

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Helmikuu 2022	Tekijä/tekijät Heikki Hupponen
Koulutus Sähkö- ja automaatiotekniikka		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi MAALÄMPÖ – JA POISTOILMAN LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMIEN MITOITUKSESTA JA TOIMINNASTA. Case Hämeenlinnan Asuntojen kolme kerrostalokiinteistöä.		
Työn ohjaaja Aki Suokko		Sivumäärä 36 + 1
Työelämäohjaaja Tuukka Tuomala		
<p>Rakennusten energiatehokkuuteen on kiinnitetty jatkuvasti enemmän ja enemmän huomiota. Tämä näkyy etenkin kiinteistöjen remonttien yhteydessä. Kiinteistöjen lämmitysmuotoja vaihdetaan energiatehokkaampiin, lämmöneristyksiä parannetaan, ikkunoita uusitaan vähemmän lämpöä läpäiseviksi ja poistoilmasta halutaan ottaa lämpöä talteen erilaisin keinoin.</p> <p>Kerrostaloissa on pääsääntöisesti rakennettu vuosikymmenten ajan pelkästään poistoilmanvaihtoon perustuva ilmanvaihtojärjestelmä, jossa lämmintä huoneilmaa puhalletaan suoraan ulkoilmaan. Tällöin jää huomattavasti hyödyntämättä siitä saatavissa olevaa käyttökelpoista lämmitysenergiaa. Kuitenkin nykyisillä laitteistoilla poistoilman sisältämä lämpöenergia on mahdollista hyödyntää asuntojen lämmitykseen. Hyvä on se, että tähän asiaan aletaan kiinnittää entistä enemmän huomiota ja poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmiä rakennetaan vanhoihinkin kerrostaloihin niiden remonttien yhteydessä. Näin ostoenergian tarve vähenee.</p> <p>Maalämpölaitteistot lisääntyvät kiinteistöjen päälämmönlähteenä jatkuvasti. Kaukolämmöstä halutaan eroon muun muassa sen korkeiden kustannusten takia. Lisäksi kaukolämpöyhtiöillä on painetta nostaa toimitettavan lämmön yksikköhintaa nousevien polttoainekustannusten sekä ikääntyvän kaukolämpöverkoston takia, joten kustannusten ei odoteta ainakaan laskevan tulevaisuudessa.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka kolmen 1950-luvun asuinkiinteistön kaukolämpölaitteistojen vaihto maalämpökeskukseen sekä poistoilmasta otettavaan lämpöön oli onnistunut ja onko siitä ollut taloudellista hyötyä kiinteistön omistajalle verrattuna kaukolämmön kustannuksiin.</p>		
Asiasanat Lämpöenergia, lämpöpumppu, maalämpö		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date February 2022	Author Heikki Hupponen
Degree programme Electrical and automation engineering		
Name of thesis GEOTHERMAL HEAT AND EXHAUST AIR ON THE SIZING AND OPERATION OF HEAT RECOVERY SYSTEMS. Case Hämeenlinna Housing three apartment blocks.		
Centria supervisor Aki Suokko	Pages 36+ 1	
Instructor representing commissioning institution or company Tuukka Tuomala		
<p>More and more attention has been paid to the energy efficiency of buildings constantly. This is especially reflected in real estate renovations. Real estate heating modes are changed into more energy-efficient ones, thermal insulation is improved, windows are renewed to be less heat-permeable, and heat is recovered from exhaust air through various means.</p> <p>In apartment buildings, as a rule, a ventilation system has been based solely on exhaust ventilation built for decades, in which warm air in the room is blown directly into the open air, without taking advantage of the thermal energy obtained from it and in this way the useful heating energy has been wasted. However, with today's equipment, it is possible to take advantage of this waste air for heating apartments. Fortunately, even more attention is being paid to this issue and exhaust air heat recovery systems are being built even in old apartment buildings when they are renovated.</p> <p>Geothermal heat installations are constantly increasing as the main source of heat for real estate. There is a desire to get rid of district heating due to its high cost. In addition, district heating companies are under pressure to raise the unit price of the heat being delivered due to rising fuel costs as well as an aging district heating network.</p> <p>The purpose of the thesis was to determine if the replacement of district heating installations for three 1950s residential properties to the geothermal center as well as heat from exhaust air had been successful and whether it had provided economic benefit to the property owner compared to the cost of district heating.</p>		

Key words

Geothermal, heat pump, thermal energy

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

COP

Lämpöpumpun hyötysuhde eli lämpökerroin (Coefficient of Performance), joka kuvaa sitä, kuinka paljon lämpöpumppu pystyy tuottamaan lämpöä kuluttamaansa sähköön nähden.

EED-simulointi

Energiakaivon elinkaaren simulointi.

LTO

Lämmöntalteenotto.

LÄMMITYSTARVELUKU

Lämmityksen energiakulutuksen vertailu eri kuukausien ja vuosien välillä.

MITTAROINTI

Kulutuksen mittaus.

KVR-URAKKA

Kokonaisvastuu-urakka.

SPF-LUKU

Lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin.

TRT-mittaus

Terminen vastetestti.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 1950-LUVUN KERROSTALOT	3
2.1 LVI-tekniikka	4
2.2 Sähkönjakelu	5
3 MAALÄMPÖ	6
3.1 Lämmönkeruu	7
3.2 Lämpökaivo	9
3.3 Lämpöpumppu	11
3.4 Lämpöpumpun mitoitus	13
4 LÄMMITYSENERGIAN NORMITUS.....	15
4.1 Lämmitystarveluku.....	15
4.2 Normeerattu lämpötila	17
4.3 Lämmitysenergian normituksen laskentakaavat.....	17
5 ESIMERKKIKOHDE PAROLANTIE 13-17	22
5.1 Lähtötilanne.....	23
5.2 Tekniset lähtötiedot.....	26
5.3 Hankesuunnittelu	26
5.4 Tarjousvaihe	28
5.5 Toteutus.....	28
5.6 Taloudellinen tarkastelu.....	31
6 POHDINTA	35
LÄHTEET	37
KUVIOT	
KUVIO 1. Lämpökaivon poikkileikkaus	10
KUVIO 2. Maalämpöpumpun osat ja toimintaperiaate	12
KUVIO 3. Energiakulutustiedot 2010–2014	24
KUVIO 4. Kylmän veden (m ³) kulutustiedot 2010–2014	24
KUVIO 5. Sähkön kulutustiedot 2010–2014.....	25
KUVIO 6. Valvomonäkymä LTO-laitteistosta.....	30
KUVIO 7. LTO:sta saatava lämpöteho	31
KUVIO 8. Maalämpölaitteiston sähkönkulutus vuosina 2017–2020	33
KUVIO 9. Kaukolämmön ja sähköenergian vertailu suhteutettuna euroihin	34
KUVAT	
KUVA 1. Parolantiellä Hämeenlinnassa 1950-luvulla rakennettu kerrostalo	3
KUVA 2. Koneellinen poistoilmanvaihto.....	5
KUVA 3. Ilmalämpötilan vuotuinen keskiarvo vertailukaudelta 1971–2000	7
KUVA 4. Maalämmön erilaiset keruujärjestelmät	8

KUVA 5. Asemapiirros.....	9
KUVA 6. Lämpöpumppujärjestelmä	13
KUVA 7. Parolantie 13–17 kerrostalot talvimaisemassa.....	22
KUVA 8. Toteutuneet energiakaivot	29
KUVA 9. Porauspöytäkirjasta saatavia tietoja.....	29
KUVA 10. Laitteiston COP-arvo.....	32

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Normaalivuoden lämmitystarvelukuesimerkki.....	16
TAULUKKO 2. Lämmitystarveluvut 2021	16
TAULUKKO 3. Lämpimän veden kulutus rakennuksen bruttoalaa kohden.....	20
TAULUKKO 4. Kiinteistökohtaiset tiedot	23

1 JOHDANTO

Energiatehokkuuden parantaminen vaatii kokonaisvaltaista ajattelutapaa. Kiinteistöjen energiavirtojen hyödyntämisessä yhden prosessin hukkaenergia voi olla toisen prosessin lämpöenergia. Esimerkiksi siellä missä tarvitaan ilmanvaihtoa, syntyy poispuhallettavaa hukkalämpöä. Tämä hukkalämpö voidaan hyödyntää esimerkiksi kiinteistöjen lämmitykseen. Yhdistämällä erilaisten prosessien energiavirtoja voidaan vähentää kokonaisenergiantarvetta. Jotta lopputulos olisi onnistunut ja energiavirtoja voidaan hyödyntää tehokkaasti ja laitteistot voitaisiin mitoittaa oikein, vaaditaan suunnittelijoilta perehtyneisyyttä ja kiinteistötieteiden laaja-alaista osaamista.

Suomessa rakennusten energiatehokkuutta koskevia määräyksiä on laadittu vuosien varrella ympäristöministeriössä. Niiden tavoitteena on kiinteistöjen energiatehokkuuden parantaminen sekä uusiutuvan energian käytön lisääminen. Näillä määräyksillä on haluttu tehostaa kiinteistöjen energiankulutusta ja ohjata kiinteistöjen omistajia tekemään energiatehokkaampia päätöksiä korjausrakentamisessa.

Suomessa asuinkiinteistöjen peruskorjauksen tarpeessa ovat tällä hetkellä varsinkin 1960–1980-lukujen kerrostalot sekä 1970–1990-lukujen rivitalot, joiden talotekniikka ja rakenteet alkavat olla käyttökänsä loppupuolella. Näiden vuosikymmenien aikana Suomen nykyisestä asuinrakennuskannasta on rakennettu valtaosa, kun Suomi kaupungistui rajusti maataloustyön tehostuessa teknologisen kehityksen myötä. Asuinkiinteistöjen saneerausten yhteydessä energiatehokkuuden parantaminen on järkevää ottaa huomioon monestakin syystä. Näitä ovat ainakin energian kallistuminen, asumisviihtyvyys ja terveellisempi sisäilma.

Tämä opinnäytetyö tehtiin Hämeenlinnan Asunnot Oy:n toimeksiantona. Hämeenlinnan Asunnot on Hämeenlinnan kaupungin tytäryhtiö, jonka tavoitteena on tarjota kohtuuhintaista vuokra-asumista Hämeenlinnan asukkaille. Hämeenlinnan Asunnoilla on noin 2100 asuntoa eri puolilla kaupunkia, joissa asuu lähes 3000 asukasta. Kiinteistöjä on noin 110, joista noin puolet on kerrostalo- ja puolet rivitalo-asuntoja. Suurin osa taloista on rakennettu 1970- ja 1980-luvulla sekä 1990-luvun alussa. Rakennusten keski-ikä on 36 vuotta, joten kiinteistökanta alkaa olla saneerauksen tarpeessa.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään lämmitysjärjestelmän muutokseen, jossa kolmen 1950-luvulla rakennetun kerrostalokiinteistön kaukolämpölaitteisto vaihdettiin yhteen maalämpökeskukseen sekä

poistoilmasta otettavaan hukkalämmön talteenottoon. Tarkoitus oli tarkastella lämmitysjärjestelmän toimintaa ja kannattavuutta.

2 1950-LUVUN KERROSTALOT

1950-luvun loppupuolella alkoi suuri muuttoaalto maaseudulta kaupunkiin. Tämä muuttoliike heijastui myös rakentamisessa. Asuntotuotannon painopiste siirtyi kaupunkiin ja kerrostalorakentamiseen. Kaupunkien ja asutuskeskusten yhteenlaskettu vuotuinen asuntotuotanto rikkoi 20 000:n asunnon rajan vuonna 1960. (Neuvonen P. 2006, 84.) Arkkitehtuurissa alkoi 1950-luvulla korostua rationaalisempi modernismi ja vuosikymmenen lopulla julkisivujen vaakasuuntainen ilme vahvistui. Yleisin talotyyppi 1950-luvulla oli suorakaiteen muotoinen 3–4-kerroksinen hissitön kerrostalo, jossa oli kaksi tai kolme asuntoa per kerros. (Neuvonen 2006, 87.) Kuvassa 1 on Hämeenlinnan Asuntojen omistama 1950-luvun loppupuolella rakennettu kolmikerroksinen ja nelirappuinen kerrostalo.



KUVA 1. Parolantiellä Hämeenlinnassa 1950-luvulla rakennettu kerrostalo.

2.1 LVI-tekniikka

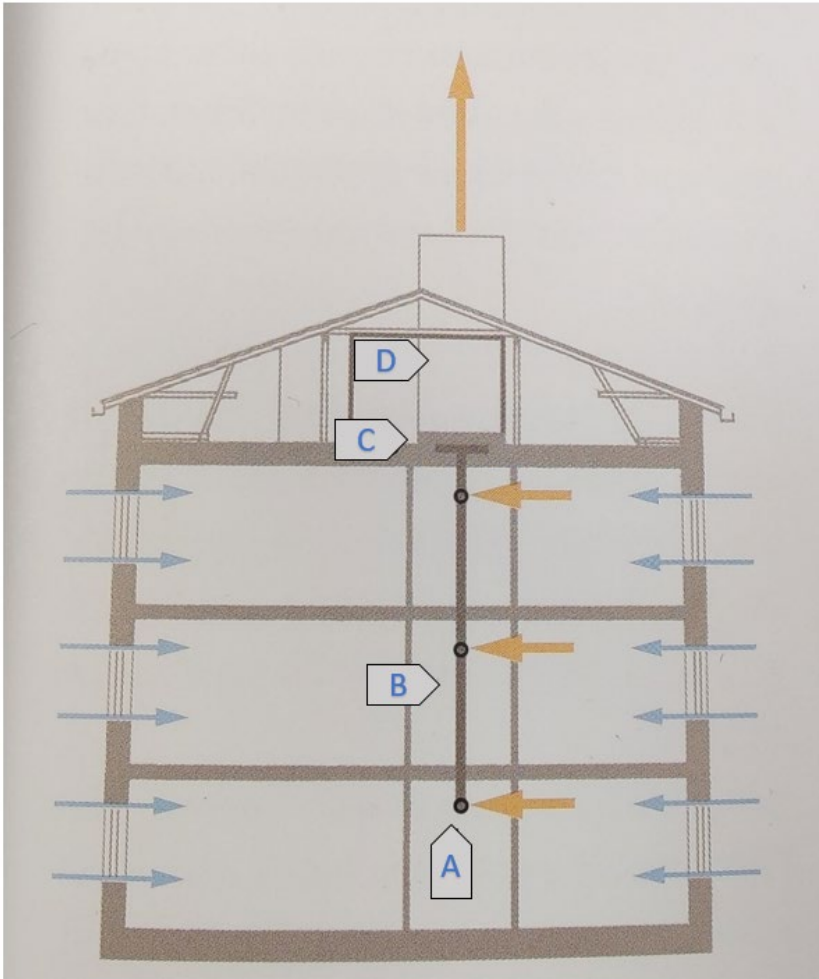
Yleisin lämmitysmuoto 1950-luvulla kerrostaloissa oli vesikeskuslämmitys. Lämmitysvedenkierto toteutettiin yleensä pumppukiertoisena. Vaikka taloryhmä- ja aluekohtaiset ratkaisut olivat yleistymässä, huolehtivat monet uusista taloyhtiöistä lämmityksestä edelleen itsenäisesti, mikä edellytti omaa kattilahuonetta, savupiippua ja polttoainevarastoa. 1950-luvulla lämmityksessä siirryttiin kiinteistä polttoaineista öljyyn. (Neuvonen 2006, 112.)

Kylmävesijohdot olivat galvanoitua eli sinkittyä teräsputkea. Lämpimän käyttöveden putkistot olivat kupariputkea. Viemärit olivat kaikkialla tuolloin muhullisia valurautaputkia. Vesi- ja viemärijohdot sijoitettiin hormeihin tiilimuurien sisään tai ilmanvaihtokanavien yhteyteen rakennettuihin putkiroiloihin. Kylpyhuoneissa suosittiin valurautaisia kylpyammeita ja pesualtaille ja ammeelle asennettiin säästösyistä lähes aina yhteinen sekoittaja. (Neuvonen 2006, 113.)

Yleisin ilmanvaihtoratkaisu 1950-luvun kerrostaloissa oli painovoimainen ilmanvaihto, varsinkin 3–4-kerroksisissa taloissa. Koneellisen poistoilmanvaihdon käyttö alkoi vuonna 1953. Kuten aiemminkin, poistoilmaventtiilit sijoitettiin keittiöihin, WC- ja/tai kylpyhuonetiloihin ja vaatehuoneisiin. Eri kerroksissa päällekkäin sijaitsevat tilat yhdistettiin samaan pystysuoraan poistoilmakanavaan. Lopuksi nämä eri tiloja palvelevat yhteiskanavat liitettiin ullakolla vaakasuoralla kokoojakanavalla puhallinkomeroon, johon sijoitettu puhallin poisti ilmaa koko rakennuksesta. (Neuvonen 2006, 115.)

Korvausilman otto ei ollut erityisen hyvin järjestetty tai suunniteltu alun perin, kun koneellinen poistoilmapuhallin otettiin käyttöön. Korvausilma tuli ikkunanraoista ja porraskäytävästä hallitsemattomasti. Tämän lisäksi ikkunoiden tiivisteistä poistettiin pieni osa, jotta asuntoon saatiin enemmän korvausilmaa. Tämä taas aiheutti kovilla pakkasilla vetoa ja kylmyyttä. (Neuvonen 2006, 115.) Siirtymällä painovoimaisesta ilmanvaihdosta koneelliseen poistoilmanvaihtoon voitiin kuitenkin ilmanvaihtoa asunnoissa parantaa ja tehostaa. Tällä muutoksella saatiin parannettua ihmisten asuinviihtyvyyttä ja mukavuutta.

Kuvassa 2 on periaatekuva käytössä olevasta yhteiskanavajärjestelmästä. Kuvassa kirjain A on poistoilmaventtiili, joka johtaa huoneistojen ilman poistoilmakanavaan (B), josta poistoilma kulkeutuu vaakasuoraan kokoojakanavaan (C) ja sieltä puhallinkomeroon saakka (D).



KUVA 2. Koneellinen poistoilmanvaihto (mukaiillen Neuvonen 2006, 115).

2.2 Sähkönjakelu

1950-luvun asuinkiinteistöissä piensähkönjakelu tapahtui yleisimmin kolmevaihevaihtovirtana (380 / 220 V). Porrashuoneissa ja asunnoissa sähkökaapelit sijoitettiin rakenteiden sisälle piiloon jääviin asennusputkiin. Porraskuiluissa ei ollut yleensä erillisiä nousukuiluja kellarista lähteviä nousuputkia varten, vaan ne sijoitettiin tiilimuureihin tai valettiin betoniseinän sisään. Huoneistojen sähkömittarit sijoitettiin yleensä asunnon eteisessä sijaitsevaan sulaketauluun. Sähköjohtimet olivat tavallisimmin vulkanoituja kumieristeisiä asennusjohtimia. (Neuvonen 2006, 117.)

3 MAALÄMPÖ

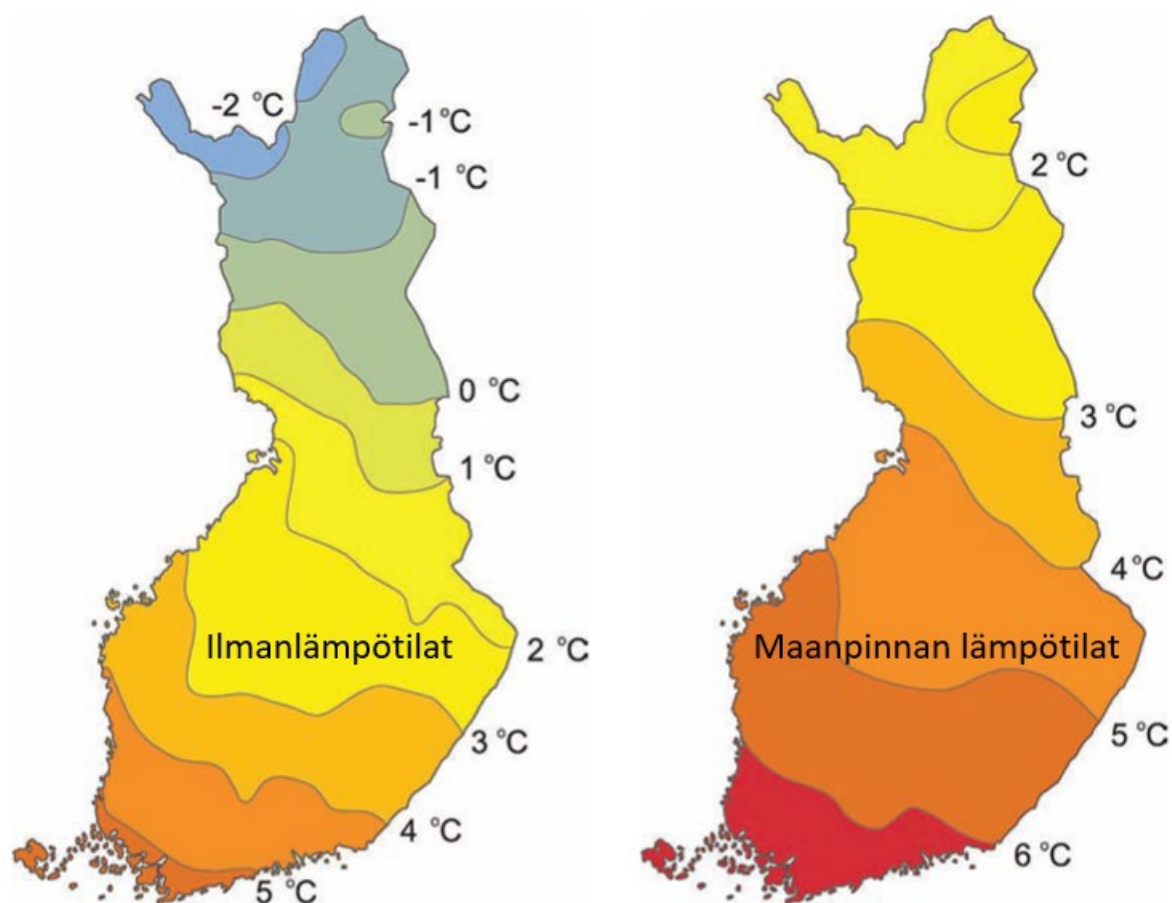
Maalämpö on ekologisena pidetty lämmitysratkaisu. Se ei aiheuta hiilidioksidipäästöjä ja maasta saatava lämpö on itsessään uusiutuvaa energiaa. Maalämmön tuottamat hiilidioksidipäästöt ovat vain murto-osa siitä, mitä tulee esimerkiksi vielä paljon käytössä olevaan öljylämmitykseen verrattuna. Toki maalämpölaitteisto tarvitsee sähköä toimiakseen, mutta sähkö tuottamiseen hiilineutraalisti on tullut kovasti yhteiskunnallista painetta. (TomAllenSenera 2022.) Tilanne hiilidioksidipäästöjä tuottavien polttoaineiden avulla tuotetun sähkö suhteen paranee entisestään, kun tuulivoimaa rakennetaan lisää Suomeen ja Olkiluoto 3:n reaktori alkaa tuottaa sähköä täydellä teholla Suomen kantaverkkoon.

Maalämpölaitteistojen tarvitsema lämpöenergia saadaan maan sisältä. Tämä lämmönlähde on pääosin aurinkoenergiaa, joka on varastoitunut maa- ja kallioperän pintaosiin. Näin ollen voidaan todeta, että maalämpö on energialähteenä täysin uusiutuva. Aurinkoenergia varastoituu lämpimän ilman, aurin-
gonpaisteen ja sateiden kautta maa – ja kallioperään sekä vesistöihin. (Juvonen J. 2009, 7.) On kuitenkin huomioitava, että jos maalämpökaivojen määrä ei ole riittävä lämpöenergiantarpeeseen nähden tai ne ovat liian lähellä toisiaan, on vaarana, että maalämpökaivot jäähtyvät. Tällöin sieltä saatava lämpöenergia on pienempi kuin mikä on todellinen tarve kiinteistöissä. Tämä on pikemminkin suunnittelijoiden huomioitava mitoituskysymys kuin perustavaa laatua oleva ongelma.

Suomessa aurinkolämpöä varastoituu maaperään vain kesäisin, koska täällä pohjoisessa talviauringon tuottama lämpö on vähäistä. Näin ollen talvisaikaan joudutaan turvautumaan kesän aikana varastoituneeseen lämpöön, jota saadaan maaperästä. Voitanee kuitenkin todeta, että oikein mitoitettuna maalämpöjärjestelmä on tasainen ja varma energiatuottaja ympärivuotiseen lämmöntarpeeseen. (Sulpu 2022.)

Maanpinnan keskilämpötila vaihtelee vuosittaisen ilman lämpötilan ja vuodenajan mukaan, mutta vaikiintuu Suomessa n.14–15 metrin syvyydessä 5–6 asteeseen. Syvemmillä kallioperässä geoterminen energia nostaa lämpötilaa keskimäärin 0,5–1 °C / 100 m. Näin ollen maan eteläosissa kallioperän lämpötila 200 metrin syvyydessä on noin 6–8 °C. Suomen kivilajien lämmönjohtavuudessa on vaihte-
lua. Eniten kallioperän lämpöominaisuuksiin vaikuttavat kallioperän koostumus, rikkonaisuus ja pohjaveden liikkeet. Pohjavesi ja kallioperän rikkonaisuus tehostavat lämmön siirtymistä maaperässä. Kallioperän rikkonaisuus voi toisaalta hankaloittaa lämpökaivojen porausta ja niiden rakenteiden pysyvyyttä. (Juvonen 2009, 7.)

Kuvasta 3 voidaan havaita, kuinka Suomessa maa- ja kallioperän pintaosien vuotuinen keskilämpötila vaihtelee maantieteellisen sijainnin mukaan ja se on keskimäärin kaksi astetta ilman vuotuista keskilämpötilaa korkeampi. Lisäksi lämpötila vaihtelee myös alueellisesti (Juvonen 2009, 7).



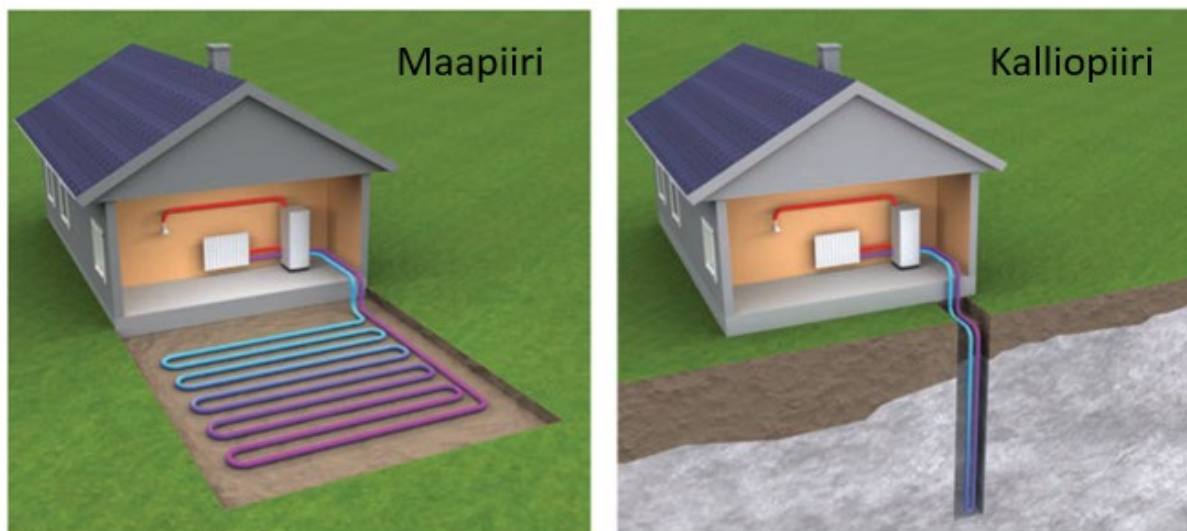
KUVA 3. Ilmalämpötilan vuotuinen keskiarvo vertailukaudelta 1971–2000 (vasemmalla) ja maanpinnan lämpötilan vuotuinen keskiarvo (oikealla) (mukaiillen Juvonen 2009, 8).

3.1 Lämmönkeruu

Maasta saatavaa lämpöä voidaan kerätä joko kallioperästä poraamalla noin 150–350 metrin syvyinen reikä maahan tai lähempää maanpintaa maahan upotettavan keruuputkiston avulla. Maaperään asennettava putkisto vaatii ison pinta-alan noin $1,5 \text{ m}^2$ / putkimetri. Lähempänä maanpintaa putkistojen kaivuusyvyys on noin metrin ja putkien tulee olla vähintään 1,5 metrin päässä toisistaan. (Juvonen 2009, 8.)

Yleensä tällaisia keruuputkistoja voidaan asentaa viljelemättömille pelloille tai muille vastaaville laajoille ja tasaisille maa-alueille. Maa-aineksen on kuitenkin oltava lämmönjohtavuudeltaan oikeanlaista, jotta riittävä lämpöenergia on mahdollista saada. Paras lämpöenergian tuotto saadaan, kun maa on kostea savimaata. Hiekkamaasta saadaan lämpöenergiaa talteen, muttei niin tehokkaasti kuin savimaasta. Jos maaperä on kivinen, se ei sovellu vaakaputkistoille kovin hyvin, koska mahdollisuus putkirikkoon on suuri roudan liikuttellessa maaperää. Vaakaputkisto on hinnaltaan hieman edullisempi ratkaisu kuin poraamalla tehty putkisto. Yleisin tapa on kerätä maasta lämpöenergiaa porakaivojen avulla. Se sopii pienille ja ahtaille tontille ja on suosittu myös saneerauskohteissa. Porattavan kaivon syvyyteen ja porattavien kaivojen määrään vaikuttaa kiinteistön koko ja sen lämmöntarve. Lisäksi poraamalla lämpökaivoja vältetään massiivisilta maankaivuutöiltä. (Motiva 2022a.)

Kuvasta 4 voidaan nähdä, millä tavalla putkistot kulkevat maaperässä. Vasemmanpuoleinen kuva edustaa maapiiriä, jossa lämpöenergian keruu tapahtuu vaakasuuntaisesti. Oikeanpuoleisessa kuvassa keruuputkisto on porattu maaperään ja lämmönkeruu tapahtuu pystysuuntaisesti. Oikeanpuoleisen kuvan mukaisista lämpökaivoista saadaan maapiirin nähden kaksinkertainen määrä energiaa putkimetriä kohden. (Juvonen 2009, 8.)

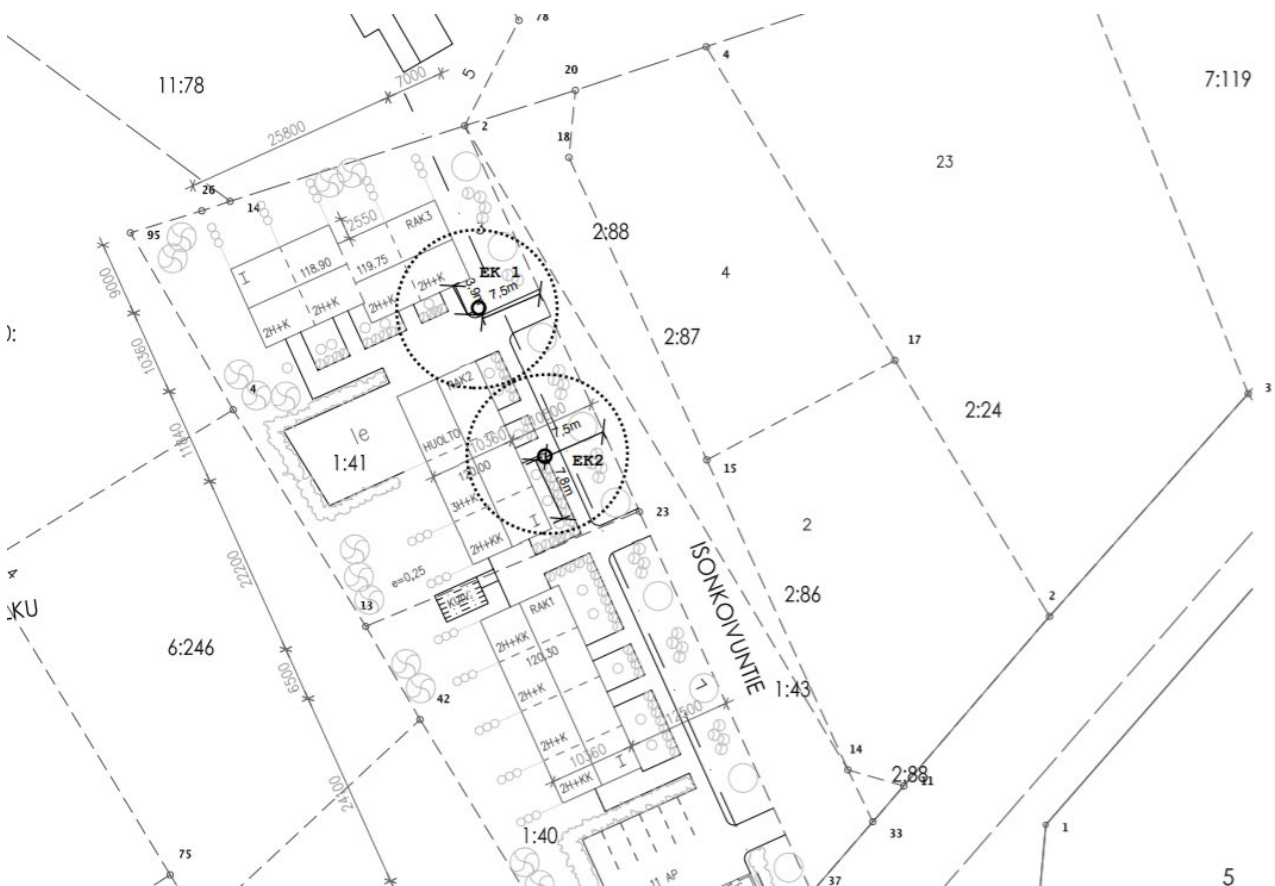


KUVA 4. Maalämmön erilaiset keruujärjestelmät (mukaihen Juvonen 2009, 9).

3.2 Lämpökaivo

Lämpökaivojen poraamiseen liittyy paljon juridiikkaa. Ennen poraamista on selvitettävä, onko kaupungilla tai kunnalla erityismääräyksiä tai ohjeistuksia, joita pitää poraamisessa noudattaa. Lisäksi kaava-alueilla vaaditaan erillinen porauslupa, joka anotaan Lupa.fi-portaalin kautta.

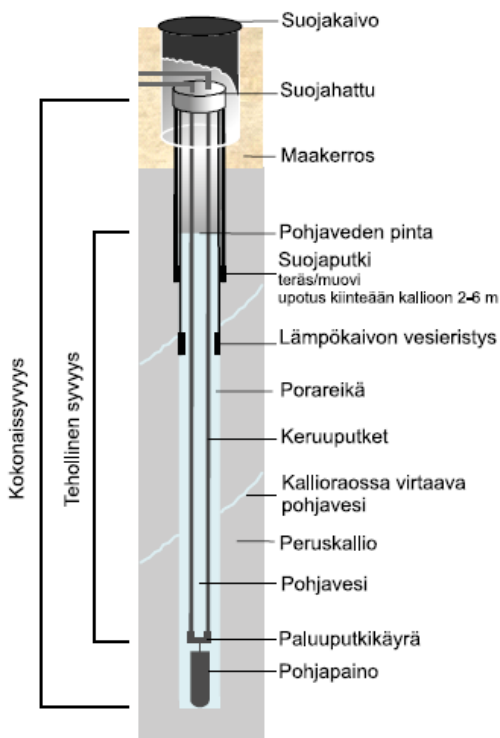
Porauslupahakemuksessa pitää ilmetä kuvaus hankkeesta, jota ollaan tekemässä, sekä ilmoitettava kiinteistötunnus, jotta viranomainen tietää millä tontilla poraukset suoritetaan. Tämän lisäksi pitää ilmoittaa tilaajan tiedot, hankintaoikeus tontille, jossa poraus aiotaan suorittaa, urakoivan yrityksen, porattavien kaivojen määrä ja minimietäisyydet, sekä osoittaa tontti, johon lämpökaivojen poraus on suunniteltu. Porauslupa edellyttää valmiiden suunnitelmien lisäämistä hakemukseen, jossa on merkittyy kaivojen kohdat ja syvyydet. Porauslupa voidaan kieltää, mikäli lämpökaivot sijaitsevat pohjavesialueella tai niiden suoja-alueilla. Kuvassa 5 voidaan nähdä Hämeenlinnan Asuntojen erään kohteen porauslupa-anomuksen liite, joka vaaditaan porausluvassa. Kuvassa on merkittynä kaivojen paikat sekä määrät ja suojaetäisyydet.



KUVA 5. Asemapiirros, jossa lämpökaivojen paikat on merkitty (Loimua 2021).

Valvova viranomainen pyytää tarvittaessa lisätietoja kohteesta joko urakoitsijalta tai tilaajalta ja tekee lopullisen päätöksen porausluvan myöntämisestä. Vasta luvan myöntämisen jälkeen voidaan aloittaa itse työt kiinteistön tontilla.

Porattavien maalämpökaivojen määrä ja niiden syvyys riippuvat kiinteistön energiantarpeesta ja maaperän laadusta. Yksittäisen maalämpökaivon syvyys vaihtelee 150–350 metrin välillä. Maalämpökaivojen halkaisijat vaihtelevat 105–165 mm:n välillä. Kuvassa 6 on nähtävissä maalämpökaivon poikkileikkaus. Kaivon yläosassa on suojaputki, jonka tarkoituksena on estää irtonaisen maa-aineksen pääsy porattuun reikään. Suojaputken materiaalina käytetään joko muovi- tai teräsputkea. Suojaputken upotussyvyys on 2–6 metrin välillä, riippuen siitä, milloin tulee kiinteä kallio vastaan porausten edetessä. Kun kiinteä kallio tulee vastaan, ei enää suojaputkea tarvita. Lisäksi maalämpökaivon vähintäänkin ensimmäiset 6 metriä vesieristetään joko betonoimalla tai muovisella eristysputkella. Keruuputkisto saadaan laskettua maalämpökaivoon pohjapainon avulla. Lisäksi pohjapainon avulla saadaan putkisto pysymään kaivossa, koska muovista ja vettä kevyemmästä lämmönkeruunesteestä koostuva putkisto kokevat veden nostetta. Lopuksi energiakaivo suojataan suojahatulla sekä suojakaivolla, jotta irtorokkat ja sulamis- tai sadevedet eivät pääse sinne. (Juvonen J. 2013, 33.)



KUVIO 1. Lämpökaivon poikkileikkaus (Rototec 2022)

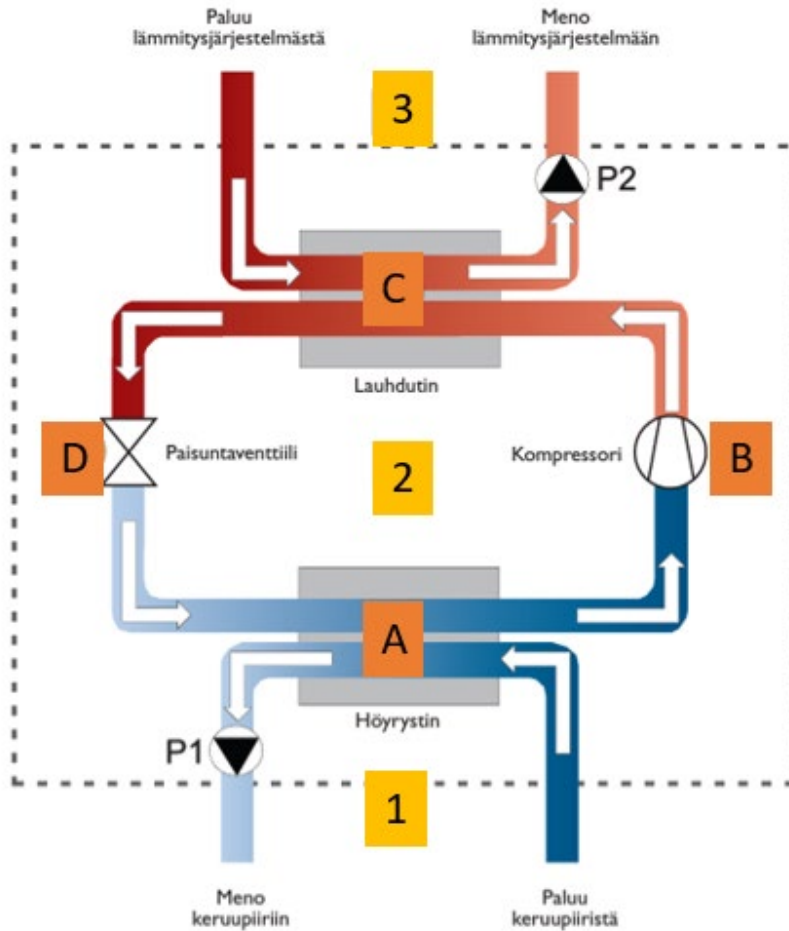
3.3 Lämpöpumppu

Energiahintojen noustessa ei ole yllättävää, että lämpöpumppujen suosio on kasvussa. Lämpöpumppujen hankinta hillitsee lämmityskustannusten nousua ja niiden avulla energiakustannuksia voidaan vähentää tehokkaasti. Lämpöpumpuilla saatu energiasäästö vaikuttaa kansallisella tasolla CO₂-päästöjen vähenemiseen, jos oletetaan, että säästettyä energiaa ei käytetä jossakin toisessa tarkoituksessa. Lämpöpumppujen hankintaa voidaan joka tapauksessa pitää merkittävänä ympäristötekona. (Motiva 2022a.)

Lämpöpumpun avulla siirretään kallio- tai maaperästä kerätty lämpö kiinteistön huoneilmaan tai vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään sekä käyttöveden lämmitykseen. Kesällä sitä voidaan hyödyntää myös kiinteistön jäädytykseen. Järjestelmä hyödyntää maaperään varastoitunutta energiaa. (Juvonen 2009, 8.)

Lämmönkeruunesteen mennessä maaperään sen lämpötila on -2 ja +1 celsiusasteen välillä. Kun neste kiertää lämmönkeruuputkistossa, se lämpenee noin +1–4 asteiseksi. Sellaisenaan se on vielä liian kylmää kiinteistön lämmitykseen tai käyttöveden lämmittämiseen. Maalämpöpumpun höyrystimen läpi kulkiessaan lämmönkeruuneste lämmittää höyrystimen kylmäainetta. Kylmäaine alkaa kiehua ja muuttua kaasuksi. Lämpöpumpun kompressorin puristaa kaasun korkeampaan paineeseen ja se kuumenee + 50–120 asteeseen, käytettävästä kylmäaineesta riippuen. Kuuma kaasu johdetaan lauhduttimeen, jossa kaasu tiivistyy nesteeksi ja siirtää tiivistymisessä vapautuvan lämmön joko lämmitysjärjestelmään tai lämpimään käyttöveteen. Maalämpölaitteistoa voitaisiin verrata kaikille tuttuun jääkaappiin, joka toimii samalla periaatteella. Jääkaappi kerää lämpöä sisältään ja siirtää sisällä olevan lämmön jääkaapin takaseinässä olevan lauhduttimen avulla huoneilmaan. Korkeapaineisen lauhteen painetta pienennetään ennen sen päätymistä uudelleen höyrystimeen (TomAllenSenera 2022.)

Kuvassa 7 havainnollistetaan maalämpölaitteiston toimintaa. Katkoviiva rajaa varsinaisen lämpöpumpun. Kohdassa A on höyrystin, jossa lämmönkeruupiiristä (1) lämpöenergia siirtyy lämpöpumpun kylmäainepiiriin. Kohdassa B lämpöpumpun kompressorin puristaa kylmäainehöyryn korkeapaineiseksi kaasuksi, jolloin lämpötila kohoaa. Kohdassa C lämpöpumpun lauhduttimessa lämpöenergia siirtyy kiinteistön lämmitysjärjestelmään (3). Kohdassa D lämpöpumpun kylmäaineen painetta alennetaan paisuntaventtiilissä, jolloin neste muuttuu höyryksi ja sen lämpötila laskee. Kylmäainekaasu virtaa höyrystimeen ja näin kierto alkaa alusta kohdasta 1. (Juvonen 2009, 9.)



KUVIO 2. Maalämpöpumpun osat ja toimintaperiaate (mukailten Juvonen 2009, 9).

Maalämpölaite itsessään on vain pienen jääkaapin kokoinen, joten sille sopivan tilan löytäminen kiinteistöstä ei ole juuri koskaan ongelma. Tästä huolimatta maalämpölaite on hyvä sijoittaa kiinteistössä sellaiseen tilaan, jossa sen huoltaminen ja korjaaminen on helppoa. Kaukolämmityksestä riippumaton lämmitysjärjestelmä tarvitsee maalämpöpumpun lisäksi myös erillisen sähkökattilan, jolla tuotetaan lämmitysenergiaa kovilla pakkasjaksoilla tai suuren lämpimän käyttöveden kulutuksen aikana. (Juvonen 2013, 10.) Maalämpöpumppu voitaisiin mitoittaa niin suureksi, että erillistä sähkökattilaa ei tarvitsisi kuin korkeintaan maalämpöpumpun yllättävän huolto- tai korjaustarpeen varalta, mutta se ei olisi taloudellista. Suurin osa lämpöenergiasta tuotetaan kuitenkin maalämmöllä ja vain kovimpien pakkasten aikaan käytetään sähkökattilaa. Omakotitalouksissa lämpöpumppu voidaan asentaa tekniseen tilaan tai vaikka kodinhoitohuoneeseen. Kuvasta 6 voi huomata, kuinka pieni maalämpöpumppu on suhteessa muihin laitteisiin ja varaajiin, joita tarvitaan maalämpöjärjestelmässä.



KUVA 6. Lämpöpumppujärjestelmä.

3.4 Lämpöpumpun mitoitus

Maalämpölaitteistot voidaan mitoittaa kiinteistön lämmitystarpeen mukaan huomioiden lämpimän käyttöveden kulutus. Mitoitus voidaan toteuttaa joko täys- tai osatehon mukaan. Täystehon mukaan mitoitettu laitteisto kattaa kaiken kiinteistön tarvitseman lämmitykseen tarvittavan tehon tarpeen, mukaan lukien lämmin käyttövesi. Tätä ei yleisesti suositella, koska laitteistojen koko ja tätä kautta kustannus nousee merkittävästi. Laitteiston huipputehon tarve on kuitenkin vain muutamia viikkoja vuodessa, kovimpien pakkasjaksojen aikana. (Juvonen 2009, 20.) Osateholle mitoitettu lämpöpumppu on yleisesti käytetty ja suositeltu vaihtoehto. Koko kiinteistön lämmitystehon tarpeesta saadaan tuotettua noin 95 %, kun laitteisto mitoitetaan 60–80 %:n teholle. Kun laitteisto mitoitetaan osateholle, se tarvitsee rinnalleen sähköllä toimivia lisävastuksia tai kaukolämpöä. Näillä vastuksilla tai kaukolämmöllä tasataan tehontarvetta kovilla pakkasjaksoilla. (Motiva 2022a.)

Jotta kiinteistölle saataisiin mahdollisimman energiatehokas lämpöpumppu, talon lämmitysenergian ja lämpötehon tarve tulee selvittää etukäteen mahdollisimman tarkkaan muutaman vuoden ajalta. Kiinteistön energiantarve voidaan määrittellä sen kokonaiskulutustietojen perusteella. Koska lämmitystarve vaihtelee vuosien välillä, on vertailuun ja mitoitukseen kehitetty pitkän ajan keskiarvoihin perustuva normitus.

4 LÄMMITYSENERGIAN NORMITUS

Jotta voidaan verrata kiinteistöjen lämmitysenergian tarvetta eri vuosien ja kuukausien välillä, tarvitaan normitusta. Niin sanotun lämmitystarveluvun avulla voidaan vertailla saman kiinteistön energiankulutusta eri kuukausina ja eri vuosina. Lämmitystarveluvun avulla voidaan verrata myös eri paikkakunnilla sijaitsevien kiinteistöjen energiankulutuksia toisiinsa. Lämmitystarveluvun käyttö perustuu siihen, että lämmityksen energiankulutus on verrannollinen sisä- ja ulkolämpötilan erotukseen. Tämän heikkoutena on se, että tuuliolojen vaihtelua ja paikallisuutta ei huomioida. Toisaalta lämpötila on oletettavasti tärkeämpi ja ainakin helpommin mitattava tekijä. (Motiva 2022b.)

4.1 Lämmitystarveluku

Lämmitystarveluku saadaan, kun lasketaan jokaisen kuukauden päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. Yleisesti käytetty lämmitystarveluku on S17, joka lasketaan oletetun +17°C:een sisälämpötilan ja ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon erotuksen perusteella. Kiinteistöjen lämmitysenergian tarvetta pienentävät rakennuksen sisällä olevat erilaiset lämmönlähteet, esimerkiksi ihmiset, joista tulee lämpöä, kiinteistön sisävalaistus ja erilaiset sähkölaitteet, kuten jääkaapit tai tietokoneet. Näistä kiinteistön sisällä olevista lämmönlähteistä saatava lämpöenergiahyöty oletetaan kattavan laskennallisen sisälämpötilan + 17°C ja todellisen sisälämpötilan erotuksen. (Motiva 2022b.)

Päivät, joiden keskilämpötila on syksyllä yli +12°C ja keväällä yli +10°C, jätetään huomioimatta laskettaessa lämmitystarvelukua. Tämä johtuu oletuksesta, että kiinteistöjen lämmitykselle ei ole enää tarvetta, kun päivittäinen keskilämpötila ylittää edellä mainitut lämpötilat. Tällöin asukkaista ja kodin sähkölaitteiden käytöstä vapautuvan lämpöenergian ajatellaan kattavan lämmitystarpeen. Kuukauden lämmitystarveluku lasketaan summaamalla vuorokausien lämmitystarveluvut yhteen. Vastaavasti koko vuoden lämmitystarvelukuun lasketaan summaamalla kuukausien lämmitystarveluvut yhteen. Mitä suurempi vuoden lämmitystarveluku on, sitä kylmempi vuosi on kyseessä. (Motiva 2022b.) Ilmatieteenlaitoksen verkkosivuilta saa toteutuneet kuukausi- ja vuositasoisen lämmitystarveluvut. Alla on Motivan ja Ilmatieteenlaitoksen verkkosivuilta saatavissa oleva esimerkkikaavio, josta käy ilmi lämmitysenergiankulutukseen käytettävät kuntakohtaiset kertoimet (K1 ja K2) sekä vertailupaikkakuntien normaalivuoden, eli vertailukauden vuosilta 1981–2010 lämmitystarveluvut (Ilmatieteenlaitos 2022).

TAULUKKO 1. Normaaliavuoden lämmitystarvelukuesimerkki (Motiva 2022c).

Kunta	VERTAILUPAIKKA	Normaaliavuoden lämmitys- tarveluku	K1	K2
Hämeenlinna	Lahti	4392	1	1,1
Janakkala	Lahti	4392	1,01	1,11
Lahti	Lahti	4392	1	1,1
Riihimäki	Lahti	4392	1,01	1,11

Lisäksi Ilmatieteenlaitoksen verkkosivulta on saatavissa kuluvan vuoden lämmitystarveluku eli aste-päiväluku. Alla oleva taulukko on vuoden 2021 lämmitystarveluvusta. Samaiselta verkkosivulta on saatavissa myös kuukausittainen keskilämpötila jokaiselle kuukaudelle erikseen.

TAULUKKO 2. Lämmitystarveluvut 2021 (Ilmatieteenlaitos 2022).

Lämmitystarveluvut 2021 (°Cvrk)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Vuosi
Maarianhamina	550	569	471	395	215	0	0	0	145	210	409	602	3566
Vantaa	672	704	553	369	116	0	0	16	207	279	466	736	4118
Helsinki	636	661	527	346	116	0	0	0	171	253	429	692	3831
Pori	660	665	519	397	167	0	0	13	211	267	473	706	4078
Turku	655	656	523	381	151	0	0	13	203	270	468	710	4030
Tampere	696	715	564	403	176	0	0	19	230	305	506	751	4365
Lahti	693	722	577	387	161	0	0	20	227	303	488	766	4344
Lappeenranta	709	764	606	397	158	0	0	20	244	314	492	813	4517
Jyväskylä	754	768	623	426	202	0	0	36	277	336	537	812	4771
Vaasa	696	716	559	425	235	0	0	21	226	306	525	760	4469
Kuopio	772	812	633	426	213	0	0	28	267	333	532	816	4832
Joensuu	792	836	652	432	223	0	0	44	284	340	538	830	4971
Kajaani	838	868	665	451	238	0	0	64	301	373	598	858	5254
Oulu	826	824	632	437	243	0	0	51	267	363	582	803	5028
Sodankylä	971	860	690	485	364	16	35	120	333	484	723	929	6010
Ivalo	929	841	688	493	407	16	74	135	325	513	734	885	6040

4.2 Normeerattu lämpötila

Kiinteistöjen energiankulutuksen seuranta on energiatehokkuuden kannalta välttämätöntä. Lämmitysenergian vertailu eri vuosina voi olla kuitenkin haastavaa, koska vuodet eivät lämpötilojen suhteen toistu samanlaisina kuukausitasollakaan. Tarkasti vertailukelpoista arvoa on haastava saada eri kiinteistöjen kesken.

Lämmitysenergian kulutuksen normeeraus tarkoittaa sitä, että kiinteistöjen lämmitysenergian kulutus on vertailukelpoinen riippumatta rakennuksen maantieteellisestä sijainnista tai eri kuukausien ja vuosien lämpötilasta. Lämmitystarveluvun avulla normeerataan toteutuneita kiinteistöjen lämmitysenergian kulutuksia, jotta vertailukelpoisuus saavutettaisiin eri kuukausien ja vuosien välillä. Lisäksi lämmitystarveluvun käyttö perustuu siihen, että kiinteistöjen lämmitysenergian kulutus on verrannollinen ulko- ja sisälämpötilan erotukseen. Kiinteistöjen lämpimään käyttövedeen käytetty lämmitysenergia ei ole verrannollinen ulkolämpötilaan, joten sen osuus erotellaan normeerattavasta lämmitysenergian kulutuksesta. Lämmitysenergian kulutuksen normitukseen käytettävät kuntakohtaiset kertoimet sekä vertailupaikkakuntien normaalivuoden eli vertailukauden lämmitystarveluvut ovat mahdollista saada esimerkiksi Motivan verkkosivuilta. (Motiva 2022b.)

4.3 Lämmitysenergian normituksen laskentakaavat

Jotta eri vuosien ja kuukausien lämmitysenergian kulutus voisi olla vertailukelpoinen, tarvitaan laskukaavoja, joilla lämmitysenergia normitetaan vertailukelpoiseksi. Normitus tehdään lämmitystarvelukujen avulla. Lisäksi laskennassa huomioidaan, että vain lämmitysenergiaan käytetty energia on sääriippuvaista. Tästä syystä lämpimän käyttöveden kulutusosuus erotetaan normituksen laskennassa. (Motiva 2022c.)

Kaavalla 1 voidaan vertailla saman kiinteistön lämmitysenergiankulutusta eri ajankohtina.

$$Q_{norm} = \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut \text{ vpkunta}}} * Q_{toteutunut} + Q_{lämmin \text{ käyttövesi}} \quad (1)$$

, jossa

Q_{norm} on rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus

$Q_{toteutunut}$	on rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia
Q_{kok}	on rakennuksen kokonaislämmitysenergian kulutus
$Q_{lämmin\ käyttövesi}$	on käyttöveden lämmittämiseen vaadittava energia
S_N vpkunta	on normaalivuoden tai -kuukauden (1981–2010) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla ja
$S_{toteutunut}$ vpkunta	on toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla.

Normitus koskee vain kiinteistön lämmitysenergiaa. Lämpimään käyttöveteen kulunut lämmitysenergia on poistettava kiinteistön kokonaislämmitysenergian kulutuksesta, kaava 2.

$$Q_{toteutunut} = Q_{kok} - Q_{lämmin\ käyttövesi} \quad (2)$$

, jossa

$Q_{toteutunut}$	on rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia
Q_{kok}	on rakennuksen kokonaislämmitysenergian kulutus ja
$Q_{lämmin\ käyttövesi}$	on käyttöveden lämmittämiseen vaadittava energia.

Kaavalla 3 laskettuja normikulutuksia voidaan verrata keskenään eri puolella Suomea olevien kiinteistöjen lämmitysenergian kulutuksia. Tässä käytetään valtakunnallisena vertailupaikkana Jyväskylää.

$$Q_{norm} = k_2 * \frac{S_N\ vpkunta}{S_{toteutunut\ vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{lämmin\ käyttövesi} \quad (3)$$

, jossa

Q_{norm}	on rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus
$Q_{toteutunut}$	on rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia
Q_{kok}	on rakennuksen kokonaislämmitysenergian kulutus
$Q_{lämmin\ käyttövesi}$	on käyttöveden lämmittämiseen vaadittava energia
S_N vpkunta	on normaalivuoden tai -kuukauden (1981–2010) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

$S_{\text{toteutunut vpkunta}}$ on toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla ja
 k_2 on paikkakunta-kohtainen korjauskerroin Jyväskylään.

Kaavalla 4 voidaan laskea saman paikkakunnan eri kiinteistöjen lämmitysenergiankulutusta toisiinsa verraten kuukausi- tai vuositasolla.

$$Q_{\text{norm}} = k_1 * \frac{S_{N \text{ vpkunta}}}{S_{\text{toteutunut vpkunta}}} * Q_{\text{toteutunut}} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad (4)$$

, jossa

Q_{norm} on rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus
 $Q_{\text{toteutunut}}$ on rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia
 Q_{kok} on rakennuksen kokonaislämmitysenergian kulutus
 $Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$ on käyttöveden lämmittämiseen vaadittava energia
 $S_{N \text{ vpkunta}}$ on normaalivuoden tai -kuukauden (1981–2010) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla
 $S_{\text{toteutunut vpkunta}}$ on toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla ja
 k_1 on paikkakunta-kohtainen korjauskerroin vertailupaikkakuntaan.

Lämpimän käyttöveden kulutus voidaan arvioida seuraavalla tavalla:

1. Lämpimän käyttöveden energiankulutuksena käytetään ensisijaisesti rakennuksen käyttöveden energiamittauksiin perustuvaa arvoa.
2. Mikäli lämpimän käyttöveden energiankulutusta ei ole mitattu erikseen, lasketaan se kulutetun lämpimän käyttöveden perusteella (KAAVA 5).
3. Jos lämpimän käyttöveden määrää ei ole mittoitu erikseen, oletetaan sen olevan asuinrakennuksessa 40 prosenttia kylmän veden kokonaiskulutuksesta ja muissa kuin asuinrakennuksissa 30 prosenttia kylmän veden kokonaiskulutuksesta.

4. Mikäli kylmän veden kulutusta ei ole kiinteistössä mittaroitu, käytetään lämpimän käyttöveden oletusarvona asuinrakennuksissa $0,6 \text{ m}^3/\text{brm}^2$ vuodessa. Muissa kuin asuinrakennuksissa voidaan käyttää taulukon 3 mukaisia arvoja.

Taulukossa 3 on esitetty lämpimän veden kulutusta rakennustyypeittäin käyttötarkoituksiltaan erilaisissa rakennuksissa.

Taulukko 3. Lämpimän veden kulutus rakennuksen bruttoalaa kohden (Motiva 2022b).

Rakennustyyppi	Lämpimän veden kulutus rakennuksen bruttoalaa kohti, $V_{\text{kv,omin}}$ ($\text{dm}^3/\text{brm}^2/\text{vuosi}$)
Toimistorakennus	100
Terveystenhoito	520
Päiväkoti	460
Teatteri ja kirjasto	120
Uimahalli	1 800
Opetusrakennus	180
Myymäälä	65
Muut rakennukset	100

Kaavalla 5 lasketaan mitatun lämpimän veden osuus koko lämmitysenergiaosuudesta, mikäli käyttöveden energiankulutusta ei ole mitattu erikseen.

$$Q_{\text{lämmin käyttövesi}} = 58 * V_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad (5)$$

, jossa

$Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$ on lämpimän käyttöveden energiankulutus vuodessa (kWh/vuosi)

58 on veden lämmittämiseen tarvittava energiamäärä vesikuutiota kohden (kWh/m^3) ja

$V_{\text{lämmin käyttövesi}}$ on kulutettu lämpimän käyttöveden määrä vuodessa (m^3/vuosi).

Lämpimän käyttöveden tarvittavaa lämmitysenergiämäärää voidaan arvioida myös kesä-, heinä- ja elokuun keskimääräisen lämmitysenergian kulutuksen perusteella. Tässä täytyy tietysti varmistautua, ettei kiinteistössä ole ollut lämmitysenergian tarvetta, vaan kaikki lämmitysenergia on käytetty käyttöveden lämmittämiseen.

Mikäli lämpimän käyttöveden kulutus on kiinteistössä mittaroitu, voidaan sen lämmittämiseen tarvittava lämmitysenergia laskea kaavalla 6.

$$Q = \frac{\rho * c_p * V * (t_2 - t_1)}{3600} \quad (6)$$

, jossa

Q	on veden lämmittämiseen kuluva energia (kWh)
ρ	on veden tiheys (1000 kg/m ³)
c_p	on veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ / kg °C)
V	on vedenkulutus (m ³)
t_2	on lämmitetyn veden lämpötila, tyypillisesti 55°C
t_1	on kylmän veden lämpötila, tyypillisesti 5°C ja
3600	on yksikkömuunnoskerroin (kJ / kWh).

5 ESIMERKKIKOHDE PAROLANTIE 13-17

Hämeenlinnan Asuntojen kiinteistöt, joita tarkastellaan tässä opinnäytetyössä, sijaitsevat Hämeenlinnassa Kaurialan kaupunginosassa. Kiinteistökokonaisuus käsittää kolme vuosina 1953–1957 rakennettua kerrostaloa. Kiinteistöissä on kolme asuinkerrosta, kellarikerros sekä ullakotila ja kaikissa kolmessa kiinteistössä on neljä rappukäytävää. Parolantie 15 ja 17 on rakennettu vuonna 1954 ja Parolantie 13 vuonna 1957. Asuntoja noissa kolmessa asuinkiinteistöissä on yhteensä 111. Alun perin kohteissa on ollut öljylämmitys, joka on vaihdettu kaukolämpöön ja lopulta 2017 maalämpöön. Kohteeseen teki maalämpölaitteistosta hankesuunnittelun Rejlers, joka toimi Hämeenlinnan Asuntojen edustajana ja valvojana koko hankkeen ajan. Urakan lopullisen suunnittelun ja toteutuksen, eli maalämpölaitteiston asennuksen porausineen teki TomAllenSenera Oy KVR-urakkana.



KUVA 7. Parolantie 13–17 kerrostalot talvimaisemassa.

5.1 Lähtötilanne

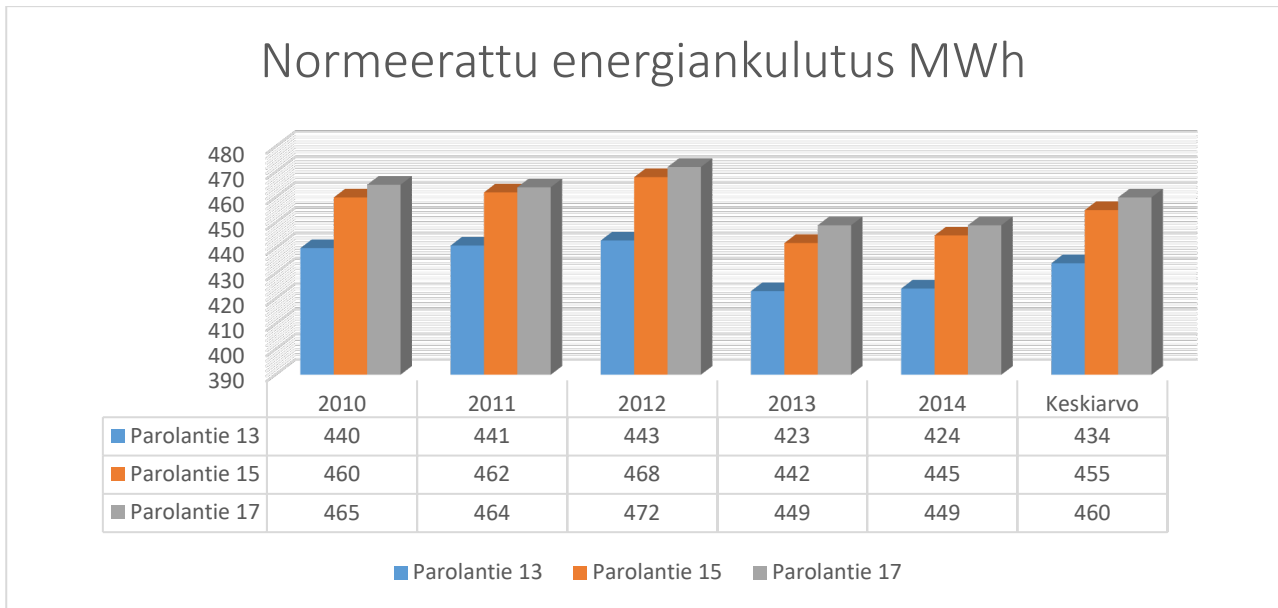
Parolantien 13–17 kiinteistöissä ennen lämpösaneerausta lämmitysmuotona oli kaukolämpö. Kaukolämpösiirtimet olivat vanhoja ja saneerauksen tarpeessa. Parolantie 15:n teknisessä tilassa sijaitsi alajakokeskus, josta lähtivät lämpökanaalit kahteen muuhun kiinteistöön. Vaihtoehtona kaukolämmölle pidettiin maalämpöä, jonka yhteyteen liitettäisiin poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä.

Uudella lämmitysjärjestelmällä tavoiteltiin säästöjä nykyisiin lämmityskuluihin. Kaukolämmöllä kuluttu energiamäärä oli suuri ja näin ollen säästöpotentiaalikin olisi iso. Tavoitteena lämmitysjärjestelmän saneerauksella ja muutoksella oli myös lisätä CO₂-vapaan energian osuutta. Tavoitteena oli tehdä yksi riittävän suuri maalämpökeskus, jotta nykyinen kaukolämpösiirrinpaketti voitaisiin jättää uusimatta ja kaukolämpöliittymät irtisanoa. Alla olevasta taulukosta voi nähdä kiinteistöjen rakennuskohtaiset tiedot.

TAULUKKO 4. Kiinteistökohtaiset tiedot (Hämeenlinnan Asunnot 2022).

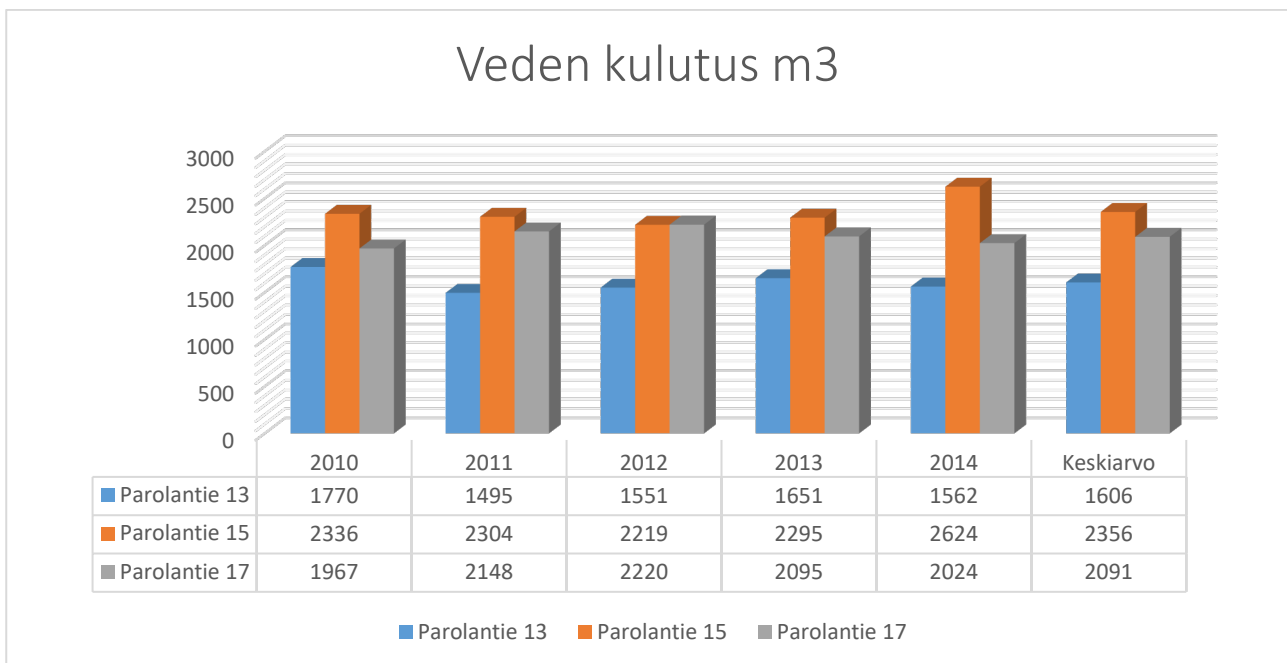
	Parolantie 13	Parolantie 15	Parolantie 17
Huoneistoala m ²	1881m ²	1849m ²	1845m ²
Tilavuus m ³	9413m ³	9800m ³	9800m ³
Asuntoja kpl	39	36	36

Kuviossa 3 on kuvattu kiinteistöjen yhteenlaskettu, normeerattu lämmönkulutus viiden vuoden ajalta, sekä lämmitysenergian kulutuksen keskiarvo. Yhteensä näiden kolmen kiinteistön energiankulutus oli keskiarvallisesti viiden vuoden ajalta 1349 MWh.



KUVIO 3. Energiakulutustiedot 2010–2014.

Kuviossa 4 on kuvattu kolmen kiinteistön vedenkulutus viiden vuoden ajalta, sekä viiden vuoden kulutuksen keskiarvo. Yhteenlaskettu vedenkulutus on 6053 m³.



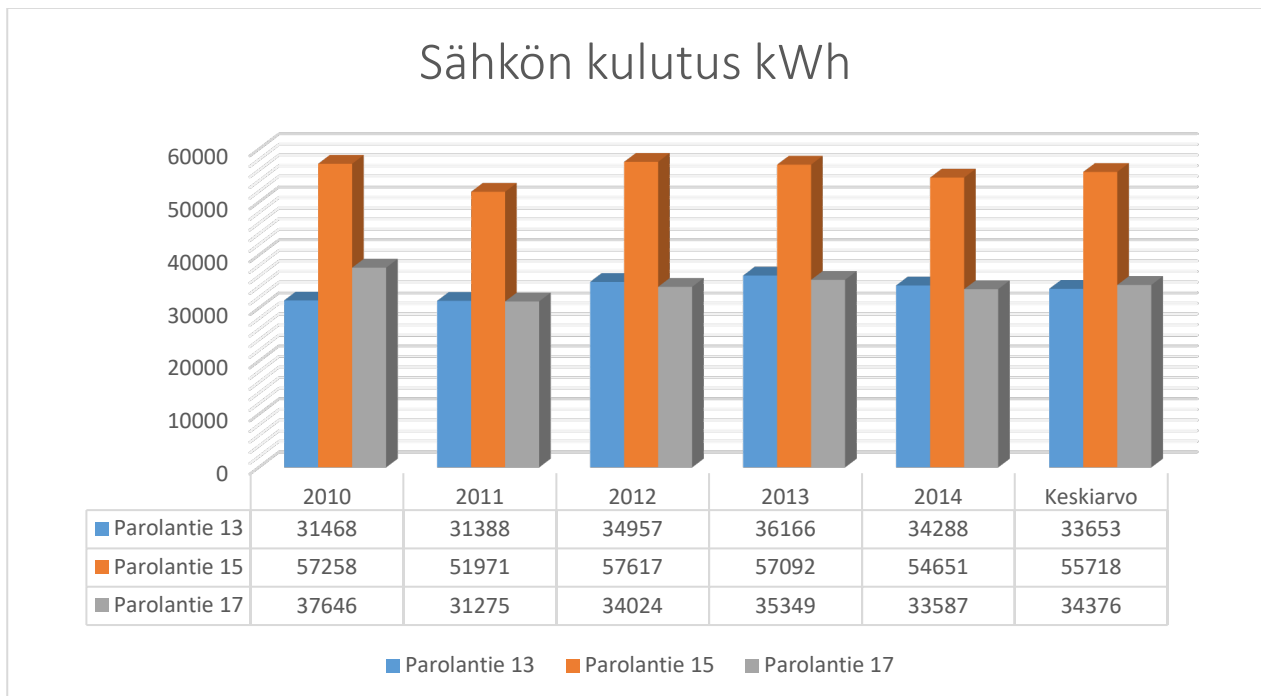
KUVIO 4. Kylmän veden (m³) kulutustiedot 2010–2014.

Lämpimän käyttöveden osuus koko lämmitysenergian kulutuksesta on laskettu periaatteella, jossa käyttöveden kulutuksesta 40 prosenttia on lämmintä käyttövettä ja vesikuution lämmittämiseen kuluu energiaa 58 kWh/m^3 . Näin ollen lämpimän veden kulutukseen tarvittava energia on noin 140 MWh.

Lämpimän veden osuus kylmästä vedestä.

$$(6053 \text{ m}^3 * 40\%) * 58 \text{ kWh/m}^3 = 140460 \text{ kWh} \quad (7)$$

Kuviosta 5 on luettavissa kiinteistöjen sähkönkulutukset (kWh) viiden vuoden ajalta.



KUVIO 5. Sähkön kulutustiedot 2010–2014.

Kuten kuvioista 3–5 voi havaita, kolmessa samanlaisessa kiinteistössä lämmitysenergian, veden-, sekä sähkönkulutuksissa on jonkin verran eroavaisuuksia. Lämmitysenergian osalta suurin kulutus löytyy Parolantie 17:ta. Kiinteistössä ei ole tehty lämmitysverkoston tasapainotusta. Myös mahdolliset eristyksien vajavaisuudet, esimerkiksi välipohjassa tai seinärakenteissa, sekä ikkunoiden kunto ja tiiviys voivat vaikuttaa korkeampiin lämmitysenergian kulutuksiin. Vastaavasti sähkönkulutuksen osalta korkeimmat lukemat löytyvät Parolantie 15:sta. Tähän voi olla osasyynä, että kaukolämpökeskus on sijainnut kyseisessä kiinteistössä. Kaukolämpökeskuksessa pumput ja automatiikka voivat näkyä kyseisen kiinteistön sähkönkulutuksessa ja ainakin osaltaan selittää kulutuspiikkiä kyseisen kiinteistön

osalta. Lisäksi asukkaiden asumistottumukset vaikuttavat kulutuslukemiin. Yksittäistä selkeää syytä eroavaisuuksiin on vaikea todentaa jälkikäteen.

5.2 Tekniset lähtötiedot

Kiinteistökokonaisuuden lämmönjakokeskus sijaitsi Parolantie 15:n lämmönjakohuoneessa, josta lämpö ja lämmin käyttövesi siirtyivät kahteen muuhun rakennukseen lämpökanaalia pitkin. Olemassa olevan kaukolämmöllä toimivan käyttövesilämmönsiirtimen mitoitus-teho oli 610 kW ja patteriverkoston lämmönsiirtimen 540 kW. Patteriverkoston suunniteltu lämpö- taso oli 70/40 °C. Jokaisessa asuinhuoneessa on käyttövesipatterit.

Kohteessa on koneellinen poistoilmanvaihto. Jokaisessa talossa on katolla kaksi poistoilman huippuimuria. Kaksi rappua on aina yhdistetty saman huippuimurin taakse. Ilmavirta on keskimäärin 0,5 m³/s - 0,6 m³/s huippuimuria kohti. Ullakkotilassa kulkevat vaakasuuntaiset kokoojakanavat on eristetty 50 mm:n mineraalivillalla. Jokaisella kiinteistöllä on omat sähköliittymät. Näissä kaikissa kohteissa kiinteistön käyttöpaikoilla on käytössä 3 x 63A pääsulakkeet.

5.3 Hankesuunnittelu

Hämeenlinnan Asunnot Oy teetti kohteeseen hankesuunnitelman, koska se halusi selvittää vaihtoehtoisia lämmitystapoja kaukolämmön tilalle. Hankesuunnittelun toteutti Rejlers Oy. Hankesuunnitelman tarkoituksena on tehdä hankkeen määrittely ja kuvaaminen niin, että sen perusteella tilaaja voi tehdä päätöksen hankkeen käynnistämisestä. Lisäksi hankesuunnitelman tehtävänä on toimia lähtötietoina kohteen varsinaiselle suunnittelulle.

Kohteeseen porattiin tammikuussa 2016 testikaivo TRT-mittauksia (Thermal Response Test) sekä EED-simulointia (Earth Energy Designer) varten. TRT-mittauksella tarkoitetaan termistä vastatestiä, eli mittauksia, jolla voidaan määrittää maalämpökentän kannalta oleellisia kalliion ominaisuuksia, esimerkiksi kalliion lämmönjohtavuutta. EED-simuloinnilla voidaan varmistaa energiakaivosta saatavan lämmön riittävyys. Ohjelma ottaa huomioon kallioperän termiset ominaisuudet, rakennuksen lämpö- ja jäähdytyskuormat, kaivojen väliset etäisyydet sekä kaivokentän jäähtymän. (Lapon 2022.) Porauksen, TRT-mittauksen ja EED-simuloinnin suoritti Rototec Oy. TRT-mittauksen tulokset ja

EED-simuloinnin tulokset toimivat maalämmön mitoituksen perustana. Lisäksi testikaivoa voitaisiin hyödyntää tulevassa maalämpöjärjestelmässä yhtenä kaivona. Tavoitteena maalämpöjärjestelmän mitoituksessa on tehdä järjestelmästä riittävän suuri, jotta kaukolämmöstä pystytään luopumaan kokonaan.

Suurissa kohteissa maalämpöä ei kannata mitoittaa kattamaan kiinteistön koko tehontarvetta mitoitustilanteessa. Sen sijaan kannattaa käyttää osatehomitoitusta. Tällöin lisälämmönlähde, esimerkiksi varajissa olevat sähkövastukset, tuottavat osan lämpötehontarpeesta mitoitusolosuhteissa. Osatehomitoituksellakin järjestelmä tuottaa vuotuisesta energiantarpeesta noin 95 prosenttia riippuen mitoitussuhteesta. Osatehomitoituksessa säästetään investointikustannuksissa enemmän kuin huipputehon tyydyttäminen maksaa, koska järjestelmästä tulee pienempi.

Kohteen energiantarve on suuri ja näin ollen myös maalämpöjärjestelmä tulee olemaan teholtaan suuri. Astepäivälukumenetelmän avulla laskettuna hankesuunnitteluvaiheessa LVI-suunnittelija sai laskettua laskentaohjelman avulla kiinteistön mitoitustehoksi 548 kW. Mikäli 70 prosentin osatehomitoitus otetaan käyttöön, maalämpölaitteiston tehoksi tulee 384 kW. Osatehomitoituksen käyttö on tässä tapauksessa järkevää, koska investointikustannuksissa saadaan merkittävä säästö, sillä tarvittavat järjestelmät ovat tällöin pienemmät.

Hankesuunnittelussa perehdyttiin myös poistoilman lämmöntalteenottoon ja sen vaikutukseen kokonaisenergiantarpeeseen. Kytettäessä poistoilman lämmöntalteenotto maalämmön rinnalle siinä olevaa lämpöenergiaa voitaisiin hyödyntää lämpöpumppujen välityksellä tilojen ja käyttöveden lämmitykseen. Kun lämpöpumppu ei käy, ladataan poistoilmassa oleva lämpöenergia lämpökaivojen kautta maaperään. Näin poistoilmassa oleva energia on jatkuvassa hyötykäytössä, mikä lisää järjestelmän kannattavuutta. Lämmöntalteenottopiiri voidaan kytkeä maalämmön lämmönkeruupiiriin suoraan käyttämällä kummassakin samaa liuosta.

LVI-suunnittelija oli myös laskenut poistoilmasta saatavan lämpöenergiamäärän. Mikäli poistoilmavirta on $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ per LTO-patteri, saataisiin poistoilmasta lämpötehoa talteen $9,0 \text{ kW}$ yhtä LTO-patteria kohti. Lämmöntalteenottotehoksi tulee näin ollen yhteensä noin 54 kW . Lisäksi LVI-suunnittelija oli tehnyt huomion, että Hämeenlinnan leveysasteilla lämpökaivosta voidaan ottaa lämpötehoa talteen turvallisesti 40 W/m . Mikäli tätä käytetään mitoituserusteena, lämmöntalteenoton ansiosta on mahdollista jättää 1350 tehollista kaivometriä poraamatta.

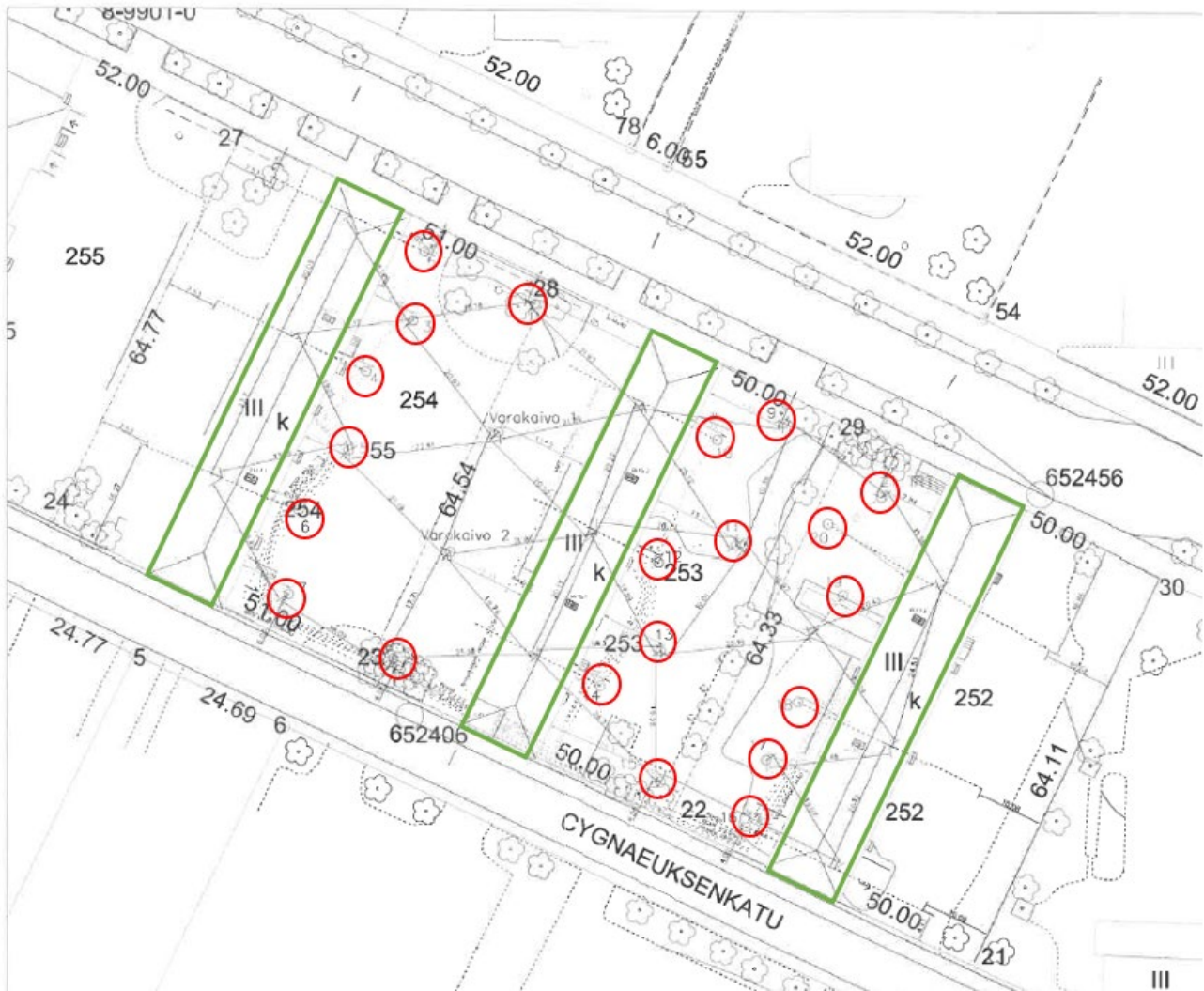
5.4 Tarjousvaihe

Tarjouskilpailun voittajaksi valikoitui hankintahinnaltaan edullisin tarjous, joka oli TomAllenSeneran kokonaistarjous. Lämpöpumpuiksi valikoitui neljä kappaletta Gebwell Taurus 90kW -lämpöpumppuja, joilla pystytään tuottamaan tarvittava 434 kW:n lämmitystehontarve. Lisälämmitysteho tuotetaan 112 kW:n sähkökattilan avulla. Urakoitsijan mitoitusohjelman avulla lämpökaivojen määräksi tuli 21 kappaletta. Yhden energiakaivon syvyydeksi tuli 302 metriä, joten energiakaivon kokonaissyvyydeksi tuli 6040 metriä. Lisäksi tarjouksessa oli huomioitu kaksi 18 kW:n lämpimän käyttöveden varaajaa, yksi 1000 litran varaajasäiliö lämmitysjärjestelmälle sekä katolle nykyisten poistoilmapuhaltimien tilalle kuusi lämmöntalteenottoyksiköllä varustettua poistoilmapuhallinta.

Koska sopivan tilan löytäminen kiinteistöjen sisältä oli mahdotonta kookkaalle laitteistolle, talojen 15 ja 17 väliin rakennettiin uusi oma erillinen rakennus laitteistoja varten. Lisäksi tarvittiin uusi sähköliittymä ja sähkökeskus maalämpölaitteistolle, koska olemassa olevat kiinteistöjen sähköpääkeskukset olivat liian pieniä maalämpölaitteistojen tarvitsemalle sähkönkulutukselle. Samalla voitaisiin jatkossa saada tarkempaa tietoa maalämpölaitteiston käyttämästä sähkön kulutuksesta.

5.5 Toteutus

Parolantien 13–17 väliselle tontille porattiin yhteensä 21 energiakaivoa. Kuvasta 8 on nähtävissä punaisella ympäröidyt kohdat, joihin maalämpökaivot on porattu. Vihreällä on merkitty kiinteistöt kuvan tulkittamisen helpottamiseksi. Jokaisesta kaivosta on Rototec Oy:n tekemä porakaivon pöytäkirja. Niissä on kerrottu kyseisen energiakaivon syvyys, halkaisija, suojaputken määrä, suojaputken tiivistys, lämmönkeruuputkiston materiaali, kallistusporauksen suunta ja -asteet, lämmönkeruuputkiston pituus, lämmönkeruuputkiston koepaine ja kesto. Porauspöytäkirjoista laskettuna energiakaivojen yhteissyvyydeksi saadaan 6084 metriä.



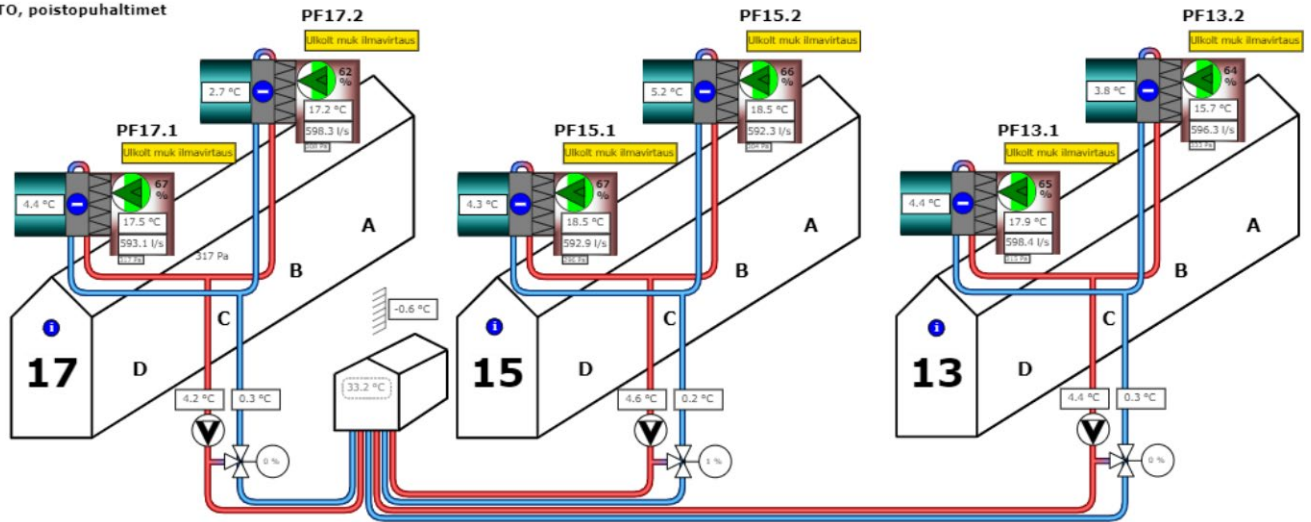
KUVA 8. Toteutuneet energiakaivot (Rototec 2017).

Kallio maasta 20 m	Kallistusporaus asteet 4,6 °	Suojaputken ulkomitta ja paksuus 139,7 x 5 mm
Poraus lopetettu 19.01.2017	Porakaivon halkaisija 115 mm	Porakaivon syvyys 302 m
Suojaputken määrä 24 m	Halkeamat Ei halkeamaa	Vesi Vettä tuli vähän
Vedenpinta maanpinnasta 3 m	Suojaputken tiivistys Betonointi	Kallistusporauksen suunta Poraussuunnitelman mukaan.
Maalämpöneste Naturet	Lämmönkeruuputkiston materiaali PEM 40x2.4 PN 10 SDR17	Lämmönkeruuputkiston pituus 604 m
Kaivo merkitty seinään Kyllä		
Lämmönkeruuputkiston paineistus Koeaine 4 bar, koeaika 30 minuuttia, silmämääräinen tarkastus (koeponnistus tehty ennen asennusta)		

KUVA 9. Ote porauspöytäkirjasta (Rototec 2017).

Katoille asennettiin kuusi kappaletta HiLTO:n EC09-S2-lämmöntalteenottoyksikköä. Niillä kerätään poistoilmasta lämpöä talteen. Talteen otettu lämpö siirretään putkistoa pitkin lämmönkeruunestettä hyödyntäen lämpöpumpuille. Kuvio 6 on Oumanin Ounet-valvomosta. Siitä on nähtävissä laitteistojen sijoittelu, sekä reaaliaikainen tilanne LTO-laitteiston toimivuudesta ja liuoksen lämpötilasta. Myös poistoilmasta saatava energiamäärä voidaan nähdä reaaliajassa.

Hämeenlinna, Parolantie 13-17
LTO, poistopuhaltimet



KUVIO 6. Valvomönäkymä LTO-laitteista (Ouman 2022).

Poistoilman lämpöteho Φ voidaan laskea kaavalla 8. Tällä kaavalla voidaan laskea ja tarkastella lämmöntalteenottolaitteistosta saatavaa lämpötehoa, joka siirretään lämmitysjärjestelmään.

$$\phi = \rho_{ilma} * c_{ilma} * q_v * (T_p - T_u) \quad (8)$$

, jossa

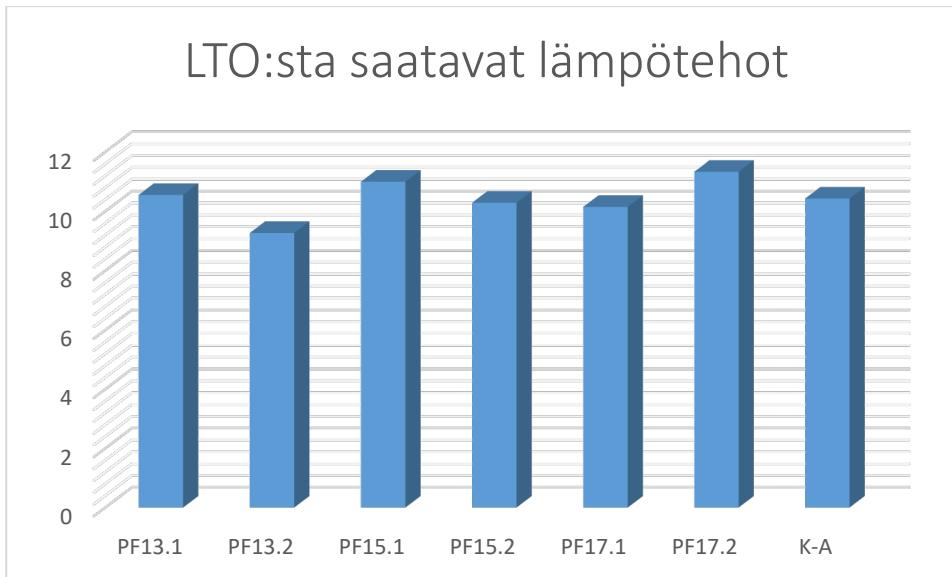
Φ on lämpöteho (w)

ρ_{ilma} on ilman tiheys, joka on vakio (1,293 kg/m³)

c_{ilma} on ilman ominaislämpökapasiteetti, joka on vakio (1,01 kJ/kgK)

q_v on tilavuusvirta (m³/s) ja

T_p ja T_u on lämpötilaero (°C).



KUVIO 7. LTO:sta saatava lämpöteho.

Mikäli poistoilmavirta on $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ per LTO-patteri, saataisiin poistoilmasta lämpötehoa talteen $9,0 \text{ kW}$ yhtä LTO-patteria kohti ja näin lämmöntalteenottotehoksi tulee yhteensä noin 54 kW . Kun lasketaan toteutuneiden arvojen mukaan kaavalla 8, kuvioista 7 voidaan nähdä toteutuneet lämpötehot. Arvot on otettu kuvioista 6, jossa ovat reaaliaikaiset tiedot. Keskiarvona näistä kuudesta LTO:sta saatu lämpöteho on $10,4 \text{ kW}$ ja yhteensä lämpötehoa saadaan $62,5 \text{ kW}$.

5.6 Taloudellinen tarkastelu

Maalämpölaitteisto otettiin käyttöön heinäkuussa 2017. Siitä lähtien olisi pystytty seuraamaan maalämpölaitteiston kulutusta energiamittauksilla ja sähkön kulutuslukemilla. Hämeenlinnan Asunnoilla energia- ja sähkömittareita ei ole luettu erikseen, vaikka tähän olisi ollut mahdollisuus. Kulutuslukemat sekä kannattavuustarkastelu pohjautuvat laitteiston omaan mittaushistoriaan sekä laskujen tiedoista saataviin kulutuslukemiin sekä euromääriin.

Tarjouksessa maalämpölaitteisto toimittaja Gebwell oli laskenut ja mitoittanut laitteiston laskennallisen SPF-luvun (Seasonal Performance Factor) tarjouspyynnössä olleiden LVI-suunnittelijan laskemien tietojen pohjalta. SPF-luvulla tarkoitetaan lämpöpumpun vuoden keskimääräistä lämpökerrointa. Se on lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun tai -pumppujen sekä apulaitteiden vuotuisen sähkönkulutukseen. Tarjouksen liitteenä olleen laskennan mukaan SPF-luku oli $3,49$. Ounetin valvomonäkymästä on mahdollisuus nähdä koko laitteiston SPF-luku. Sähkölaskujen tietojen

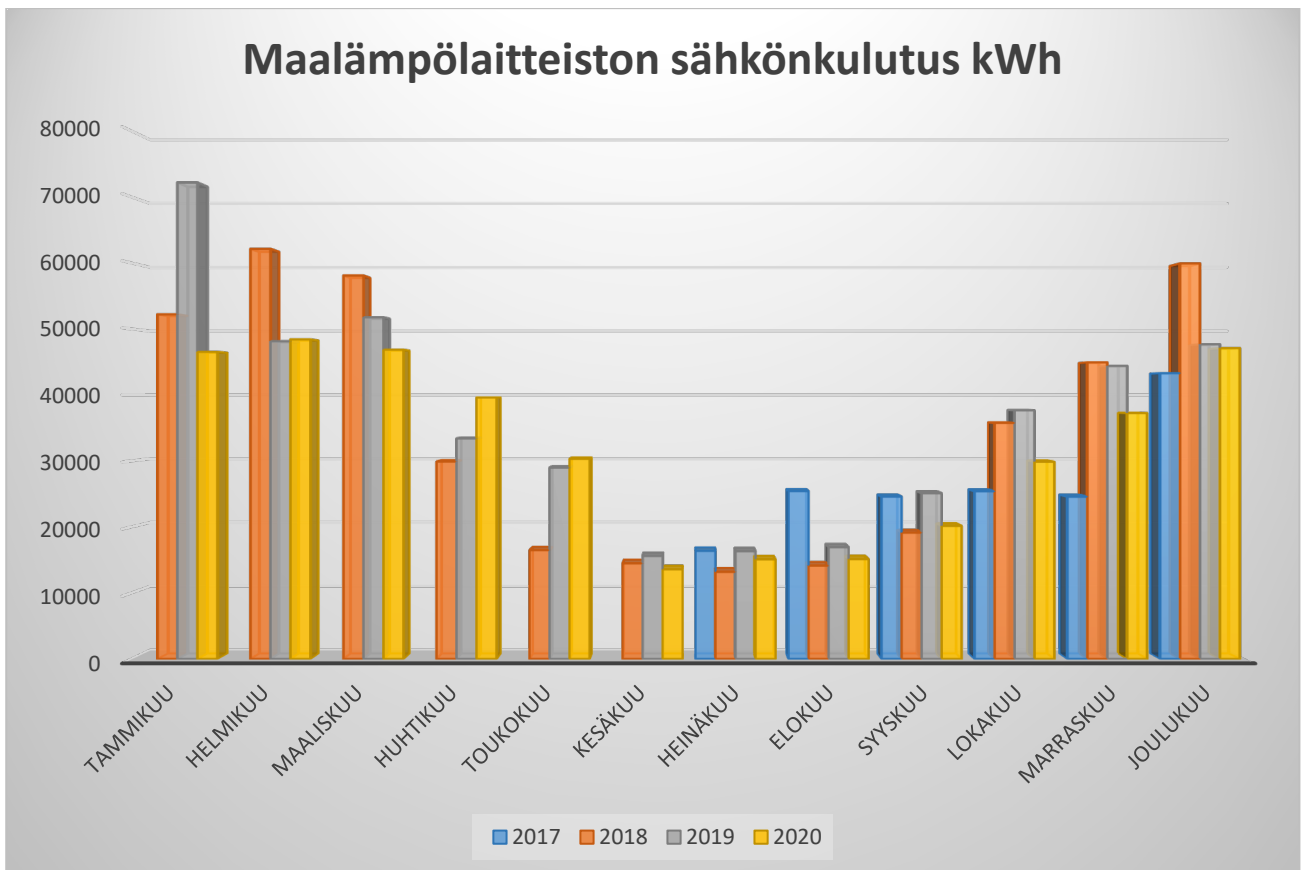
perusteella voidaan olettaa kuvan 10 vasemmassa alalaidassa olevan koko järjestelmän kulutetun sähkölukeman pitävän paikkaansa. Laskureita ei ole nollattu järjestelmän olemassaoloaikana. Kuvasta 10 voi nähdä myös koko järjestelmän tuottaman lämpöenergian. Kun se jaetaan koko järjestelmän kulutetulla sähköllä, saadaan SPF-luvuksi 2,39. Kuvassa 10 SPF-luku on ilmaistu COP-lukuna (Coefficient Of Performance), mutta kyse on siis samasta asiasta. Joka tapauksessa tunnusluku on ollut todellisudessa huomattavasti alhaisempi kuin tarjoituksessa esitetty 3,49.

VIIMEISESTÄ NOLLAUKSESTA: 0 . 0 . 0 0 : 0			
MLP1 kulutettu sähkö	408448.7 kWh	MLP1 tuotettu energia	120810.0 kWh
MLP2 kulutettu sähkö	368540.7 kWh	MLP2 tuotettu energia	1189850.0 kWh
MLP3 kulutettu sähkö	337453.1 kWh	MLP3 tuotettu energia	963380.0 kWh
MLP4 kulutettu sähkö	389336.2 kWh	MLP4 tuotettu energia	1323940.0 kWh
<hr/>		<hr/>	
MLP:t kulutettu sähkö	1503778.8 kWh	MLP:t tuotettu energia	3597980.0 kWh
Skökattila kul. sähkö	1605.5 kWh	Koko järj. tuotettu lämpö	3599585.6 kWh
Skövast. kul. sähkö	3973.7 kWh		
<hr/>		MLP COP	2.39
Koko järj. kulut. sähkö	1505384.2 kWh	Koko järj. COP	2.39

KUVA 10. Laitteiston COP-arvo.

Maalämpölaitteiston omat sähkömittauksen tulokset ovat saatavissa vain laskujen tiedoista kaivamalla. Kuviossa 8 on esitetty kuukausikulutukset vuoden 2017 heinäkuusta - joulukuuhun 2020. Kun tarkastellaan koko vuoden sähkönkulutusta maalämpölaitteiden osalta, vuonna 2018 sähköä lämmitykseen kului 420,48 MWh, vuonna 2019 yhteensä 438,21 MWh ja vuonna 2020 yhteensä 390,05 MWh.

Vuotta 2021 ei ole otettu mukaan laskelmiin, koska yksi lämpöpumppu paloi helmikuussa 2021 ja aiheutti mittavaa vahinkoa koko järjestelmälle. Laitteisto jouduttiin uusimaan kauttaaltaan, ja siksi sitä ei ole laskennassa mukana. Syksyllä 2021 laitteisto saatiin jälleen toimintaan.



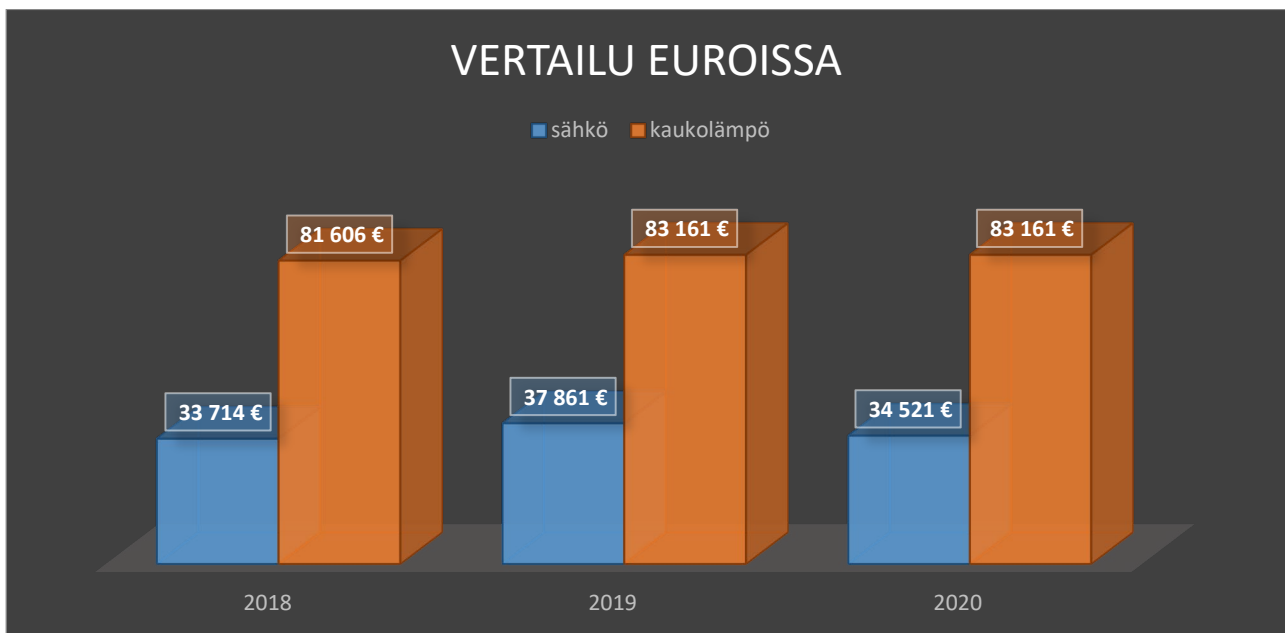
KUVIO 8. Maalämpölaitteiston sähkönkulutus vuosina 2017–2020.

Kun verrataan euromäärällisesti maalämpöjärjestelmän kannattavuutta kaukolämpöön, tulokset ovat nähtävissä kuviossa 9. Siitä on selkeästi havaittavissa, että maalämpölaitteiston taloudellinen kustannus on huomattavasti pienempi kuin kaukolämmöllä. Sähkön kulutuksen osalta tulokset ovat suoraan sähkölaskuista poimittuja hintoja, joten niitä voidaan pitää paikkaansa pitävinä.

Kaukolämmön kulutuksen osalta laskennassa on käytetty samaa viiden vuoden keskiarvoa per vuosi (1349 MWh), niin kuin oli tarjouspyynnössäkin. Kaukolämmön megawattituntihinta on poimittu kunkin vuoden laskuista, joten sekään ei perustu oletuksiin vaan todellisiin kustannuksiin.

Vertailukiinteistönä kaukolämmön hinnoittelun suhteen on käytetty kiinteistöä Parolantie 19, joka on iältään samalta aikakaudelta ja kooltaan samankokoinen kuin tarkasteltavat kiinteistöt. Näin voidaan olettaa kaukolämmön tilausvesivirran ja siitä muodostuvan kustannuksen olevan sama kuin vertailukiinteistöissä. Samalla paikalliset lämpötilat ja tuuliolotkin ovat tulleet huomioiduksi oletettavasti verraten hyvin.

Kaukolämmön hinta muodostuu perusmaksusta sekä kulutetun kaukolämpöenergian (MWh) osuudesta. Sähkön osuus koostuu samalla tavalla perusmaksuista sekä käytetystä sähkön määrästä (kWh). Kiinteistökokonaisuuden kolmen vuoden (2018–2020) osalta keskimääräinen säästö maalämmöllä tuotettuun lämpöenergiaan verrattuna, jos saman lämpöenergian olisi tuottanut kaukolämmöllä, on noin 47 300 € / vuosi.



KUVIO 9. Kaukolämmön ja sähköenergian vertailu suhteutettuna euroihin.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella maalämpölaitoksen kannattavuutta verrattuna kaukolämmöllä tuotettuun lämmitysenergiaan. Kuten opinnäytetyöstä voi havaita, vaikuttaa energiatehokkaan ja kaikkia energiavirtoja hyödyntävän järjestelmän rakentaminen koko kiinteistöön. Erilaisia jo hankevaiheessa huomioon otettavia asioita on paljon ja niiden soveltuvuus ja kannattavuus joudutaan miettimään tarkasti ja tapauskohtaisesti.

Nykyaikaisen maalämpölaitoksen vaihtaminen kaukolämmön tilalle on laskennallisesti kannattavaa, kun mietitään pelkkiä lämmitysenergian liittyviä vuosittaisia kustannuksia. Tässä työssä ei ole huomioitu niitä kustannuksia, jotka ovat aiheutuneet järjestelmän rakentamisesta tai suunnittelusta. Maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika, se perustuu aina päätöstä tehtäessä laskennallisiin oletuksiin. Toteutuksen aikana voi tulla yllättäviä kustannuseriä, joita ei ole voitu huomioida tarkassakaan suunnittelussa ja nämä kustannukset vaikuttavat heikentävästi takaisinmaksu-aikaan. Myöskään sähkön ja vaihtoehdoisen lämpöenergian hinnoista ei ole tarkkaa tietoa.

Insinööriyön aikana havaittiin, että koko maalämpöjärjestelmän toimintaoloaikana COP-arvo oli varsin matala. Yksittäistä syytä tähän on vaikea arvioida, mutta se on kuitenkin asia, joka vaatii lisähuomiota ja tutkimista tulevien kuukausien aikana. Tarjousvaiheessa annettuun laskennalliseen arvoon on vielä jonkin verran matkaa.

Järjestelmä on tällä hetkellä etävalvonnassa, mutta on syytä miettiä, voisiko toisen etävalvontatoimijan kanssa selvittää epäkohtia tarkemmin. Kohteessa on kuitenkin paljon automatiikkaa ja muuta tekniikkaa, joten kokonaisuuden täysimääräinen hallinta vaatii erityistä paneutumista ja osaamista, jotta maalämpölaitteisto saadaan tuottamaan lämpöenergiaa tehokkaasti ja taloudellisesti.

Poistoilman lämmöntalteenotosta (LTO) saatu hyöty oli yllättävän hyvä. Poistoilmasta saadaan hyvin hukkaenergiaa talteen ja siksi sen hyödyntäminen kiinteistön lämmityssaneerauksen myötä on järkevää. Tämä vaatii kuitenkin hyvää LVI-suunnittelua, jotta laitteisto saadaan mitoitettua oikein. Rakennusautomaation laitteisiin tai toimintaan tässä insinööriyössä ei ole otettu kantaa.

Mikäli oletetaan, että yllättäviä kustannuksia ei tule ja kaukolämmön sekä sähkön hinta pysyy vuosina 2017–2020 vallinneella tasolla, voidaan varovaisesti arvioida maalämpöpumppu- sekä LTO-laitteiston

investoinnin takaisinmaksuajaksi 13,5 vuotta. On kuitenkin hyvä huomata, että muutoksia ja yllätyksiä tulee varmasti. Kaukolämmön hinnassa voi olla edelleen nousupainetta johtuen puupolttoaineen sekä maakaasun hinnankorotuksista. Myös sähkön hinnassa on korotuspaineita tulevina vuosina. Oman yllätysmomenttinsa tulevat tuomaan tätä kirjoitettaessa alkanut Ukrainan kriisi. Siihen liittyvien pakotteiden ja vastapakotteiden vaikutusta ei osata vielä arvioida. Joka tapauksessa tämän työn kannalta johtopäätös on selvä. Mikäli työn kohteena ollut lämmitysjärjestelmän kokonaisuus saadaan toimimaan nykyistä paremmin ja SPF-luku saadaan lähelle hyväksytyssä tarjouksessa ollutta laskennallista tasoa, tulevat ne nopeuttamaan investointien takaisinmaksuaikaa.

LÄHTEET

- Ilmatieteenlaitos. 2022. *Lämmitystarveluku*. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. Viitattu 8.1.2022.
- Juvonen, J. 2009. Ympäristöopas. *Lämpökaivo, maalämmön hyödyntäminen pientaloissa*. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/38833>. Viitattu 12.1.2022.
- Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Ympäristöopas. *Energiakaivo, maalämmön hyödyntäminen pientaloissa*. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y. Viitattu 14.1.2022.
- Lapon. 2022. *TRT-mittaus*. Saatavissa: <https://www.lapon.fi/trt-mittaus>. Viitattu 26.2.2022.
- Motiva 2022.a. *Lämpöpumput*. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput. Viitattu 1.12.2021.
- Motiva 2022.b. *Kulutuksen normeeraus*. Saatavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/kulutuksen_normitus. Viitattu 8.1.2022.
- Motiva 2022.c. *Kulutuksen normitus, laskentakaavat ja -ohjeet pdf*. Saatavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/kulutuksen_normitus. Viitattu 9.1.2022.
- Neuvonen, P. 2006. *Kerrostalot 1880–2000, -arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen*. Tampere: Tammerpaino.
- Rototec. 2022. *Maalämmön poraaminen*. Saatavissa: <https://rototec.fi/palvelut/koteihin/tietoa-maalampokaivon-poraamisesta/>. Viitattu 6.1.2022.
- Sulpu. 2022. *Maalämpöpumppu*. Saatavissa: <https://www.sulpu.fi/lampopumput/maalampopumput/>. Viitattu 6.1.2022.
- TomAllenSenera. 2022. *Maalämpöpumppu*. Saatavissa: <https://www.tomallensenera.fi/maalampo>. Viitattu 6.1.2022.