



Karelia-ammattikorkeakoulu
Energia- ja ympäristötekniikan Insinööri (AMK)

Kiinteistöjen lämmitysratkaisujen tutkiminen ja kannattavuuden tarkastelu

Teemu Heikkinen

Opinnäytetyö, toukokuu 2023

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Teemu Heikkinen

Nimeke
Kiinteistöjen lämmitysratkaisujen tutkiminen ja kannattavuuden laskeminen

Toimeksiantaja
Ei julkinen

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä tutkittiin, olisiko lämmitysratkaisuja taloudellisesti kannattavaa lähteä muuttamaan. Kaukolämmön osuus kiinteistöjen lämmityksessä on pudonnut lauhdelämmön talteenoton myötä ja siten tavoitteena oli selvittää, kannattaisiko se korvata maalämmöllä tai sähkökattilalla tuotetulla lämmöllä.

Toimeksiantajalta saatiin tutkittavaksi kolme eri kokoluokan liikekiinteistöä, joihin tehtiin kaukolämmön kulustietojen pohjalta mitoitus maalämpö- ja sähkökattila-järjestelmille. Kaikille mitoituksille tehtiin kannattavuuslaskelmat nykyarvon diskonttauskaavalla. Lisäksi tehtiin elinkaarikustannusten vertailu kaikille kolmelle liikekiinteistölle. Laskennan työkaluna käytettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa.

Jokaiselle liikekiinteistölle saatiin vähintään yksi taloudellisesti kannattava vaihtoehto kaukolämmön korvaajaksi, pienemmille liikekiinteistöille useita. Taloudellinen kannattavuus olisi huomattavaa, ja sillä olisi myös vaikutusta kiinteistöjen energiatehokkuuteen ja hiilijalanjäljen pienentämiseen.

Kieli
suomi

Sivuja 33
Liitteet 5
Liitesivumäärä 17

Asiasanat
lämmitys, kaukolämmitys, maalämpö, sähkö, kattilat, kannattavuus



THESIS
May 2023
Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Teemu Heikkinen

Title
Investigation of Real Estate Heating Solutions and Examining Their Profitability

Commissioned by
an anonymous commissioning company

Abstract

This thesis aimed to investigate whether it would be economically viable to change heating solutions. The share of district heating in real estate heating has fallen with the recovery of condensate heat and therefore the goal was to find out whether it could be replaced with geothermal heat or heat produced by an electric boiler.

Three commercial properties of different sizes were received from the client for examination, for which the measurements were made for geothermal and electric boiler systems based on district heating consumption data. Profitability calculations were made for all dimensionings using the present value discount formula. In addition, a life cycle cost comparison was made for all three commercial properties. The Excel spreadsheet program was used as a calculation tool.

At least one economically viable alternative was obtained for each commercial property to replace district heating, for smaller commercial properties several. The financial profitability would be considerable and it would also have a good effect on the energy efficiency of buildings and reducing the carbon footprint.

Language
Finnish

Pages 33
Appendices 5
Pages of Appendices 17

Keywords
heating, district heating, geothermal heating, electric, boilers, profitability

Sisältö

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | Johdanto | 5 |
| 2 | Kaukolämpö | 6 |
| 3 | Lämmön hyödyntäminen kylmälaitteista | 7 |
| 3.1 | Lauhdutus | 8 |
| 3.2 | Lauhteen maahan lataaminen | 9 |
| 4 | Rakennuksen energiatehokkuus | 10 |
| 5 | Maalämpö | 10 |
| 5.1 | Maalämmön mitoitus | 12 |
| 5.2 | Energiakaivot | 13 |
| 5.3 | Maalämpöpumppu | 14 |
| 5.4 | Sähköliittymän suurentaminen | 15 |
| 6 | Sähkökattila | 16 |
| 6.1 | Vastuskattila | 16 |
| 6.2 | Sähkökattilan mahdollisuudet | 16 |
| 7 | Kannattavuuden tarkastelu | 17 |
| 8 | Tutkimuksen tavoite | 17 |
| 9 | Työssä käytetyt menetelmät | 18 |
| 9.1 | Tutkimuskohteiden valinta ja nykytilanteen selvitys | 18 |
| 9.2 | Vaihtoehtoisten ratkaisuiden laskeminen kohteisiin | 19 |
| 10 | Tutkimuksen kuvaus | 19 |
| 10.1 | Lähtötietojen tarkastelu | 19 |
| 10.2 | Liikekiinteistö suuren lämmitysjärjestelmien mitoitus | 20 |
| 10.3 | Liikekiinteistö keskisuuren lämmitysjärjestelmien mitoitus | 21 |
| 10.4 | Liikekiinteistö pienen lämmitysjärjestelmien mitoitus | 22 |
| 10.5 | Maalämpöjärjestelmien kannattavuuden tarkastelu | 22 |
| 10.6 | Sähkökattilajärjestelmien kannattavuuden tarkastelu | 23 |
| 11 | Tulokset | 24 |
| 11.1 | Liikekiinteistö suuren mitoituksien tulokset | 24 |
| 11.2 | Liikekiinteistö keskisuuren mitoituksien tulokset | 25 |
| 11.3 | Liikekiinteistö pienen mitoituksien tulokset | 26 |
| 11.4 | Maalämpöjärjestelmien kannattavuuden tulokset | 26 |
| 11.4.1 | Liikekiinteistö suuri | 26 |
| 11.4.2 | Liikekiinteistö keskisuuri | 27 |
| 11.4.3 | Liikekiinteistö pieni | 27 |
| 11.5 | Sähkökattilajärjestelmien kannattavuuden tulokset | 28 |
| 11.5.1 | Liikekiinteistö suuri | 28 |
| 11.5.2 | Liikekiinteistö keskisuuri | 29 |
| 11.5.3 | Liikekiinteistö pieni | 29 |
| 11.6 | Kumulatiiviset elinkaarikustannukset nykyarvossa | 29 |
| 12 | Tutkimuksen tulosten pohdinta | 31 |
| 12.1 | Liikekiinteistö suuren tulosten pohdinta | 32 |
| 12.2 | Liikekiinteistö keskisuuren tulosten pohdinta | 32 |
| 12.3 | Liikekiinteistö pienen tulosten pohdinta | 33 |
| | Lähteet | 34 |

Liitteet

Liite 1 Liikekiinteistö suuren maalämmön mitoituksen työvaihe

Liite 2 Liikekiinteistö keskisuuren maalämmön mitoituksen työvaihe

Liite 3 Liikekiinteistö pienen maalämmön mitoituksen työvaihe

Liite 4 Liikekiinteistö suuren maalämmön mitoituksen tulos

Liite 5 Liikekiinteistö keskisuuren maalämmön mitoituksen tulos

Liite 6 Liikekiinteistö pienen maalämmön mitoituksen tulos

Liite 7 Liikekiinteistö suuren maalämpö-järjestelmän kannattavuuden nykyarvolaskelma

Liite 8 Liikekiinteistö keskisuuren maalämpö-järjestelmän kannattavuuden nykyarvolaskelma

Liite 9 Liikekiinteistö pienen maalämpö-järjestelmän kannattavuuden nykyarvolaskelma

Liite 10 Liikekiinteistö suuren sähkökattila-järjestelmän kannattavuuden nykyarvolaskelma

Liite 11 Liikekiinteistö keskisuuren sähkökattila-järjestelmän kannattavuuden nykyarvolaskelma

Liite 12 Liikekiinteistö pienen sähkökattila-järjestelmän kannattavuuden nykyarvolaskelma

Liite 13 Liikekiinteistö keskisuuren yhdistelmämitoituksen kannattavuuden nykyarvolaskelma

Liite 14 Liikekiinteistö pienen yhdistelmämitoituksen kannattavuuden nykyarvolaskelma

Lyhenteet

kWh= Kilowattitunti.

MWh= Megawattitunti.

W= Watti.

kW= Kilowatti.

P= Teho.

I= Virta.

U= Jännite.

A= Ampeeria.

V= Volttia.

SPF= Lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin

1 Johdanto

Toimeksiantajan antama tehtävä oli tutkia heidän nykyisellään käytössä olevalle kaukolämpö-lämmitykselle vaihtoehtoista ratkaisua, jossa vaihtoehtoina olivat maalämpö-lämmitys tai sähkökattilalla tehty lämmitys. Lämmitysratkaisujen tutkintaa ja niiden kannattavuuden tarkastelua tehtiin toimeksiantajan valitsemille kolmelle eri kokoluokan liikekiinteistölle.

Toimeksiantaja on päässyt siihen tilanteeseen, että kaukolämmön kannattavuutta kannattaa kyseenalaistaa sillä, että heidän kiinteistöissään kaukolämmön osuus kokonaislämmityksestä on pudonnut huomattavasti lauhdelämmön talteenottojärjestelmien käyttöönoton jälkeen. Kaukolämmön vuosittaiset kustannukset ovat huomattavat ja siksi toimeksiantajan käyttämän edullisen sähkön myötä vaihtoehtoiset ratkaisut tuli tutkia. Työllä voi olla hyvinkin suuri vaikutus toimeksiantajan energiatehokkuuden parantamiseen ja hiilijalanjäljen pienentämiseen. Toimeksiantajan käyttämä täysin uusiutuvasta energiasta saatu sähkö on edullisella hinnallaan varteenotettava tekijä tässä työssä.

Tässä työssä kaikille eri kokoluokkien kiinteistöille mitoitetaan korvaavat maalämpö- ja sähkökattila- järjestelmät, joiden perustana käytetään nykyisiä liikekiinteistöjen kaukolämmön, sähkön ja veden kulutuksen tietoja. Vaihtoehtoisista ratkaisuista tehdään kannattavuus laskelmat nykyarvon diskonttauskaavalla ja tavoitteena on selvittää, olisiko kohteisiin taloudellisesti järkevää lähteä muuttamaan lämmitysratkaisua. Lopussa vertaillaan myös kaikkien kolmen lämmitystavan kumulatiivisia elinkaarikustannuksia nykyarvossa.

Mitoituksissa ja investointilaskelmissa hyödynnetään Nibe-maalämmön mitoitushjelmaa ja alan ammattilaisten ja tavarantoimittajien antamia tietoja. Laskelmat tehdään käyttämällä excel- taulukkolaskentaohjelmaa.

2 Kaukolämpö

Kaukolämmityksellä tarkoitetaan rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen käytettävän lämmön tuotantoa ja jakelua asiakaskiinteistöille. Lämpö tuotetaan keskitetysti lämpölaitoksessa, josta se jaetaan asiakkaalle verkon välityksellä. Lämmön siirtoaineena käytetään vettä tai höyryä. Kaukolämmön asiakkaita ovat asuintalot, liikerakennukset, teollisuusrakennukset ja julkiset rakennukset. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 25.)

Kaukolämpölasku asiakkaalle koostuu perusmaksusta, joka määräytyy tilaustehon tai vesivirran perusteella, ja asiakkaan kuluttamasta energiamäärästä. Kuluttettu energiamäärä voi perustua mittaukseen, voi olla arviolaskutusta määräaikaisella tasauksella tai voi olla tasaerälaskutusta määräaikaisella tasauksella. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 447.)

Teho- tai vesivirtamaksun määräävänä tekijänä käytetään mitoituslämpötilaa, jolla katetaan käyttöveden ja lämmityksen lämmöntarve. Kaukolämpöyhtiö on velvollinen takaamaan lämmön riittävyyden mitoituslämpötilaan, mikä on talven keskimääräinen maksimiulkolämpötila. Pohjois-Karjala kuuluu vyöhykkeeseen 3, ja sen mitoittava ulkoilman lämpötila on -32 °C . (Kempainen & Kiinteistömedia, 2022, 17.)

| Ilmastoalue | Mitoittava ulkolämpötila [°C] | Vuoden keskilämpötila [°C] |
|-------------|-------------------------------|----------------------------|
| I | -26 | 5,3 |
| II | -29 | 4,6 |
| III | -32 | 3,2 |
| IV | -38 | -0,4 |



Kuva 1. Suomen mitoitus- ja keskilämpötilat ja säävyöhykkeet. (Ympäristöministeriö 2017.)

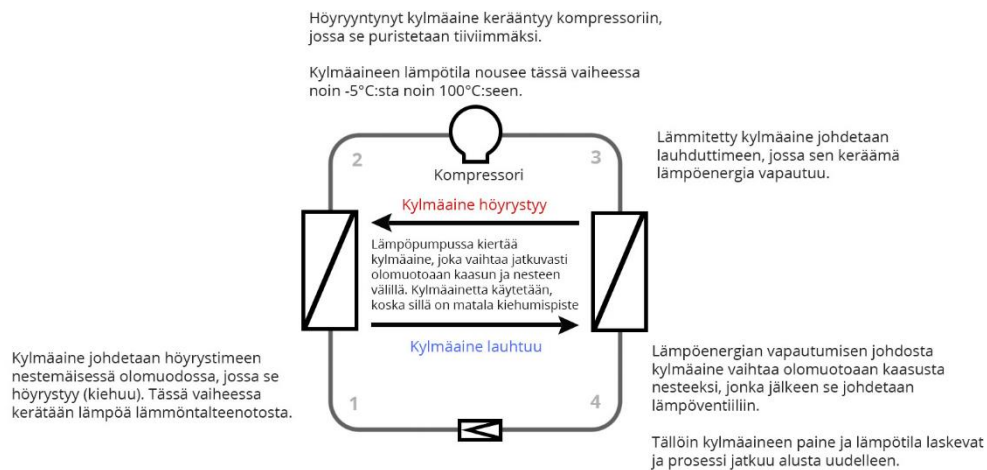
Energiamaksu on maksu joka perustuu kulutettuun ja mitattuun energiaan (MWh). Energian hinta vaihtelee eri kaukolämpöyhtiöiden välillä. Kempainen A. & Kiinteistömedia 22, 18.)

Irtautuessa kaukolämmöstä, esimerkiksi vaihtamalla maalämpöön, on maksettava liittymismaksuun verrattava irtautumismaksu. Irtautuminen maksaa yleensä noin 5 000 – 10 000 euroa ja se kattaa lämpöjohtojen ja mittalaitteiden purkamisen. Tarkemman irtautumismaksun suuruuden saa kysymällä kaukolämpöyhtiöstä. (Kempainen A. & Kiinteistömedia. 22, 18.)

3 Lämmön hyödyntäminen kylmälaitteista

Kylmälaitteen toiminta perustuu höyrypuristusprosessiin, joka tapahtuu sähköllä toimivalla kompressorilla. Prosessissa jäähdytysaine kiertää umpinaisessa put-

kistossa muuttaen olomuotoaan. Kylmälaitteen putkiston höyrystin on laitteen sisällä ja lauhdutin ulkopuolella. Nestemäinen kylmäaine höyrystyy höyrystimessä kaasuksi ja sitoo lämpöä. Lauhduttimessa kaasu luovuttaa lämpöä tiiviytyessään jälleen nesteeksi. (Marjomaa 2012.)



Kuva 2. Kylmälaitteen toiminta (Nilan.fi 2023.)

3.1 Lauhdutus

Kylmäjärjestelmän välillisessä lauhdutuksessa lauhdelämpöä siirtyy lauhduttimessa väliaineeseen. Väliaineena voi käyttää esimerkiksi vesi-glykoliliuosta, jolla vältetään väliaineen jäätyminen. Lauhdelämpöä voi käyttää käyttöveden lämmitykseen ja tilan lämmittämisessä lämmittämällä tuloilmaa tai lattialämmitysverkostoa ja lisäksi sitä voi käyttää lämpöpumpun lämmönlähteenä. (Suuronen 2012, 2.)

4 Rakennuksen energiatehokkuus

Energiatehokkuudella tarkoitetaan ratkaisuja, joilla pienennetään rakennuksen käyttökustannuksia ja hillitään energian kustannuksia energian hinnan noustessa. Energiatehokkuudella voidaan pienentää rakennuksen käyttökustannuksia ja hillitsemään energian kustannusten nousua energian hinnan noustessa.

Kaikesta Suomessa käyttämästämme energiasta noin 40 prosenttia kuluu rakennuksissa. Sillä on siten suuri vaikutus myös ilmastoa lämmittäviin hiilidioksidipäästöihin. Suomenkin energiatehokkuussäädökset perustuvat EU:n säätämään energiatehokkuusdirektiiviin, joka tuli alun perin voimaan 2010. (Ympäristöministeriö 2023.)

Rakennusten energiatehokkuuden vertailuun ja parantamiseen myynti- ja vuokraustilanteissa käytetään työkaluna energiatodistusta. Energiatodistus on oltava olemassa uudelle rakennukselle ja silloin kun rakennusta myydään tai vuokrataan. Energiatodistuksesta näkee rakennuksen energialuokituksen. (Ympäristöministeriö 2023.)

5 Maalämpö

Maalämpö on pääosin aurinkoenergiaa, joka on varastoitunut maaperään, kalliin ja vesistöön. Maalämmön keruu tapahtuu nykyisellään pääasiassa suljetujen U-putkien avulla. Auringon lämpösäteilystä peräisin oleva maalämpö on osittain uusiutuvaa. Geoterminen lämpö eli Geoterminen energia syntyy osittain maapallon sisällä tapahtuvissa radioaktiivisissa hajoamisissa, joka johtuu maankuoreen.

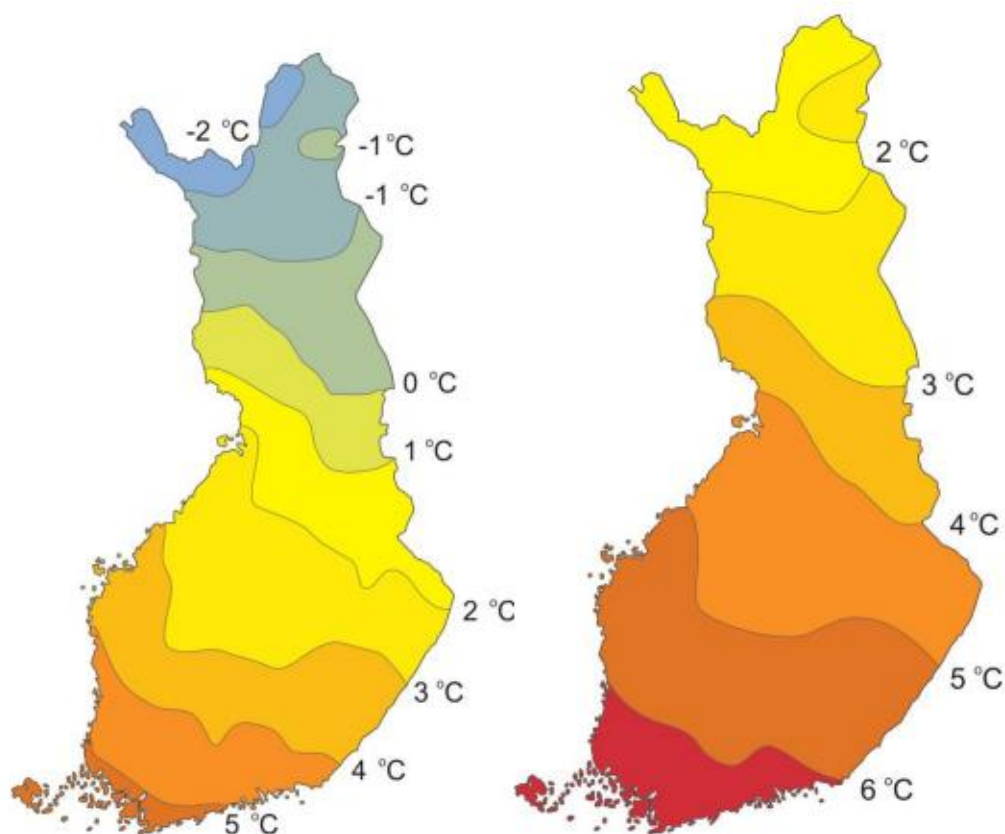
Geotermistä energiaa voidaan hyödyntää kolmella eri tavalla. Suljetulla järjestelmällä, jossa lämmönkeruuneste virtaa keruuputken sisällä. Avoimella järjes-

telmällä, jossa lämmönkeruuneste on kosketuksissa peruskallion kanssa. Ja niin sanotulla tehostetulla geotermisellä järjestelmällä (EGS, Enhanced Geothermal system), jossa peruskallion rakoverkostoa avarretaan voimakkaalla yli-paineistuksella. (Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön julkaisuja 2022.)

Maa- ja kallioperän vuotuinen keskilämpötila pintaosissa on hieman korkeampi Suomessa kuin ilman vuotuinen keskilämpötila. Maantieteellisen sijainnin mukaan erot vaihtelevat hieman, ja ne voivat vaihdella myös paikallisesti. Maanpinnan keskilämpötilaan vaikuttaa vuosittainen ilmalämpötila, mutta esimerkiksi Etelä-Suomessa se vakiintuu 5 - 6 asteeseen n. 14 - 15 m:n syvyydessä. Geotermisen energia nostaa lämpötilaa keskimäärin 0,5 - 1 astetta/ 100 m syvemmällä kallioperässä. Siten esimerkiksi Pohjois-Karjalassa keskimääräisen maanpinnan lämpötilan ollessa 4 - 5 astetta, 300 metrin syvyydessä kallioperän lämpötila on noin 5,5 - 7 astetta. (Ympäristö-opas 2013, 7.)

Kivilajien lämmönjohtavuuksissa on eroja, ja kallioperän lämpöominaisuuksiin vaikuttavat pohjaveden liikkeet, kallioperän koostumus ja rikkonaisuus. Pohjavedellä ja kallioperän rikkonaisuudella on tehostava vaikutus lämmön siirtymiseen maankamarassa. Kallioperän rikkonaisuudella voi olla hankaloittava vaikutus poraukseen. (Ympäristö-opas 2013, 7.)

Suomessa sijaitsevan kallioperän kivilajien lämmönjohtavuudet poikkeavat toisistaan. Esimerkiksi graniitin lämmönjohtavuus on keskimäärin 3,4 W/(mK) ja kiilleliuskeella se on 2,0 W/(mK). Lämmönjohtavuudella voi olla suuri vaikutus energiakaivon porareikien syvyyteen ja määrään. Suuremmissa kohteissa suositellaankin tehtävän tarkempia tutkimuksia lämmönjohtavuuden ja geologisten ominaisuuksien selvittämiseksi. (Ympäristö-opas 2013, 27.)



Kuva 4. Vasemmalla ilmalämpötilan vuotuinen keskiarvo vuosilta 1971-2000 ja oikealla maanpinnan lämpötilan vuotuinen keskiarvo. (Ympäristö-opas 2013, 7.)

5.1 Maalämmön mitoitus

Tärkein yksittäinen tekijä maalämpöjärjestelmää mitoittaessa on rakennuksen energian tarve. Keruuputkiston mitoituksessa vaikuttavat myös kallion ja maaperän laatu. Mitoitukseen voi vaikuttaa myös sähkökeskuksen ominaisuudet kuten sulakekoon riittävyys. Lämmönjakojärjestelmän lämpötilalla voi olla vaikutusta laitteiston hyötysuhteeseen ja keruupiirin pituuteen. (Ympäristö-opas 2013, 30.)

Lämpöpumppu voidaan valita ja mitoittaa maalämpöjärjestelmän eri osat, kun rakennuksen lämmöntarve on selvillä. Mitoitukseen vaikuttaa keruuputkiston pituus ja määrä, energiakaivon porareian syvyys ja niiden määrä. Mitoituksessa on myös huomioitava mahdollisen käyttöveden lämmitys. Keruuputkistoa mitoittaessa pitää huomioida porareian kokonaissyvyys, tehollinen syvyys ja siirto-put-

kiston matka porareialtä lämpöpumpulle. Mitoitukseen voi vaikuttaa myös rakennuksen sähkökeskuksen ominaisuudet, kuten sulakekoon riittävyys. (Ympäristö-opas 2013, 30.)

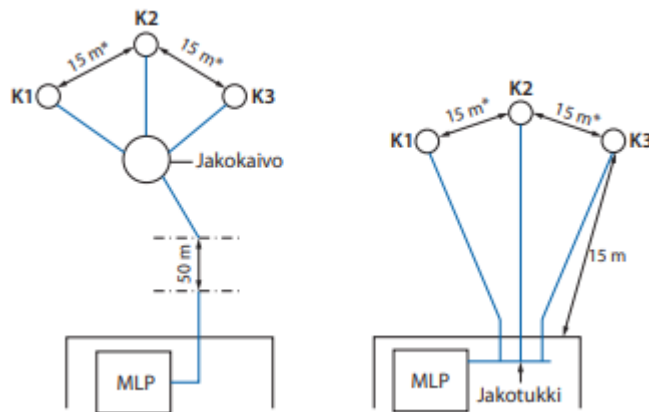
Täystehomitoituksella voidaan tuottaa kaikki rakennuksen tarvitsema energia, myös kylmimpinä päivinä. Maalämpö voidaan mitoittaa myös osateholle, missä lämpöpumput kattavat 60 – 85 % tehosta, ja se kattaa 90 – 98 % rakennuksen vuosienergiasta. (Ympäristö-opas 2013, 31.)

Lämpökerroin COP kuvaa lämpöpumppujen tehokkuutta ja se kertoo lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian suhteessa kuluttamaansa sähköenergiaan. Suomessa on saatu lämpökertoimen keskiarvoksi noin kolme vuonna 2013, mikä tarkoittaa, että yhdellä ostetulla kilowattitunnilla sähköenergiaa saadaan kolme kilowattituntia maaperän lämpöenergiaa. Hyötysuhdetta ja lämpökerointa parantaa matala lämmönjakoverkoston lämpötila, ja sitä kuvaa paremmin vuosilämpökerroin SPF. Energiakaivojen mitoitukseen käytetään siihen tarkoitettuja laskentaohjelmia ja suunnitelmat tekee maalämpöjärjestelmän suunnittelija. (Ympäristö-opas 2013, 31.)

5.2 Energiakaivot

Energiakaivot porataan maahan ja niiden syvyys ja määrä riippuu energiantarpeesta. Yleisesti energiakaivot porataan 120 - 300 metrin syvyyteen, mutta energian tarpeen mukaan voidaan porata syvemmällekin. Edullisempaa on kuitenkin porata useampia reikiä. Energiakaivon maaperäkerroksen osuudelle asennetaan suojaputki, joka estää irtoaineksen pääsyn reikään ja pohjavesiin. Pohjavesialueilla suojaputkea tulee vähintään 6 metriä kallioon upotettuna. (Ympäristö-opas 2013, 33.)

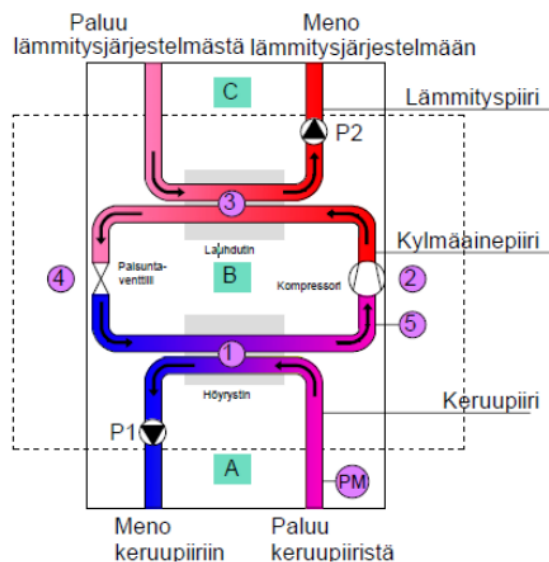
Energiakaivo porataan joko suoraan alaspäin tai vinoon, silloin kun tilaa on vähemmän. Suoraan alaspäin porattavien kaivojen välillä tulee olla 15 metriä väliä (Kuva 5). (Ympäristö-opas 2013, 34.)



Kuva 5. Energiakaivojen etäisyydet. (Maalämpöpumput kiinteistöjärjestelmät RT-kortti 2018, 7.)

5.3 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumpussa maaperästä, kallioperästä tai vesistöistä kerätty energia siirretään sähkön avulla kiinteistön käyttöön. Keruupiirissä kulkevaan lämmönkeruunesteeseen sitoutunut energia siirretään pumpun avulla lämpöpumpun höyrystimeen. Energia siirtyy höyrystimessä keruupiiristä lämpöpumpun kylmäainepiiriin. Lämpöpumpun kompressorin avulla kylmäaine kierrätetään lauhdittelemelle, jossa energia siirtyy kylmäaineesta lämmityspiiriin (kuva 6). (Ympäristö-opas 2013, 10.)



Kuva 6. Maalämpöpumpun toimintaperiaate. (Ympäristö-opas 2013, 12.)

5.4 Sähköliittymän suurentaminen

Sähköliittymän liittymismaksu määräytyy sähköverkkoon liitettävän kohteen sijainnista, sähköntarpeen mukaisesta pääsulakekoosta tai liittymistehosta. Liittymismaksuun sisältyy sähköverkon rakentaminen liittymiskohtaan, asiakkaan sähkölaitteiston kytkeminen sähköverkkoon ja kapasiteettivarausmaksu. Kapasiteettivarausmaksu koostuu olemassa olevan sähköverkoston siirtokapasiteetin varaamisesta tai lisäämisestä aiheutuvasta kustannuksesta. (PKS 2019.)

Liittymismaksuvyöhykkeitä on neljä erilaista. Vyöhyke 1:ssä liittämiskohta sijaitsee asemakaava-alueella, kun taas muut vyöhykkeet ovat kauempana olemassa olevista muuntamoista. Lisäliittymismaksu on liittymismaksujen erotus uuden ja vanhan liittymäkoon välillä. (PKS 2019.)

| PIENJÄNNITELIITTYMIEN LIITTYMISMAKSUT | | | |
|--|----------------------|-----------|------------|
| (ei arvonlisäveroa, palautuskelpoinen) | | | |
| PKS Kotiliittymä, PKS Mökkiliittymä, PKS Yrityслиittymä | | | |
| Hinnasto on voimassa 1.1.2019 alkaen PKS Sähkönsiirto Oy:n toimialueella. | | | |
| LIITTYMÄN KOKO | Vyöhyke 1 | Vyöhyke 2 | Vyöhyke 2+ |
| 3 x 25A | 3060 € | 4275 € | 7450 € |
| 3 x 35A | 4290 € | 5830 € | - |
| 3 x 50A | 5830 € | 8120 € | - |
| 3 x 63A | 7330 € | 9970 € | - |
| 3 x 80A | 9270 € | 12330 € | - |
| 3 x 100A | 11570 € | 14980 € | - |
| 3 x 125A | 14450 € | 18250 € | - |
| 3 x 160A | 18460 € | 22880 € | - |
| 3 x 200A | 23070 € | 28200 € | - |
| Pienjännite teholiittymä 0,4 kV, minimimaksu, kaikki vyöhykkeet | 500 € + 130,8 €/kVA | | - |
| KESKI- JA SUURJÄNNITETEHOLIITTYMIEN LIITTYMISMAKSUT (lisätään alv. 24 %, ei palautuskelpoinen) | | | |
| LIITTYMÄN KOKO | Minimimaksu | | |
| Keskijänniteteholiittymä 20 kV, kaikki vyöhykkeet | 1000 € + 118,5 €/kVA | | |
| Keskijänniteteholiittymä 20 kV, liittämiskohta sähköasemalla | 1000 € + 39,6 €/kVA | | |
| Suurjänniteteholiittymä 110 kV, kaikki vyöhykkeet | 6500 € + 30,2 €/kVA | | |

Kuva 7. Liittymismaksut (PKS.)

6 Sähkökattila

Sähkökattilalla saadaan tuotettua lämmitysenergiaa sähkövastuksilla. Tuotettu lämpö jaetaan vesikiertoisella lämmönjakojärjestelmällä lämmitettäviin tiloihin. Sähkökattilalla on edullinen hankintahinta ja voidaan yhdistää vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään. Sähkökattilaa käytetään yleensä varaajan kanssa ja järjestelmään voi liittää myös aurinkoenergian. (Motiva 2023.)

6.1 Vastuskattila

Vastuskattila on yksi sähkökattilan menetelmistä ja siinä kuuma vesi tai höyry saadaan aikaiseksi kattilaveden lämmittämiseksi. Kattilan sisällä oleva metallinen vastus muuttaa sähköenergian lämpöenergiaksi siirtämällä sähköstä saamansa energian kattilaveteen. Vastuskattilan tehoa pystytään säätämään syötettävän sähkövirran määrää muuttamalla. Tehonsäätöä voi tehdä myös paine- ja lämpötilamittauksiin perustuvilla säädöillä.

Kattilassa sähkövirta kulkee veteen upotettujen vastusten kautta vastusyksiköille ja saa siten metallisen vastuksen kuumenemaan. Suomessa käytettävät vastuskattilat toimivat pääsääntöisesti matalajännitteellä ja niiden syöttö tapahtuu prosessisähkökeskukselta tai kojeistolta. Vastuksen ja siten lämmityksen ohjaus sekä niiden säätö onnistuu niin manuaalisesti kuin automaattisesti. (Ahonen T. 2018, 15.)

6.2 Sähkökattilan mahdollisuudet

Tulevaisuudessa voidaan nähdä sähkökattiloiden yleistyvän muiden tuotantomuotojen rinnalla. Lämmöntuotanto sähkökattilalla voi olla kannattavaa sähkön hinnan laskiessa. Sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjen ollessa matalat, voi sähkökattila olla jopa helpoin ja kustannustehokkain ratkaisu hiilidioksidipäästö-

jen vähentämiseen lämmön tuotannossa. Sähkökattilalla on maltilliset investointikustannukset ja sen toiminta on savukaasutonta. Sähkökattilalla on hyvin korkea hyötysuhde, yli 99 %. (Motiva 2021.)

7 Kannattavuuden tarkastelu

Investoinnin suunnittelu ja eri vaihtoehtojen vertailu on erittäin tärkeää, koska suunnitteluvaihe määrittää kustannukset. Toteutusvaiheessa on vaikeaa toteuttaa säästäviä muutoksia. Investointeja voidaan luokitella eri ryhmiin ja asettaa niille tuottovaatimukset. Tuottovaatimusten perusteella voi tehdä päätöksen, suorittaako investoinnin vai tarvitseeko suunnitelmia muuttaa.

Tuottovaatimuksen on aina oltava suurempi kuin rahoituksen hinnan. Investointilaskelmalla pyritään selvittämään investoinnin pitoajalta investoinnin järjestyminen ja kannattavuus.

Investointilaskelmat ovat tarpeellisia varsinkin silloin kun investointivaihtoehtoja on paljon ja niistä tulisi löytää paras. Laskelmat ovat järkeviä myös liiketoimintamielessä, ja niitä tehtäessä joudutaan kiinnittämään huomiota toteutuskustannuksiin, saataviin tuottoihin sekä rahoitusvaihtoehtoihin. Investoinnin kannattavuutta voi arvioida nykyarvomenetelmällä, annuiteettimenetelmällä, sisäisen korkokannan-menetelmällä, pääoman tuottoaste-menetelmällä ja takaisinmaksuajan-menetelmällä. Investointilaskelmiin tarvittavia arvoja ovat tuotot, kulut, laskentakorkokanta, investoinnin pitoaika ja kohteen jäännösarvo. (Yritystulkki 2023.)

8 Tutkimuksen tavoite

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää 3 esimerkkikohteella, olisiko toimeksiantajan kannattavaa lähteä muuttamaan heidän lämmitysratkaisujaan. Lähtöti-

lanteessa kohteita lämmitettiin kaukolämmöllä ja kylmälaitteista saadulla lämmöntalteenotto-järjestelmällä. Tavoitteena oli saada riittävä selvitys siitä, olisiko kaukolämpö kannattavaa taloudellisesti korvata maalämpö-järjestelmällä tai sähkökattilalla tuotetulla lämmöllä. Sen lisäksi työn tarkoituksena oli tehdä esiselvitystä siitä, mitä asioita tulisi ottaa huomioon, kun lämmitysratkaisun tapaa lähdetäisiin muuttamaan. Työn tavoitteena oli selvittää hintatietoja vaihtoehtoisille ratkaisuille ja niiden ja nykyisten kulujen kautta laskea, olisiko muutos järkevää. Tutkimisesta oli myös tarkoituksena saada kattavan selvityksen lisäksi toimeksiantajalle käyttökelpoinen excel-laskupohja, jota he voisivat käyttää jatkossa muidenkin kohteiden tarkasteluun vain lähtöarvoja muuttamalla.

9 Työssä käytetyt menetelmät

Tapaustutkimus on tutkimus, jossa pyritään saamaan monipuolinen ja kokonaisvaltainen kuva tapauksesta. Tapaustutkimus voidaan tehdä yhdelle tai useammalle kohteelle. Useampaa kohdetta analysoidessa, kohteet eroavat toisistaan jollain oleellisella tavalla. (Vuori 2023.)

9.1 Tutkimuskohteiden valinta ja nykytilanteen selvitys

Toimeksiantajan tarkoitus oli selvittää vaihtoehtoisten lämmitysratkaisuiden kannattavuus kaikkiin mahdollisiin kiinteistöihinsä. Kuitenkin osa kiinteistöistä voitiin suoraan jättää pois tarkastelusta sopimattomuutensa vuoksi. Tässä työssä tutkinnan alla olevat kohteet oli valinnut itse toimeksiantaja. Kolme kohdetta valittiin energiankulutustietojen mukaan, joista jokainen edustaa eri kokoluokkaa. Kohteet nimettiin kaukolämmön kulutusmäärien mukaisesti; Liikekiinteistö Suuri, Liikekiinteistö Keskisuuri ja Liikekiinteistö Pieni.

Jokaisesta kohteesta saatiin energian kulutustiedot kaukolämmön osalta, kaukolämmön hintatiedot sisältäen energiamaksun ja perusmaksun, ja kulutetun veden kokonaismäärän tiedot. Kaukolämmöstä saatiin kahdesta kohteesta myös sopimusteho tietoon. Lisäksi näistä kohteista saatiin sähkön kulutustiedot

ja sähköliittymien koko-tiedot. Toimeksiantaja oli myös ilmoittanut kannattavuuslaskelmissa käytettävän sähkön hinnan. Lauhdelämmön energian osuutta kokonaisenergiasta ei ollut mitattu, mutta toimeksiantaja oli todennut sen osuuden olevan erittäin suuri vaikuttaja kaukolämmön tarpeen pienenemiseen.

9.2 Vaihtoehtoisten ratkaisuiden laskeminen kohteisiin

Tutkimuksessa tarvittavat tiedot olivat tulleet joko Excel-tiedostoina tai toimeksiantajalle lähetetyissä laskuissa, joista ne oli vaivatonta siirtää yhteen samaan Excel-tiedostoon. Näiden tietojen pohjalta oli kätevää laskea puuttuvat tiedot, kuten lämpimän käyttöveden osuus ja normeerattu kaukolämmön energian kulutus. Näin ollen kannattavuus tarkastelussa tarvittavat hintatiedot saatiin myös laskettua.

Samaiseen Excel-tiedostoon saatiin laskettua sähkökattilan mitoituslaskelmat. Kulutustietojen pohjalta saatiin tehtyä mitoitukset maalämpö-järjestelmälle Nibe-mitoitusohjelmaa käyttäen. Nibe-ohjelmasta saaduilla sähkönkulutustiedoilla ja investointikulutiedoilla saatiin tehtyä kannattavuus tarkastelua. Sähkökattilan mitoituksessa käytettiin kaukolämmön nykyisiä kulutus- ja lämpötehotietoja.

10 Tutkimuksen kuvaus

10.1 Lähtötietojen tarkastelu

Toimeksiantajalta saadut lähtötiedot laitettiin ensimmäisenä yhteen Excel-tiedostoon, johon luotiin jokaiselle kohteelle oma välilehti. Näissä tiedoissa näkyy kaukolämmön, sähkön ja veden kulutustiedot, sähköliittymän koko-tiedot ja kaukolämmön energiamaksun ja perusmaksun suuruus kohteittain. Kaukolämmön kulutustiedot normeerattiin, ja siihen tarvittavat lämmitystarveluvut saatiin Ilmatieteen laitoksen internet-sivulta. Koska lämpimän käyttöveden osuutta ei

ollut tiedossa, laskettiin se sillä oletuksella, että liikekiinteistössä sen osuus on 30% kokonaisveden kulutuksesta. Kyseisen vesimäärän lämmitykseen kuluva energia laskettiin kaavalla $Q_{l_{kv}} = 58 \cdot V_{l_{kv}}$, jossa 58 = veden lämmittämiseen (lämpötilan muutos 50°C) tarvittava energiamäärä vesikuutiota kohden, kWh/m³ ja $V_{l_{kv}}$ = kulutettu lämpimän veden määrä, m³.

Liikekiinteistö suuren nykyinen sähköliittymän sopimusteho on 240 kW, joka mahdollistaa 3x125 A pääsulakekoon kolmella liittymiskaapelilla (3x3x125 A). Liikekiinteistöissä keskisuuri ja pieni, sähköliittymien koot ovat 3x250 A.

10.2 Liikekiinteistö suuren lämmitysjärjestelmien mitoitus

Liikekiinteistö Suuri oli nimensä mukaisesti tutkittavista kohteista suurin lämmön kulutukseltaan. Siellä vuonna 2022 kaukolämmön kulutus oli 745,39 MWh ja käyttöveden lämmitykseen meni 5 765 kWh.

Kulutustietojen pohjalta tehtiin mitoitus maalämmölle (liite 1). Kohteen mitoitus tehtiin säävyöhyke 3:n mukaan ja ilman keskilämpötila on 3,2°C ja mitoittava ulkolämpötila -32°C. Tämän kohteen sisälämpötila on 18°C ja ilmaislämpöjä tulee 2°C. Kohteen lämmitys tapahtuu pattereilla ja IV-verkoston kautta, mutta tässä mitoituksessa käytettiin vain pattereita, koska IV-verkoston vaikuttaa vahvasti lämmöntalteenotosta saatu lämpö ja sen tarkkaa osuutta energiamäärästä ei ole tiedossa. Koska mitoitus tehtiin patterilämmitykselle, lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötila mitoituslämpötilassa on 55°C ja paluueden lämpötila 45°C

Kohteeseen tehtiin myös sähkökattilan mitoitus kaukolämmön kulutustietojen pohjalta. Sähkökattilan tehona käytettiin kaukolämmön huipputehoa, joka saatiin kaavalla:

$$\Phi_{mit} = \frac{Q_l}{H} = \frac{Q - Q_k}{\frac{24 \cdot S}{17^\circ\text{C} - t_u}} = \frac{(Q - Q_k) \cdot (17^\circ\text{C} - t_u)}{24 \cdot S}, \text{ jossa}$$

Φ_{mit} = Lämmityksen huipputehontarve (mitoitusteho), kW

$H = 24 \cdot S / (17^\circ\text{C} - t_u)$ = Lämmityshuipun käyttöaika tarkasteluaikana, h

S = Lämmitystarveluku tarkasteluaikana, °Cd

t_u = Paikkakunnan mitoitusulkolämpötila, °C

Q = Energiankulutus tarkasteluaikana, MWh

Q_k = Käyttöveden lämmittämiseen kulunut lämmitysenergia tarkasteluaikana (kiinteä kulutus), MWh

$Q_l = Q - Q_k$ = Lämmitykseen kulunut energia tarkasteluaikana, MWh.

Sähkökattilan tehona mitoitukseen käytettiin edellä mainitulla kaavalla laskettua kaukolämmön mitoitustehoa. Sähkökattilan kulutustietoina kannattavuuslaskennassa käytettiin kaukolämmön kulutustietoja.

Kohteen kohdalta selvitettiin myös sähköliittymän mahdollinen suurentamisen tarve. Laskemiseen käytettiin Velanderin kaavaa:

$$P_{max} = k_1 * W + k_2 * \sqrt{W} , \text{ jossa}$$

P_{max} = määritettävä huipputeho kilowatteina

k_1 ja k_2 = Velanderin käyttäjäryhmäkohtaisia kertoimia

W = vuosienenergia megawattitunteina.

Velanderin käyttäjäryhmäkohtaisista kertoimista käytimme palvelu-kiinteistön arvoja, joissa k_1 oli 0,25 ja k_2 oli 1,9. Vaihtoehtoisen lämmitysjärjestelmän vuosienenergiaan laskettiin 15 %:n varmuuskerroin, ja kun vaihtoehtoisen lämmitysjärjestelmän sähköteho oli saatu laskettua, saatiin siitä laskettua virran kulutus kaavalla $I = P/U$, jossa I = virta, P = teho ja U = jännite. Saatu tulos verrattiin kohteen olemassa olevaan sähköliittymään, ja jos sitä tarvitsi suurentaa, otettiin se huomioon kannattavuuslaskelmissa. Verkojännitteen arvona käytettiin 230 V.

10.3 Liikekiinteistö keskisuuren lämmitysjärjestelmien mitoitus

Liikekiinteistö Keskisuuri on jo huomattavasti pienempi kohde kulutuksen perusteella. Siihen maalämmön mitoitus tehtiin v:n 2022 kaukolämmön tiedoilla, ja kulutus oli 144,73 MWh ja käyttöveden lämmityksen osalta käytettiin vuoden 2021 tietoja, koska vuoden 2022 tiedot olivat vajaat. Käyttöveden lämmitykseen meni 2 314,55 kWh (liite 2). Mitoitukseen käytettiin muuten samoja arvoja kuin liikekiinteistö suuren kohdalla. Erona oli se, että kohteen lämmitys tapahtui lat-

tialämmityksellä. Tästä syystä menoveden lämpötila mitoituslämpötilassa on betonilattiassa 35°C ja paluuveden lämpötila 28°C.

Tähänkin kohteeseen tehtiin sähkökattilan mitoitus kaukolämmön kulutustietojen pohjalta. Sähkökattilan teho laskettiin samaista kaavaa käyttämällä, mitä käytettiin liikekiinteistö suurenkin kohdalla. Kulutustietoina käytettiin kohteen kaukolämmön kulutustietoja. Sähkövirran tarve laskettiin Velanderin kaavalla.

10.4 Liikekiinteistö pienen lämmitysjärjestelmien mitoitus

Liikekiinteistö Pieni on nimensä mukaisesti pienin tutkittavista kohteista. Sen maalämmön mitoitukseen käytettiin vuoden 2022 kulutustietoja ja kaukolämmön kulutus oli 55,79 MWh ja käyttöveden lämmitykseen meni 1 671,16 kWh.

Tässä kohteessa on myös lattialämmitys ja muuten mitoitukseen käytettiin samoja arvoja kuin muissakin kohteissa (liite 3).

Liikekiinteistö pienen sähkökattilan mitoitus tehtiin samalla kaavalla laskien kuin liikekiinteistö suuressa ja keskisuuressa. Kulutustiedot saatiin kohteen kaukolämmön kulutuksesta. Sähkövirran tarve laskettiin Velanderin kaavalla.

Kaikkien kohteiden osalta tutkittiin myös sitä, että olisiko järkevää laittaa maalämpöjärjestelmä päälämmitysmuodoksi ja sen käyttökätkosten varalle sähkökattilajärjestelmä.

10.5 Maalämpöjärjestelmien kannattavuuden tarkastelu

Kannattavuutta tarkastellessa, huomioon otettiin nykyisen järjestelmän kulurakenne kaukolämmön osalta. Siihen kuului kaukolämmön perusmaksu kuukausittain ja energiamaksu kohteen sopimuksen mukaan. Tarkastelussa sähkön hintana käytettiin 5,41 snt/kWh alv 0 %. Porauskuukustannuksia tarkastellessa käytettiin poraukseen hintatietoa 45 €/m ja se sisältää koko keruupiirin poraukset ja putkitukset. Porauksen arvo on saatu valtakunnalliselta lämpöyrittäjältä (JH-

Lämpö). Laskelmissa keruupiirin investointikustannus saatiin kertomalla mitoitushjelman antama aktiivinen poraussyvyys porauksen metrihinnalla. Oletuksena oli, että jokaisen energiakaivon syvyys olisi noin 300 metriä.

Kannattavuuslaskelmiin saatiin ylempänä mainitulta lämpöyritykseltä tiedot, että asennuksen tuntihintana voi käyttää 65 €/h, alv 0 % ja kohteittain siihen kuluva aika. Myös hintatiedot kohteiden kokoluokan mukaan sähkötöistä ja työhön menevistä tarvikkeista saatiin kyseiseltä lämpöyritykseltä. Huoltokustannuksina vuosittain käytettiin 0,5% lämpöpumpun ja keruupiirin investointikustannuksesta. Investointiaikana käytettiin 15:tä vuotta ja laskentakorkona 6%.

Kaikkien kolmen kohteen kohdalla tehtiin maalämpö-järjestelmälle nykyarvolaskelma diskonttauskaavalla (kaava näkyy seuraavan kappaleen lopussa) ja laskettiin sisäinen korko ja korollinen ja koroton takaisin maksuaika. Laskelmiin tarvittiin kaikki investointikulut (lämpöpumppu ja keruupiiri), asennuskulut, huoltokulut ja energian kokonaishinta vanhalla ja uudella järjestelmällä vuosittaisen nettotuoton laskemiseksi.

10.6 Sähkökattilajärjestelmien kannattavuuden tarkastelu

Sähkökattilan kannattavuutta tarkastellessa, huomioon otettiin nykyisen järjestelmän kulurakenne kaukolämmön osalta. Siihen kuului kaukolämmön perusmaksu kuukausittain ja energiamaksu kohteen sopimuksen mukaan. Laskelmissa käytettiin samaa sähkön hintaa kuin maalämmön kannattavuuslaskelmissa eli 5,41 snt/kWh alv 0 %. Kohteiden sähkökattiloiden hinnat saatiin sähkökattiloiden jälleenmyyjältä, asennuskustannuksena käytettiin hintaa 65 €/h, alv 0 % ja asennusaikana asennusliikkeen arviota asennukseen kuluva ajasta. Asennusyritykseltä saatiin myös arvio siitä, minkä kokoiset varaajat lämmitykselle ja käyttövedelle kohteisiin tarvitaan ja niiden hintatiedot saatiin jälleenmyyjiltä. Huoltokustannuksina käytettiin 0,5 % investoinnista (sähkökattila ja varaajat).

Kaikkien kolmen kohteen kohdalla tehtiin sähkökattila-järjestelmälle nykyarvolaskelma diskonttauskaavalla ja laskettiin sisäinen korko ja korollinen ja koroton

takaisinmaksuaika. Laskelmiin tarvittiin kaikki investointikulut (sähkökattila ja varaajat), asennuskulut, huoltokulut ja energian kokonaishinta vanhalla ja uudella järjestelmällä vuosittaisen nettotuoton laskemiseksi. Kannattavuuslaskelmissa investointiaikana käytettiin 15 vuotta, jota suositteli lämpöyrityksen yrittäjä. Laskentakorkona käytettiin 6 %, jonka suuruden laskelmiin määritti toimeksiantaja, sillä perusteella, että heillä on siihen tavoite.

Nykyarvolaskelmissa käytettiin diskonttauskaavaa:

$$K_0 = \frac{K_n}{(1+i)^n}, \text{ jossa}$$

K_0 = pääoman arvo alussa

K_n = Pääoman arvo lopussa

i = korkokanta

n = kokonaisten korkojaksojen lukumäärä.

11 Tulokset

11.1 Liikekiinteistö suuren mitoituksien tulokset

Maalämmön mitoituksesta saatujen tietojen mukaan kohteeseen olisi järkevää asentaa kahdeksan taajuusohjattua maalämpöpumppua, joilla saataisiin energiapitoiksi 100 % ja tehopeitoksi 100 %. Ohjelmasta valikoitui pumpuiksi 7 NIBE:n F1355-43 taajuusohjattua lämpöpumppua ja yksi NIBE:n F1355-28 taajuusohjattu lämpöpumppu. Aktiivista poraussyvyyttä tulisi 5 524 metriä, joka tarkoittaisi noin 19 energiakaivoa ($5\,524 \text{ m} / 300 \text{ m} = 18,41 \text{ kpl}$). Lämpöpumppujen tehoksi tulisi mitoitusulkolämpötilassa 304 kW (liite 4). Tämä järjestelmä kattaisi kokonaan kohteen aiemman kaukolämmöstä saadun energian ja kuluttaisi itse 222 393 kWh. Käyntiajaksi tulisi 8 541 tuntia ja vuosilämpökerroin (SPF) olisi 3,4. Energian otto tällä järjestelmällä olisi 97 kWh/m ja sen ollessa alle 100 kWh/m se on järkevä. Sähkötehoksi saatiin Velanderin kaavalla varmuuskerroin

huomioiden 386,9 kW ja siten kokonaisvirraksi 1 682 A Sähköliittymää tulisi suurentaa 3x3x200 A:iin.

Sähkökattilan tehoksi tähän kohteeseen jällenmyyjä ilmoitti kaukolämmön tehon perusteella 375 kW ja se tulisi kuluttamaan sähköä vuosittain arviolta 745 390 kWh. Jällenmyyjän mukaan järjestelmä vaatisi kolme 2000 l:n varaajaa lämmitykselle ja yhden 2000 l:n varaajan käyttövedelle. Sähkötehoksi saatiin Velanderin kaavalla laskemalla varmuuskerroin huomioiden 551,7 kW, ja siten kokonaisvirraksi 2 399 A. Sähköliittymää tulisi suurentaa 3x3x315 A:iin.

11.2 Liikekiinteistö keskisuuren mitoituksien tulokset

Maalämmön mitoituksesta saatujen tietojen mukaan kohteeseen pitäisi asentaa neljä taajuusohjattua maalämpöpumppua, joilla saataisiin energiapoitoksi 100 % ja tehopeitoksi 100 %. Ohjelmasta valikoitui lämpöpumpuiksi 4 NIBE:n S1155-16 taajuusohjattua lämpöpumppua. Aktiivista poraussyvyyttä tulisi 1 175 metriä, joka tarkoittaisi noin 4 :ää energiakaivoa. Lämpöpumppujen tehoksi tulisi mitoitustilassa 58,7 kW (liite 5). Tämä järjestelmä kattaisi kokonaan kohteen aiemman kaukolämmöstä saadun energian ja kuluttaisi itse 32 412 kWh. Käyntiajaksi tulisi 6 681 tuntia ja vuosilämpökerroin (SPF) olisi 4,5. Energian otto tällä järjestelmällä olisi 97 kWh/m. Sähkötehoksi saatiin Velanderin kaavalla varmuuskerroin huomioiden 134 kW ja siten kokonaisvirraksi 584 A, jolla 3x200 A liittymä riittäisi. Joten nykyinen sähköliittymä 3x250 A riittää ja sitä ei tarvitse suurentaa.

Sähkökattilan tehoksi tähän kohteeseen jällenmyyjä ilmoitti kaukolämmön tehon perusteella 90 kW ja sen sähkönkulutus tulisi olemaan arviolta 144 730 kWh vuosittain. Järjestelmään tulisi asentaa 2000 l:n varaaja lämmitykselle ja 750 l:n varaaja käyttövedelle. Sähkötehoksi saatiin Velanderin kaavalla varmuuskerroin huomioiden 172,5 kW ja siten kokonaisvirraksi 750 A. Nykyinen sähköliittymä 3x250 A riittää varmuuskertoimen ansiosta ja siten liittymää ei tarvitse suurentaa.

11.3 Liikekiinteistö pienen mitoituksien tulokset

Maalämmön mitoituksesta saatujen tietojen mukaan kohteeseen pitäisi asentaa vain yksi taajuusohjattu maalämpöpumppu, jolla saataisiin energiapitoisuus 100 % ja tehopeitoisuus 100 %. Ohjelmasta valikoitui lämpöpumpuksi NIBE:n F1355-28 taajuusohjattu lämpöpumppu. Aktiivista poraussyvyyttä tulisi 428 metriä, joka tarkoittaisi kahta energiakaivoa. Lämpöpumpun teho mitoituslämpötilassa olisi 22,4 kW (liite 6). Tämä järjestelmä kattaisi kokonaan kohteen aiemman kaukolämmöstä saadun energian ja kuluttaisi itse 11 066 kWh. Käyntiajaksi tulisi 5 971 tuntia ja vuosilämpökerroin (SPF) olisi 5,0. Tämän järjestelmän energianotto olisi 106 kWh/m, joka on hieman liian suuri ja korostaa kahden energiakaivon poraamista, kun arvo halutaan alle 100 kWh/m. Sähkötehoksi saatiin Velanderin kaavaa käyttämällä varmuuskerroin huomioiden 122 kW ja siten kokonaisvirraksi 531 A ja sähköliittymäksi riittäisi 3x200 A. Nykyinen sähköliittymä 3x250 A riittää ja sitä ei tarvitse suurentaa.

Tämän kohteen sähkökattilan tehoksi tulisi 90 kW ja sen sähkönkulutus vuosittain olisi arviolta 55 790 kWh. Järjestelmään tulisi asentaa 2000 l:n varaaja lämmitykselle ja 750 l:n varaaja käyttövedelle. Sähkötehoksi saatiin Velanderin kaavaa käyttämällä varmuuskerroin huomioiden 137,4 kW ja siten kokonaisvirraksi 598 A, joten nykyinen sähköliittymä 3x250 A riittää ja sitä ei tarvitse suurentaa.

11.4 Maalämpöjärjestelmien kannattavuuden tulokset

11.4.1 Liikekiinteistö suuri

Liikekiinteistö suuressa lämpöpumppujen yhteishinnaksi saatiin 150 555 € alv 0 %, keruupiirin hinnaksi putkineen 248 580 € alv 0 %, asennuskustannukseksi 36 500 € alv 0 % ja sähköliittymän suurentamisesta hintaa tulisi 15 808 € alv 0 %, joten kokonaisinvestointi olisi yhteensä 451 443 € alv 0 %. Huoltokustannuksia vuosittain tulisi 1 996 € alv 0 %. Nykyiset vuosittaiset kulut ovat 53 244 € alv 0 % ja maalämpöjärjestelmällä ne olisivat 14 027 € alv 0 %, joten vuosittainen tuotto/säästö olisi 39 217 € alv 0 %. Tuottojen nykyarvon ja kustannusten nyky-

arvon erotukseksi tuli -70 556 €. Sisäistä korkoa tulisi 3,5 %, koroton takaisinmaksuaika olisi 11,5 v ja korollinen takaisinmaksuaika olisi reilusti yli 15 v, eli yli investointiajan (liite 7). Tähän kohteeseen maalämpöjärjestelmä ei tutkimusten perusteella ole järkevä, joten myöskään varajärjestelmää ei tarvitse miettiä.

11.4.2 Liikekiinteistö keskisuuri

Liikekiinteistö keskisuuressa lämpöpumppujen hinnaksi saatiin 36 097 € alv 0 %, keruupiirin hinnaksi putkineen 52 875 € alv 0 % ja asennuskustannukseksi 21 750 € alv 0 %, joten kokonaisinvestointi olisi yhteensä 11 0722 € alv 0 %. Huoltokustannuksia vuosittain tulisi 445 € alv 0 %. Nykyiset vuosittaiset kulut ovat 15 472 € alv 0 % ja maalämpöjärjestelmällä ne olisivat 2 198 € alv 0 %, joten vuosittainen tuotto/säästö olisi 13 273 € alv 0 %. Tuottojen nykyarvon ja kustannusten nykyarvon erotukseksi tuli 18 190 €. Sisäistä korkoa tulisi 8,4 %, koroton takaisinmaksuaika olisi n.8,3 v ja korollinen takaisinmaksuaika olisi vähän alle 12 v (liite 8). Laskelmien mukaan maalämpöjärjestelmä tähän kohteeseen on varteenotettava.

Varajärjestelmäksi voisi asentaa 45 kW:n sähkökattilan, jolla saisi n. 77 %:n tehopeiton verrattuna maalämpöjärjestelmään. Sähkökattilan lisäksi tulisi asentaa 750 l:n varaaja lämmitykselle ja 750 l:n varaaja käyttövedelle. Vuosituottoon/säästöön ei tulisi muutosta maalämpöjärjestelmän toimiessa, mutta investointi kasvaisi jälleenmyyjän hintatietojen perusteella n.18 000 €:lla (sähkökattila 12 000 € alv 0 %, varaajat 2 x 2 700 € alv 0 % ja asennus n. 600 € alv 0 %). Kokonaisinvestoinniksi tulisi 128 722 € alv 0 % ja vuosittaisen tuoton/säästön ollessa sama, tuottojen nykyarvon ja kustannusten nykyarvon erotus olisi 190 €. Sisäistä korkoa tulisi 6,0 %, koroton takaisinmaksuaika olisi 9,7 v ja korollinen takaisinmaksuaika olisi noin sama kuin investointiaika eli 15 v (liite13).

11.4.3 Liikekiinteistö pieni

Liikekiinteistö pienessä lämpöpumpun hinnaksi saatiin 14 266 € alv 0 %, keruupiirin hinnaksi putkineen 19 260 € alv 0 % ja asennuskustannukseksi 15 000 €

alv 0 %, joten kokonaisinvestointi olisi yhteensä 48 526 € alv 0 %. Huoltokustannuksia vuosittain tulisi 168 € alv 0 %. Nykyiset vuosittaiset kulut ovat 9 114 € alv 0 % ja maalämpöjärjestelmällä ne olisivat 766 € alv 0 %, joten vuosittainen tuotto/säästö olisi 8 348 € alv 0 %. Tuottojen nykyarvon ja kustannusten nykyarvon erotukseksi tulisi 32 550 €. Sisäistä korkoa tulisi 15,1 %, koroton takaisinmaksuaika olisi 5,8 v ja korollinen takaisinmaksuaika olisi n. 7,5 v (liite 9). Tähän kohteeseen maalämpöjärjestelmä vaikuttaa erittäin kannattavalta.

Varajärjestelmäksi voisi asentaa 45 kW:n sähkökattilan, jolla saisi 100 %:n tehopeiton verrattuna maalämpöjärjestelmään. Sähkökattilan lisäksi tulisi asentaa 750 l:n varaaja lämmitykselle ja 750 l:n varaaja käyttövedelle. Vuosituottoon/säästöön ei tulisi muutosta maalämpöjärjestelmän toimiessa, mutta investointi kasvaisi jälleenmyyjän hintatietojen perusteella n.18 000 €:lla (sähkökattila 12 000 € alv 0 %, varaajat 2 x 2 700 € alv 0 % ja asennus n. 600 € alv0). Kokonaisinvestoinniksi tulisi 66 526 € alv 0 % ja vuosittaisen tuoton/säästön pysyessä samana tuottojen nykyarvon ja kustannusten nykyarvon erotukseksi tulisi 14 550 € Sisäistä korkoa tulisi 9,2 %, koroton takaisinmaksuaika olisi 8 v ja korollinen takaisinmaksuaika olisi vähän päälle 11 v (liite 14). Laskelmien mukaan myös maalämmön ja sähkökattilan yhteinen mitoitus olisi tämän kokoluokan kiinteistöön kannattavaa.

11.5 Sähkökattilajärjestelmien kannattavuuden tulokset

11.5.1 Liikekiinteistö suuri

Liikekiinteistö suuressa sähkökattilan hinnaksi saatiin 28 000 € alv 0 %, asennuksen hinnaksi 1 040 € alv 0 %, varaajien yhteishinnaksi 16 000 € alv 0 % (2000 l varaaja = 4000 €/kpl) ja sähköliittymän suurentamisesta hintaa tulisi 42 560 € alv 0 %, joten kokonaisinvestoinnin hinnaksi 87 600 € alv 0 %. Huoltokustannuksia tulisi vuosittain 2 200 € alv 0 %. Nykyiset vuosittaiset kulut ovat 53 244 € alv 0 % ja sähkökattila-järjestelmällä vuosittaiset kulut olisivat 42 526 € alv 0 %, joten vuosittainen tuotto/säästö olisi 10 719 € alv 0 %. Tuottojen nykyarvon ja kustannusten nykyarvon erotukseksi tuli 16 503 €. Sisäistä korkoa tulisi

8,8 %, koroton takaisinmaksuaika olisi 8,2 v ja korollinen takaisinmaksuaika olisi n.11,5 v (liite 10).

11.5.2 Liikekiinteistö keskisuuri

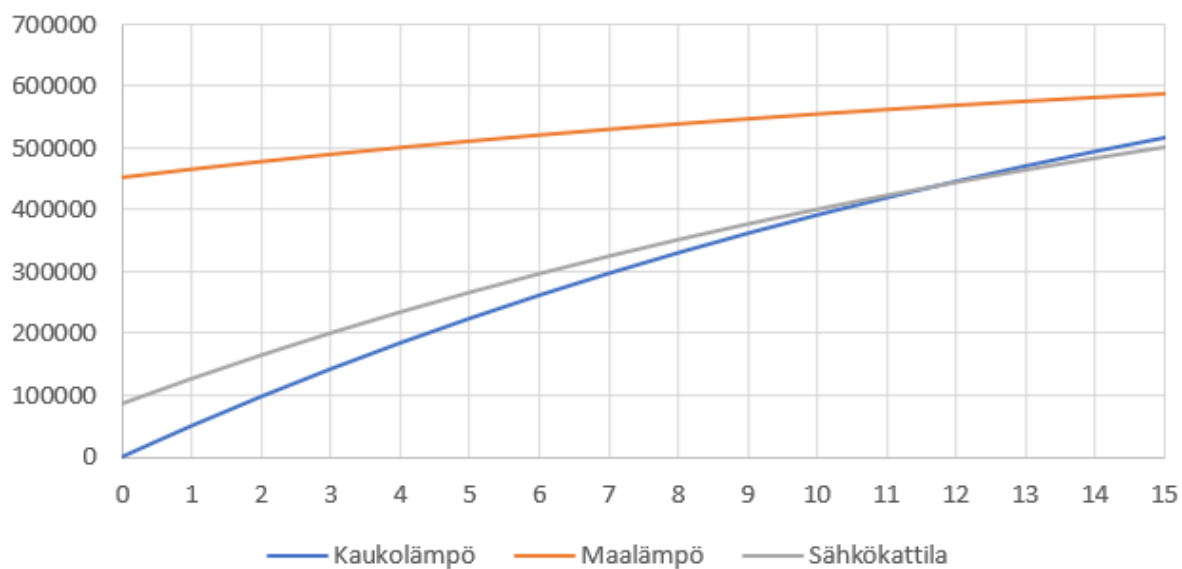
Liikekiinteistö keskisuuressa sähkökattilan hinnaksi saatiin 14 000 € alv 0 %, asennuksen hinnaksi 520 € alv 0 %, varaajien yhteishinnaksi 6 700 € alv 0 % (2000 l = 4000 € ja 750 l = 2700 €), joten kokonaisinvestoinnin hinnaksi saatiin 21 220 € alv 0 %. Huoltokustannuksia tulisi vuosittain 1 035 € alv 0 %. Nykyiset vuosittaiset kulut ovat 15 472 € alv 0 % ja sähkökattila-järjestelmällä ne olisivat vuosittain 8 865 € alv 0 %, joten vuosittainen tuotto/säästö olisi 6 607 € alv 0 %. Tuottojen nykyarvon ja kustannusten nykyarvon erotukseksi tuli 42 946 €. Sisäistä korkoa tulisi 30,6 %, koroton takaisinmaksuaika olisi n. 3,2 v ja korollinen takaisinmaksuaika olisi vähän alle neljä vuotta (liite 11).

11.5.3 Liikekiinteistö pieni

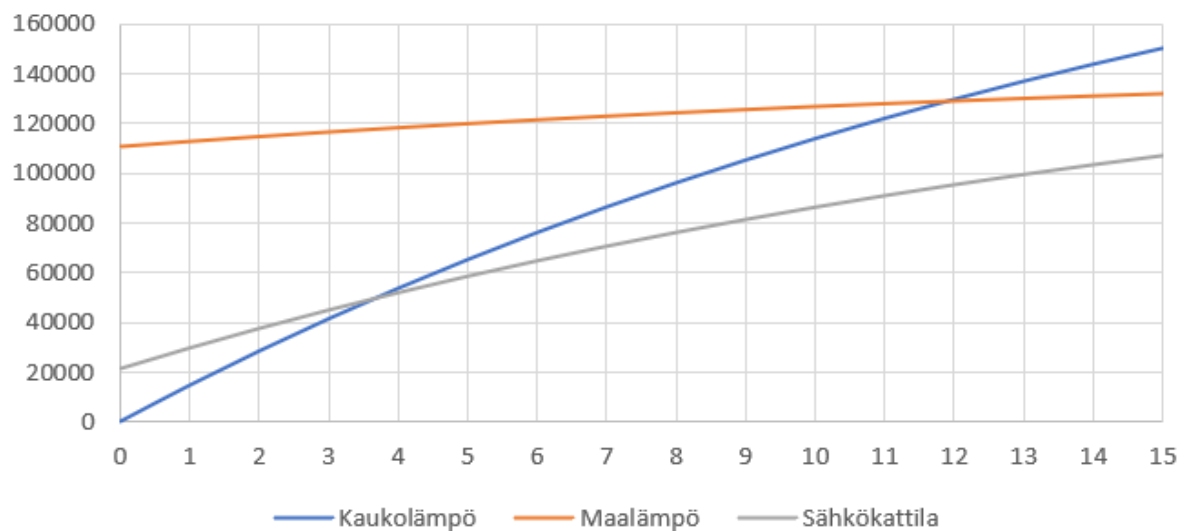
Liikekiinteistö pienessä investointikulut olisivat samat kuin liikekiinteistö keskisuuressa. Kohteen sähkönkulutus on kuitenkin pienempi ja siten nykyiset kulut ovat 9 114 € alv 0 % ja sähkökattila-järjestelmällä ne olisivat 4 053 € alv 0 %, joten vuosittainen tuotto/säästö olisi 5 061 € alv 0 %. Tuottojen nykyarvon ja kustannusten nykyarvon erotukseksi tulisi 24 163 €. Sisäistä korkoa tulisi 22,7 %, koroton takaisinmaksuaika olisi 4,2 v ja korollinen takaisinmaksuaika olisi vähän päälle 5 vuotta (liite 12).

11.6 Kumulatiiviset elinkaarikustannukset nykyarvossa

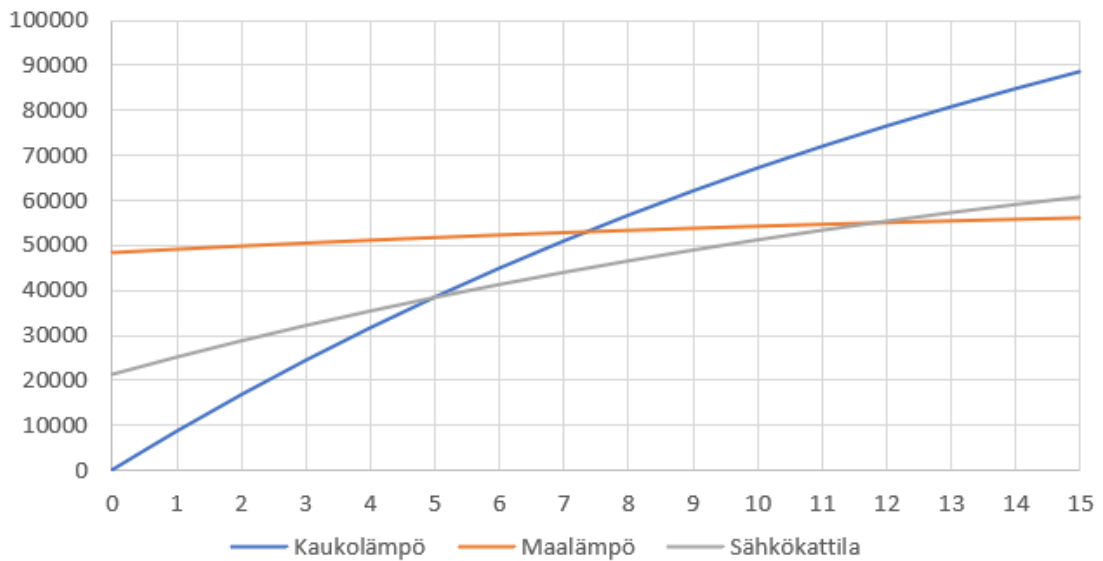
Kohteille tehtiin lisäksi kumulatiivisten elinkaarikustannusten vertailu nykyarvossa. Jokaisen lämmitysmuodon vuosittaiset kulut diskontattiin ja niistä tehtiin kaaviot. Kuviot (8, 9, 10) havainnollistavat hyvin kulurakennetta 15 vuoden investointiajalla. Laskentakorkona käytettiin 6 %.



Kuvio 8. Liikekiinteistö suuren kumulatiiviset elinkaarikustannukset nykyarvossa.



Kuva 9. Liikekiinteistö keski-suuren kumulatiiviset elinkaarikustannukset nykyarvossa.



Kuva 10. Liikekiinteistö pienen kumulatiiviset elinkaarikustannukset nykyarvossa.

12 Tutkimuksen tulosten pohdinta

Tämä tutkimus on ollut erittäin moniulotteinen ja tietoperustaan kerätyt aineistot ovat olleet työtä hyvin tukevia. Tutkimusta tehtäessä tiedonhankintaa piti jatkaa, mutta valtaosaa tiedoista ei olisi saanut ohjeiden mukaisesti tietoperustaan.

Tämä tutkimus on hyvin koonnut eri lämmitysratkaisuja ja hyvän väylän niiden mitoittamiseen ja kannattavuuden tarkasteluun. Tutkimuksen aihe on laaja, mutta sitäkin antoisampi, ja siten työ on opettanut, että siihen olisi saanut vieläkin enemmän laajuutta, jos kaikki mahdollinen otettaisiin huomioon.

Työn tavoitetta ajatellen tämä työ tällaisenaan vastaa sitä mitä työllä tavoiteltiin. Oli hienoa havaita, että jokaiseen kohteeseen saatiin yksi tai jopa kolme erilaista taloudellisesti kannattavaa lämmitysratkaisua. Työn aikana myös selvisi, että jos lämmitysratkaisuja lähdetäisiin oikeasti muuttamaan, tulisi teettää hankesuunnittelijalla kattavampi selvitys. Selvityksessä tehtäisiin esimerkiksi maa-

lämmön osalta maaperätutkimukset ja sähkökattilan osalta kattilan mitoitus, jolloin varaajien mitoitukset olisivat täsmällisempiä. Työn laskelmia voidaan pitää täysin luotettavina suuntaa antamaan toimeksiantajalle.

12.1 Liikekiinteistö suuren tulosten pohdinta

Liikekiinteistö suuren kohdalla ajateltiin jo alkuvaiheessa, että voi olla haasteellista saada kannattavaksi kummallakaan vaihtoehdoisella lämmitysmuodolla. Kohteessa olevan patterilämmityksen vaikutus maalämpöpumppujen lämpökertoimeen, sen jäädessä 3,4 :ään, vaikuttaa niin suuresti lämpöpumppujen omaan sähkönkulutukseen, että vaikutus kannattavuuteen on huomattava. Tässä voisi tehdä mitoituksen lattialämmityksen arvoilla saaden paremman lämpökertoimen, ja sen jälkeen tehdä uudet kannattavuuslaskelmat.

Tosin tässä kohteessa myös korkean lämmitystehon ja lämmitysenergian tarpeen vuoksi investointikustannukset nousevat korkealle ja siten 15 v:n investointiaika ei riitä kannattavan tasolle. Voisikin laskea kannattavuutta, että pääsikä 20 v:n investointiajalla kannattavan puolelle. Tämän kohteen kohdalla oli myös tutkinnallisesti sellainen seikka, että kiinteistö sijaitsee hyvin lähellä pohjavesialuetta ja siten tulisi tehdä tarkemmat tutkimukset, jos maalämpöä kohteeseen kannattaisi harkita.

Sähkökattilan osalta ratkaisun taloudellinen kannattavuus jopa yllätti. Mitoitus tehtiin melko reilusti ylimitoituksena, koska sähkökattiloiden hintatietoja ja kokotietoja oli vähäisen kilpailun takia vaikeaa saada tavarantoimittajilta. Toimeksiantajan täysimittainen uusiutuvan energian käyttö sähkön kulutuksessa puoltaisi hyvin tähän kohteeseen kaukolämmön korvaamista sähkökattilalla.

12.2 Liikekiinteistö keskisuuren tulosten pohdinta

Maalämpöjärjestelmä tämän kokoluokan kohteeseen nousi yhdeksi varteenotettavaksi vaihtoehdoksi. Kannattavuuslaskelmat osoittavat, että kun tuottojen nykyarvon ja kustannusten nykyarvon erotus jää plussalle, on se yleensä ottaen

kannattavaa. Tähän kohteeseen kuitenkin selkeästi kannattavampi ratkaisu olisi laskelmien mukaan sähkökattila-järjestelmä, jota puoltaa myös kumulatiiviset elinkaarikustannukset nykyarvossa -kaavio.

Sähkökattila-järjestelmän korollinen takaisinmaksuaika olisi vain vähän alle 4 v, kun maalämmöllä se olisi vähän alle 12 v. Tutkimusta tehtäessä ilmeni myös kolmas vaihtoehto, jossa maalämpö olisi pääasiallinen lämmönlähde, ja siihen laitettaisiin varajärjestelmäksi sähkökattila. Sekin vaihtoehto osoittautui nykyarvolaskelmassa kannattavuuden puolesta mahdolliseksi.

12.3 Liikekiinteistö pienen tulosten pohdinta

Liikekiinteistö pienessä, kuten myöskin liikekiinteistö keskisuudessa hyvän lämpökertoimen ansiosta vuosittaiset kulut ovat maalämpö-järjestelmällä huomattavasti pienemmät kuin kulut kaukolämmön osalta. Kulut ovat myös pienemmät kuin sähkökattilalla, ja elinkaarikustannuksia nykyarvossa katsomalla maalämpö osoittautuuärkevimmäksi investointiaika huomioiden.

Lähteet

- Ahonen, T. 2018 Sähkökattilan investoinnin esiselvitys. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala. Opinnäytetyö. <https://urly.fi/33vA>. 7.3.2023.
- Energiateollisuus ry. 2006. Kaukolämmön käsikirja. 12.2.2023.
- Juvonen, J & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. <https://urly.fi/33CG>. 8.3.2023.
- Kemppainen, A. & Kiinteistömedia Oy. 2022. Taloyhtiön energiatehokkaat lämmitysratkaisut. AS Pajo 2022. 46. 30.1.2023.
- Maalämpöpumput. Kiinteistöjärjestelmät. RT-kortti. 2018. 14.2.2023.
- Motiva. 2012. Kaupan kylmälaitteiden ja -järjestelmien lauhdelämmön talteenotto. Laskentaohje. <https://urly.fi/3530>. 22.3.2023.
- Nilan. 2023. <https://urly.fi/34A7>. 5.3.2023.
- PKS. 2019. Liittymismaksut. <https://urly.fi/34Ae>. 18.3.2023.
- Suomi, J. 2021. Jäähdytyskompressorikoneikon kokonaislämmitysvaikutus ympäristölle. Tampereen ammattikorkeakoulu. LVI-talotekniikka. Opinnäytetyö. <https://urly.fi/34A9>. 23.2.2023
- Vuori, J. 2023. Tietoarkisto. Tapaustutkimus. <https://urly.fi/30Bt>. 15.12.2022.
- Ympäristöministeriö. 2017. <https://urly.fi/33CM>. 8.3.2023.
- Yritystulkki. 2023. <https://urly.fi/30Au>. 29.1.2023.

Liitteet

Liite 1

ENERGIAN KULUTUS Uusi Avaa

Lämmitys

Kulutus

Hyötysuhde

Hinta 0,074 €/kWh

Energia 745 390 kWh

Kustannus 55 159 €

Lämpimän veden kulutus kWh/vuosi

Kokonaiskustannus 55 159 €

Kokonais CO2 60 377 kg

Kokonaisenergian tarve 745 390 kWh/vuosi

Energia tilojen lämmitys 739 625 kWh/vuosi

Maks. tehon tarve 329,1 kW

Tilojen lämmitys 328,5 kW

Nykyinen lämmityksen kiertopumppu

Lämmitys pysähtyy

Lämpöpumppu tuottaa lämpimästä vedestä

Lisälämpö

Hyötysuhde

Liite 2

ENERGIAN KULUTUS Uusi Avaa

Lämmitys

Kulutus

Hyötysuhde

Hinta 0,074 €/kWh

Energia 144 730 kWh

Kustannus 10 710 €

Lämpimän veden kulutus kWh/vuosi

Kokonaiskustannus 10 710 €

Kokonais CO2 11 723 kg

Kokonaisenergian tarve 144 730 kWh/vuosi

Energia tilojen lämmitys 140 230 kWh/vuosi

Maks. tehon tarve 58 kW

Tilojen lämmitys 57,5 kW

Nykyinen lämmityksen kiertopumppu

Lämmitys pysähtyy

Lämpöpumppu tuottaa lämpimästä vedestä

Lisälämpö

Hyötysuhde

Liite 3

ENERGIAN KULUTUS

Lämmitys

Kulutus

Hyötysuhde

Hinta 0,074 €/kWh

Energia 55 790 kWh

Kustannus 4 128 €

Lämpimän veden kulutus kWh/vuosi

Kokonaiskustannus 4 128 €

Kokonais CO₂ 4 519 kg

Kokonaisenergian tarve 55 790 kWh/vuosi

Energia tilojen lämmitys 54 119 kWh/vuosi

Maks. tehon tarve 22,4 kW

Tilojen lämmitys 22,2 kW

Nykyinen lämmityksen kiertopumppu

Lämmitys pysähtyy

Lämpöpumppu tuottaa lämpimästä vedestä

Lisälämpö


Hyötysuhde

Liite 4

Lauhtuminen

Lämmönlähde

Valitse lämpöpumppu



8xNIBE F1355-43 taajuusohjattu

Energiakaavio

Lämmityksen lämpötilakaavio

Kallio

Kalliolaji

Lämmönjohtavuus

Liuksen lämpötilan muutos

Liuksen keskilämpötila

| Energiapöitto | | Tehopeitto | | Energiakaivo | |
|-----------------------------|------------|---------------------------|------------|------------------------------------|----------|
| LP:n tuottama energia | 745355 kWh | Käyntiaika | 8505 h | Aktiivinen poraussyvyys | 5683 m |
| LP:n kuluttama energia | 222296 kWh | Tasapainolämpötila | -30,2 °C | Energian otto | 95 kWh/m |
| Lisäenergia | 35 kWh | LP:n teho MUT | 3274 kW | Tehon otto | 14 W/m |
| Nykyinen lämmityksen pumppu | 10402 kWh | Astetunnit | 103575 K·h | Tehon otto (vuosia) | 11 W/m |
| Laskennallinen lisäteho | 1,8 kW | Vuosilämpökerroin (SPF) | 3,4 | Tehon otto (Maksimi jäähdytysteho) | 38 W/m |
| | | Maks. lämmitystehon tarve | 329,1 kW | | |

Liite 5

Valitse lämpöpumppu Yksi lämpöpumppu Useita lämpöpumppuja Näytä kaikki



4xNIBE S1155-16 taajuusohjattu

Kallio

Kalliolaji Määrittelemätön, oletus

Lämmönjohtavuus 3,0 W/mK

Liuksen lämpötilan muutos 3,0 K

Liuksen keskilämpötila 0,0 °C

4xNIBE S1155-16 taajuusohjattu **Energiakaavio** **Lämmityksen lämpötilakaavio**

| Energiapöytä | | Tehopeitto | | Energiakaivo | |
|-----------------------------|------------|---------------------------|------------|------------------------------------|----------|
| LP:n tuottama energia | 144730 kWh | Käyntiaika | 6681 h | Aktiivinen porausvyöry | 1175 m |
| LP:n kuluttama energia | 32412 kWh | Tasapainolämpötila | -32,0 °C | Energian otto | 97 kWh/m |
| Lisäenergia | 0 kWh | LP:n teho MUT | 58,7 kW | Tehon otto | 14 W/m |
| Nykyinen lämmityksen pumppu | 3189 kWh | Astetunnit | 117031 K-h | Tehon otto (vuosia) | 11 W/m |
| Laskennallinen lisäteho | 0,0 kW | Vuosilämpökerroin (SPF) | 4,5 | Tehon otto (Maksimi jäähdytysteho) | 36 W/m |
| | | Maks. lämmitystehon tarve | 58,7 kW | | |

Liite 6

Valitse lämpöpumppu Yksi lämpöpumppu Useita lämpöpumppuja Näytä kaikki



NIBE F1355-28 taajuusohjattu

Kallio

Kalliolaji Määrittelemätön, oletus

Lämmönjohtavuus 3,0 W/mK

Liuksen lämpötilan muutos 3,0 K

Liuksen keskilämpötila 0,0 °C

NIBE F1355-28 taajuusohjattu **Energiakaavio** **Lämmityksen lämpötilakaavio**

| Energiapöytä | | Tehopeitto | | Energiakaivo | |
|-----------------------------|-----------|---------------------------|------------|------------------------------------|-----------|
| LP:n tuottama energia | 55788 kWh | Käyntiaika | 5971 h | Aktiivinen porausvyöry | 428 m |
| LP:n kuluttama energia | 11066 kWh | Tasapainolämpötila | -32,0 °C | Energian otto | 106 kWh/m |
| Lisäenergia | 0 kWh | LP:n teho MUT | 22,4 kW | Tehon otto | 18 W/m |
| Nykyinen lämmityksen pumppu | 1004 kWh | Astetunnit | 117031 K-h | Tehon otto (vuosia) | 12 W/m |
| Laskennallinen lisäteho | 0,0 kW | Vuosilämpökerroin (SPF) | 5,0 | Tehon otto (Maksimi jäähdytysteho) | 41 W/m |
| | | Maks. lämmitystehon tarve | 22,4 kW | | |

Liite 7

| Nykyarvolaskelma diskonttauskaavalla | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|-----------|------------|--------------------|--------------|------------------|
| Lähtötiedot | | | | | | |
| | Laskentakorkokanta | 6 % | | | | |
| | Investointiaika (vuotta) | 15 | | | | |
| Nykyarvo | | | | | | |
| | Investointikustannus | 451 443 € | 451 443 € | Sisäinen korko (%) | TMA(koroton) | 11,5 vuotta |
| vuodet | | | | - 451 443 € | | TMA (korollinen) |
| 1 | 1. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 36 997 € | 39 217 € | 39 217 € | 36 997 € |
| 2 | 2. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 34 903 € | 39 217 € | 78 434 € | 71 901 € |
| 3 | 3. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 32 928 € | 39 217 € | 117 652 € | 104 828 € |
| 4 | 4. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 31 064 € | 39 217 € | 156 869 € | 135 892 € |
| 5 | 5. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 29 305 € | 39 217 € | 196 086 € | 165 197 € |
| 6 | 6. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 27 647 € | 39 217 € | 235 303 € | 192 844 € |
| 7 | 7. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 26 082 € | 39 217 € | 274 521 € | 218 926 € |
| 8 | 8. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 24 605 € | 39 217 € | 313 738 € | 243 531 € |
| 9 | 9. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 23 213 € | 39 217 € | 352 955 € | 266 744 € |
| 10 | 10. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 21 899 € | 39 217 € | 392 172 € | 288 642 € |
| 11 | 11. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 20 659 € | 39 217 € | 431 390 € | 309 301 € |
| 12 | 12. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 19 490 € | 39 217 € | 470 607 € | 328 791 € |
| 13 | 13. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 18 387 € | 39 217 € | 509 824 € | 347 178 € |
| 14 | 14. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 17 346 € | 39 217 € | 549 041 € | 364 524 € |
| 15 | 15. vuoden nettotuotto | 39 217 € | 16 364 € | 39 217 € | 588 259 € | 380 888 € |
| | yhteensä | | 380 888 € | 3,5 % | | |
| | Jäännösarvo | - € | - € | | | |
| | Tuottojen nykyarvo | | 380 888 € | | | |
| | Kustannusten nykyarvo | | 451 443 € | | | |
| | Erotus | | - 70 556 € | | | |

Liite 8

| Nykyarvolaskelma diskonttauskaavalla | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|-----------|-----------|--------------------|--------------|------------------|
| Lähtötiedot | | | | | | |
| | Laskentakorkokanta | 6 % | | | | |
| | Investointiaika (vuotta) | 15 | | | | |
| Nykyarvo | | | | | | |
| | Investointikustannus | 110 722 € | 110 722 € | Sisäinen korko (%) | TMA(koroton) | 8,3 vuotta |
| vuodet | | | | - 110 722 € | | TMA (korollinen) |
| 1 | 1. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 12 522 € | 13 273 € | 13 273 € | 12 522 € |
| 2 | 2. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 11 813 € | 13 273 € | 26 546 € | 24 335 € |
| 3 | 3. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 11 144 € | 13 273 € | 39 819 € | 35 479 € |
| 4 | 4. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 10 514 € | 13 273 € | 53 093 € | 45 993 € |
| 5 | 5. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 9 918 € | 13 273 € | 66 366 € | 55 911 € |
| 6 | 6. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 9 357 € | 13 273 € | 79 639 € | 65 268 € |
| 7 | 7. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 8 827 € | 13 273 € | 92 912 € | 74 096 € |
| 8 | 8. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 8 328 € | 13 273 € | 106 185 € | 82 424 € |
| 9 | 9. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 7 856 € | 13 273 € | 119 458 € | 90 280 € |
| 10 | 10. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 7 412 € | 13 273 € | 132 732 € | 97 692 € |
| 11 | 11. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 6 992 € | 13 273 € | 146 005 € | 104 684 € |
| 12 | 12. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 6 596 € | 13 273 € | 159 278 € | 111 280 € |
| 13 | 13. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 6 223 € | 13 273 € | 172 551 € | 117 503 € |
| 14 | 14. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 5 871 € | 13 273 € | 185 824 € | 123 374 € |
| 15 | 15. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 5 538 € | 13 273 € | 199 097 € | 128 912 € |
| | yhteensä | | 128 912 € | 8,4 % | | |
| | Jäännösarvo | - € | - € | | | |
| | Tuottojen nykyarvo | | 128 912 € | | | |
| | Kustannusten nykyarvo | | 110 722 € | | | |
| | Erotus | | 18 190 € | | | |

Liite 9

| Nykyarvolaskelma diskonttauskaavalla | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|----------|----------|--------------------|--------------|------------------|--|
| Lähtötiedot | | | | | | | |
| Laskentakorkokanta | | 6 % | | | | | |
| Investointiaika (vuotta) | | 15 | | | | | |
| Nykyarvo | | | | | | | |
| Investointikustannus | | 48 526 € | 48 526 € | Sisäinen korko (%) | TMA(koroton) | 5,8 vuotta | |
| vuodet | | | | - 48 526 € | | TMA (korollinen) | |
| 1 | 1. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 7 875 € | 8 348 € | 8 348 € | 7 875 € | |
| 2 | 2. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 7 430 € | 8 348 € | 16 696 € | 15 305 € | |
| 3 | 3. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 7 009 € | 8 348 € | 25 043 € | 22 314 € | |
| 4 | 4. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 6 612 € | 8 348 € | 33 391 € | 28 926 € | |
| 5 | 5. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 6 238 € | 8 348 € | 41 739 € | 35 164 € | |
| 6 | 6. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 5 885 € | 8 348 € | 50 087 € | 41 049 € | |
| 7 | 7. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 5 552 € | 8 348 € | 58 435 € | 46 601 € | |
| 8 | 8. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 5 238 € | 8 348 € | 66 782 € | 51 838 € | |
| 9 | 9. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 4 941 € | 8 348 € | 75 130 € | 56 779 € | |
| 10 | 10. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 4 661 € | 8 348 € | 83 478 € | 61 440 € | |
| 11 | 11. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 4 398 € | 8 348 € | 91 826 € | 65 838 € | |
| 12 | 12. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 4 149 € | 8 348 € | 100 173 € | 69 987 € | |
| 13 | 13. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 3 914 € | 8 348 € | 108 521 € | 73 900 € | |
| 14 | 14. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 3 692 € | 8 348 € | 116 869 € | 77 593 € | |
| 15 | 15. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 3 483 € | 8 348 € | 125 217 € | 81 076 € | |
| | yhteensä | | 81 076 € | 15,1 % | | | |
| | Jäännösarvo | - € | - € | | | | |
| | Tuottojen nykyarvo | | 81 076 € | | | | |
| | Kustannusten nykyarvo | | 48 526 € | | | | |
| | Erotus | | 32 550 € | | | | |

Liite 10

| Nykyarvolaskelma diskonttauskaavalla | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|----------|-----------|--------------------|--------------|------------------|--|
| Lähtötiedot | | | | | | | |
| Laskentakorkokanta | | 6 % | | | | | |
| Investointiaika (vuotta) | | 15 | | | | | |
| Nykyarvo | | | | | | | |
| Investointikustannus | | 87 600 € | 87 600 € | Sisäinen korko (%) | TMA(koroton) | 8,2 vuotta | |
| vuodet | | | | - 87 600 € | | TMA (korollinen) | |
| 1 | 1. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 10 112 € | 10 719 € | 10 719 € | 10 112 € | |
| 2 | 2. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 9 540 € | 10 719 € | 21 438 € | 19 652 € | |
| 3 | 3. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 9 000 € | 10 719 € | 32 156 € | 28 651 € | |
| 4 | 4. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 8 490 € | 10 719 € | 42 875 € | 37 142 € | |
| 5 | 5. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 8 010 € | 10 719 € | 53 594 € | 45 151 € | |
| 6 | 6. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 7 556 € | 10 719 € | 64 313 € | 52 708 € | |
| 7 | 7. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 7 129 € | 10 719 € | 75 031 € | 59 836 € | |
| 8 | 8. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 6 725 € | 10 719 € | 85 750 € | 66 561 € | |
| 9 | 9. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 6 344 € | 10 719 € | 96 469 € | 72 906 € | |
| 10 | 10. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 5 985 € | 10 719 € | 107 188 € | 78 891 € | |
| 11 | 11. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 5 647 € | 10 719 € | 117 906 € | 84 538 € | |
| 12 | 12. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 5 327 € | 10 719 € | 128 625 € | 89 865 € | |
| 13 | 13. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 5 025 € | 10 719 € | 139 344 € | 94 890 € | |
| 14 | 14. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 4 741 € | 10 719 € | 150 063 € | 99 631 € | |
| 15 | 15. vuoden nettotuotto | 10 719 € | 4 473 € | 10 719 € | 160 782 € | 104 103 € | |
| | yhteensä | | 104 103 € | 8,8 % | | | |
| | Jäännösarvo | - € | - € | | | | |
| | Tuottojen nykyarvo | | 104 103 € | | | | |
| | Kustannusten nykyarvo | | 87 600 € | | | | |
| | Erotus | | 16 503 € | | | | |

Liite 11

| Nykyarvolaskelma diskonttauskaavalla | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|----------|----------|--------------------|--------------|------------------|--|
| Lähtötiedot | | | | | | | |
| | Laskentakorkokanta | 6 % | | | | | |
| | Investointiaika (vuotta) | 15 | | | | | |
| Nykyarvo | | | | | | | |
| | Investointikustannus | 21 220 € | 21 220 € | Sisäinen korko (%) | TMA(koroton) | 3,2 vuotta | |
| vuodet | | | | - 21 220 € | | TMA (korollinen) | |
| 1 | 1. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 6 233 € | 6 607 € | 6 607 € | 6 233 € | |
| 2 | 2. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 5 880 € | 6 607 € | 13 213 € | 12 113 € | |
| 3 | 3. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 5 547 € | 6 607 € | 19 820 € | 17 660 € | |
| 4 | 4. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 5 233 € | 6 607 € | 26 427 € | 22 893 € | |
| 5 | 5. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 4 937 € | 6 607 € | 33 033 € | 27 830 € | |
| 6 | 6. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 4 657 € | 6 607 € | 39 640 € | 32 487 € | |
| 7 | 7. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 4 394 € | 6 607 € | 46 247 € | 36 881 € | |
| 8 | 8. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 4 145 € | 6 607 € | 52 853 € | 41 026 € | |
| 9 | 9. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 3 910 € | 6 607 € | 59 460 € | 44 936 € | |
| 10 | 10. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 3 689 € | 6 607 € | 66 067 € | 48 626 € | |
| 11 | 11. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 3 480 € | 6 607 € | 72 673 € | 52 106 € | |
| 12 | 12. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 3 283 € | 6 607 € | 79 280 € | 55 389 € | |
| 13 | 13. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 3 097 € | 6 607 € | 85 887 € | 58 487 € | |
| 14 | 14. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 2 922 € | 6 607 € | 92 493 € | 61 409 € | |
| 15 | 15. vuoden nettotuotto | 6 607 € | 2 757 € | 6 607 € | 99 100 € | 64 166 € | |
| | yhteensä | | 64 166 € | | 30,6 % | | |
| | Jäännösarvo | - € | - € | | | | |
| | Tuottojen nykyarvo | | 64 166 € | | | | |
| | Kustannusten nykyarvo | | 21 220 € | | | | |
| | Erotus | | 42 946 € | | | | |

Liite 12

| Nykyarvolaskelma diskonttauskaavalla | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|----------|----------|--------------------|--------------|------------------|--|
| Lähtötiedot | | | | | | | |
| | Laskentakorkokanta | 6 % | | | | | |
| | Investointiaika (vuotta) | 15 | | | | | |
| Nykyarvo | | | | | | | |
| | Investointikustannus | 21 220 € | 21 220 € | Sisäinen korko (%) | TMA(koroton) | 4,2 vuotta | |
| vuodet | | | | - 21 220 € | | TMA (korollinen) | |
| 1 | 1. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 4 774 € | 5 061 € | 5 061 € | 4 774 € | |
| 2 | 2. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 4 504 € | 5 061 € | 10 121 € | 9 278 € | |
| 3 | 3. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 4 249 € | 5 061 € | 15 182 € | 13 527 € | |
| 4 | 4. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 4 009 € | 5 061 € | 20 243 € | 17 536 € | |
| 5 | 5. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 3 782 € | 5 061 € | 25 304 € | 21 318 € | |
| 6 | 6. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 3 568 € | 5 061 € | 30 364 € | 24 885 € | |
| 7 | 7. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 3 366 € | 5 061 € | 35 425 € | 28 251 € | |
| 8 | 8. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 3 175 € | 5 061 € | 40 486 € | 31 426 € | |
| 9 | 9. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 2 995 € | 5 061 € | 45 546 € | 34 421 € | |
| 10 | 10. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 2 826 € | 5 061 € | 50 607 € | 37 247 € | |
| 11 | 11. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 2 666 € | 5 061 € | 55 668 € | 39 913 € | |
| 12 | 12. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 2 515 € | 5 061 € | 60 729 € | 42 428 € | |
| 13 | 13. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 2 373 € | 5 061 € | 65 789 € | 44 801 € | |
| 14 | 14. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 2 238 € | 5 061 € | 70 850 € | 47 039 € | |
| 15 | 15. vuoden nettotuotto | 5 061 € | 2 112 € | 5 061 € | 75 911 € | 49 151 € | |
| | yhteensä | | 49 151 € | | 22,7 % | | |
| | Jäännösarvo | - € | - € | | | | |
| | Tuottojen nykyarvo | | 49 151 € | | | | |
| | Kustannusten nykyarvo | | 21 220 € | | | | |
| | Erotus | | 27 931 € | | | | |

Liite 13

| Nykyarvolaskelma diskonttauskaavalla | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|-----------|-----------|--------------------|--------------|------------------|
| Lähtötiedot | | | | | | |
| Laskentakorkokanta | | 6 % | | | | |
| Investointiaika (vuotta) | | 15 | | | | |
| Nykyarvo | | | | | | |
| Investointikustannus | | 128 722 € | 128 722 € | Sisäinen korko (%) | TMA(koroton) | 9,7 vuotta |
| vuodet | | | | - 128 722 € | | TMA (korollinen) |
| 1 | 1. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 12 522 € | 13 273 € | 13 273 € | 12 522 € |
| 2 | 2. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 11 813 € | 13 273 € | 26 546 € | 24 335 € |
| 3 | 3. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 11 144 € | 13 273 € | 39 819 € | 35 479 € |
| 4 | 4. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 10 514 € | 13 273 € | 53 093 € | 45 993 € |
| 5 | 5. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 9 918 € | 13 273 € | 66 366 € | 55 911 € |
| 6 | 6. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 9 357 € | 13 273 € | 79 639 € | 65 268 € |
| 7 | 7. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 8 827 € | 13 273 € | 92 912 € | 74 096 € |
| 8 | 8. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 8 328 € | 13 273 € | 106 185 € | 82 424 € |
| 9 | 9. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 7 856 € | 13 273 € | 119 458 € | 90 280 € |
| 10 | 10. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 7 412 € | 13 273 € | 132 732 € | 97 692 € |
| 11 | 11. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 6 992 € | 13 273 € | 146 005 € | 104 684 € |
| 12 | 12. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 6 596 € | 13 273 € | 159 278 € | 111 280 € |
| 13 | 13. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 6 223 € | 13 273 € | 172 551 € | 117 503 € |
| 14 | 14. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 5 871 € | 13 273 € | 185 824 € | 123 374 € |
| 15 | 15. vuoden nettotuotto | 13 273 € | 5 538 € | 13 273 € | 199 097 € | 128 912 € |
| | yhteensä | | 128 912 € | 6,0 % | | |
| | Jäännösarvo | - € | - € | | | |
| | Tuottojen nykyarvo | | 128 912 € | | | |
| | Kustannusten nykyarvo | | 128 722 € | | | |
| | Erotus | | 190 € | | | |

Liite 14

| Nykyarvolaskelma diskonttauskaavalla | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|----------|----------|--------------------|--------------|------------------|
| Lähtötiedot | | | | | | |
| Laskentakorkokanta | | 6 % | | | | |
| Investointiaika (vuotta) | | 15 | | | | |
| Nykyarvo | | | | | | |
| Investointikustannus | | 66 526 € | 66 526 € | Sisäinen korko (%) | TMA(koroton) | 8,0 vuotta |
| vuodet | | | | - 66 526 € | | TMA (korollinen) |
| 1 | 1. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 7 875 € | 8 348 € | 8 348 € | 7 875 € |
| 2 | 2. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 7 430 € | 8 348 € | 16 696 € | 15 305 € |
| 3 | 3. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 7 009 € | 8 348 € | 25 043 € | 22 314 € |
| 4 | 4. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 6 612 € | 8 348 € | 33 391 € | 28 926 € |
| 5 | 5. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 6 238 € | 8 348 € | 41 739 € | 35 164 € |
| 6 | 6. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 5 885 € | 8 348 € | 50 087 € | 41 049 € |
| 7 | 7. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 5 552 € | 8 348 € | 58 435 € | 46 601 € |
| 8 | 8. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 5 238 € | 8 348 € | 66 782 € | 51 838 € |
| 9 | 9. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 4 941 € | 8 348 € | 75 130 € | 56 779 € |
| 10 | 10. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 4 661 € | 8 348 € | 83 478 € | 61 440 € |
| 11 | 11. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 4 398 € | 8 348 € | 91 826 € | 65 838 € |
| 12 | 12. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 4 149 € | 8 348 € | 100 173 € | 69 987 € |
| 13 | 13. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 3 914 € | 8 348 € | 108 521 € | 73 900 € |
| 14 | 14. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 3 692 € | 8 348 € | 116 869 € | 77 593 € |
| 15 | 15. vuoden nettotuotto | 8 348 € | 3 483 € | 8 348 € | 125 217 € | 81 076 € |
| | yhteensä | | 81 076 € | 9,2 % | | |
| | Jäännösarvo | - € | - € | | | |
| | Tuottojen nykyarvo | | 81 076 € | | | |
| | Kustannusten nykyarvo | | 66 526 € | | | |
| | Erotus | | 14 550 € | | | |