaan käyttökustannuksien nousevat 3 % vuodessa, joka vaikuttaisi positiivisesti investoinnin takaisinmaksu-aikaan, joka tässä tapauksessa olisi maalämpö-LTO-järjestelmällä noin 12–13 vuotta ja PILP-kaukolämpöjärjestelmässä 11–12 vuotta. Kuvassa 22 on esitetty kohteen 3 elinkaarikustannuksia.



Kuva 22. Kohteen 3 elinkaarikustannukset 3 % vuotuisella korotuksella.

Nojautuen kohteelle teetettyihin laskelmiin on maalämpö-LTO-järjestelmä paras vaihtoehto energiankustannuksien säästämiseksi, sillä oletuksella, että kaikki neljä lämpökaivoa voidaan porata tontille. Mikäli poraus ei ole tontilla mahdollinen, on PILP-kaukolämpö-järjestelmä ainoa kannattava lämpöpumppuratkaisu kohteelle.

7 Yhteenveto

Kaikissa kohteissa kannattavuuteen vaikuttaa tulevien vuosien aikana merkittävästi sähkön ja kaukolämmön hintakehitys, joka on vaikeasti ennustettavissa. Mikäli sähkön ja kaukolämmön hintojen arvioidaan nousevan tulevaisuudessa keskenään samaa tahtia, olisi lämpöpumppuratkaisuiden kannattavuus tällöin käytännössä nykyhinnoin tehtyjä laskelmia parempi. Investointien lopullinen suuruus vaikuttaa myös hyvin merkittävästi taloudellisiin laskelmiin, jolloin lämpöpumppuratkaisun kilpailuttaminen eri urakoitsijoiden kesken antaa lopullisen ja tarkimman mahdollisen hinta-arvion kannattavuuslaskelmien tueksi. Urakkahinnat ovat kuitenkin olleet merkittävässä kasvussa viime vuosina vallitsevan maailmantilanteen ja komponenttien hintojen nousun seurauksena, mikä puolestaan myös vaikuttaa hankkeiden kannattavuuteen. Kohteiden energiamuotoselvityksistä on kuitenkin kaikista nähtävissä, että lämpöpumppuratkaisulla voidaan saada aikaiseksi merkittäviä vuotuisia säästöjä lämmityskustannuksissa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on havainnollistaa erilaisten lämpöpumppujärjestelmien toteutusmahdollisuuksia sekä niiden valintaan vaikuttavia tekijöitä. Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää lähes kaikissa kerros/rivitaloyhtiössä, joiden lämmitysmuotona on kaukolämpö. Taloyhtiö tai kiinteistön omistaja voi työn tuloksilla tehdä karkeita johtopäätöksiä oman kiinteistönsä toteutusmahdollisuuksista. Energiamuotoselvitys on kuitenkin aina kiinteistökohtainen ja perustuu aina mitattuun ja toteutuneeseen dataan, jonka pohjalta lämpöpumppujärjestelmää lähdetään suunnittelemaan ja mitoittamaan.

Lähteet

- 1 Kaukolämpö. 2022. Verkkoaineisto. Motiva <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo>. Luettu 15.2.2023.
- 2 Seppänen, Olli & Matti. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. SIY Sisäilmätieto Oy.
- 3 Kaukolämpölaitteet. Verkkoaineisto. 2023. Helen Oy. < <https://www.helen.fi/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/nykyisille-asiakkaille/kaukolampolaitteet>> Luettu 18.2.2023.
- 4 Kaukolämmön alajakokeskus. Verkkoaineisto. 2023. Gebwell Oy <<https://gebwell.fi/tuotteet/kaukolampo/g-power-kaukolammonjakokeskus/>>. Luettu 18.2.2023.
- 5 Sopimusvesivirta. 2014. Verkkoaineisto. < https://energia.fi/files/586/Teho_ja_vesivirta_SuositusK15_2014.pdf>. Luettu 18.2.2023
- 6 Kaukolämpölaitteet. 2023. Verkkoaineisto. Helen Oy. < <https://www.helen.fi/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/nykyisille-asiakkaille/kaukolampolaitteet>>. Luettu 18.2.2023.
- 7 Maalämmitys. 2001. RT 50-10755. Rakennustieto Oy.
- 8 Maalämpöpumput. pientalot. 2018. LVI 11-10623. Rakennustieto Oy
- 9 Maalämpöpumput. kiinteistöjärjestelmät. LVI 11-10624. Rakennustieto Oy
- 10 Poistoilmalämpöpumppu. Verkkoaineisto. 2022. Motiva < https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/poistoilmalampopumppu>. Luettu 27.2.2023.
- 11 Lämmöntalteenotto. Verkkoaineisto. 2023. Hydrocell Oy. < <https://hydrocell.fi/lammontalteenotto/>> Luettu 27.2.2023.
- 12 Kaukolämmön hybridikytkentä. Verkkoaineisto. 2023. Alva Oy < <https://www.alva.fi/kaukolammon-hybridikytkenta/> >. Luettu 1.3.2023