



Henri Luopa

Asuinkiinteistön lämmitysmuodon muutosselvitys lämpöpumppu- tekniikkaan

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

31.10.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Henri Luopa
Otsikko:	Asuinkiinteistön lämmitysmuodon muutosselvitys lämpöpumpputekniikkaan
Sivumäärä:	42 sivua
Aika:	31.10.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI- Suunnittelu
Ohjaajat:	lehtori Sergio Rossi toimitusjohtaja Juha Peteri

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa yleistä ohje- ja yleismateriaalia yrityksen käyttöön lämmitysmuodon muutosselvitysten tekoa varten. Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi suunnittelua tukevaa materiaalina lämmöntuottotavan muutosselvityksien tekoon. Opinnäytetyö on tehty Insinööritoimisto Aavat Oy:n toimeksiannosta.

Opinnäytetyössä tuodaan ilmi perustietoa asuinkiinteistön energiakulutuksesta sekä sen energiakulutuksen ja tehontarpeen laskennasta. Lämpöpumpputekniikan peruseriaatteita tarkastellaan yleisellä tasolla sekä perehdytään erityisesti maalämpöpumppu- ja poistoilmanlämmöntalteenottojärjestelmien toimintaan. Maalämpö ja poistoilmanlämmöntalteenottojärjestelmien mitoitus ja soveltuvuus käydään läpi selvitystyöltä vaadittavassa laajuudessa. Lopuksi työssä käydään läpi elinkaarilaskennan peruseriaatteet eri järjestelmien osalta nykyarvomenetelmään perustuen, sekä laskentaa havainnollistetaan myös esimerkitapauksen avulla.

Opinnäytetyössä laadittiin myös muistilistoja asioista, joita pidetään tärkeinä ottaa huomioon lämmöntuottotavan muutosselvitystä tehdessä.

Avainsanat: maalämpö, poistoilman lämmöntalteenotto, lämmöntuottotapa, lämpöpumppu, lämmitysmuodon muutoksen hankeselvitys, muutosselvitys, lämpöpumpputekniikka

Abstract

Author: Henri Luopa
Title: Heat Pump Survey for Residential Building
Number of Pages: 42 pages
Date: 31 October 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Design
Supervisors: Sergio Rossi, Senior Lecturer
Juha Peteri, Chief Executive

The purpose of this bachelor's thesis was to both create and revise company internal instructions and information material for heat pump surveys for the company use. This bachelor's thesis is aimed to be used as a support material when making heat pump surveys for residential buildings in the future.

The thesis was made by using relevant literature and lectures about the subject. The thesis first explained the energy consumption distribution of a residential building, and discussed why the housing companies focus more on energy efficient heat production systems. Next the delivery principle of heat pump systems was discussed in general. The thesis especially looked into ground source heat pump systems and the use of heat recovered from exhaust air for heat production.

Calculations for building heating demand and system specific calculations for heat pumps were also discussed in detail. The thesis also covered lifecycle cost calculations for different heat production systems that use the net present value method through real-life example.

As the result of this bachelor's thesis, comprehensive material for future heat pump surveys was created for the company use.

Keywords: heat pump, ground source heat pump, heat recovery from exhaust ventilation, energy efficiency survey

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kiinteistön energiankäyttö	2
2.1	Tarve energiasäästölle	2
2.2	Kiinteistön energiakulutus	4
2.2.1	Lämmitys	5
2.2.2	Käyttövesi	5
3	Selvitystyö lämmöntuottotavan muutokseen	6
3.1	Lähtötiedot	6
3.2	Kohdekartoitus	7
3.3	Tehon ja kulutuksen laskenta	9
4	Lämmitysmuotojen tarkastelu	14
4.1	Lämpöpumpputekniikka	14
4.2	Maalämpö	17
4.2.1	Maalämmön lämmönlähde	17
4.2.2	Maalämpöpumppujärjestelmän alustava mitoitus	20
4.3	Poistoilman lämmöntalteenotto	28
4.3.1	Poistoilmanvaihdosta ja lämmöntalteenotosta	28
4.3.2	Poistoilman lämmöntalteenottolaitteiston alustava mitoitus	30
4.4	Muut huomioon otavat asiat	32
4.4.1	Varaajien ja lisälämmönlähteen mitoitus	32
4.4.2	Lämpöpumppujen sähkönkulutus	33
5	Elinkaarikustannuslaskenta	34
5.1	Elinkaarikustannusten laskenta	34
5.2	Elinkaarikustannusten laskentaesimerkki	36
6	Yhteenveto	39
	Lähteet	40

Lyhenteet

- COP: *Coefficient of performance*. Lämpöpumpun lämpökerroin, joka kertoo lämpöpumpun hetkellisen hyötysuhteen.
- EED: *Earth Energy Designer*. Energiakaivokentän mitoitukseen käytettävä simulointiohjelmisto.
- IDA ICE: *IDA Indoor Climate and Energy*. Rakennuksen energiankäytön mallinnukseen käytettävä simulointiohjelmisto.
- PLTO: *Poistoilman lämmöntalteenottolaitteisto*. Laitteisto, jonka avulla poistoilmassa olevaa lämpöenergiaa otetaan talteen.
- SPF: *Seasonal performance factor*. Lämpöpumpun todellinen vuosilämpökerroin, mitataan lämpöpumpun käytetyn ja tuotetun energianmäärän perusteella.

1 Johdanto

Opinnäytetyö on tehty Insinööritoimisto Aavat Oy:n toimeksiannosta. Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa Insinööritoimisto Aavat Oy:lle ohje ja perehdytysmateriaali, joiden avulla energiamuodon muutosselvityksiä yrityksessä tehdään. Työssä on osakseen myös hyödynnetty insinöörityön tekijän omaa kokemusta, jota on kertynyt kohdeyrityksessä työskentelyn myötä.

Kohonneiden energiakustannuksien vuoksi asuinkiinteistöjen kiinnostus energiasäästöjä tuoviin toimenpiteisiin on kasvanut huomattavasti viime vuosien aikana. Yhä useampi kiinteistö tarkastelee täten mahdollisuutta lämmöntuottavan muutokseen vähemmän ostoenergiaa kuluttaviin lämpöpumppujärjestelmiin.

Tässä insinöörityössä on tarkoitus selvittää sekä ottaa kantaa asiakkaan kiinteistön edellytyksiin parantaa sen nykyistä energiatehokkuutta ja vastaavasti myös vähentää ostettavan energian määrää siirtymällä lämmityksessä maalämpö- tai poistoilmalämpöpumpputekniikan käyttöön.

Lämmöntuottavan muutosselvityksessä tarkastellaan maalämpöön siirtymisen mahdollisuutta järjestelmän mitoituksen, energiakaivokentän toteuttamismahdollisuuksien sekä tilankäytön kannalta. Poistoilman lämmöntalteenoton lisäämistä nykyiseen ilmavaihtojärjestelmään tarkastellaan koneellisen poistoilmavaihdon omaavissa kiinteistöissä. Laitteistokokonaisuuksille tehdään selvityksen aikana alustava mitoitus, jonka avulla järjestelmiltä vaadittava koko, niistä saatava hyöty ja kustannusarvio investoinnille on mahdollista selvittää.

Muutosselvityksen aikana toteuttamiskelpoisien lämpöpumppujärjestelmien osalta laaditaan elinkaarikustannusten laskenta perustuen nykyarvomenetelmään. Laskennan perusteella asiakkaan on tarkoitus saada selkeän kuvan järjestelmien taloudellisista vaikutuksista kiinteistön osana.

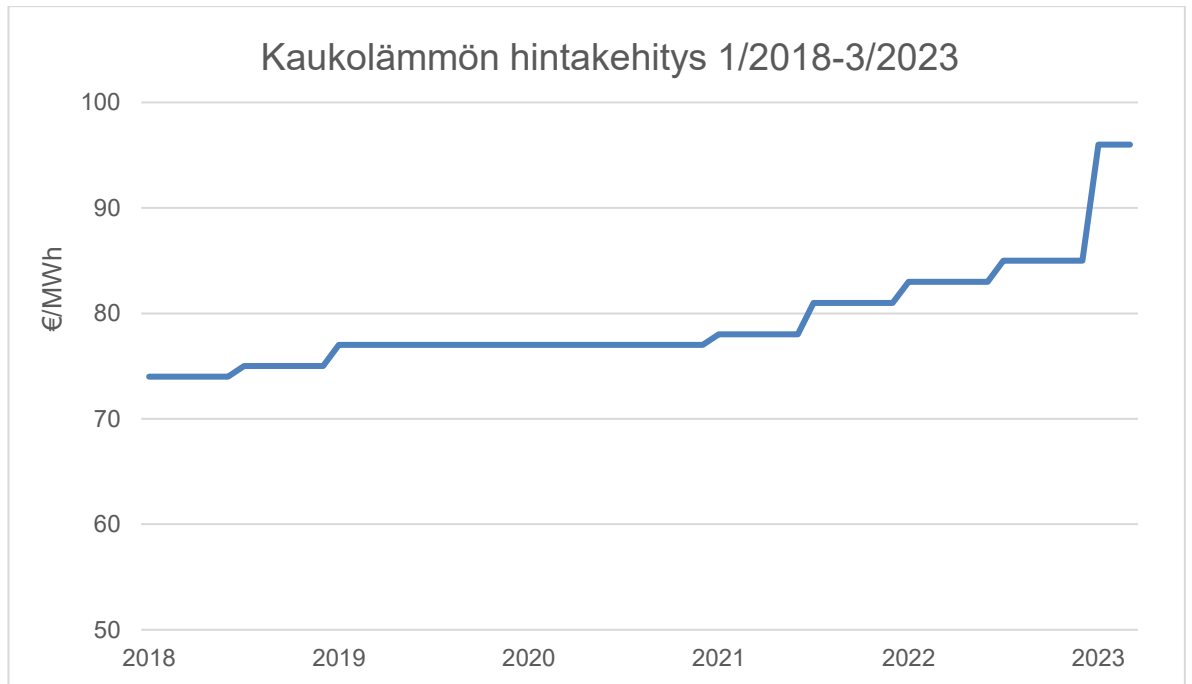
2 Kiinteistön energiankäyttö

2.1 Tarve energiasäästölle

Kohonneiden energiakustannusten myötä taloyhtiöt ja muut kiinteistöjen omistajat kiinnittävät enemmän huomiota kiinteistöjen energiakulutukseen. Kiinteistön kokonaisenergian kulutuksesta suurin osa menee lämmityksen ja käyttöveden tuotantoon. Lämmitysenergian suuren kulutuksen ja energiamuotojen hinnan nousun vuoksi useat taloyhtiöt ovat aloittaneet selvityksen, onko kiinteistön mahdollista vaihtaa tai osittain korvata nykyistä lämmitysenergian tuotantoa lämpöpumpputekniikkaa käyttävillä vähemmän ostettua energiaa kuluttavilla järjestelmillä. (1.)

Tyypillinen pääkaupunkiseudulla sijaitseva kiinteistö on liitetty kaukolämpöverkoon, jonka avulla tuotetaan kiinteistön tarvittava lämmitysenergia sekä lämmin käyttövesi kiinteistön käyttöön. Kaukolämpöenergian kustannukset ovat viime vuosina nousseet reilusti sekä myös lämmitysenergian tuottamiseen käytettyjen polttoaineiden hinta on ollut jo pitkään nousussa (2). Kohonneet lämmityskustannukset johtavat asumiskustannusten nousuun, esimerkiksi taloyhtiöissä hoivostiketta voidaan joutua nostamaan. Tilastokeskuksen julkaisun mukaan lämmityksen kulut nousivatkin taloyhtiöissä keskimäärin 16 % vuoden 2020 ja 2021 välillä. (3.)

Kuvassa 1 ja 2 havainnollistetaan kaukolämpöenergian ja kevyen polttoöljyn hintakehitys vuosien 2018–2023 välillä. Kuvien kaaviot perustuvat Tilastokeskuksen verkkoaineistoon.



Kuva 1. Kaukolämmön hintakehitys (3). kaukolämpöenergian hinnoittelu on pysynyt hyvin tasaisena vuosien 2018–2020 aikana. Vuoden 2021 aikana energian hinnassa havaitaan suurta nousua.

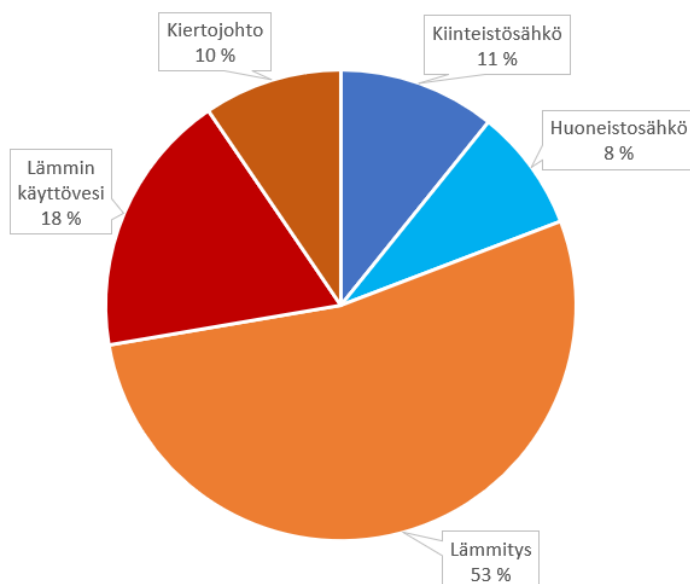


Kuva 2. Kevyen polttoöljyn hintakehitys (3). Polttoöljyn hinta on noussut vuoden 2022 aikana rajusti ja lähtenyt laskemaan hieman huippuhinnastaan.

2.2 Kiinteistön energiakulutus

Asuinkiinteistön energiakulutus koostuu pääosin lämmitysenergiasta sekä sähköenergiasta. Kulutettua sähköenergiaa käytetään osittain tarpeellisten laitteiden energialähteenä sekä asukkaiden jokapäiväisenä käyttösähkönä. Itse kiinteistösähkön osuus kokonaisenergiakulutuksesta on lämmityksen käyttämään energiaan verrattuna pientä, jos lämmitysjärjestelmä ei käytä sähköenergiaa lämmöntuottamiseen. (4.)

Kuvassa 3 on esitetty Helsingissä sijaitsevan vuonna 1953 rakennetun kolmi-kerroksisen asuinkerrostalon energiakulutuksen vuosittainen jakauma prosenteiksi eroteltuna. Kiinteistön lämmöntuottotapa on kaukolämpö ja ilmanvaihtojärjestelmänä toimii painovoimainen ilmanvaihto.



Kuva 3. Esimerkkikuva energiakulutuksen toteutunut jakauma todellisen kiinteistön tietojen perusteella laskettuna. Lämmityksen osuus kiinteistön kokonaisenergiakulutuksesta 53 %.

2.2.1 Lämmitys

Kiinteistössä lämmitysenergiaa vaaditaan huoneistojen ja tilojen lämmittämiseen. Lämmitysenergian tarvetta kiinteistössä aiheuttavat rakenteiden lämpöhäviöt. Lämmitysenergiaa haihtuu rakenteiden läpi ulkoseinistä, ala- ja yläpohjasta ja varsinkin vanhemmissa kiinteistöissä ikkunat ja ovet ovat suuri lämpöhäviöiden lähde. Koneellinen ja painovoimainen ilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa aiheuttaa kuitenkin suurimmat lämpöhäviöt kerrostaloissa. (4.)

Taulukossa 1 on listattuna lämpöhäviöiden jakauma tyypillisessä 1960–1980-luvun kerrostalossa.

Taulukko 1. 1960–1980-luvun kerrostalon arvioitu lämpöhäviöiden jakauma (4).

Rakenneosa	Osuus
Alapohja	5–6 %
Yläpohja	4–6 %
Ulkoseinät	13–17 %
Ikkunat ja ovet	19–21 %
Ilmanvaihto	36–37 %

2.2.2 Käyttövesi

Käyttöveden lämmitysenergian kulutus on tyypillisesti noin 20–30 % kiinteistön kokonaisenergiankulutuksesta. Käyttöveden kulutus riippuu pitkälti asuintutumuksista ja poikkeama asuntojen välillä on yleistä. Vanhemmissa kiinteistöissä lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviöt ovat usein suuria johtuen

puutteellisista eristyksistä sekä mahdollisista lämmityslaitteista, jotka ovat kytettyinä lämpimän käyttöveden kiertojohtoon. Kiertojohdon lämpöhäviöt voivat olla vanhemmissa rakennuksissa jopa samalla tasolla kuin varsinaisen lämpimän käyttöveden lämmitykseen vaadittu energia. Asuinrakennuksissa lämpimän käyttöveden osuus kiinteistön kokonaisvedenkulutuksesta ilman tarkempaa mittausta voidaan olettaa olevan noin 40 %. (5.)

3 Selvitystyö lämmöntuottotavan muutokseen

3.1 Lähtötiedot

Lämmöntuottotavan muutoksen tarkastelun aloittamista varten vaaditaan perustietoja kohdekiinteistöstä, joista kiinteistön energiakulutustiedot ovat tärkeimmässä osassa kiinteistön lämmitystehon ja energiatarpeen laskennan vuoksi.

Saneerattavien kohteiden lämmitysjärjestelmän mitoitus perustuu pitkälti kiinteistön lämmitysenergian kulutustietoihin. Kulutustietojen osalta on tärkeää, että tiedot saadaan riittävän pitkältä ajanjaksolta, koska lämmitysenergiankulutus on riippuvainen sääolosuhteista ja vuosittaista vaihtelua esiintyy paljon. Kulutustietojen osalta sopivana ajanjaksona voidaan pitää 3 vuotta. (6, s. 6–7)

Sähköenergiankulutustietojen perusteella voidaan tarkastella kiinteistön nykyistä sähkönkulutusta ja arvioida kokonaiskulutusta lämpöpumppujärjestelmän kanssa. Kiinteistön sähköliittymän ja tonttikaapelin tiedot saadaan yleensä alueen verkkoyhtiöltä. Kiinteistön sähköliittymän huipputeho on syytä selvittää myös verkkoyhtiöltä, jonka avulla voidaan alustavasti tarkastella nykyisen sähköliittymän riittävyyttä lämpöpumppujärjestelmälle. (1.)

Kiinteistön korjaushistoriasta ja kunnossapitosuunnitelmasta nähdään kiinteistölle jo tehdyt toimenpiteet vuosien varrelta ja mahdollisesti tulevat jo suunnitella olevat korjaushankkeet. Lämmöntuottotavan muutosselvityksen yhteydessä on myös syytä kiinnittää huomioita, onko kiinteistössä tehty lähiaikoina

lämmitysverkostoon ja käyttövesiverkostoon liittyviä saneeraustoimenpiteitä, ja tarvittaessa selvityksen yhteydessä tuoda asiaan liittyvät hyödyt ilmi. (6, s.6–7.)

Lähtötiedot on syytä kerätä hyvissä ajoin ennen lämmitysmuodon vaihtamisen tai muun energiasäästötoimenpiteiden tarkastelua.

Kiinteistöltä tarvitaan seuraavat lähtötiedot (6, s. 6–7.):

- kulutustiedot kuukausikohtaisesti kolmen vuoden ajalta
 - lämmitysenergian kulutustiedot kuukausikohtaisesti
 - sähköenergian kulutustiedot kuukausikohtaisesti
 - käyttöveden kulutustiedot kuukausikohtaisesti.
- isännöintitodistus tai kiinteistön perustiedot
- kiinteistön korjaushistoria ja kunnossapitosuunnitelma
- vanhat LVIS- suunnitelmat
 - ilmavaihtopiirustukset
 - lämmityspiirustukset
 - lämmityslaitteiston kytkentäkaavio
 - sähköpääkeskuksen nousukaavio.
- ARK- suunnitelmat
 - rakennusten pohjapiirustukset
 - asemapiirustus.
- kiinteistöön jo tehdyt selvitykset ja kartoitukset
 - tekniset kartoitukset
 - haitta- aine kartoitukset.

3.2 Kohdekartoitus

Muutosselvityksen yhteydessä kohdekiinteistöön tehdään aina kartoituskäynti ennen varsinaisen selvitystyön aloittamista. Kartoituksen yhteydessä kohteesta on tarkoitus saada tarvittavat tekniset ja ajankohtaiset tiedot kiinteistöstä. Tähän kappaleeseen on kerätty kokemusperäistä tietoa asioista, joihin kartoituskäynnin yhteydessä on hyvä kiinnittää huomiota.

Kartoituskäynnillä tarkastellaan kohdekiinteistön tontin alue alustavaa maalämmölle tehtävää energiakaivokenttä luonnosta varten. Piha-alue tarkastellaan ja dokumentoidaan mahdollisten silmällä havaittavien esteiden varalta. Maalämpökaivojen liuospiirille sopiva sisäänmenopaikka tekniseen tilaan tarkastellaan alustavasti.

Koneellisen poistoilmanvaihdolla varustetuissa kiinteistöissä ulkoseinät dokumentoidaan mahdollista lämmöntalteenottoyksikön liuospiiriä varten. Kiinteistön nykyiset poistoilmapuhaltimien ikä sekä kunto tarkastellaan ja dokumentoidaan laitekilpien ja muiden mahdollisten merkintöjen osalta.

Kiinteistön tekninen tila ja sen nykyiset laitteistot tarkastellaan kartoituksen aikana. Vanhan lämmöntuottolaitteiston mitoitus ja laitekilvet on syytä dokumentoida, vaikka lämpöpumppulaitteiston varsinainen mitoitus tehdäänkin lämmitysenergian kulutustietojen perusteella. Kiinteistön lämmitysverkoston mitoituslämpötilat ja nykyisen lämmityslaitteiston säätökäyrän parametrit on oleellinen osa tarkastelun selvitystyötä. Kiinteistön todellinen lämmityksen säätökäyrä saattaa poiketa merkittävästi lämmitysverkoston alkuperäisistä mitoitusarvoista. (1.)

Nykyisen lämmityslaitteiston ikä ja kunto selvitetään paikan päällä silmämääräisellä tarkistelulla. Laitteiston ikä voi vaikuttaa myös selvityksen lopputulokseen. Esimerkiksi jos kiinteistössä on juuri investoitu uuteen öljylämmityslaitteistoon, voi olla järkevämpää tarkastella vanhan laitteiston säilyttämistä lisälämmönlähteenä ilma-vesilämpöpumppujen kanssa kuin laitteiston purkua ja sähkökattilan asentamista lämpöpumppujen rinnalle.

Kiinteistön sähköpääkeskuksen silmämääräinen arviointi tehdään kartoituskäynnin yhteydessä. Laitekilvet, päävarokekoko nousukaapelin ja kaavioiden tiedot dokumentoidaan.

Kartoituskäynnin muistilista:

- kiinteistön ulkopuolinen tarkastelu
 - tontin soveltuvuus energiakaivoille, huomioitava mahdolliset esteet, suuret korkeuserot, suuret puut, maanalaiset rakenteet
 - maalämmön liuospiirin alustava reitti tekniseen tilaan
 - ulkoseinien tarkastelu PLTO:n liuospiiriä varten (koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetuissa kiinteistöissä)
 - poistoilmanvaihtokoneet kiinteistön vesikatolla.
- teknisen tilan tarkastelu
 - nykyinen lämmityslaitteisto, ikä, kunto, laitekilvet, mitoitus
 - lämmityksen säätölaite, lämmitysverkoston säätökäyrä
 - lämmitys ja käyttövesiverkoston linjasäätöventtiilien ikä
 - tilankäytön tarkastelu varaajien sijoittelua varten.
- sähköpääkeskuksen tarkastelu
 - sähköpääkeskuksen ikä, kunto ja lähdöt
 - päävarokekoko ja nousukaapelin tyyppi
 - sähkökaavioiden dokumentointi.

3.3 Tehon ja kulutuksen laskenta

Lämmöntuottotavan muutosselvitys tehdään aina olemassa olevaan rakennukseen, joissa on jo valmiina oleva lämmitysmuoto. Kiinteistön tehontarpeen laskenta voidaan siis perustaa kiinteistön toteutuneiden kulutustietojen perusteella lämmityksen, ilmanvaihdon ja käyttöveden osalta. Usean vuoden mittaisella kiinteistön kulutusseurannalla saadaan kiinteistön keskiarvoinen lämmitysenergian kulutus, jota voidaan käyttää rakennuksen tehontarpeen laskemiseen lämmityksen huipunkäyttöajan avulla.

Öljy ja kaasulämmitteiset kiinteistön saattavat mitata kiinteistön kulutusta käytettyinä kuutioina tai kiloina, joten kulutuksen muuttaminen energiamääräksi voidaan tehdä seuraavan taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Polttoaineiden muuntaminen (12).

Polttoaine	kWh/m³	MJ/m³	kWh/kg
Kevyt polttoöljy	10 000	36 000	8,4
Maakaasu	10	36	13,9

Kiinteistön toteutuneen lämmitysenergian kulutuksesta voidaan laskea kiinteistön kokonaiskulutus. Todellinen rakennuksen lämmitykseen käytetty kulutus saadaan, kun toteutunut kulutus kerrotaan lämmöntuottotavan hyötysuhteella. Kaukolämmön osalta yleisesti käytetään hyötysuhdetta 1,0, joten korjauseroita ei tarvita kaukolämpöä käyttävien kiinteistöjen osalta. Kaasu ja öljylämmitteisen kiinteistön hyötysuhdekorjauksena käytetään yleisesti kerrointa 0,9 jos öljypoltin ja kattila ovat uusittu vuosikymmenen sisällä. Vanhemmilla polttimilla ja kattiloilla hyötysuhde on pienempi, ja hyötysuhde on arvioitava tilanteen ja laitteiston mukaisesti. (7.)

Kiinteistön lämmitystehon laskentaa varten tarvitaan rakennuksen oletettu huipunkäyttöaika. Kiinteistön huipunkäyttöaika tarkoittaa vuodessa käytettyä aikaa tunteina, jolloin lämmöntuottojärjestelmällä tuotetaan lämpöä sen huipputeholla. Alla olevassa taulukossa 3 on esitetty laskennassa käytettäviä tyypillisiä lämpöpumppujärjestelmien huipunkäyttöaikoja rakennustyyppin mukaan. (8.)

Taulukko 3. Tyypillisiä lämpöpumppujen lämmityksen huipunkäyttöaikoja rakennustyypeittäin, kun käyttöveden tuotantoa on puskuroitu (8).

Rakennustyyppi	Huipunkäyttöaika (h/v)
Asuinrakennus	2500–3000
Liiketilat, toimistot	1500–2500

Huipunkäyttöajan taulukon mukainen haarukka johtuu kiinteistön käyttötottumuksista eli kulutuksen vaihtelun määrästä. Pieni huipunkäyttöaika tarkoittaa

laitteistolta suurempaa vaadittavaa tehoa, koska kulutuksen suuri vaihteluväli vaatii suurempaa hetkellistä lämmitystehoa laitteistolta. Selvityksessä suurempien kiinteistöjen osalta voidaan huipunkäyttöaika arvioida taulukossa esitetyn haarukan yläpäähän ja pienien kiinteistöjen osalta huipunkäyttöaika lähelle taulukon mukaista minimiarvoa. (8.)

Kiinteistön lämmitystehon laskemiseen kaukolämpöön liitetyissä kiinteistöissä käytetään K1-julkaisun ohjeiden mukaisesti tarkastelujakson lämmitystarvelukuun perustuvaa laskentamallia. Kaavassa 1 on esitetty kaukolämpökiinteistön lämmityksen huipunkäyttöajan laskemiseen käytettävä kaava (9, s. 76).

$$H = \frac{24 \cdot S}{17^{\circ}\text{C} \cdot t_u} \quad (1)$$

H	lämmityksen huipunkäyttöaika tarkasteluaikana, h
S	lämmitystarveluku tarkasteluaikana, °Cd
t_u	paikkakunnan mitoitusulkolämpötila, °C

Kiinteistön lämmitystehontarve saadaan laskettua energiakulutustiedoista, kun hyötysuhdekorjattu todellinen energiakulutus jaetaan kiinteistön huipunkäyttöajalla. Taulukossa 3 ilmoitettuja arvoja käyttäen käyttöveden osuutta energiakulutuksesta ei vähennetä kulutustiedoista, jos lämmitysjärjestelmässä puskuroidaan käyttöveden tuotantoa varaajan avulla. Kaukolämpökiinteistöjen osalta lämmityksen kulutus eritellään käyttöveden lämmittämiseen käytetystä energiasta.

Kiinteistön lämmitystehontarve voidaan nyt laskea kaavalla 2 (9, s. 77).

$$\Phi_{mit} = \frac{Q}{H} \quad (2)$$

Φ_{mit}	kiinteistön lämmityksen huipputeho, kW
Q	energiansyöttö tarkasteluaikana. MWh
H	lämmityksen huipunkäyttöaika tarkasteluaikana, h

Lämpimän käyttöveden käyttämän energiamäärän arviontiin käytetään lähtökohtaisesti aina ensin kiinteistön mittauksiin perustuvaa dataa. Yleisesti vanhemmissa kiinteistöissä lämpimän käyttöveden kokonaiskulutukselle ei kuitenkaan ole omaa mittausta, joten kulutuksen arviointiin voidaan käyttää kylmän veden kulutustietoja hyödyksi.

Lämpimän käyttöveden osuus kiinteistön kokonaisvedenkulutuksesta voidaan olettaa olevan 40 % jos tarkempaa tietoa ei ole saatavilla. Lämpimän käyttöveden tuottamiseen kulunut energiamäärä voidaan laskea kaavan 3 avulla (5).

$$Q_{lkv} = \frac{p_v \cdot c_{p_v} \cdot (V_{kv} \cdot 0,4) \cdot (T_{lkv} - T_{kv})}{3600} \quad (3)$$

Q_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpöenergian kulutus, kWh
p_v	veden tiheys, 1000 kg/m ³
c_{p_v}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/ (Kg K)
V_{kv}	käyttöveden kokonaiskulutus, m ³
0,4	kerroin lämpimän käyttöveden erittelyyn käyttöveden kokonaiskulutuksesta
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila (58), °C
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila (10), °C
3600	laatumuunnoksen kerroin kilowattitunneiksi, s/h

Lämpimän käyttöveden kulutus kiertojohdon lämpöhäviöt mukaan laskettuna voidaan myös arvioida kesä- elokuun keskimääräisen kulutuksen perusteella, sillä oletuksella, että lämmitys ei ole ollut tänä aikana käytössä. Kesäkuukausien keskiarvoinen kulutus kerrotaan kuukausien määrällä, jolloin saadaan lämpimän käyttöveden ja kiertojohdon käyttämä kulutus laskettua koko vuodelta. (10, s. 8.)

Mikäli lämpimän käyttöveden energiakulutus on arvioitu kesäkuukausien keskiarvoisen kulutuksen perusteella, lämpimän käyttöveden kiertojohdon kuluttama energiakulutus on vähennettävä loppusummasta. Lämpimän käyttöveden ja kiertojohdon kulutus saadaan täten eriteltyä.

Lämpimän käyttöveden kierron kuluttama energia voidaan laskea, kun kiertojohdon pituus ja mahdollisten käyttövedeen liitettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä

ja teho on selvitetty. Kiertojohdon lämpöhäviönä voidaan myös käyttää 40W/m mikäli kiertojohdon tarkka erityystaso ei ole tiedossa eikä tarkempia laskelmia suoriteta. Kiertojohtojen lämmityslaitteiden osalta voidaan käyttää vakioarvoa 200W/laite mikäli laitteiden tarkka teho ei ole tiedossa. Mikäli kiinteistössä tiedetään olevan käyttövedeen liitettyjä lämmityslaitteita mutta niiden tarkka lukumäärä ei ole tiedossa, lisätään kiertojohdon lämpöhäviöön 40W/m. (11, s. 45.)

Kaavan 4 avulla voidaan laskea kiertojohdon vuosittainen energiankulutus, edellä mainittujen ohjeiden mukaisesti (11, s. 45).

$$Q_{lkv} = (\phi_{lvk} \cdot L_{lvk} + \phi_{lvk,lämmitys} \cdot \eta_{laite}) \frac{t_{lvk,pumppu} \cdot 365}{1000} \quad (4)$$

Q_{lkv}	kiertojohdon lämpöhäviö, kWh/a
ϕ_{lvk}	kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho, W/m
L_{lvk}	kiertojohdon ominaispituus, m
$\phi_{lvk,lämmitys}$	kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho, W/m
η_{laite}	kiertojohtoon liitettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä, kpl
$t_{lvk,pumppu}$	kiertojohdon pumpun käyttöaika, käytetään 24 h/vrk, h/vrk

Lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus ei ole usein tiedossa tai puuttuvan aineiston takia sitä ei ole mahdollista laskea. Taulukossa 4 on esitetty, kuinka kiertojohdon ominaispituus voidaan arvioida rakennuksen tyypin ja sen lämmitetyn nettoalan perusteella. (11, s. 46).

Taulukko 4. Kiertojohdon pituuden arviointi rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan (11, s. 46).

Rakennustyyppi	Kiertojohdon ominaispituus m/m ²
Pientalo, rivi- ja ketjutalo	0,20
Asuinkerrostalo	0,20
Majoitusliikerakennus	0,25

4 Lämmitysmuotojen tarkastelu

4.1 Lämpöpumpputekniikka

Lämpöpumpputekniikkaan käyttö kiinteistöjen lämmityksen tuottamiseen kasvattaa jatkuvasti suosiota. Lämpöpumppujen toimintatapa perustuu kylmätekniseen kiertoprosessiin, jossa kylmäaine kiertää suljetussa järjestelmässä siirtäen lämpöä kahden pisteen välillä. Kylmäteknisessä kiertoprosessissa lämmönlähteestä otettua lämpöä muutetaan matalasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan prosessissa tehdyn työn avulla. Korkeamman lämpötilan omaavaa kylmäainetta voidaan täten käyttää esimerkiksi kiinteistön lämmöntuotantoon lämmönsiirtimen avulla. (13; 14, s.17–18.)

Lämpöpumppu koostuu yksinkertaistetusti neljästä pääkomponentista lauhduttimesta, höyrystimestä, kompressorista ja paisuntaventtiilistä. Kylmäaine kiertää komponenttien välillä kylmäaineputkistossa muuttaen lämpötilaa ja olomuotoaan hallitsevan paineen mukaan. (14, s.17–18.)

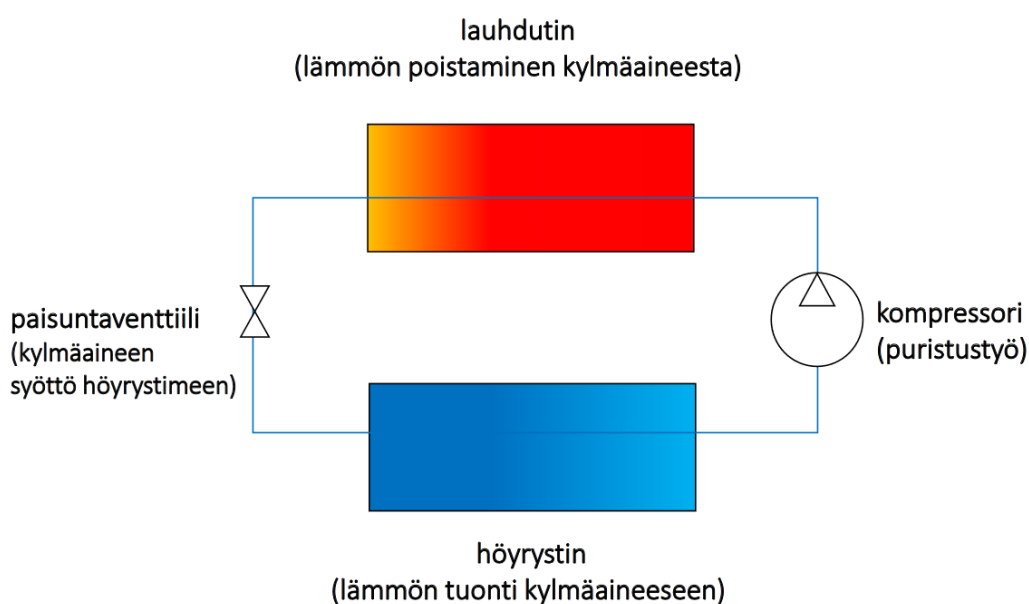
Kylmäprosessissa nestemäinen kylmäaine sitoo lämpöä höyrystimessä itseensä lämmönlähteestä, joka voi olla esimerkiksi ulkoilma tai nestekiertoinen keruupiiri energiakaivosta. Höyrystimessä kylmäaineen olomuoto muuttuu nesteestä kaasuksi lämpötilan nousun seurauksena. (15;16.)

Höyrystimen jälkeen lämpöpumpun kompressorin imee kaasuuntunutta kylmäainetta ja puristaa kaasu korkeampaan paineeseen, tämän seurauksena kylmäainekaasun lämpötila ja sitä myötä myös sen energiasisältö kasvaa. (15;16.)

Kompressorin jälkeen kaasuuntunut kylmäaine johdetaan lauhduttimelle, jossa höyrystimen ja kompressorin tuottama lämpö poistetaan höyrystyneestä kylmäaineesta lämmönsiirintä käyttäen lämmitysjärjestelmään. Lämmön poiston aikana lauhduttimessa kylmäaineen lämpötila laskee ja aineen olomuoto palaa kaasusta nesteeksi. (15;16.)

Lauhduttimen jälkeen kylmäaine viedään paisuntaventtiilille. Paisuntaventtiilin tehtävä on säätää nestemäisen kylmäaineen virtausta lauhduttimelta takaisin höyrystimeen. Kylmäaineen painetaso myös laskee paisuntaventtiilissä. Kylmäprosessi on näin yksinkertaistetusti suoritettu ja se kierto jatkuu tuottaen lisää lämpöä lämmitysjärjestelmään. (15;16.)

Kuvassa 4 on havainnollistettu kylmätekniinen kiertoprosessi sekä lämpöpumpun pääkomponentit.



Kuva 4. Lämpöpumppulaitteiston pääkomponentit (16).

Lämpöpumppujen etuna on niiden pieni ottoenergian kulutus saatuun lämmitysenergiaan verrattuna. Lämpöpumpun hyvä hyötysuhde perustuu lämmönlähteestä saatuun ilmaisenergiaan. Lämpöpumppu itsessään käyttää energiana sähköä, josta suurin osa käytetään kompressorin tekemään työhön kylmäaineen kokoon puristamiseen. Kun lämmönlähteestä saadaan suurin osa energiasta, pystytään lämmitysenergiaa tuottamaan huomattavasti pienemmällä ottoenergianmäärällä kuin lämmitysenergian tarve kiinteistössä on. (16.)

Lämpöpumpun lämpökerroin eli lämpöpumpun hyötysuhde COP kertoo hetkellisen tuotetun lämmitys- ja viilennystehon suhteen lämpöpumpun käyttämään sähkötehoon verrattuna. Kaavalla 5 voidaan laskea lämpöpumpun COP-kerroin lämpöpumpun hetkellisten tehojen perusteella. (16.)

$$COP = \frac{\phi_{lp}}{P_k} \quad (5)$$

COP	lämpöpumpun lämpöteho eli hetkellinen hyötysuhde
ϕ_{lp}	lämpöpumpun lämpöteho, kW
P_k	lämpöpumpun kompressorin ottama sähköteho, kW

Lämpöpumpun kausisuorituskerrointa voidaan tarkastella tietyltä ajanjaksolta lämpöpumpun tuottaman ja kuluttaman energiankulutuksen perusteella, tällöin puhutaan SPF-kertoimesta. SPF-kerroin kertoo saman asian kuin COP-kerroin mutta tietyltä ajanjaksolta toteutuneiden energiakulutusten perusteella. Kaavassa 6 on esitetty lämpöpumpun SPF-kertoimen laskeminen kulutetun ja tuotetun energiamäärän perusteella. (11, s. 52–56.)

$$SPF = \frac{Q_{tuotettu}}{Q_{kulutettu}} \quad (6)$$

SPF	lämpöpumpun tuottaman ja kuluttaman energian suhde tarkastetavalta ajanjaksolta
$Q_{tuotettu}$	lämpöpumpun tuottama energian määrä, kWh
$Q_{kulutettu}$	lämpöpumpun kuluttaman energian määrä, kWh

4.2 Maalämpö

4.2.1 Maalämmön lämmönlähde

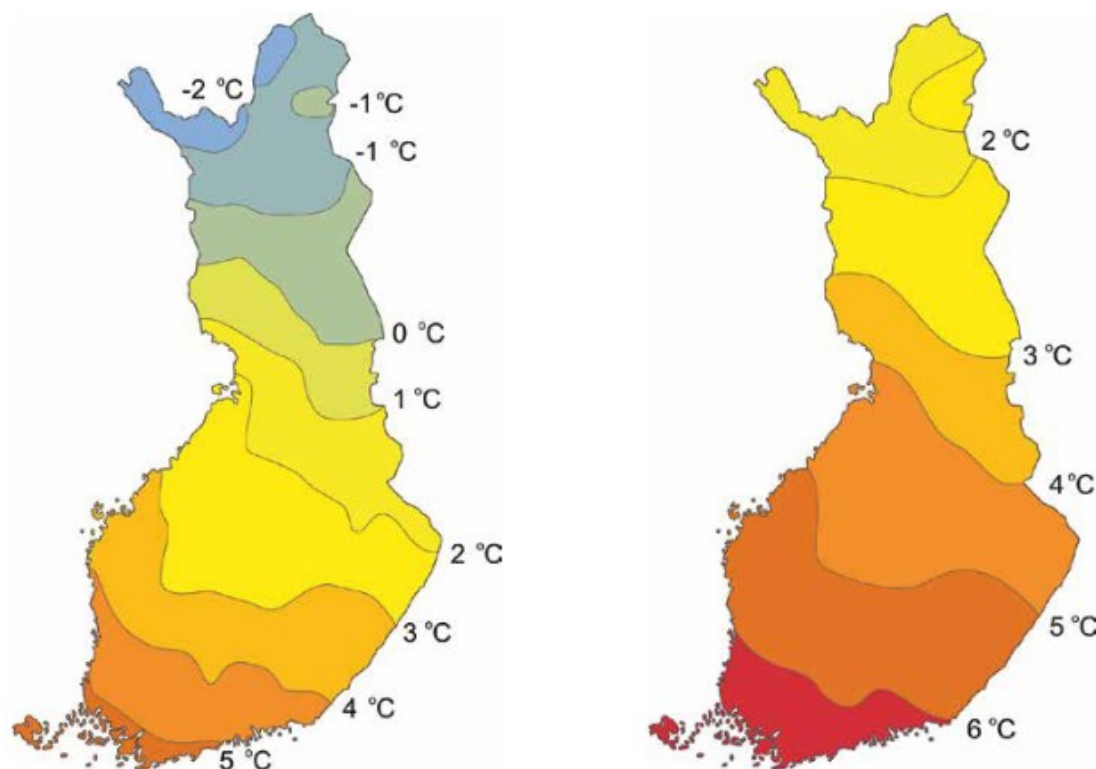
Maalämpöpumpulla tarkoitetaan lämpöpumppulaitteistoa, joka käyttää ulkopuolisena lämmönlähteenään maasta, kalliosta tai vesistöistä saatavaa energiaa lämmönkeruupiirin avulla. Maaperän, kallion ja vesistöjen pintaosiin varastoinut lämpöenergia on pääosin peräisin auringon lämmittävästä vaikutuksesta. Kallio-perään syvemmälle varastoitunut lämpöenergia on taas pääosin peräisin radioaktiivisten aineiden hajoamisprosessista ja tästä käytetään yleisesti termiä geotermien energia. Maaperän lämpötila kasvaa syvemmälle mentäessä noin 1–1,5 °C/100 m kohden. (17.)

Maalämpöpumpulla tuotetun lämpöenergian määrä on pitkälti riippuvainen maaperän lämpötilasta. Maa- ja kallioperän vuotuinen pintaosien lämpötila vaihtelee alueen maantieteellisen sijainnin mukaan. Maan pintakerroksessa lämpötilan vaihtelu seuraa vallitsevaa ulkolämpötilaa ja muutoksia lämpötilassa tapahtuu vuodenaikojen mukaisesti. Maaperän vuotuinen keskilämpötila on keskimäärin noin kaksi astetta korkeampi kuin ilman vuotuinen keskilämpötila alueella. (17.)

Maaperän lämpötilan alkaa tasaantumaan syvemmälle maaperään mentäessä ja ulkolämpötilan vaihtelun vaikutus vuodenaikojen mukaan vähenee. Noin 15 metrin syvyydessä maan lämpötila pysyy jo tasaisena ympäri vuoden. (17.)

Maaperän tasaisen lämpötilan vuoksi maalämpöpumpulla pystytään tuottamaan lähes tasaisesti lämmitysenergiaa ympäri vuoden hyvällä hyötysuhteella ulkoilman lämpötilasta riippumatta.

Kuvassa 5 on esitetty ilman vuotuisen keskiarvon lämpötila sekä maanpinnan vuotuisen keskiarvon lämpötila alueittain.



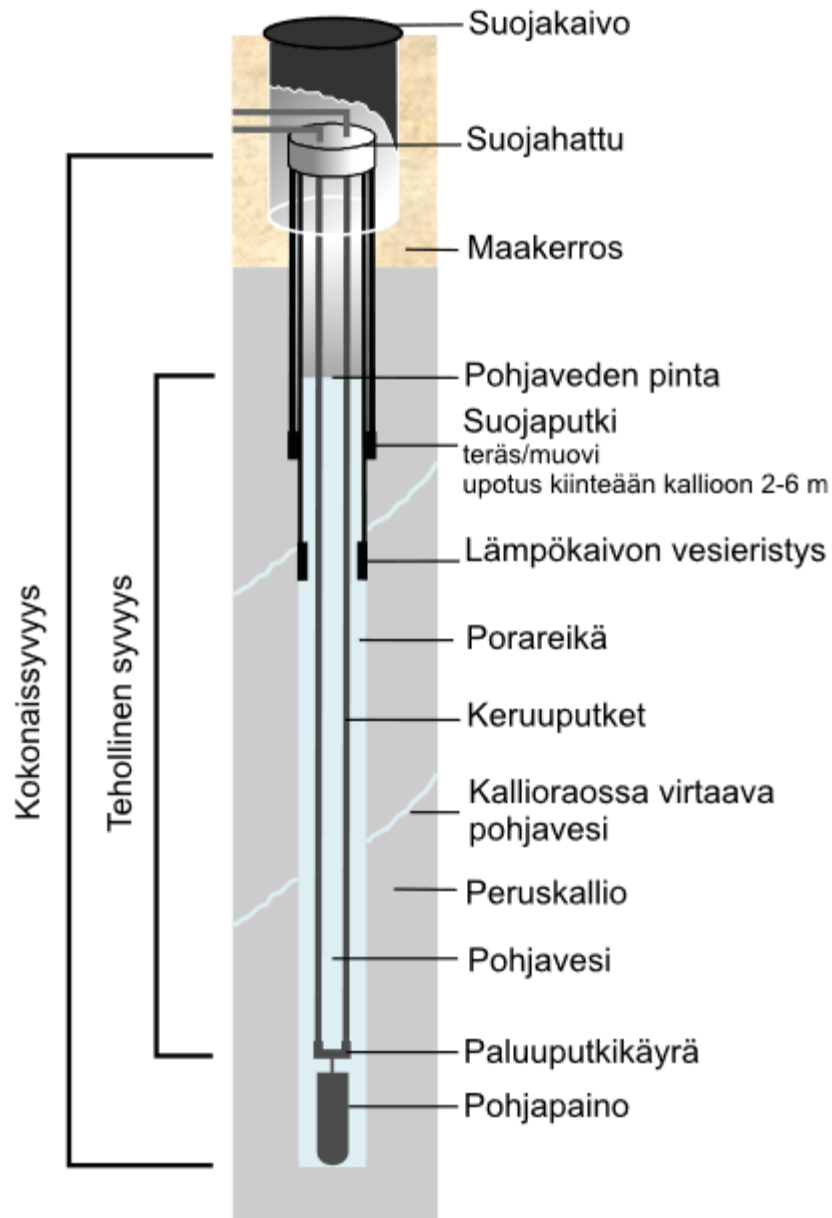
Kuva 5. Ilman vuotuinen keskilämpötila vasemmassa kuvassa, maanpinnan vuotuinen keskilämpötila oikeassa kuvassa (18).

Maalämpöjärjestelmän energia voidaan ottaa useasta eri lähteestä. Tyypillinen maalämpöjärjestelmä toteutetaan kuitenkin pääasiallisesti energiakaivoilla. Maalämpöä voidaan kerätä myös pintamaahan tai vesistöön asennetulla keruupiirillä. Tässä opinnäytetyössä keskitymme kuitenkin vain energiakaivoihin.

Energiakaivo tarkoittaa maahan porattua pystysuoraa tai kallistettua porakai-voa, jonka sisään on asennettu maalämmön keruupiiri. Energiakaivon toiminta perustuu keruupiirin sisällä kiertävään nesteeseen, tyypillisesti etanolipohjaiseen liuokseen. Kaivokentän keruupiirin liuos sitoo energiakaivoissa maaperässä olevaa lämpöä itseensä ja kuljettaa sen maalämpöpumpun höyrystimelle. Energiakaivon ulkohalkaisija on tyypillisesti 115–165 mm:n välillä, ja sen syvyys vaihtelee tarvittavan energiamäärän mukaisesti. (17.)

Energiakaivoja voidaan porata normaalilla porauskalustolla noin 350 metriin asti. Syvemmälle poraus on myös mahdollista mutta porauksesta aiheutuvat kustannukset rupeavat nousemaan huomattavasti. (1.)

Energiakaivon rakenne ja sen komponentit on havainnollistettu kuvassa 6.



Kuva 6. Energiakaivon rakenne koostuu porakaivosta ja sen sisään sijoitetusta keruuputkistosta, joka upotetaan kaivon pohjapainon avulla (17).

4.2.2 Maalämpöpumppujärjestelmän alustava mitoitus

Esiselvitysvaiheessa kaivokentän ja laitteiston mitoituksessa tullaan käyttämään paljon vakioituja arvoja prosessin nopeuttamiseksi. Tarkoituksena tässä vaiheessa ei ole tehdä maalämpöjärjestelmän toteutussuunnittelua vaan saada riittävä tieto järjestelmän toteuttamisen mahdollisuuksiin, energiapotentiaaliin ja järjestelmän kustannusarvioon. Mikäli hanke etenee maalämpöjärjestelmän osalta toteutussuunnitteluvaiheeseen, energiakaivokentän mitoitus on syytä tehdä tarkemmin elinkaarisimulaatioon perustuen esimerkiksi EED- tai IDA ICE-ohjelmistoa käyttäen.

Selvitettäessä kiinteistön mahdollisuutta vaihtaa lämmöntuottotapaa maalämpöön on maalämpöpumppulaitteistolle tehtävä alustava mitoitus, jonka avulla lämpöpumpun teho ja energiakaivokentältä vaadittava koko saadaan selvitettyä. Maalämpöpumppu mitoitetaan kiinteistön lämmitystehontarpeen mukaan. Laitteiston mitoitus voidaan toteuttaa osa- tai täystehomitoituksella.

Täystehomitoitus tarkoittaa, että lämpöpumpun teholla voidaan kattaa koko kiinteistön lämmitystehontarve mitoitusulkolämpötilassa. Täystehomitoitusta käytetään pääasiallisesti vain pientalojen lämpöpumpuissa, eikä täystehomitoitus ole yleensä suuremman kokoluokan hankkeissa kannattavaa verrattuna osatehomitoitukseen, sen vaatimien huomattavasti suurempien investointikustannuksien vuoksi. (19.)

Osatehomitoituksella tarkoitetaan, että lämpöpumpun lämmitysteho kattaa vain osan kiinteistön huipputehontarpeesta mitoitusulkolämpötilassa ja jäljelle jäävä tehontarve tuotetaan erillisellä lisälämmityksellä. Osatehomitoitettu lämpöpumppu mitoitetaan yleensä kattamaan noin 60–80 % kiinteistön huipputehontarpeesta. Osatehomitoituksella voidaan kuitenkin saavuttaa huomattavan korkea vuosikohtainen lämmitysenergianpeitto. Esimerkiksi lämpöpumpulla, joka on mitoitettu kattamaan 80 % kiinteistön vaatimasta huipputehosta, voidaan kuitenkin tuottaa noin 99 % tarvittavasta lämmitysenergiasta vuodessa.

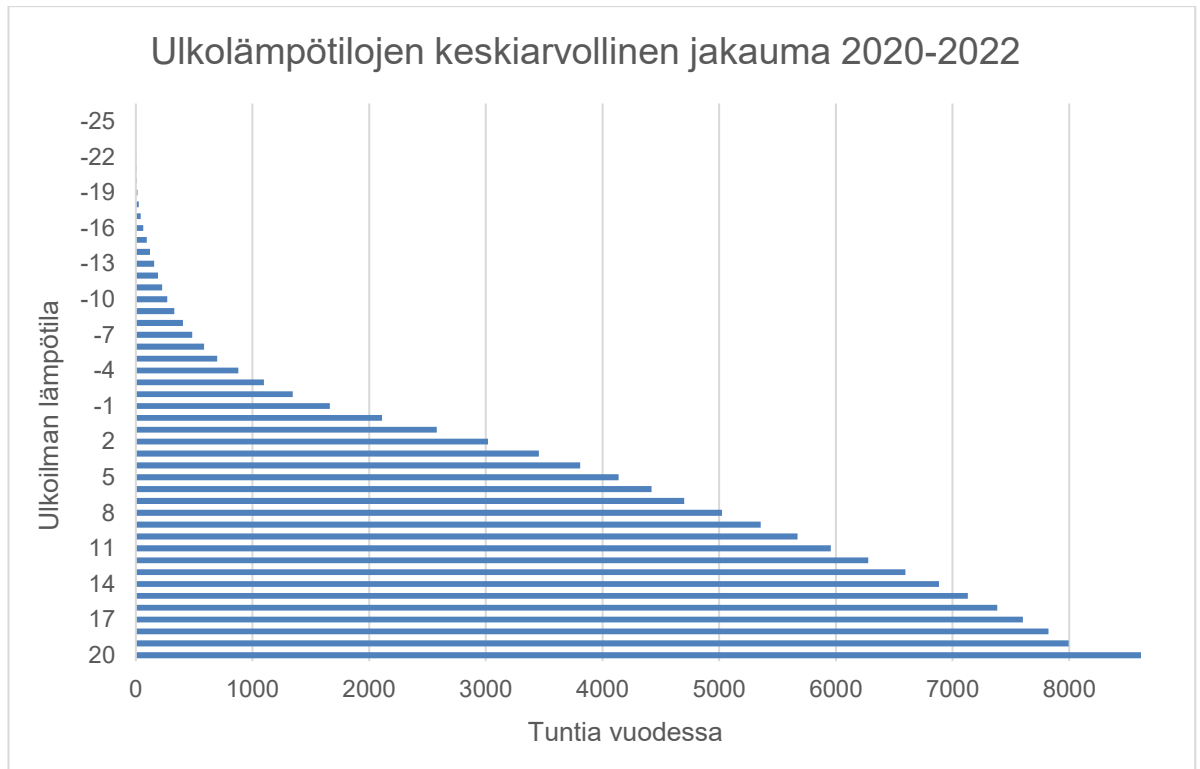
Osatehomoitoksella voidaan siis säästää järjestelmän investointikustannuksissa reilusti. (19.)

Taulukossa 5 esitetään tyypillinen lämpöpumpun tehonpeittoaste kiinteistön kokonaistehontarpeesta sekä oletettu kokonaisenergianpeittoaste mitä mitoituksella voidaan saavuttaa.

Taulukko 5. Lämpöpumpun tyypillinen tehonpeittoaste suhteessa energianpeittoasteeseen (20).

Lämpöpumpun tehonpeittoaste, %	Lämpöpumpun energianpeittoaste, %	Lisälämmityksentarve, %
50	95	5
60	97	3
70	99	1
80	99,5	0,5
90	100	0

Kuvassa 7 on esitetty ulkoilman lämpötilan jakauma tuntikohtaisesti kolmen vuoden lämpötilakohtaisen keskiarvon perusteella. Kuvaajaa varten käytettiin Ilmatieteenlaitoksen Helsingin Kumpulan mittausaseman tuntikohtaisia mittausarvoja vuosien 2020, 2021 ja 2022 ajalta. Kuvaajan pylväissä ilmoitetut tunnit tarkoittavat aikaa vuodessa, jolloin lämpötila on ollut alle tai yhtä suuri kuin tarkasteltava lämpötila.



Kuva 7. Ulkoilman lämpötilan keskiarvollinen jakauma vuosien 2020–2022 aikana (21).

Kuvan 7 perustella vuoden lämmitystehontarpeen jakauma voidaan havainnollistaa ulkolämpötilan mukaan. Ajallisesti huippupakkaset, jolloin lämmitystehontarve on suurimmillaan toteutuvat harvoin ja kattavat erittäin pienen osan vuoden kokonaistunneista, jonka vuoksi lämpöpumpun suhteellisen pienellä osatehomoitoksella voidaan kuitenkin saavuttaa suuri energiapeittoaste.

Energiakaivojen mitoituksessa Etelä-Suomen alueella käytetään tyypillisesti vakiomitoitussarvoja, joissa kaivosta otetaan energiaa metriä kohden 100 kWh/m/v yksittäisten ja huomattavasti toisistaan hajalla olevien kaivojen kohdalla. Suuren kaivokentän mitoituksessa otetun energian määrää kaivometriä kohden täytyy laskea, koska energiakaivojen keskinäinen vaikutus lisääntyy alueella. Suurempien avoryhmitteisten kaivokenttien alustavina mitoitusarvona voidaan käyttää 85 kWh/m/v. (22.)

Lämpöpumpun SPF- luku vaikuttaa merkittävästi kaivokentän esimitoitukseen. Kiinteistön vaatima kokonaislämmitysenergian määrä tuotetaan lähtökohtaisesti maalämpöpumpulla, mutta tässä vaiheessa tiedossa ei ole kuinka suuri osa tästä tuotetusta lämmitysenergiasta tulee lämpökaivoista ja kuinka paljon on lämpöpumpun käyttämää sähköenergiaa.

Laitevalmistajat ilmoittavat lämpöpumppujen COP- kertoimet usein esimerkiksi muodossa 0/35 jossa ensimmäinen luku kertoo lämpöpumpun höyrystimelle tulevan nesteen lämpötilan ja sulkeen jälkeinen luku kertoo lauhduttimelta lähtevän nesteen lämpötilan. Todellisuudessa lämpöpumpulla joudutaan usein tuottamaan saneerattavissa patterilämmitteisissä kiinteistöissä kuumempaa vettä patteriverkostoon lämmityskaudella. Lämpöpumpulla joudutaan myös tuottamaan lämmintä käyttövettä, jonka lämpötila on noin 58 °C ympärivuotisesti. (23.)

Kuvassa 8. on esitetty suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeen mukaisia maalämpöpumpun SPF- lukuja lämmitysverkoston menoveden lämpötilan mukaan. Kuvassa olevan taulukon mukaisia lämpöpumpun SPF- lukuja voidaan tosin pitää erittäin konservatiivisina, kokemuksen mukaisesti moderneilla maalämpöpumpuilla pystytään tuottamaan huomattavasti korkeampi SPF- luku.

Maalämpöpumput: menoveden korkein lämpötila, °C	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin pa- luunesteen keskilämpötila, °C	
	-3	+3
Tilojen lämmitys		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	2,7
60	2,5	2,5
Käyttöveden lämmitys		
60	2,3	2,3

Kuva 8. Maalämpöpumppujen SPF- lukuja suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisesti (11, s. 55).

Koska kuvassa 8 olevan taulukon mukaiset SPF- luvut jäävät arvion mukaan liian mataliksi moderneilla lämpöpumpuilla, voidaan tarkastella myös laitevalmistajan mitoitusohjelman mukaisia SPF- luvuilla. Todellisuudessa lämpöpumpulla saavutettu SPF- luku tulee luultavammin olemaan jossakin näiden kahden vertailukohdan välissä.

Seuraavassa taulukossa 6 on esitetty lämpöpumpppulaitevalmistajan Oilon Oy:n Oilon Selection Tool -ohjelmistolla saatuja SPF kertoimia eri lämmitysverkoston mitoituslämpötiloissa RE 48 kiinteistölämpöpumpulle.

Taulukko 6. Oilon Selection Toolilla saatuja lämpöpumpun SPF kertoimia

Lämmitysverkoston mitoituslämpötila, °C	SPF kerroin
80–60	3,1
70–40	3,4
60–40	3,6

Lämpöpumpun SPF luvun ja sen tuottaman kokonaisenergiämäärän määrittelyn jälkeen energiakaivosta tarvittava kokonaisenergiämäärä voidaan laskea suuntaa antavasti kaavalla 7. (24.)

$$E_{ek} = \frac{(SPF-1)}{SPF} * E_{kok} \quad (7)$$

E_{ek} energiakaivoista otettava energiamäärä, kWh
 SPF lämpöpumpun SPF- luku
 E_{kok} lämpöpumpun tuottama kokonaisenergiämäärä, kWh

Kun energiakaivokentästä otettava energian määrä on tiedossa, voidaan tarvittava energiakaivojen kokonaissyvyys laskea suuntaa antavasti seuraavalla kaavalla 8. (24.)

$$L_{ek} = \frac{E_{ek}}{\text{energiakaivosta otettu energia kWh/m}} \quad (8)$$

L_{ek} energiakaivokentän kokonaissyvyys, m
 E_{ek} energiakaivoista otettava energiamäärä, kWh

Laskettu energiakaivojen kokonaissyvyys voidaan nyt jakaa halutulla energiakaivojen määrällä, jolla maalämpöjärjestelmän toteutus on tilankäytöllisesti mahdollista.

Energiakaivojen määrä riippuu pitkälti kohdekiinteistön tontin laajuudesta ja kaivojen sijoittelumahdollisuuksista. Selvitysvaiheessa kiinteistön alueesta tehdään energiakaivokenttälunnon asemapiirustuksen tai kaupungin kantakartan perusteella. Energiakaivokenttälunnon avulla varmistetaan, että kiinteistön alueelle on mahdollista sijoittaa tarvittava määrä energiakaivoja maalämpöjärjestelmän toteuttamiseen.

Taulukossa 7 on esitetty Helsingin kaupungin julkaiseman maalämpöohje suunnittelijoille julkaisun mukaisia tärkeimpiä minimisuosituksetäisyyksiä energiakaivojen sijoittelulle. Vaikka ohje on Helsingin kaupungin julkaisema, ohje soveltuu käytettäväksi kaivokentän suunnitteluun myös yleisesti.

Taulukko 7. Suositeltuja vähimmäisetäisyyksiä energiakaivojen sijoitteluun (25).

Kohde:	Etäisyys:	Lisätiedot:
Energiakaivo, pystysuora	15 m	Energiakaivojen välinen etäisyys naapurikiinteistöjen välillä, yleinen suositeltu vähimmäisetäisyys energiakaivojen välillä.
Kiinteistön raja, vino- porauksen keskipiste	15 m	Vinoporauksen keskipisteen etäisyys kiinteistön rajasta, ilman naapurin suostumusta.
Kiinteistön raja, vino- porauksen alkupiste	2,5 m	Vinoporauksen alkupisteen minimietäisyys rajasta on 2,5 m ilman naapurin suostumusta. Kiinteistön rajan lähellä vinoporaus oman tontin keskialuetta kohti.
Katu-alueen keskilinja	7,5 m	Porauksen keskipisteen etäisyys katualueen keskilinjasta.
Katu-alueen raja	>0 m	Kaivojen sijoittaminen mahdollista katualueen rajaan asti kiinteistön alueella.
Rakennus (ja muut rakenteet)	3 m	Suositus alkupisteen etäisyydelle rakennukseen 3 m.
Puusto ja kasvillisuus tonteilla	4–6 m	Suurikasvuisten puiden suositeltu varoetäisyys 6 m (rungon halkaisija yli 20 cm, 1 metrin korkeudella). Pienikasvuisten puiden varoetäisyys 4 m.
Avokalliot	-	Avokallioiden pintaa ei saa rikkoa maalämmön hyödyntämiseen.
Lämpöputket, kaukolämpö, jäähdytys	3 m	

omat viemäri ja vesijohdot	3 m	
Muiden viemäri ja vesijohdot, kaasun jakelu ja siirtoverkko	5 m	
Sähköjohdot ja tietoliikennekaapelit	3 m	
Maanalaiset tilat, tunnelit	20 m	Runkovesitunnelien osalta 50 m.
Kallioporaus, talousvesikäyttöön	40 m	

4.3 Poistoilman lämmöntalteenotto

4.3.1 Poistoilmanvaihdosta ja lämmöntalteenotosta

Poistoilmanlämmöntalteenotolla (PLTO) tarkoitetaan järjestelmää, jonka avulla kiinteistön ilmanvaihdon poistoilmasta otetaan lämpöenergiaa talteen uudelleen käytettäväksi kiinteistön lämmityksen ja käyttöveden tuotantoon. Poistoilman lämmöntalteenotto soveltuu rakennuksiin, joissa ilmanvaihto on toteutettu koneellisesti poistoilmakoneella. Yleisesti poistoilmanlämmöntalteenottoyksiköt ovat suunniteltu siten että asennus on mahdollista tehdä nykyisen poistoilmanvaihtokoneen tilalle ilman suurempia muutostöitä.

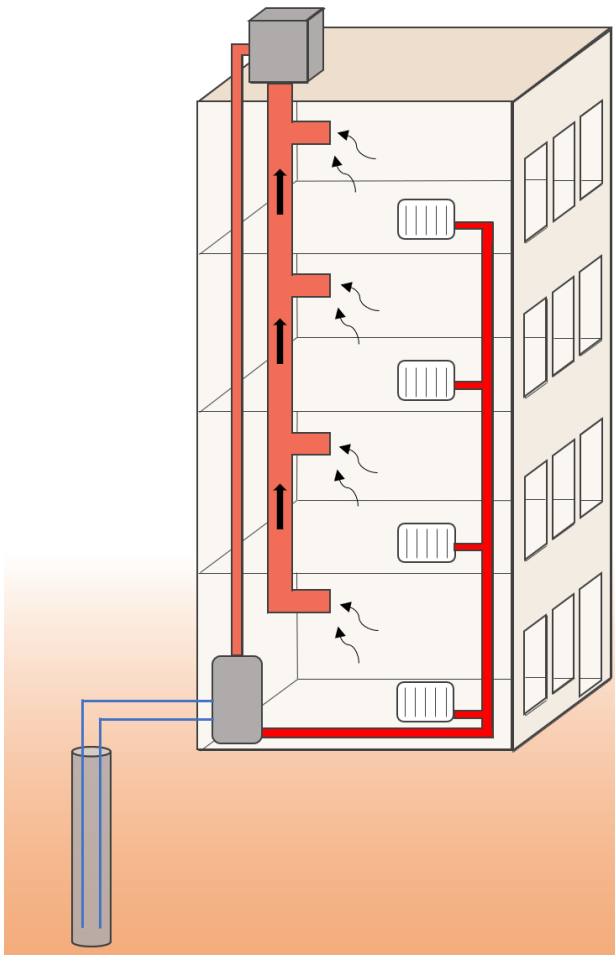
Koneellisen poistoilmanvaihdon omaavissa kiinteistöissä poistoilmakanavan päässä on ilmanvaihdon poistoilmapuhallin, eli niin sanottu huippuimuri. Huippuimurin tehtävänä on kierrättää kiinteistössä olevaa jäteilmaa ilmanvaihtokanavaa pitkin yleisesti kiinteistön katolle, jossa se puhalletaan ulkoilmaan. Poistoilman lämpötila on tyypillisesti noin 21–23 asteista, seuraten pitkälti kiinteistön tilojen sisälämpötilaa. (26.)

Poistoilmanvaihdon poistaessa ilmaa kiinteistön sisällä olevasta tilasta, tilaan syntyy alipainetta, jonka seurauksena uutta korvausilmaa virtaa sisälle tilaan. Kiinteistön korvausilma poistetulle jäteilmalle tulee tyypillisesti ikkunoiden yläpuolella olevista korvausilmaventtiileistä tai erillisistä rakenteessa olevasta raitisilmaventtiilistä. Sisään tulevan korvausilman lämpötila vastaa ulkoilman lämpötilaa, joka lämmityskaudella, ulkoilman lämpötilan ollessa kylmää nostaa kiinteistön lämmitystarvetta huomattavasti. Korvausilman lämmittämisen käytetty osuus kokonaislämmitysenergiasta onkin noin 1/3 pelkällä poistoilmanvaihdolla varustetuissa kerrostaloissa (4). (26.)

Kiinteistöistä poistetun ilman ulkoilmanlämpötilasta riippumattoman tasaisen lämpöenergiapotentiaalin vuoksi on yleisesti järkevää tarkastella PLTO:n asentamista vanhempien kiinteistöjen ilmanvaihtojärjestelmään. Poistoilmasta lämpöä otetaan talteen lämmönsiirtimen eli kennon avulla. Kennon sisällä kiertää liuos, joka sitoo poistoilmasta saatavan lämpöenergian itseensä. PLTO-yksikön

ja lämpöpumpun välillä on liuospiiri, jonka avulla poistoilmalla lämmitettyä nestettä kierrätetään laitteiden välillä. (26.)

Alla olevassa kuvassa 9. on havainnollistettu poistoilman lämmöntalteenoton toimintaa maalämpöjärjestelmän yhteydessä.



Kuva 9. Havainnekuva poistoilman lämmöntalteenotosta maalämmön yhteydessä (27).

Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate on sama kuin maalämpöpumpulla, lämmönlähteenä käytetäänkin vain maaperän lämmön sijasta poistoilmasta saatua energiaa. Yleisesti maalämpöpumppuja käytetäänkin suuremmissa kiinteistöissä poistoilman lämmöntalteenottoon. PLTO voidaan toteuttaa maalämpöjärjestelmän yhteyteen ja samalla lämpöpumpulla voidaan kytkennästä riippuen ottaa lämpöä niin maasta kuin poistoilmasta.

4.3.2 Poistoilman lämmöntalteenottolaitteiston alustava mitoitus

Poistoilmanlämmöntalteenottolaitteiston soveltuvuuden selvittäminen kiinteistöön aloitetaan tarkastelemalla kiinteistön nykyisiä ilmanvaihdon suunnitelmia. Ilmanvaihdon suunnitelmista saadaan yleisesti kiinteistön poistoilmakoneiden vaihtamat ilmamäärät tietoon. Ilmanvaihdon ilmamääriä voidaan myös arvioida alustavasti kiinteistön lämmitetyn alan perusteella, jos vanhoja ilmanvaihdon suunnitelmia ei ole saatavilla tai niitä voidaan pitää epätarkkoina nykytilanteeseen verrattuna.

Asuinrakennuksen huoneistojen ilmanvaihdon vaihtuvuuden ohjearvona voidaan pitää $0,35 \text{ dm}^3/\text{m}^2$ jota tarkemman tiedon puutteessa voidaan käyttää koko rakennuksen ilmanvaihtokoneen palvelemaan lämmitettyyn alaan. Kun ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet ovat tiedossa voidaan konekohtainen ilmamäärä laskea kaavan 9 avulla. (28.)

$$qv = 0,35 \cdot A \quad (9)$$

qv	ilmanvaihtokoneen poistoilmavirta, m^3/s
0,35	ilmanvaihtokerroin, dm^3/m^2
A	ilmanvaihtokoneen palveleva lämmitetty nettoala, m^2

PLTO:n asennuksen kannattavuus riippuu pitkälti vaihdettavan ilman määrästä ja yksikön asentaminen sopii parhaiten korkeisiin kerrostalokohteisiin, joissa on laajasti keskitettyjä poistoilmanvaihtokoneita. Vaihdetun poistoilman määrä vaikuttaa lämmöntalteenottoyksiköstä saatavaan tehoon ja järjestelmän korkeiden investointikustannusten vuoksi yleisesti ei ole taloudellisesti kannattavaa asentaa lämmöntalteenottoyksikköä poistoilmakanavistoon, jonka ilmamäärät jäävät vähäiseksi. Lämmöntalteenottolaitteiston tarkastelu on järkevää keskittää ilmanvaihtokoneisiin, joiden vaihtamat ilmamäärät ovat noin $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ tai yli. Selkeää rajaa kannattavan investoinnin osalta ei voida kuitenkaan pelkästään ilmamäärien perusteella sanoa, vaan tarkastelu on tehtävä aina kohdekohtaisesti.

Poistoilmakonekohtaiset ilmamäärät selvitettyään voidaan lämmöntalteenotto-laitteistosta saatava teho laskea lämpötilaero perusteisesti. Tyypillisesti poistoilman lämpötilana voidaan käyttää 21 °C ja PLTO:n jälkeisenä lämpötilana 5 °C jolloin lämpötilaeroksi lämmönsiirrin kennon yli muodostuu 16 °C. Lämmöntalteenotosta saatava teho voidaan laskea kaavalla 10.

$$\Phi_{plto} = \rho \cdot qv \cdot \Delta T \quad (10)$$

Φ_{plto}	lämmöntalteenotosta saatava teho, kW
ρ	ilman tiheys (1,2 kg/m ³), kg/m ³
qv	ilman virtaama, m ³ /s
ΔT	ilman lämpötilaero kennon yli, °C

Lämmöntalteenotosta saatavan tehon perusteella voidaan laskea teoreettinen energiamäärä mikä laitteistosta voidaan saada vuosittain. PLTO:sta saatava energiamäärä voidaan laskea, kun lämmöntalteenotosta saatava teho kerrotaan sen käyttöajalla. Ilmanvaihtokone käy vuodessa normaalitilanteessa jatkuvasti, joten teoreettisesti lämmöntalteenoton käyttöaika voisi olla 8760 h/v. Todellisuudessa kaikkea PLTO:sta saatavaa energiaa ei pystytään kuitenkaan hyödyntämään kiinteistön käyttöön, joten käyttöaikana tässä vaiheessa voidaan käyttää 6000–7000 h/v jotta tulokset eivät olisi liian optimistisia. Kaavalla 11 voidaan laskea PLTO:sta saatava vuosittainen energiamäärä. (29.)

$$E_v = \Phi_{plto} \cdot h \quad (11)$$

E_v	lämmöntalteenoton tuottama energia vuodessa, kWh
Φ_{plto}	lämmöntalteenotosta saatava teho, kW
h	lämmöntalteenoton käyttöaika vuodessa, h

Poistoilman lämmöntalteenotosta saatavan energiamäärän perusteella voidaan tarkastella vaikutusta energiakaivokentän mitoitukseen, jos järjestelmä on tarkoitus asentaa maalämmön yhteyteen. Poistoilmanlämmöntalteenotolla voidaan vähentää maalämmön vaatiman energiakaivokentän kokoa, kun osa kaivoista otettavasta energiasta korvataan poistoilmasta saatavalla energialla.

Lämmöntalteenotosta saatu energiamäärä voidaan vähentää lämpöpumpun maasta ottamasta energiamäärästä, jolloin jäljelle jää energiakaivokentästä tarvittava energiamäärä PLTO:n lisäämisen jälkeen. Kaivokentän kokonaissyvyys voidaan alustavasti laskea uuden tarvittavan energiamäärän kanssa aikaisemmassa kappaleessa mainitun kaavan 8 avulla. (29.)

Kokonaisuudessaan poistoilman lämmöntalteenoton lisääminen osaksi maalämpöjärjestelmää on usein kannattavaa, jos kiinteistön ilmanvaihdon ilmamäärät ovat riittävän suuret ja sitä kautta laitteistosta saatava teho on merkittävä.

4.4 Muut huomioon otavat asiat

4.4.1 Varaajien ja lisälämmönlähteen mitoitus

Maalämpö ja lämpöpumppulaitteiston yhteyteen asennetaan tyypillisesti suuremmissa kiinteistöissä erilliset puskuri- sekä lämminvesivaraajat, joiden avulla lämpöä voidaan varastoida kiinteistön käyttöön.

Puskurivaraaja toimii lämmitysjärjestelmän puskurina ja sen tarkoitus on lisätä lämmitysverkoston vesitilavuutta, näin sallien pidemmät yhtenäiset käyttöjaksot lämpöpumpulle. Lämpöpumpun käyntijaksot pitenevät lämmitysverkoston tilavuuden kasvaessa johtuen suuremmasta lämmitetystä vesimassasta. Lyhyet käyntijaksot lisäävät lämpöpumpun kompressorin käynnistymiskertoja, jotka kuluuttavat kompressoria enemmän kuin sen pitkäaikainen käyttöjakso. Puskurivaraajalta tarvittavan tilavuuden arviointi voidaan tehdä lämpöpumpun pienimmän tehoportaan tehon mukaisesti. Puskurivaraajan vesitilavuuden arviointi voidaan siis tehdä kertomalla lämpöpumpun pienin teho kilowateissa 20 litran vesitilavuudella. (30.)

Käyttövesivaraaja käytetään lämpöpumpun yhteydessä lämpimän käyttöveden varastointiin. Lämpöpumpulla tuotetun veden lämpötila on yleisesti alhaisempaa verrattuna perinteiseen lämmitysjärjestelmään, jonka takia lämmintä käyttövettä varastoidaan kiinteistön kulutushuippuja varten. Käyttövesivaraajat varustetaan

yleisesti sähkövastuksilla lisälämmön tuottamista varten, jos lämpöpumppulaitteisto ei itsessään pysty tuottamaan kaikkea kiinteistön tarvitsemaa lämmitysenergiaa. Lämminvesivaraajan mitoitus tehdään kiinteistön vedenkulutukseen perustuen. (8.)

Lämpöpumppujärjestelmän mahdollisesti tarvitseman lisälämmitysenergian tuottamiseen voidaan käyttää useita eri lämmitysmuotoja, esimerkiksi öljy, sähkö tai kaukolämpö. Yleisesti kuitenkin lisälämmön tuottamiseen käytetään suorasähkölämmitystä energiavaraajiin sijoitetuilla sähkövastuksilla ja suoravirtaus sähkökattilalla. Lisälämmitysjärjestelmä mitoitetaan maalämmön yhteydessä siten, että kiinteistön huipputeho pystytään kokonaisuudessaan kattamaan lämmitysjärjestelmällä. Yleisesti sähkövastukset ja sähkökattila on kuitenkin syytä mitoittaa siten että, niillä voidaan tuottaa itsessään suurin osa kiinteistön lämmitysenergiasta lämpöpumpun huolto ja häiriötilanteiden varalta.

4.4.2 Lämpöpumppujen sähkönkulutus

Lämmitysmuodon vaihto maalämpöön tai muuhun lämpöpumppujärjestelmään tulee kasvattamaan kiinteistön nykyistä sähkön kulutusta ja käytettyä huipputehoa. Lisääntynyt sähkön kulutus tulee huomioida selvitysvaiheessa kiinteistön sähköliittymän riittävyyden tarkastelussa. Alueella palvelevalta verkkoyhtiöltä saadaan tiedot kiinteistön sähköliittymän, syöttökaapelin ja toteutuneen huipputehon käytön osalta. Kiinteistön toteutuneen huipputehon avulla voidaan laskea jäljelle jäävä kapasiteetti nykyisessä sähköliittymässä. Lämpöpumppulaitteiston alustava virrankulutus voidaan laskea käyttäen esimerkkilaitteistokokonaisuutta, siten että, laitteiston sähköntarvetta ei kuitenkaan aliarvioida.

5 Elinkaarikustannuslaskenta

5.1 Elinkaarikustannusten laskenta

Muutosselvityksen yhteydessä toteuttamiskelpoiselle lämmitysratkaisulle tehdään elinkaarikustannuslaskelma, jonka avulla järjestelmän vuosittaiset elinkaarikustannukset ja sitä myötä takaisinmaksuaika vanhaan lämmitysjärjestelmään verrattuna saadaan selvitettyä. Takaisinmaksuajalla tässä yhteydessä tarkoitetaan kulunutta aikaa vuosissa, kun uuden lämmitysjärjestelmän investointi ja vuosittaiset käyttökulut eli elinkaarikustannukset alittava nykyisen järjestelmän vastaavat kulut. (31.)

Elinkaarikustannuslaskelmia varten kiinteistön energiankulutus, järjestelmien käyttämä- ja tuottama energiamäärä sekä käytettyjen energiamuotojen ajantasainen hinnoittelu on oltava tiedossa. Energian hintatason selvitykseen käytetään lähtökohtaisesti kiinteistön todelliseen kulutukseen perustuvia laskutustietoja. Kaukolämmön osalta hintatason selvittämiseen voidaan myös käyttää lämmönmyyjän julkaisemaa tariffia kiinteistön kulutuksen ja vesivirtamaksun perusteella laskettuna. Muiden energiamuotojen hinnoittelun selvitys hinnaston perusteella saattaa osoittautua haastavammaksi johtuen useista mahdollisista energiatoimittajista ja hinnoitteluperusteista. Energian hinta lasketaan toteutuneen kulutuksen tai hinnaston mukaisesti siten että, energiamäärälle saadaan vuosikohtainen keskiarvo, ottaen huomioon mahdolliset kausi- tai aikakohtaiset hinnoittelun muutokset.

Laskelmissa käytettyjä energiamuotojen vuosittainen hinnan nousu vaikuttaa laskennan lopputulokseen merkittävästi. Todellinen hinnan nousu voidaan laskea kiinteistön energian käyttöön ja laskutukseen perustuen, jos kulutus ja energia laskut on saatu useammalta vuodelta. Yleisesti energiamuotojen oletettuna hinnan nousuna käytetään laskennassa kuitenkin arvioon perustuvia arvoja. Laskelmia tehdään kuitenkin asiakkaalle yleisesti useampi käyttäen vaihtoehtoisia energiamuotojen välistä hinnoittelun vuosittaista nousua.

Uuden lämmöntuottojärjestelmän investointihinta on arvioitava riittävän tarkasti elinkaarikustannuslaskelmaa varten. Maalämpö- ja poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän investointikustannusten arviointi tehdään tapauskohtaisesti ottaen huomioon rakennuksen ominaisuudet ja mahdolliset erityispiirteet. Investointihinnan arvioinnin pohjana voidaan yleisesti käyttää kuitenkin toteutuneiden tai kilpailutusprosessin jo läpikäyneitä vastaavia hankkeita. Jos kiinteistön nykyinen lämmitysjärjestelmä on lähellä teknisen käyttöikänsä loppua, myös sen uusimiskustannukset on syytä ottaa huomioon elinkaarilaskennassa.

Järjestelmien elinkaarikustannusten laskenta suoritetaan käyttäen nykyarvomenetelmää, laskentaa varten tehdyllä Excel-laskentatyökalulla. Nykyarvomenetelmällä tarkoitetaan, että laskennassa käytetyt investoinnit, tuotot sekä kulut diskontataan nykyhetkeen, jonka jälkeen ne lasketaan yhteen ja näin saadaan investoinnin nykyarvo. Nykyarvot lasketaan kaavalla 12 ja 13 (32).

$$C_g(\tau) = C_i + \sum_j [\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j)] \quad (12)$$

$C_g(\tau)$	laskentajakson korkokustannukset, pitoajan alusta
τ	laskentajakso
C_i	toimenpiteen j alkuperäiset investointikustannukset
$C_{a,i}(j)$	toimenpiteen j vuotuiset kustannukset vuonna i
$V_{f,\tau}(j)$	toimenpiteen j jäännösarvo laskentajakson lopussa diskontattuna pitoajan alkuun
$R_d(i)$	diskonttokorkoon r perustuva vuoden i diskonttaustekijä, lasketaan seuraavasti kaavalla 13.

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1+r/100} \right)^p \quad (13)$$

p	vuosien lukumäärä pitoajan alusta
r	reaalinen diskonttokorko

Lämmöntuottolaitteistojen osalta voidaan olettaa, että investoinnilla ei ole jäännösarvoa, koska laitteisto lähtökohtaisesti aina käytetään teknisen käyttöikänsä loppuun.

5.2 Elinkaarikustannusten laskentaesimerkki

Elinkaarikustannusten laskennan esimerkkikohteena on käytetty Vantaalla sijaitsevaa suurta kiinteistökokonaisuutta. Kiinteistö koostuu kahdesta viisikerroksisesta asuinkerrostalosta, joiden rakennusvuosi on 1972. Kiinteistön nykyinen lämmöntuotto toteutetaan kaukolämmöllä. Rakennusten lämmitys tapahtuu vesikiertoisella patteriverkostolla ja ilmanvaihtotapa on keskitetty koneellinen pois-toilmanvaihto.

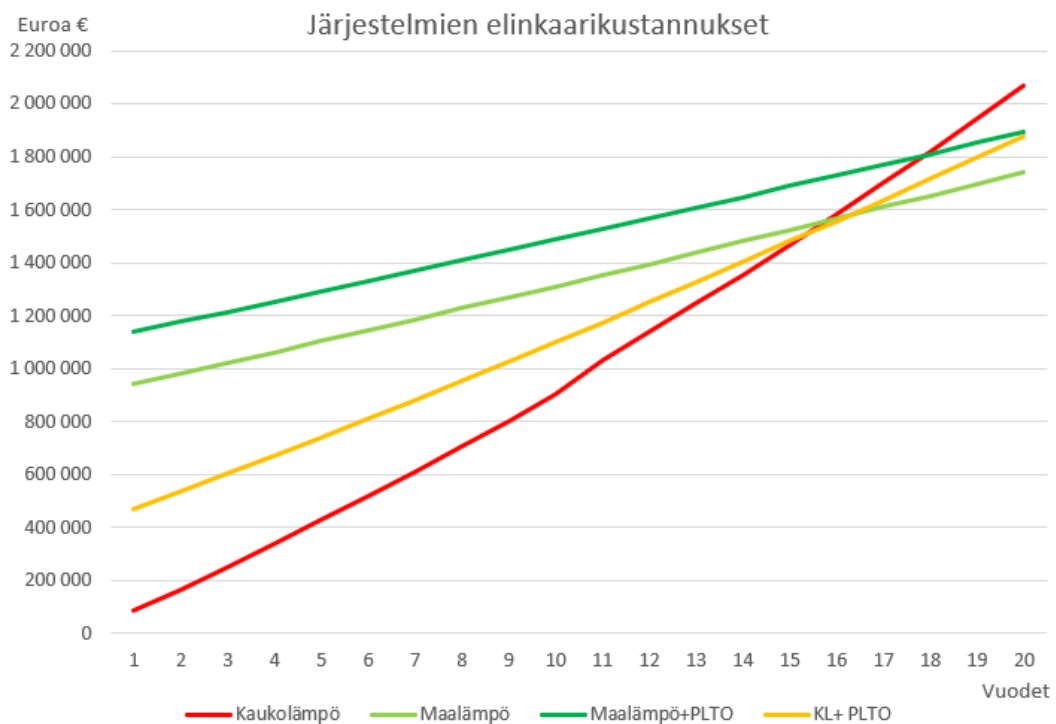
Esimerkkikiinteistöön toteutettiin eri lämmöntuottotapojen elinkaarikustannuslaskelmat, jotka tehtiin kaukolämmön, maalämmön, maalämmön + PLTO:n sekä kaukolämmön yhteyteen kytketyn PLTO:n osalta. Järjestelmien investointikustannukset ovat arvioitu vastaavien toteutuneiden hankkeiden perusteella.

Alla olevassa kuvassa 10 on esitetty esimerkkilaskelmassa käytetyn kohteen 20 vuoden ajanjaksolta tehdyn elinkaarilaskennan lähtöarvot sekä laskennan tulokset nykyarvon ja järjestelmällä saatujen säästöjen mukaan verrattuna nykyiseen kaukolämpöjärjestelmään.

Muutos		Kaukolämpö	Maalämpö	Maalämpö+PLTO	KL+ PLTO
Elinkaarijakson pituus	v	20	20	20	20
Investointikustannukset	€	5000	900000	1100000	400000
Vuotuinen energian tarve	MWh/v	952	952	952	952
KL hinta	€/MWh	82	0	0	82
Kaasun hinta	€/MWh	0	0	0	0
Energian kustannus	€/v	77588	0	0	55087
Lämpöpumpun kattama energia	%	0	0,99	0,99	0,29
Lämpöpumpun tuottama energia		0	942	942	276
Lämpöpumpun lämpökerroin		0	3	3	3
Lämpöpumpun käyttämä energia		0	295	277	81
Lisäenergian tarve	MWh/v	0	10	10	0
Vuotuinen sähköntarve	MWh/v	0	304	287	81
Sähköenergian hinta	€/MWh	130	130	130	130
Vuotuinen sähkökustannus	€/v	500	39526	37274	10556
Nimelliskorko	%	3,5	3,5	3,5	4
Inflaatio	%	3,0	3,0	3,0	3
Energian nimellinen hinnan nousu	%	6,0	4,0	4,0	5
Reaalikorko	%	0,5	0,5	0,5	0,5
Eskalaatio	%	-2,4	-0,5	-0,5	-1,1
Jaksollisten maksujen diskonttauskerroin		19	19	19	19
Jaksollisten laitteiston uusimisen diskonttauskerroin		1	0,0	0	0
Jaksollisten energiainmaksujen diskonttauskerroin		26	21	21	22
Huolto- ym. kustannukset	€/v	500	500	500	500
Huoltokustannusten nykyarvo	€	9508	9508	9508	9508
Lämpökustannusten nykyarvo	€	2012647	0	0	1233535
Sähkökustannusten nykyarvo	€	12970	831870	784468	236373
Laitteiston uusimisen nykyarvo	€	4950	0	0	0
Monta kertaa laitteisto uusitaan tarkasteluvälillä	kpl	1	0	0	0
LCC (nykyarvo)		2 070 075 €	1 741 378 €	1 893 976 €	1 879 416 €
Säästö ajanjaksolta			328 698 €	176 099 €	190 659 €

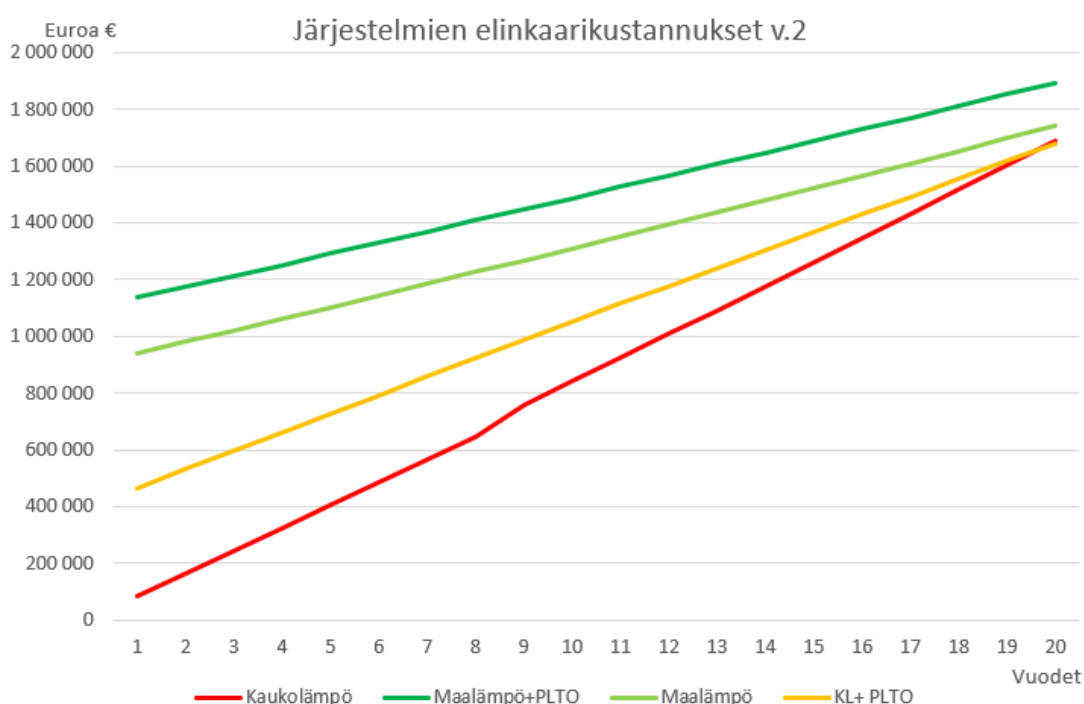
Kuva 10. Elinkaarilaskennassa käytetyt lähtöarvot ja järjestelmien nykyarvo (LCC) 20 vuoden elinkaaritarkastelulla. Kuvassa maalämpöjärjestelmän elinkaarikustannukset olivat pienimmät käytetyllä tarkastelujaksolla.

Kuvassa 11 saman elinkaarilaskennan vuosikohtainen kustannusten kehitys on esitetty kaavion avulla. Kuvasta voidaan havaita, että maalämmön ja kaukolämpö + PLTO:n laskettu takaisinmaksuaika sijoittuu esimerkkitapauksessa noin 16 vuoden kohdalle verrattuna pelkkään kaukolämpöön. Maalämpöjärjestelmän elinkaarikustannusten takaisinmaksuaika on hieman suurempi, mutta elinkaarikustannukset tulevat kuitenkin olemaan pienemmät pidemmän aikavälin tarkastelulla. Kaukolämpölaitteiston uusimisen laskennassa on arvioitu olevan kymmenen vuoden kohdalla, joka voidaan nähdä kaukolämmön kustannusviivassa olevasta äkillisestä noususta. Kuvassa energian vuosittaisena hinnan nousuna on käytetty kaukolämmön osalta 6 % vuodessa ja sähkön osalta 4 % vuodessa. Laskelmissa käytetyt energiamuotojen vuosittaiset hinnan nousut on laskettu kiinteistön laskutukseen perustuen. Inflaation arvona laskennassa on käytetty 3 % ja nimelliskorkona 3,5 %. Inflaatio ja nimelliskorko perustuu arvioihin ja laskenta voidaan tarvittaessa suorittaa myös muilla arvoilla.



Kuva 11. Järjestelmien elinkaarikustannusten kehitys 20 vuoden aikana. Kaukolämmön + PLTO:n elinkaarikustannukset alittavat pelkän kaukolämmön noin 16 vuoden kohdalla, mutta maalämpöjärjestelmän kustannukset ovat pienemmät pidemmälle mentäessä.

Esimerkkinä käytetystä kohteesta on myös tehty toinen elinkaarilaskennan versio, jossa energiamuotojen vuosittainen hinnan nousu eroaa edellä esitetystä laskelmasta. Kuvassa 12 on esitetty elinkaarilaskennan vuosikohtainen kehitys, kun kaukolämmön ja sähköenergian vuosittaisena hinnan nousuna on käytetty 4 % vuodessa molempien energiamuotojen osalta. Laskennan perusteella maalämmön sekä maalämmön + PLTO:n elinkaarikustannukset tulevat olemaan korkeampia kuin nykyinen lämmitysmuoto kaukolämpö 20 vuoden laskentajakson ajan. Kaukolämmön + PLTO:n elinkaarikustannukset tulevat laskelman perusteella olemaan pienemmät noin 19,5 vuoden jälkeen.



Kuva 12. Järjestelmien elinkaarikustannukset 20 vuoden ajalta, vaihtoehtoisilla energiamuotojen hinnan vuosittaisella nousulla. Energiamuotojen hinnan vuosittaisen nousun ollessa samalla tasolla kaukolämmön ja sähkön osalta takaisinmaksuaika lämpöpumppujärjestelmille kasvaa kaukolämpöön verrattuna.

Esimerkkikohteen sijainnin vuoksi kaukolämmön hinnoittelu oli suhteellisen edullista, jonka vuoksi maalämpö ja poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän takaisinmaksuajat osoittautuivat suhteellisen suuriksi. Laitteistojen elinkaarikustannuslaskelmien osalta on syytä tehdä useampi laskelma muuttuvilla lähtöarvoilla.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä yleismateriaalia sekä tietoa kompaktiin pakettiin perusasioista lämmöntuottotavan muutosselvityksen tekoon. Työn on tarkoitus toimia ohje- ja perehdytysmateriaalina lämmöntuottotavan muutosselvityksien tekemiseen. Opinnäytetyö perustui teorian tietojen pohjalta tehtyyn tarkasteluun, eikä työssä keskitytty minkään tietyn kohteen lämmöntuottotavan muutosselvityksen tekemiseen tai siitä raportointiin. Opinnäytetyön sisältämät ohjeet ja materiaalit soveltuvat alustavan selvitystyöhön, jonka tarkoituksena on saada asiakkaalle riittävän tarkkaa materiaalia kohtuullisella työmäärällä. Selvityksen tarkoituksena on auttaa tilaajaa päätöksenteossa sekä toimia mahdollisen toteutussuunnittelun pohjatyönä.

Opinnäytetyöraportissa käytiin läpi asuinkiinteistön energiakäyttöä ja sen tyypillisiä jakaumia lämmityksen, käyttöveden ja sähkön osalta. Perinteisten energiantuottomuotojen mennyttä hintakehitystä tarkasteltiin sekä niiden käyttöä verrattiin lämpöpumpputekniikalla toimiviin järjestelmiin. Lisäksi tarkasteltiin lämpöpumpputekniikkaa ja sen perustoimintaa. Työn tarkoituksena oli keskittyä maalämpöjärjestelmän sekä poistoilmanlämmöntalteenoton periaatteiden, soveltuvuuden ja kannattavuuden tarkasteluun. Maalämpöjärjestelmien osalta tarkasteltiin järjestelmän perusperiaatetta ja sen toimintaa sekä laitteiston ja energia-kaivojen alustavaa mitoitusta sekä niiden soveltuvuutta kiinteistöön. Poistoilmanlämmöntalteenoton osalta työssä käytiin läpi poistoilmanvaihdon perusperiaatteita asuinkiinteistössä, lämmöntalteenottoyksikön toimintaa ja soveltuvuutta sekä laitteiston mitoitusta.

Lämpöpumppujärjestelmien elinkaarilaskennan osalta käytiin läpi nykyarvomenetelmän käsitteet sekä niiden laskeminen. Elinkaarilaskentaa ei tässä opinnäytetyössä käyty läpi tarkemmin vaiheittain, vaan laskenta suoritettiin yrityksen sisäisessä käytössä olevalla laskentatyökalulla. Elinkaarilaskennan tuloksien havainnollistamiseksi opinnäytetyössä esiteltiin esimerkkitapaus todelliseen kohteeseen suoritettuna laskennan perusteella.

Lähteet

- 1 Peteri, Juha. 2022. Toimitusjohtaja. Insinööritoimisto Aavat Oy, Espoo. Keskustelu 26.7.2023.
- 2 Ostetun lämmitysenergian hinta asumisessa. 2023. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_13nl.px/>. Luettu 10.8.2023.
- 3 Asunto-osakeyhtiöiden hoitokulut nousivat vuonna 2021. 2022. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <<https://www.stat.fi/julkaisu/ckt9vy11k71z30c08isb2btl3>>. Luettu 10.8.2023.
- 4 Virta, Jari & Pylsy, Petri. 2011. Taloyhtiön Energiakirja. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus.
- 5 Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi>. Luettu 11.8.2023
- 6 Lämpöpumppujen hankintaopas- kunnat ja taloyhtiöt. 2018. Motiva. Helsinki.
- 7 Öljylämmitys. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/oljylammitys>. Luettu 13.8.2023.
- 8 Tuuliainen, Ismo. 2022. Maalämpöjärjestelmän suunnittelun ja mitoituksen lähtökohdat. Insinööriyö YAMK. Metropolian Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 9 Julkaisu K1/2020. Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet. 2020. Helsinki. Energiateollisuus ry.
- 10 Kulutuksen normitus, laskentakaavat ja -ohjeet. 2023. Motiva. Helsinki.
- 11 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2018. Suomen rakentamismääräyskokoelma, energiatehokkuus. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 12 Alakangas, Eija; Hurskainen, Markus; Laatikainen-Luntama, Jaana & Korhonen, Jaana. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Jyväskylä. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

- 13 Ilmalämpö ja maalämpöpumput. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilmalampo-ja_maalampopumput>. Luettu 17.8.2023.
- 14 Kaappola, Esko; Hirvelä, Aulis; Jokela, Matti & Kianta, Jani. 2020. Kylmätekniikan perusteet. Helsinki. Opetushallitus.
- 15 Valkeapää, Aki. Pientalojen lämpöpumput. Opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 16 Valkeapää, Aki. Teoreettiset perusteet ja erityispiirteet. Opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 17 Juvonen, Janne & Lapinlampi, Toivo. 2013. Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 18 Leppäharju, Nina. 2008. Kalliolämmön hyödyntämiseen vaikuttavat geofyysikaaliset ja geologiset tekijät. Pro Gradu -tutkielma. Oulun yliopisto. Fysiikkaalisten tieteiden laitos.
- 19 Maalämpöpumppu (MLP). Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologia/maalampopumppu>. Luettu 2.9.2023
- 20 Kauppila, Kari. 2022. EnerSys CM Oy. Asuinkiinteistöjen maalämpöjärjestelmät. Opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 21 Ilmatieteen laitos. Havaintojen latauspalvelu. verkkoaineisto. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>>. Luettu 19.9.2023.
- 22 Kauppila, Kari. 2022. EnerSys CM Oy. Lämpöpumppujen lämmönlähteet. Opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 23 Suutari, Tero. COP VS. SCOP – Hyötysuhteiden erot. Verkkoaineisto. Nilan Oy. <<https://www.nilan.fi/energiansaasto/cop-vs-scop-hyotysuhteiden-erot/>> Luettu 20.9.2023
- 24 Valkeapää, Aki. 2022. Maalämmön mitoitusarjoitustehtävä. Opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 25 Maalämpöohje suunnittelijoille. 2023. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <https://www.hel.fi/static/liitteet-2019/Kymp/PaLu/Ohjeet/Maalampohje_suunnittelijoille.pdf>. Luettu 20.09.2023.

- 26 Poistoilman lämmöntalteenotto. Verkkoaineisto. Talotekniikkateollisuus. <<https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/poistoilman-lammontalteenotto-lampopumppujarjestelmalla>> luettu 23.9.2023
- 27 Energiahankeselvitys pohja. Yrityksen sisäiset materiaalit. Insinööritöimistö Aavat Oy.
- 28 Opas asuinrakennuksen ilmanvaihdon mitoitukseen. 2019. FINVAC Ry.
- 29 Kauppila, Kari. 2022. EnerSys CM Oy. Poistoilman lämmöntalteenotto. Opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 30 Kauppila, Kari. 2022. EnerSys CM Oy. Lämpimän käyttöveden tuottaminen lämpöpumpun avulla. Opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 31 Investoinnin suunnittelu ja seuranta- ohje. 2021. Verkkoaineisto. Valtiokonttori. <https://www.valtiokonttori.fi/maaraykset-ja-ohjeet/investointien-suunnittelu-ja-seuranta-ohje/>. Luettu 31.10.2023.
- 32 Saksi, Ville. 2018. Uusiutuvien energiamuotojen hyödyntäminen lähes nollaenergiatason koulurakennuksessa. Insinööritö YAMK. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.