

# Maalämpöjärjestelmien laajennus haja-asutusalueella

Iiro Aunio

OPINNÄYTETYÖ  
Kesäkuu 2022

LVI-Talotekniikka

TIIVISTELMÄ  
Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma  
LVI-järjestelmät

AUNIO, IIRO:  
Maalämpöjärjestelmien laajennus haja-asutusalueella

Opinnäytetyö 38 sivua, joista liitteitä 1 sivu  
Kesäkuu 2022

---

Opinnäytetyössä tutkittiin energiayhteisössä toteutettavan maalämpöjärjestelmän mahdollisuuksia haja-asutusalueella. Päätaivoitteena oli selvittää haja-asutusalueen kiinteistöjen yhteisen maalämpöjärjestelmän kannattavuutta tutkimalla lämmönsiirtoon liittyviä teknisiä haasteita sekä hallinnollisia haasteita, joita yhteinen maalämpöjärjestelmä voisi tuoda. Tutkimuksessa otettiin huomioon myös lain tuomat velvoitteet. Tutkimus tehtiin pääosin verkosta löytyvistä aineistoista sekä tarkastelemalla suunnitteluvaiheessa olevaa lomakylää, joka sijaitsee Ilo-mantsissa Koitere-järven rannalla.

Opinnäytetyössä saatiin selville, että hallinnolliset ja lainsäädännölliset haasteet eivät ole este yhteisen maalämpöjärjestelmän rakentamiselle energiayhteisössä. Teknisien haasteiden perusteella johtopäätöksenä todettiin, että yhteinen maalämpöjärjestelmä ei ole kannattavin vaihtoehto Ilo-mantsin lomakylän alueella tutkitulla ratkaisulla. Haasteeksi muodostui liian suureksi muodostuva siirtoputkien lämpöhäviö, joka vaikuttaa siihen, ettei yhteinen maalämpöjärjestelmä haja-asutusalueella ole kannattava. Tutkimuksessa nousi esiin uutena ideana rakentaa yhteinen maalämpöjärjestelmä, jossa jokaisessa huvilarakennuksessa on pienempi lämpöpumppu, jolla lämmitetään sekä lattialämmitykseen tarvittavaa että lämpimään käyttöveteen tarvittavaa vettä. Sen mahdollisuudet vaatisivat kuitenkin lisää tutkimusta.

---

Asiasanat: maalämpö, haja-asutusalue, lämmönsiirto, lämpöhäviö

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
HVAC Systems

IIRO AUNIO:

Extension geothermal systems in sparsely populated areas

Bachelor's thesis 38 pages, appendices 1 page  
June 2022

---

Possibilities of Implementing a Common Geothermal Heat in a Sparsely Populated Area were studied in this thesis. The possibilities were explored by identifying Technical, Administrative, and Legal challenges of Heat Transfer. The aim of the study was to increase information on the profitability of a Common Geothermal System.

The research method was to find out information of the Technical, Administrative and Legal challenges from internet. The study calculated the Heat Losses included in the technical challenges and drew conclusions about the Administrative and Regulatory challenges based on the data available online. The study utilized the planned holiday village in Ilomantsi.

The study found that Regulatory and Administrative challenges are not an obstacle to the profitability of Geothermal Heat in Sparsely Populated Areas. The biggest technical challenge was the losses of the Heat Transfer Pipes, which led to the conclusion that the Heat Transfer method studied is not profitable to make a Geothermal Heating System for the Sparsely Populated Area studied.

---

Key words: geothermal heat, sparsely populated area, heat transfer, heat loss

## SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	6
2. MAALÄMPÖ.....	7
2.1 Maalämpöpumput Suomessa .....	7
2.2 Maalämmön toimintaperiaate.....	8
2.2.1 Lämmönkeruupiiri.....	9
2.2.2 Energiakaivo .....	10
2.3 Maalämpöpumppu .....	10
2.4 Maalämpöpumpun hyötysuhde.....	12
2.5 Maalämmön kannattavuus.....	13
2.6 Maalämmön tekniset haasteet .....	14
2.6.1 Lämmönsiirtoputken häviöt .....	14
2.6.2 Painehäviö .....	17
2.6.3 Putkivirtaus.....	18
2.7 Lämmönkeruupiirin mitoitus .....	19
3. HAJA-ASUTUSALUE ENERGIAYHTEISÖNÄ.....	20
3.1 Energiayhteisö .....	20
3.2 Lainsäädäntö.....	21
4. TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN.....	23
4.1 Tutkimusmenetelmä.....	23
4.2 Opinnäytetyön CASE-kohteen esittely .....	23
4.3 Lämmityksen mitoitus .....	25
4.4 Lämpimän käyttöveden kiertojohto .....	26
4.5 Lämmitys maapiirillä .....	27
4.6 Siirtoputken lämpöhäviöt.....	27
5. TUTKIMUSTULOKSET.....	30
5.1 Lämmönsiirron tekniset haasteet .....	30
5.2 Energiayhteisöjen hallinnolliset haasteet .....	31
5.3 Energiayhteisöjen lainsäädännölliset haasteet .....	31
6. POHDINTA .....	32
6.1 Tutkimuksen johtopäätökset .....	32
6.2 Oman tutkimuksen arviointi.....	34
6.3 Jatkotutkimusehdotukset .....	35
7. LÄHTEET.....	36
LIITTEET.....	38
Liite 1. Helmikuun ja Tammikuun keskilämpötilat.....	38

**ERITYISSANASTO**

COP	Lämpöpumpun hyötysuhde. Kertoo lämpöpumpun tehokkuuden muuttua sähköenergia lämpöenergiaksi.
SCOP	Vuosihyötysuhde. Kuvaa koko lämmityskauden hyötysuhdetta.
MLP	Maalämpöpumppu.
SPF	Vuosilämpökerroin. Kertoo saadun käyttökelpoisen lämpöenergian suhteessa kulutettuun sähköenergiaan.

## 1. JOHDANTO

Maailman kasvavassa fossiilisten energialähteiden alasajossa energiaa säästävät toimenpiteet tarvitsevat kipeästi uusia innovaatioita. Uusiutuvia energialähteitä käytetään jatkuvasti enemmän ja enemmän. Lisääntyneen kokemuksen myötä uusiutuvia energialähteitä on opittu hyödyntämään tehokkaammin kuin aikaisemmin. Tästä hyvä esimerkki on maalämpö, joka kasvattaa suosiota maailmanlaajuisesti (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.11).

Haja-asutusalueella peltoa ja vapaata tilaa on runsaasti maalämpöön soveltuvan keruupiirin toteuttamiseen. Yhteisesti toteutetulla maalämpöjärjestelmällä voidaan saada säästöjä aikaiseksi, mikäli maaperä ja rakennusten välinen etäisyys on järjestelmään soveltuva. Lähdin tutkimaan haja-asutusalueiden energiayhteisöjen mahdollisuuksia, jotta tiedetään millä edellytyksillä haja-asutusalueelle kannattaa suunnitella energialähteeksi yhteinen maalämpö. Maalämmön hyödyntämismahdollisuudet haja-asutusalueella vaativat lisää tutkimusta ja siksi aihe on tärkeä. Monimutkaisten järjestelmien tekeminen voi vaatia suunnitteluaikaa, mutta pilottihankkeiden ja projektien toteutuessa ja kokemuksen karttuessa eri ratkaisuista, rohkeus tehdä erilaisia maalämpöratkaisuja kasvaa.

Opinnäytetyössä lähtökohtana on CASE-kohde, jonka pohjalta tutkitaan, onko yhteisen maalämpöjärjestelmän rakentaminen kannattavaa energiayhteisössä haja-asutusalueella. Lisäksi tutkimuksessa käytetään apuna kirjallisuutta lämmönsiirtotekniikasta, energiayhteisöistä ja lainsäädännöstä.

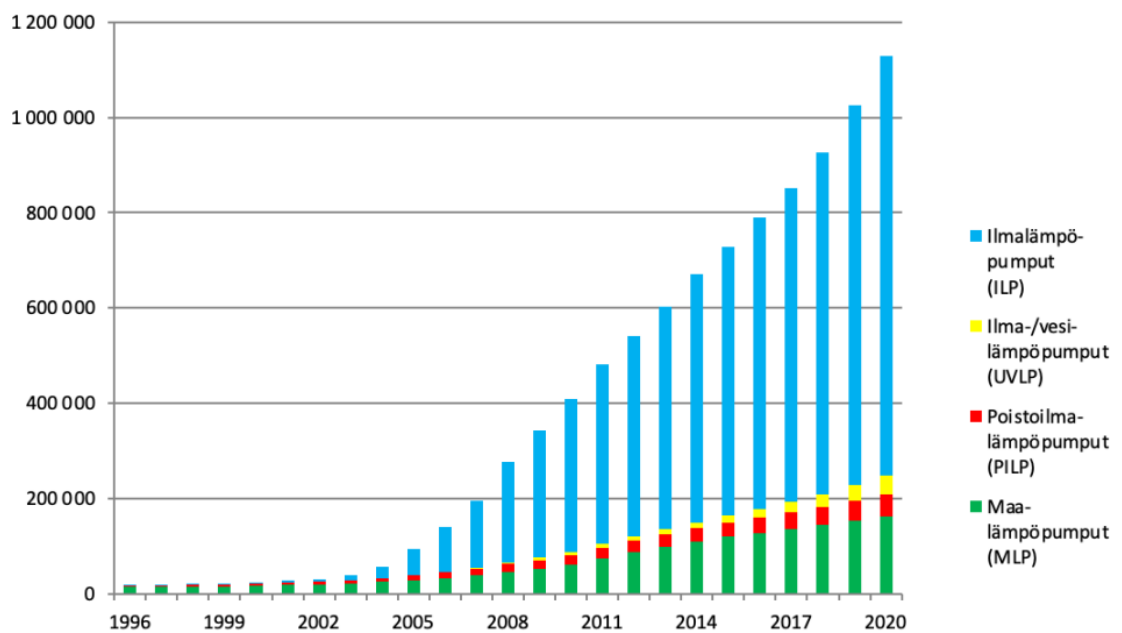
Tutkimuksen tavoitteena on selvittää rakennusten välisten etäisyyksien raja-arvot sekä energiayhteisöjen hallinnolliset ja lainsäädännölliset haasteet. Tutkimuksessa esitellään aluksi tietoa maalämmöstä ja haja-asutusalueesta energiayhteisönä, jonka jälkeen esitellään tutkimuksen tulokset ja pohditaan johtopäätöksiä ja mahdollisia jatkotutkimustarpeita.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, ettei yhteinen maalämpöjärjestelmä ole kannattava tutkitulla energiansiirtotavalla kyseiseen lomakylään.

## 2. MAALÄMPÖ

### 2.1 Maalämpöpumput Suomessa

Suomessa maalämmön käytön suosioon ovat vaikuttaneet energian hintojen nousu sekä paine siirtyä uusiutuviin energialähteisiin. Maalämmön asentaminen kiinteistöön on sitä kannattavampaa, mitä suurempi rakennus ja energian käyttö talossa on. Energian hintojen nousu on saanut aikaan sen, että maalämpö on kannattava energiamuoto myös pienemmissä rakennuksissa. Se, miksi ihmiset valitsevat maalämmön talon energiamuodoksi, voi johtua ilmastonmuutoksen aiheuttavasta huolesta tai lämpöpumpun mahdollistavan myös talon jäähdytyksen. (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.12.)

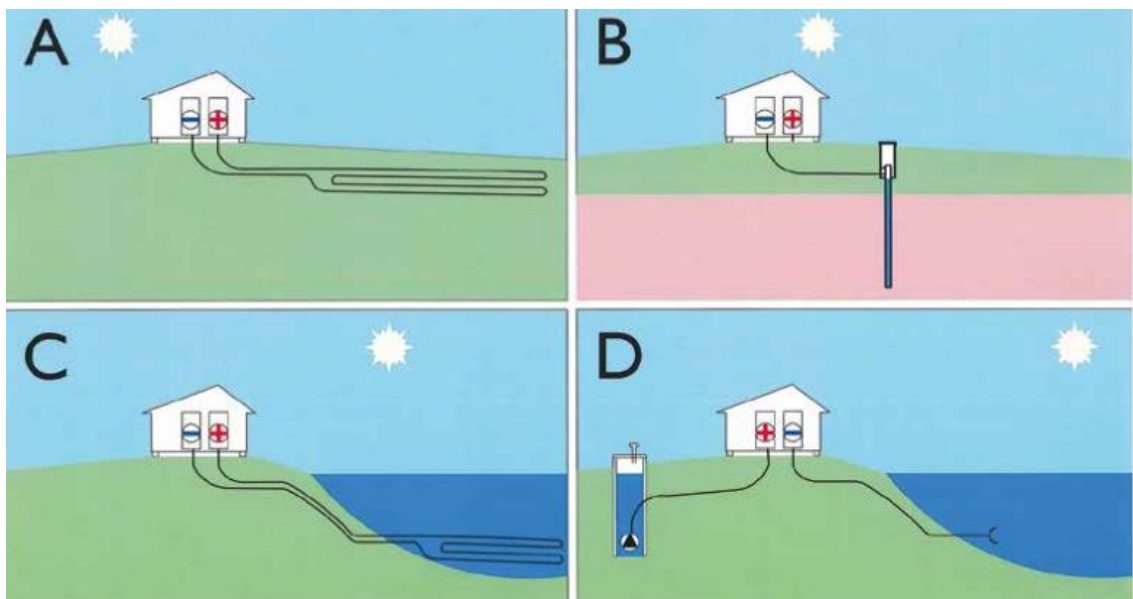


Kuva 1. Lämpöpumppujen myynti Suomessa, kumulatiivinen (Sulpu, Lämpöpumpputilastot 2021)

Kuvassa 1 nähdään, kuinka maalämmön suosio on kasvanut viimeisen 20 vuoden aikana huimasti. Vuonna 2020 myytiin 8600 maalämpöpumppua ja kasvu on jatkunut vuonna 2021, jolloin myytiin 9500 maalämpöpumppua. (Sulpu, Lämpöpumpputilastot 2021.) Kuvassa nähdään myös ilmalämpöpumppujen räjähdysmäinen suosion kasvu 2000-luvun jälkeen, jolloin Suomessa tietoisuus lämpöpumppujen energiatehokkuudesta kasvoi.

## 2.2 Maalämmön toimintaperiaate

Maalämpö on lämpöpumppuun perustuva lämmitysjärjestelmä, joka hyödyntää maa- ja kallioperään tai veteen varastoitunutta auringon energiaa. Auringon varastoiman energian lämpötila maanpinnalla ja sekä sen sisällä vaihtelee maantieteellisen sijainnin mukaan sekä myös paikallisesti. Maa- ja kallioperän pintaosien keskilämpötila Suomessa on noin kaksi astetta ilman vuotuista keskilämpötilaa korkeampi. Maanpinnan lämpötila muuttuu sääolojen mukaan, mutta kun mennään syvemmälle maan pinnan alle, tietyssä syvyydessä se vakiintuu. Esimerkiksi Etelä-Suomessa maan pinnan alle poratessa, lämpötila vakiintuu 5–6 asteeseen 14–15 metrin syvyydessä. Syvemmällä kallioperässä lämpötila kohoaa, sillä geoterminen energia kohottaa lämpötilaa noin 0,5–1 astetta per sata metriä. (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.7.)



Kuva 2. Erilaiset maalämmön keruupiirit (Ympäristöopas 2013, s.9)

Kuvassa 2 havainnollistettuna maalämmön hyödyntämiseen käytettävät energialähteiden vaihtoehdot. Kuvassa on perinteinen peltoon asetettu keruupiiri(A), maaperään porattu energiakaivo (B), vesistöön sijoitettu keruupiiri (C) ja avoin keruupiiri (D).



### 2.2.1 Lämmönkeruupiiri

Yksi maalämmön keruutapa on asentaa maaperään, kallioon porattuun reikään tai vesistöön lämmönkeruuputkisto, jossa kierrätetään jäätymätöntä nestettä (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.8). Keruuputkistona käytetään useimmiten vesijohdotputkea, joka asennetaan noin metrin syvyyteen routarajan alapuolelle. Syvyys määräytyy tarkemmin maaperän ja maantieteellisen sijainnin perusteella. Esimerkiksi Etelä-Suomessa asennussyvyys on matalampi kuin pohjoisessa maaperästä saatavan suuremman lämpömäärän takia. (Motiva, s.4.)

Maaperään asennetaan putkisto eli maapiiri, jonka avulla kerätään energiaa maaperän pintaosista. Maapiiri vaatii noin 1,5 m<sup>2</sup> suuruisen pinta-alan yhtä putkimetriä kohti. Se, kuinka suuren pinta-alan putket tarvitsevat, riippuu maapohjan laadusta, sillä esimerkiksi kuiva maasto tarvitsee huomattavasti suuremman pinta-alan kuin kostea maaperä. (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.37.)

Energiakaivolta rakennukselle tulevia lämmönkeruuputkia kutsutaan siirtoputkiksi. Siirtoputkia asentaessa täytyy tietää, mitä asioita putkiston yläpuolelle tullaan rakentamaan, sillä nämä asiat määrittävät putkien asennussyvyyden. Liikennealueilla kaivussyvyys on vähintään 1 metri, kun taas viheralueilla syvyydeksi riittää vain 40 senttimetriä. Asennuksen jälkeen siirtoputket peitetään maa-aineksella tai asennushiekalla. (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.37.)

Keruupiiri on alimitoitettu, jos energiakaivosta tai maapiiristä saatavat tehot eivät riitä rakennuksen lämmittämiseen. Tämä tarkoittaa sitä, että maaperästä ei saada riittävästi energiaa, ja keruupiirin lämpötila laskee alle suunnitellun arvon. Tällöin maalämmön hyötysuhde pienenee, sillä lämpöpumppu tuottaa tarvittavan lisäenergian sähköllä. Monesti alimitoitus huomataan vasta järjestelmän käyttöönoton jälkeen, kun nähdään pumpun sähkönkulutuksen olevan arvioitua huomattavasti suurempi. Alimitoitukseen on kuitenkin keksitty ratkaisu, sillä maapiiriä pidentämällä, syventämällä energiakaivoa, tai poraamalla lisäkaivo, alimitoitusongelma poistuu ja energiaa saadaan taas riittävästi. Joskus ongelman ratkaisemiseksi auttaa myös rakennuksen eristyksen parantaminen. (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.45.)

### 2.2.2 Energiakaivo

Energiakaivo (Kuva 1. kohta B) on nykyään yleisin lämmönlähde (Motiva, s.4). Rakennusten lämmittämässä ja jäähdyttämässä maalämmön ja maalämmön muodoista erityisesti energiakaivojen määrä on lisääntynyt 2000-luvun aikana. Energiakaivon porareikä porataan yleensä suoraan alaspäin ja se on tavallisesti alle 300 metriä syvä. Joskus yksi energiakaivo ei riitä kattamaan yhden talon energiantarvetta, vaan joudutaan poraamaan useita energiakaivoja. Tällöin energiakaivot muodostavat yhdessä energiakentän. Joskus tällaisella kentällä joudutaan poraamaan vinoreikiä, jos kaksi tai useampi porareikä joudutaan poraamaan alle 15 metrin päähän toisistaan. Huomioitava seikka on, että vinoreikien porauskohta maanpinnalla ei saa olla alle viiden metrin etäisyydessä toisistaan. (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.34.)

Porattuun reikään asennetaan lämmönkeruuputket (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.37). Keruuputkissa kierrätetään lämmönkeruunestettä, joka vie sisältämänsä energian maalämpöpumpulle, joka muuttaa energian rakennuksen lämmittämiseen soveltuvaksi. Maalämpöä voidaan hyödyntää myös niin, että kierrätetään pohjavettä putkistossa. Tällöin järjestelmä on avoin keruupiiri, jossa pohjavesi pumpataan siirtoputkea hyödyntäen maanpinnalle ja sieltä lämpöpumpulle, joka palauttaa veden siirtoputken avulla taas takaisin vesistöön. (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.9.)

Energiakaivoja rakennetaan nykypäivänä huomattavasti enemmän kuin maapiirejä. Niin maailmalle kuin Suomeenkin on rakennettu jo suuria energiakenttiä, jotka sisältävät satoja energiakaivoja. Kaivojen toimintaperiaate on sama ympäri maailmaa, mutta toteutustavat vaihtelevat geologisten olosuhteiden ja paikallisten määräysten vuoksi. (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.11.)

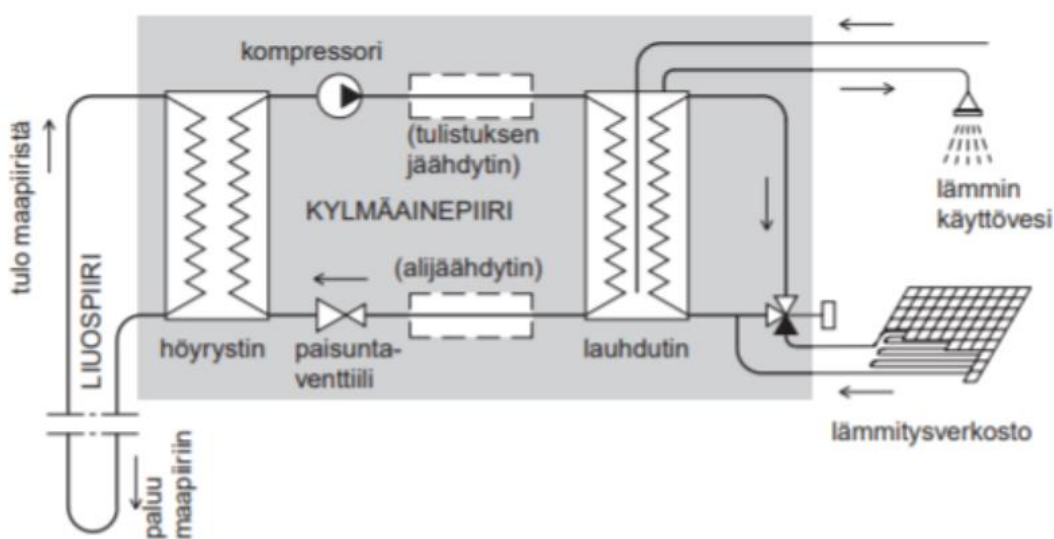
### 2.3 Maalämpöpumppu

Maaperästä, kallioperästä tai vesistöistä kerätty energia siirretään maalämpöpumpun avulla rakennusten käyttöön (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.10). Maalämpöpumppu koostuu kolmesta virtauspiiristä: keruupiiristä, kylmäainepiiristä

sekä lämmityspiiristä. Maalämpöpumpun toiminta perustuu keruupiirissä kiertävään aineeseen, joka luovuttaa lämpöä kylmäainepiirissä kiertävään kylmäaineseen. Tämä taas luovuttaa lämmön lämmityspiiriin ja edelleen lämmönjakojärjestelmään. Maalämpöpumppu siis siirtää lämpöenergiaa kylmemmästä tilasta lämpimämpään. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2014, s.49.)

Maalämpöpumppu sopii erinomaisesti alhaisen lämpötilan lämmönjakojärjestelmien energian lähteeksi, esimerkiksi vesikiertoiseen lattialämmitykseen. Maalämpöpumppua voi hyödyntää myös patterilämmityksessä ja käyttöveden lämmittämässä sekä rakennusten jäähdyttämässä. (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.10.)

Maalämpöpumpun huollon ja ylläpidon täytyy olla suhteellisen vaivatonta, ja tämä tulee huomioida pumpun sijoittamispaikkaa suunniteltaessa. Lisäksi tilaa miettiessä täytyy muistaa, että pumppu saa tarvitsemansa verran väljyyttä huoneessa. Tilantarve voi vielä kasvaa suuremmaksi, jos lämmitysjärjestelmä vaatii lämpöpumpun lisäksi erillisen lämminvesivaraajan. Tilaa suunniteltaessa on hyvä muistaa myös se, että pumpusta tulee jonkin verran äänihaittoja. Tämän vuoksi pumppua ei yleensä sijoiteta sisälle, vaan esimerkiksi ulkona sijaitsevaan huoltorakennukseen, autotalliin tai varastoon. (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.10.)



Kuva 3. Maalämpöpumppujärjestelmän osat (RT-kortti)

Kuvassa 3 maalämpöpumppujärjestelmän osat. Kuvan liuospiiri kuvastaa maahan asennettua keruupiiriä, jossa maasta siirtyy lämpöä järjestelmään lämpöpumpun käytettäväksi. Lämpöpumpun prosessien jälkeen lämpö siirretään lämmönvaihtimien avulla lämpimään käyttöveteen ja lämmitysverkostoon.

## 2.4 Maalämpöpumpun hyötysuhde

Maalämpöpumpun tehoa esitetään lämpökertoimella (COP= Coefficient of Performance), joka ilmaisee lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian ja lämpöpumppuun tarvittavan sähköenergian suhteen. Lämpökertoimia verrattaessa tulee huomioida lämpökertoimen laskemisen mittaolosuhteet, sillä se vaikuttaa lämpökertoimeen. Vähitellen on yleistynyt vuosilämpökerroin (SPF = Seasonal Performance Factor), joka kertoo tarkemman hyötysuhteen. (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.31.)

Suomen sääolosuhteissa vuotuinen maalämpöpumpun lämpökertoimen keskiarvo on noin kolme, mikä tarkoittaa sitä, että lämpöpumppu muuntaa yhdellä kilowattitunnilla hankitun sähköenergian kolmeksi kilowattitunniksi lämpöenergiaa rakennuksen lämmittämiseen. Yksi kilowattitunti lämpöenergiasta on siis ostettua sähköenergiaa ja kaksi kilowattituntia on maaperästä hankittua lämpöenergiaa. (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.31.)

Jakamalla lämpöpumpun vuodessa tuottaman lämpöenergian sen käyttämällä sähköenergialla, saadaan selville maalämpöpumpun vuosihyötysuhde. Esimerkiksi, kun maalämpöpumppu tuottaa 20 000 kilowattituntia lämpöenergiaa vuodessa ja kuluttaa 5000 kilowattituntia sähköenergiaa, vuosihyötysuhteeksi muodostuu neljä. Vuosihyötysuhdetta kannattaa pohtia maalämpöpumppua valittaessa, sillä se ratkaisee sen, kuinka paljon voi säästää lämmityskustannuksissa maalämpöjärjestelmän avulla.

## 2.5 Maalämmön kannattavuus

Maalämmöllä on tutkimusten mukaan mahdollista säästää jopa 60—70 % lämmityskuluissa. Seuraava esimerkkitapaus havainnollistaa maalämmön kannattavuutta. Esimerkkitapauksena on 120 m<sup>2</sup> talo, jossa asuu neljä henkilöä. Heillä kuluu vuodessa käyttöveden sekä tilojen lämmittämiseen noin 21 300 kilowattituntia. Talossa on ennestään öljylämmitys. Öljylämmityksen kokonaiskustannukset vuodessa ovat:

$$K_{oil, p} = 0,8930 \text{ €/l} \times 2662 \text{ l} = 2377 \text{ €}$$

Tässä laskelmassa öljyn hinta on ollut 0,8930 €/l ja talo kuluttanut 2662 litraa öljyä vuodessa. Öljykattilan huoltoon menee noin 100 € vuodessa, joten öljylämmitys maksaa 2477 € vuodessa.

Maalämmön kustannukset ovat samaisessa talossa hieman erilaiset. Otetaan esimerkiksi Niben maalämpöpumppu:

### Taulukko 1. Kustannuslaskenta

Nibe F 1255 Maalämpöpumppu	10 500 €
Energiakaivo (125 metriä syvä)	4000 €
LVI- ja sähkötyöt, asennus ja käyttöopastus	3 500 €
Kotitalousvähennys	-2 700 €
<hr/> Yhteensä	<hr/> 15 300 €

Jos ajatellaan, että esimerkkikohteesta täytyy lisäksi purkaa öljykattila ja hoitaa maalämmön toimenpidemaksu, summaan tulee lisää 295 € + 215 € = 510 €. Kokonaiskustannukseksi muodostuu siis 15 810 €. Maalämpöpumpun vuosittaiset kustannukset koostuvat sähkönkulutuksesta ja ylläpitokustannuksista. Vuosittainen ylläpitokustannus on yleensä ottaen 30 euroa ja sähkönkulutus tässä kohteessa noin 6100 kilowattituntia vuodessa. Jos sähkönhintana on esimerkiksi 0,12 €/kWh, ylläpitokustannukset ja sähkö maksavat vuodessa yhteensä noin 764 €.

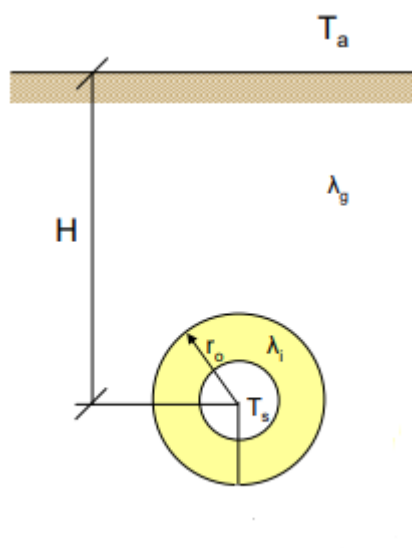
Pelkällä sähkölämmityksellä vuosikustannukset olisivat kyseisessä kohteessa 2555,64 €. Ilma-vesilämpöpumpun asennuksen jälkeiset kustannukset vuosittain olisivat noin 1190 €. Kaukolämmön vuosikustannukset asennuksen jälkeen olisivat kohteessa noin 1903 €. Esimerkkitapauksen perusteella voidaan nähdä, että maalämpö tulee pitkällä aikavälillä halvimmaksi vuosikustannusten ollessa vain noin 764 €. Esimerkkilaskemissa on käytetty samaa sähkön kilowattitunti hintaa. (Vainio, 2020.)

## **2.6 Maalämmön tekniset haasteet**

### **2.6.1 Lämmönsiirtoputken häviöt**

Haja-asutusalueen maalämmöllä toimivan lämmönsiirtoverkoston suunnitteluun voidaan soveltaa tietoa kaukolämmön verkostosta tehdyistä tutkimuksista, koska etäisyydet ovat pitkiä kuten kaukolämpöverkostojen lämpöverkostoissa. Lämpöhäviöön putkessa vaikuttaa putkidimensio ja eristystaso sekä lämmönsiirtonesteen että ympäristön lämpötila tarkastelujaksolla. Yleisimpiä lämpöhäviöön johtavia syitä ovat liian suuri käyttölämpötila, turhan ohut lämmöneristys, vanhentunut eristeaine, runsas maaperän lämmönjohtavuus, matala putkiston peitesyvyys tai heikko verkoston käyttöaste. (Koskelainen ym. 2006.)

Lämmitysverkoston käyttölämpötila on säädettävä ulkolämpötilan mukaan, mutta on huomioitava, että kaukaisinkin lämmitettävä rakennus saa riittävän lämmintä lämmitysvettä. Huomattava osa lämpöhäviöistä voidaan minimoida kohtuullisella työllä, mutta lämpöhäviöitä ei kuitenkaan voida poistaa kokonaan ja lämmitysjohtoputken liiallinen eristäminen on kannattamatonta. (Koskelainen ym. 2006.)



Kuva 4. Yksiputkisen lämmönsiirtoputken lämpöhäviöön liittyviä merkintöjä. (Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi – laskentaopas, s.66)

Kuvassa 4. on yksiputkisen lämmönsiirtoputken lämpöhäviöön liittyviä merkintöjä.

Kuvaan on merkattu:

$H =$	Putken asennussyvyys, m
$T_a =$	Ulkoilman lämpötila, °C
$\lambda_g =$	Maan lämmönjohtavuus, W/mK
$\lambda_i =$	Eristeen lämmönjohtavuus, W/mK
$r_o =$	Putkielementin säde ulkopintaan, m

Eristetason ja -materiaalin valintaan on syytä kiinnittää huomiota maalämpöputkien suunnittelussa. Lämpöhäviötä saadaan pienemmäksi eristämällä putket ja muut järjestelmään kuuluvat osat. Yleisimmin käytettyjä eristemateriaaleja ovat solumuovi, polyuretaani, mineraalivilla ja lasivilla. Putkistojen eristeenä käytetään polyuretaania ja solumuovia, kun taas laitteiden ja komponenttien eristeenä on yleisimmin käytetty kivi- ja lasivillaa. (Mäkelä & Tuunanen, 2015, s.60.)

Nestekiertoisen lämmönjakoverkoston lämpöhäviö voidaan laskea putkidimensioittain, tarkastelujaksoittain ja eristystasoittain kaavalla 1 (Ympäristöministeriö, 2011, s.48).

$$Q_D = \sum_i U'_i \cdot (O_{m,i} - O_{a,i}) \cdot L_i \cdot t_H \quad (1)$$

Jossa,

$Q_D$  = Lämmönjakeluverkoston putkien lämpöhäviö tarkastelujaksolla,  
(Wh)

$U'_i$  = Putken, i, U-arvo, W/m

$O_{m,i}$  = Keskimääräinen lämmönsiirtonesteen lämpötila putkistossa tarkastelujaksolla, °C

$O_{a,i}$  = Keskimääräinen ympäristön lämpötila tarkastelujaksolla, °C

$L_i$  = Putken pituus, m

$t_H$  = Tarkastelujakson pituus, h

Lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviöt putkimetriä kohden voidaan laskea kaavalla 2. (Ympäristöministeriö, 2011, s.66) Kaavassa on huomioituna paluu- ja menopotken lämpöhäviöt.

$$\Phi'_a = \left( \frac{T_s + T_r}{2} - T_a \right) 2\pi\lambda_g h_a \quad (2)$$

Jossa,

$\Phi'_a$  = Putken lämpöhäviö ulkoilmaan per putkipituus, W/m

$T_s$  = Menoveden keskimääräinen lämpötila tarkastelujaksolla, °C

$T_r$  = Paluuveden keskimääräinen lämpötila tarkastelujaksolla, °C

$T_a$  = Keskimääräinen ulkolämpötila tarkastelujaksolla, °C

$\lambda_g$  = Maan lämmönjohtavuus, W/mK



$h_a =$  Maan ja putken välinen lämmönsiirtokerroin, W/mK

Johtojen lämpöenergiähäviöt tietyllä matkalla voidaan määrittää kaavalla 3. (Ympäristöministeriö, 2011) Tuloksena saadaan lämpöhäviöt yhteensä vuorokaudessa.

$$Q_{w,dis,ls,col} = \frac{1}{1000} \cdot \phi'_a \cdot L_w \cdot t_w \quad (3)$$

Jossa,

$Q_{w,dis,ls,col} =$  Lämpöenergiähäviö, kWh/vrk

$\phi'_a =$  Lämpöhäviön ominaisteho lämpimän käyttöveden kiertojohdossa, W/m

$L_w =$  Kiertojohdon pituus, m

$t_w =$  Kiertojohdon pumpun käyttöaika, h/vrk

### 2.6.2 Painehäviö

Painehäviö voi olla yksi maalämpöjärjestelmän suunnitteluun liittyvä tekninen haaste. Järjestelmää suunniteltaessa putkistojen painehäviöt tulee huomioida, jotta se saadaan toimimaan kustannustehokkaasti. Huonosti tehty painehäviölasenta voi esimerkiksi johtaa siihen, että järjestelmän kiertovesipumppu mitoitetaan väärin. Tämä taas lisää käytönaikaisia pumppauskustannuksia huonomman pumppaushyötysuhteen takia. Pahimmassa tapauksessa väärin mitoitettu pumppu lyhentää pumpun käyttöikä. Putken halkaisija, pituus ja pinnan karheus sekä virtaavan nesteen viskositeetti, virtausnopeus ja tiheys vaikuttavat painehäviöön. (Jokilaakso, 1987.)

Kertavastuksia putkistossa aiheuttavat venttiilit, haarat sekä muut virtausta häiritsevät tekijät. Tämän vuoksi putket pyritään aina mitoittamaan sillain, että vastukset ja putkikoko ovat järjestelmälle edullisimmat (Jokilaakso, 1987).

### 2.6.3 Putkivirtaus

Virtaus on oleellinen osa maalämpöjärjestelmää, sillä koko järjestelmä perustuu putkissa kulkevaan nesteeseen. Maalämpöjärjestelmän keruupiirissä virtaava neste voi olla laminaarisella-, transitio- tai turbulenttisella alueella. Laminaariin virtaukseen vaikuttaa putken halkaisija, nesteen viskositeetti, virtausnopeus ja tiheys. Transitioalue on laminaarin ja turbulenttisen alueen välissä oleva siirtymäalue, jossa virtaus alkaa irrota putken seinämältä ja alkaa pyörteillä. (Yamaguchi, 2008). Turbulenttisella alueella neste kulkee pyörteilemällä eteenpäin.

Keruuputkistossa virtaavan nesteen pitäisi siirtää lämpöä niin paljon kuin mahdollista, joten turbulenttisella alueella tapahtuva virtaus on toivottava virtausmuoto, sillä siinä neste sekoittuu parhaiten. Huono puoli turbulenttisessa alueessa on kuitenkin se, että painehäviön suuruus kasvaa nopeasti. Tämän vuoksi suunnitteluvaiheessa tulee huomioida suurimman sallitun painehäviön suuruus toimivan järjestelmän saamiseksi. Putkivirtauksen energiaa kuvaa fysiikan laki, Bernoullin laki, jonka mukaan virtauskanavassa paine pienenee virtausnopeuden kasvaessa ja paine taas kasvaa virtausnopeuden hidastuttua. Tähän paineen pienenemiseen ja kasvamiseen vaikuttaa kolme asiaa: 1) Korkeusero vertailupisteiden välillä, 2) Virtauskanavan halkaisija ja 3) virtaavan nesteen nopeus. (White, 2011.) Näiden asioiden laskeminen onnistuu jatkuvuusyhtälöllä, joka kertoo virtauskanavan poikkipinta-alan ja virtausnopeuden alkupisteen muutoksen vaikutuksen virtauskanavan loppupisteeseen.

Bernoullin laki maalämpöjärjestelmissä liittyy esimerkiksi maalämpökaivokentän runko- ja vaakaputkistoihin sekä linjasäätöventtiileihin. Linjasäätöventtiileillä saadaan tasapainotettua maalämpökaivojen välistä virtausta. Hyvä suunnittelu on tärkeää, sillä jos venttiiliä joudutaan kuristamaan paljon, korkeaksi kasvava veden virtaamisen nopeus ja venttiilien painohäviö voi aiheuttaa venttiilin kulumista ja tuottaa melua. (White, 2011.)

## 2.7 Lämmönkeruupiirin mitoitus

Tärkeintä keruuputkiston suunnittelussa on ottaa huomioon rakennuksen tilavuus ja vuotuinen energiankulutus. Maalämpöjärjestelmä tulee suunnitella niin, että energiantarve on pienempi kuin keruupiirin mahdollinen lämmöntuottokapasiteetti. Tilojen lämmittäminen on vain osa rakennuksen lämmitystarvetta, ja siksi täytyy muistaa mitoittaa järjestelmä lämmittämään myös lämmin käyttövesi. Energiakaivoa tai maapiiriä suunniteltaessa täytyy laskemilla osoittaa lämmönkeruuputkiston pituus tai porareikien syvyys ja kappalemäärä riittäviksi. Lämmöntuottokapasiteetti kannattaa mieluummin hieman ylimitoittaa kuin alimitoittaa. (Rakennusvalvonta, 2013.)

Toinen tärkeä huomiota vaativa seikka on lämmönjakoverkoston vaatima lämpötilataso, sillä maalämpöpumppu voi tuottaa vain tietyn lämpöistä vettä. Paras vaihtoehto onkin vesikiertoinen lattialämmitys, sillä tällöin lämpötila voidaan pitää alhaisena (n. 30° C) ja lämpökerroin on hyvä. Jos kiinteistössä vaihdetaan toisesta energiamuodosta maalämpöjärjestelmään, ja kyseisessä talossa ei ole ennestään vesikiertoista lämmitysjärjestelmää, voi maalämpöpumpun asentaminen tulla kalliiksi, sillä koko lämmönjakojärjestelmä täytyy uusida. (Rakennusvalvonta, 2013.) Tämä asia on hyvä tiedostaa niin maalämmön myyjänä kuin suunnittelijakin.

### 3. HAJA-ASUTUSALUE ENERGIAYHTEISÖNÄ

#### 3.1 Energiayhteisö

Energiayhteisöllä tarkoitetaan jakamistaloutta, jossa sähkön hankinnan ja tuotannon hyödyt ja vastuut jaetaan yhteisön jäsenten kesken. Energiayhteisön jäsenet tuottavat itse ainakin osan käyttämästään sähköstä. (Pahkala ym., 2018, s.18–19.) Energiayhteisöillä on oikeus perustaa, omistaa ja vuokrata yhteisön sähköverkkoa sekä hallita sitä omatoimisesti. Energiayhteisöön osallistuminen on aina vapaaehtoista ja jäsenillä on oikeus lähteä yhteisöstä. Yleinen periaate on se, että yhteisön jäsen voi valita oman sähkönmyyjänsä, eli näin jokainen jäsen saa olla vaikuttamassa oman sähköntuotantonsa ja -kulutuksensa ympäristövaikutuksiin ja tapaan, jolla oma sähkö on tuotettu. (Pahkala ym., 2018, s.18–19.)

Paikallisten energiayhteisöjen toiminta mahdollistui Suomessa vasta hiljattain, kun Valtioneuvosto hyväksyi uudistuksen, joka mahdollisti pienempien sähköyhteisöjen muodostamisen (Kommunikoiva energia). Paikallisessa eli kiinteistörajat ylittävässä energiayhteisössä naapuriyhteisö on voinut rakennuttaa oman keskinäisen sähköverkon, jossa tuotetaan energiaa yhdessä rakennetulla pientuotannolla, esimerkiksi maalämpöjärjestelmällä, ja jaetaan hyödyt naapureiden kesken (Pahkala ym., 2018, s.21). Yhteisessä pientuotannossa tärkeää on muistaa, että kukaan energiayhteisön jäsenistä ei voi liittää johdoilla sähkönkäyttöpaikkoja yhteen, eikä muodostaa liittymisjohdolla jakeluverkon rinnalle rengasyhteyttä. Tällä varmistetaan sähköturvallisuus ja oikeudenmukaisuus asiakkaiden välillä. (Pahkala ym. 2018, s.21–22.)

Energiayhteisön toiminnassa on siis keskeistä energiantuotannon ja -kulutuksen tarkkojen tietojen kerääminen, hyödyntäminen ja jakaminen jäsenten kesken (Kommunikoiva energia).

### 3.2 Lainsäädäntö

Maalämpöjärjestelmän rakentamiseen tarvitaan maankäyttö- ja rakennuslain mukainen toimenpidelupa sekä vesilaissa säädetty lupa. Toimenpidelupaa pitää hakea rakennusvalvontaviranomaiselta, kun taas vesilaissa säädetyn luvan myöntää aluehallintovirasto. Toimenpideluvan yhteydessä kunta tutkii maaperän ominaisuuksia, kuten onko alueella pohjavesi- tai muinaismuistoalueita tai muita esimerkiksi maan alaisia rakennelmia, jotka voivat olla esteenä tai rajoittamassa energiakaivojen tai maankeruupiirien asentamista. (Ympäristöministeriö, 2013.) Joissakin kunnissa, joissa on vain vähän tai vain osissa kuntaa pohjavesialueita tai maanalaisia rakennelmia, kunta on saattanut vapauttaa energiakaivojen poraamisen alueellaan, mikä tarkoittaa sitä, että toimenpidelupaa ei tarvitse hakea. (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.13.)

Rakennusten energiatehokkuudesta on säädetty rakentamismääräyskokoelmassa, johon kirjatut määräykset täytyy huomioida mitoittaessa maalämpöjärjestelmää. Määräyksissä veloitetaan mitoittamaan käyttöveden lämmitysjärjestelmän teho niin, että lämmintä käyttövettä on riittävästi ja että järjestelmässä virtaavan veden lämpötila on vähintään 55 °C. Määräysten mukaan lämpölaitteisto täytyy suunnitella ja toteuttaa niin, että laitteisto toimii riittävän hyvällä hyötysuhteella huippu- ja osakuormilla. Myöskin lämmitysjärjestelmän teho täytyy mitoittaa niin, että lämpötila rakennuksessa pysyy vakiona lämmityskauden eri aikoina eri säävyöhykkeillä. (Finlex, 2017, luku 2.)

Energiakaivon asentamisella saattaa olla vaikutuksia rakennusta ympäröiviin alueisiin esimerkiksi sellaisissa tapauksissa, joissa maaperän lämmön hyödyntäminen rajoittaa naapurin yhtäläisiä mahdollisuuksia siihen. Tämän vuoksi naapureille täytyy tiedottaa, jos energiakaivo porataan 10 metriä tai yli 10 metrin päähän naapuritontin rajasta. Naapureita täytyy kuulla, jos porakaivo on alle 10 metrin päässä naapuritontin rajasta. (Rakennusvalvonta, 2013.)

Kiinteistönmuodostamislain (Finlex, 1995/554, luku 14) mukaan energiakaivo tai maapiiri voidaan naapurin suostumuksella sijoittaa naapurin puolelle. Tällöin kannattaa varmuuden vuoksi kirjoittaa rasite, joka turvaa laitteiston sijoittamisen py-

syvyyden, vaikka naapurikiinteistön omistaja vaihtuisi. Naapurin kanssa tehty ra-  
sitesopimus liitetään mukaan mahdolliseen toimenpidelupahakemukseen (Juvo-  
nen & Lapinlampi, 2013, s.17).

## 4. TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

Tämän opinnäytetyön päätavoitteena on selvittää teknisiä haasteita energiayhteisössä toimivasta lämmönjaosta. Perinteisesti rakennukseen rakennetaan oma lämmitysjärjestelmä tai lämmitykseen tarvittava energia saadaan kaukolämmöstä. Energiayhteisön tarkoitus on jakaa energiaa asunnosta toiseen tai käyttää jotain yhteistä järjestelmää, josta jokaiseen jaetaan tarvittava energiamäärä. Maalämpöä hyödynnetään monissa suurissa rakennuksissa, joissa etäisyydet ovat suhteellisen pienet. Koska tutkimustyötä kohdennetaan haja-asutusalueen kiinteistölle, onkin mielenkiintoista tietää, miten pitkät etäisyydet vaikuttavat lämmönsiirron energiatehokkuuteen. Tutkimuksessa käydään läpi myös maalämpöjärjestelmään kokoon liittyviä haasteita. Lämpöpumppujen optimaalinen toiminta ja maapiirien tuottaman lämmön optimoiminen ja siirto rakennuksiin vaatii paljon tutkimusta. Tutkimustyö kohdistuu energian jakamisessa eteen tuleviin haasteisiin.

### 4.1 Tutkimusmenetelmä

Tutkimuksessa selvitetään, onko yhteinen maalämpöjärjestelmä CASE-kohteen haja-asutus alueella mahdollinen sekä kannattava energiamuoto ja tämän perusteella tutkia, voiko tulosta yleistää. Tutkimusmenetelmänä lasketaan lämmönsiirtoputkien lämpöhäviöitä, lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöitä ja lämmönkeruupiirien pituus verkosta löytyvillä kaavoilla ja pyritään niillä saamaan käsitys maalämpöjärjestelmän haasteista CASE-kohteen alueella.

### 4.2 Opinnäytetyön CASE-kohteen esittely

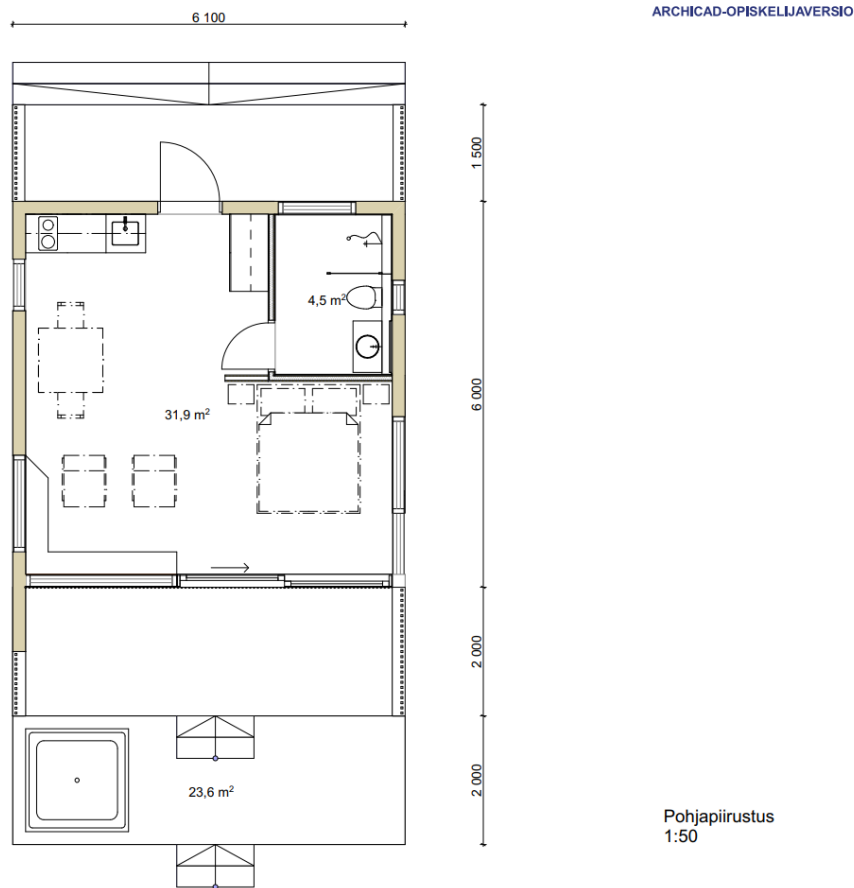
Opinnäytetyössä tarkastelun kohteena on suunnitteluvaiheessa oleva lomakylä, joka sijaitsee Pohjois-Karjalan Ilomantsissa Koitere-järven rannalla. Rakennuksia on yhteensä 10 huvilarakennusta, huolto- ja saunarakennus. Huvilarakennukset ovat kukin 32-neliöisiä. Huoltorakennuksen ympärillä on runsaasti tilaa sijoittaa maalämmön maakeruupiiri.



Kuva 5. Asemapiirros lomakylästä

Kuvassa 5. on lomakylän asemapiirros, jossa huoltorakennuksen ympärillä on sauna ja 10 huvilarakennusta. Lomakylän ympärillä on vesistö.





Kuva 6. Huvilarakennuksen pohjapiirustus

### 4.3 Lämmityksen mitoitus

Huvilarakennuksen lämmitykseen tarvittava huipputeho lasketaan CADMATIC-ohjelman lämpöhäviölaskennalla, ja saadaan vastaukseksi tehon olevan noin 2120 W. Kaikkien huvilarakennusten lämpöhäviö on näin ollen 21200 W. Tähän täytyy lisätä saunarakennuksen ja huoltorakennuksen lämpöhäviöt. Näiden rakennusten pinta-ala on hieman pienempi, joten oletetaan niiden lämpöhäviöksi yhteensä noin 3000 W. Kaikkien rakennusten lämpöhäviö on näin ollen noin 24200 W. Tämän tehoinen maalämpöpumppu voidaan asentaa huoltorakennukseen. Tähän on kuitenkin lisättävä käyttöveden vaatima lämmitysteho. Oletetaan, että lämmitykseen käytettävä vesi tuodaan huoltorakennuksesta suoraan lattia-

lämmityspiireille huvilarakennuksiin. Alhaisella lämmitysveden lämpötilalla saadaan lämpöhäviöitä pienennettyä, koska lämpötilaero ympäristöön nähden on pienempi.

#### 4.4 Lämpimän käyttöveden kiertojohto

Huvilarakennukset ovat ympäri vuoden käytössä, joten lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumppaus olisi aina päällä. Laskussa käytetään Ilomantsin keskimääräisesti kylmintä ajanjaksoa tammikuuta (Liite 1, Ilmatieteen laitos). Laskuissa käytetään siirtoputkena kuvan 8. MX-radiflex Single putkea, jossa U-arvo on  $0,037 \text{ W / mK}$ . Kaavalla 2 voidaan laskea kiertojohdon lämpöhäviöt. Laskuissa käytetään kiertojohdon menoveden lämpötilana  $58^\circ\text{C}$  ja paluuveden lämpötilana  $53^\circ\text{C}$ .

$$\phi'_a = \left( \frac{58\text{K} + 53\text{K}}{2} - (-10,12\text{K}) \right) 2\pi \cdot 1,0 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \cdot 0,037 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$\phi'_a = 15,255.. \text{W/m}$$

Tulokseksi saadulla arvolla saadaan laskettua 120 metrin matkalla olevan kiertojohdon meno- ja paluuputkien lämpöhäviöt kaavalla 3.

$$Q_{w,dis,ls,col} = \frac{1}{1000} \cdot 15,255.. \text{W/m} \cdot 370 \text{ m} \cdot 24 \text{ h}$$

$$Q_{w,dis,ls,col} = 43,9349.. \text{kWh/vrk}$$

Tämän yhden rakennuksen kiertojohtojen lämpöhäviöt ovat yhteensä noin 44 kWh/vrk. Tähän täytyy lisätä kaikkien muiden huvilarakennusten kiertojohtojen lämpöhäviöt. Näitä ei kuitenkaan lasketa, sillä tästä arvosta voidaan jo tehdä johdopäätöksiä.

#### 4.5 Lämmitys maapiirillä

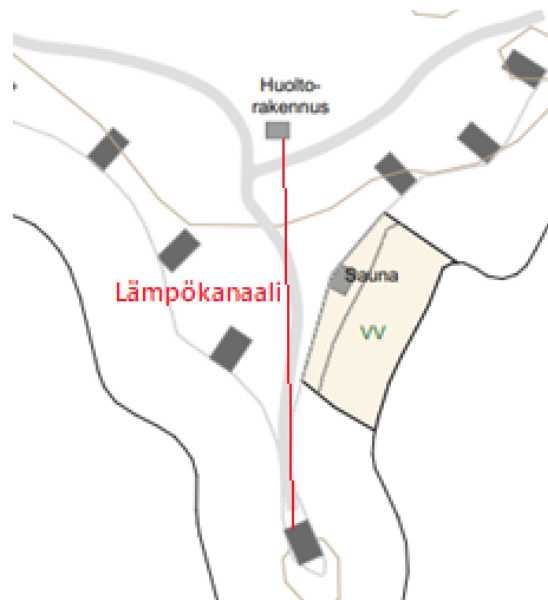
Maapiiri tarvitsee suurehkon pinta-alan. Karkeasti voidaan sanoa, että 1–2 putkimetriä riittää lämmittämään yhden rakennuskuution. Putkisto vaatii pinta-alaa noin 1,5 m<sup>2</sup> yhtä putkimetriä kohden. Putkilenkkien väli on suunnilleen 1,2–1,5 m. (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.37.)

Oletetaan, että maalämpöpumppu CASE-esimerkin haja-asutusalueella sijaitsee huoltorakennuksessa. Täytyy selvittää, kuinka monta metriä maapiiriä tarvitsee kaikkien rakennuksien lämmittämiseen, sekä varmistaa, ettei kauimpana olevalle rakennukselle, joka sijaitsee 120 metrin päässä huoltorakennuksesta, synny kohtuuton lämpöhäviö siirtoputkistossa.

Yhtä lämmitettävää rakennuskuutiota kohti tarvitaan 1–2 putkimetriä. Yhdessä huvilarakennuksessa on 86,4 kuutiometriä. Rakennuksia on yhteensä 10, joten ne yhteensä ovat 864 m<sup>3</sup>. Saunarakennus on noin 50 m<sup>3</sup> ja huoltorakennus on noin 30 m<sup>3</sup>. Yhteensä lämmitettäviä kuutioita haja-asutusalueelle muodostuu siis 944 m<sup>3</sup>. Kun tämän luvun kertoo 1,5 putkimetrillä, saadaan tulokseksi, että rakennusten lämmittämiseen tarvitaan 1416 metriä pitkä maakeruupiiri. Putkisto vaatii pinta-alaa noin 1,5 m<sup>2</sup> yhtä putkimetriä kohden, eli tässä tapauksessa maankeruupiiri vaatii 2 124 m<sup>2</sup>. Maapiiri voi olla maksimissaan 400 metriä, joten tälle alueelle täytyy asentaa neljä lämmönkeruupiiriä (yhden piirin pituudeksi muodostuu 354 m).

#### 4.6 Siirtoputken lämpöhäviöt

Koska kauimpana olevalle rakennukselle matkaa huoltorakennukselta on 120 metriä, selvitetään tällä matkalla syntyvä lämpöhäviö, jotta nähdään, onko kannattavaa tai mahdollista vetää siirtoputkia kyseiseen rakennukseen. Tutkitaan seuraavaksi kuvan 7. osoittaman lämpökanaalin aiheuttamaa lämpöhäviötä.



Kuva 7. Lämpökanaali huoltorakennukselta kaukaisimpaan huvilarakennukseen

Lämpöhäviö lasketaan kaavalla 1 (kts. 3.2.1). Lämpöhäviöitä tarkastellaan lämmityskaudella, tammikuussa, sillä se on keskimääräisesti kylmin kuukausi (Liite 1, Ilmatieteen laitos). Näin saadaan selville, kuinka paljon lämpöhäviöitä korkeimmalla menoveden lämpötilalla aiheutuu. Oletetaan, että menoveden lämpötila on  $40^{\circ}\text{C}$  ja maaperän lämpötila on  $5^{\circ}\text{C}$ . Näillä arvoilla saadaan selville, kuinka paljon lämpöhäviötä syntyy 120 metrin siirto-putkistossa. Laskuissa käytetään siirto-putkena kuvan 8. MX-radiflex Single putkea, jossa U-arvo on  $0,037 \text{ W} / \text{mK}$  (LVINETTI). Oletettavasti siirto-putkena on kuitenkin kuvan 8. vasemmanpuoleinen Twin-putki, jossa lämpöhäviöt ja kustannukset ovat pienemmät, koska kahta erillistä Single-putkea ei tarvita. Laskuilla saadaan kuitenkin tietoa siirto-putkien lämpöhäviöiden suuruusluokasta.



Kuva 8. Lämpöjohtoputket MX-Radiflex Twin ja Single

Seuraavaksi selvitetään siirtoputkien lämpöhäviöt. Ensiksi selvitetään menoputken lämpöhäviö, joka lasketaan kaavalla 1.

$$Q_D = \sum_i 0,037 \frac{W}{mK} \cdot (40^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}) \cdot 120m \cdot 672 h$$

$$Q_D = 104428,8 \text{ Wh} \sim 104,43 \text{ kWh}$$

Laskun perusteella 120 m pitkä menoveden siirtoputki hukkaa lämpöä noin 104,4 kWh. Seuraavaksi tähän täytyy selvittää huvilarakennuksessa aiheutuva jäähtymä lämmitysputkistossa, jotta tiedetään millä arvolla lämmityksen paluuputken lämpöhäviöitä lasketaan. Mitoittamalla CADMATIC-ohjelmalla tilaan lattialämmitys, rakennuksen jäähtymäksi saadaan 9°C. Paluuputken lämpöhäviö lasketaan kaavalla 1.

$$Q_D = \sum_i 0,037 \frac{W}{mK} \cdot (31^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}) \cdot 120m \cdot 672 h$$

$$Q_D = 77575,68 \text{ Wh} \sim 77,58 \text{ kWh}$$

Yhteensä lämpöhäviöitä siirtoputkistossa huvilarakennuksesta huoltorakennukseen kertyy siis helmikuussa 182004,48 Wh, eli noin 182 kWh.

## 5. TUTKIMUSTULOKSET

### 5.1 Lämmönsiirron tekniset haasteet

Opinnäytetyössä tutkittiin kymmenen huvilarakennuksen muodostamaa haja-asutusalueetta, jolla sijaitsee myös sauna ja huoltorakennus. Huvilarakennukset ovat 86 kuutiometriä tilavia, saunarakennus noin 50 m<sup>3</sup> ja huoltorakennus noin 30 m<sup>3</sup>.

Tutkimuksessa selvisi, että tämän suuruisille rakennuksille tarvitaan 1 416 metriä pitkä lämmönkeruupiiri, joka vie maapinta-alaa 2 124 m<sup>2</sup>. Tutkimuksessa varmistettiin, ettei kauimpana olevalle rakennukselle, joka sijaitsee 120 metrin päässä huoltorakennuksesta, synny liian suuri lämpöhäviö siirtoputkistossa. Lämpöhäviöksi saatiin tällä matkalla noin 104,4 kWh. Tämän jälkeen selvitettiin paluuputken lämpöhäviö ja se lisättiin aiempaan lukemaan. Yhteensä lämpöhäviöitä siirtoputkistossa kauimmasta huvilarakennuksesta huoltorakennukseen kertyi tammi-kuussa, eli vuoden kylmimpänä kuukautena noin 182 kWh.

Tutkimuksessa selvisi lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöt, jotka olivat tutkimuksessa käytetyllä toimintaperiaatteella yhteensä noin 44 kWh/vrk kaukaisimpaan huvilarakennukseen.

Painehäviö olisi voinut olla yksi maalämpöjärjestelmän suunnitteluun liittyvistä teknisistä haasteista, mutta sitä ei lähdetty kuitenkaan tässä tutkimuksessa selvittämään, sillä ei ollut tarkkaa tietoa siitä, miten putkisto todellisuudessa tulee kulkemaan (kuinka monta haaraa ja venttiiliä) sekä mikä on lopullinen putki, joka CASE-kohteen alueelle tullaan valitsemaan.

## 5.2 Energiayhteisöjen hallinnolliset haasteet

Energianyhteisöjen hallinnollisiin haasteisiin löytyi kolme asiaa, jotka ovat ratkaistavissa, mutta jotka täytyy selvittää maalämmön suunnittelun yhteydessä. Omistussuhteiden muutokset saattavat aiheuttaa haasteita energiayhteisössä, koska energiayhteisöön osallistumisen on vapaaehtoista ja jäsenillä on oikeus lähteä yhteisöstä. Lisäksi uudelle jäsenelle täytyy opastaa maalämmön kustannukset ja tehdä selväksi energiayhteisöön liittyvät toimet. (Rakennusvalvonta, 2013.) Omistussuhteiden muutoksiin ratkaisuksi löytyi rasitesopimuksen allekirjoittaminen. Sopimus turvaa laitteiston sijoittamisen pysyvyyden, vaikka naapurikiinteistön omistaja vaihtuisi (Juvonen & Lapinlampi, 2013, s.17). Tällöin laissa määritellyt vapaaehtoisuus kumoutuu, kun uusi omistaja sitoutuu allekirjoittaessa asunnon kauppasopimuksen myös rasitteessa mainittuun maalämpöjärjestelmän kustannuksiin.

Toiseksi energiayhteisön haasteeksi ilmeni roolien jako: kuka ryhtyy laskuttajaksi, sillä energiayhteisöstä täytyy tehdä yhtymä, joka jakaa sähköä jäsenilleen ja laskuttaa osakkaitaan sähkön kulutuksesta (Rakennusvalvonta, 2013). Kolmanneksi haasteeksi löytyi kustannuksien maksaminen, etenkin silloin kun energiayhteisöön liittyvien rakennuksien vuosittainen käyttöveden- ja tilojen lämmitystarve on huomattavasti erilainen. Tällöin täytyy laskea, kuinka paljon kenenkin täytyy aluksi ja jatkossa vuosittain maksaa maalämmöstä.

## 5.3 Energiayhteisöjen lainsäädännölliset haasteet

Energia yhteisössä lainsäädännölliseksi haasteena oli selvittää, kuka hoitaa lupasiat kuntoon. Toinen haaste oli, kuka energiayhteisössä sitoutuu huolehtimaan maalämpöjärjestelmän kunnosta asennuksen jälkeen, jotta ne jatkossa täyttävät laissa määritellyn energiatehokkuudelle asetetut vaatimukset (Maankäyttö- ja rakennuslaki, 166§). Kolmanneksi lainsäädännölliseksi haasteeksi määriteltiin suunnitelmavaiheessa rakentamismääräyskokoelman energiatehokkuus ohjeiden ja määräysten huomioon ottaminen ja jatkossa noudattaminen.

## 6. POHDINTA

### 6.1 Tutkimuksen johtopäätökset

Maalämpö on kannattava energiamuoto, sillä se on paitsi rahallisesti kannattava, myös ratkaisu vallitsevaan ekokriisiin. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, onko maalämpö jaettuna energiamuotona kannattava haja-asutusalueella. Tätä lähdettiin tutkimaan CASE-esimerkin avulla, sekä selvittämällä eri lähteiden avulla energiayhteisöjen hallinnolliset ja lainsäädännölliset haasteet.

Tutkimuksissa selvisi, että energiayhteisöjen hallinnollisia haasteita ovat omistussuhteiden muutokset sekä kustannukset, kuten kuka hoitaa maalämpöpumpun käyttämän sähkön laskutuksesta sekä miten asennuskuluista aiheutuneet maksut hoidetaan. Tutkimuksessa tultiin siihen tulokseen, että hallinnollisilla haasteilla ei ole vaikutusta yhteisen maalämpöjärjestelmän kannattavuuteen, sillä omistussuhteiden muutokset saadaan poissuljettua kirjoittamalla rasitesopimus. Myös kustannuksista huolehtiminen täytyy hoitaa kirjoittamalla sopimus energiayhteisön sisällä varmistaen sen, että tietyn kiinteistön asukas hoitaa laskutukset yhteisön jäseniltä.

Opinnäytetyössä selvisi, että energiayhteisöjen lainsäädännöllisiä haasteita on selvittää, kuka energiayhteisön jäsenistä hoitaa lupa-asiat kuntoon maalämpöjärjestelmää suunniteltaessa sekä kuka energiayhteisössä sitoutuu huolehtimaan maalämpöjärjestelmän kunnosta asennuksen jälkeen, jotta ne jatkossa täyttävät laissa määritellyn energiatehokkuudelle asetetut vaatimukset. Lisäksi lainsäädännölliseksi haasteeksi löytyi maalämpöjärjestelmän mitoittaminen niin, että se täyttää jokaisessa rakennuksessa rakentamismääräyskokoelmassa kirjatut energiatehokkuuden määräykset, kuten riittävästi riittävän lämmintä käyttövettä kaikille ja tarpeeksi hyvä hyötysuhde ympäri vuoden kaikissa rakennuksissa. Nämä lainsäädännölliset haasteet aiheuttavat sen, että insinöörin täytyy olla tarkkana mitoittaessa maalämpöjärjestelmää haja-asutusalueelle moneen rakennukseen, jotta järjestelmä täyttää lainsäädännön vaatimukset. Suomen laki mahdollistaa yhteisen maalämpöjärjestelmän toteuttamisen energiayhteisössä, joten lainsäädännölliset haasteet eivät ole esteitä, vaan hidasteita, jotka tulee ottaa huomioon järjestelmän suunnittelussa.



Tutkimustuloksissa havaittiin, että hallinnolliset ja lainsäädännölliset haasteet eivät ole esteitä yhteisen maalämpöjärjestelmän rakentamiseen haja-asutusalueella. Yhteistä maalämpöjärjestelmän kannattavuutta selvittäessä lopputuloksena oli se, että yhteinen järjestelmä on tehtävissä erilaisilla lämpöpumppuratkaisuilla.

Opinnäytetyössä selvisi, että Koitereen helmen alueella on hyvin tilaa sijoittaa 1 416 metriä pitkä lämmönkeruupiiri, joka vie maapinta-alaa 2 124 m<sup>2</sup>. Tämän perusteella voidaankin todeta, että pinta-alan puolesta yhteisen maalämpöjärjestelmän rakentaminen on mahdollista kyseisellä alueella. Seuraavaksi selvitettiin yhteiseen maalämpöjärjestelmään liittyviä mahdollisia teknisiä haasteita. Lämpöhäviötä tarkastellessa saatiin selville, että kauimmasta huvilarakennuksesta huoltorakennukseen kertyy siirtoputkistossa lämpöhäviötä noin 182 kWh vuoden kylmimpänä kuukautena.

Tutkimuksessa käy ilmi, että teknisenä haasteena oleva lämpimän käyttöveden kierto aiheuttaisi niin paljon lämpöhäviöitä, ettei se ole kannattava. Kiertojohto aiheuttaisi lämpöhäviöitä laskujen mukaan vuorokaudessa huoltorakennukselta kauimpaan huvilarakennukseen noin 44 kWh, jolloin vuosittainen lämpöhäviö olisi noin 16,1 MWh. Kaikkiin rakennuksiin tehty kiertojohtoputki olisi näin ollen iso energiaa hukkaava tekijä järjestelmässä. Tutkimuksen johtopäätöksenä onkin tehdä jokaiseen rakennukseen oma lämminvesivaraaja ja lämpöpumppu, jolla veden saisi riittävän kuumaksi ja välttyttäisiin näiltä kiertojohdon lämpöhäviöiltä. Lisäksi tämä järjestelmä säästäisi kustannuksissa, sillä kiertojohtoja ei tarvitsisi asentaa.

Tutkimuksen aikana heräsi kysymyksiä monenlaisista haasteista. Esimerkiksi järjestelmän tasapainotus suurien putkilinjojen takia voisi olla haasteellinen tehtävä. Lämmitysverkoston olisi toimittava jatkuvasti, jotta viivästys lämmityksessä ei olisi liian suurta pitkien linjavetojen takia. Ongelman voisi korjata asentamalla omat lämpöpumput huvilarakennuksiin, jolloin viivästysongelmaa ei olisi.

Tutkimuksen haasteena oli selkiyttää, miten lämpö siirretään rakennuksiin ja sieltä takaisin. Ison lämpöpumpun tuottama lämmin vesi olisi mahdollista siirtää

huvilarakennuksiin suhteellisen pienellä lämpöhäviöllä suoraan lämmitysjärjestelmään, mutta viivästyksset lämmönjakelussa voisivat olla suuria ja lämpimän veden pumppaus vesikiertoiseen lattialämmitykseen voisi olla haasteellista toteuttaa niin, että kaikkiin saadaan haluttu virtaama.

Uutena ideana olisi rakentaa alueelle sellainen järjestelmä, jossa maalämpöä kerättäisiin keruupiirinä pellossa tai porakaivossa ja tämä hyödynnettäisiin huoltorakennuksen lämpöpumpussa. Tämä lämpöpumppu ohjaisi esilämmitetyn veden huvilarakennuksiin, jossa pienempi lämpöpumppu lämmittäisi veden sopivaan lämpötilaan, jolla lämmitettäisiin sekä lattialämmitykseen tarvittavaa että lämpimään käyttövedeen tarvittavaa vettä. Pieni pumppu toimisi hyvällä hyötysuhteella, kun vesi olisi esilämmitetty. Tällä tavalla voitaisiin varmistaa myös se, että huoltorakennuksen lämpöpumpun pettäessä, jokaisella rakennuksella olisi lämpöpumppu sähkövastuksineen käytössä.

Tutkiessani maakeruupiirien ja porakaivojen ominaisuuksia huomasin, että maakeruupiirien huonona puolena on se, että jos rakennuksia haluttaisiin jäähdyttää, olisi maalämpöpumpun hyötysuhde huonompi, kuin porakaivoissa. Maalämpö tulee auringosta, ja koska kesällä aurinko lämmittää maakeruupiirin päällä olevaa maata, ilmiö nostaisi myös keruupiirin nesteen lämpötilaa varsinkin kesän lopussa, mikä huonontaisi lämpöpumpun jäähdyttämisen hyötysuhdetta. Porakaivossa keruupiiri on syvemmällä, joten auringon lämpö ei aiheuttaisi kesällä tätä lämpiämistä. Olisikin aihetta tutkia, voisiko peltoon asennetun keruupiirin sijasta hyödyntää maalämpökaivosta saatavaa lämpöä yhteisesti jaetussa maalämpöjärjestelmässä.

## 6.2 Oman tutkimuksen arviointi

Tutkimuksessa saatiin osittain vastaus siihen, onko maalämpö jaettuna kannattava energiamuoto haja-asutusalueella. Tutkimustulokset vastasivat melko hyvin tutkimukselle asetettuja ennakko-odotuksia, sillä ennakkoon ajateltiin, että yhteinen maalämpöjärjestelmä on kannattava ja mahdollinen energiamuoto. Tutkituilla menetelmillä ei kuitenkaan saatu tuloksia, jotka puoltaisivat tämän kaltaisen järjestelmän rakentamista.

Tutkimuksen aihepiiri laajeni tutkiessa, jolloin päätin tehdä tutkimuksesta yksinkertaisemman, kuin alun perin oli tavoitteena. Tutkimuksen otanta jäi aika suppeaksi, sillä tutkimus perustui vain yhden haja-asutusalueen tarkasteluun, ja siksi tulosten yleistämiseksi voisi harkita useamman rakennuskokonaisuuden syvempää tarkastelemista.

### **6.3 Jatkotutkimusehdotukset**

Tutkimuksen voisi toteuttaa laajemmalla otannalla ottaen tarkasteluun mukaan useampia haja-asutusalueita. Samankaltaisen tutkimuksen voisi toteuttaa myös johonkin toiseen lämmitysjärjestelmän osioon, kuten hake- tai pellettijärjestelmään. Vaihtoehtoisesti voisi myös tehdä tutkimuksen, jossa tutkittaisiin voiko haja-asutusalueella jo ennalta olevilla hake- tai puulämmiteisillä kattiloilla nostaa maalämpöpumpulla tuotettua menoveden lämpötilaa niin, että rakennusten omilla lämmönvaihtimilla saadaan lämmönsiirron hyötysuhde riittävän hyväksi.

## 7. LÄHTEET

- Finlex. (1995) Kiinteistönmuodostamislaki. 1995/554. luku 14. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1995/19950554#L14>
- Finlex. (2017) Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 1010/2017. Luku 2. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010#Pidm45237817260032>
- Jokilaakso, A. (1987). Virtausmekaniikan, lämmönsiirron ja aineensiirron perusteet. Hämeenlinna: Karisto Oy
- Juvonen, J. & Lapinlampi, T. (2013). Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Helsinki. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO\\_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Koskelainen, L., Saarela, R. & Sipilä, K. (2006) Kaukolämmön käsikirja. Energia-teollisuus ry. Helsinki.
- Kommunikoiva energia. Lähienergiayhteisöt. Saatavissa: <https://kommunikoi-vaenergia.karelia.fi/lahiennergiayhteisot/>
- Motiva. Lämpöä omasta maasta. Lämmitysjärjestelmät. Maalämpöpumput. Lämpöpumppuyhdistys Sulpu ry. Saatavissa: [https://www.sulpu.fi/wp-content/uploads/2021/05/Motiva-Lampoa\\_omasta\\_maasta-1.pdf](https://www.sulpu.fi/wp-content/uploads/2021/05/Motiva-Lampoa_omasta_maasta-1.pdf)
- Mäkelä, V-M. & Tuunanen, J. (2015). Suomalainen kaukolämmitys. Oulun ammattikorkeakoulu. Mikkelin ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pahkala, T., Uimonen, H. & Väre, V. (2018). Joustava ja asiakaskeinen sähköjärjestelmä. *Älyverkkotyöryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 33/2018*. Helsinki: Työ- ja Elinkeinoministeriö. Saatavissa: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161119/TEM\\_33\\_2018.pdf](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161119/TEM_33_2018.pdf)
- Rakennusvalvonta. (2013). Maalämpö. Oulun kaupunki. Saatavissa: <https://www.ouka.fi/documents/486338/20578333/13-Maal%C3%A4mp%C3%B6-2013.8.29.pdf/8fe39243-719c-477f-ad72-30cf4ed9622c>
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. (2014). Uusiutuvien lähienergioiden käyttö rakennuksissa. Tampere. RIL 265-2014.

Vainio, S. (2020). Maalämmön kannattavuus kiinteistö kokoluokassa. Energiatekniikan kandidaatintyö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto. Saatavissa: [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/160979/kandidaatinty%C3%B6\\_vainio\\_santeri.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/160979/kandidaatinty%C3%B6_vainio_santeri.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

White F.M. (2011). Fluid Mechanics. University of Rhode Island.

Yamaguchi, H. (2008). Engineering Fluid Mechanics. Netherlands: Springer.

Ympäristöministeriö. (2011). Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi – laskentaopas. Saatavissa: [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Lammitysjarjestelmat- Laskentaopas-2012-150911-CA99FFCB\\_627B\\_48C8\\_8EB0\\_607F36B178A5-30751.pdf/a2f589d0-47ac-5d04-b739-759b514e2245/Lammitysjarjestelmat- Laskentaopa-s-2012-150911-CA99FFCB\\_627B\\_48C8\\_8EB0\\_607F36B178A5-30751.pdf?t=1603260210304](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Lammitysjarjestelmat- Laskentaopas-2012-150911-CA99FFCB_627B_48C8_8EB0_607F36B178A5-30751.pdf/a2f589d0-47ac-5d04-b739-759b514e2245/Lammitysjarjestelmat- Laskentaopa-s-2012-150911-CA99FFCB_627B_48C8_8EB0_607F36B178A5-30751.pdf?t=1603260210304)

Ympäristöministeriö. (2013). Energiakaivo-opas.

Ympäristöosaava.fi. Vedenkulutus. <https://www.ymparistoosaava.fi/sosiaali-ja-terveysala/index.php?k=22672>

## LIITTEET

### Liite 1. Helmikuun ja Tammikuun keskilämpötilat

Ilmatieteen laitos

<https://cdn.fmi.fi/fmiodata-convert-api/preview/667072ac-ddfb-4de1-9179-109c74a147d7/?locale=fi>

Ilomantantsi, Helmikuun keskilämpötila °C	
Vuosi	°C
2010	-12,9
2011	-15,8
2012	-14
2013	-4,9
2014	-2,3
2015	-3,5
2016	-3,5
2017	-8,5
2018	-11,4
2019	-5,4
2020	-3,8
2021	-14,4
<b>Keskiarvo</b>	<b>-8,37</b>

Ilomantantsi, Tammikuun keskilämpötila °C	
Vuosi	°C
2010	-17,2
2011	-10,7
2012	-10,2
2013	-8,9
2014	-11
2015	-9,1
2016	-17
2017	-7,2
2018	-5,8
2019	-11,7
2020	-2,7
2021	-9,9
<b>Keskiarvo</b>	<b>-10,12</b>