



jamk

Lämmitysjärjestelmän uusiminen hoiva- kotiin

Valtteri Kortesus

Opinnäytetyö
Joulukuu 2021
Tekniikan ala
Energia- ja ympäristötekniikka

Kortesuo Valteri

Lämmitysjärjestelmän uusiminen hoivakotiin

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Joulukuu 2021, 41 sivua

Tekniikan ala. Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia vaihtoehtoista lämmityksen ja lämpimän käyttöveden tuottojärjestelmää Kortekodille ja ehdottaa yhtä ratkaisua, jota lähdettäisiin viemään eteenpäin. Kortekoti on tehostetun palveluasumisen hoivakoti ja sen lämmitysjärjestelmä on tuottanut hankaluuksia polttoaineen ominaisuuksien vuoksi. Kortekodin lämmitys ja lämminkäyttövesi tuotetaan kiinteäarinnaisella polttimella ja polttoaineena käytetään lähialueen viljelijöiden jäteviljaa. Jätevilja ei kelpaa ruuan valmistukseen tai rehuksi ja se hävitettäisiin, ellei sille löydy Kortekodin tapaista hyötykäyttöä. Kaura on tuottanut ongelmia tuhkamääränsä ja tuhkan laavaantumisen vuoksi. Tuhka sulaa polttimen seinämiin kiinni ja tukkii polttimen. Lämmitysvaihtoehtoiksi rajattiin biopolttoaineet kaura, pelletti ja hake, maalämpö sekä aurinkoenergia.

Opinnäytetyö oli tutkimusmuodoltaan kehittämistutkimus ja siinä hyödynnettiin valmiita lämmitysratkaisuja. Eri vaihtoehtoille laskettiin alku- ja vuosikustannuksia ja niitä verrattiin toisiinsa kannattavimman ratkaisun löytämiseksi. Biopolttoaineiden kesken tehdyssä vertailussa hake todettiin kalleimmaksi ratkaisuksi alkukustannuksiltaan, sillä haketta varten jouduttaisiin rakentamaan varasto ja uusimaan nykyinen lämpökontti kokonaan. Pelletti oli biopolttoaineista kallein vuosikustannusten puolesta, mutta olisi toimintavarma polttoaine ja sitä voisi polttaa nykyisellä järjestelmällä.

Maalämpö voitaisiin asentaa kahdella tapaa, joko energiakaivona tai keruupiirinä viereiselle pellolle. Keruupiiri olisi näistä vaihtoehtoista halvempi, sillä kaivamalla itse saataisiin säästöä. Kuitenkin maalämpö vaatisi hakkeen lailla liian suuret alkukustannukset. Aurinkokeräimillä saataisiin vapautusta polttimen käytöstä ja niitä voitaisiin käyttää kattilan kanssa yhdessä. Kesäisin saataisiin tuotettua kaikki lämminkäyttövesi Kortekodille. Lämminvesivaraajaan ei kuitenkaan ole mahdollista asentaa aurinkokeräimen vaatimaa kierukkaa, mutta aurinkopaneeleita olisi mahdollista hyödyntää Kortekodilla.

Kauraa päätettiin käyttää jatkossakin polttoaineena, mutta toimintavarmuutta lisätään hankkimalla liikkuva arinainen poltin, joka estää tuhkan laavaantumisen ja polttimen tukkeutumisen. Kaura on polttoaineena todella halpaa, mutta kuitenkin energiatihedeltään lähellä pellettiä, ja sen takia vuosikustannukset ovat todella pieniä verrattuna muihin vaihtoehtoihin.

Avainsanat (asiasanat)

Maalämpö, aurinkoenergia, aurinkokeräin, biopolttoaineet, lämmitysjärjestelmä

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Kortesuo Valteri

Heating system renewal for nursing home

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2021, 41 pages

Engineering and technology. Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The purpose of the thesis was to assess the feasibility of alternative heating systems and fuels for nursing home called Kortekoti. Kortekoti has used waste grain from nearby farmers to heat up its rooms and hot water since its launch in 2006. The waste grain does not pass the tests to be used for food and otherwise would be disposed of. The downside of burning grain is its large ash content, almost five to ten times bigger than wood fuels. The ash melts and solidifies inside the burner and blocks it from working properly. The options for other sources of heat were narrowed to wood pellets, wood chips, ground source heating and solar energy. The thesis was done as a development study and all heating options were popular and open to all.

For every option was calculated starting cost and annual cost of fuel consumption and then compared to each other to find the most profitable and easy option. Between the biofuels, wood chips would be the most expensive to build as nothing from the old system could not be used. Wood pellets were the most expensive to use annually but would have been probably the easiest source for heating. Grain was cheapest but without modifications to the current system it would be cumbersome as mentioned before.

The ground source option could have been done in two different ways. The first option was to drill the energy well to ground. The second option is to dig the collector pipes to the nearby field and this option would have been cheaper as the excavation could have been done by yourself without a contractor. Again, it became obvious that either option would have been too expensive to build. With solar heating there would have been savings and reliefs from heating for large portion of a year. Unlucky the water heater was too old to be used with solar heating and the option was denied. After the thesis there will be project to use solar energy to make electricity for Kortekoti.

The best option was found to be to continue using grain as fuel, but also invest for a new burner with moving grate. With the new grate there should be less problems with the melted ash hardening to the inside walls of the burner and make the heating system more reliable to use. Grain is inexpensive to use as fuel but still is a lot like wood pellets when it comes to energy density.

Keywords/tags (subjects)

Ground source heating, solar energy, biofuels, heating system

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Tausta ja rajaukset	4
1.2	Kohde	6
2	Tutkimusasetelma	6
2.1	Tavoitteet ja menetelmät	6
2.2	Tutkimusongelma.....	7
2.3	Teoria-aineiston keruu	9
2.4	Eettisyys ja luotettavuus	9
3	Tietoperusta	10
3.1	Maalämpö	10
3.1.1	Toimintaperiaate	12
3.1.2	Carnot´n kone	12
3.1.3	Lämpökerroin.....	13
3.2	Biopolttoaineet	14
3.3	Aurinkokeräimet.....	17
3.3.1	Tasokeräimet	18
3.3.2	Tyhjiöputkikeräimet.....	19
3.3.3	Mitoitus.....	19
4	Hankkeen toteutus	20
4.1	Menetelmät ja aineiston keruu.....	20
4.1.1	Lämmitysenergiankulutus	20
4.1.2	Biopolttoaineet	22
4.1.3	Aurinkolämpö	25
4.1.4	Maalämpö.....	26
4.2	Aineiston analyysi.....	27
4.2.1	Aurinkokeräimien kannattavuus	27
4.2.2	Maalämmön kustannukset	29
5	Tulokset	32
5.1	Biopolttoaineiden vertailu ja valinta.....	32
5.2	Maalämpö vai uusi poltin.....	33
6	Pohdinta	34
6.1	Haasteet ja tarkkuus.....	36

Lähteet	37
Liitteet	40
Liite 1: Aurinkokeräinten laskut.	40
Liite 2: Esimerkki poltindatasta.	41
Liite 3: Lämmitysjärjestelmän virtauksen selvitys.....	42
 Kuviot	
 Kuvio 1. Energian loppukäytön jakautuminen vuonna 2019.....	4
Kuvio 2. Asumisen energialähteet 2019.	5
Kuvio 3. Polttimen sisäreunalle kivettyntä tuhkaa.	8
Kuvio 4. Polttimesta raaputettu kivettymä, ennen kiinteytymistä.	8
Kuvio 5. Maalämmön eri keruumenetelmät.....	10
Kuvio 6. Maalämpöpumpun keruupiirien mitoittaminen.....	11
Kuvio 7. Lämpöpumpun toimintaperiaate.....	12
Kuvio 8. Carnot´n koneen kierto paine-tilavuus koordinaatistossa.....	13
Kuvio 9. Hakelämmitysjärjestelmä poltin ja kattila.	15
Kuvio 10. Kortekodilla käytetty poltin ja kattila.....	16
Kuvio 11. Tasokeräimen rakenne.....	18
Kuvio 12. Tyhjiöputkikeräimen rakenne, Heat Pipe-lämpöputki.....	19
Kuvio 13. Polttimesta kerätty data.	20
Kuvio 14. Biopolttoaineiden kulutus ja CO ₂ päästöt.....	23
Kuvio 15. Polttoaineiden hinta vuodessa.	24
Kuvio 16. Hakelämmityksen rakennuskustannuksia.....	25
Kuvio 17. Polttimen pysyvyyskäyrä.....	27
Kuvio 18. Aurinkolämpöjärjestelmän periaatekuva.	28
Kuvio 19. Aurinkokeräimillä tuotettava lämmin käyttövesi.	28
Kuvio 20. Kortekodin katto ja mahdolliset paneelien paikat.....	29
Kuvio 21. Useamman energiakaivon sijoitus.	30
Kuvio 22. Kokoomakaivo.....	31
Kuvio 23. Biopolttoaineiden kustannusvertailu.....	33
Kuvio 24. Kauran ja maalämmön vertailu.	34
Kuvio 25. Aurinkopaneelien komponenttien hinnan kehitys.	35

Taulukot

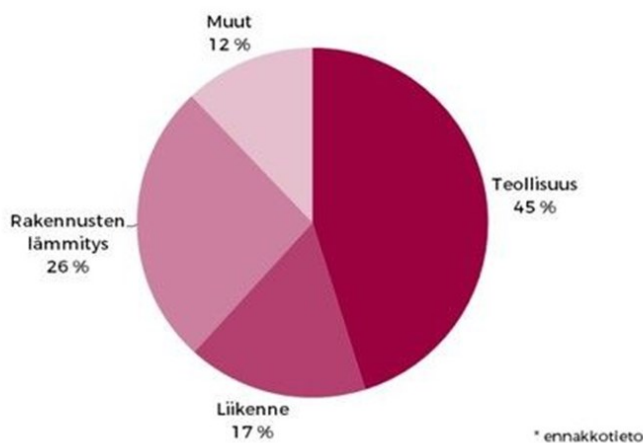
Taulukko 1. Biopolttoaineiden ominaisuuksia.....	16
--	----

1 Johdanto

1.1 Tausta ja rajaukset

Ilmastonmuutos on suuri puheenaihe nykyään ja päästöjen vähentämiseksi tehdään paljon Suomessa ja EU:ssa. Suomessa on tavoitteena vähentää päästöjä niin paljon, että vuoteen 2035 mennessä olisimme maana hiilineutraali ja sen jälkeen hiilinegatiivinen, eli päästöjä syntyisi vähemmän kuin mitä hiilinielut niitä sitovat. (Suomen kansallinen ilmastopolitiikka n.d.) Rakennusten lämmittäminen on suuri osa Suomessa käytetystä energiasta. Kuviosta 1 nähdään rakennusten lämmityksen olevan toiseksi suurin energian loppukäytön kohde vuonna 2019, heti teollisuuden jälkeen. Suomen ja EU:n päästöjen vähennykset koskevat erityisesti isoimpia energianloppukäytön kohteita. Uusien talojen energiatehokkuus ja uudet lämmitysjärjestelmät vähentävät energiankulutusta ja siten kuluja, mutta onko vanhojen järjestelmien uusiminen kustannustehokasta?

Energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain 2019*

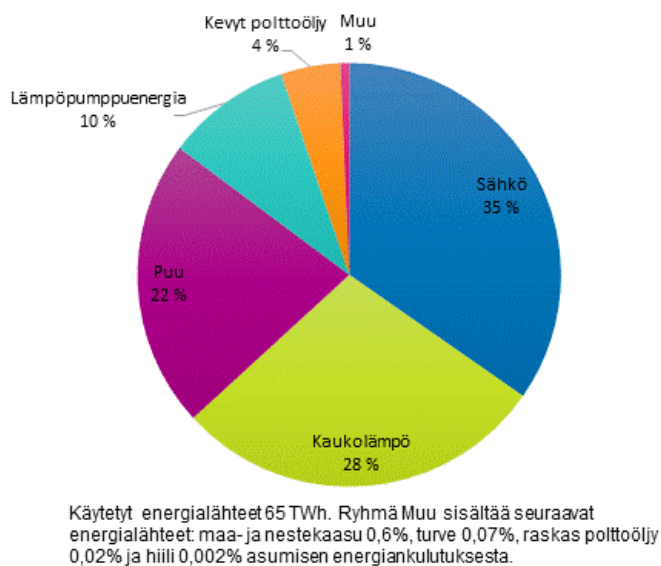


Kuvio 1. Energian loppukäytön jakautuminen vuonna 2019. (Energian loppukäyttö, 2020)

Opinnäytetyössä tarkasteltiin Hulipaskylän Hoivapalvelut Oy:n hoivakoti Kortekodin lämmöntuotantojärjestelmää ja selvitettiin vaihtoehtoisten tuotantojärjestelmien (maalämpö, aurinkovoima, puupelletti, hake) investointikustannuksia, säästöjä, luotettavuutta ja takaisinmaksuaikoja. Kortekodin lämmitys ja lämminkäyttövesi tuotetaan lämpökontissa, jossa poltetaan lajittelussa huonoksi havaittua kauraa. Lämmityksessä on käytetty alusta asti Biofiren poltinta, mutta se on kertaalleen

vaihdettu polttimeen palettua puhki. Kaura on halpa vaihtoehto tuottaa lämpöä, sillä sen lämpöarvo on melkein yhtä suuri kuin puupelletillä, mutta se on todella paljon halvempaa. Kauran suurin ongelma on tuhkan suuri määrä ja sen laavaantuminen polttimeen sisäpinnalle.

Kuviossa 2 on jaettu asumisessa kuluva energia energiamuodoittain. Kortekodille vertailtavat lämmitysvaihtoehdot rajattiin maalämpöön, aurinkolämpöön ja biopolttoaineisiin, sillä kohde ei ole esimerkiksi kaukolämmön piirissä. Öljyllä lämmittämistä vähennetään koko ajan Suomessa (Öljylämmityksestä luopuminen n.d.), joten se rajataan myös pois vertailusta. Maalämmöstä tutkittiin tehon tarve sekä tehdäänkö kaivo vai kaivetaanko putkisto kohteen vieressä olevalle pellolle. Aurinkolämmöstä selvitettiin, kuinka suuren pinta-alan katosta voidaan hyödyntää aurinkokeräimille ja kuinka suuren osan vuodesta laitteistoa voi hyödyntää lämmitykseen. Biopolttoaineita verrattiin nykyiseen poltettavaan kauraan ja tutkittiin kuinka paljon kutakin pitäisi polttaa korvatakseen sen. Biopolttoaineista tutkittiin myös, pystyykö nykyinen kattila ja poltin polttamaan vertailtavaa polttoainetta. Pelletti ja hake valittiin vaihtoehdoiksi, sillä niitä on helpointa hankkia alueella. Pelletitehtaalte on noin kahdenkymmenen kilometrin ajomatka ja haketta on mahdollista saada paikallisilta yrittäjiltä.



Kuvio 2. Asumisen energialähteet 2019. (Asumisen energiankulutus energialähteittäin vuonna 2019.)

1.2 Kohde

Kortekoti on 15 vuotta sitten rakennettu tehostetun palveluasumisen hoivakoti Juupajoella, Pirkanmaalla. Tehostetulla hoidolla tarkoitetaan kodin ja laitoshoidon väliin jäävää muotoa, eli kun henkilö ei pysty elämään yksin kotona fyysisistä tai psyykkisistä syistä. Hoivakodin lämpimän veden ja rakennuksen lämmityksen polttoaineena käytetään alueen viljelijöiden viljan lajittelussa ylitse jäävää jäteviljaa, joka ei sovellu ruuaksi ihmisille tai rehuksi eläimille (Kortekoti 2021). Kortekoti on 20 asukkaan hoivakoti, joten lämpimän veden sekä rakennuksen lämmitys vaativat paljon energiaa. Vettä kuluu noin 2400 litraa päivässä ja siitä voidaan olettaa 1000 litraa olevan lämmintä käyttövedettä. Lämpimän käyttöveden kulutuksen voi olettaa olevan 40 % veden kokonaiskulutuksesta, jos sitä ei erikseen tiedetä (Laskukaavat: Lämmin käyttövesi 2019). Kortekodin vuotuinen lämmitysenergiankulutus on laskettu olevan noin 75 000 kWh.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Tavoitteet ja menetelmät

Opinnäytetyössä käytetty tutkimusmenetelmä oli kehittämistutkimus, sillä työssä pyritään valmiiden tietojen perusteelta vertailemaan uusia lämmitysjärjestelmiä vanhaan ja toisiinsa, ja valita sitä kautta paras vaihtoehto Kortekodin lämmitysjärjestelmäksi. Laadullinen tutkimus käyttää sanoja ja lauseita, kun taas määrällinen tutkimus perustuu lukuihin. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa ei pyritä kvantitatiivisen tutkimuksen mukaisesti yleistyksiin (Kananen 2017, 35).

Työ tehdään määrällisenä (kvantitatiivinen) tutkimuksena, tietojen ollessa suurelta osin lukuja investoinneista, tehoista ynnä muista eli systemaattisia havaintoja ja tilastojen tutkimista. Osana on myös laadullista (kvalitatiivinen) tutkimusta, kuten haastattelut kohteen parissa työskentelevien kanssa ja mielipiteitä kohteen toiminnasta.

Kortekoti tarvitsee luotettavan lämmitysvaihtoehdon, sillä siellä asuu vanhoja ja huonokuntoisia asukkaita, joita pitää pestä ja huolehtia. Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa kustannuksia eri biopolttoaineille sekä tutkia maa- ja aurinkolämmön mahdollisuuksia Kortekodin lämmitykseen. Kartoituksen pohjalta ehdotetaan tapaa, jolla lämmitysenergia tuotettaisiin. Jokin polttoaine voisi olla kalliimpi, mutta vähemmän työllistävä, jolloin arvioidaan kumpi kriteereistä on painoarvoltaan

suurempi valinnassa. Kriteereinä työssä olivat investointikustannukset, päästöt ja työllistyvyys.

Opinnäytetyön tavoitteena oli vastata kysymyksiin:

- Mikä valituista lämmitystavoista olisi käytännöllisin vaihtoehto Kortekodille?
- Voiko vanhaa kalustoa käyttää vaihtamalla polttoainetta?
- Onko aurinkokeräimien hankinta valitun lämmitystavan rinnalle kannattavaa?

Tutkimusaineistoa oli lämmitysjärjestelmästä parin vuoden ajalta kerätty lämpötiladata sekä rakennuksen teknisestä tilasta kerätyt lämpimän käyttöveden kulutus ja lämpötilat. Lämpötiladata purettiin ja laskelmat tehtiin Microsoft Excel laskentaohjelmassa. Tietoa hankittiin internetistä, kirjastosta, toimittajilta, rakennuksesta itsestään ja perimätietona talonmieheltä ja kiinteistön omistajalta.

2.2 Tutkimusongelma

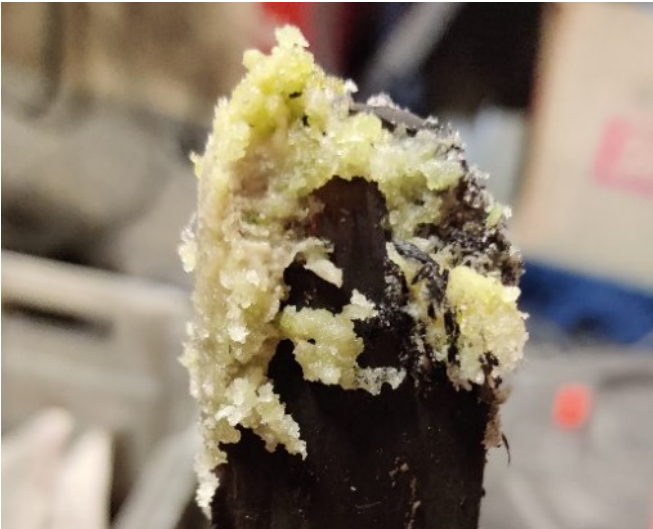
Vilja muodostaa palaessaan kivettymää polttimen reunoille, joka heikentää tuhkan ja polttoaineen liikumista sekä tukkii polttimen ilmareiät. Kivettymä aiheutuu viljan suuren tuhkapitoisuuden ja syntyvän tuhkan laavaantumisen takia kuumissa lämpötiloissa. Kivettymä haittaa tuhkan kulke- mista polttimessa ja palamista tukkeutuneiden ilmareiästä vuoksi. Liikkuvalla arinalla pystytään vähentämään kivettymän syntyä ja sen jäämistä polttimeen. Hyvänä puolena viljassa on sen korkea lämpöarvo, melkein verrattavissa puupellettiin, ja se että polttoon sopii huonolaatuiset viljaerät ja kaikki lajittelu ylijäämä, joita ei voida käyttää elintarviketeollisuudelle. (Bioenergianeuvoja 2020)

Tuhkan laavaantumisen ja polttimen tukkeutumisen takia polttimen sisäpintaa käydään 1–2 kertaa päivässä raapimassa toimivuuden parantamiseksi, mikä aiheuttaa turhaa huolta polttimen toimivuudesta ja saattaa vaatia parikin työtuntia joka päivä. Huonoina päivinä poltin tai kuljetusruuvi tukkeutuu, jolloin poltin voi olla sammuksissa monta tuntia yhtäjaksoisesti. Raapimisen lisäksi poltinta joudutaan pesemään kyseisen kivettymän takia talvikausina kerran kuussa ja kesällä muutamman kuukauden välein. Kesäisin poltin on ollut pitkiä aikoja poissa päältä lämmityksen tarpeen ollessa vähäistä. Pesun ajaksi poltin irroitetaan kattilasta ja sen sisäpinnalta raavitaan kivettymää ja huuhdellaan vedellä. Vesi on todettu liuottavan ja pehmentävän kivettymää, jolloin se irtoaa helpommin, mutta silti kivettymää joudutaan hakkaamaan ja kuluttamaan voimalla irti sisäpinnalta.

Kuviossa 3 nähdään, kuinka kivetymä takertuu polttimeen sisäreunoille ja haittaa palavan materiaalin ja tuhkan kulkemista. Kuvio 4 on polttimeen raaputusraudan päästä, jolla raavitaan polttimeen sisäpinnat. Kivetymä on pehmeää ja muovaantuvaa ennen kovettumista.



Kuvio 3. Polttimeen sisäreunalle kivettyntä tuhkaa.



Kuvio 4. Polttimesta raaputettu kivetymä, ennen kiinteytymistä.

2.3 Teoria-aineiston keruu

Opinnäytetyön teoriapohja ja sen aineistoa kerättiin pääosin verkkosivuilta ja netistä ladattavista tiedostoista. Covid-19 pandemia ja opinnäytetyön teko paikkakunta vaikuttivat negatiivisesti kirjastoissa käymiseen ja kirjojen lainaamiseen. Onneksi kirjoista löytyi E-kirja vaihtoehtoja, joista saatiin riittävä pohja ilmiöiden ymmärtämiselle. Internetistä luetuista lähteistä pitää harjoittaa lähdekriittisyyttä, sillä jos lähde ei ole alkuperäinen, puolueeton tai se on väärä, muodostuu omista tiedoista subjektiivisia. Lähteitä kerättiin kirjaston sivuilla suositeltujen ja julkisten tutkivien tahojen sivuilta, esimerkiksi Motivalta. Osa käytetyistä lähteistä on sinänsä puolueettomia, sillä ne ovat laitetoimittajien taulukoita tai esitteitä, mutta niitä käyttäessä on pyritty varmistamaan jostain muualta sama asia. Teoriaa tukevissa kuvioissa on tarkasta lähdekriittisyydestä hieman joustettu, kunhan kuviossa esitetty sisältö on ollut oikeaa ja visuaalisesti selkeää.

2.4 Eettisyys ja luotettavuus

Tutkimusetiikalla tarkoitetaan yleisesti sovittuja pelisääntöjä suhteessa kollegoihin, tutkimuskohteeseen, rahoittajiin, toimeksiantajiin ja suureen yleisöön. Hyvällä tieteellisellä käytännöllä tarkoitetaan, että tutkijat noudattavat eettisesti kestäviä tiedonhankintamenetelmiä ja tutkimusmenetelmiä. (Vilkkä 2015, luku 2)

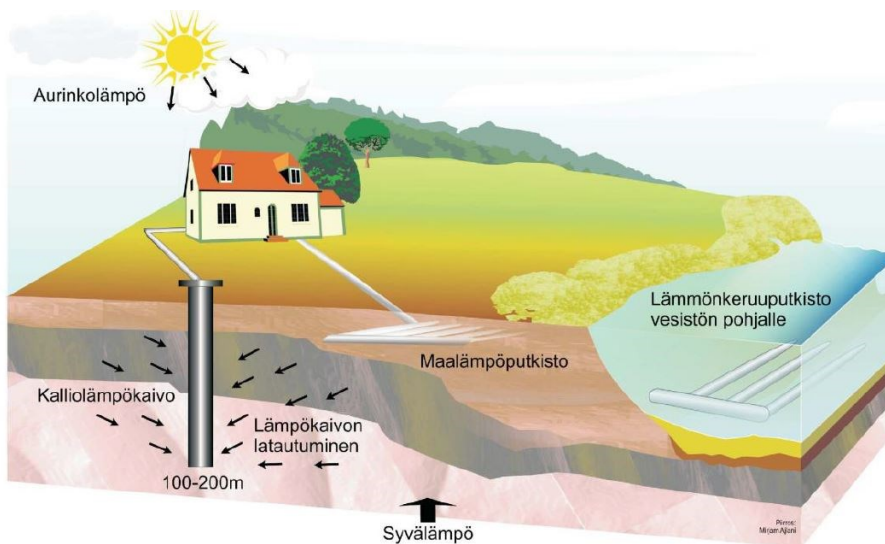
Hyvää tutkimusetiikkaa harjoitettiin kirjoittamalla omaa tekstiä, tuottamalla omaa materiaalia ja välttämällä plagiointia. Lähteet ja viittaukset on pyritty merkitsemään tarkasti, jotta teorioiden alkuperä ja tekijä selviävät.

Opinnäytetyössäni pyrin tuottamaan mahdollisimman luotettavaa ja paikkansa pitävää materiaalia. Opinnäytetyössä ei tutkittu Kortekodin salassa pidettävää materiaalia, joten opinnäytetyön tuloksia ei tarvitse salata. Tutkimuslupaa ei tarvittu hakea työtä varten ja käytetyt lähteet on pyritty hankkimaan luotettavilta sivuilta tai tahoilta.

3 Tietoperusta

3.1 Maalämpö

Maalämpö on maahan varastoitunutta puhdasta ja uusiutuvaa energiaa. Auringosta säteilevä lämpöenergia varastoituu maa- ja kallioperään, josta se on mahdollista hyödyntää lämpöpumppujen avulla lämmityksessä. Yleisin tapa hyödyntää maan lämpöenergia on porata muutama sata metriä syvä energiakaivo, josta pumppu saa kerättyä energiaa. Toinen tapa on kaivaa kiertopiiri vaakatasoon noin metrin syvyyteen maahan tai järven pohjaan. Vaakatasoon sijoitettava piiri vaatii paljon tilaa jonka takia taajama alueilla sovelletaan yleensä porakaivoa. (Maalämpö – Maahan varastoitunutta energiaa n.d.) Kuviossa 5 on esitetty keruupiirien asennustavat ja kuvion 6 perusteella pystytään arvioimaan kuinka syvälle energiakaivo pitää porata tai kuinka pitkä keruupiiri pitää kaivaa maahan tai vesistöön. Kuvion 6 taulukon luvut ovat suuntaa antavia ja on peräisin lämpöpumppu valmistaja Niben oppaasta



Kuvio 5. Maalämmön eri keruumenetelmät. (Selvitys Pohjois-Karjalan maalämpöpotentiaalista on valmistunut 2020.)

	I alue	II alue	III alue	IV alue
Keskilämpötila, °C	+5,3	+4,6	+3,2	-0,4
Mitoittava ulkolämpötila, °C	-26	-29	-32	-38
Lämpökaivo				
kWh/m	150	140	130	120
W/m	42 - 43	38 - 41	34 - 38	30 - 35
Liuoksen keskilämpötila, °C	-2,5...+1	-2,5...+1	-2,5...+1	-2,5...+1
Pintamaa				
kWh/m	60	50	45	35
W/m	12 - 15	11 - 14	10 - 13	10 - 12
Liuoksen keskilämpötila, °C	-2,5...+1	-2,5...+1	-2,5...+1	-2,5...+1
Vesistö				
kWh/m	90	80	70	50
W/m	20	20 - 25	15 - 20	15 - 20
Liuoksen keskilämpötila, °C	+1...+2	+1...+2	+1...+2	+1...+2



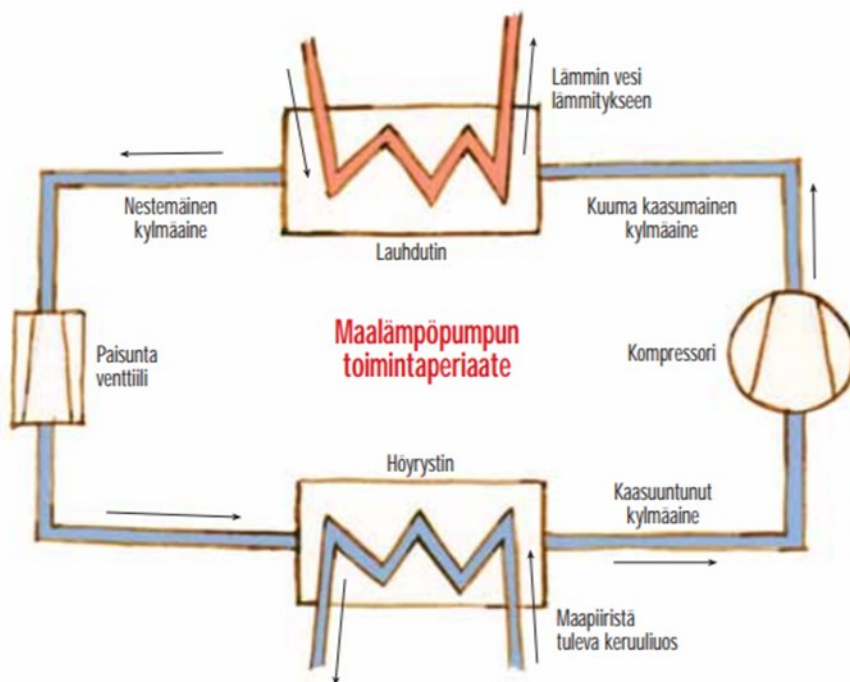
Kuvio 6. Maalämpöpumpun keruupiirien mitoittaminen. (Pientalojen maalämpöpumppu opas n.d.)

Maalämpöjärjestelmää suunniteltaessa on tärkeää tietää, minkälaiseen maaperään energiakenttä asennetaan. TRT-mittaus, eli terminen vastetesti (thermic resistance test), kertoo maaperän tai kallion lämmönjohtavuudesta ja energiakaivon lämpövastuksesta. Mittauksen avulla saadaan mitoitettua järjestelmä tarkemmin ja varmistetaan, että energiakaivosta saadaan tarvittava määrä tehoa ja energiaa kiinteistön tarpeisiin. (TRT-mittaus 2018.) TRT-mittausten avulla voidaan mallintaa tietokoneohjelmilla energiakentän toiminta ja lämmönkeruunesteiden lämpötilankehitys jopa sadan vuoden ajalle, vaikka normaalisti mallinnus tehdään 10–30 vuoden ajalle. (Energiakaivo 2013.)

Lämpöpumppu voidaan mitoittaa täystehomitoituksella tuottamaan kaiken rakennuksen tarvitseman energian ja tehon kaikkina vuodenaikoina tai osatehomitoituksella, jolloin lämpöpumppua avustaa joko sähkö tai saneerausessa jäljelle jätetty kattila/poltin. Osateholla lämpöpumput tyyppillisesti tuottavat 60–85 % tehosta, joka muuntuu noin 90–98 % talon vuosienenergiamääräksi. Mitoittamisessa tärkeä tieto on rakennuksen energiankulutus, joka sisältää käyttöveden kulutuksen, lämmityksen tarpeen, eristystason, ilmanvaihdon ja rakennuksen sijainnin. (Energiakaivo 2013.)

3.1.1 Toimintaperiaate

Lämpöpumpussa on neljä pääkomponenttia: kompressor, paisuntaventtiili, höyrystin ja lauhdutin. Höyrystin ja lauhdutin ovat lämmönvaihtimia. Höyrystimessä putkistossa virtaava kylmäaine sitoo itseensä lämpöä keruuliuksesta ja kulkee kompressorille höyrystyneenä. Kompressorissa höyrystyneen kylmäaineen painetta kasvatetaan, jolloin sen lämpötila nousee. Lauhduttimessa höyry luovuttaa energiaa rakennuksen lämmityspiiriin ja tiivistyy takaisin nesteeksi. Paisuntaventtiili alentaa nestemäisen kylmäaineen painetta, jolloin sen lämpötila laskee ja kierto alkaa taas alusta höyrystimessä, jossa matalapaineinen kylmäaine höyrystyy ja siirtyy kompressorille. (Miten maalämpöpumppu toimii? N.d.) Kuviossa 7 on esitetty lämpöpumpun toimintaperiaate. Kaikki lämpöpumput toimivat Carnot'n kiertoprosessilla.



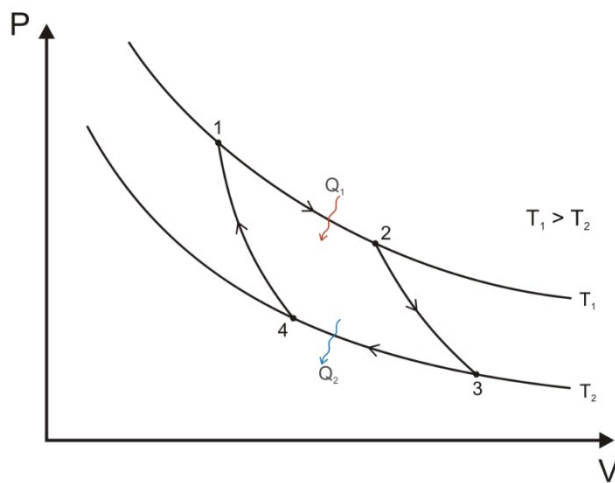
Kuvio 7. Lämpöpumpun toimintaperiaate. (Lämpöä omasta maasta N.d.)

3.1.2 Carnot'n kone

Carnot'n kone saa nimensä Sadi Carnot mukaan, joka tarkasteli ensimmäisenä termodynaamisten prosessien tehokkuutta. Sadi Carnot määritteli, että tehokkain lämpökone tulee olla kahden lämpösäiliön välillä toimiva reversiibeli kiertoprosessi, Carnot'n kone. Tämä tarkoittaa, että prosessia

on mahdollista ajaa takaperin. Tämä käänteinen prosessi siirtää lämpöenergiaa kylmemmästä lämpövarastosta kuumempaa, kunhan ympäristö tekee tarpeeksi työtä Carnot'n koneeseen. Carnot'n kone toimii tällöin lämpöpumppuna. (Napari & Vehkamäki 2013.)

Carnot'n koneessa on neljä vaihetta, joista kaksi on isotermistä ja kaksi adiabaattista. Isotermisessä vaiheessa kaasun lämpötila pysyy vakiona, mutta paine ja tilavuus muuttuvat, ja adiabaattisessa vaiheessa kaasu ei luovuta tai vastaanota lämpöenergiaa (Napari & Vehkamäki 2013). Kuviossa 7 isotermisiä vaiheita ovat lauhdutin ja höyrystin, joissa kaasu luovuttaa ja vastaanottaa lämpöenergiaa. Adiabaattiset vaiheet tapahtuvat kompressorissa, jossa kaasun painetta nostetaan, ja paisuntaventtiilissä, jossa kaasun painetta lasketaan. Kuviossa 8 on esitetty Carnot kierto prosessi paine—tilavuus koordinaatistossa, joka kuvaa kaasun paineen, tilavuuden ja lämpötilan muutoksia.



Kuvio 8. Carnot'n koneen kierto paine-tilavuus koordinaatistossa. (Carnot'n kierto n.d.)

3.1.3 Lämpökerroin

Lämpöpumppujen tehokkuutta kuvataan lämpökertoimella, josta käytetään englannin kielestä johdettua lyhennettä, COP (Coefficient Of Performance). Lämpökerroin kertoo, kuinka paljon lämpöenergiaa tuotetaan verrattuna sähköenergian kulutukseen. Esimerkiksi jos COP on 3, niin jokaista

sähköverkosta otettua kilowattituntia kohden tuotetaan kolme kilowattituntia lämpöä. Eli verrattuna suorasähkölämmitykseen, lämpöpumpulla saataisiin noin kolmasosalla energiaa tuotettua sama lämpöenergia. (Perälä 2013, 30.) Teoreettinen lämpökerroin lasketaan kaavalla 1.

$$COP = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (1)$$

missä COP=lämpökerroin

T_1 =keruukohteen lämpötila (maa tai vesistö), K

T_2 =luovutuslämpötila (sisäilma tai kiertovesi), K

Lämpökerrointa laskiessa lämpötilat on ilmoitettava Kelvin-yksikköinä. Teoreettinen lämpökerroin on suurempi kuin todellinen lämpökerroin oikeasti on, sillä siinä ei oteta huomioon prosessin lämpöhäviöitä, kompressorin, lämpöpumpun tai muiden laitteiden energiankulutusta, jotka pienentävät kerrointa. Lämpökerroin on suuri, kun keruukohteen ja luovutuskohteen lämpötilaero on pieni. Lattialämmitystä käyttävissä rakennuksissa pystytään pitämään luovutuslämpötilaa matalammalla, jolloin lämpökerroin kasvaa. (Perälä 2013, 31.)

Nykyään lämpöpumpuille ilmoitetaan myös SCOP-kerroin (Seasonal Coefficient Of Power), joka tarkoittaa lämmityskauden lämpökerrointa. SCOP lasketaan neljälle eri lämmityskaudelle ja Euroopassa kolmelle eri ilmastovyöhykkeelle. Pohjois-Euroopan lämpökertoimet lasketaan Helsingin ilmasto-olosuhteiden mukaan. (SCOP vai COP? Ota tehojen vertailun keskeiset termit haltuun, n.d.)

3.2 Biopolttoaineet

Biopolttoaineella tarkoitetaan biomassasta saatavia polttoaineita, joiden raaka-aineita saadaan pelloilta, soilta tai metsistä. Eniten Suomessa käytetyt biopolttoaineet ovat puu ja turve. Biokaasua, jota voidaan käyttää polttoaineena, valmistetaan kasvavassa määrin teollisuus- ja yhdyskuntajätteistä sekä karjamaatalouden lietteestä ja lannasta. Biopolttoaineet ovat tärkeä energianlähde, sillä niillä pystytään vähentämään riippuvuutta fossiilisiin polttoaineisiin, vähentämään ympäristövaikutuksia sekä parantamaan huoltovarmuutta. (Biopolttoaineet N.d.) Biopolttoaineet voidaan

laskea uusiutuviksi energianlähteiksi, vaikkakin esimerkiksi turve on hyvin hitaasti uusiutuva, sillä jotta turvetta voitaisiin hyödyntää polttoaineena, sen on ensin maaduttava noin 3000 vuotta. (Tutkittua tietoa turpeesta 2020.)

Haketta, pellettiä ja kauraa poltetaan kattiloissa tai polttimissa. Polttoaineita säilytetään omassa varastossa, josta se kuljetetaan ruuvikuljettimella poltettavaksi. Turvallisuutta lisäämään on järjestelmään asennettu sulkusyötin, joka estää liekin pääsemisen ruuvikuljettimelle ja sitä kautta varastoon, takatulen sattuessa. (Kiinteän polttoaineen lämmityskattiloiden turvallisuus n.d.) Kuviossa 9 esitetään haketta käyttävä lämmitysjärjestelmä ja siihen kuuluvat osat. Samoja osia voi löytää Kortekodilla käytetystä lämmitysjärjestelmästä kuviossa 10.



Kuvio 9. Hakelämmitysjärjestelmä poltin ja kattila. (Viirimäki ym. 2008.)



Kuvio 10. Kortekodilla käytetty poltin ja kattila.

Kaura

Kauran polttamisesta ja mistä sitä Kortekodille saadaan, on kerrottu luvuissa yksi ja kaksi. Taulukossa 1 nähdään kauran olevan samaa tasoa pelletin energiatihedyn kanssa ja hakkeeseen verrattuna noin kolme kertaa suurempi. Aiemmin mainittu kauran suuri ja laavaantumista aiheuttava tuhkapitoisuus voi olla paikoittain yli 10-kertainen puupohjaisiin pellettiin ja hakkeeseen verrattuna.

Taulukko 1. Biopolttoaineiden ominaisuuksia. (Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia 2000).

Polttoaine	Kosteus (massa-%)	Tiheys (kg/i-m ³)	Energiatiheys (kWh/i-m ³)	Tuhkapitoisuus (massa-%)
Kaura	14%	520-590	2200-2500	6%
Pelletti	10%	600-650	2900-3900	1%
Hake	25%	250-300	700-900	1%

Pelletti

Pelletit valmistetaan puristamalla sahanpurua tai hiontapölyä pellettimatriisin läpi. Prosessissa lämpötila nousee 160 asteen lähettyville, jolloin puukuidussa oleva liima-aines ligniini pehmenee ja sitoo puukuidut toisiinsa ja pitää pelletin kasassa. Matriisin läpi puristettu pelletti on noin 6–12 mm paksu ja 10–30 mm pitkä. Pellettien tasalaatuisuus tekee siitä helpon ja luotettavan polttoaineen. Kuljetuksessa ja polttoaineruuvissa pelletti saattaa hajota ja murustua takaisin puruksi, joka voi tukkia ruuvin. (Pelletit. 6.8.2020.)

Hake

Hake on puusta koneellisesti hakettua, tasakokoiseksi tehtyä, lastuja. Haketta tehdään energia-
puista, hakkuutähteistä, kannoista ja muusta puujätteestä. Hakkeen laatua arvioidaan kosteuden, laadun tasaisuuden ja palojen koon perusteella. Hakkeen palakoko vaihtelee 5–50 mm välillä ja mitä tasalaatuisempaa hake on sitä paremmin ja luotettavammin lämpölaitos toimii. Hakkeen kosteusprosentti tulee olla alle 30 %, jotta sitä ajatellaan hyvä laatuisena. Vastakaadetun puun kosteus on noin 60 %, joten sen pitää antaa kuivua ennen kuin sitä käytetään polttoaineena. Kosteaa haketta käytettäessä suurin osa energiasisällöstä kuluu hakkeen kuivattamiseen ja vain pieni osa voidaan käyttää lämmitykseen. (Laatu n.d.)

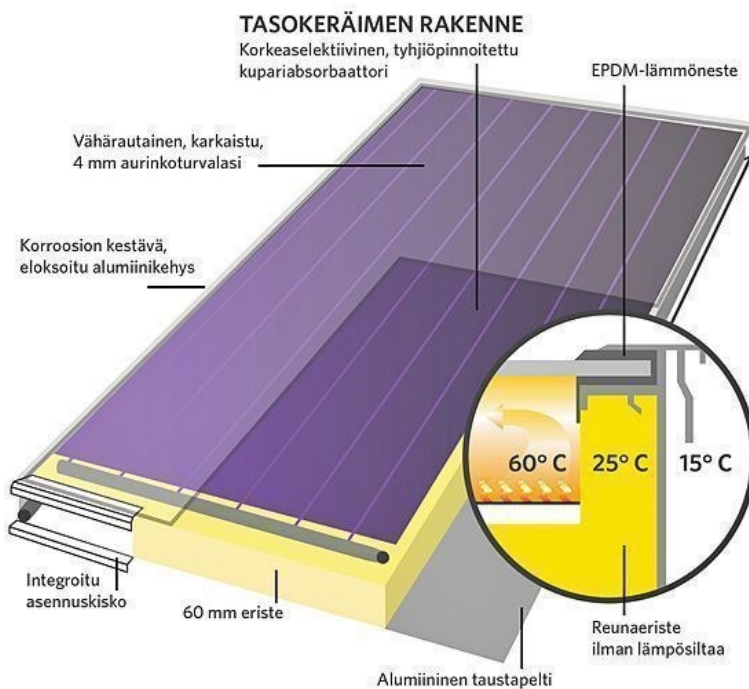
3.3 Aurinkokeräimet

Aurinkolämpö ja -sähkö kasvattavat kiinnostustaan koko ajan Suomessa ja maailmalla. Niiden teknologia on kehittynyt valtavasti 2000-luvulla ja samalla hinta on pudonnut luokkaan, jossa omakotitalojen omistajatkin pystyvät hankkimaan järjestelmän järkevään ja itsensä takaisin maksavaan hintaan. Suomessa suurin ongelma on talven vähäinen valoisa aika, jolloin auringosta saataisiin energiaa. Lyhyen valoisan ajan aikana ei pystytä tuottamaan riittävästi lämpöä koko päivän tarpeisiin, joten aurinkolämpöjärjestelmän lisänä pitää olla toinen lämmitysjärjestelmä, jolla pystytään tuottamaan erotus. Auringosta vaakatasolle säteilevä energia vuodessa on Suomen leveyspiirillä noin 1000 kWh/m² (Aurinkosäteilyn määrä Suomessa 2021).

Aurinkokeräimellä tarkoitetaan järjestelmää, joka kerää talteen auringosta säteilevää energiaa ja muuttaa sen lämmöksi. Järjestelmään kuuluu keruulaitteisto (aurinkokeräimet), lämpövarasto (varaaja) ja siirtoputkisto. Putkistossa virtaa lämmönsiirtoneste ja sen pumppaamiseen tarvitaan pumppu ja ohjausyksikkö. Lämpövarastoa tarvitaan sillä lämmöntarve ei aina tapahdu saman aikaan kuin aurinko paistaa, jolloin sen voi säilöä esimerkiksi lämminvesivaraajaan. Varaajan lämmityksessä käytettävät keräimet jaetaan yleensä kahteen tyyppiin, tyhjiöputki- ja tasokeräimet. Molemmissa tapauksissa varaajaan pitää asentaa keräimiä varten oma lämmityskierukka, jottei keräimien lämmönsiirtoneste sekoittuisi varaajan veteen. (Aurinkolämpöjärjestelmät 2020.)

3.3.1 Tasokeräimet

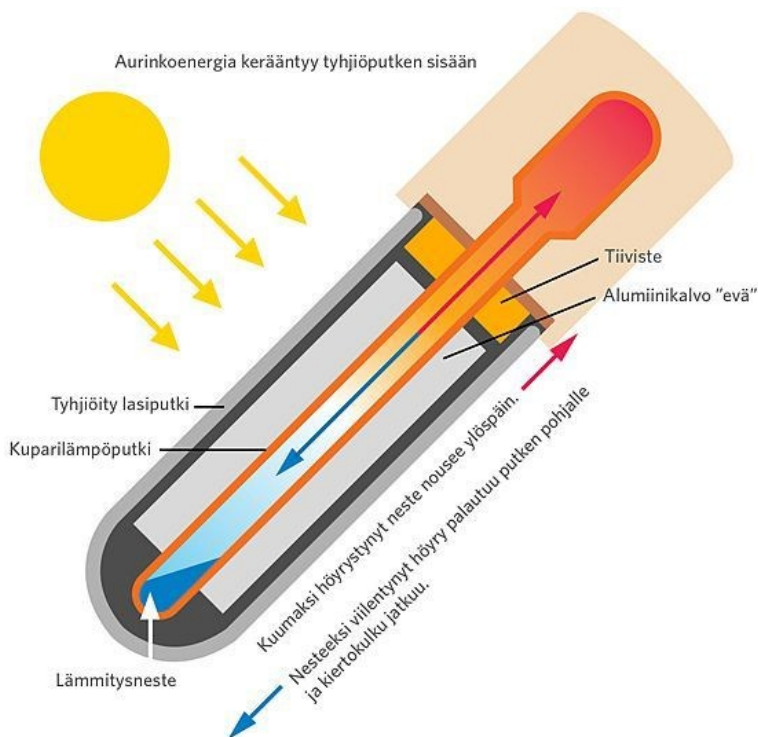
Tasokeräimissä säteilyn keräämistä tehostetaan tumman keräinelementin avulla. Keräinelementti on, reunoja lukuun ottamatta, koko keräimen kokoinen, jolloin asennukseen käytettävä pinta-ala saadaan hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti. Keräimien päällä on läpinäkyvä kate, jottei ulkoilma viilentäisi elementtiä. Tasokeräimien paras hyötysuhde saavutetaan, kun lämpötilaero keräimen ja ympäristön välillä on pieni. (Tasokeräimet 2020). Kuviossa 11 on esitetty tasokeräimen rakenne.



Kuvio 11. Tasokeräimen rakenne. (Tasokeräimet 2020.)

3.3.2 Tyhjiöputkikeräimet

Tyhjiöputkikeräimien lämmityselementti on ympäröity tyhjiöllä, joka vähentää johtumishäviöitä. Tyhjiö toimii eristeenä ja estää tehokkaasti absorboitua lämpöhäviötä. Lämmöntuotto ja hyötysuhde ovat tämän takia parempia tyhjiöputkikeräimissä, kuin tasokeräimissä, mutta tasokeräimet ovat yleensä hieman halvempia. Lämpiminä aikoina lämmöntuotossa ei ole suurta eroa. Lämmönsiirtyminen siirtonesteeseen tapahtuu lämpöputken (Heat Pipe) avulla tai läpivirtausperiaatteella. Lämpöputkessa höyrystyvä neste ja siirto-putkistossa virtaava lämmönsiirtoneste ovat erillisiä nesteitä ja lämmönsiirto tapahtuu lämmönvaihtimen kautta. Läpivirtaus keräimissä lämmönsiirtoneste virtaa u-muotoisessa putkessa tai sisäkkäin olevista putkista muodostetussa koaksiaaliputkessa (Tyhjiöputkikeräin 2020). Kuviossa 12 on lämpöputken rakenne.



Kuvio 12. Tyhjiöputkikeräimen rakenne, Heat Pipe-lämpöputki. (Tyhjiöputkikeräin 2020.)

3.3.3 Mitoitus

Vuonna 2012 uusiutuneen Suomen rakentamismääräysten pohjalta on Ismo Heimonen tehnyt Aurinko-opas 2012 nimisen oppaan aurinkolämmitysjärjestelmien ja aurinkosähköjärjestelmien mitoittamiseen. Laskut perustuvat SFS EN 15316-4-3:2007 standardiin, jota on uusittu viimeksi 2017.

Aurinko-oppaan laskuilla on mahdollista laskea käyttöveden lämmitykseen saatava tuotto ja järjestelmän kuluttama energia. Laskentaa varten tarvitaan keräimien ominaisuuksia, kuten hyötysuhde ja pinta-ala sekä suunnittelu kohteen auringon säteilyenergiatiedot ja lämpimän käyttöveden kulutus. (Heimonen 2011.) Aurinkokeräimet mitoitetaan kattamaan lämpimän käyttöveden energiankulutus, jolloin pystyttäisiin pitämään pääasiallista lämmitysjärjestelmää poissa päältä kesäisin.

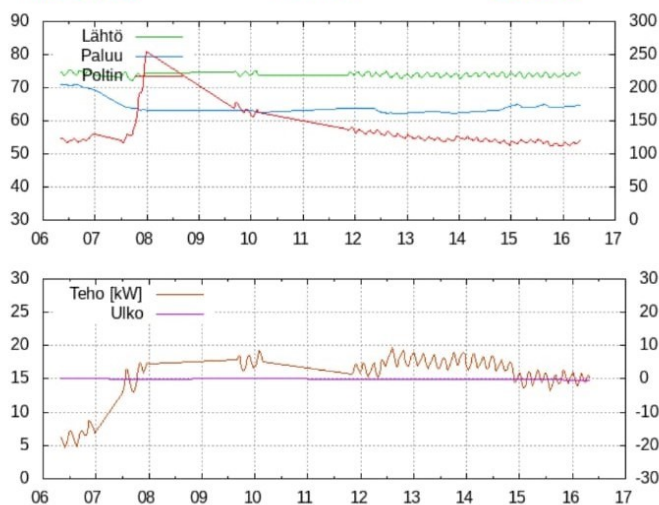
4 Hankkeen toteutus

4.1 Menetelmät ja aineiston keruu

4.1.1 Lämmitysenergiankulutus

Kortekodin lämmitysjärjestelmästä on saatu kerättyä tuntikohtaista tietoa polttimen tehosta ja lämpötilasta, lähtö- ja paluuveden lämpötiloista sekä ulkolämpötilasta. Liitteessä 2 on esimerkki, minkälaista tietoa polttindatasta saadaan ja kuvio 12 on esimerkki, miten data muutetaan luettavaan muotoon. Kaaviosta pystytään seuraamaan polttimen toimintaa viiveettä ja kerätty data on mahdollista ladata tekstimuotoon ja muuntaa Excel tiedostoksi, jolloin sitä on helppo käsitellä ja analysoida. Polttimen data tuo lisätietoa Kortekodin lämmityksestä ja energian tarpeesta. Esimerkkinä kuviossa 13 nähdään tehon nousevan aamulla kahdeksan aikaan noin kolminkertaiselle tasolle yöhön verrattuna.

2020-01-29 16:19:04 **Lähtö:**74.5 °C **Paluu:**64.8 °C **Poltin:**119.8 °C **Teho:**20.5 kW **Ulko:**-0.5 °C



Kuvio 13. Polttimesta kerätty data.

Polttimen tuottama lämmitysenergia saadaan vertailemalla lähtö- ja paluuvesien lämpötiloja. Kiertovesi kulkee kattilan vesisäiliön läpi ja vesisäiliötä lämmittää poltin. Tällöin voidaan olettaa, että lämpötilojen erotus on polttimen lämmittämä. Teho saadaan laskettua, kun tiedetään lämpötilaero, veden ominaislämpökapasiteetti ja tiheys sekä kiertoveden virtaus. Virtauksen määrä on selvitetty lämpökontin omasta seurantalaitteesta kirjoittamalla ylös usean kuukauden ajalta sen hetkisen virtauksen määrä ja tekemällä siitä oma taulukkonsa. Virtauksen yhteydessä kerätty data on esitetty liitteessä 3. Lämmitysenergia saadaan laskettua kaavalla 2.

$$Q = cv\rho\Delta Tt \quad (2)$$

missä Q = kiertoveden vastaanottama lämpömäärä

c = aineen ominaislämpökapasiteetti

ρ = tiheys

ΔT = lämpötilaero

t = aika tunteina.

Tätä kaavaa käyttäen Excelissä saadaan laskettua lämpömäärä sekä lämmitysteho halutulle ajalle. Vuoden energiankulutuksen saa, kun laskee tuntien kulutukset yhteen. Vuosienergiankulutus tiedon avulla saadaan tehtyä vertailu eri lämmitysjärjestelmien kustannuksien välillä. Energiankulutukselle tehdään kulutuksen normitus.

Lämmitysenergian kulutuksen normeeraus on työkalu, jolla saadaan vertailukelpoinen kulutusmäärä riippumatta rakennuksen sijainnista tai vertailtavan ajan lämpötilaeroista. Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia erotetaan normituksesta, sillä se ei ole verrannollinen ulkolämpötilaan. (Kulutuksen normitus, 2019). Normitettu energiankulutus lasketaan kaavalla 3.

$$Q_{norm} = \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{totetutunut} \text{ vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{LKV} \quad (3)$$

jossa Q_{norm} = rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus

$Q_{\text{toteutunut}}$ = tilojen lämmittämiseen kuluva lämmitysenergiankulutus. $Q_{\text{toteutunut}}$ saadaan vähentämällä kokonaislämmitysenergiasta Q_{LKV} .

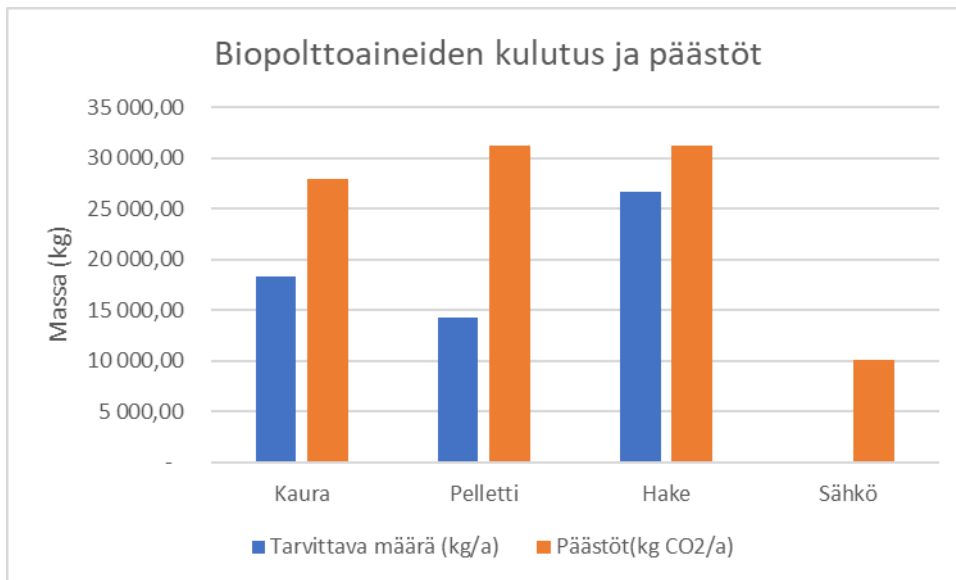
Q_{LKV} = käyttöveden lämmittämiseen kuluva lämmitysenergiankulutus

$S_{\text{N vp kunta}}$ = vertailupaikkakunnan normaalivuoden/-kuukauden lämmitystarveluku (keskiarvo 1981–2010). Saadaan ilmatieteenlaitoksen sivuilta

$S_{\text{toteutunut vp kunta}}$ = vertailupaikkakunnan vuoden tai kuukauden toteutunut lämmitystarveluku.

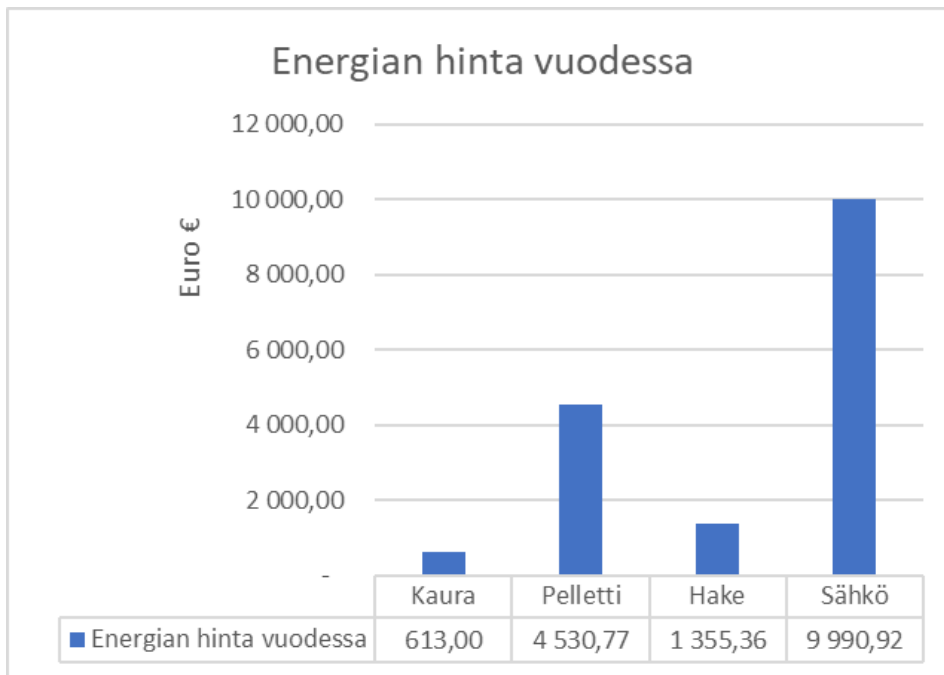
4.1.2 Biopolttoaineet

Biopolttoaineiden vertailu oli helpoin tehdä, sillä polttoaineiden ominaisuuksista sai tehtyä vertailutaulukon. Vertailtaviksi ominaisuuksiksi valittiin hinta, hiilidioksidipäästöt, polttoaineen kulutus sekä tuhkan määrä, joka on aiheuttanut ongelmia nykyisellä järjestelmällä. Polttoaineen kulutus vuodessa lasketaan jakamalla vuoden lämmitysenergiankulutus ensiksi energiatheydellä ja sen jälkeen kertomalla polttoaineen tiheydellä, jolloin saadaan polttoaineen tarvittava määrä kiloissa. Kuviossa 14 on esitetty kauran, pelletin ja hakkeen vuosikulutukset ja päästöt. Haketta kuluisi pienemmän energiatheydensä takia enemmän kuin muita polttoaineita. Päästöissä puupohjaiset hake ja pelletti ovat saman arvoisia, mutta kauralla päästöt ovat hieman pienemmät. Kaura tuottaisi vuodessa noin 3000 kiloa vähemmän CO₂ päästöjä. Sähkö on otettu vertailuun mukaan, vaikka ei olekaan biopolttoaine. Fingrid, joka vastaa Suomen kantaverkosta, kertoo sivuillaan Suomessa tuotetun ja kulutetun sähkön päästökertoimet (Sähköntuotannon CO₂-päästöarvio 2021). Sähkö on reilusti pienempi päästöistä kuin poltettavat biopolttoaineet, mutta paljon kalliimpaa.



Kuvio 14. Biopolttoaineiden kulutus ja CO₂ päästöt.

Hake ja pelletti ovat tuhkapitoisuuksiltaan hyvin saman arvoisia. Tuhkaa syntyy puuperäisistä polttoaineista hyvin vähän ja vuodessa Kortekodilla olisi huolehdittavana vain noin 200 kg tuhkaa (Hakkeesta 268 kg ja pelletistä 143 kg). Kaura ja pelletti taas ovat melkein saman arvoisia energiatiheydensä suhteen, joka vaikuttaa polttoaineen kulutukseen ja sitä kautta vuotuisen hintaan. Hinta on loppujen lopuksi suurin eroavaisuus polttoaineiden kesken. Pelletti on kaikista kalleinta ja kaura halvinta. Suomen Tilastokeskus on pitänyt kirjaa puupelletin hinnasta kuluttajalle ja syyskuussa 2021 on kirjattu hinnaksi 5,85 snt/kWh, eli 58,5 e/MWh (Liitetaulukko 25. Puupelletin kuluttajahinta 2021). Tilastokeskuksen taulukon mukaan pelletin hinta on pysynyt melko tasaisena sitten vuoden 2015. Kuviossa 15 esitetään kauran, pelletin ja hakkeen hinta vuodessa. Hakkeen hinta on 15–25 €/MWh välillä ja kauralle laskettu hinta on 7,87 €/MWh. Polttoaineiden vuosikustannukset olisivat pelletillä 4600€0, hakkeella 1400€ ja kauralla 650€. Vertailuna, jos sähköllä tuotettaisiin kaikki lämmitysenergian tarve niin hinnaksi tulisi noin 10 000 euroa, sähkönn hinnalla 0,13e/kWh.



Kuvio 15. Polttoaineiden hinta vuodessa.

Hakkeen eliminointi

Hake on ainoa vaihtoehtoista, jossa täytyisi rakentaa uutta ja vanha lämpökontti pitäisi uusia kokonaan. Hake tarvitsee purkaimen säiliöönsä, jottei säiliössä oleva polttoaine holvaantuisi. Purkaimessa liikkuu tankoja vaakatasossa, jotka liikuttavat haketta kuljetusruuville. Ilman purkaimia hake saattaisi kasaantua siten, että ruuvi pyörisi tyhjänä hakekasan alla, eli kasa holvaantuisi ja polttoaine ei kulkisi. Tällaista purkainta on hankala asentaa nykyiseen lämpökonttiin, vaikka niitä tehdäänkin kontin mitoilla. Nykyistä konttia pitäisi aukoa, purkaa ja muokata ja siltikään ei ole varmaa, että kontista saataisiin hakkeelle sopiva. Pelletti ja kaura ovat kooltaan ja muilta ominaisuuksiltaan erilaisia niin että nykyinen kartion muotoisen säiliön pohjalla oleva ruuvi toimisi niiden siirtämiseen. Kuviossa 16 on ilmoitettu euroissa eri kokoisten hakelämmitysten rakennuskustannuksia. Hake tarvitsisi myös välivaraston, jossa voisi säilöä muutaman kuukauden polttoainemäärä.

	50 kW	100 kW	250 kW
Pannuhuone	7 000	7 000	12 000
Kattila	4 000	6 000	13 000
Syöttölaitteet, automatiikka ja poltin	10 000	15 000	30 000
Syöttöhuone	7 000	12 500	19 000
Savupiippu	1 500	2 000	3 000
Sähkötyöt + tarvikkeet	1 500	2 500	4 000
LVI - työt + tarvikkeet	3 000	4 000	13 000
Rakennusluvut ja piirustukset	1 000	1 000	1 000
Lämpökanaalit 50 - 100 • / m			
YHTEENSÄ	35 000	50 000	95 000

Kuvio 16. Hakelämmityksen rakennuskustannuksia. (Viirimäki ym. 2008).

4.1.3 Aurinkolämpö

Aurinko-opas 2013 avulla tehtiin Exceliin laskentataulukko laskelmaan aurinkokeräimillä saatava osuus lämpimän käyttöveden energiankulutuksesta. Laskentaan käytettiin kaavaa 3.

$$Q_{tuotto,A} = c_{tyyppi}(aX + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{tarve,A} \quad (3)$$

Jossa $Q_{tuotto,A}$ = aurinkojärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla (kWh)

$Q_{tarve,A}$ = lämmöntarve, eli tässä tapauksessa lämpimän käyttöveden energiankulutus

c_{tyyppi} = varaajatyypin korjauskerroin, menetelmässä käytetään $c_{tyyppi}=1$

a, b, c, d, e, f = varaajatyypistä riippuvia korjauskertoimia, valmiiksi ilmoitettu standardissa

X, Y = X on häviöt/tarve -suhde ja Y on tuotto/tarve -suhde. X ja Y lasketaan omilla kaavoillaan ja ovat dimensiottomia suureita.

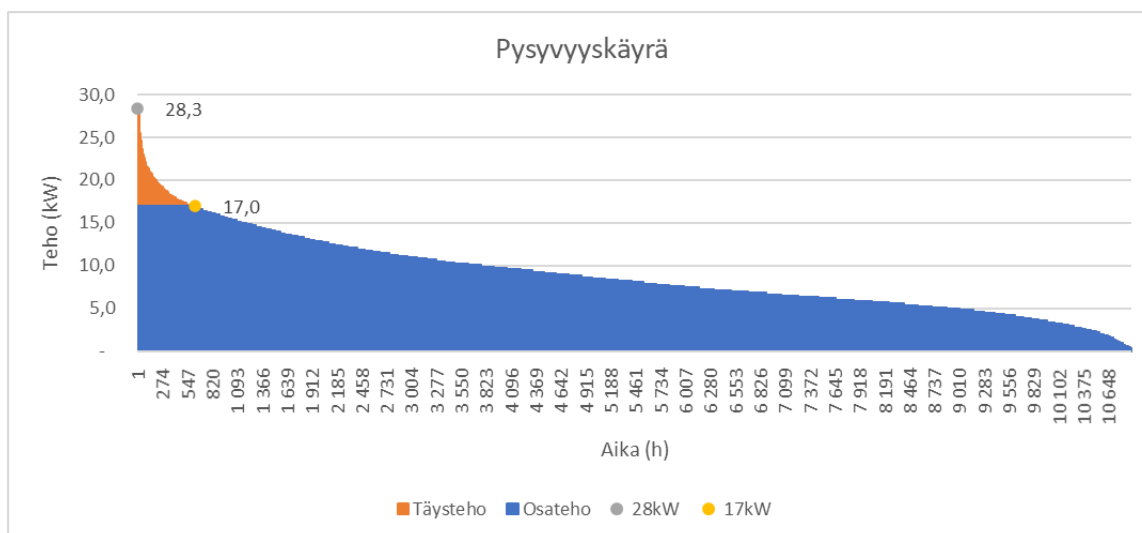
Kaavassa käytetyt X ja Y lasketaan omilla kaavoillaan, joissa esiintyy keräinten pinta-ala, lämpöhäviö, hyötysuhteita, lämpötilaeroja, ynnä muita korjauskertoimia. Laadittu taulukko esittää kunkin

kuukauden lämpimän käyttöveden tarpeen ja kuinka suuren osan siitä pystytään tuottamaan aurinkokäyttövedellä. Aurinkokäyttöveden varten varaajassa täytyy olla oma kierukka siirtämään lämpö keräimien keruunesteestä varaajaan.

4.1.4 Maalämpö

Maalämpöpumppu on vertailussa ajateltu toimimaan osateholla, eli jos pumppu tuottaisi 60 % huipputehosta, niin silloin katettaisiin noin 90 % vuotuisesta lämmitysenergiankulutuksesta. Kylmimmillä keleillä varaajassa olevat sähkövastukset tuottaisivat tarvittavan lisätehon. Maalämmön mitoitus lasketaan Niben taulukkoa hyödyntäen (kuvio 5). Taulukon avulla lasketaan arviota energiakaivojen ja -kentän kooille energiankulutuslaskuja hyödyntäen. Laskujen kanssa pystytään tekemään hinta-arvio kaivon poraukselle ja kentän kaivamiselle. Lopuksi saadaan vastaus kumpi olisi kannattavampi järjestely tehdä maalämpöpumppu ratkaisussa.

Kuviossa 17 on esitetty polttimen pysyvyyskäyrä, jossa on polttimesta kerättyä dataa vuosilta 2017–2021. Pysyvyyskäyrän vaaka akselilta nähdään, että dataa ei olla saatu kerättyä koko aikaa vaan siinä on katkoksia. Vuosi 2020 on ollut keräykseltä paras vuosi, mutta tässä kaaviossa hyödynnettiin muidenkin vuosien tietoja. Kaaviossa pystyakselilla on polttimen teho ja vaaka-akselilla aika tunteina. Akselien arvot kertomalla saadaan laskettua polttimen tuottama energiamäärä. Pysyvyyskäyrästä näkee maalämmön täysteho- ja osatehomitoitusten eron. Sininen alue on osatehomitoituksen tuottama energiamäärä ja se on noin 90 % huipputehon tuottamasta energiamäärästä, joka on oranssi alue sinisen lisäksi. Maksimi tehon tarve on 28,3kW ja osatehomitoitus 17kW. Maksimi teho on saatu tarkastelemalla polttimesta kerättyä dataa ja lajittelemalla sieltä suurin tehon tarve. Poltin lähtee käyntiin, kun kiertoveden lämpötila laskee kaksi astetta tavoitteesta ja sammuu kun tavoite lämpötila saavutetaan. Tällä asetuksella ei ole ollut suurta väliä ulkolämpötilan kylmyydessä, ja maksimi teho löytyi yhdeltä maaliskuun aamulta, jolloin oli vain muutama aste pakkasta. Niin kuin luvussa 4.1.1 mainittiinkin jo, aamuisin tehon tarve nousee asukkaiden herätessä ja aamutoimien alkaessa. Tietenkin, jos on kylmää, tarvitaan enemmän lämmitystä, mutta kunhan poltin on päällä ja toimii polttimen tehokäyrässä ei näy suurta vaihtelua.



Kuvio 17. Polttimen pysyvyyskäyrä.

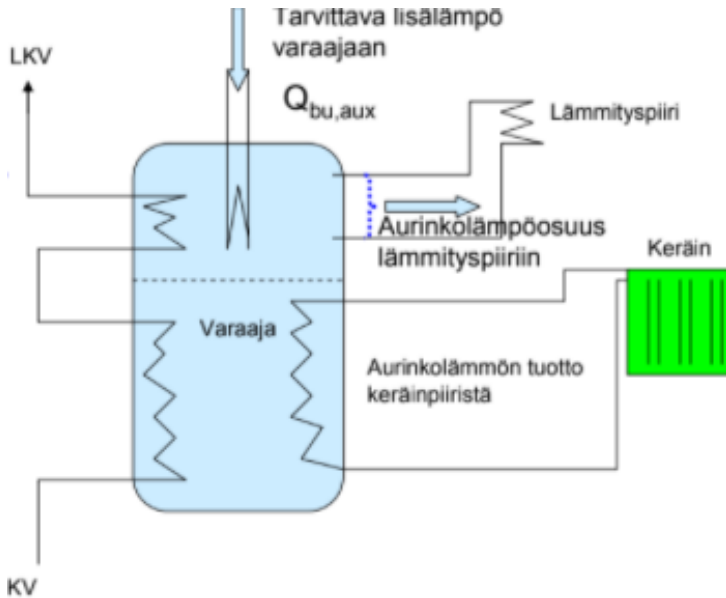
Kortekodilla sisätilat lämmitetään vesikiertoisilla pattereilla. Kattilassa lämmitetään vettä, joka kiertää varaajan läpi lämmittäen varaajassa olevaa vettä, joka taasen lämmittää patteriverkossa kiertävää vettä. Vesikiertoisen patterilämmitysjärjestelmän meno-/paluuvien mitoituslämpötilat ovat 60/40°C. Maalämpö on parempi vaihtoehto lattialämmitystä käyttäville lämmitysjärjestelmille, sillä lattialämmityksessä käytetään matalampia mitoituslämpötiloja. Maalämpöpumppuja suositellaankin käytettäväksi lattialämmitysjärjestelmille, mutta patterilämmitys on mahdollista. Lämpöpumpun tarvitsee nostaa lämmitysveden lämpötila tarpeeksi korkealle ja se tapahtuu esimerkiksi pumpussa olevan tulistin piirin avulla.

4.2 Aineiston analyysi

4.2.1 Aurinkokeräimien kannattavuus

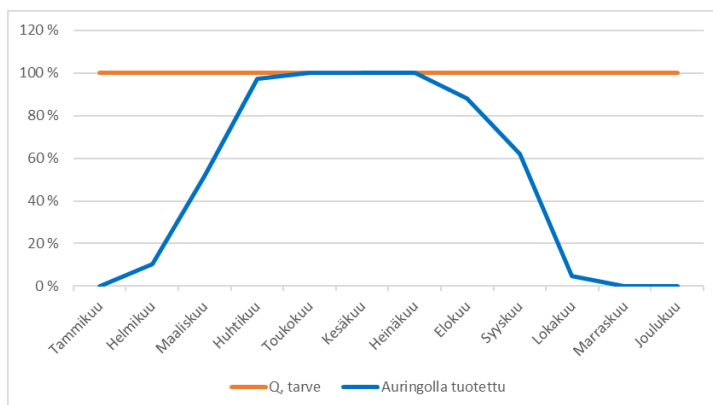
Aurinkokeräimissä on mahdollista käyttää tasokeräimiä tai tyhjiöputkikeräimiä, mutta loppujen lopuksi laskuissa ei ole suurta eroa kumpaa keräintyyppiä käyttää. Samalla keräinpinta-alalla tyyppien välillä on 10 % ero tuotoissa. Tyhjiöputkikeräimet keräävät auringosta säteilevää energiaa paremmin muotonsa puolesta ja täten niillä on hieman parempi hyötysuhde. Kortekodin varaaja on tässä ratkaisussa rajoittava tekijä. Rakennusvaiheessa ei ollut ajateltu aurinkolämmön mahdollisuutta ja varaajassa ei ole valmiina keräimille sopivaa kierukkaa, joka on valitettavaa sillä Kortekodin katolla olisi valtavasti tilaa asentaa keräimiä. Keräimillä pysyttäisiin tuottamaan maaliskuusta

syyskuuhun merkittävä osuus lämpimästä käyttövedestä. Kuvio 18 on periaatekuva aurinkolämpöjärjestelmän ja siinä esitetty aurinkolämpöpiiri on tällä hetkellä, ilman varaajan vaurioittamista tai vaihtamista, mahdotonta asentaa.



Kuvio 18. Aurinkolämpöjärjestelmän periaatekuva (Heimonen 2013, 11).

Kuviossa 19 ja liitteessä 1 on esitetty 25m² tasokeräimillä tuotetun lämpimän käyttöveden määrä kuukausitasolla. Aurinkokeräimillä pystyttäisiin tuottamaan touko-heinäkuun lämmin käyttövesi kokonaisuudessaan ja aurinkoisimpina kesäkuukausina hieman ylimääräistä. Maaliskuusta loka-kuuhun asti keräimiä pystyttäisiin hyödyntämään veden lämmityksessä. Kortekodilla olisi runsaasti kattopinta-alaa asentaa keräimiä tai paneeleita auttamaan lämmityksen ja sähkön kustannuksissa.



Kuvio 19. Aurinkokeräimillä tuotettava lämmin käyttövesi.

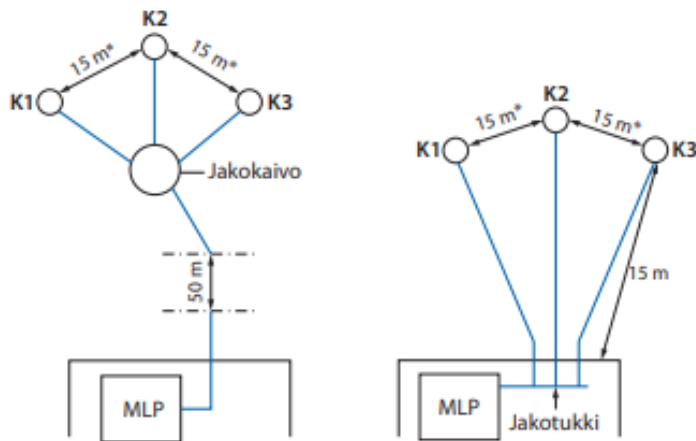
Kuviossa 20 on esitetty kolme aluetta joille olisi mahdollista asentaa keräimiä tai paneeleita. Alueiden yhteenlaskettu pinta-ala on on reilut 180m², eli tarvittava keräinten määrä olisi saatu helposti asennettua. Opinnäytetyö herätti kiinnostuksen myös aurinkopaneeleja kohtaan ja niiden mahdollisuutta alettiin tutkimaan.



Kuvio 20. Kortekodin katto ja mahdolliset paneelien paikat.

4.2.2 Maalämmön kustannukset

Suurimpana tekijänä maalämmön hinnassa on keruupiirin asentaminen. Kallioon poraaminen on kalliimpaa kuin maahan kaivaminen, mutta maahan asennettuna pitäisi putkistoa olla kolme kertaa enemmän kuin kaivossa. Energiakaivon syvyydeksi laskettiin 539 metriä, johonka on 2013 tehdyn Energiakaivo oppaan mukaan hyvä lisätä 10–20 metriä varmuusmarginaalia (Energiakaivo 2013, 23). Energiakaivon hinnaksi tulee tällöin 17 728e, mutta hinta ei sisällä vielä lämpöpumppua tai sen asentamista. Maalämpöä varten tehdyt energiakaivot ovat yleensä maksimissaan 300 m, joten Kortekodin tarvitsema syvyys voitaisiin jakaa kahdelle tai kolmelle energiakaivolle. Kuviossa 16 esimerkit useamman kaivon käytöstä.



Kuvio 21. Useamman energiakaivon sijoitus. (Maalämpöpumput 2018.)

Kortekodin viereiselle pellolle olisi mahdollista kaivaa keruupiiri pintamaahan. Tässä vaihtoehdossa olisi mahdollista säästää kaivamalla oja itse ulkoisen urakoinnin sijaan. Ojan, johon keruupiiri asennetaan, tulee olla metrin syvyinen ja saman levyinen. Putket pystytään asentamaan tällöin ojan molemmille reunoille. Täten saadaan urakka tehtyä nopeammin ja metri on riittävä väli pitämään maaperä tarpeeksi lämpimänä maalämmön toimintaan. Keruupiirin pitäisi olla noin 2,2 km pitkä tuottaakseen vuosittaisen energiankulutuksen ja asennettavan putkiston hinta olisi noin 2–3 euroa metriä kohden riippuen rullan koosta ja toimittajasta. Hinnat katsottiin LVI^{netti}.fi nettisivuilta ja keruupiirin hinta olisi tällöin 4400–6600 euroa. Keruuputkisto jaettaisiin useampaan keruupiiriin, jolloin tarvitaan kokoomakaivo. Kokoomakaivossa keruupiirit kootaan yhdeksi piiriksi, joka yhdistetään lämpöpumpulle. Kokoomakaivo, jossa on mahdollista kytkeä useampi piiri, maksaa noin 2500 euroa. Kuviossa 17 on esimerkkinä Meltexin kokoomakaivo.



Kuvio 22. Kokoomakaivo (MX-Maälämmön kokoomakaivo 2018)

Itse maalämpöpumpulle ei ole väliä kumman lämmönkeruumuodon valitsee, joten se voi olla pintamaa tai energiakaivo vaihtoehdossa sama. Maalämpöpumpun pitäisi pystyä tuottamaan vähintään osamitoituksella mitoitettun 17kW, mutta usea maalämpöpumppujen valmistaja ei tee suoraan 17kW pumppuja, joten hintoja vertailtiin teholuokassa 16-20kW. Lämpöpumpuissa on mahdollisuus valita invertteri ohjaamaan kompressorin kierroslukua. Invertteriohjauksella pystytään tuottamaan hetkittäinen tehon tarve portaattomasti perinteisen päällä-pois toiminnon sijaan. Kompressori lähtee käyntiin, kun lämpötilaraja alitetaan ja sammuu kun raja ylitetään. Invertteriohjattuja maalämpöpumppuja löytyy teholuokalta 4–16 kW, 10 000–12 000 euron hintaan. Esimerkkinä Nibe F1255 on 10 795 euroa ja ilman invertteriohjausta hieman halvemmalla esimerkiksi Nibe F1145 hintaan 8 100 euroa. Muun merkkiä lämpöpumppuja löytyy samoihin hintoihin. Maalämpöpumppujen asennusta myydään eri sivuilla 3 000 euron hintaan. Asennus tarkoittaa valmiilta kaivolta tulevien putkien kytkemistä lämpöpumppuun ja lämpöpumpulta varaajaan meneviin putkiin. Asennuksen hinta on myös arvio, sillä kaikilla toimittajilla ei ollut ilmoitettuna Kortekodin lämmitysjärjestelmän kokoiselle yksikölle asennushintoja, vaan hinnat ilmoitettiin 12kW asti. Eli kaiken kaikkiaan maalämmön hinnaksi tulee energiakaivo ratkaisulla hieman yli 31 000 euroa ja itse kaivettavalla keruupiiri ratkaisulla vähän yli 23 000 euroa.

$$\text{Energiakaivo} = 10\,975\text{€} + 3\,000\text{€} + 17\,728\text{€} = 31\,703\text{€}$$

Maalämpöpumppu + asennus + poraus

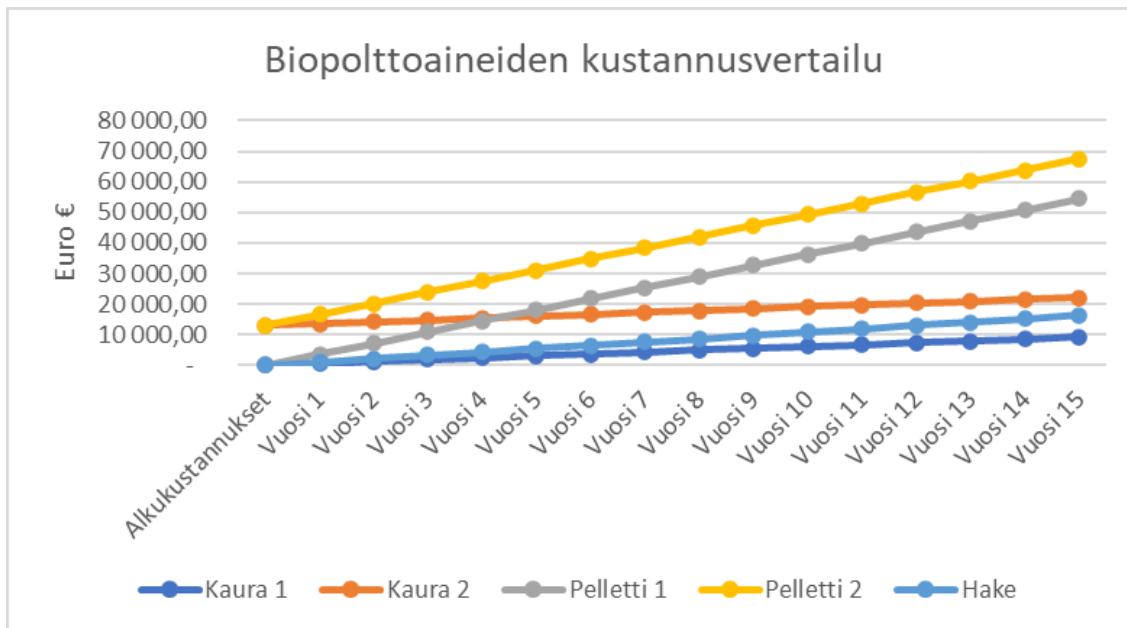
$$\text{Kerupiiri} = 10\,975\text{€} + 3\,000\text{€} + 6\,600\text{€} + 2\,500\text{€} = 23\,075\text{€}$$

Maalämpöpumppu + asennus + putkien hinta + kokoomakaivo

5 Tulokset

5.1 Biopolttoaineiden vertailu ja valinta

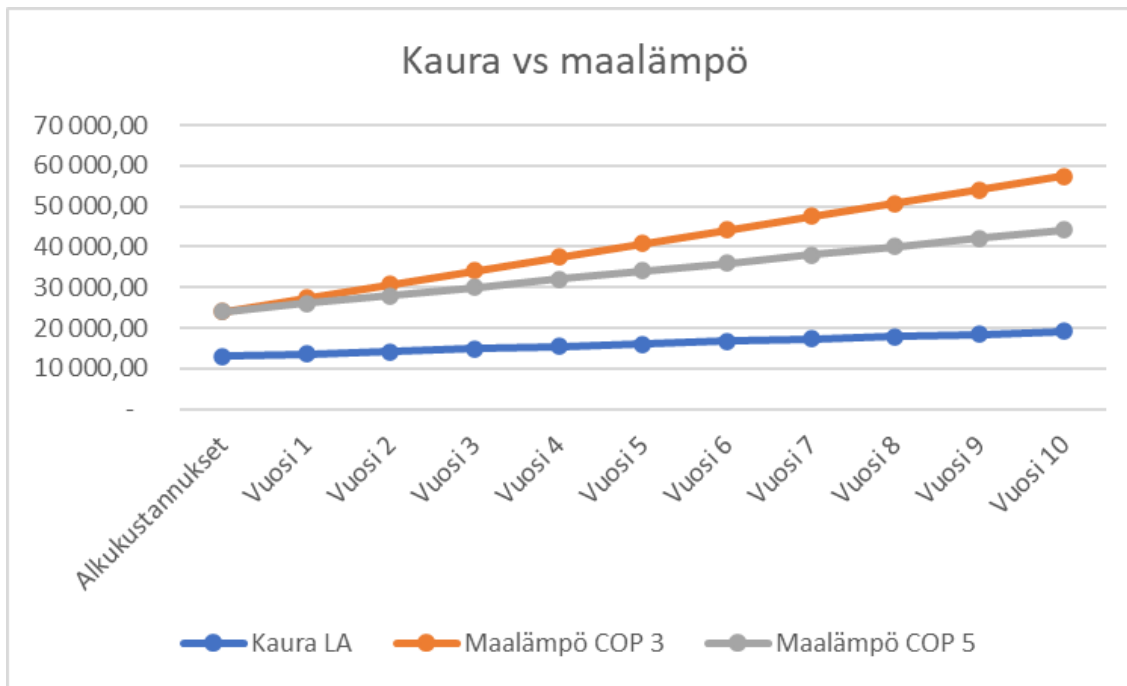
Vertailuissa polttoaineiden välillä ja maalämmön kanssa saatiin selville muita kannattavampi ratkaisu. Kuviossa 23 on esitetty 15 vuoden ajalta polttoainekustannukset (kaura 1, pelletti 1, hake) ja toinen ratkaisu, jossa on polttoainekustannukset uuden polttimen alkukustannuksen kanssa (kaura 2, pelletti 2). Kaura on selvästi muita halvempi polttoaine ja jatkamalla nykyisellä tavalla ilman uudistuksia, kauralle ei polttoainekustannustensa puolesta ole kilpailijaa. Vain jos haketta pystyttäisiin käyttämään polttoaineena nykyisellä järjestelmällä, voisi se olla kannattavampaa toimintavarmuutensa puolesta. Puupolttoaineet ovat usein kehuttuja toimintavarmuutensa puolesta, joka osittain selittyy pienellä tuhkan määrällä. Verrattuna pellettiin, kaura järjestelmään voitaisiin hankkia uusi liikkuva arinainen poltin ja silti neljän vuoden jälkeen, jolloin pellettiä olisi poltettu 14 000 euron edestä, olisi pelletti kalliimpi vaihtoehto ja kaura tuottaisi säästöä. Uusi poltin maksaisi uudella ohjausyksiköllä ja syöttölaitteella noin 11 000 euroa, johonka lisätään asentajien matkakustannukset arviolta 2000 euroa. Tässä ratkaisussa (kaura 2 kuvaajassa) on liikkumavaraa, muihin ratkaisuihin verrattuna, ennen kuin muut ratkaisut olisivat kannattavampia.



Kuvio 23. Biopolttoaineiden kustannusvertailu.

5.2 Maalämpö vai uusi poltin

Maalämpö olisi kaikista vaihtoehdoista helppokäyttöisin. Periaatteessa se olisi huoltovarma ratkaisu, jossa lämpöpumpun kompressori olisi helpoiten vioittuva osa. Keruupiiri ja energiakaivo ovat molemmat aikaa kestäviä, ja niissä ei ole helposti kuluvia osia. Maalämpö ratkaisussa kulut laskettiin COP 3 ja COP 5 kertoimille. Lämpöpumppujen COP kertoimet ovat yleensä 3 ja 5 väliltä. Lämmitykseen kuluva sähkö olisi COP 3 vaihtoehdossa 3 348 euroa ja COP 5 vaihtoehdossa 2 009 euroa. Kuviossa 23 on esitetty näiden vaihtoehtojen vertailu liikkuva-arinaista kaurapoltinta vastaan. Maalämpöpumppu mainoksissa ilmoitetaan viiden lähetyvillä olevia lämpökertoimia ja sen takia sitä on myös käytetty vertailussa. Kuitenkin lämpökerroin 5 on epätodennäköistä saavuttaa Kortekodissa käytetyllä patterilämmitysjärjestelmällä ja järjestelmän mitoituslämpötiloilla. Lämpökerrointa kolme suurempia kertoimia on yleensä mahdollista saavuttaa vain uusissa energiatehokkaissa taloissa.



Kuvio 24. Kauran ja maalämmön vertailu.

Vuositasolla maalämmön ja kauran kustannusten ero on COP 3 noin 2750 euroa ja COP 5 noin 1400 euroa. Kaurapoltinta saa siis käydä hoitamassa ja huoltamassa 100–180 tuntia vuodessa ennen kuin maalämmön vuosikustannukset olisivat halvemmat. Liikkuvan arinan toiminnasta kauran poltossa on tullut toimittajalle hyvää palautetta ja verrattuna perinteiseen kiinteä arinaiseen polttimeen, arinan liike on vähentänyt kivettymän määrää. Vertailujen pohjalta ehdotetaan toimeksiantajalle, että hankitaan liikkuva arinainen poltin ja jatketaan kauran käyttämistä polttoaineena.

6 Pohdinta

Opinnäytetyöllä haluttiin parantaa lämmitysjärjestelmää toimimaan paremmin ja mahdollisesti säästämään polttoaine- ja työkustannuksissa. Loppujen lopuksi kaura on niin halpaa, että valituista vaihtoehdoista ei millään saisi säästöjä polttoainekustannuksissa, mutta toimintavarmuutta on mahdollista lisätä ja sen myötä vähentää työn määrää. Toimintavarmuus tuo luotettavuutta järjestelmää kohtaan, jolloin sitä on myös mielekkäämpää hoitaa. Opinnäytetyön myötä lämpökontin parissa työskentelevillä henkilöillä nousi kiinnostus hoitaa konttia paremmin ja tehdä uudistuksia työn helpottamiseksi. Tavoitteeksi asetettu yhden lämmitysvaihtoehdon ehdotus saatiin suoritettua ja sen yhteydessä kartoitettua Kortekodin lämmitykseen liittyviä asioita.

Opinnäytetyön tuloksen pohjalta lähdettiin suunnittelemaan uuden liikkuva-arinaisen polttimen hankkimisen aikataulua ja asentamista. Vertailtavista vaihtoehdoista löytyi kauraa helpompia, vähemmän työtä vaativia ja vähemmän ongelmia aiheuttavaa tuhkaa tuottavia lämmöntuotantomenetelmiä. Liikkuvalla arinalla kuitenkin pystytään vähentämään näitä ongelmia ja se on ratkaisusta kustannustehokkain vaihtoehto.

Aurinkoenergian hyödyntämistä päätettiin tutkia lisää sähkökustannusten vähentämiseksi. Kesällä lämpimän käyttöveden lämmittäminen aurinkopaneeleilla tuotetun sähkön avulla voisi olla kannattavakin ratkaisu, jos kytkennät saa tehtyä sopiviksi. Paneelien hinnat ovat laskeneet vuosittain jälkeen reilusti, joten isommankin järjestelmän rakentaminen on mahdollista. Kuviossa 25 esitetään Helenin tekemä kaavio, josta nähdään aurinkopaneelien komponenttien hintojen kehitys.



Kuvio 25. Aurinkopaneelien komponenttien hinnan kehitys. (Aurinkovoimalat 2021)

Opinnäytetyössä haettiin vastauksia kolmeen tutkimuskysymykseen, joista jokaiseen saatiin vastattua.

- Mikä valituista lämmitystavoista olisi käytännöllisin vaihtoehto Kortekodille?
 - Hankkimalla iikkuva arinaisen polttimen saadaan vähennettyä kauran poltossa aiheutuvia ongelmia. Uudella laitteistolla saadaan myös toimintavarmuutta ja luotettavuutta lisättyä. Kaura on todella kustannustehokas polttoaine, joten sen käyttöä jatketaan.

- Voiko vanhaa kalustoa käyttää vaihtamalla polttoainetta?
 - Vanhaa kalustoa voidaan käyttää kokonaisuudessaan polttamaan kau-
raa ja pellettiä, mutta opinnäytetyön pohjalta päätettiin hankkia uusi
poltin, jolloin pitää tehdä pieniä muutoksia. Haketta varten olisi pitä-
nyt uusia koko kalusto.
- Onko aurinkokeräimien hankinta valitun lämmitystavan rinnalle kannattavaa?
 - Aurinkokeräimillä saataisiin kesäaikana vapautusta polttimen käy-
tössä, mutta nykyiseen varaajaan ei ole mahdollista liittää keräimiä.
Aurinkoenergian hyödyntämisen tutkimista jatketaan opinnäytetyön
jälkeenkin.

6.1 Haasteet ja tarkkuus

Haastavaa itse tutkimuksessa oli polttimesta kerätyn datan purku ja sen analysoimisen oppiminen. Datassa oli aukkoja, joka kuukaudelta ei ollut kaikkia päivän tunteja ja niiden tietoja, ja joskus jopa koko kuukautta ei ollut tallessa laitevikojen takia, joten tuloksetkaan eivät ole täysin vedenpitäviä. Seurantaohjelma vaatisi sekin toimintavarman laitteiston ja nettiyhteyden datan keräämisen varmistamiseksi. Lämmitysenergian kulutus saatiin kuitenkin laskettua ja normitettua vastaamaan muita saman tapaisia rakennuksia. Maalämmössä tarvittaisiin myös maaperän terminen vastetesti, jolloin saataisiin mitoitettua energiakaivot ja keruupiiri tarkemmin. Niben taulukko, jonka pohjalta maalämpö laskut on tehty, on arvio maaperästä saatavasta lämmöstä ja sen arvot ovat vain suuntaa antavia. Taulukko on myös lämpöpumppujen toimittajalta, eikä puolueettomalta tekijältä, mutta sen avulla on saatu arvio kustannuksista ja vertailtua sitä muihin vaihtoehtoihin. Jos maalämpö olisi pystynyt kilpailemaan kustannustensa puolesta biopolttoaineiden kanssa, niin olisi tarkempia laskuja ja tutkimuksia jouduttu suorittamaan. Kustannusarvioissa käytetyt hinnat ovat etsitty eri toimittajien nettisivuilta. Osa toimittajista ei ilmoita suoraan hintoja vaan vastaavat vain pyytäessä tarjousta, mutta tarjouspyyntöihin ei aina vastattu. Työssä käytetty tarkkuus kulutusten laskennassa, kustannuksissa ynnä muissa ovat kuitenkin riittävää, sillä niiden avulla vaihtoehtoista saatiin vertailukelpoisia. Käyttäen samoja toimenpiteitä voidaan muillekin kohteille tehdä samanlainen arviointi vaihtoehtoista.

Lähteet

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Otamedia. Espoo

Asumisen energiankulutus. 2020. Suomen virallinen tilasto. Verkkosivut. Viitattu 23.3.2021.

Aurinkolämpöjärjestelmät. 2020. Motivan verkkosivut. Viitattu 22.3.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat.

Aurinkosäteilyn määrä Suomessa. 2021. Motiva. Verkkosivut. Viitattu 13.9.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa.

Aurinkovoimalat. 2021. Helen. Verkkosivut. Viitattu 30.11.2021. <https://www.helen.fi/yritykset/aurinkovoimalat/ajankohtaista/aurinkovoimalakampanja>.

Bioenergianeuvoja. 2020. Vilja. Verkkosivut. Viitattu: 15.3.2021. <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/peltobiomassat/vilja/>.

Bioenergianeuvoja. N.d. Biopolttoaineet. Verkkosivut. Viitattu 25.3.2021 <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/>.

Carnot´n kierto kuva. N.d. Wikipedia. Verkkosivut. Viitattu 11.8.2021. https://fi.wikipedia.org/wiki/Carnot%E2%80%99n_kierto.

Heimonen, I. 2011. Aurinko-opas 2012, aurinkolämmön ja -sähkön energiantuoton laskennan opas. Ympäristöministeriö. Viitattu 23.3.2021. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Aurinko-Laskentaopas-2012_ver23082011-F4F73E83_56AF_4112_AD7B_0E1F1804D38B-30750.pdf/c6be6102-7bf6-17ae-17b0-d54c2cd99d83/Aurinko-Laskentaopas-2012_ver23082011-F4F73E83_56AF_4112_AD7B_0E1F1804D38B-30750.pdf?t=1603260207096.

Juwanen, J. Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo. Edita Prima. Helsinki.

Kortekoti. N.d. Verkkosivut. Viitattu: 11.3.2021. <https://kortekoti.fi/>.

Laatu. N.d. Bioenergianeuvoja. Verkkosivut. Viitattu. 11.8.2021 <https://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/hake/laatu/>.

Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. 2019. Motivan verkkosivut. Viitattu 7.5.2021. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi

Lämpöä omasta maasta. N.d. Motivan opas maalämpöpumpun toiminnasta. Viitattu: 17.3.2021 https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf.

Maalämpö – Maahan varastoitunutta energiaa. N.d. Nibe. Verkkosivut. Viitattu: 17.3.2021 [Maalämpö on ympäristöystävällinen lämmitysmuoto - NIBE](https://www.nibe.fi/maalampo-on-ymparistoystavallinen-lammitysmuoto).

Viirimäki, J. Hassinen, U. Hiitelä, J. Kauppinen, V. Koskiniemi, E. Moilanen, P. Somerpalo, J. Turkia, K. Vanhala, T. 2008. Maatilan hakelämmitys-opas. Hämeen Offset Tiimi. Tampere.

Miten maalämpöpumppu toimii? N.d. Verkkosivut. Viitattu: 17.3.2021 <https://www.tomallensenera.fi/blogi/miten-maalampopumppu-toimii>.

MX-Maalämmön kokoomakaivo. 2018. Meltex verkkosivut. Viitattu 22.11.2021. <https://www.meltex.fi/fi/tuote/infra-ja-maanrakentaminen/maalampoputket-ja-kollektorit/maalampokaivot/mx-ml-kaivo/mx-maalammon-kokoomakaivo#/productinfo>.

Napari, I. Vehkamäki, H. 2013. Termofysiikan perusteet. Helsingin yliopisto. Viitattu 24.9.2021. [termofysiikka2013_hv.dvi \(helsinki.fi\)](http://termodofysiikka2013.hv.dvi.helsinki.fi).

Pelletit. 6.8.2020. Motiva. Verkkosivut. Viitattu. 11.8.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/puulammitus_kiinteistoissa/pelletit_ja_brikitit/pelletit.

Perälä, O. Perälä, R. 2013. Lämpöpumput. Alfamer.

Pientalojen maalämpöpumppu opas. N.d. Nibe. Viitattu 24.9.2021. <https://partner.nibe.eu/upload/haato/Ohjeet/PIENTALOJEN%20NIBE%20MLP%20OPAS%201420-7.pdf>.

SCOP vai COP? Ota tehojen vertailun keskeiset termit haltuun. N.d. Gebwell. Verkkosivut. Viitattu 4.11.2021. <https://gebwell.fi/ajankohtaista/scop-vai-cop-ota-tehujen-vertailun-keskeiset-termit-haltuun/>.

Selvitys Pohjois-Karjalan maalämpöpotentiaalista on valmistunut. 2020. Pohjois-Karjala. Maakuntaliitto. Viitattu 8.11.2021. <https://www.pohjoiskarjala.fi/-/selvitys-pohjois-karjalan-maalampopotentiaalista-on-valmistunut>.

Sähkötuotannon CO₂-päästöarvio. N.d. Fingrid verkkosivut. Viitattu 7.5.2021. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinainformaatio/co2/>.

Tasokeräimet. 2020. Motiva. Verkkosivut. Viitattu 22.3.2021 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tasokeraimet.

TRT-mittaus. 2018. Lapon. Verkkosivut. Viitattu 11.10.2021. <https://www.lapon.fi/trt-mittaus>.

Tyhjiöputkikeräimet. 2020. Motiva. Verkkosivut. Viitattu 22.3.2021 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tyhjioputkikeraimet.

Tutkittua tietoa turpeesta. 2020. Turveinfo. Verkkosivut. Viitattu 25.3.2021 <http://turveinfo.fi/ukk/>.

Vilka H. 2015. Tutki ja kehitä. 4.p. Jyväskylä: PS-kustannus. Viitattu 9.2.2021. <https://www.elibrary.com/reader/9789524517560>.

Öljylämmitys. 2017. Motiva. Verkkosivut. Viitattu 23.3.2021. https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asu- minen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/oljylammitys.

Öljylämmityksestä luopuminen. N.d. Ympäristöministeriö. Verkkosivut. Viitattu 29.9.2021. <https://ym.fi/oljylammityksesta-luopuminen>.

Liite 2: Esimerkki poltindatasta.

Maaliskuu					
aika	lähtö	paluu	ΔT	ulko	poltin
1.3.2020	73,4	65,3	8,1	-2,8	166,7
1.3.2020	74,1	68,4	5,7	-3,2	167,4
1.3.2020	74,3	69,3	5	-4,8	163,9
1.3.2020	74,1	69	5,1	-6,3	158
1.3.2020	74,1	68,6	5,5	-7,4	155
1.3.2020	73,9	68,5	5,4	-7,2	147,8
1.3.2020	73,8	67,9	5,9	-6,3	146
1.3.2020	73,2	62,7	10,5	-5,4	144,7
1.3.2020	72,2	59,6	12,6	-4,3	140,8
1.3.2020	71,9	59,4	12,5	-3,4	137,2
1.3.2020	72,6	59,8	12,8	-2,6	134,6
1.3.2020	72,5	61,2	11,3	-1,8	118,8
1.3.2020	71,9	60,7	11,2	-0,8	99,6
1.3.2020	72,4	61,2	11,2	-0,4	93,9
1.3.2020	72,8	61,7	11,1	-0,1	95,2
1.3.2020	73,6	65,4	8,2	-0,1	88,1
1.3.2020	73,3	65,9	7,4	-0,2	84
1.3.2020	73,4	66,1	7,3	-0,3	79,9
1.3.2020	73,4	65,5	7,9	-0,3	86,9
1.3.2020	73,4	66	7,4	0,2	84,2
1.3.2020	73,4	65,9	7,5	0,4	83,5
1.3.2020	73,6	67,1	6,5	0,7	85,2
1.3.2020	74	70	4	0,9	98,2
1.3.2020	74,1	70,2	3,9	0,8	101,9
2.3.2020	74,1	70,2	3,9	0,3	99,1
2.3.2020	73,9	70,1	3,8	-0,2	96,7
2.3.2020	71,9	69,8	2,1	-0,6	76,9
2.3.2020	65,3	66,3	-1	-1,1	27,2
2.3.2020	68,6	61,7	6,9	-1,6	135,3
2.3.2020	73,4	65,9	7,5	-1,8	227,2
2.3.2020	74	69	5	-1,9	168,3
2.3.2020	73,5	64,7	8,8	-2	181,2
2.3.2020	72,5	60,4	12,1	-1,9	182,5
2.3.2020	69,2	58,8	10,4	-1,4	150,2
2.3.2020	72,2	58,6	13,6	-0,9	174,1
2.3.2020	71,1	61,5	9,6	-0,4	145,1
2.3.2020	72,3	61,2	11,1	0,2	154,5
2.3.2020	71,7	60,7	11	0,9	148,1
2.3.2020	71,7	59,2	12,5	0,7	145,8
2.3.2020	72,8	62,7	10,1	0,6	132,9
2.3.2020	71,8	63,6	8,2	0,5	117,7
2.3.2020	72	64	8	0,4	116
2.3.2020	73,3	64	9,3	0,3	226,6
2.3.2020	73,7	65,4	8,3	0,3	171,5
2.3.2020	73,8	65,5	8,3	0,4	142,5
2.3.2020	74	67,3	6,7	0,3	131,3
2.3.2020	74,6	69,9	4,7	0,4	137,5
2.3.2020	74,9	70,7	4,2	0,7	147,4

Liite 3: Lämmitysjärjestelmän virtauksen selvitys.

Aika	Kok energia (MWh)	kWh/päivä	dm ³ /h	dm ³ /s
26.3.2021	1 152,16	-	1 406,00	0,39
3.4.2021	1 153,87	214,37	1 363,00	0,38
7.4.2021	1 154,70	208,00	1 345,00	0,37
13.4.2021	1 155,94	206,17	1 338,00	0,37
15.4.2021	1 156,34	202,50	1 341,00	0,37
17.4.2021	1 156,74	198,50	1 269,00	0,35
22.5.2021	1 162,90	176,03	1 403,00	0,39
15.6.2021	1 163,71	33,63	1 320,00	0,37
4.11.2021	1 168,63	34,68	1 421,00	0,39
			1 356,22	0,38